

杨海波,杨荣华,李承男,等.不同土壤改良措施对土壤特性和番茄生长发育及品质、产量的影响[J].江苏农业科学,2022,50(15):94-100.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.15.015

# 不同土壤改良措施对土壤特性和番茄生长发育及品质、产量的影响

杨海波,杨荣华,李承男,马 兰,曹云娥

(宁夏大学农学院,宁夏银川 750021)

**摘要:**为了改善化肥农药施用过量、蔬菜品质下降和产量不稳等问题,以番茄粉宴1号为材料,设置8个处理,即空白对照(CK)、撒施生物炭(B)、蚯蚓粪(V)、覆盖三叶草(T)、生物炭+蚯蚓粪(B+V)、生物炭+覆盖三叶草(B+T)、蚯蚓粪+覆盖三叶草(V+T)与生物炭+蚯蚓粪+覆盖三叶草(B+V+T),研究不同土壤改良措施对番茄生长及土壤特性的影响。结果表明,V+T处理的土壤pH值最高为7.52,V+T处理显著提高了土壤全磷、全钾含量,与CK相比分别提高了31.16%、34.41%。B+V+T处理显著提高了土壤全氮、有机质含量,与CK相比分别提高了40.91%、13.24%;降低了土壤Pb、Cd、Cr、Hg元素的含量;提高了土壤脲酶活性,与CK相比提高了49.93%;提高了可溶性糖、维生素C含量,与CK相比分别提高了23.91%、40.86%,产量比对照提高了36.57%。生物炭+蚯蚓粪+覆盖三叶草处理可以增加番茄产量,提高番茄品质,改善土壤理化性质。综合分析认为,生物炭+蚯蚓粪+覆盖三叶草处理更有利于番茄产量和果实品质的提高。

**关键词:**土壤改良;番茄;生长发育;土壤特性;果实品质;产量

**中图分类号:** S641.206+.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)15-0094-07

随着设施栽培的逐步推广,设施蔬菜生产已成为不少地区的主导产业。然而种植户为了提高经济效益,大量使用农药、化肥,导致环境恶化<sup>[1]</sup>;此外,种植户种植的作物单一且存在连作现象,直接致使土壤的肥力下降,作物的品质、产量也随之下降,并对生态环境产生了严重威胁<sup>[2]</sup>。针对这个问题,添加有机肥,在合理的范围内施用化肥可以改

良土壤结构,提高土壤的蓄肥能力和土壤肥力效能<sup>[3]</sup>;在土壤中施用有机物料能够提高土壤微生物量碳、氮的含量以及土壤酶活性,并且随着有机肥的施用量增大,其展现出来的效果越明显<sup>[4]</sup>。此外,施用有机肥还能够对土壤微生物多样性的恢复起到一定的促进作用,有效地抑制连作障碍的发生进程<sup>[5]</sup>。

生物炭是枯枝落叶、作物秸秆等在缺氧的条件下通过高温裂解形成的稳定的固体富碳产物,具有巨大的比表面积,能够长时间地稳定土壤结构<sup>[6-7]</sup>。蚯蚓粪是蚯蚓处理有机废弃物的产物,是一种良好的土壤改良剂,富含多种有益微生物、腐殖质、氨基酸活性酶等天然活性物质。二者作为新兴的有机

收稿日期:2021-10-27

基金项目:宁夏重点研发计划(编号:2021BBF02025)。

作者简介:杨海波(1997—),男,四川蓬溪人,硕士研究生,主要从事蔬菜栽培与生理生态研究。E-mail:1848168644@qq.com。

通信作者:曹云娥,博士,副教授,主要从事作物生理与营养调控研究。E-mail:caohua3221@163.com。

[25]张明生,刘志,戚金亮,等.甘薯品种抗旱适应性综合评价的方法研究[J].热带亚热带植物学报,2005,13(6):469-474.

[26]张海燕,解备涛,汪宝卿,等.不同甘薯品种抗旱性评价及耐旱指标筛选[J].作物学报,2019,45(3):419-430.

[27]许育彬,陈越,付增光.甘薯的抗旱生理及栽培技术研究进展[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):128-131.

[28]陈由强,朱锦懋,叶冰莹.水分胁迫对芒果(*Mangifera indica* L.)幼叶细胞活性氧伤害的影响[J].生命科学研究,2000,4(1):60-64.

[29]田小霞,许明爽,郑明利,等.黄花草木樨苗期抗旱性鉴定及抗

旱指标筛选[J].干旱区资源与环境,2021,35(10):120-127.

[30]李红宇,夏玉莹,刘梦红,等.寒地粳稻抗旱性鉴定指标筛选及综合评价[J].西南农业学报,2021,34(6):1138-1145.

[31]李素,李心昊,刘晨,等.三种类型油菜苗期抗旱性综合评价及抗旱指标筛选[J].分子植物育种,2021,19(12):4108-4116.

[32]龚秋,王欣,后猛,等.干旱胁迫对不同品系紫甘薯光合特性及干物质积累的影响[J].华北农学报,2015,30(3):111-116.

[33]刘恩良,曹清河,唐君,等.甘薯抗旱鉴定及生理响应研究[J].新疆农业科学,2016,53(6):999-1005.

物料,能够在一定程度上改善土壤理化性质,促进作物的生长发育,还能提高农产品的产量、品质,增强作物的抗逆性<sup>[8-10]</sup>。

由于农户盲目追求作物产量和大量施用化肥,造成了土壤板结、病害加剧、土壤肥力下降、环境污染等一系列问题,不仅降低了作物的产量和品质,也影响了设施农业的可持续发展<sup>[11-14]</sup>。而覆盖作物有改变土壤化学特性的潜力,通过增加土壤有机质含量、提升氮的矿化潜力、减少硝酸盐淋失等作用,促进后续农作物产量的提升<sup>[15]</sup>。我国绿肥资源丰富,截止目前,我国常用绿肥作物有 916 种,鉴定为 4 科 20 个属 26 个种,并经过筛选,得到了综合性状好、适宜在不同地区种植的 70 多种绿肥作物<sup>[16]</sup>,主要有紫云英、紫花苜蓿、白三叶草、山豆、高羊茅、二月兰等<sup>[16-17]</sup>。在栽培面积较大的绿肥品种中,豆科占大多数<sup>[18]</sup>。豆科植物可以和固氮菌共生,进行生物固氮,从而为果-草系统提供部分氮源。豆科植物生物固氮是指在自然条件下,部分微生物或蓝藻将大气中氮气转化为氨,为植物或微生物的生长发育提供氮源<sup>[19]</sup>。

前期的研究主要是针对每一项措施的单一研究,对于不同土壤改良措施复合的研究较少,笔者通过对生物炭、蚯蚓粪、覆盖植物白花三叶草的复配来进行土壤处理,探究日光温室内不同土壤改良措施对土壤特性和番茄生长发育及品质、产量的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2019 年 4 月 12 日至 8 月 9 日在宁夏贺兰县园艺产业园(106°15'E,38°18'N)内进行,该园区属于国家级农业示范园区,园区内的年降水量为 180~200 mm,其中 80% 的降水集中在 6—8 月,年平均气温 9.7 °C,无霜期 160~170 d,属中温带干旱气候区,具有典型的大陆性气候特点。日光温室,长 80 m,跨度 8 m,脊高 4.4 m,后墙高 4.7 m。

### 1.2 试验材料

供试番茄品种为粉宴 1 号。生物炭(主要成分为椰壳,有效碳成分为 95%)购买于河南泰源环保科技有限公司;蚯蚓粪由试验开始前投放的蚯蚓原位消解半腐熟的牛粪产生;覆盖作物是白花三叶草。

### 1.3 试验设计

试验共设 8 个处理:空白对照(CK),不作处理;

定植前土壤增施生物炭(B),3 000 kg/667 m<sup>2</sup>;定植前土壤增施蚯蚓粪(V),3 000 kg/667 m<sup>2</sup>;覆盖(作物两边)三叶草(T);定植前土壤增施生物炭+蚯蚓粪(B+V),生物炭 3 000 kg/667 m<sup>2</sup>,蚯蚓粪 3 000 kg/667 m<sup>2</sup>;定植前土壤增施生物炭+覆盖(作物两边)三叶草(B+T);生物炭 3 000 kg/667 m<sup>2</sup>;定植前土壤增施蚯蚓粪+覆盖(作物两边)三叶草(V+T),蚯蚓粪 3 000 kg/667 m<sup>2</sup>;定植前土壤增施生物炭+蚯蚓粪+覆盖(作物两边)三叶草(B+V+T),生物炭 3 000 kg/667 m<sup>2</sup>,蚯蚓粪 3 000 kg/667 m<sup>2</sup>。每个处理 2 个小区,每个小区种植 3 垄,3 个重复,每个小区长 5 m,宽 4 m,面积为 20 m<sup>2</sup>,小区间隔开。

### 1.4 样品采集与测定方法

植株和果实样品采集自番茄盛果期,采样时,从每个小区随机选取 6 棵植株,将根系完全挖出后,用水将根系冲洗干净。用刀将植株地上部与地下部分开,在收获期统计番茄的产量。

1.4.1 土壤理化性质测定 于番茄盛果期,采用五点取样法,取各处理 0~20 cm 土层的土壤,将其物理晾干后过 1 mm 筛,用于测定土壤的理化指标。用电导法测定 pH 值和 EC 值;用环刀法测定土壤容重;用凯氏定氮法测定土壤全氮含量;用钼锑抗比色法测定土壤全磷含量;用重铬酸钾-油浴锅加热法测定土壤有机质含量<sup>[3]</sup>。

1.4.2 土壤重金属测定 用分析天平准确称取 0.1 g 土样,置于消煮管底部,加入 5 mL 浓硝酸(优级纯),静置过夜,次日,先用 100 °C 消煮 30 min 后,将消煮炉温度上升至 170 °C,消煮至底部残渣转白、溶液澄清透明即可。冷却至常温后,将消煮管内的溶液用蒸馏水转移至 100 mL 容量瓶,定容至刻度线,用 0.45 μm 过滤器过滤至离心管中,待上机测定。利用电感耦合等离子体光发射光谱仪测定。使用 1.0~1 000.0 μg/L 分析参考溶液进行外部校准,通过多元素储备溶液适当稀释以 5% 硝酸制备标准溶液。

1.4.3 酶活性测定 土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;纤维素酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定;蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定;土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法<sup>[20]</sup>测定。

1.4.4 果实品质测定 番茄的可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定;可滴定酸含量采用 NaOH 滴定法测定;维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法

测定;采用手持糖度计测定番茄可溶性固形物含量<sup>[21]</sup>。

### 1.5 数据分析

使用 Excel 2010、Origin 2018 进行试验数据图表的绘制,采用 SPSS 24.0 进行数据统计分析,采用 Duncan's 法对有显著差异的处理进行显著性分析,显著性水平设置为  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土壤改良措施对土壤养分的影响

由表 1 可知,不同的土壤处理下,V 和 V + T 处理 pH 值最高,为 7.52;B + V 处理的 EC 值显著低于

其他处理,为 1.20 mS/cm;B 处理土壤容重最高,为 1.78 g/cm<sup>3</sup>;B + V + T 处理的全氮含量为 0.93 g/kg,显著高于其他 7 个处理,与对照相比提高了 40.91%;V + T 处理的全磷含量最高,为 5.22 g/kg;V + T 处理全钾含量最高,为 4.57 g/kg,CK 处理全钾含量最低,为 3.40 g/kg,与 CK 处理相比 V + T 处理提高了 34.41%;除 B + V、B + T 处理外,B + V + T 处理的有机质含量显著高于其他处理,为 44.74 g/kg。与对照相比,蚯蚓粪与三叶草复配(V + T)处理能够显著提高土壤全磷、全钾含量,生物炭、蚯蚓粪与三叶草三者复配(B + V + T)处理显著提高了土壤全氮、有机质含量。

表 1 不同土壤改良措施对土壤养分的影响

处理	pH 值	EC 值 (mS/cm)	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	有机质含量 (g/kg)
CK	7.48b	2.34a	1.34b	0.66f	3.98c	3.40f	39.51e
B	7.42c	2.13c	1.78a	0.81c	3.42d	3.50e	43.61bc
V	7.52a	1.43e	1.19b	0.70d	3.20e	3.43f	42.88cd
T	7.47b	1.73d	1.27b	0.68e	4.99b	3.80b	42.25d
B + V	7.33e	1.20g	1.36b	0.81c	4.93b	3.60d	43.87abc
B + T	7.38d	2.19b	1.33b	0.82b	3.37de	3.50e	44.44ab
V + T	7.52a	1.33f	1.28b	0.70d	5.22a	4.57a	42.84cd
B + V + T	7.38d	1.76d	1.37b	0.93a	3.33de	3.70c	44.74a

注:同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下表同。

### 2.2 不同土壤改良措施对土壤重金属含量的影响

由表 2 可知,不同土壤处理均能不同程度地降低土壤重金属含量。B + V + T 处理 Pb、Cd、Cr、Hg 元素的含量均最低;将 B + V + T 处理与 B、V、T 处理分别相比 7 种重金属含量均有所降低,说明生物

炭、蚯蚓粪和三叶草配施能有效降低这 7 种重金属的含量。V + T 处理中 Zn、As 元素的含量最低;B + V 处理中 Cu 元素的含量最低。生物炭、蚯蚓粪、覆盖三叶草均能降低土壤重金属含量。

表 2 不同土壤改良措施对土壤重金属含量的影响

处理	重金属含量(mg/kg)						
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Hg	As
CK	27.05a	104.44a	24.99a	0.329a	54.22a	0.231a	13.45a
B	26.43ab	95.34b	24.43a	0.325a	50.69b	0.219a	12.29ab
V	24.22c	92.59c	23.26ab	0.321a	49.38b	0.228a	9.89cd
T	24.19c	93.41c	24.30a	0.311a	50.32b	0.214a	11.35bc
B + V	20.74d	86.29e	20.56cd	0.315a	47.66c	0.195a	9.80cd
B + T	26.23ab	88.35d	21.57bc	0.308a	42.59d	0.211a	9.48d
V + T	24.78bc	81.42g	19.85cd	0.276a	46.35c	0.203a	8.81d
B + V + T	24.11bc	84.47f	19.42d	0.271a	41.98d	0.182a	9.65cd

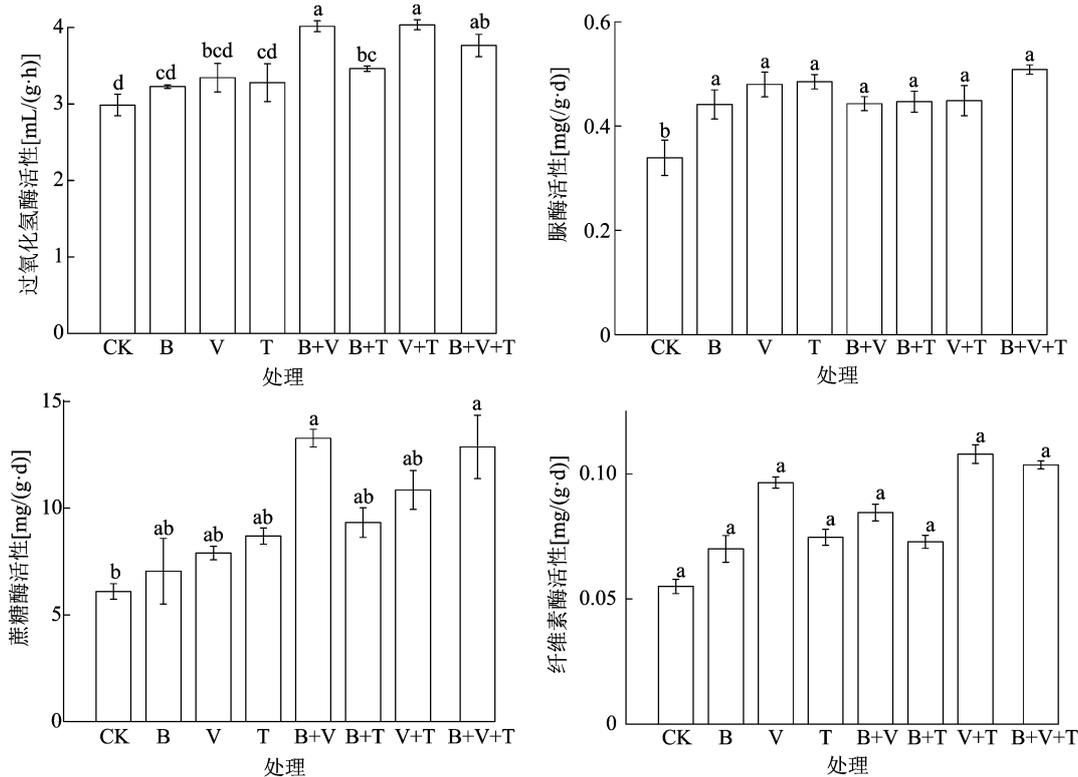
### 2.3 不同土壤改良措施对土壤酶活性的影响

由图 1 可知,不同土壤处理对土壤过氧化氢酶活性影响显著,对纤维素酶影响不显著。整体来

看,不同处理的土壤酶活性与对照相比均有所提高。B + V 处理过氧化氢酶和蔗糖酶活性最高,分别为 4.02 mL/(g · h)、13.28 mg/(g · d);B + V + T

处理脲酶活性最高,与CK相比提高了49.93%;V+T处理纤维素酶活性最高,为0.11 mg/(g·d)。与对照相比,生物炭与蚯蚓粪配施(B+V)显著提高过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性,蚯蚓粪与三叶草

配施(V+T)提高了纤维素酶活性,生物炭、蚯蚓粪和三叶草配施(B+V+T)显著提高了过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性。综合来看,蚯蚓粪对土壤酶活性的提高起着重要作用。



同一图中不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著。图2同

图1 不同土壤改良措施对土壤酶活性的影响

## 2.4 不同土壤改良措施对果实品质的影响

由表3可知,B+V+T处理的可溶性糖含量最高,为0.57 g/kg,与CK处理相比提高了23.91%;B+T处理有机酸含量显著高于其他处理;B+V+T处理维生素C含量最高,为29.99 mg/100 g,CK处理最低;B+T处理可溶性固形物含量显著高于其他处理,为5.00%;增施生物炭、蚯蚓粪、覆盖三叶草对可溶性糖、有机酸、维生素C含量均有一定程度的提高;与对照相比,生物炭与三叶草配施(B+T)显著提高了可溶性固形物含量,生物炭、蚯蚓粪和三叶草三者配施显著提高了果实可溶性糖、维生素C含量。

## 2.5 不同土壤改良措施对番茄产量的影响

从图2可以看出,不同土壤处理下的产量均高于对照,其中B+V+T处理果实产量最高,为3970.22 kg/667 m<sup>2</sup>,B+V处理次之,与CK处理相比B+V+T处理产量增加了36.57%。增施生物炭、蚯蚓粪、覆盖三叶草均不同程度地提高了番茄的产量,其中三者复配对产量提升的效果最佳。

表3 不同土壤改良措施对果实品质的影响

处理	可溶性糖含量 (g/kg)	有机酸含量 (%)	维生素C含量 (mg/100 g)	可溶性固形物含量 (%)
CK	0.46h	9.45e	21.29g	4.57cd
B	0.51e	8.59f	26.32de	4.50de
V	0.48f	8.85f	23.30f	4.43e
T	0.47g	10.05c	25.30e	4.70b
B+V	0.54c	9.47e	26.97cd	4.67bc
B+T	0.55b	13.26a	29.00ab	5.00a
V+T	0.53d	10.42c	28.00bc	4.67bc
B+V+T	0.57a	12.55b	29.99a	4.77b

## 3 讨论与结论

### 3.1 不同土壤改良措施对土壤理化性质的影响

土壤作为植物生长发育的载体,其养分含量的高低直接反映了作物生长状况的优劣,在合理的范围内添加有机物料对土壤进行改良,是目前生产中获得优质高产园艺产品的一大重要举措<sup>[3,22]</sup>。

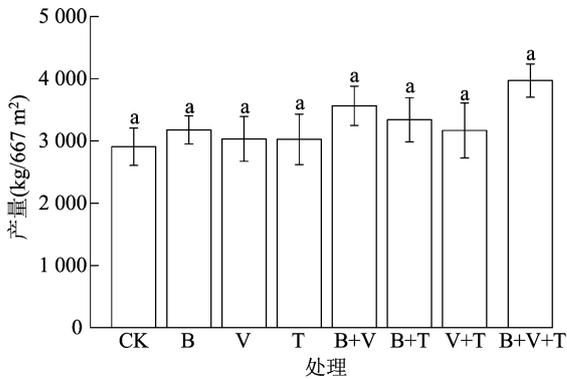


图2 不同土壤改良措施对番茄产量的影响

Harris 等研究发现,在土壤中添加疏松多孔的生物炭可以有效地提高土壤养分含量<sup>[23-24]</sup>。单颖等研究发现,蚯蚓处理农业废弃物的产物——蚯蚓粪,具有优良的理化性质,能够很好地供肥、保肥和改良土壤<sup>[25-27]</sup>。Wei 等对 76 篇关于果园生草对土壤养分状况影响的文献进行整合分析发现,在果园中覆草能显著提高土壤有机质(14.1%)、全氮(7.0%)、速效氮(27.7%)、速效磷(12.6%)和全钾含量(2.1%),其中豆科植物由于能够进行生物固氮,显著提高了土壤全氮(8.8%)、有效氮含量(24.7%)<sup>[28]</sup>。土壤 EC 值代表土壤中盐分的浓度,沈汉等研究得出,设施土壤 EC 值在 1.0 以上会影响作物生长<sup>[29]</sup>。本研究中 B+V 处理 EC 值最低,为 1.20 mS/cm,且其他处理的 EC 值均低于对照,各处理均降低了土壤的盐胁迫。全氮含量的高低反映土壤氮素的整体水平,是土壤潜在肥力的表征之一<sup>[30]</sup>。本研究中,T、B+T、V+T 以及 B+V+T 处理的全氮含量相比于对照均有所提高;V+T 处理相比于对照显著提高了土壤全磷、全钾含量。土壤中添加蚯蚓粪、覆盖三叶草能够明显提高土壤养分。有研究表明,在土壤中添加生物炭与参与利用氮和磷等矿质元素相关的土壤酶活性之间呈正相关,而与参与土壤碳矿化等生态学过程的土壤酶活性之间呈负相关<sup>[31-33]</sup>,这样有利于土壤中碳的固定,从而保证生物炭在土壤环境中长期稳定存在<sup>[34]</sup>。本研究表明,土壤中添加生物炭、蚯蚓粪、覆盖三叶草,均能够提高土壤酶活性,其中,施加生物炭、蚯蚓粪和覆盖三叶草这三者结合对脲酶活性的增强最为显著。

由于土壤酶对重金属离子的作用较为敏感,且其活性变化对作物有着直接的影响,因此,土壤酶活性的高低有利于明确土壤中重金属含量的高低及其对植物生长和土壤质量的影响<sup>[35-36]</sup>。陈玲玲

研究发现,重金属 Cd、Cr 和 Pb 的浓度与脲酶和蔗糖酶活性都呈现负相关关系,表现为抑制作用;其中 Cd 与脲酶活性、Pb 与蔗糖酶活性分别呈显著负相关;Cd 和 Cr 与过氧化氢酶活性呈负相关关系<sup>[37]</sup>。梅闯等研究发现,生物炭施入土壤后,不仅可以与微生物结合,利用微生物的表面吸附和体内转化作用等直接影响重金属的存在形态,还能够间接改变土壤环境<sup>[38]</sup>。侯月卿等在堆肥中添加不同生物炭后,发现花生壳炭、玉米秸秆炭和木屑炭分别对堆肥产品中重金属元素 Cu、Pb、Cd 具有良好的钝化效果<sup>[39]</sup>。蚯蚓黏液中的小分子有机物,如有机酸、氨基酸等能溶解重金属化合物,可提高土壤中重金属的生物可利用性,它能促进土壤中重金属的溶解,有助于超富集植物对重金属的吸收和富集<sup>[40-42]</sup>。本研究中不论是单施生物炭、单施蚯蚓粪、覆盖三叶草,还是这三者混施,均能降低土壤重金属含量,改善土壤环境。将 B、V、T 处理与 B+V、B+V+T 处理相比较,除 Cu、Cd 元素外,单一施用生物炭、蚯蚓粪、覆盖三叶草处理下的重金属含量比两两混施处理下的重金属含量要高,且这三者配施的处理降低土壤重金属的效果最佳。

### 3.2 不同土壤改良措施对番茄品质的影响

本研究中增施生物炭、蚯蚓粪、覆盖三叶草均不同程度地降低了土壤中的重金属含量,土壤重金属对土壤酶活性表现为负相关关系,随着土壤重金属的含量降低,土壤酶活性提高,其中 B+V 处理的过氧化氢酶和蔗糖活性最高,B+V+T 处理的脲酶活性最高,V+T 处理的纤维素酶活性最高。土壤酶活性的增强提高了土壤生产力,促进了番茄的生理代谢。吴珏等研究发现,在土壤中适量地添加生物炭,番茄产量、可溶性糖含量会有所增加,可滴定酸含量显著减少,生物炭伴生与单作相比,提高了果实维生素 C、可溶性糖含量和糖酸比,降低了有机酸含量;添加 1.2% 生物炭伴生与单作相比,增加了糖酸比,降低了有机酸含量;与未添加生物炭相比,添加 1.2% 生物炭增加了单作和伴生的维生素 C 含量和糖酸比,降低了有机酸含量<sup>[43]</sup>。曹雪娜研究指出,在土壤中添加生物炭显著提高了樱桃番茄果实维生素 C 含量和可溶性糖含量,说明在土壤中适量的添加生物炭能够改善番茄果实的品质<sup>[44]</sup>。此外,伴生可明显改善蔬菜果实品质<sup>[45-46]</sup>。周东兴等研究发现,施用蚯蚓粪能够提高维生素 C、可溶性糖和可溶性固形物含量<sup>[47]</sup>。吴兴洪在猕猴桃园研究发

现,与单施化肥相比,翻压黑麦草 15% ~ 45% 提高了可溶性固形物、维生素 C、可溶性糖含量,分别提高了 3.03% ~ 8.43%、9.75% ~ 18.92% 和 4.60% ~ 19.17%<sup>[48]</sup>。本研究中,B + V + T 处理的可溶性糖含量最高,相比于对照提高了 23.91%;B + T 处理有机酸含量显著高于其他处理;而维生素 C 含量中,除 B + T 处理外,B + V + T 处理显著高于其他处理;相比于 B 处理,B + V、B + T、B + V + T 处理的可溶性固形物含量均有提高,B + T 处理可溶性固形物含量显著高于其他处理。与 V、T 处理相比较,B + V、B + T、V + T、B + V + T 处理的可溶性糖和维生素 C 含量均有所提高,这充分证明了单一地增施生物炭、蚯蚓粪、覆盖三叶草的果实品质显然不如 2 种措施结合施用的好。与对照相比,不同的土壤改良措施均不同程度地提高了番茄品质,其中生物炭、蚯蚓粪和三叶草三者配施处理下的番茄果实综合品质较优。

### 3.3 不同土壤改良措施对番茄产量的影响

产量是作物生产力的体现,通过增施生物炭、蚯蚓粪和覆盖三叶草可降低土壤重金属含量,从而提高土壤酶活性,达到改善土壤环境、提高土壤养分利用率的目的,进而提高番茄的产量。已有研究表明,在土壤中适量增施生物炭可以优化番茄根系形态,显著提高番茄产量<sup>[49]</sup>。生物炭疏松多孔,具有较大的孔隙度,改变了土壤的孔隙分布,增加了土壤的微孔孔隙率,从而促进根系的生长,有利于提高产量<sup>[50]</sup>。蚯蚓粪可以持续地为番茄提供其所需营养,提高植物的光合作用和根系活力,促进植株对养分的吸收,从而提高番茄的产量和品质<sup>[51-52]</sup>。杨冬艳等研究发现,在樱桃番茄根际种植三叶草后,樱桃番茄根际生态环境发生了显著的改变,通过作物之间的相互作用,增加土壤微生物活性,改善番茄根际土壤酶环境,减轻根际土壤速效磷钾养分的富集,提高了土壤养分的利用率,增加了果实品质和产量<sup>[53]</sup>。本研究中,番茄产量差异不显著,与对照相比各处理均有所增加,以生物炭、蚯蚓粪、覆盖三叶草处理为基准,分别比较其对应的两两混施处理发现,单一施用某一种改良措施的效果不如 2 种措施结合施用,其中以 B + V + T 处理三者配施的产量最高,说明生物炭、蚯蚓粪和覆盖作物不仅能促进植株对养分的吸收,还可以提高番茄的产量。

综上所述,不同土壤改良措施对番茄的生长发

育具有促进作用。添加生物炭、蚯蚓粪和覆盖作物三叶草可以在不同程度上改善土壤理化性质,提高番茄产量和品质。B + V + T 处理显著提高了土壤全氮和有机质含量,与对照相比分别提高了 40.91%、13.24%;V + T 处理显著提高了土壤 pH 值及全磷、全钾含量。B + V 处理的过氧化氢酶和蔗糖酶活性最高,B + V + T 处理的脲酶活性最高,与 CK 处理相比脲酶活性提高了 49.93%,V + T 处理的纤维素酶活性最高。B + V + T 处理 Pb、Cd、Cr、Hg 元素的含量均最低;B + V + T 处理的可溶性糖含量最高,为 0.57 g/kg,CK 处理最低,与 CK 处理相比提高了 23.91%;B + V + T 处理维生素 C 含量最高,为 29.99 mg/100 g,CK 处理最低;B + T 处理可溶性固形物含量显著高于其他处理,为 5.00%;B + V + T 处理的番茄产量最高,为 3 970.22 kg/667 m<sup>2</sup>,与 CK 处理相比增加了 36.57%。总的来说,生物炭、蚯蚓粪和覆盖三叶草这三者配施改善了土壤理化性质,降低了土壤重金属含量,提高了土壤酶活性,提高了番茄的品质和产量。

### 参考文献:

- [1] 蒋卫杰,邓杰,余宏军. 设施园艺发展概况、存在问题与产业发展建议[J]. 中国农业科学,2015,48(17):3515-3523.
- [2] 李少杰,王红梅,曹云娥. 蚯蚓粪对设施甜瓜土壤微生物特性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(10):286-290.
- [3] 王晓莉,张天文,尹翠,等. 设施土壤处理方式对辣椒生长发育及土壤特性的影响[J]. 河南农业大学学报,2020,54(1):38-43,63.
- [4] 王芳,张金水,高鹏程,等. 不同有机物料培肥对渭北旱塬土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(3):702-709.
- [5] 张燕. 不同土壤处理对设施土壤中微生物生物量的影响[J]. 中国农学通报,2018,34(26):90-98.
- [6] 孔祥清,韦建明,常国伟,等. 生物炭对盐碱土壤理化性质及大豆产量的影响[J]. 大豆科学,2018,37(4):647-651.
- [7] 李影,李斌,刘芳,等. 生物炭配施有机菌肥对豫中烤烟生长与产量及品质的影响[J]. 河南农业大学学报,2019,53(1):34-41,48.
- [8] 陆萍,陈宇佳,张蓉,等. 蚯蚓粪有机肥在草莓上的应用效果研究[J]. 现代农业科技,2021(2):29-30,37.
- [9] 崔丽娟. 蚯蚓粪对土壤主要微生物学特性影响的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2012.
- [10] Atiyeh R M, Lee S, Edwards C A, et al. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth[J]. Bioresource Technology,2002,84(1):7-14.
- [11] 吕卫光,余廷园,诸海涛,等. 黄瓜连作对土壤理化性状及生物活性的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2006,14(2):119-

- 121.
- [12] 费颖恒, 黄 艺, 严昌荣, 等. 大棚种植对农业土壤环境的胁迫[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 243–247.
- [13] 潘晓莹, 武继承. 水肥耦合效应研究的现状与前景[J]. 河南农业科学, 2011, 40(10): 20–23.
- [14] 柳美玉, 曹红霞, 杜贞其, 等. 营养液浓度对番茄营养生长期干物质累积及养分吸收的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(4): 119–126, 133.
- [15] 曹 锐. 覆盖作物栽培对土壤质量的影响[J]. 水土保持应用技术, 2019(3): 10–12.
- [16] 曹卫东, 包兴国, 徐昌旭, 等. 中国绿肥科研60年回顾与未来展望[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1450–1461.
- [17] 李子双, 廉晓娟, 王 薇, 等. 我国绿肥的研究进展[J]. 草业科学, 2013, 30(7): 1135–1140.
- [18] 耿赛男. 豆科绿肥对旱地紫色土地力提升的机理研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015.
- [19] 张华峰, 胡建成, 黄巨富. 生物固氮在农业中的应用现状与展望[J]. 自然杂志, 2002, 24(3): 135–138.
- [20] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [21] 赵世杰. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [22] 朱红艳, 杨 岚, 王琴, 等. 不同生育期营养供给方法对设施番茄生长、品质及产量的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 24–33.
- [23] Harris K, Gaskin J, Cabrera M, et al. Characterization and mineralization rates of low temperature peanut hull and pine chip biochars[J]. *Agronomy*, 2013, 3(2): 294–312.
- [24] Hammer E C, Balogh – Brunstad Z, Jakobsen I, et al. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 77: 252–260.
- [25] 单 颖, 赵凤亮, 林 艳, 等. 蚯蚓粪对土壤环境质量和作物生长影响的研究现状与展望[J]. 热带农业科学, 2017, 37(6): 11–17.
- [26] 吴军虎, 邵凡凡, 刘 侠. 蚯蚓粪对土壤团聚体组成和入渗过程水分运移的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(3): 81–87.
- [27] Goswami L, Nath A, Sutradhar S, et al. Application of drum compost and vermicompost to improve soil health, growth, and yield parameters for tomato and cabbage plants [J]. *Journal of Environmental Management*, 2017, 200: 243–252.
- [28] Wei H, Xiang Y Z, Liu Y, et al. Effects of sod cultivation on soil nutrients in orchards across China: a meta – analysis[J]. *Soil and Tillage Research*, 2017, 169: 16–24.
- [29] 沈 汉, 邹国元. 菜地土壤评价中参评因素的选定与分级指标的划分[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 553–557.
- [30] 曹云娥. 秸秆生物反应堆和堆肥改善微咸水灌溉下设施土壤和黄瓜生长的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- [31] 王 涛, 段积德, 王锦霞, 等. 生物炭对土壤重金属的修复效应研究进展[J]. 湖南生态科学学报, 2020, 7(3): 55–65.
- [32] Lehmann J, Rillig M C, Thies J, et al. Biochar effects on soil biota—A review[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(9): 1812–1836.
- [33] 赵 军. 生物质炭基氮肥对土壤微生物量碳氮、土壤酶及作物产量的影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [34] Jin H Y. Characterization of microbial life colonizing biochar and biochar – amended soils[D]. New York: Cornell University, 2010.
- [35] 李思聪. 不同植物对典型重金属污染沉积物的修复及效果评价[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [36] 张 奇, 张振华, 卢 信. 生物有机肥施用对黄泛冲积区贫瘠土壤养分、酶和微生物多样性的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(2): 325–335.
- [37] 陈玲玲. 土壤酶活性对土壤重金属污染的指示研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2012.
- [38] 梅 闯, 王 衡, 蔡昆争, 等. 生物炭对土壤重金属化学形态影响的作用机制研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(4): 421–429.
- [39] 候月卿, 赵立欣, 孟海波, 等. 生物炭和腐殖酸类对猪粪堆肥重金属的钝化效果[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 205–215.
- [40] 唐玉清, 郭菊美, 戴嘉澳, 等. 蚯蚓及其体腔液生化成分分析[J]. 江西医学院学报, 1988, 28(1): 6–8.
- [41] 孙伦涛, 储 燕, 邵 将, 等. 蚯蚓分泌液在植物修复重金属污染土壤中的应用[J]. 安徽农学通报, 2020, 26(16): 155–157.
- [42] Jones D L. Organic acids in the rhizosphere – a critical review[J]. *Plant and Soil*, 1998, 205: 25–44.
- [43] 吴 珏, 李建勇, 郭欣欣. 生物炭对设施菜田土壤理化性状及番茄生长的影响[J]. 蔬菜, 2020(4): 25–30.
- [44] 曹雪娜. 生物炭对设施土壤养分及作物生长的影响初探[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [45] 张晓梅, 李 江. 不同伴生栽培对黄瓜植物学性状及产量品质的影响[J]. 青海大学学报, 2019, 37(2): 42–46.
- [46] 刘 静, 吴凤芝, 吕 涛. 设施条件下不同轮套作对黄瓜产量及品质的影响[J]. 北方园艺, 2008(12): 44–46.
- [47] 周东兴, 申雪庆, 周逢仁, 等. 蚯蚓粪对番茄农艺性状和品质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2012, 43(11): 28–33.
- [48] 吴兴洪. 猕猴桃果园适宜绿肥筛选及其对土壤养分、猕猴桃产质量的影响[D]. 贵阳: 贵州大学, 2019.
- [49] 勾芒芒, 屈忠义. 土壤中施用生物炭对番茄根系特征及产量的影响[J]. 生态环境学报, 2013, 22(8): 1348–1352.
- [50] 杜兵杰, 曹红霞, 潘小燕, 等. 生物炭对亏缺灌溉下温室重壤土栽培番茄产量及品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(4): 136–142.
- [51] Truong H D, Wang C H. Effects of different combination of vermicompost on growth, yield, and fruit quality of two tomato varieties under greenhouse conditions[J]. *Journal of Agricultural Science*, 2015, 7(11): 216–224.
- [52] 刘学才, 陈 玲, 李胜奇, 等. 施蚯蚓粪对日光温室土壤及番茄产量与品质的影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32(2): 549–556.
- [53] 杨冬艳, 郭文忠, 曲继松, 等. 套种三叶草对日光温室樱桃番茄生长及根际土壤环境的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(6): 108–111, 128.