

董丽华,游宏建,雍艳霞,等.不同蚯蚓堆肥方式配施生物炭对设施土壤肥力水平及西瓜产量和品质的影响[J].江苏农业科学,2023,51(18):163-170.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.18.024

不同蚯蚓堆肥方式配施生物炭对设施土壤肥力水平及西瓜产量和品质的影响

董丽华²,游宏建¹,雍艳霞³,兰正芳¹,马 兰¹,张美君¹,申佳丽¹,安明远¹,魏彦凤¹,曹云娥¹

(1.宁夏大学葡萄酒与园艺学院,宁夏银川 750021; 2.宁夏科技发展战略和信息研究所,宁夏银川 750002;

3.宁夏回族自治区吴忠市红寺堡区农业农村局,宁夏吴忠 751100)

摘要:为研究蚯蚓原位堆肥配施生物炭和异位堆肥配施生物炭对改良土壤的效果,提出一种显著改善土壤质量及增加作物产量品质的堆肥应用方式。此试验在宁夏贺兰产业园内连续 3 年连作的设施土壤中实施,供试西瓜品种为黄金宝。试验设计 7 个处理:对照(CK),未添加蚯蚓原位堆肥与生物炭;T1,蚯蚓原位堆肥;T2,蚯蚓异位堆肥(以牛粪为基肥,将蚯蚓置于其中,消解所得的产物即为蚯蚓粪,而后均匀撒在栽培垄上);T3,蚯蚓原位堆肥 + 生物炭 1.5 t/hm²;T4,蚯蚓异位堆肥 + 生物炭 1.5 t/hm²;T5,蚯蚓原位堆肥 + 生物炭 3.0 t/hm²;T6,蚯蚓异位堆肥 + 生物炭 3.0 t/hm²。异位堆肥处理为每一茬均匀撒施蚯蚓腐熟的蚯蚓粪,原位堆肥处理只在试验开始前引入蚯蚓,之后只施加牛粪。结果表明:蚯蚓原位堆肥配施生物炭和异位堆肥配施生物炭均显著降低了土壤的 pH 值、EC 值,提高了土壤速效氮、速效磷、速效钾和有机质的含量,并且提高了土壤脲酶、蔗糖酶、磷酸酶和过氧化氢酶的活性($P < 0.05$)。其也能促进植株生长,提高叶片的光合作用,提高西瓜果实中可溶性糖、可溶性固形物、维生素 C 的含量,并且使果实中有机酸和硝酸盐的含量下降。相较于蚯蚓异位堆肥,原位堆肥在提升土壤肥力水平、西瓜产量和品质方面效果更优,经过隶属函数分析,T5 处理最好,也就是蚯蚓原位堆肥配施生物炭 3.0 t/hm²。因此,在生产实践中推荐使用蚯蚓原位堆肥。

关键词:设施土壤;蚯蚓堆肥;生物炭;土壤肥力;西瓜品质

中图分类号:S651.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)18-0163-07

目前,以日光温室和塑料大棚为代表的设施蔬菜生产已经成为我国蔬菜供应不可或缺的方式^[1]。但是,设施蔬菜生产也是一种强烈的人为干预的蔬菜生产模式,化肥、畜禽便等有机肥的过量施用,农药、激素的滥用以及多年的连作,会对设施栽培土壤产生不良影响,如营养元素比例失衡、土壤盐渍化等^[2-3]。

生物炭(biochar)有较大的比表面积,官能团丰富,并且离子交换能力强,从而具有高效的土壤改良作用^[4]。研究发现配施高量生物炭可有效促进土壤养分固持,配施低量生物炭可显著提高玉米单株干物质积累^[5]。李大伟等研究表明,土壤添加生物炭可显著提高番茄产量和氮素利用率^[6]。生物炭的添加在一定程度上也可以缓解土壤退化,并且

提高作物的产量和品质。

蚯蚓堆肥(vermicompost)是一种仿造自然、高效且实用的堆肥方式,通过这种方式产生的蚯蚓粪可以调节土壤的性质与结构,在减少水土流失、增加土壤肥力、保持土壤碳平衡、调节土壤的 pH 值等方面效果显著^[7]。蚯蚓粪的主要成分是通过蚯蚓分泌物之间的反应所形成的腐殖质,其中蚯蚓粪中腐殖质的含量可高达 10%~25%,且腐殖质不仅可为作物生长和发育提供营养,还能持续改善土壤养分结构和阳离子交换能力^[8-9]。蚯蚓粪中腐殖质的强度还可以固定更换可交换态重金属,持续降低土壤重金属的有效性^[10]。但是关于不同蚯蚓堆肥方式与生物炭协调作用对土壤养分和植株生长方面影响的研究较少。所以,本试验在连作 3 年的日光温室土壤内,研究不同蚯蚓堆肥处理方式和不同生物炭比例质配对设施土壤肥力状况、西瓜产量及品质的影响,旨在利用蚯蚓堆肥和生物炭联合处理下的新型栽培模式为设施蔬菜的无公害生产提供科学与理论依据。

收稿日期:2022-11-07

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划(编号:2021BBF02005)。

作者简介:董丽华(1979—),女,江苏丰县人,硕士,副研究员,主要从事农业科技评估工作。E-mail:dlh_1@163.com。

通信作者:曹云娥,博士,教授,主要从事设施蔬菜营养和土壤微生物生态调控研究。E-mail:caohua3221@163.com。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2021 年 3—7 月在宁夏贺兰宁夏园艺产业园 (106°16'E, 38°20'N) 的日光温室 (温室长 80 m, 跨度 9 m, 脊高 3.7 m) 进行, 园区内年降水量 180~200 mm, 其中降水量约 80% 都集中在 6—8 月, 年平均气温 8.5℃, 无霜期 185 d 左右, 具有典型的大陆性气候特点^[11]。

试验供试西瓜品种为黄金宝, 蚯蚓为赤子爱胜蚓, 由宁夏万辉生物环保科技有限公司提供; 供试的蚯蚓粪由宁夏万辉生物有限公司提供; 供试生物炭, 由上海海诺炭业有限公司提供。基本养分如表 1 所示。

表 1 供试材料的基本养分含量

供试材料	pH 值	EC 值 (mS/cm)	速效氮 含量 (mg/kg)	速效磷 含量 (mg/kg)	速效钾 含量 (mg/kg)	有机质 含量 (g/kg)
沙壤土	7.42	0.37	3.13	7.59	71.89	9.44
蚯蚓粪	7.88	1.92	149.14	326.73	372.65	163.97
生物炭	9.28	9.28	102.85	675.29	417.66	535.14

1.2 试验设计

蚯蚓原位堆肥处理^[12]是笔者所在课题组经过长期研究发明出来的一种新型栽培模式: 每个小区设置 2 条垄, 均宽 0.4 m, 长 7.0 m。分别作为种植垄和养殖垄, 养殖垄用腐熟 1 个月后的牛粪 (179.4 t/hm²) 作为蚯蚓培育垄, 蚯蚓投放量 1.76 t/hm², 垄上布置 2 条滴灌带, 滴头间距 0.3 m, 每日滴水, 使养殖垄湿度达到 55% 即可; 种植垄是利用蚯蚓将牛粪及蔬菜秸秆腐熟后产生的蚯蚓粪做栽培基质。每一茬拉秧结束后, 将种植垄与养殖垄互换, 蚯蚓会随着滴灌水源进行切换, 移动到另一侧, 无需再次投放蚯蚓。而蚯蚓异位堆肥是将已经腐熟好的蚯蚓粪直接均匀地撒施在栽培垄上, 按照垄高 0.2 m, 宽 0.4 m, 长 7.0 m 进行根区土壤替代。

试验采用单因素随机区组设计, 设计 7 个处理, 每个处理种植 3 垄, 1 垄 30 株。具体试验设计如下, 对照 (CK): 未添加蚯蚓原位堆肥与生物炭; T1: 蚯蚓原位堆肥; T2: 蚯蚓异位堆肥 (以牛粪为基肥, 将蚯蚓置于其中, 消解所得的产物即为蚯蚓粪, 而后均匀撒在栽培垄上); T3: 蚯蚓原位堆肥 + 生物炭 1.5 t/hm²; T4: 蚯蚓异位堆肥 + 生物炭 1.5 t/hm²; T5: 蚯蚓原位堆肥 + 生物炭 3.0 t/hm²; T6: 蚯蚓异位

堆肥 + 生物炭 3.0 t/hm²。整个种植期间, 采用水肥一体化滴管装置进行水肥管理。定植后, 采用园试配方 1/2 倍液进行灌溉。灌溉上限和下限分别为基础土样田间持水量的 90% 和 70%^[13]。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤理化性状指标测定 分别于拉秧期采用五点取样法采集各处理 0~20 cm 耕层基质样品, 自然风干, 除去杂物, 经充分混匀, 过 2 mm 筛后, 测定土壤理化指标^[14]。土壤养分指标及土壤酶活性指标参考《土壤农化分析》^[15]进行测定。

1.3.2 西瓜光合作用的测定 西瓜定植 40 d 后, 在 09:00—11:00 测定西瓜功能叶的净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、对水汽的气孔导度 (G_s) 和胞间二氧化碳浓度 (C_i)。每个处理重复 3 次, 以 LED 为光源, 用 PPSystems 公司生产的 CIRAS-3 光合测定仪测定, 测定条件为光照度 1 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 二氧化碳浓度为 $(410 \pm 10) \mu\text{mol}/\text{mol}$ ^[16]。

1.3.3 西瓜果实产量与品质指标的测定 在果实成熟期, 分别从每个处理中采收 6 个果实, 记录不同小区西瓜的产量, 按照小区面积折合为每公顷的最终产量, 并测定果实品质。果实品质指标的测定参考《植物生理学实验指导》^[17]。

1.4 数据处理

数据统计采用 Excel 2021, 数据分析采用 SPSS 20.0 和 Origin 2018。计算各不同处理对西瓜生长及生理特性标准化后数据的综合指标的隶属函数值^[18]。用 SPSS 软件进行主成分分析、相关性分析和数据标准化处理, 得出因子得分系数矩阵与权重 (W_n), 计算综合评价 F 值。

2 结果与分析

2.1 不同蚯蚓堆肥配施生物炭对土壤理化性状和酶活性的影响

2.1.1 土壤理化性状 如表 2 所示, 蚯蚓原位堆肥 (T1、T3、T5) 和异位堆肥 (T2、T4、T6) 处理下土壤 pH 值显著降低, EC 值显著升高, 说明蚯蚓堆肥均可显著降低土壤的 pH 值, 缓解土壤的盐渍化问题。相较于 CK, 经过蚯蚓堆肥配施生物炭后, 土壤的速效氮、速效磷、速效钾、有机质含量显著增加, 且最高值均出现在 T5 处理, 相较于 CK, T5 处理的速效氮、速效磷、速效钾、有机质含量分别提高了 168.37%、78.29%、73.21%、390.36%。而且, 在等量生物炭的添加下, 相较于蚯蚓异位堆肥, 蚯蚓原

表 2 不同蚯蚓堆肥配施生物炭对土壤理化性状的影响

处理	pH 值	EC 值 (mS/cm)	速效氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	有机质 (g/kg)
CK	8.02 ± 0.05a	0.84 ± 0.05e	90.27 ± 12.21e	450.27 ± 28.97d	365.22 ± 21.33e	13.18 ± 2.77c
T1	7.18 ± 0.05bc	2.22 ± 0.31d	171.46 ± 21.61d	611.98 ± 22.24bc	448.00 ± 17.24c	40.37 ± 3.63bc
T2	7.56 ± 0.06b	1.98 ± 0.04d	153.66 ± 18.92de	589.31 ± 33.14c	409.31 ± 14.01d	35.62 ± 1.83bc
T3	6.77 ± 0.24d	4.32 ± 0.07a	231.73 ± 43.23b	798.89 ± 43.92a	496.79 ± 12.08bc	61.42 ± 4.57ab
T4	6.93 ± 0.01c	3.24 ± 0.20bc	225.21 ± 32.80c	622.73 ± 28.28bc	488.88 ± 8.23bc	50.88 ± 6.12b
T5	6.89 ± 0.07c	3.59 ± 0.20b	242.26 ± 33.23a	802.77 ± 28.50a	632.59 ± 16.46a	64.63 ± 6.11a
T6	7.11 ± 0.02bc	2.96 ± 0.13c	221.46 ± 21.61c	702.30 ± 37.40b	535.02 ± 33.79b	52.48 ± 1.05b

注:数据后不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平下差异显著, $n = 3$ 。表 2、表 3 同。

位堆肥提高土壤养分的能力更明显,且蚯蚓原位堆肥无需每一茬定植前重新投放蚯蚓,其堆肥的制作和使用成本也大大降低。

2.1.2 土壤酶活性 通过蚯蚓堆肥配施生物炭处理,可以活化土壤中的微生物,从而直接或间接地提高了土壤的酶活性。如表 3 所示,通过不同蚯蚓

堆肥配施生物炭显著增加了土壤的酶活性 ($P < 0.05$),其中,最高值均出现在 T5 处理,相较于 CK, T5 处理的脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和磷酸酶活性分别提高了 176.80%、68.66%、31.71%、388.35%。相较于蚯蚓异位堆肥,在同等生物炭的添加下,蚯蚓原位堆肥提升土壤酶活性的效果更明显。

表 3 不同蚯蚓堆肥配施生物炭对土壤酶活性的影响

处理	脲酶活性 [mg/(d·g)]	蔗糖酶活性 [mg/(d·g)]	过氧化氢酶活性 [mg/(d·g)]	磷酸酶活性 [mg/(g·20 min)]
CK	251.34 ± 11.72d	388.92 ± 15.83d	1.23 ± 0.03d	11.85 ± 1.33d
T1	343.11 ± 18.61c	482.50 ± 7.07c	1.43 ± 0.02b	26.31 ± 2.08c
T2	296.83 ± 19.64d	403.40 ± 18.21d	1.34 ± 0.14c	19.88 ± 3.64d
T3	450.46 ± 31.23b	649.09 ± 2.03a	1.50 ± 0.014ab	40.32 ± 3.50bc
T4	375.38 ± 27.48c	548.67 ± 2.30b	1.45 ± 0.02b	34.29 ± 1.97bc
T5	695.72 ± 19.34a	655.94 ± 11.40a	1.62 ± 0.017a	57.87 ± 3.98a
T6	624.07 ± 16.49ab	601.82 ± 8.36ab	1.48 ± 0.004b	45.59 ± 5.34b

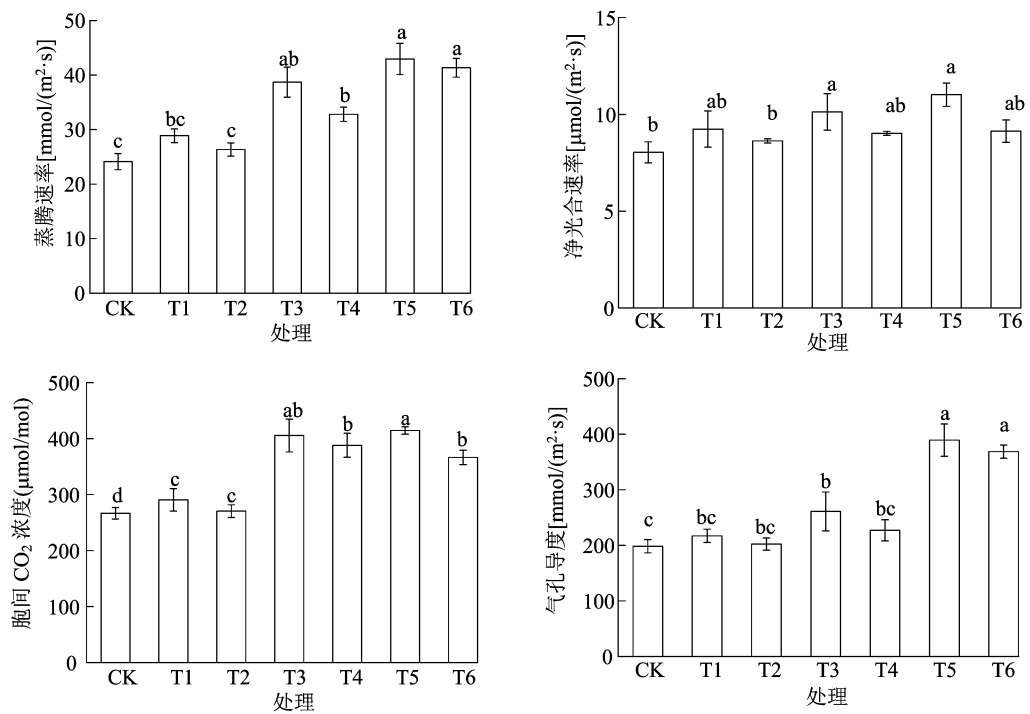
2.2 不同蚯蚓堆肥配施生物炭对西瓜叶片光合作用的影响

通过不同蚯蚓堆肥方式处理后,可显著改善土壤的肥力状况,进而影响西瓜植株吸收的养分,直接或间接地提高植物的光合作用。由图 1 可知,相较于 CK,经过蚯蚓原位堆肥配施生物炭后,西瓜叶片的净光合速率、对水汽的气孔导度、蒸腾速率和胞间二氧化碳浓度均显著增加,其中,西瓜叶片的蒸腾速率相较于 CK, T1 ~ T6 分别提高了 19.50%、9.13%、60.58%、36.10%、78.01%、71.37%;净光合速率分别比 CK 提高了 14.92%、7.34%、26.00%、12.23%、37.06%、13.58%;胞间二氧化碳的浓度分别比 CK 提高了 9.00%、1.39%、52.06%、45.53%、55.43%、37.43%;对水汽的气孔导度分别比 CK 提高了 9.44%、1.90%、31.57%、14.43%、96.30%、85.86%。

2.3 不同蚯蚓堆肥配施生物炭对西瓜植株养分及生物量的影响

2.3.1 对西瓜植株养分的影响 蚯蚓堆肥是通过蚯蚓消解牛粪或秸秆产生蚯蚓粪,提高土壤的肥力水平,从而影响西瓜植株养分的吸收。由表 4 可知,通过不同蚯蚓堆肥配施生物炭后,相较于 CK,西瓜植株的全氮、全磷、全钾含量均有不同程度的增加,且差异显著 ($P < 0.05$),其中,植株全氮含量相较于 CK, T1 ~ T6 分别提高了 34.49%、16.52%、61.44%、45.51%、66.96%、41.16%;全磷含量分别提高了 46.22%、26.22%、61.33%、53.78%、154.22%、92.44%;全钾含量分别提高了 28.39%、11.86%、183.05%、144.49%、188.56%、150.00%。在同等生物炭的添加下,蚯蚓原位堆肥对于植株养分的增加效果优于蚯蚓异位堆肥。

2.3.2 对西瓜植株生物量的影响 如图 2 所示,不



柱上不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平下差异显著, $n=3$ (下同)
图1 不同蚯蚓堆肥配施生物炭处理对西瓜叶片光合作用的影响

表 4 不同蚯蚓堆肥配施生物炭对西瓜植株养分的影响

处理	全氮含量 (%)	全磷含量 (%)	全钾含量 (%)
CK	3.45 ± 0.31c	2.25 ± 0.14d	2.36 ± 0.13d
T1	4.64 ± 0.21b	3.29 ± 0.18bc	3.03 ± 0.22c
T2	4.02 ± 0.14bc	2.84 ± 0.21c	2.64 ± 0.19cd
T3	5.57 ± 0.16a	3.63 ± 0.49bc	6.68 ± 0.22a
T4	5.02 ± 0.08ab	3.46 ± 0.24bc	5.77 ± 0.39b
T5	5.76 ± 0.08a	5.72 ± 0.67a	6.81 ± 1.03a
T6	4.87 ± 0.08ab	4.33 ± 0.05b	5.90 ± 0.90ab

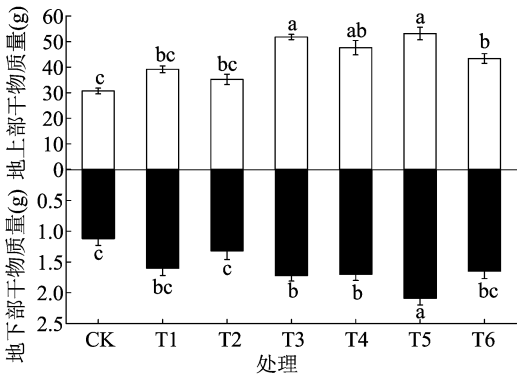


图2 不同蚯蚓堆肥配施生物炭对西瓜植株生物量的影响

同蚯蚓堆肥处理配施生物炭对西瓜植株的地上部和地下部生物量有显著影响 ($P<0.05$)。其中,与对照相比,地上部生物量 T1 ~ T6 分别提高了

27.36%、14.66%、68.73%、55.05%、72.96%、41.04%,地下部生物量分别提高了 42.86%、17.86%、53.57%、51.79%、86.61%、47.32%,且蚯蚓原位堆肥处理优于异位堆肥。

2.4 不同蚯蚓堆肥配施生物炭对西瓜品质和产量的影响

由图 3 可知,相较于 CK,蚯蚓原位堆肥 (T1、T3、T5) 和异位堆肥 (T2、T4、T6) 处理下,西瓜维生素 C、可溶性固形物、可溶性糖含量和西瓜产量显著增加,有机酸和硝酸盐含量显著降低。其中,相较于 CK,维生素 C、可溶性固形物含量的增幅在 0.91% ~ 110.11% 不等,可溶性糖含量 T3 ~ T6 的增幅在 4.13% ~ 50.52% 不等,有机酸和硝酸盐含量的降幅在 9.06% ~ 47.96% 不等;对于西瓜的产量来说,T1 ~ T6 分别比 CK 提高了 31.90%、17.74%、31.65%、35.63%、68.65%、47.72%。说明不同的蚯蚓堆肥处理配施生物炭显著提高了西瓜的品质和产量,且相较于不同蚯蚓堆肥,蚯蚓原位堆肥处理的果实品质和产量整体优于蚯蚓异位堆肥。

2.5 不同蚯蚓堆肥配施生物炭处理间的隶属函数分析

在主成分分析的基础上,为更直观反映不同蚯蚓堆肥处理配施生物炭对土壤养分和西瓜植株产量和品质的影响,进一步分析了综合指标及隶属函

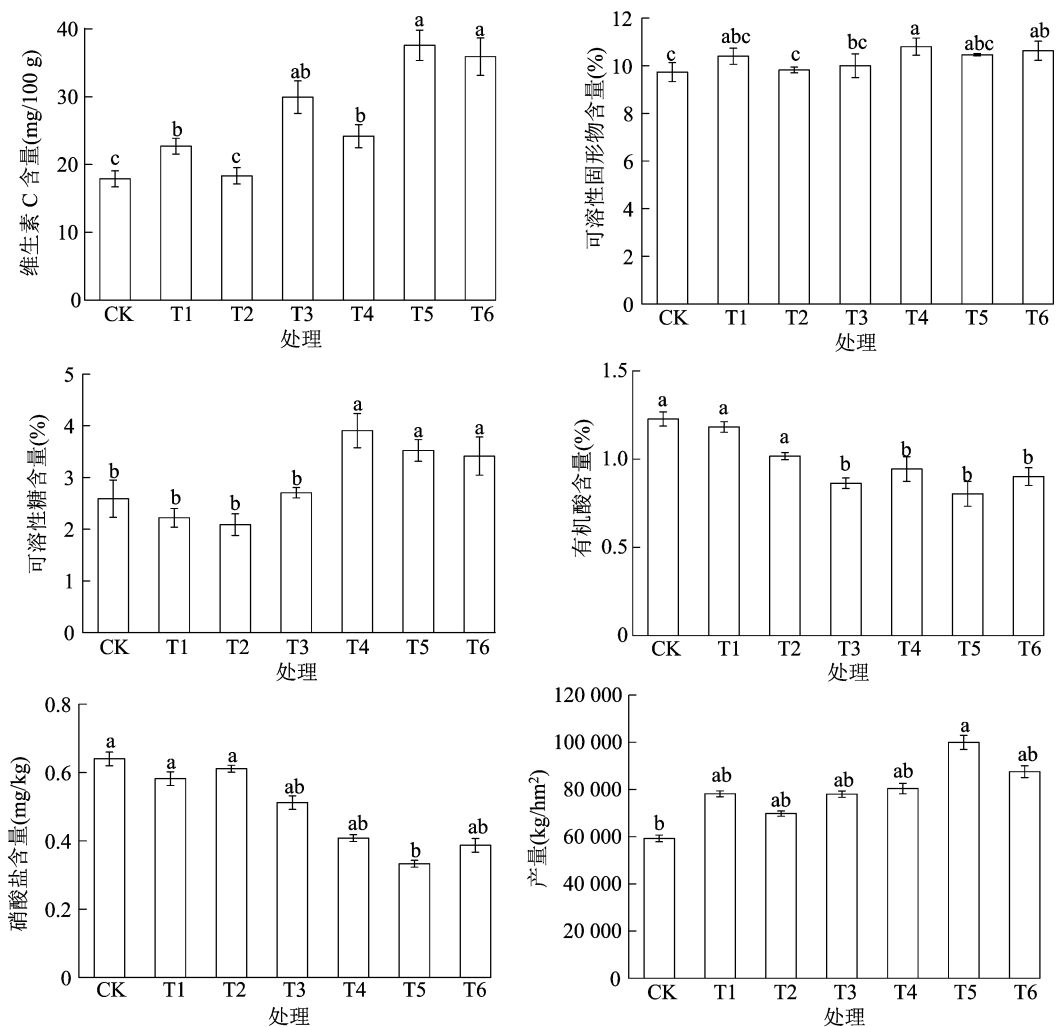


图3 不同蚯蚓堆肥配施生物炭对西瓜品质和产量的影响

数,结果如表 4 所示。利用模糊隶属函数分析方法全面、客观地反映不同蚯蚓堆肥处理配施生物炭对土壤养分和西瓜植株产量和品质的影响,并根据 *D* 值得出综合排名,综合排名为 T5 > T3 > T4 > T6 > T1 > T2 > CK,说明蚯蚓原位堆肥配施生物炭处理效果优于蚯蚓异位堆肥配施生物炭。

3 讨论

3.1 不同蚯蚓堆肥配施生物炭处理可改善土壤肥力水平和理化性状

本研究发现,通过添加蚯蚓堆肥所产生的蚯蚓粪和生物炭显著降低了土壤的pH值,增加了土壤

表 4 不同处理下西瓜植株和品质指标以及土壤指标的综合指标值、隶属函数值、权重、*D* 值

处理	综合指标值				隶属函数值				<i>D</i> 值	排序
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄		
CK	-6.37	-0.59	0.48	0.01	0.00	0.41	0.72	0.39	0.10	7
T1	-1.86	0.14	1.43	-0.30	0.38	0.61	1.00	0.29	0.43	5
T2	-3.47	1.16	-2.01	0.16	0.24	0.89	0.00	0.44	0.29	6
T3	2.37	1.54	0.70	-1.05	0.73	1.00	0.79	0.04	0.72	2
T4	1.27	-0.67	0.32	1.87	0.64	0.39	0.68	1.00	0.64	3
T5	5.59	0.51	-0.17	0.49	1.00	0.72	0.54	0.55	0.93	1
T6	2.48	-2.09	-0.76	-1.18	0.74	0.00	0.36	0.00	0.62	4
权重					0.81	0.07	0.06	0.05		

的 EC 值,提高了土壤中速效氮磷钾含量和有机质含量,且蚯蚓原位堆肥效果优于蚯蚓异位堆肥。而且,在同量生物炭的添加下,蚯蚓原位堆肥处理的 pH 值、EC 值低于蚯蚓异位堆肥处理,说明蚯蚓原位处理可以缓解部分土壤退化问题。Wang 等也发表过相似结论^[19]。蚯蚓原位堆肥能对连作土壤的肥力和理化性状起到一个很好的改善效果,得到这种结果有 2 个原因:一个是由于蚯蚓原位堆肥消解的牛粪富含有机质,而且随着其在土壤中的施加量越大,对土壤肥力的改善越明显。此外还能降低土壤容重、增加土壤孔隙度、提高土壤保持水肥能力等土壤物理性状;其次是因为蚯蚓的日常活动,不仅可以改变土壤质地,而且能够使土壤富含有机质,有利于作物根系延伸^[20]。此外,曹云娥等研究发现,蚯蚓堆肥中有益微生物数量显著高于土壤中有益微生物,而且蚯蚓原位堆肥中有益微生物丰度高于蚯蚓异位堆肥,有益微生物能够改善土壤的物理、化学和生物学性质,如促进土壤有机质的分解和养分的矿化,从而有利于植物对营养元素的吸收^[12]。本研究表明,不同蚯蚓堆肥配施生物炭处理均显著提高了土壤蔗糖酶、过氧化氢酶、脲酶和磷酸酶活性,土壤酶活性是影响土壤质量好坏的直接因素,其活性的强弱反映了土壤养分转化的强弱^[21-22]。已有研究表明,土壤中的大多数酶是由土壤中的微生物、植物根系以及土壤中其他生物细胞共同作用而产生的,如蔗糖酶、磷酸酶、过氧化氢酶等^[23-24],本研究中添加蚯蚓堆肥所产生的蚯蚓粪和生物炭处理可显著增加土壤微生物的丰度和多样性,并且蚯蚓粪和生物炭释放的可溶性组分,与微生物发生反应,从而使土壤微生物分泌土壤酶的含量及活性有所差异^[25]。因此,蚯蚓堆肥和生物炭的添加,可以活化土壤酶活性,促进微生物的活动,并且蚯蚓原位堆肥省略了每次添加蚯蚓这一步骤,从而使其堆肥的制作时间和成本大大降低(无需占地和二次运输)。

3.2 不同蚯蚓堆肥配施生物炭处理提高西瓜的光合作用和生物量

植物光合作用是将所吸收的光能转化为植物本身能够利用的化学能的过程^[26],其直接反映了植株对逆境的响应能力^[27]。本研究表明,通过添加蚯蚓堆肥配施生物炭显著提高了叶片的气孔导度和胞间 CO₂ 浓度,原因可能是通过蚯蚓堆肥和生物炭改变了土壤中的水势,使得西瓜根系吸水能力增

强,叶片的气孔导度变大,蒸腾速率随之增大,而气孔导度变大又直接导致西瓜叶片胞间 CO₂ 的浓度变大。另外,通过蚯蚓堆肥和生物炭的添加,西瓜叶片的净光合速率明显提升,可能是由于蚯蚓堆肥和生物炭的添加,导致土壤孔隙增大,提高了土壤的透气性,从而改善了土壤养分的供应,使植株能更好地从土壤中汲取养分,促进植株更好地生长,这与前人研究结果^[28]一致。

本研究表明,通过不同的蚯蚓堆肥方式,添加生物炭后,均可以提高西瓜植株地上部和地下部的生物量。前人研究表明,通过添加蚯蚓堆肥所产生的蚯蚓粪和生物炭均可促进植物生长^[29]和干物质的积累^[30]。原因可能是:一方面通过生物炭的添加,促进了植株分泌生长素,使植物细胞扩增,进而促进生物量的积累^[31];另一方面,通过蚯蚓粪的添加持续改善土壤养分,并且蚯蚓粪含有较高的利于植物吸收的部分大量元素和微量元素^[32-33],改善西瓜植株根部周围环境的理化性质并促进根部吸收营养,从而导致西瓜生物量的增加。

3.3 不同蚯蚓堆肥配施生物炭处理提高西瓜植株的产量和品质

在本研究中,不同位置的蚯蚓堆肥配施不同量生物炭显著提高了西瓜植株的生理代谢,促进了植株的生长。原因可能是蚯蚓堆肥产生的蚯蚓粪中含有丰富的养分,将蚯蚓粪置于土壤后会使土壤中微生物的多样性以及土壤酶活性增加,可以持续改善土壤肥力状况,为西瓜植株持续提供营养成分,从而直接或间接地提高植株的光合作用,从而提高西瓜的产量和品质。Ievinsh 研究发现,蚯蚓粪中含有丰富的腐殖酸,而腐殖酸对植物生长和产量具有明显的改善作用,能够显著增加植株的株高、叶面积^[34]。陈玲玲等研究发现,蚯蚓粪中同样含有大量有机酸,当蚯蚓粪施入土壤后,有机酸能够促进土壤中某些不溶矿物的溶解,有利于植物对于营养元素的吸收,持续促进植株的生长发育^[35-36]。本研究中,蚯蚓堆肥配施生物炭处理都显著提高了西瓜果实品质,如可溶性糖、可溶性固形物和维生素 C 的含量,降低了有机酸和硝酸盐的含量。说明蚯蚓粪和生物炭的施入在提高西瓜品质方面具有良好效果,这与 Zaller 的研究结果^[37]一致。值得注意的是,蚯蚓原位堆肥对西瓜植株的生长、产量和品质提高效果优于蚯蚓异位堆肥,其原因是蚯蚓原位堆肥对土壤理化性质以及土壤酶活性的影响优于蚯

蚓异位堆肥,而土壤理化性质及土壤酶活性是直接或间接改善土壤细菌菌落的组成和提升连作土壤质量的原因。

4 结论

蚯蚓原位堆肥配施生物炭和蚯蚓异位堆肥配施生物炭处理均显著降低了土壤的 pH 值、EC 值,缓解了连作土壤的酸化和盐渍化程度;且提高了土壤养分及有机质的含量,促进了西瓜植株的生长,提高了西瓜植株的养分、产量和品质。通过隶属函数分析,T5 处理最好,也就是蚯蚓原位堆肥配施生物炭 3.0 t/hm²。

综上,不管是蚯蚓原位堆肥还是异位堆肥,均能显著改善土壤的肥力水平。蚯蚓原位堆肥相较于异位堆肥效果较好,且成本较低。因此,在生产上优先推荐使用蚯蚓原位堆肥。

参考文献:

- [1] Antwi F B, Reddy G V P. Toxicological effects of pyrethroids on non-target aquatic insects [J]. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2015, 40(3): 915–923.
- [2] 孙喜军,吕爽,高莹,等. 蚯蚓粪对作物连作障碍抑制作用研究进展[J]. *土壤*, 2020, 52(4): 676–684.
- [3] 翟伟伟. 畜禽废弃物堆肥过程中砷的形态转化规律及其微生物驱动机制研究[D]. 杭州:浙江大学, 2018: 2.
- [4] 王晓玲,赵泽州,任树鹏,等. 生物炭基肥在我国的制备和应用研究进展[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(1): 230–238.
- [5] 李欣雨,张川,闫浩芳,等. 生物炭和灌水量对土壤保水性及温室番茄生理特性的影响[J]. *排灌机械工程学报*, 2022, 40(3): 317–324.
- [6] 李大伟,周加顺,潘根兴,等. 生物质炭基肥施用对蔬菜产量和品质以及氮素农学利用率的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2016, 39(3): 433–440.
- [7] 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.
- [8] Liu J A, Zhang J, Chen X D, et al. Effects of N top-dressing modes of panicle fertilization on soil enzymes activity and yield of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *The Journal of Agricultural Science*, 2019, 157(2): 109–116.
- [9] 朱弘智. 土壤-灌溉水协同调控对设施土壤及黄瓜生长特性的影响[D]. 银川:宁夏大学, 2019: 21–27.
- [10] Matos G D, Arruda M A Z. Vermicompost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents [J]. *Process Biochemistry*, 2003, 39(1): 81–88.
- [11] 杨文霞,胡锋,李辉信,等. 城市有机混合垃圾的蚯蚓堆制处理试验研究[J]. *安全与环境学报*, 2011, 11(3): 95–99.

- [12] 曹云娥,尹翠,吴泽帅,等. 蚯蚓原位堆肥提升番茄连作土壤质量研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2022, 28(2): 247–259.
- [13] 常晨晨. 土壤-灌溉水协同处理对设施土壤特性、微生物多样性及黄瓜品质的影响[D]. 银川:宁夏大学, 2020: 9.
- [14] 刘吉青. 不同施肥措施对设施连作番茄植株生长和土壤肥力的影响研究[D]. 银川:宁夏大学, 2019: 7.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000: 65–312.
- [16] Boim A G F, Melo L C A, Moreno F N, et al. Bioconcentration factors and the risk concentrations of potentially toxic elements in garden soils[J]. *Journal of Environmental Management*, 2016, 170: 21–27.
- [17] 张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3版. 北京:高等教育出版社, 2003: 62–67.
- [18] 张文娥,王飞,潘学军. 应用隶属函数法综合评价葡萄种间抗寒性[J]. *果树学报*, 2007, 24(6): 849–853.
- [19] Wang X X, Zhao F Y, Zhang G X, et al. Vermicompost improves tomato yield and quality and the biochemical properties of soils with different tomato planting history in a greenhouse study[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 1978.
- [20] 于英钊,王冲,孙梦实,等. 蚯蚓-菌根互作对滨海盐碱土的改良作用[J]. *中国农业大学学报*, 2019, 24(5): 123–129.
- [21] 刘善江,夏雪,陈桂梅,等. 土壤酶的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(21): 1–7.
- [22] 朱兆龙,谷月,安韶山,等. 一种土壤搅拌破碎能量测定装置: CN205157555U[P]. 2016–04–13.
- [23] 高晓玲,徐晓燕,何应森. 不同耕作方式对园林土壤蛋白酶和化学性质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(7): 355–356.
- [24] 俞慎,何振立,黄昌勇. 重金属胁迫下土壤微生物和微生物过程研究进展[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(4): 618–622.
- [25] 李博文,刘洋,李宗霖,等. 生物炭对土壤酶活性影响的机理研究进展[J]. *材料导报*, 2022, 36(7): 163–168.
- [26] Wu Y Y, Xing D K. Effect of bicarbonate treatment on photosynthetic assimilation of inorganic carbon in two plant species of Moraceae[J]. *Photosynthetica*, 2012, 50(4): 587–594.
- [27] 叶子飘. 光合作用对光和 CO₂ 响应模型的研究进展[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(6): 727–740.
- [28] 刘祥,周洁,邓金华,等. 蚯蚓粪与化肥配施对红小豆生长与品质的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2022, 40(2): 181–188.
- [29] 胡建宇,郑恩楠. 生物炭对作物生长发育和土壤环境效应的影响综述[J]. *农业与技术*, 2021, 41(20): 31–35.
- [30] 李格,代快,李江舟,等. 烟秆生物炭与化肥配施对烟草生长及产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(3): 91–100.
- [31] 马海龙,刘忠华,段志平,等. 蚯蚓粪替代泥炭的栽培基质特性及对绿萝和吊兰花卉生长的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2021(5): 112–118.
- [32] 张雪莲,廖洪,李昌伟,等. 田间条件下生物炭与化肥配施对土壤氮磷纵向迁移、结球生菜产量品质及土壤微生物数量的影响[J]. *环境科学学报*, 2021, 41(1): 21–28.
- [33] 安明远,申佳丽,张文文,等. 生物炭对蚯蚓粪基质袋培番茄产

周宇曦,万瑞琪,涂淑萍.黄腐酸钾对圆齿野鸦椿苗木生长及抗逆性的影响[J].江苏农业科学,2023,51(18):170-176.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.18.025

黄腐酸钾对圆齿野鸦椿苗木生长及抗逆性的影响

周宇曦,万瑞琪,涂淑萍

(江西农业大学林学院,江西南昌 330045)

摘要:为了探究黄腐酸钾施用量对圆齿野鸦椿苗木生长及抗逆性的影响,以圆齿野鸦椿二年生盆栽苗为试验材料,于生长季节每月浇施 1 次不同稀释倍数(1 000、2 000、3 000、4 000 倍液)黄腐酸钾,研究它们对苗木生长、叶片叶绿素荧光参数及抗性生理的影响。利用皮尔逊相关分析法分析各指标间的相关性,并利用模糊数学中的隶属函数法对不同处理的苗木抗逆性进行综合评价。结果显示,浇施 3000 倍液黄腐酸钾溶液对促进圆齿野鸦椿苗木生长、提高苗木质量的效果最好,可以显著提高圆齿野鸦椿的苗高、地径增量以及苗木质量指数。此外,浇施 2 000~4 000 倍液黄腐酸钾溶液,均可显著提高圆齿野鸦椿叶片 PS II 实际光化学效率、光化学猝灭系数;浇施 1 000~4 000 倍液黄腐酸钾溶液,可以显著降低非光化学猝灭系数。随着黄腐酸钾浓度的升高,过氧化氢酶活性、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量均呈先升后降的变化趋势。隶属函数综合评价结果表明,浇施 3 000 倍液的黄腐酸钾对增强苗木抗逆性的效果最佳。得出结论,圆齿野鸦椿二年生苗以浇施 3 000 倍液的黄腐酸钾溶液最为适宜,即每次每加仑盆施用量为 0.083 g 时,对促进圆齿野鸦椿苗木生长、提高苗木抗逆性的效果最佳。

关键词:黄腐酸钾;生长;抗逆性;圆齿野鸦椿

中图分类号:S184 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)18-0170-07

黄腐酸属于腐殖酸的一种,其生物活性强,容易被植物吸收,在我国农业领域中得到了大范围的运用^[1-2]。黄腐酸钾是在黄腐酸的基础上,引入钾离子制成的有机复合钾肥^[3]。黄腐酸钾可以通过提高土壤肥力、改良土壤结构、维持植物水分平衡、提高抗氧化酶活性、降低植物体内有害离子含量等途径,促进植物生长、减少胁迫条件下植物受到的伤害。研究表明,施用黄腐酸钾可显著提高小白菜(*Brassica campestris*)、烟草(*Nicotiana tabacum* L.)等

作物在胁迫环境中的抗逆性^[4-6]。圆齿野鸦椿(*Euscaphis konishii* Hayata)为省沽油科野鸦椿属常绿小乔木,具有较高的观赏和药用价值,发展前景十分可观^[7-8]。但圆齿野鸦椿因抗寒性较弱,严重影响了该树种的推广应用范围。因此,研究合理施肥,以促进苗木生长、提高苗木抗逆性,具有十分重要的意义。目前,关于圆齿野鸦椿苗木施肥的研究,主要集中于氮、磷、钾肥的施用量及其配比对圆齿野鸦椿苗木生长及抗逆性的影响^[9-10]。曾还球研究有机肥、复合肥对圆齿野鸦椿幼苗生长的影响,通过对苗高、地径的测量比较,发现有机肥作为基肥对苗木生长的贡献更大^[11]。丁卉等通过圆齿野鸦椿施肥试验,研究了不同肥料之间的交互作用^[12]。目前,尚未见有关黄腐酸钾应用于圆齿野鸦椿苗木生产的研究报道。本研究通过对圆齿野鸦椿二年生盆栽苗浇施不同稀释倍数的黄腐酸钾溶

收稿日期:2022-12-21

基金项目:国家自然科学基金(编号:31960327);江西省林业局科技创新专项资金(编号:201812)。

作者简介:周宇曦(1997—),男,江西宜春人,硕士研究生,主要从事园林植物繁育与栽培研究。E-mail:zyxmtbz@163.com。

通信作者:涂淑萍,教授,主要从事园林植物繁育与栽培研究。E-mail:jxtsping@163.com。

量和品质的影响[J].农业科学研究,2022,43(2):7-12.

[34] Levinsh G. Vermicompost treatment differentially affects seed germination, seedling growth and physiological status of vegetable crop species[J]. Plant Growth Regulation, 2011, 65(1): 169-181.

[35] 陈玲玲. 蚓粪复合基质应用于康乃馨育苗的效果研究[D]. 扬州:扬州大学,2011:51-53.

[36] 陈 慧. 亚硒酸钠通过蔗糖调控萝卜(*Raphanus sativus* L.)芽菜下胚轴花青苷合成中的作用机理[D]. 南京:南京农业大学,2020.

[37] Zaller J G. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties[J]. Scientia Horticulturae, 2007, 112(2): 191-199.