

穆晓坤,李文慧,魏彦凤,等.不同物料下咸、淡水灌溉对设施黄瓜土壤特性和品质的影响[J].江苏农业科学,2023,51(18):115-121.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.18.017

不同物料下咸、淡水灌溉对设施黄瓜土壤特性和品质的影响

穆晓坤¹,李文慧¹,魏彦凤¹,游宏建¹,徐广亚²,尹翠²,朱红艳²,曹云娥¹

(1.宁夏大学,宁夏银川 750021; 2.宁夏共享人力集团有限公司,宁夏银川 750027)

摘要:为探究不同物料在微咸水和淡水灌溉下对设施黄瓜土壤特性和果实品质的影响,为在微咸水灌溉下选出适合黄瓜生长的物料提供参考和理论依据,试验设计 4 种栽培条件和 2 种灌溉制度,共 8 个处理组合,分别为:淡水 + 未处理土壤(B + D),淡水 + 蚯蚓原位处理(B + F),淡水 + 生物炭(B + W),淡水 + 蚯蚓原位处理 + 生物炭(B + F + W),微咸水 + 未处理土壤(V + D),微咸水 + 蚯蚓原位处理(V + F),微咸水 + 生物炭(V + W),微咸水 + 蚯蚓原位处理 + 生物炭(V + F + W)。结果表明,在淡水灌溉下,B + F + W 处理的黄瓜可溶性糖和可溶性固形物含量均为最高,可溶性糖含量显著高于 B + D 49.3%,可溶性固形物含量显著高于 B + D 18.5%。B + F + W 相比 B + D 土壤 pH 值降低了 5.1%,但 EC 值显著增加了 47.7%,B + F + W 处理速效氮含量显著高于 B + D 730.6%,全磷含量显著高于 B + D 66.7%。B + F + W 的脲酶、过氧化氢酶活性均为最高,脲酶活性显著高于 B + D 50.0%,过氧化氢酶活性显著高于 B + D 21.1%。在微咸水灌溉下,V + F + W 处理的黄瓜可溶性糖含量显著高于 V + D,并且增加了维生素 C 的含量。V + F + W 速效氮含量显著高于 V + D 345.1%,全氮含量显著高于 V + D 120.3%,且 V + D 处理的速效氮、全氮、速效磷和有机质含量均为最低。V + F + W 磷酸酶活性显著高于 V + D。在相同物料不同灌溉水下对全磷含量影响显著,V + F + W 相对于 B + F + W 和 V + F 相对于 B + F 显著增加全磷含量 30.3% 和 54.3%。对脲酶和磷酸酶活性影响显著,V + F + W 相对于 B + F + W 显著提高了磷酸酶活性 29.7%。2 种灌溉水下,淡水灌溉下黄瓜产量更高,但是与 V + D 相比,V + F + W 产量显著增加 49.6%。蚯蚓原位处理与蚯蚓原位处理 + 生物炭均有利于缓解微咸水胁迫,但在 2 种灌溉条件下,蚯蚓原位处理 + 生物炭组合综合效果最佳,因此可作为一种有效的土壤改良剂增加土壤肥力,提高黄瓜产量及品质。

关键词:微咸水;黄瓜;蚯蚓原位处理;生物炭;土壤;品质

中图分类号:S642.207 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)18-0115-07

目前,我国累积新鲜蔬菜种植基地面积超过 0.23 亿 hm^2 ,作物产量超过 8.17 亿 t,分别占全球蔬菜总量的 43% 和 48%^[1]。宁夏地势南高北低,属温带大陆性干旱、半干旱气候^[2],水资源极其短缺,严重制约了宁夏设施产业的发展^[3]。我国地下微咸水资源储量丰富,为 277 亿 m^3 ,绝大部分位于地下 10~100 m 处,适合开采利用^[4]。更重要的是,地下微咸水的开发利用可以降低地下水位,对防治和减少土壤盐渍化具有关键作用^[5]。

前人研究表明,在合理的灌溉制度下,可以对

土壤进行处理,添加一些缓解性物质已成为降低盐胁迫的有效途径之一^[6]。而生物炭和蚯蚓粪在土壤改良和缓解盐胁迫方面已被广泛应用^[7-8]。蚯蚓粪呈现团粒结构,透气性和渗透性好,土壤不易板结,因此蚯蚓粪有利于植株的生长与发育^[8-9]。生物炭比表面积大,孔隙度高,表面官能团丰富,它可以作为吸附剂去除土壤中的有机污染物^[10-11]。同时生物炭保留并富集了生物质中大量营养物质,可以提高土壤肥力,促进植物生长^[12]。崔佳音等研究得出,咸水灌溉会使土壤含盐量升高,引起盐分累积,且累积量与灌溉水矿化度成正比,生物炭的施加能有效缓解盐分累积^[13]。微咸水(含盐量 2 g/L)灌溉下,添加一定的土壤改良剂,可以有效提高果实可溶性糖含量以及提高作物生长^[14]。魏彦凤等研究得出,在连续盐水灌溉条件下,脱硫石膏和蚯蚓堆肥组合比单一土壤改良促进植物生长和

收稿日期:2022-11-09

项目基金:国家自然科学基金(编号:31760569)。

作者简介:穆晓坤(1999—),男,宁夏银川人,硕士研究生,研究方向为设施蔬菜栽培生理。E-mail:1025742605@qq.com。

通信作者:曹云娥,博士,教授,研究方向为设施蔬菜营养与生理、土壤微生态调控。E-mail:caohua3221@163.com。

作物产量更有效^[15]。因此将生物炭与蚯蚓堆肥混合施用,对改良土壤及作物生长具有重要研究意义。

黄瓜是一种对盐分十分敏感的蔬菜作物。目前农业生产中对黄瓜水分和养分调控等的相关研究较多,但在不同物料下咸、淡水灌溉对设施黄瓜土壤特性和品质的研究鲜有报道。因此本试验采用 4 种栽培条件和 2 种灌溉制度,探究蚯蚓原位 + 生物炭对不同灌溉制度下的土壤改良效果以及对黄瓜品质与产量的影响,旨在为微咸水灌溉下设施黄瓜高效生产提供一定的数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年 3 月 5 日到 6 月 26 日在宁夏银川市贺兰县园艺产业园(38°18'N,106°15'E)进行,本试验场所土壤的基础理化性质是全氮含量 0.68 g/kg、全磷含量 0.21 g/kg、全钾含量 15.81 g/kg、速效氮含量 22.31 mg/kg、速效磷含量 63.21 mg/kg、pH 值 7.89。宁夏二代太阳能日光温室,长 100 m,跨度 6.8 m,脊高 4.4 m,后墙高度 4.7 m。

1.2 试验设计

本研究以前期进行了 5 年微咸水持续灌溉的设施土壤为研究基础土壤,以黄瓜德尔 99 为研究对象,采用双因素设计,因素 1 为不同灌溉水:淡水灌溉(B)和微咸水灌溉(V);因素 2 为不同物料:未处理土壤(D)、蚯蚓原位处理(F)、生物炭(W)和蚯蚓原位处理 + 生物炭(F + W)。共 8 个处理(每个处理重复 3 次),具体见表 1。灌溉所用淡水为 0 g/L 的 NaCl 水,微咸水为 2 g/L 的 NaCl 调配水。缓苗期灌溉淡水,灌溉周期为 7 d。

表 1 试验设计

编号	处理
B + D	淡水 + 未处理土壤
B + F	淡水 + 蚯蚓原位处理
B + W	淡水 + 生物炭
B + F + W	淡水 + 蚯蚓原位处理 + 生物炭
V + D	微咸水 + 未处理土壤
V + F	微咸水 + 蚯蚓原位处理
V + W	微咸水 + 生物炭
V + F + W	微咸水 + 蚯蚓原位处理 + 生物炭

蚯蚓原位堆肥处理是笔者所在课题组经过长期研究出的一种新型栽培模式^[16]: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。

1.3 植株样品的采集及分析

1.3.1 植株干质量的测定 植株采集方法:2020 年 5 月,在黄瓜植株盛果期,从每个处理中间行随机选取 6 株植株,将根系全部挖出,分别贴好处理标签后,带回实验室,用自来水清洗干净,擦干水分,用消毒的小刀分开黄瓜植株地上部分、地下部分,地上部分包括茎和叶,分别测定其鲜质量,然后放置在 105 ℃烘箱中,杀青 0.5 h 后,85 ℃烘干至恒质量。用分析天平测定黄瓜植株地上部分、地下部分的干质量。

1.3.2 黄瓜品质和产量的测定 果实采集:在黄瓜结果盛期,从每个处理随机取 5 ~ 8 根果实,使用自封袋包装,标记试验处理并带回实验室,存放于 4 ℃冰箱,及时进行品质测定。(1)果实品质测定:维生素 C 含量测定采用钼蓝比色法^[17];有机酸含量测定采用酸碱滴定法^[17];硝酸盐含量测定采用水杨酸法^[17];可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[17];可溶性固形物含量测定采用糖度仪^[17]。(2)产量测定:在每个处理中间行随机选取 10 株植株测量整个收获期的黄瓜果实产量。

1.4 土壤的采集及分析

1.4.1 土壤采集 2020 年 5 月,在盛果期取土,每个处理按照“S”形选 5 点取样,用取土器取黄瓜根系处土壤,混匀后,进行风干,之后过 1 mm 和 0.25 mm 筛,用于测定土壤化学性质和酶活性。

1.4.2 土壤化学性质 (1)测定指标:pH 值、EC 值、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、有机质含量。(2)测定方法:参照周卫的土壤农化分析试验方法^[18]并改进,进行土壤化学指标的测定。

1.4.3 土壤酶活性测定 (1)测定指标:脲酶、蔗糖酶、磷酸酶、过氧化氢酶活性。(2)测定方法:参照周卫的土壤农化分析试验方法^[18]并改进,进行土壤酶活性的测定。

1.5 主成分分析

通过对土壤理化性质、酶活性、植株干质量、品质和产量等指标进行数据标准化,主成分分析并计算得分,以及隶属函数 $\mu(X_1)$ 、 $\mu(X_2)$ 和 $\mu(X_3)$ 结合权重处理求得综合评价 D 值,并对其进行排名。

公式如下:

$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(X_j) \times W_j]。$$

式中: D 为不同处理对各指标的综合评价值。

1.5 数据统计与分析

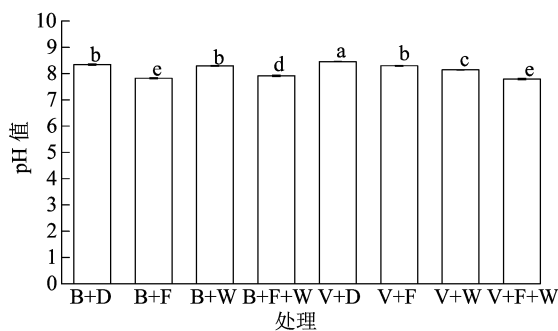
利用 Excel 2010 和 SPSS 2021 对数据进行统计分析,采用单因素方差方法进行结果分析,在 0.05

水平上进行显著性分析,利用 Origin 2018 作图。

2 结果与分析

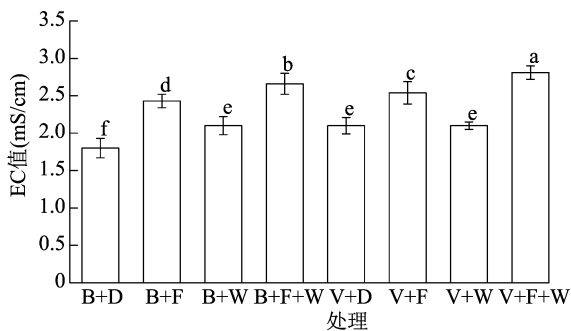
2.1 不同物料下咸、淡水灌溉对黄瓜土壤化学特性的影响

2.1.1 对土壤 pH 和 EC 值的影响 由图 1 可知,在淡水灌溉下,B + F 和 B + F + W 相比 B + D 土壤 pH 值分别降低了 6.2% 和 5.1%,但分别显著增加 EC 值 35.0% 和 47.7%;在微咸水灌溉下,V + F + W 相对 V + D 显著降低土壤 pH 值 7.8%,但显著增加 EC 值 33.8%。在相同物料不同灌溉水下,B + D 与 V + D、B + F 与 V + F 处理相比 pH 值和 EC 值均较低。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

图1 不同物料下咸、淡水灌溉对黄瓜 pH 值和 EC 值的影响



2.1.2 对土壤养分的影响 由表 2 可知,在淡水灌溉下,B + F + W 处理的速效氮和全磷含量均为最高,速效氮含量依次比 B + D、B + F 和 B + W 高 730.6%、91.7% 和 521.3%,全磷含量显著高于 B + D、B + F 和 B + W 66.7%、22.0% 和 52.0%,且 B + D 处理的速效氮和全磷含量均为最低,B + F 处理的全氮、速效磷和有机质含量均为最高,与 B + D 相比分别显著高出 238.1%、94.5% 和 360.2%,且 B + D 处理的全氮、速效磷和有机质含量均为最低。在微咸水灌溉下,V + F + W 处理的速效氮、全氮、全磷和有机质含量均为最高,速效氮含量显著高于 V + D、V + F 和 V + W 345.1%、80.5% 和 158.0%,全氮含量分别显著高于 V + D、V + F 和 V + W 120.3%、30.8% 和 114.8%,且 V + D 处理的速效氮、全氮、速效磷和有机质含量均为最低。在相同物料不同灌溉水下对全磷含量影响显著,V + F + W 相对 B + F + W 和 V + F 相对 B + F 全磷含量分别显著增加 30.3% 和 54.3%。

2.2 不同物料下咸、淡水灌溉对黄瓜土壤酶活性的影响

由图 2 可知,在淡水灌溉下,B + F + W 的脲酶、

过氧化氢酶活性均为最高,脲酶活性显著高于 B + D、B + F 和 B + W 50.0%、7.5% 和 70.1%,过氧化氢酶显著高于 B + W 27.7%,且 B + D 处理的蔗糖酶和磷酸酶活性均最低。在微咸水灌溉下,V + F + W 磷酸酶活性显著高于 V + D,而 V + F 与 V + F + W 间蔗糖酶活性无显著性差异。相同物料在不同灌溉水下对脲酶含量影响显著,B + F + W 相对于 V + F + W 显著提高了脲酶活性 12.9%,对磷酸酶活性,V + F 相对 B + F 和 V + F + W 相对 B + F + W 显著增加了磷酸酶活性 6.0% 和 29.7%。

2.3 不同物料下咸、淡水灌溉对黄瓜植株干质量的影响

由表 3 可知,B + F + W 处理的地上、地下干物质量均为最高,在淡水灌溉下,B + F + W 处理显著高于 B + D、B + F 处理,相对于 B + D 处理地上和地下干物质量分别显著增加 55.4% 和 130.4%。在微咸水灌溉下,与 V + D 相比,V + F、V + W 和 V + F + W 均有益于地上、地下干物质量的积累,地上干物质量分别增加 21.0%、10.1% 和 36.5%,地下干物质量分别显著增加 78.3%、63.3% 和 87.2%。在相同物料不同灌溉水下,B + D 和 V + D 均显著降低了

表 2 不同物料下咸、淡水灌溉对黄瓜土壤养分的影响

处理	速效氮含量 (mg/kg)	全氮含量 (g/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	有机质含量 (g/kg)
B + D	16.89 ± 0.13h	0.63 ± 0.14g	76.62 ± 5.32h	0.93 ± 0.12f	25.33 ± 0.79a	24.42 ± 1.23g
B + F	73.17 ± 0.15d	2.13 ± 0.23a	149.05 ± 4.35b	1.27 ± 0.15d	20.16 ± 0.01c	112.39 ± 0.87a
B + W	22.58 ± 0.16g	0.85 ± 0.25e	126.42 ± 5.98e	1.02 ± 0.14e	23.00 ± 0.13b	27.40 ± 0.89f
B + F + W	140.28 ± 0.22b	1.68 ± 0.12c	133.23 ± 6.35d	1.55 ± 0.08c	15.50 ± 0.16e	100.87 ± 0.78c
V + D	32.94 ± 0.16f	0.79 ± 0.14f	107.56 ± 5.12g	0.96 ± 0.12f	20.00 ± 0.04c	28.59 ± 0.45e
V + F	81.21 ± 1.32c	1.33 ± 0.08d	156.26 ± 4.96a	1.96 ± 0.32b	18.66 ± 0.06d	111.00 ± 1.27b
V + W	56.84 ± 0.85e	0.81 ± 0.11f	125.64 ± 4.32f	0.82 ± 0.42g	19.33 ± 0.05d	40.11 ± 1.32d
V + F + W	146.62 ± 0.96a	1.74 ± 0.23b	145.36 ± 4.10c	2.02 ± 0.08a	14.33 ± 0.14e	111.79 ± 2.14ab

注:数据为平均值 ± 标准误,同列数据后不同小写字母代表差异显著($P < 0.05$),下表同。

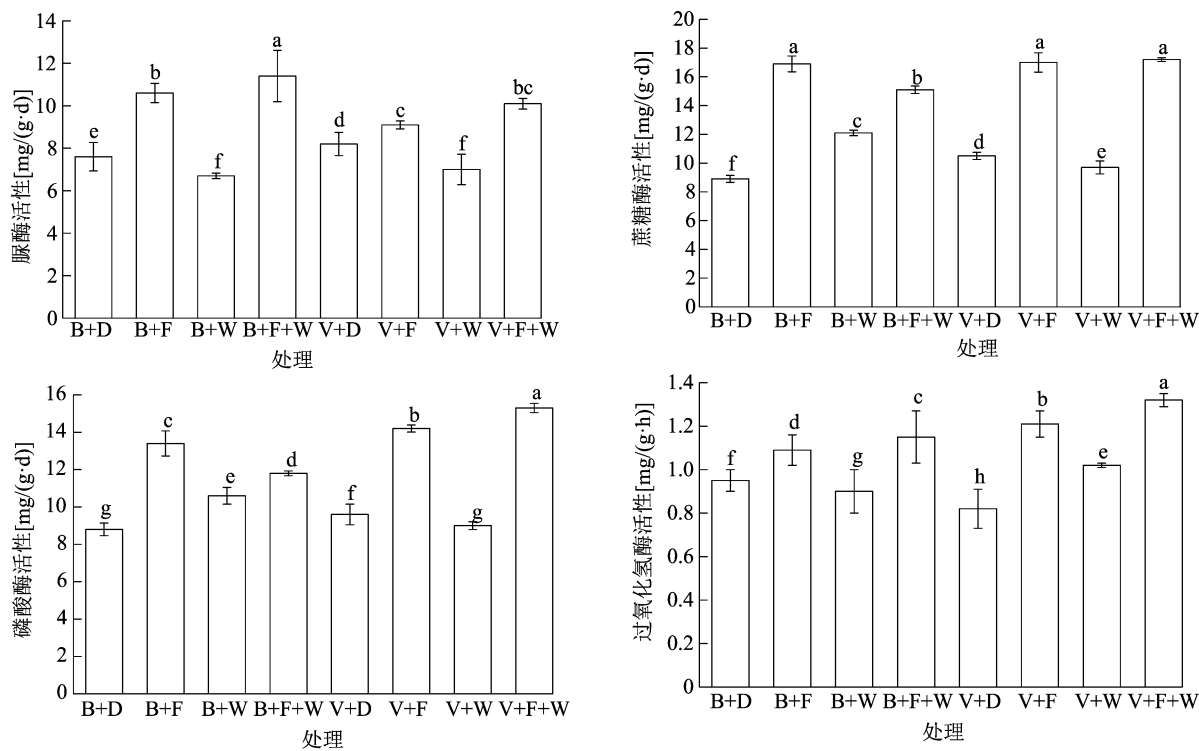


图2 不同物料下咸、淡水灌溉对黄瓜土壤酶活性的影响

表 3 不同物料下咸、淡水灌溉对黄瓜植株干物质质量的影响

处理	地上干物质质量(g)	地下干物质质量(g)
B + D	30.31 ± 4.32b	4.18 ± 0.82c
B + F	31.69 ± 3.24b	6.19 ± 0.45ab
B + W	34.78 ± 4.55ab	6.07 ± 1.01ab
B + F + W	47.11 ± 4.23a	9.63 ± 0.35a
V + D	31.43 ± 2.45b	3.27 ± 0.49c
V + F	38.02 ± 2.67ab	5.83 ± 0.47b
V + W	34.59 ± 1.98b	5.34 ± 0.25b
V + F + W	42.90 ± 2.13a	6.12 ± 0.29ab

地上、地下干物质质量, B + W 和 V + W 处理下地上、地下干物质质量无显著性差异。

2.4 不同物料下咸、淡水灌溉对黄瓜品质的影响

由表 4 可知,在淡水灌溉下,B + F + W 的可溶性糖和可溶性固形物含量均为最高,可溶性糖含量显著高于 B + D、B + F 和 B + W 49.3%、24.1% 和 40.0%,可溶性固形物含量显著高于 B + D、B + F 和 B + W 18.5%、8.9% 和 6.1%,且 B + D 处理的维生素 C、可溶性糖、可溶性固形物和硝酸盐含量均最低。在微咸水灌溉下,V + F + W 可溶性糖含量显著高于 V + D、V + F 和 V + W 处理,并且增加了维生素 C 含量。相同物料不同灌溉水下,对维生素 C 含量影响显著,V + D 相对 B + D 维生素 C 含量显著降低 10.8%,而 V + F + W 和 V + F 相对 B + F + W 和

B + F 显著增加维生素 C 含量 56.7% 和 32.0%。
V + W 和 V + F + W 相对 B + W 和 B + F + W 显著增

加硝酸盐含量 49.9% 和 54.6%, 而 B + D 与 V + D 之间差异不显著。

表 4 不同物料下咸、淡水灌溉对黄瓜品质的影响

处理	维生素 C 含量 (mg/100 g)	有机酸含量 (%)	可溶性糖含量 (%)	可溶性固形物含量 (%)	硝酸盐含量 (mg/kg)
B + D	8.86 ± 0.08e	2.01 ± 0.01a	6.17 ± 0.03d	3.40 ± 0.10e	8.97 ± 0.25g
B + F	11.33 ± 0.08c	1.40 ± 0.05c	7.42 ± 0.07c	3.70 ± 0.04c	11.30 ± 0.05f
B + W	8.93 ± 0.12e	1.93 ± 0.07a	6.58 ± 0.09de	3.80 ± 0.01b	16.68 ± 0.25c
B + F + W	10.31 ± 0.04d	1.60 ± 0.11b	9.21 ± 0.13a	4.03 ± 0.07a	12.70 ± 0.33e
V + D	7.90 ± 0.05f	1.21 ± 0.13d	7.04 ± 0.20cd	3.30 ± 0.05f	8.59 ± 0.55g
V + F	14.96 ± 0.17b	1.33 ± 0.07c	6.10 ± 0.06e	3.60 ± 0.04d	15.78 ± 0.12d
V + W	8.83 ± 0.08e	1.20 ± 0.08d	6.58 ± 0.01de	3.50 ± 0.21d	25.00 ± 0.12a
V + F + W	16.16 ± 0.24a	1.40 ± 0.11c	8.19 ± 0.36b	3.70 ± 0.23c	19.63 ± 0.13b

2.5 不同物料下咸、淡水灌溉对黄瓜产量的影响

不同物料下咸、淡水灌溉对黄瓜产量的影响如图 3 所示,在相同物料处理下,微咸水与淡水相比黄瓜产量均有所降低,其中蚯蚓原位处理加生物炭在不同灌溉水下均高于未替代土壤,与 B + D 相比, B + F + W 处理显著提高产量 60.1%; 与 V + D 相比, V + F + W 处理显著提高产量 49.6%, 而添加生物炭与未处理土壤差异不显著。

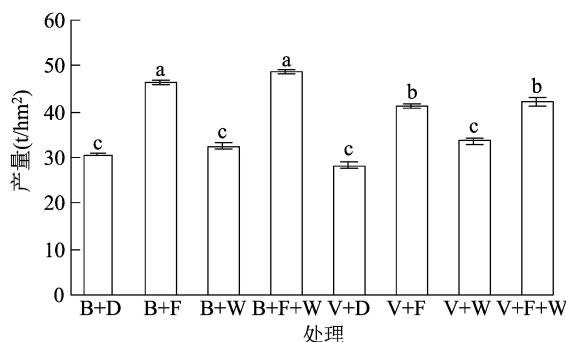


图3 不同物料下咸、淡水灌溉对黄瓜产量的影响

2.6 不同物料下咸、淡水灌溉主成分、隶属函数、综合评价值(D)以及排名

通过主成分分析并计算得分,以及隶属函数 $\mu(X_1)$ 、 $\mu(X_2)$ 和 $\mu(X_3)$ 结合权重处理求得综合评价 D 值,并对其进行排序(表 5)。从总体土壤理化性质、酶活性、植株干质量、品质和经济产量几个方面综合表现分析后,淡水 + 蚯蚓原位处理 + 生物炭(B + F + W)处理综合评价 D 值最高,其次是微咸水 + 蚯蚓原位处理 + 生物炭(B + F + W)、B + F 和 V + F 处理,V + W、B + W、V + D 和 B + D 处理综合评价 D 值较低。其主要原因可能是土壤养分较低、植株吸收利用和产量较低。

表 5 不同物料下咸、淡水灌溉主成分、隶属函数、综合评价值(D)以及排名

处理	F_1	F_2	F_3	μ_1	μ_2	μ_3	D 值	排序
B + D	-3.46	1.06	1.24	0.00	0.97	1.00	0.24	8
B + F	0.54	-0.05	0.71	0.63	0.52	0.78	0.63	3
B + W	-0.79	-1.36	0.17	0.42	0.00	0.55	0.37	6
B + F + W	2.81	-0.52	0.98	1.00	0.33	0.89	0.89	1
V + D	-1.55	0.57	-1.18	0.30	0.77	0.00	0.34	7
V + F	0.76	-0.20	-0.04	0.67	0.46	0.46	0.62	4
V + W	-0.51	0.12	-0.28	0.46	0.59	0.37	0.47	5
V + F + W	0.45	1.12	0.81	0.62	1.00	0.82	0.70	2

3 讨论

宁夏现阶段需要解决水资源高效利用的问题,微咸水在宁夏相对丰富,利用好微咸水也是改善水资源短缺的有效手段之一^[19],但是使用微咸水灌溉会导致盐分积累,从而引起盐分胁迫,植物对盐分胁迫的生理、生长、品质等响应不同。本研究各处理在微咸水灌溉下对植株地上干物质量无显著影响,这可能是测定的时间段盐分积累还不够明显,还未能对植株造成较为严重的胁迫^[20]。与 V + D 相比,V + F、V + W 和 V + F + W 处理在盐胁迫下地下部干物质量显著增加,地下部干物质量分别增加了 78.3%、63.3% 和 87.2%。这可能是由于添加蚯蚓粪后土壤中营养成分含量得到提高,进而提高了植物的生物量^[21-22]。

土壤作为植物生长的介质,为植物生长提供养分和水分,同时起着植物根系伸展、固定的作用。本试验研究发现,添加生物炭与蚯蚓原位处理使土壤养分含量均有所提高,这可能与蚯蚓粪和生物炭

自身含有的丰富营养成分有关^[23]。在相同物料不同灌溉水下对 pH 值、EC 值和全磷含量影响显著,这可能是由于灌溉微咸水后造成基质酸碱环境发生变化^[24]。pH 值作为土壤中重要的化学性质之一,其对土壤和植株养分含量的吸收利用有影响^[25]。本研究发现 V + F + W 与 V + D 相比显著降低了 pH 值,但是显著增加了基质 EC 值,这是由于蚯蚓粪的养分含量很高,因此蚯蚓原位处理增加了 EC 值^[26]。本研究得出 B + F + W 可显著增加速效氮、全氮、全磷和有机质含量,这与赵永鑫等得出的结论^[27]一致。生物炭由于其自身含有营养元素,添加到土壤里增加了土壤有效养分和有机质含量^[28];王世斌等研究表明,生物炭处理明显降低了土壤含盐量,减轻了对作物的不利影响^[29]。在微咸水灌溉下,V + F + W 处理可显著提高速效氮、全氮、全磷和有机质含量,这可能是蚯蚓粪自身含有丰富的营养元素,土壤可直接从中吸收^[30]。同时由于生物炭疏松多孔,稳定性强和吸附作用降低了土壤营养物质的淋失^[31]。本试验得出,相同物料不同灌溉水下,蚯蚓原位处理和添加生物炭有益于土壤改良,增加土壤养分含量。

土壤酶是土壤生物活性的综合表现^[32],同时土壤酶在维持土壤生态系统稳定方面发挥着重要的作用^[33-34]。本研究得出,在淡水灌溉下,B + F + W 处理的脲酶、过氧化氢酶活性均为最高,这可能是蚯蚓粪本身酶活性较高,微生物活性得到增强,因此会分泌更多的脲酶^[35]。在微咸水灌溉下,V + F + W 处理的磷酸酶活性显著高于 V + D,这与刘丽等的结论^[36]相似。这可能是由于蚯蚓粪中含无机磷成分,磷酸酶的反应产物中也包含无机磷成分,这使得酶促反应的进行受到抑制,所以施加蚯蚓粪的处理磷酸酶活性较高^[37]。本研究中未处理土壤添加生物炭在咸淡水灌溉下降低了脲酶和过氧化氢酶活性,这可能是由于生物炭中含有抑制性物质,例如呋喃、酚类等^[38-39]。

盐胁迫下植物会主动增加渗透调节物质的合成,从而提高可溶性糖含量。本试验 V + F + W 相对 B + F + W 处理显著降低了可溶性糖含量 11.1%,而 V + D 处理相对 B + D 显著提高可溶性糖含量 14.1%;V + W 处理与淡水灌溉相比可溶性糖含量无显著性变化。V + F + W 处理相对 B + F + W 处理显著提高维生素 C 含量 56.7%。相关研究表明,有机肥料中的常量元素有益于提高果实维生素

C 的含量,而生物炭自身含有丰富的碳元素及矿质营养元素,可以用来影响作物生长,提高作物品质^[40]。在淡水灌溉条件下,B + F + W 处理的黄瓜果实可溶性糖和可溶性固形物含量均为最高;在微咸水灌溉处理下,V + F + W 处理的可溶性固形物含量显著高于 V + W 处理,这可能是由于蚯蚓粪自身含有多种常见的元素,进而能够起到提高作物品质的作用^[41-42]。本试验研究发现,与未处理对照土壤相比,蚯蚓原位处理 + 生物炭在不同灌溉条件下显著增加了黄瓜产量,这可能是因为生物炭对土壤起到了一定的修复作用,使作物有一个有利的生长环境^[43]。而蚯蚓粪作为一种高效有机肥,含有大量植物生长素对作物生长有一定的促进作用,进而能够提高作物产量^[44]。

4 结论

与对照(B + D)相比,在淡水灌溉下蚯蚓原位处理 + 生物炭处理显著增加了地上和地下干物质量;在微咸水灌溉下蚯蚓原位处理 + 生物炭和二者配施显著增加了地上和地下干物质量。

与对照(B + D)相比,淡水灌溉下,蚯蚓原位处理 + 生物炭处理显著增加了土壤 EC 值、速效氮、全磷含量和脲酶活性,微咸水灌溉下,蚯蚓原位处理与蚯蚓原位处理 + 生物炭均能增加 EC 值、速效氮、全氮、全磷、有机质含量和磷酸酶活性。在相同物料不同灌溉水下对全磷、脲酶和磷酸酶含量影响显著。

与对照(B + D)相比,淡水灌溉下,蚯蚓原位处理 + 生物炭处理显著提高了黄瓜果实可溶性糖含量。微咸水灌溉下,蚯蚓原位处理 + 生物炭处理的黄瓜维生素 C 含量显著高于 V + D,2 种灌溉水下,淡水灌溉下的黄瓜产量高于微咸水灌溉,但是与 V + D 相比,V + F + W 处理的黄瓜产量显著增加 49.6%。

综合分析表明,淡水灌溉下,蚯蚓原位处理 + 生物炭综合评价价值最高;在微咸水灌溉下,也是蚯蚓原位处理 + 生物炭综合评价价值最高;在 2 种灌溉条件下,蚯蚓原位处理 + 生物炭组合综合效果最佳,因此可作为一种有效的土壤改良剂增加土壤肥力,提高黄瓜产量及品质。

参考文献:

- [1]董 静,赵志伟,梁 斌,等.我国设施蔬菜产业发展现状[J].中国园艺文摘,2017,33(1):75-77.
- [2]高吉鹏.西淮庙尔沟岩体白钨矿成矿规律初探[D].西安:长安大学,2021.

- [3] Meena M D, Joshi P K, Jat H S, et al. Changes in biological and chemical properties of saline soil amended with municipal solid waste compost and chemical fertilizers in a mustard – pearl millet cropping system[J]. Catena, 2016, 140: 1 – 8.
- [4] 马中昇, 谭军利, 魏 童. 中国微咸水利用的地区和作物适应性研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(3): 70 – 75.
- [5] 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.
- [6] 任常琦. 蚯蚓粪对土壤生物化学特性和菜心产量与品质的影响[D]. 海口: 海南大学, 2018.
- [7] 郭 茹, 洪坚平, 沈江龙. 蚯蚓粪生物炭配施对铅污染土壤养分和生菜生长的影响[J]. 天津农业科学, 2019, 25(8): 23 – 28.
- [8] 魏枫沂, 徐俊杰, 陈 进, 等. 基于活体微生物揭示蚯蚓对污泥耐药基因转归的影响[J]. 中国环境科学, 2022, 42(7): 3425 – 3433.
- [9] 丁守鹏, 张国新, 姚玉涛, 等. 蚯蚓粪生物炭配施对盐碱地设施番茄生长及光合作用的影响[J]. 北方园艺, 2021(18): 60 – 67.
- [10] 张 磊, 柳 璇, 韩俊杰, 等. 生物炭对土壤团聚体及结合态碳库影响研究进展[J]. 山东农业科学, 2016, 48(9): 157 – 161.
- [11] 谭春玲, 刘 洋, 黄雪刚, 等. 生物炭对土壤微生物代谢活动的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(3): 333 – 342.
- [12] 刘 强, 袁延飞, 刘一帆, 等. 生物炭对盐渍化土壤改良的研究进展[J]. 地球科学进展, 2022, 37(10): 1005 – 1024.
- [13] 崔佳音, 李秀芳, 吴世清, 等. 生物炭添加对苦咸水灌溉下玉米生长及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2022(6): 1 – 9.
- [14] 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.
- [15] 魏彦凤, 申佳丽, 安明远, 等. 不同物料配施对微咸水灌溉黄瓜土壤质量及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2022, 38(5): 95 – 104.
- [16] 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.
- [17] 毕晓华, 刘 琰. 植物生理学实验教学方法的创新与探索[J]. 中国科技信息, 2011(20): 169.
- [18] 周 卫. 土壤农化分析试验方法的改进与探索[J]. 农业技术与装备, 2019(10): 70, 72.
- [19] 徐秉信, 李如意, 武东波, 等. 微咸水的利用现状和研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(36): 13914 – 13916, 13981.
- [20] 武育芳, 杨官凯, 曹行行, 等. 咸淡水灌溉下蚯蚓粪和生物炭对栽植番茄草炭基质理化特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2022, 57(4): 105 – 113.
- [21] 张 浩, 赵雨欣, 戴川景, 等. 蚓粪添加对盐胁迫下玉米幼苗生长和光合色素含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(20): 122 – 125.
- [22] 商小雨. 生物炭添加对盐胁迫下香椿幼苗生长及土壤环境的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- [23] 郑文德, 王晓东, 马嘉伟, 等. 生物炭与蚯蚓粪添加对玉米秸秆基质块养分特性和黄瓜生长变化的影响[J]. 北方园艺, 2020(15): 96 – 102.
- [24] 刘 易, 冯耀祖, 黄 建, 等. 微咸水灌溉条件下施用不同改良剂对盐渍化土壤盐分离子分布的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(1): 146 – 152.
- [25] 孙琛梅, 程冬冬, 杨超越, 等. 土壤肥力质量与苹果生长、产量及品质关系的研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2022(2): 207 – 215.
- [26] 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.
- [27] 赵永鑫, 赵吉霞, 范茂攀, 等. 不同比例蚯蚓粪替代化肥对土壤化学性状及小白菜产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(6): 62 – 68.
- [28] 方 煜, 黄 凯, 杨京民, 等. 石灰、生物炭对酸性土壤改良及玉米生长的影响[J]. 江西农业学报, 2022, 34(4): 80 – 87.
- [29] 王世斌, 高佩玲, 赵亚东, 等. 生物炭、有机肥连续施用对盐碱土壤改良效果研究[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(3): 154 – 161.
- [30] 黄赛花, 刘 通, 黄友良, 等. 蚯蚓粪复配硼钼调理剂对土壤改良和茄子生长的影响作用[J]. 生态环境学报, 2021, 30(3): 523 – 531.
- [31] 郜礼阳, 林威鹏, 张风姬, 等. 生物炭对酸性土壤改良的研究进展[J]. 广东农业科学, 2021, 48(1): 35 – 44.
- [32] 许云翔, 何莉莉, 刘玉学, 等. 施用生物炭 6 年后对稻田土壤酶活性及肥力的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1110 – 1118.
- [33] 马金慧, 张庆国, 范 富, 等. 《土壤酶研究法》课程教学改革探析[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2020, 35(2): 172 – 174.
- [34] 李旭红, 王雪玉, 李章波, 等. 长期温室栽培对玉米生长生理和土壤酶活性及养分平衡的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(6): 60 – 65.
- [35] 左亚男. 蚯蚓粪对草莓植株生长发育的影响及作用机制[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [36] 刘 丽, 郭宝贝, 刘娟桃, 等. 蚯蚓粪肥对‘玉露香梨’果实品质及土壤理化性状和酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(20): 38 – 43.
- [37] 谷 洁, 李生秀, 秦清军, 等. 水解类酶活性在农业废弃物静态高温堆腐过程中的变化[J]. 中国农学通报, 2005, 21(5): 32 – 35.
- [38] Zimmerman A R, Gao B, Ahn M Y. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar – amended soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2011, 43(6): 1169 – 1179.
- [39] 杜永固, 张平究, 张 群. 淹水处理下生物质炭元素组成含量的变化特征[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(17): 16 – 18.
- [40] 黄 婷, 李 媛, 甘泉峰, 等. 生物基复合改良剂对滨海盐渍土综合地力的提升作用[J]. 水土保持通报, 2022, 42(4): 99 – 106.
- [41] 刘学才. 蚯蚓粪对番茄根区环境及产量和品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [42] 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.
- [43] 荣飞龙. 生物炭对酸性稻田水稻产量及土壤肥力的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020.
- [44] 冯腾腾. 蚯蚓粪和秸秆生物炭对大棚多年连作黄瓜的调控效果[D]. 扬州: 扬州大学, 2017.