



马凤捷,杨春胤,宿翠翠,等. 蚯蚓粪和微生物菌剂互作对蜜瓜生长和土壤养分的影响[J]. 黑龙江农业科学,2023(9):25-34.

蚯蚓粪和微生物菌剂互作对蜜瓜生长和土壤养分的影响

马凤捷^{1,2,3},杨春胤¹,宿翠翠^{1,2,3},张 靖^{1,2,3},王振龙^{1,2,3},施志国^{1,2,3},刘 强^{1,2,3}

(1. 甘肃农业工程技术研究院,甘肃 武威 730006; 2. 甘肃省特种药源植物种质创新与安全利用重点实验室,甘肃 武威 733006; 3. 武威市农田土壤改良与耕地保育技术创新中心,甘肃 武威 733006)

摘要:为了缓解民勤蜜瓜种植上存在的连作障碍问题,以民勤蜜瓜银蒂为试验材料,采用大田试验,选用新型改良材料蚯蚓粪、根际促生菌、EM 微生物菌剂,设置 5 种施肥处理,分别为 OPE、OP、OE、O、CK,测定蜜瓜生长指标、产量、营养品质、土壤养分和酶活性,探讨蚯蚓粪有机肥和微生物菌剂配施在民勤蜜瓜栽培中的应用效果。结果表明,蚯蚓粪和微生物菌剂配施能够增加蜜瓜株高、茎粗、最大叶面积;蚯蚓粪和微生物菌剂配施显著提高土壤微生物活性,增加土壤酶活性,脲酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶表现为成熟期酶活性较开花期酶活性高;多酚氧化酶和硝酸还原酶活性则是开花期酶活性高于成熟期;蚯蚓粪和微生物菌剂配施显著提高蜜瓜土壤有机质含量(4.45%~25.62%),微生物碳、微生物氮含量均呈现增加的趋势,表现为 OPE 和 OP 处理含量最高,对其余养分的影响较小;蚯蚓粪和微生物菌剂配施能够显著提高蜜瓜维生素 C 含量、可溶性蛋白含量和可溶性糖含量,降低蜜瓜有机酸含量和硝酸盐含量,产量较对照增加了 8.93%~29.59%。利用隶属函数综合评价分析各处理间改良效果,综合评价指数排序 OPE 处理得分最高,其次是 OP、OE、O 和 CK,蚯蚓粪和两种微生物菌剂配施效果最好,蚯蚓粪和单一菌剂配施效果次之,单施蚯蚓粪效果较差,根际促生菌剂 EM 微生物菌剂效果好。

关键词:蚯蚓粪;微生物菌剂;蜜瓜;品质;土壤酶活性

蜜瓜(*Cucumis melo* L.),植物分类上属于葫芦科(*Cucurbitaceae*)甜瓜属,俗称甜瓜、香瓜等。蜜

瓜在国内外市场享有较高的盛誉,蜜瓜果肉中富含人体所需维生素,糖类物质、碳水化合物,蛋白质等,含水量丰富,是夏季清热解暑的水果佳品^[1-2]。近年民勤县蜜瓜种植面积保持在 1.33 万 hm²,产量达 50 万 t,产值达 16 亿元,已成为甘肃省乃至西北地区最大的厚皮甜瓜核心产区和全国优质蜜瓜核心产区^[3]。但长期种植导致土壤出现养分不均衡、土传病害频发、微生物群落结构不稳定,蜜瓜出现裂瓜、糖度低、酸度高、产量和品质不稳定等问题,已成为民勤蜜瓜产业发展的重要限制因

收稿日期:2023-06-16

基金项目:甘肃省青年科技基金项目(22JR5RA791);甘肃省科技技术项目-民生科技专项-社会发展专题(21CX6FA028);甘肃省软科学基金项目(23JRZH346)。

第一作者:马凤捷(1993—),女,硕士,研究实习员,从事土壤资源评价及可持续利用研究。E-mail:2550663071@qq.com。

通信作者:刘强(1971—),男,博士,研究员,从事作物栽培研究。E-mail:9446140877@qq.com。

Abstract: In order to screen excellent seed-using industrial hemp germplasm resources suitable for popularization and application in Suihua Area, seven characters of 35 industrial hemp germplasm resources were compared and analyzed, including seedling survival rate, plant height, stem diameter, number of branches, 1 000-grain weight, dry mosaic yield and seed yield. At the same time, the resources were comprehensively evaluated by principal component analysis and systematic cluster analysis. The results showed that the coefficient of variation of seed yield of 35 seed industrial hemp germplasm resources was the largest, which was 50.54, and the coefficient of variation of plant height was the smallest, which was only 6.38. There was a significant or extremely significant correlation among all the traits. Through principal component analysis, three representative principal components with eigenvalues greater than 1 were extracted, with a cumulative contribution rate of 78.022%, and a comprehensive evaluation model was constructed to sort the tested materials comprehensively. Finally, 35 seed-using industrial hemp germplasm were divided into 3 categories by systematic clustering, and 18 breeding materials with good comprehensive characteristics were preliminarily screened out.

Keywords: seed-using industrial hemp; comprehensive evaluation; principal component analysis; systematic clustering

素之一。研究发现,甜瓜、西瓜、黄瓜、马铃薯都存在连作问题,施用蚯蚓粪和微生物菌剂配施能够提高连作作物产量和品质,改善土壤微生态环境。由于蚯蚓粪在物理、化学、微生物性质方面优良的肥料特点,在园艺和种植业中的应用已进行过大量研究^[4-5]。蚯蚓粪肥料富含大量有机质,可以为土壤补充有机质,改善土壤团粒结构,培肥地力,增加土壤速效养分含量,促进叶面积增长与干物质积累,与不施肥相比单施蚯蚓粪甜瓜可溶性总糖含量增加 41.28%,中心可溶性固形物含量增加 6.44%,维生素 C 含量增加 16.82%,产量增加 10.86%^[6]。更重要的是,蚯蚓粪能增加植物的生物抗性,并通过排斥或抑制放射菌,保护植物免受病虫害的影响^[7]。研究表明,蚯蚓粪能够提高番茄病虫害抗性和对非生物胁迫的敏感性^[8];施用蚯蚓粪能抑制土生真菌疾病,蚯蚓粪中的放线菌分泌的化学物质能杀死寄生真菌、腐霉菌和镰刀菌素等^[9]。已有研究发现,蚯蚓粪在一定程度上能够控制蔬菜作物苗期土传病害的发生,能够显著促进植物生长^[10];并从新鲜蚯蚓粪中成功分离出拮抗活性强、抗菌性广的拮抗微生物^[11],微生物菌剂中含有大量有益微生物,根际有益微生物生活在土壤或附生于植物根际和茎叶上,通过联合固氮作用、合成激素类生物活性物质,用于防治有害真菌、细菌、病毒引起的病害,从而促进作物的生长^[12]。研究表明微生物肥料可以活化并促进植物对营养元素的吸收、产生多种活性物质调节植物生长、产生抑病作用间接促进植物生长、提高植物抗逆性和逆境生存能力^[13-14]。

本试验通过施用两种类型微生物菌剂,来分析不同微生物菌剂和蚯蚓粪配施对连作土壤植株生长发育和蜜瓜营养品质的影响,以及蚯蚓粪和微生物菌剂配施对连作土壤养分含量、酶活性的

影响。通过分析比较蜜瓜的产量、营养品质指标数据,来综合评价筛选出最佳施肥处理,从而实现低成本低污染高效促进蜜瓜生长及品质改善,提高土壤环境质量,缓解蜜瓜连作障碍。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2022 年在甘肃武威市民勤县蜜瓜连作温室大棚进行,降水稀少,光照充足,昼夜温差大,年均降水量 110 mm,蒸发量高达 2 644 mm,昼夜温差 25.2℃,年均气温 7.8℃,日照时数 3 073.5 h,无霜期 162 d。

1.2 材料

试验蜜瓜品种为银蒂,来自甘肃省河西瓜菜研究所。银蒂蜜瓜是以一抗病、高糖、网纹甜瓜珍珠的固定系 mT-8 为母本,以引进的美国品种 mT-123 为父本选配组合育成。

试验选用的根际促生菌购自中农绿康生物技术有效公司,微生物肥[(2011)准字(0806)号],执行标准 GB 20287—2006,有效活菌数≥8 亿·g⁻¹;EM 微生物菌剂购自洛阳市益生菌企业研发中心,执行标准 GB 20287—2006,有效活菌数 5 亿·g⁻¹;蚯蚓粪购自史丹利生物肥料有限公司,氮磷钾含量>5%,有机质含量>5%,pH5.0~8.5。

1.3 方 法

1.3.1 试验设计 本试验共设置 5 个处理,分别向蜜瓜种植土壤中添加蚯蚓粪+根际促生菌+EM 微生物菌剂(OPE),蚯蚓粪+根际促生菌(OP),蚯蚓粪+EM 微生物菌剂(OE),蚯蚓粪(O),常规施肥对照(CK),每个处理设 2 个小区,小区面积为 5 m(长)×2 m(宽)=10 m²,采用完全随机区组设计,每个小区定植蜜瓜 40 株(株距 50 cm),蚯蚓粪和两种微生物菌剂均在整地完成之后一次性施入,试验具体施肥处理见表 1。

表 1 不同处理肥料种类及具体用量

处理	肥料种类	施肥量
O	蚯蚓粪	蚯蚓粪 2000 kg·(667 m ²) ⁻¹
OP	蚯蚓粪+根际促生菌	蚯蚓粪 2000 kg·(667 m ²) ⁻¹ +根际促生菌 1 L·(667 m ²) ⁻¹
OE	蚯蚓粪+EM 微生物菌剂	蚯蚓粪 2000 kg·(667 m ²) ⁻¹ +EM 微生物菌剂 17 L·(667 m ²) ⁻¹
OPE	蚯蚓粪+根际促生菌+EM 微生物菌剂	蚯蚓粪 2000 kg·(667 m ²) ⁻¹ +根际促生菌 1 L·(667 m ²) ⁻¹ +EM 微生物菌剂 17 L·(667 m ²) ⁻¹
CK	常规处理	复合肥 450 kg·(667 m ²) ⁻¹

1.3.2 田间管理 试验在4月中旬开始播种,播前基施复合肥 450 kg·hm⁻²。覆膜种植,行距80 cm,株距25 cm,膜上设置滴灌带,20~30 d 浇1次水,种植20 d后记录出苗率,出苗后及时查苗补苗,结合补苗进行1次除草。蜜瓜开花期、果实膨大期是浇水的关键时期,一般6月中下旬根据土壤墒情浇水。浇水量不宜过大,根据降雨情况浇水,果实生长期追施3次复合肥,每次施用量为100 kg·hm⁻²。

1.3.3 测定项目及方法 土壤酶活性:于蜜瓜开花期(2022年6月15日)和成熟期(2022年8月10日)对土壤酶活性进行测定。其中过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法;脲酶活性采用靛酚蓝比色法;碱性磷酸酶采用以磷酸苯二钠为基质的测定方法;硝酸还原酶采用2,4-二硝基酚比色法;土壤多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法^[15]。

土壤养分:采集成熟期(2022年8月10日)土壤样品测定土壤养分指标,采集深度为0~20 cm。

蜜瓜长势:测定出苗率、植株高度,瓜型指数、结果量、横径、纵径。

蜜瓜叶片光合能力:光合特性(净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度、蒸腾速率)使用便携式光合仪Li-6400XT测定,叶绿素含量用便携式叶绿素仪测定。

蜜瓜产量:从第一次采摘开始到最后一次结束,对不同处理每次采摘的产量进行记录,最后将所有的产量进行统计相加,得出各处理的总产量。

品质指标:可溶性蛋白、硝酸盐含量、可溶性糖、维生素C、有机酸、糖酸比等^[16]。

1.3.4 数据分析 采用Excel 2016 软件进行原始数据处理及表格绘制,SPSS 26.0 统计软件进行方差分析,利用Duncan's 多重比较法进行差异显著性检测($P<0.05$),采用Sigmaplot 进行制图。

采用模糊数学隶属函数法对蚯蚓粪和微生物菌剂处理后连作蜜瓜产量和营养品质进行分析,综合评价不同施肥处理的作用效果,将隶属函数值 $[U(Xi)]$ 进行累加,求取平均值,平均值越大,则该施肥处理的综合效果最好。

$$U(Xi)=(Xi-Xmin)/(Xmax-Xmin)$$

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对蜜瓜植株长势的影响

由表2可知,在蜜瓜苗期,株高、茎粗、最大叶面积、叶柄长表现为施用蚯蚓粪和微生物菌剂处理较高,较CK处理增加了6.80%~11.71%、4.92%~11.56%、4.31%~19.21%、2.74%~11.07%;在蜜瓜开花期,株高、茎粗、叶柄长表现为施用蚯蚓粪和微生物菌剂处理较高,较CK处理增加了1.31%~5.27%、7.12%~16.21%、5.74%~18.79%;在蜜瓜果实膨大期,茎粗和叶柄长表现为施用蚯蚓粪和微生物菌剂处理较高,较CK处理增加了8.68%~16.34%、7.35%~20.24%。综合来看,整体上不同处理蜜瓜生长的变化趋势为OPE>OP>OE≈O>CK,说明蚯蚓粪和微生物菌剂能够促进蜜瓜植株的生长,且二者互作效应较单一施用效果较好。

表2 不同施肥处理对蜜瓜植株长势变化的影响

时期	处理	株高/cm	茎粗/mm	最大叶面积/cm ²	叶柄长/mm
苗期	OPE	23.50±0.55 a	9.07±0.09 a	289.80±1.65 a	9.33±0.22 a
	OP	23.07±0.38 a	8.77±0.09 b	253.57±3.56 cd	8.80±0.15 ab
	OE	24.13±0.50 a	8.70±0.06 b	275.87±3.20 b	8.93±0.15 ab
	O	23.63±0.26 a	8.53±0.03 b	260.13±8.05 c	8.63±0.15 b
	CK	21.60±0.35 b	8.13±0.03 c	243.10±1.35 d	8.40±0.06 b
开花期	OPE	90.50±0.58 a	12.30±0.55 a	678.63±12.24 a	22.13±0.86 a
	OP	88.90±0.81 ab	12.40±0.06 a	668.93±7.93 a	21.10±0.25 ab
	OE	88.47±1.71 ab	11.73±0.12 ab	670.47±8.78 a	19.70±0.31 bc
	O	87.10±0.31 ab	11.43±0.27 ab	657.40±1.69 a	20.37±0.15 b
	CK	85.97±0.74 b	10.67±0.07 b	652.87±2.78 a	18.63±0.15 c
果实膨大期	OPE	193.43±3.71 a	12.47±0.54 a	739.20±3.86 a	22.40±0.82 a
	OP	190.47±1.55 a	12.60±0.12 a	729.80±6.02 a	21.33±0.27 ab
	OE	192.90±1.31 a	12.00±0.06 a	736.20±2.71 a	20.00±0.26 b
	O	194.10±2.35 a	11.77±0.32 a	726.63±8.48 a	20.73±0.12 b
	CK	186.70±0.30 a	10.83±0.09 b	726.20±5.23 a	18.63±0.28 c

注:不同小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

2.2 不同施肥处理对蜜瓜植株叶片光合特性的影响

由表 3 可知,蜜瓜苗期、开花期、果实膨大期不同处理间叶片光合特性变化趋势一致,净光合速率、蒸腾速率、叶绿素含量均为 OPE 处理最大,对照最小;胞间二氧化碳浓度和气孔导度均为 CK 处理最大,且与不同处理间差异显著;蜜瓜果实膨大期,施用蚯蚓粪和微生物菌剂后叶片净光合速率、蒸腾速率和叶绿素含量均显著高于对照,OPE

处理净光合速率最大,较对照增加了 23.11%,OPE 处理蒸腾速率较对照增加了 18.48%,叶片叶绿素含量较对照增加了 12.71%。施用蚯蚓粪和微生物菌剂降低了胞间二氧化碳和气孔导度,较对照处理降低了 4.74%~8.00%、6.97%~13.75%,总体而言,不同施肥处理中 OPE 处理对蜜瓜光合特性的影响最显著,且 OP、OE、O 处理间差异不显著,但均高于对照处理。

表 3 不同处理间蜜瓜植株光合特性变化趋势

时期	处理	净光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间二氧化碳浓度/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	气孔导度/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	叶绿素 SPAD 值
苗期	OPE	13.83±0.15 a	244.23±1.49 b	121.53±1.49 c	2.29±0.03 a	76.33±0.88 a
	OP	13.10±0.06 b	237.57±1.01 c	128.43±0.84 b	2.14±0.02 b	73.33±0.67 b
	OE	13.23±0.09 b	244.60±1.47 b	127.50±1.46 b	2.08±0.01 b	74.33±0.88 b
	O	12.63±0.09 c	245.60±1.32 b	129.13±0.82 b	2.11±0.04 b	74.00±0.58 b
	CK	11.10±0.15 d	261.53±2.50 a	139.13±0.34 a	1.94±0.03 c	63.33±2.19 c
开花期	OPE	15.48±0.18 a	274.12±1.39 b	141.84±2.84 c	2.49±0.08 a	77.00±1.28 a
	OP	15.10±0.09 b	267.74±1.27 c	148.61±8.61 b	2.34±0.04 b	74.00±2.34 b
	OE	15.63±0.19 a	274.40±1.61 b	147.32±8.42 b	2.38±0.04 b	75.33±3.21 b
	O	14.63±0.19 c	275.92±1.89 b	149.81±4.61 b	2.31±0.03 b	74.00±3.84 b
	CK	14.40±0.12 d	281.84±2.84 a	158.23±6.38 a	2.14±0.03 c	65.33±3.81 c
果实膨大期	OPE	12.68±0.13 a	236.13±2.65 b	118.52±6.27 c	2.18±0.04 a	68.00±2.54 a
	OP	12.15±0.08 b	231.12±3.51 c	126.33±5.94 b	1.95±0.04 b	65.33±2.48 b
	OE	12.58±0.13 b	239.31±5.47 b	124.41±4.61 b	1.94±0.03 b	64.33±3.58 b
	O	11.61±0.17 c	235.82±8.62 b	127.84±5.82 b	1.89±0.01 b	64.33±0.87 b
	CK	10.30±0.12 d	251.22±6.50 a	137.42±0.98 a	1.84±0.06 c	60.33±2.35 c

2.3 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

由图 1 可知,蚯蚓粪和微生物菌剂配施明显提高了土壤酶活性,随着施入时间的增长,酶活性逐渐增大,表现为成熟期酶活性较开花期酶活性高;开花期,脲酶活性表现为 OPE>OP=OE>O>CK,较 CK 处理增加了 26.45%~38.6%,成熟期脲酶活性表现为 OPE>OP>OE>O>CK,较 CK 处理增加了 14.66%~38.96%。不同处理间过氧化氢酶活性差异显著,蚯蚓粪和微生物菌剂配施的过氧化氢酶活性较高,开花期和成熟期均表现为 OPE 处理最大,CK 处理最低,各处理较 CK 处理增加了 18.67%~30.50%和 7.32%~21.80%。硝酸还原酶活性在开花期各施肥处理间差异不显著,均显著高于对照;成熟期,OP 处理最高,CK 处理最低,各处理较 CK 处

理增加了 17.73%~29.43%。碱性磷酸酶开花期和成熟期均表现为 OPE 最高,CK 最低,各处理较对照增加了 33.47%~79.10%和 33.72%~54.37%;总体表现为 OPE>OP>OE>O>CK。土壤多酚氧化酶活性则表现为施用蚯蚓粪和微生物菌剂含量较 CK 低,开花期和成熟期多酚氧化酶活性均表现为 OPE 最低,各处理较 CK 处理降低了 6.43%~41.00%和 0.34%~53.65%。

2.4 不同施肥处理对土壤养分含量的影响

由表 4 可知,蚯蚓粪和微生物菌剂的配施,能显著改善土壤环境,提升哈密瓜种植土壤养分含量、土壤 pH、电导率。水解性氮含量以 OPE、OE、CK 处理较高,OP 和 O 处理较低;速效磷含量 OPE 和 OE 处理较高,CK 处理最低,各处理较对照增加了 7.75%~36.48%;有机质含量 OPE

和 OP 处理较高,各处理较对照增加了 4.45%~25.62%;全氮含量 OE 处理最高,O 处理最低;速效钾含量 OPE 和 OP 处理较高,其他处理间差异不显著;微生物碳和微生物氮含量变化趋势一致,

OPE 和 OP 处理含量较高,和有机质的变化趋势一致。施用微生物菌剂和蚯蚓粪对土壤有机质和微生物量碳、氮的影响较大,对其余养分的影响较小。

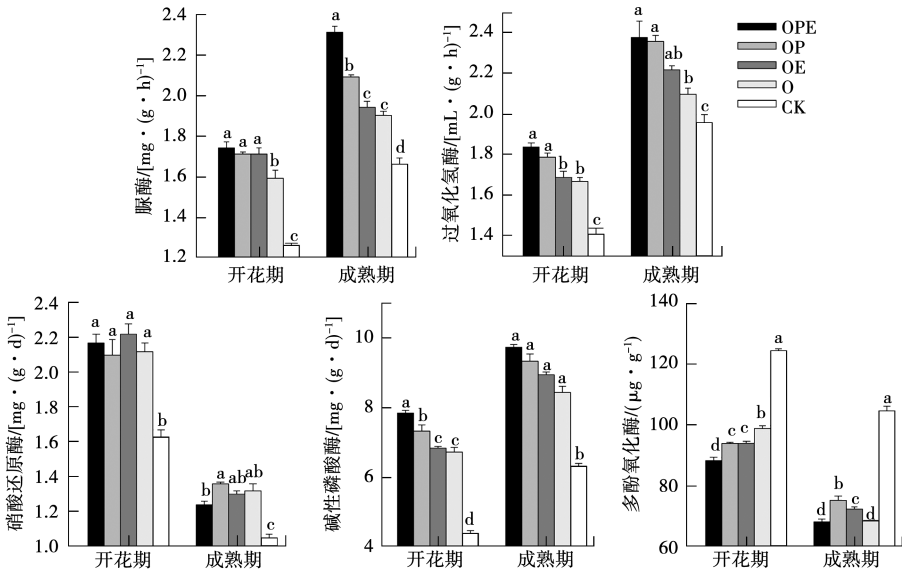


图 1 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

表 4 不同施肥处理对土壤养分的影响

项目	OPE	OP	OE	O	CK
pH	8.52 ± 0.01 ab	8.49 ± 0.01 ab	8.47 ± 0.02 b	8.48 ± 0.03 ab	8.55 ± 0.03 a
电导率/(μS·cm ⁻¹)	131.72 ± 5.79 b	126.54 ± 3.30 b	180.92 ± 5.45 a	132.24 ± 2.65 b	106.64 ± 0.86 c
水解性氮/(mg·kg ⁻¹)	65.62 ± 3.90 a	57.54 ± 0.06 b	59.02 ± 2.55 ab	54.41 ± 0.82 b	61.11 ± 2.01 ab
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	21.71 ± 0.36 ab	19.82 ± 0.84 bc	22.71 ± 0.52 a	17.93 ± 1.12 cd	16.64 ± 0.80 d
有机质/(g·kg ⁻¹)	16.71 ± 0.07 a	17.21 ± 0.62 a	14.72 ± 0.17 b	14.31 ± 0.67 b	13.70 ± 0.26 b
全氮/(g·kg ⁻¹)	0.0546 ± 0.0005 bc	0.0597 ± 0.0023 ab	0.0628 ± 0.0038 a	0.0522 ± 0.0018 c	0.0605 ± 0.0007 ab
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	286.00 ± 11.17 a	271.00 ± 3.84 a	247.00 ± 1.86 b	241.00 ± 4.70 b	244.00 ± 0.58 b
微生物量碳/(mg·kg ⁻¹)	265.52 ± 11.43 a	246.27 ± 5.12 ab	229.71 ± 7.56 b	226.92 ± 8.48 b	222.21 ± 6.14 b
微生物量氮/(mg·kg ⁻¹)	16.21 ± 0.20 a	15.24 ± 0.32 a	13.04 ± 0.91 b	11.91 ± 0.81 b	11.31 ± 0.32 b

2.5 不同施肥处理对蜜瓜营养品质的影响

由图 2 可知,蚯蚓粪和微生物菌剂的配施能显著改善哈密瓜营养品质,不同处理间差异显著,可溶性蛋白含量表现为 OPE>OP>O>OE>CK,各处理较 CK 增加了 17.88%~42.41%;施用蚯蚓粪和微生物菌肥能显著提高蜜瓜可溶性糖含量;OPE 和 OP 处理维生素 C 含量显著高于 CK,OE 和 O 与 CK 差异不显著;施用蚯蚓粪和微生物菌肥降低了蜜瓜硝酸盐含量和有机酸含量,硝酸盐含量表现为 CK>OPE>O>OP=OE,各处理硝酸盐含量较 CK 降低了 0.18%~16.80%,有机酸含量表现为 CK>OP=OE>O>OPE,各处理

较 CK 降低了 5.57%~21.20%。各处理糖酸比显著高于 CK,其中 OPE 显著高于其他处理,OP、OE 和 O 之间差异不显著。

2.6 不同施肥处理对蜜瓜产量的影响

由表 5 可知,蚯蚓粪和微生物菌剂配施处理提高了蜜瓜的单瓜质量和产量,单瓜质量较 CK 增加了 7.69%~21.68%,产量较 CK 增加了 8.93%~29.59%,OPE 处理的单瓜质量增加效果最好,OP、OE、O 处理间差异不显著,横径和纵径在 OPE、OP、OE 处理间无显著差异,显著高于 O 和 CK,蜜瓜 OPE、OP、OE、O 果型指数是高圆,CK 处理为圆。

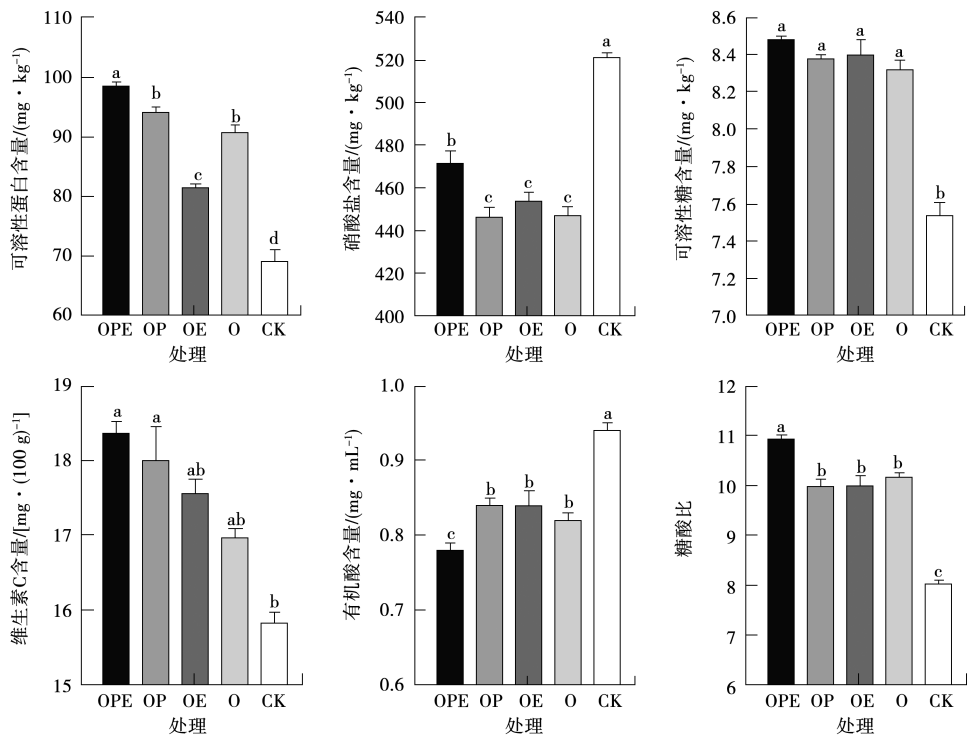


图 2 不同施肥处理对蜜瓜品质的影响

表 5 不同施肥处理对蜜瓜产量的影响

处理	单瓜质量/kg	产量/[kg·(667 m ²) ⁻¹]	横径/cm	纵径/cm	纵横比	果形指数
OPE	1.74±0.03 a	3381.3±87.9 a	174.41±0.54 a	176.92±0.89 a	1.013±0.003 a	高圆
OP	1.59±0.03 b	3231.0±50.5 a	172.82±0.43 a	175.51±1.53 a	1.017±0.007 a	高圆
OE	1.57±0.02 b	3382.7±54.7 a	174.54±1.18 a	175.33±0.80 a	1.003±0.003 ab	高圆
O	1.54±0.01 b	2843.3±80.6 b	163.23±0.64 b	166.52±1.15 b	1.020±0.006 a	高圆
CK	1.43±0.01 c	2610.3±91.8 b	154.71±0.90 c	153.84±1.04 c	0.993±0.003 b	圆

2.7 不同施肥处理下土壤理化性质与蜜瓜产量和品质间相关性分析

由表 6 可知,土壤 pH 和蜜瓜硝酸盐含量呈现显著正相关关系;土壤电导率与硝酸盐含量呈显著负相关,与可溶性糖、产量、横径、纵径呈显著正相关;水解性氮和硝酸盐呈极显著正相关;速效磷与茎粗、可溶性糖、维生素 C、糖酸比、单瓜质量、产量、横径、纵径呈显著或极显著正相关,与有机酸呈显著负相关;有机质和速效钾均与叶柄长、可溶性蛋白、维生素 C、糖酸比、单瓜质量、产量、横径、纵径呈显著或极显著正相关,与有机酸呈显著负相关;微生物量碳和微生物量氮与茎粗、叶柄长、可溶性蛋白、维生素 C、糖酸比、单瓜质量、横径、纵径呈显著或极显著正相关,微生物量氮与有机酸呈显著负相关;脲酶与茎粗、叶柄长、可溶性

蛋白、可溶性糖、维生素 C、糖酸比、单瓜质量、产量、横径、纵径均呈极显著正相关,与硝酸盐含量、有机酸呈显著或极显著负相关;多酚氧化酶与蜜瓜产量和大多数品质生长指标呈现显著或极显著负相关;过氧化氢酶、硝酸还原酶、碱性磷酸酶与硝酸盐含量、有机酸呈极显著负相关,与可溶性糖、可溶性蛋白、维生素 C、产量等指标呈显著或极显著正相关。

2.8 不同施肥处理下蜜瓜产量和品质综合评价

由表 7 可知,根据综合评价指数排序,OPE 处理得分最高,表明 OPE 处理蚯蚓粪和微生物菌剂配施对蜜瓜产量和品质提升效果最显著,其次依次是 OP、OE、O 和 CK,蚯蚓粪和两种微生物菌剂配施效果最好,根际促生菌效果较 EM 微生物菌剂效果好,单一施肥效果较差。

表 6 不同施肥处理下土壤理化性质与蜜瓜产量和品质性状相关性分析

项目	pH	电导率	水解性氮	速效磷	有机质	全氮	速效钾	微生物量碳	微生物量氮	脲酶	多酚氧化酶	过氧化氢酶	硝酸还原酶	碱性磷酸酶
株高	-0.488	0.298	-0.458	0.472	0.101	-0.274	0.015	0.389	0.124	0.354	-0.614*	0.437	0.569*	0.520*
茎粗	-0.428	0.239	-0.335	0.580*	0.634*	-0.021	0.498	0.705**	0.619*	0.741**	-0.664**	0.860**	0.754**	0.841**
最大叶面积	-0.160	0.222	0.147	0.401	0.238	0.066	0.297	0.305	0.272	0.448	-0.256	0.365	0.137	0.464
叶柄长	-0.043	0.146	-0.169	0.361	0.725**	-0.378	0.794**	0.585*	0.745**	0.899**	-0.731**	0.650**	0.545*	0.811**
可溶性蛋白	-0.327	0.117	-0.487	0.456	0.728**	-0.444	0.646**	0.669**	0.713**	0.890**	-0.851**	0.786**	0.722**	0.888**
硝酸盐含量	0.594*	-0.544*	0.643**	-0.413	-0.389	0.108	-0.163	-0.178	-0.358	-0.520*	0.872**	-0.536*	-0.937**	-0.770*
可溶性糖	-0.452	0.548*	-0.456	0.671**	0.579*	-0.23	0.453	0.469	0.583*	0.794**	-0.940**	0.738**	0.819**	0.951**
维生素 C	-0.189	0.391	-0.274	0.577*	0.738**	-0.147	0.723**	0.541*	0.796**	0.876**	-0.760**	0.828**	0.627*	0.891**
有机酸	0.369	-0.351	0.500	-0.601*	-0.553*	0.509	-0.543*	-0.508	-0.585*	-0.859*	0.920**	-0.704**	-0.629*	-0.881**
糖酸比	-0.386	0.411	-0.48	0.640*	0.575*	-0.440	0.547*	0.522*	0.603*	0.872**	-0.943**	0.732**	0.685**	0.926**
单瓜质量	-0.071	0.261	-0.122	0.572*	0.664**	-0.322	0.831**	0.587*	0.769**	0.946**	-0.714**	0.724**	0.411	0.831**
产量	-0.285	0.599*	-0.123	0.843**	0.617*	0.098	0.559*	0.510	0.667**	0.771**	-0.682**	0.719**	0.561*	0.857**
横径	-0.372	0.629*	-0.280	0.801**	0.675**	0.068	0.587*	0.534*	0.723**	0.827**	-0.779**	0.829**	0.701**	0.929**
纵径	-0.405	0.570*	-0.332	0.774**	0.718**	-0.049	0.578*	0.550*	0.728**	0.858**	-0.845**	0.819**	0.762**	0.971**

注：* 表示在 $P<0.05$ 水平显著相关；** 表示在 $P<0.01$ 水平极显著相关。

表 7 不同施肥处理下蜜瓜产量和品质综合评价

处理	可溶性蛋白	硝酸盐含量	可溶性糖	维生素 C	有机酸	糖酸比	单瓜重	产量	纵径	横径	综合评价指数	排序
OPE	1.00	0.34	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	1
OP	0.85	0.00	0.90	0.86	0.39	0.67	0.50	0.81	0.92	0.94	0.68	2
OE	0.42	0.10	0.91	0.68	0.39	0.68	0.45	1.00	1.01	0.93	0.66	3
O	0.74	0.01	0.83	0.45	0.27	0.74	0.34	0.30	0.43	0.55	0.46	4
CK	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	5

3 讨论

3.1 蚯蚓粪和微生物菌剂配施对蜜瓜生长特性的影响

本研究结果表明,与常规施肥相比,蚯蚓粪和微生物菌剂配施后,苗期、开花期、果实膨大期蜜瓜株高和茎粗显著增加,净光合速率、蒸腾速率、叶绿素含量显著增加,适当的配施组合比单一施用效果更好,这与蚯蚓粪在玉米上的研究结果一致^[17]。通过综合评价指数分析,OPE 处理得分最高,表明 OPE 处理蚯蚓粪和微生物菌剂配施对蜜瓜产量和品质提升效果最显著,其次依次是 OP、OE、O 和 CK,蚯蚓粪和两种微生物菌剂配施效果最好,根际促生菌效果较 EM 微生物菌剂效果好,单一施肥效果较差。蚯蚓粪和微生物菌剂的施用改善了土壤微生物环境和土壤理化性状,促进蜜瓜植株的生长,提高蜜瓜品质。长期连作会引起土壤中有益微生物种群、腐殖质、有益激素含量逐年降低,蚯蚓粪中含有大量有益作物生长的腐殖质和激素及微量元素^[18-20],微生物菌剂含有大量有益种群,二者配施可以改善土壤环境。植物根系吸收水分、无机盐、有机质等养分为植物体提供能量,促进植物各个器官和组织正常生长,对地上部生长有固定和支持作用,土壤环境改善有利于植物根系对养分的吸收利用^[21],促进作物地上部分的光合作用和生长,不仅提高作物产量,而且能改善蜜瓜口感,提升营养品质^[22]。韩顺斌等^[23]发现蚯蚓粪与化肥配施可以增加番茄的茎粗,提升甜瓜的叶绿素和净光合速率,本试验对蜜瓜研究结果也证实了以上结论。与常规施肥相比,蚯蚓粪和微生物菌剂配施能显著提高蜜瓜可溶性蛋白、可溶性糖含量、维生素 C 含量,降低蜜瓜硝酸盐含量、总有机酸含量,改善果实营养品质,增加口感,原因可能是土壤中的微生物分泌的物质,提升了植株相关酶活性,蚯蚓粪的施入满足

了果实生长发育所需的生长调节激素类物质,从而进一步促进果实品质的提升^[24-25]。

3.2 蚯蚓粪和微生物菌剂配施对土壤生态环境的影响

研究结果表明,蚯蚓粪和微生物菌剂不同施肥处理对提高土壤肥力,改善土壤环境具有显著效果,施用整个生育期后,蜜瓜成熟期,连作土壤有机质含量、微生物量碳、微生物量氮含量影响最显著,大量研究表明,长期施用蚯蚓粪能提升土壤环境质量^[26],主要原因是蚯蚓粪中含有大量的有益元素,供植物生长所需,蚯蚓粪具有减缓营养元素淋溶的能力^[27]。土壤酶活性是表征土壤物质和能量代谢旺盛程度及土壤质量水平的一个主要生物指标,连作会影响土壤酶活性^[28],很多研究表明施用新型改良材料能够提高土壤酶活性,缓解连作障碍。本研究中,施用蚯蚓粪和微生物菌剂增加解磷和解钾微生物,进而促进解磷微生物向土壤释放磷酸酶来提高磷素的利用效率^[29];微生物菌剂的施用增加土壤微生物量,加快微生物呼吸强度,使微生物代谢旺盛,从而加速了土壤植物残体及动物残体的分解,过氧化氢酶是此过程的主要参与酶,显著增加了过氧化氢酶活性^[30]。蚯蚓粪促进了连作土壤中过氧化氢酶活性可能是由于施用蚯蚓粪促进了土壤中微生物生物量的升高,微生物呼吸加强、生物代谢过程旺盛,加速了土壤中动物、植物残体分解,而过氧化氢酶是上述过程中的重要参与者^[31]。施用蚯蚓粪和微生物菌剂促进土壤多酚氧化酶活性,土壤中多酚氧化酶能够利用生物化学循环效应,降解植物根系产生的自毒化感物质酚酸等,缓解作物化感对植物根系生长的影响,有效促进根系的正常生长^[32]。

4 结论

与传统土壤栽培模式相比,蚯蚓粪和微生物菌剂配施处理可以显著促进蜜瓜植株生长,提高

蜜瓜株高和茎粗,增加光合速率,改善营养品质和外观品质,果实口感好,风味佳,使产量提高了8.93%~29.59%;施用蚯蚓粪和微生物菌剂显著改善了蜜瓜土壤养分含量和酶活性,有效促进植物根系对养分的吸收利用,缓解蜜瓜连作障碍问题,可以在甘肃省武威市民勤县大棚蜜瓜种植中进一步优化推广,促进蜜瓜产业向着优质高产发展。

参考文献:

- [1] 周自政,多峰. 甘肃民勤露地蜜瓜高效栽培技术[J]. 果树实用技术与信息,2021(9):20-22.
- [2] 赵文玉,李海荣,雷虎. 瓜州县广至藏族乡设施蜜瓜产业发展现状及对策[J]. 农业科技与信息,2021(12):55-57.
- [3] 民勤县融媒体中心. 甘肃民勤:优品种拓销路 蜜瓜产业“精准”升级“强引擎”[EB/OL]. (2023-07-12)[2023-07-15]. <https://new.qq.com/rain/a/20230712A06VFP00>.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 李婉茹,郭延亮,王恩煜,等. 优化施肥配施蚯蚓粪有机肥对薄皮甜瓜产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜,2021,34(10):67-73.
- [7] 王丙磊,王冲,刘萌丽. 蚯蚓对土壤-植物系统生态修复作用研究进展[J]. 应用生态学报,2021,32(6):2259-2266.
- [8] 熊孝楠. 蚓粪用量对设施内番茄连作土壤酶活性的调节[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [9] 曹旭,张先成,王向向,等. 蚯蚓粪对番茄根际土壤微生物特性的影响[J]. 北方园艺,2021(15):97-105.
- [10] 胡艳霞,孙振钧,孙永明,等. 蚯蚓粪对黄瓜炭疽病的系统诱导抗性作用[J]. 应用生态学报,2004(8):1358-1362.
- [11] 胡艳霞,孙振钧,周法永,等. 蚯蚓粪对黄瓜苗期土传病害的抑制作用[J]. 生态学报,2002(7):1106-1115.
- [12] 戚嘉琦. 高温闷棚配施生物制剂对草莓连作障碍修复作用的研究[D]. 淮安:淮阴工学院,2021.
- [13] 马二磊,黄芸萍,臧全宇,等. 4 种微生物菌剂对多年连作甜瓜土壤理化性质的影响[J]. 浙江农业科学,2021,62(6):1129-1132.
- [14] 马二磊,黄芸萍,臧全宇,等. 4 种微生物菌剂对多年连作甜瓜土壤真菌群落的影响[J]. 中国瓜菜,2021,34(4):15-20.
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [16] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007.
- [17] KMEŤOVÁ M,KOVÁČIK P. The impact of vermicompost application on yield parameters of maize (*Zea mays* L.) observed in selected phenological growth stages (BBCH-scale) [J]. Acta Fytotechnica et Zootechnica, 2014, 17(4):100-108.
- [18] ARANCON N Q,EDWARDS C A,BIERMAN P,et al.

Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field [J]. Pedobiologia, 2005, 49(4):297-306.

- [19] ARANCON N Q,EDWARDS C A,LEE S S,et al. Management of plant parasitic nematode populations by use of vermicomposts [C]//Brighton Crop Protection Conference Pests and Diseases. 2002:705-716.
- [20] FERNÁNDEZ-LUQUEÑO F,REYES-VARELA V,MARTÍNEZ-SUÁREZ C,et al. Effect of different nitrogen sources on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. Bioresource Technology, 2010,101(1):396-403.
- [21] BONANOMI G,ANTIGNANI V,CAPODILUPO M,et al. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases[J]. Soil Biology and Biochemistry,2010,42(2):136-144.
- [22] 赵海涛,赵雷明,姚旭,等. 添加蚓粪和蛭石对沟塘底泥育苗基质培育番茄幼苗的影响[J]. 中国土壤与肥料,2015(3):88-94.
- [23] 韩顺斌,马丽君,华军,等. 蚯蚓粪和化肥配施对日光温室番茄产量和品质的影响[J]. 农业科技与信息,2020(13):19-21.
- [24] WARDLE D A. Communities and ecosystems:linking the aboveground and belowground components (MPB-34) [M]. Princeton University Press,2013.
- [25] 黄自光. 专用肥配施纳米蚯蚓粪生物有机肥对苹果、番茄产量与品质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [26] JINDO K,CHOCANO C,de AGUILAR J M,et al. Impact of compost application during 5 years on crop production,soil microbial activity, carbon fraction, and humification process [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis,2016,47:1907-1919.
- [27] CATANZARO C J,WILLIAMS K A,SAUVE R J. Slow release versus water soluble fertilization affects nutrient leaching and growth of potted chrysanthemum[J]. Journal of Plant Nutrition,1998,21(5):1025-1036.
- [28] 熊孝楠. 蚓粪用量对设施内番茄连作土壤酶活性的调节[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [29] KUMAR V,SINGH K. Enriching vermicompost by nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria [J]. Bioresource Technology,2001,76(2):173-175.
- [30] 赵凤艳. 蚓粪改善设施番茄连作土壤质量和番茄品质的机理[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [31] BANDICK A K,DICKA R P. Field management effects on soil enzyme activities[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999,31(11):1471-1479.
- [32] TOSCANO G,COLARIETI M L,GRECO J G. Oxidative polymerisation of phenols by a phenol oxidase from green olives[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2003, 33(1):47-54.

Effects of Interaction Between Vermicompost and Microbial Agents on Growth of Honey Dew Melon and Soil Nutrients

MA Fengjie^{1,2,3}, YANG Chunyin¹, SU Cuicui^{1,2,3}, ZHANG Jing^{1,2,3}, WANG Zhenlong^{1,2,3}, SHI Zhiguo^{1,2,3}, LIU Qiang^{1,2,3}

(1. Gansu Academy of Agricultural Engineering and Technology, Wuwei 730006, China; 2. Gansu Provincial Key Laboratory for Germplasm Innovation and Safe Utilization of Special Medicinal Plants, Wuwei 733006, China; 3. Wuwei City Agricultural Soil Improvement and Cultivated Land Conservation Technology Innovation Center, Wuwei 733006, China)

Abstract: In order to alleviate the continuous cropping obstacles in Minqin honey dew melon cultivation, this study explored the application effect of earthworm manure organic fertilizer and microbial inoculants in Minqin honey dew melon cultivation. In this experiment, Minqin honey dew Yindi was used as the experimental material, and a field experiment was conducted. New improved materials such as earthworm dung, rhizosphere growth promoting bacteria, and EM microbial inoculants were selected. Five fertilization treatments, OPE, OP, OE, O, and CK, were set up to determine the growth index, yield, nutrient quality, soil nutrients, and enzyme activity of honeydew. The results showed that the combination of earthworm manure and microbial inoculants could increase the plant height, stem diameter, and maximum leaf area of honey dew melon; The combination of earthworm manure and microbial inoculants significantly increased soil microbial activity and soil enzyme activity. Urease, catalase, and alkaline phosphatase showed higher enzyme activity in mature stage than in flowering stage; The activities of polyphenol oxidase and nitrate reductase in flowering stage were higher than those in mature stage; The combination of earthworm manure and microbial inoculants significantly increased the organic matter content of honeydew soil (4.45%-25.62%), and the microbial carbon and microbial nitrogen content showed an increasing trend, with the highest content in T1 and T2 treatments, with a small impact on other nutrients; The combination of earthworm manure and microbial inoculants can significantly increase the vitamin C content, soluble protein, and soluble sugar content of honey dew melon, reduce the organic acid content and nitrate content of honeydew melon, and increase the yield per mu by 8.93% to 29.59% compared to the control. The comprehensive evaluation and analysis of the improvement effect among various treatments using the membership function showed that the comprehensive evaluation index ranked OPE treatment with the highest score, followed by OP, OE, O, and CK, The effect of earthworm manure combined with two microbial agents was the best, followed by earthworm manure combined with a single microbial agent. The effect of earthworm manure alone was poor, and the effect of rhizosphere growth promoting bacteria was better than that of EM microbial agent.

Keywords: vermicompost; microbial agents; honey dew melon; quality; soil enzyme activities

欢迎关注本刊微信公众号

