不同微生物菌剂处理对哈密瓜品质及土壤养分和酶活性的影响

马凤捷¹, 蔡立群^{1, 2, 3*}, 刘垠霖¹, 孟巧霞⁴, 武均^{1, 2}, 师伟杰⁴, 陈晓龙¹

(1. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃干旱生境作物重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省节水农业工程技术研究中心, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃星硕生物科技有限公司, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 针对哈密瓜长期连作引起的产量低、品质差问题, 研究微生物菌剂对土壤肥力和哈密瓜品质的影响。试验以哈密瓜为研究对象, 对连续种植3年哈密瓜土壤设置对照、12#菌剂、D74菌剂、1#菌剂、12#和D74菌剂混合菌剂共5种施肥处理, 对比不同处理的哈密瓜品质、土壤养分特征和酶活性的变化, 并对哈密瓜品质、土壤养分和酶活性相关性进行分析。结果表明, 施用微生物菌剂后, 哈密瓜糖度、维生素C含量、单瓜重均显著高于对照, 果实硬度、总酸度显著低于对照。施微生物菌剂处理的土壤, 在开花期、果实膨大期、成熟期3个生长期土壤有机质、全氮、有效磷含量显著高于对照, 速效钾变化不显著, 土壤酶活性显著高于对照。哈密瓜品质和土壤有机质、养分及酶活性相关性分析表明, 单瓜重、糖度、维生素C含量与土壤有机质、养分指标和脲酶等酶活性指标均呈显著正相关, 哈密瓜硬度和总酸度与土壤养分和酶活性呈显著负相关。4种微生物菌剂处理中, 12#和D74混合菌剂对土壤酶活性和养分含量影响大于其他处理, 混合菌剂对改善本试验土壤环境效果较好, 显著提高了哈密瓜的产量和品质。

关键词: 微生物菌剂; 哈密瓜; 土壤养分; 酶活性; 品质

哈密瓜 (*Cucumis melo* L.) 是新疆主要名特优水果之一, 口味独特, 受大众喜爱, 是农民和创业者增收效益的主要产业。由于吐鲁番地区昼夜温差大, 日照长, 一年种植两茬, 随着种植规模的逐渐增加, 哈密瓜种植土壤出现养分不均衡、病虫害加重、微生物群落被破坏等现象^[1]; 哈密瓜出现裂瓜、网纹不全、糖度低、酸度高等问题^[1]。根据在吐鲁番、哈密等地区的农户调查发现, 严重的连作障碍已成为哈密瓜产业发展的主要限制因素。

微生物菌剂能够改善土壤环境, 促进植物生长, 改良瓜果品质, 提高植株抗病虫能力^[2]。菌剂施入加速土壤微生物活动, 改善根系土壤微环境, 促进有机质的矿化^[2]; 微生物菌剂还能够提高化肥利用效率, 减少肥料使用量, 减少肥料浪费和潜在环境污染^[2]。长期连作导致土壤肥力下降、有益微生物减少和病原真菌的增加^[3], 不同秸秆还田

土壤有机质含量提高12.8%, 土壤微生物数量提高了30.1%, 随微生物数量增加, 土壤酶活性增强^[4]; 施用微生物肥料可预防土传病害、改善根际土壤真菌群落丰度和多样性, 增加大量有益真菌^[5]。毛壳菌肥能够使黄瓜增产21.85%, 提高了黄瓜可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C含量, 显著改善黄瓜产量和品质^[6]; 李星星等^[7]研究发现施用F01复合微生物菌剂能够提高薯块的产量, 增加淀粉的含量, 缓解马铃薯连作障碍的问题。唐小付等^[8]以不同种植年限的设施甜瓜土壤为研究对象, 土壤中细菌和放线菌数量呈逐渐降低趋势, 而真菌数量先增加后降低, 细菌多样性和丰富度降低, 微生物群落多样性变化是甜瓜连作障碍的主要限制因素之一。施用微生物菌肥对番茄茎粗等生长指标都有所提高, 尤其在0.3、0.6 kg/m²时, 对番茄生长作用最明显; 施用微生物肥用量为0.9 kg/m²时坐果数和单瓜重最大, 分别较常规施肥处理提高了42.86%、36.36%^[9]。

综上所述, 施用微生物菌肥能够克服作物连作障碍, 不仅有利于哈密瓜产业可持续发展, 也能改善土壤微生态环境。为解决哈密瓜连作障碍, 本试验以连作3年哈密瓜种植土壤为研究对象, 在哈密瓜苗期通过有机肥配施不同微生物菌剂, 探讨微生

收稿日期: 2020-01-07; 录用日期: 2020-03-16

基金项目: 甘肃省中小企业创新基金(18CX5JG049); 高效抗重茬生物有机专用肥研制开发与应用项目(712122190033)。

作者简介: 马凤捷(1993-), 女, 甘肃定西人, 硕士研究生, 研究方向为土壤资源评价及可持续利用。E-mail: 2550663071@qq.com。

通讯作者: 蔡立群, E-mail: cailq@gsau.edu.cn。

物菌剂施用对哈密瓜连作土壤养分特征、酶活性的影响效果和对哈密瓜品质的作用效果,明确了微生物菌剂能缓解哈密瓜连作障碍问题,为后期哈密瓜配方施肥提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2019年7~10月在吐鲁番市鄯善县

鲁克沁镇(89°36'48"E、42°47'43"N)进行。海拔-65.8 m,温带大陆性气候,夏季气温29~44℃,冬季气温-18~12℃,无霜期224 d,日照约3000 h,昼夜温差范围在14~25℃之间,年均降水量25 mm^[10]。试验区为砂壤土,试验地选择3年连续种植哈密瓜的土壤,施肥、灌溉等管理条件一致,是我国优良哈密瓜和葡萄等的主产地之一,基本理化性质见表1。

表1 土壤基本理化性质

土层 (cm)	pH 值	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
0 ~ 20	8.58	3.87	0.31	11.75	256.14
20 ~ 40	8.61	3.82	0.34	10.91	245.51

1.2 试验设计

本试验有一个试验样地,试验样地分5个处理,每个处理种植哈密瓜60株,每个处理中哈密瓜单株施肥方式见表2;试验样地各处理前期施肥方式均一致,种植前施有机肥75 kg(有机质含量≥45%,N+P₂O₅+K₂O≥5%),氮磷钾复合肥20 kg(15-15-15)。1#、12#和D74菌剂由陕西博秦生物工程有限公司提供;12#菌剂是密旋链霉菌,有效菌数量50亿/g;D74菌剂是娄彻式链霉菌,有效菌数量大于20亿/g;1#菌剂是玫瑰黄链霉菌,有效菌数量大于20亿/g;有机肥由甘肃星硕生物科技有限公司提供,有机质含量≥45%,N+P₂O₅+K₂O≥5%;在2019年7月2日哈密瓜苗期施菌剂,采样时期分别为开花期、果实膨大期、收获期,不同处理及其施肥说明如表2。

试验小区进行翻土起垄,垄宽120 cm,每2个垄之间距离为60 cm,垄高约30 cm,垄长1500 cm,每条垄种植2行哈密瓜,行距约60 cm,哈密瓜间距50 cm。本试验共分为5个1500 cm×120 cm的小区,1个小区设定为一个处理。

表2 不同处理及其施用方法说明

处理	施用方法
CK	单株100 g有机肥
T1	单株1.5 g12#菌剂+100 g有机肥
T2	单株1.5 g1#菌剂+100 g有机肥
T3	单株1.5 gD74菌剂+100 g有机肥
T4	单株1.5 g混合菌剂(12#:D74=2:1)+100 g有机肥

1.3 样品采集

土壤样品:于哈密瓜开花期(2019-08-02)、果实膨大期(2019-08-26)、成熟期(2019-09-16),按“S”形方法取样,采用5点混合采样法采取0~20、20~40 cm土壤样品(避开施肥带),每个处理采集3个重复,每个重复由5个点混合而成。装入无菌塑料袋,密封保存带回实验室。

瓜样品采集:于哈密瓜成熟期(2019-09-16),每个处理3个重复,每个重复采摘3个,相当于每个处理随机采摘9个表面完整、无损伤和病虫害的哈密瓜,带回实验室,共计30个哈密瓜,进行各指标的测定。

1.4 样品的分析测定

土壤样品:带回实验室风干,去除枯枝落叶等杂物,研磨过0.25 mm筛,密封保存,用于土壤养分和酶活性的测定。土壤pH、有机碳、全氮、有效磷、速效钾均采用鲍士旦等^[11]的测定方法。土壤过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法^[12];土壤蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法^[12];脲酶活性采用靛酚蓝比色法^[12];碱性磷酸酶采用以磷酸苯二钠为基质的测定方法^[12];硝酸还原酶采用2,4-二硝基酚比色法^[12]。

品质指标的测定:哈密瓜单瓜重采用百分天平测定;硬度采用硬度计测定;维生素C含量采用2,6-二氯靛酚滴定法测定^[11];芯糖和边糖用PRO-101型糖度计测定;总酸度采用氢氧化钠滴定法测定^[13]。

1.5 数据整理与分析

用Excel 2001制表,并用SPSS 22.0软件进行

统计分析。不同处理间各项指标的差异显著性采用单因素方差分析 (Duncan)。

2 结果与分析

2.1 不同微生物菌剂处理对哈密瓜品质的影响

从表 3 可以看出, 施用微生物菌剂的哈密瓜中, 单瓜重、芯糖、维生素 C 均高于对照处理; 施用 1# 菌剂, 单瓜重显著高于其他处理 ($P < 0.05$),

较对照处理, 单瓜重提高 27.11%, 芯糖含量提高 9.7%。施用 12# 菌剂, 芯糖含量较对照提高了 6.60%。施用 D74 菌剂, 边糖、维生素 C 含量显著高于其他处理, 较对照, 芯糖含量提高了 11.23%, 边糖含量提高了 18.92%, 维生素 C 提高了 57.78%。施用 12# 和 D74 混合菌剂维生素 C 较对照提高了 48.07%。微生物菌剂降低了哈密瓜硬度 (除 T2) 和总酸度。

表 3 不同微生物菌剂处理对哈密瓜品质的影响

处理	单瓜重 (kg)	硬度 (kg/cm ²)	芯糖 (%)	边糖 (%)	总酸度 (g/kg)	维生素 C (mg/100 g)
CK	2.84 ± 0.03c	5.00 ± 0.26a	15.13 ± 0.06b	12.00 ± 0.75b	17.47 ± 0.86a	8.03 ± 0.30c
T1	2.92 ± 0.09c	4.07 ± 0.38c	16.13 ± 0.65a	10.87 ± 0.49c	15.41 ± 2.06ab	9.67 ± 0.05b
T2	3.61 ± 0.03a	5.10 ± 0.26a	16.60 ± 0.56a	13.63 ± 0.51ab	12.66 ± 0.77c	10.36 ± 0.45b
T3	3.49 ± 0.04b	4.27 ± 0.25bc	16.83 ± 0.58a	14.27 ± 0.15a	14.50 ± 1.26bc	12.67 ± 0.35a
T4	3.56 ± 0.06ab	4.63 ± 0.06ab	17.17 ± 0.65a	12.90 ± 0.56ab	12.92 ± 0.95c	11.89 ± 1.44a

注: 表中小写字母表示差异显著性水平 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 不同微生物菌剂处理对哈密瓜土壤养分特征的影响

从表 4 可以看出, 0 ~ 20 cm 表层土壤 pH 低于 20 ~ 40 cm, 总体上 0 ~ 20 cm 表层土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量略高于 20 ~ 40 cm。0 ~ 20 和 20 ~ 40 cm 各施肥处理间的变化趋势基本一致。开花期, 微生物菌剂处理 pH 显著低于对照, 降低范围为 0.35% ~ 1.74%; 土壤全氮、有效磷含量显著高于对照处理, 分别提高了 125% ~ 195%、17.01% ~ 144.08%; 速效钾含量在不同处理间无显著差异。果实膨大期, 土壤 pH、有机质、全氮和速效钾在不同处理下无显著差异; 有效磷含量混合菌剂处理较对照提高了 37.59%, 其他处理间无显著差异。成熟期, 有效磷和速效钾在不同处理间无显著差异; 微生物菌剂处理下 pH、有机质含量低于对照处理, 分别降低了 2.4% ~ 3.49%、10.39% ~ 25.15%, 全氮含量高于对照处理, 提高了 13.33% ~ 30.00%。

2.3 不同微生物菌剂处理对哈密瓜土壤酶活性的影响

从表 5 可以看出, 不同微生物菌剂处理间土壤酶活性差异显著 ($P < 0.05$), 0 ~ 20 cm 表层土壤过氧化氢酶活性略低于 20 ~ 40 cm, 脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶、硝酸还原酶 0 ~ 20 cm 表层土壤略高于 20 ~ 40 cm。过氧化氢酶活性随施入菌剂的时间呈现先降低后增加的趋势, 生长后期酶活性最高, 不同处理间差异显著, 施菌剂处理酶活性高于对照处理。脲酶活性随施入菌剂的时间呈现逐渐升高趋势, 生

长后期酶活性最高, 开花期, T4 处理显著高于其他处理, 较对照提高了 109.34%, 果实膨大期各处理间无显著差异, 成熟期, T4 处理活性最高, 较对照提高了 62.40%。蔗糖酶活性随施入菌剂的时间呈现逐渐升高的趋势, 开花期各处理间差异显著, 果实膨大期和收获期处理间无显著差异。碱性磷酸酶活性随施入菌剂的时间呈现先增加后降低的趋势, 开花期和果实膨大期, T4 处理均显著高于其他处理, 分别较对照提高了 261.47%、105.93%, 成熟期各菌剂处理间无显著差异。硝酸还原酶活性随施入菌剂的时间呈现先增加后降低的趋势, 3 个时期各处理间差异变化显著, 施菌剂处理酶活性高于对照处理。

2.4 不同微生物菌剂处理各指标间的相关性

土壤养分特征、酶活性和哈密瓜品质指标间 Pearson 相关性分析结果如表 6 所示, 品质指标中, 单瓜重与过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶呈显著正相关, 与硝酸还原酶呈负相关; 芯糖与全氮、过氧化氢酶、脲酶、碱性磷酸酶显著正相关, 与 pH 呈显著负相关; 硬度和硝酸还原酶活性呈显著负相关; 总酸度与 pH 呈正相关, 与土壤养分、土壤酶活性 (除硝酸还原酶) 呈负相关; 维生素 C 与全氮、过氧化氢酶、碱性磷酸酶、单瓜重、芯糖、边糖呈显著正相关。土壤 pH 与土壤养分和酶活性均呈负相关; 有机质和过氧化氢酶、脲酶呈显著负相关; 全氮与硝酸还原酶、过氧化氢酶呈显著正相关, 有效磷与速效钾呈显著正相关; 速效钾与过氧化氢酶呈显著正相关。

表 4 不同微生物菌剂处理对哈密瓜土壤养分的影响

土层 (cm)	采样期	处理	pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
0 ~ 20	开花期	CK	8.61 ± 0.04a	5.69 ± 0.11ab	0.20 ± 0.04c	9.05 ± 1.51b	348.67 ± 37.69a
		T1	8.46 ± 0.07b	7.73 ± 1.56a	0.59 ± 0.06a	11.13 ± 1.75b	382.33 ± 8.08a
		T2	8.50 ± 0.03b	5.77 ± 0.41ab	0.54 ± 0.11ab	22.09 ± 8.24a	354.00 ± 44.19a
		T3	8.53 ± 0.03ab	5.11 ± 2.03b	0.50 ± 0.04ab	11.95 ± 3.90b	358.33 ± 27.23a
		T4	8.58 ± 0.04a	4.59 ± 1.03b	0.45 ± 0.08b	10.59 ± 1.75b	356.33 ± 36.46a
	果实膨大期	CK	8.93 ± 0.02a	9.35 ± 2.00a	0.38 ± 0.01a	50.80 ± 1.50b	288.33 ± 25.72a
		T1	9.03 ± 0.08a	7.86 ± 1.40a	0.36 ± 0.12a	49.08 ± 14.69b	353.00 ± 35.68a
		T2	8.88 ± 0.12a	8.00 ± 0.94a	0.42 ± 0.04a	53.87 ± 1.96b	320.33 ± 28.38a
		T3	8.95 ± 0.19a	10.76 ± 2.53a	0.35 ± 0.10a	52.79 ± 2.76b	314.67 ± 45.35a
		T4	8.96 ± 0.03a	8.64 ± 2.92a	0.41 ± 0.07a	69.90 ± 8.48a	291.33 ± 33.01a
	成熟期	CK	9.16 ± 0.08a	6.64 ± 1.09a	0.30 ± 0.03b	66.73 ± 11.31a	297.00 ± 31.22a
		T1	8.84 ± 0.04b	4.97 ± 0.23b	0.36 ± 0.02a	70.72 ± 12.20a	331.67 ± 22.94a
		T2	8.86 ± 0.07b	5.56 ± 1.16ab	0.34 ± 0.02ab	73.16 ± 14.75a	304.67 ± 12.66a
		T3	8.94 ± 0.05b	5.95 ± 0.48ab	0.39 ± 0.03a	87.65 ± 25.84a	335.33 ± 21.73a
		T4	8.86 ± 0.06b	5.53 ± 0.60ab	0.37 ± 0.04a	99.88 ± 29.58a	339.33 ± 43.56a
	20 ~ 40	开花期	CK	8.68 ± 0.04a	3.72 ± 0.56a	0.15 ± 0.07b	9.14 ± 2.88b
T1			8.61 ± 0.08ab	5.22 ± 2.45a	0.35 ± 0.04a	17.02 ± 5.57a	213.67 ± 8.50a
T2			8.55 ± 0.05b	3.19 ± 0.49a	0.34 ± 0.05a	11.49 ± 0.72ab	213.33 ± 5.51a
T3			8.56 ± 0.07b	3.22 ± 1.28a	0.25 ± 0.04ab	9.50 ± 1.75b	206.33 ± 10.21a
T4			8.60 ± 0.03ab	4.13 ± 1.60a	0.20 ± 0.08b	10.23 ± 4.12b	199.33 ± 11.59a
果实膨大期		CK	9.01 ± 0.01a	4.10 ± 2.27b	0.42 ± 0.05a	37.75 ± 4.09b	201.67 ± 22.19a
		T1	9.12 ± 0.05a	7.28 ± 0.64ab	0.35 ± 0.02a	52.15 ± 4.80ab	186.33 ± 12.50ab
		T2	9.10 ± 0.23a	6.53 ± 1.11ab	0.30 ± 0.02a	60.03 ± 6.90a	199.33 ± 42.67a
		T3	9.06 ± 0.20a	9.24 ± 3.60a	0.35 ± 0.12a	64.20 ± 17.02a	185.00 ± 10.82ab
		T4	9.01 ± 0.19a	6.65 ± 1.08ab	0.36 ± 0.05a	63.29 ± 8.43a	153.33 ± 12.21b
成熟期		CK	9.21 ± 0.08a	4.04 ± 0.62a	0.35 ± 0.06a	62.21 ± 12.49c	199.00 ± 29.82a
		T1	8.99 ± 0.06b	5.93 ± 1.51a	0.35 ± 0.03a	77.78 ± 7.47bc	199.33 ± 30.27a
		T2	8.94 ± 0.06b	5.19 ± 0.56a	0.41 ± 0.04a	95.44 ± 8.70ab	193.67 ± 20.03a
		T3	9.03 ± 0.11b	6.25 ± 0.96a	0.39 ± 0.07a	74.25 ± 15.38c	195.33 ± 24.70a
		T4	9.02 ± 0.03b	5.67 ± 1.60a	0.37 ± 0.08a	109.03 ± 8.00a	196.33 ± 23.18a

表 5 不同微生物菌剂处理对哈密瓜土壤酶活性的影响

土层 (cm)	采样期	处理	过氧化氢酶 [0.1 mol/L KMnO ₄ mL/(g·h)]	脲酶 [NH ₄ ⁺ mg/ (g·d)]	蔗糖酶 [glucose mg/ (g·d)]	碱性磷酸酶 [p-nitrophenol mg/ (g·d)]	硝酸还原酶 [NO ₂ -N mg/ (g·d)]	
0 ~ 20	开花期	CK	3.480 ± 0.117a	78.202 ± 7.065c	0.514 ± 0.084b	0.784 ± 0.292c	0.0071 ± 0.0051ab	
		T1	3.284 ± 0.107ab	91.170 ± 10.442c	0.987 ± 0.138ab	0.988 ± 0.225c	0.0049 ± 0.0021b	
		T2	3.021 ± 0.081bc	135.899 ± 23.345b	0.569 ± 0.111b	1.793 ± 0.358b	0.0049 ± 0.0036b	
		T3	2.960 ± 0.166c	122.180 ± 9.782b	0.510 ± 0.255b	0.570 ± 0.354c	0.0115 ± 0.0075ab	
		T4	3.224 ± 0.228abc	163.714 ± 13.323a	1.212 ± 0.486a	2.834 ± 0.492a	0.0151 ± 0.0048a	
	果实膨大期	CK	2.122 ± 0.215c	128.570 ± 9.590a	1.377 ± 0.577a	2.512 ± 1.313bc	0.0241 ± 0.0032c	
		T1	2.933 ± 0.253a	152.438 ± 28.193a	1.359 ± 0.334a	4.047 ± 0.561ab	0.0307 ± 0.0031ab	
		T2	2.555 ± 0.230ab	149.995 ± 14.156a	2.299 ± 1.024a	2.190 ± 1.056c	0.0257 ± 0.0015bc	
		T3	2.345 ± 0.261bc	149.995 ± 53.561a	1.974 ± 1.909a	3.295 ± 0.517bc	0.0322 ± 0.0035a	
		T4	2.967 ± 0.142a	165.218 ± 4.795a	2.767 ± 0.823a	5.173 ± 0.572a	0.0287 ± 0.0033abc	
	成熟期	CK	3.683 ± 0.071b	137.027 ± 3.754d	2.570 ± 0.465a	1.278 ± 0.223b	0.0067 ± 0.0042b	
		T1	4.463 ± 0.107a	199.799 ± 8.020b	3.561 ± 0.457a	2.362 ± 0.113a	0.0185 ± 0.0016a	
		T2	4.305 ± 0.235a	211.451 ± 16.286ab	5.727 ± 0.882a	2.298 ± 0.437a	0.0083 ± 0.0025b	
		T3	4.285 ± 0.062a	170.292 ± 12.421c	4.850 ± 3.594a	2.416 ± 0.130a	0.0197 ± 0.0022a	
		T4	4.535 ± 0.091a	222.540 ± 13.891a	5.332 ± 1.192a	2.255 ± 0.645a	0.0096 ± 0.0065b	
	20 ~ 40	开花期	CK	3.649 ± 0.127a	73.127 ± 16.312b	0.597 ± 0.211ab	0.559 ± 0.134b	0.0089 ± 0.0076ab
			T1	2.730 ± 0.228b	81.961 ± 8.612b	0.904 ± 0.096ab	0.752 ± 0.049b	0.0047 ± 0.0015ab
			T2	2.953 ± 0.164b	108.648 ± 9.618a	0.409 ± 0.216b	1.139 ± 0.887b	0.0023 ± 0.0011b
			T3	2.811 ± 0.188b	103.010 ± 10.757a	1.097 ± 0.625a	0.420 ± 0.233b	0.0077 ± 0.0030ab
			T4	3.034 ± 0.163b	116.917 ± 4.861a	0.583 ± 0.145ab	2.383 ± 0.219a	0.0121 ± 0.0073a
果实膨大期		CK	2.034 ± 0.157b	77.074 ± 7.065b	1.253 ± 0.758a	0.924 ± 0.148c	0.0200 ± 0.0031a	
		T1	2.480 ± 0.245ab	106.393 ± 5.167b	1.065 ± 0.166a	3.070 ± 0.344b	0.0171 ± 0.0138a	
		T2	2.392 ± 0.375b	128.946 ± 7.065a	1.643 ± 0.124a	1.289 ± 1.030c	0.0245 ± 0.0033a	
		T3	2.413 ± 0.219ab	120.112 ± 39.133a	1.510 ± 1.556a	1.868 ± 0.806c	0.0236 ± 0.0073a	
		T4	2.879 ± 0.173a	132.892 ± 13.055a	1.611 ± 0.479a	4.583 ± 0.517a	0.0223 ± 0.0028a	
成熟期		CK	3.575 ± 0.091c	101.694 ± 7.444c	2.469 ± 0.332a	1.042 ± 0.420b	0.0033 ± 0.0018b	
		T1	4.433 ± 0.119a	181.945 ± 7.585a	2.845 ± 2.096a	1.965 ± 0.262b	0.0157 ± 0.0039a	
		T2	4.143 ± 0.130b	171.420 ± 33.233ab	2.575 ± 1.367a	3.156 ± 0.949a	0.0058 ± 0.0027b	
		T3	4.264 ± 0.062ab	136.275 ± 25.031bc	3.506 ± 2.113a	1.353 ± 0.603b	0.0163 ± 0.0043a	
		T4	4.237 ± 0.061b	175.931 ± 8.612a	3.768 ± 2.076a	1.461 ± 0.233b	0.0058 ± 0.0010b	

表 6 不同微生物菌剂处理各指标间的相关性

	pH	有机质	全氮	有效磷	速效钾	过氧化氢酶	脲酶	蔗糖酶	碱性磷酸酶	硝酸还原酶	单瓜重	硬度	芯糖	边糖	总酸度	维生素 C
pH	1															
有机质	0.741**															
全氮	-0.554*	-0.201														
有效磷	-0.271	-0.013	0.446													
速效钾	-0.449	-0.24	0.633*	0.564*												
过氧化氢酶	-0.845**	-0.589*	0.565*	0.322	0.521*											
脲酶	-0.847**	-0.623*	0.341	0.152	0.139	0.779**										
蔗糖酶	-0.491	-0.31	0.459	-0.047	0.295	0.516*	0.463									
碱性磷酸酶	-0.569*	-0.464	0.431	0.037	0.185	0.755**	0.613*	0.529*								
硝酸还原酶	-0.276	-0.114	0.653**	0.283	0.466	0.406	-0.057	-0.115	0.345							
单瓜重	-0.505	-0.13	0.478	0.354	0.164	0.524*	0.587*	0.643**	0.530*	-0.039						
硬度	0.261	0.112	-0.424	-0.084	-0.248	-0.462	-0.108	0.135	-0.414	-0.776**	0.15					
芯糖	-0.545*	-0.171	0.534*	0.392	0.351	0.571*	0.630*	0.411	0.600*	0.101	0.719**	-0.099				
边糖	-0.14	0.092	0.359	0.404	0.199	0.077	0.067	0.393	0.127	-0.037	0.743**	0.289	0.485			
总酸度	0.671**	0.32	-0.566*	-0.361	-0.491	-0.623*	-0.688**	-0.673**	-0.442	0.039	-0.745**	-0.181	-0.750**	-0.552*		
维生素 C	-0.452	-0.169	0.594*	0.352	0.245	0.555*	0.496	0.404	0.694**	0.291	0.762**	-0.353	0.816**	0.571*	-0.494	1

注: *表示 $P < 0.05$ 水平显著; **表示 $P < 0.01$ 水平显著。

3 讨论

微生物菌剂不仅调控土壤微生物活动,还能改善瓜果品质,哈密瓜品质包括哈密瓜大小和口感。本试验中,施用微生物菌剂的土壤,哈密瓜单瓜重显著高于对照;马美兰等^[14]研究表明,施生物有机肥,甜瓜横径、纵径、单瓜重均有一定程度的增加,因此,施菌肥能够提高甜瓜产量。哈密瓜营养品质包括糖度、酸度、维生素C、可溶性蛋白等;微生物菌剂和有机肥中含有大量能促进植物光合作用和合成自身糖类和维生素C的营养物质^[15];本试验中,施用微生物菌剂处理的哈密瓜,其糖度和维生素C含量均显著高于对照,硬度和总酸度显著低于对照,这与大部分学者研究结果一致,石瑜等^[16]研究表明,生物有机肥施用提高了甜瓜可溶性固形物和维生素C含量,微生物菌剂能够改善哈密瓜营养品质,提高哈密瓜产量。与不施肥相比,施生物有机肥促进枸杞增产38.01%~86.88%,百粒重增加6.47%~18.65%,可溶性固形物含量提高3.96%~10.37%,多糖含量提高8.57%~19.05%,维生素C含量提高5.69%~17.08%。年收益增长4万~10万元/hm²^[17]。

微生物菌剂和有机肥中含有大量微生物和营养元素,微生物能够进一步活化土壤营养物质,提高了土壤有机质和速效养分含量;本试验中,根系分泌有机酸等物质导致0~20cm表层土壤pH低于20~40cm;0~20cm表层土壤养分含量大于20~40cm;4种施菌剂处理均在一定程度上增加土壤有机质、有效磷、速效钾、全氮含量,这与胡诚等^[18]、哈雪姣等^[19]研究结果一致,但4种不同菌剂处理间的差异不显著,很难从养分释放方面判断菌剂的应用效果。长期施用微生物有机肥能够改善土壤微环境,增加植株根系活力^[20],有利于养分的吸收转运,促进植株的生长,提高土壤肥力。施用生物有机肥能够降低枸杞生长土壤pH值和全盐含量,显著提高土壤有机质和碱解氮、有效磷、速效钾养分含量^[17]。

土壤酶是土壤的重要组成部分,土壤酶来源于土壤微生物活动、动植物残体分解等过程^[21],参与土壤的各种生化反应,土壤酶活性的高低与土壤微生物活动密切相关,反映土壤养分矿化和腐熟

能力的强弱^[22]。土壤酶活性与土壤施肥措施、肥力状况、通气透水性能密切相关^[23-24],由于表层土壤水肥气热良好,根系分布在0~20cm,微生物活动频繁,因此0~20cm表层土壤酶活性高于20~40cm。随着土层加深,哈密瓜土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶、硝酸还原酶活性均降低,过氧化氢酶活性增强。这与杜静静^[25]研究结论一致,研究同一土层中,随着施菌剂时间增长,哈密瓜生长旺盛,根系微生物活动强烈,过氧化氢酶、碱性磷酸酶、硝酸还原酶呈先降低后增加的趋势,土壤脲酶、蔗糖酶呈逐渐升高的趋势,土壤酶活性与土壤有机质含量及其微生物活动关系紧密^[26];在长期种植哈密瓜土壤中,由于根毛脱落物分解和根系分泌物残留和积累,使得土壤微生物种群以及自身的毒害作用发生了变化,引起土壤酶活性降低;本试验施用不同微生物菌剂,加速微生物活动,一定程度地增加了土壤酶活性,更有利于哈密瓜的生长。4种菌剂处理土壤酶活性差异显著,总体数据分析,混合菌剂处理下脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶、硝酸还原酶在不同生育时期酶活性均最高;单一菌剂处理酶活性低于混合菌剂相互作用,12#和D74菌剂间相互促进,提高土壤酶活性,改善土壤微环境。

进一步分析不同菌剂处理对哈密瓜品质、酶活性、土壤养分特征的影响,本试验将品质指标、养分指标、酶活性做Pearson相关性分析,得出单瓜重、糖度、维生素C与土壤有机质、养分指标和脲酶等酶活性指标均呈显著正相关,哈密瓜硬度和总酸度与土壤养分和酶活性呈显著负相关,表明土壤养分的增加在一定程度上改善哈密瓜营养品质和产量。微生物菌剂配施有机肥可以提高土壤有机质含量和速效养分含量,改善土壤肥力,缓解哈密瓜连作障碍,提高哈密瓜产量。

4 结论

本试验连作土壤中施用微生物菌剂后,哈密瓜糖度、维生素C、单瓜重均显著高于对照,果实硬度、总酸度显著低于对照;施微生物菌剂处理的土壤,在开花期、果实膨大期、成熟期3个生长时期土壤有机质、全氮、有效磷含量显著高于对照,速效钾变化不显著;0~20cm表层土壤酶活性高于20~40cm,施菌剂土壤酶活性显著高于对照,不同微生物菌剂间差异显著。哈密瓜品质和土壤有机

质养分及其酶活性的相关性分析表明,单瓜重、糖度、维生素 C 与土壤有机质、养分指标和脲酶等酶活性指标均呈显著正相关,哈密瓜硬度和总酸度与土壤养分和酶活性呈显著负相关。4 种微生物菌剂处理中,12# 和 D74 混合菌剂对土壤酶活性和养分含量影响大于其他处理,混合菌剂对改善本试验土壤环境效果最好,显著提高了哈密瓜产量和品质。

参考文献:

- [1] 王宣仓,李德辉.吐鲁番哈密瓜栽培过程中常见问题与解决措施[J].蔬菜,2019(9):60-62.
- [2] 陈慧君.微生物肥料菌种应用与效果分析[D].北京:中国农业科学院,2013.
- [3] Wu X, Zhao Q Y, Zhao J, et al. Different continuous cropping spans significantly affect microbial community membership and structure in a vanilla-grown soil as revealed by deep pyrosequencing[J]. Microb Ecol, 2014, 70(1): 209-218.
- [4] 高青海,贾双双,郭远远.秸秆集中深还田对设施连作土壤微生物区系和甜瓜根系生长的影响[J].生态学杂志,2016,35(6):1447-1452.
- [5] 杨永,张学军,李霖华,等.微生物肥料对设施长期连作哈密瓜根际土壤真菌群落结构的影响[J].应用与环境生物学报,2018,24(1):68-74.
- [6] 张素平,田叶韩,王建明,等.毛壳菌肥对黄瓜生长、产量和品质及氮磷钾吸收的影响[J].中国农学通报,2017,33(11):35-42.
- [7] 李星星,张胜,蒙美莲,等.F01复合微生物菌剂对马铃薯生长、产量和品质的影响[J].北方农业学报,2019,47(5):48-53.
- [8] 唐小付,刘岳飞,张传进,等.设施甜瓜种植年限对土壤生物学特性和细菌多样性的影响[J].热带作物学报,2018,39(8):1493-1500.
- [9] 张绪美,曹亚茹,沈文忠,等.微生物肥对设施土壤次生盐渍化和番茄生产的影响[J].中国土壤与肥料,2019(5):119-126.
- [10] 王艳.双季哈密瓜栽培关键技术[J].蔬菜,2018(9):41-43.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业科技出版社,2000.14-111.
- [12] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.274-276,294-297,309-313.
- [13] 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,2007.28-29,57-59,68-70.
- [14] 马美兰,戚正华.生物有机肥对甜瓜产量及发病率的影响[J].上海农业科技,2010(3):101-102.
- [15] 林文丽.设施栽培条件下施肥对厚皮甜瓜生长的影响及养分管理研究[D].南京:南京农业大学,2014.
- [16] 石瑜,王敬民,李敬华,等.生物有机肥对设施甜瓜生长和品质的影响[J].农业科技通讯,2019(11):122-124,127.
- [17] 闫鹏科,常少刚,孙权,等.施用生物有机肥对枸杞产量、品质及土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2019(5):112-118.
- [18] 胡诚,曹志平,罗艳蕊,等.长期施用生物有机肥对土壤肥力及微生物生物量碳的影响[J].中国生态农业学报,2007(3):48-51.
- [19] 哈雪皎,左继民,司长城,等.施用生物有机肥及生物菌剂对西瓜产量、品质及土壤养分含量的影响[J].中国瓜菜,2018,31(10):45-48.
- [20] 邱晓丽,周洋子,董莉,等.生物有机肥对马铃薯根际土壤生物活性及根系活力的影响[J].干旱地区农业研究,2019,37(3):162-169.
- [21] Zimmenman S, Frey B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil effects of wood ash[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34(11):1727-1737.
- [22] 赵萌,李敏,王森焱,等.西瓜连作对土壤主要微生物类群和土壤酶活性的影响[J].微生物学通报,2008,35(8):1251-1254.
- [23] 王桂跃,苏婷,韩海亮,等.长期施肥对水田和旱地土壤微生物群落结构、活性碳氮及酶活性的影响[J].浙江农业学报,2018,30(5):817-824.
- [24] 李迪,龙怀玉,王宁,等.连续负压供水对辣椒种植土壤速效养分及酶活性的影响[J].中国土壤与肥料,2018(4):21-27.
- [25] 杜静静.不同种植年限果园土壤理化性质与酶活性研究[D].太原:山西师范大学,2013.
- [26] Mikhailouskaya N, Bogdevitch I. Relations of enzyme activities with different fractions of soil organic matter[J]. Polish Journal of Soil Science, 2009, 42: 175-182.

Effects of different microbial inoculants on the quality of cantaloupe and soil nutrients and enzyme activities

MA Feng-jie¹, CAI Li-qun^{1, 2, 3*}, LIU Yin-lin¹, MENG Qiao-xia⁴, WU Jun^{1, 2}, SHI Wei-jie⁴, CHEN Xiao-long¹
(1. College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070; 2. Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070; 3. Gansu Engineering Research Center for Agriculture Water-saving, Lanzhou Gansu 730070; 4. Gansu Xingsuo Biotechnology Co. Ltd., Zhangye Gansu 734000)

Abstract: Aiming at the problems of low yield and poor quality caused by long-term continuous cropping of cantaloupe, the

effects of microbial inoculants on soil fertility and quality of cantaloupe were studied. In this experiment, the field with cantaloupe multiple cropping for 3 years was used as the research object, and 5 kinds of fertilization treatments were set up, including 12 # bacteria agent, D74 bacteria agent, 1 # bacteria agent, 12 # and D74 bacteria agent mixed bacteria agent. Changes of cantaloupe quality, soil nutrient characteristics and enzyme activity under different treatments, and correlations between cantaloupe quality, soil nutrient and enzyme activity were analyzed. The results showed that the sugar content, vitamin C and single melon weight of the melon were significantly higher than those of the control, and the fruit hardness and total acidity were significantly lower than those of the control. The soil organic matter, total nitrogen and available phosphorus content in the three growth periods of the soil treated with microbial inoculants were significantly higher than those in the control during flowering, fruit expansion and harvest. The available potassium did not change significantly, and soil enzyme activities were significantly higher than those in the control. Correlation analysis of cantaloupe quality and soil organic matter, nutrients and enzyme activities showed that single melon weight, sugar content, vitamin C and soil organic matter and nutrient indicators and urease and other enzyme activity indicators were significantly positively correlated, cantaloupe hardness and total acidity were significantly negative correlated with soil nutrients and enzyme activities. Among the four microbial inoculants, 12 # and D74 mixed inoculants had greater effects on soil enzyme activity and nutrient content than other treatments. The mixed inoculants had the best effect on improving the soil environment in this test, and increased the yield and quality of cantaloupe.

Key words: microbial inoculum; cantaloupe; soil nutrients; enzyme activity; quality