

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.22585

化肥减量配施微生物菌肥对圣女果产量、品质及土壤肥力的影响

张德楠¹, 张燕钊², 滕秋梅¹, 徐广平^{1*}, 黄科朝¹, 吕仕洪¹, 孙英杰¹

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所 / 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室, 广西 桂林 541006; 2. 桂林德智外国语学校, 广西 桂林 541001)

摘 要: 研究化肥减量配施微生物菌肥对大田圣女果产量、品质及土壤肥力的影响, 探讨适宜的施用量, 为实现圣女果“化肥减量增效”的绿色产业目标提供依据。设置不施用肥料(CK)、100% 化肥处理(SI)、100% 微生物菌肥(SM)、化肥减量 50%+25% 微生物菌肥(MC1)、化肥减量 50%+50% 微生物菌肥(MC2)和化肥减量 50%+100% 微生物菌肥(MC3) 6 个处理, 分析土壤养分、微生物数量和酶活性, 测定圣女果品质相关的甜度和维生素 C(Vc)、硝酸盐、还原糖、粗蛋白质和粗灰分含量指标, 并统计圣女果果实产量。结果表明: 与 SI 处理相比, (1) MC1、MC2 和 MC3 处理显著提高了土壤有机质、全氮、全磷和碱解氮含量, 增幅分别为 11.9% ~ 23.7%、7.8% ~ 22.5%、2.7% ~ 27.4% 和 10.2% ~ 51.8%。(2) MC2 和 MC3 处理中细菌、放线菌、固氮菌和酵母菌数量分别增加了 10.6% ~ 18.0%、7.1% ~ 11.8%、28.9% ~ 41.3% 和 13.3% ~ 18.7%, 而真菌减少 11.4% ~ 28.1%。(3) MC1、MC2、MC3 和 SM 处理增强了土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和酸性磷酸酶活性, MC1、MC2 和 MC3 处理的增幅分别为 8.5% ~ 28.7%、17.3% ~ 80.7%、6.1% ~ 45.1% 和 33.3% ~ 110%; SM 处理的增幅分别为 16.1%、59.3%、30% 和 85.3%。(4) MC1、MC2 和 MC3 处理可有效降低圣女果果实中的硝酸盐含量, 降幅为 18.2% ~ 36.6%, 而提高了 Vc 含量, 增幅为 16.5% ~ 21.7%; SM 处理圣女果果实中 Vc、还原糖和粗蛋白质含量分别增加了 16.9%、34.6% 和 23.5%, 而硝酸盐积累量下降了 59.72%。(5) MC1、MC2 和 MC3 处理增收 6900 ~ 17400 元/hm², 其中 MC2 处理经济效益最高。总之, 在圣女果生产中, 化肥减量配施微生物菌肥改善了土壤肥力及圣女果品质, 促进了圣女果增产增收, 降低了生产成本; 化肥减量配施微生物菌肥具有较好的经济和生态效益, 化肥减量 50%+50% 微生物菌肥模式较好。

关键词: 微生物菌肥; 化肥减量; 圣女果产量和品质; 土壤养分; 土壤生物学特征

近年来, 随着中国经济的发展和人民生活水平的提高, 我国蔬菜产业得到了快速的发展, 蔬菜种植面积不断扩大及增收, 在农民脱贫致富中发挥了重要作用^[1-2]。圣女果(*Lycopersicon esculentum* Mill)又名樱桃番茄, 是番茄家族中珍珠型新品种, 具有高

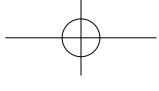
营养, 低热量, 不含胆固醇, 富含维生素、优质膳食纤维和蛋白质, 抗衰老, 降低血脂和胆固醇, 风味独特等优点^[3], 可作为果、蔬两用食品^[4]。随着需求量增加, 在巨大经济利益的驱动下, 菜农们为追求圣女果高产高效, 存在过量施用化肥的现象。长期单一过度施用化肥会打破土壤原有的酸碱平衡^[5], 引起作物产量的降低^[6], 随着施用年限的增加会对土壤生态系统及微环境造成破坏, 致使土壤微生物区系发生变化, 由“细菌型”向“真菌型”转化^[7], 进而造成土壤酸化、盐渍化、板结与养分失衡等一系列问题^[8-9], 影响了作物产量和经济效益; 另一方面, 化肥过量施用会引起土壤氮、磷、钾等矿质元素未发挥出应有的肥效^[10-11], 导致番茄产量及品质下降^[12]; 同时, 过量施用化肥亦会引起硝酸盐在土壤中增加^[13], 成为一些叶菜类农产品高硝酸盐累积等

收稿日期: 2022-09-25; 录用日期: 2022-12-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(42267007); 广西自然科学基金项目(2020GXNSFBA297048); 广西科学院基本科研业务费项目(CQZ-E-1912); 广西植物研究所基本业务费项目(桂植业22003); 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室基金项目(22-035-26); 广西重点研发计划项目(AB21220057); 广西漓江流域景观资源保育与可持续利用重点实验室研究基金项目(LRCSU21K0203); 广西百色高新技术产业开发区引导项目(K-YS-SW-201801); 桂林市重点研发计划项目(20210211-1)。

作者简介: 张德楠(1984-), 助理研究员, 硕士, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: denanzhang@126.com。

通讯作者: 徐广平, E-mail: xugpgx@163.com。



食品安全问题的源头之一^[14]，以上问题也严重限制了圣女果产业的可持续发展。研究表明，减施化肥能够很好地改善这种现象^[15]。因此，改变长期单一过量施用化学肥料，研发化肥减施增效技术，已成为圣女果产业绿色发展急需解决的重要问题。

利用配施微生物菌肥降低化肥的施用量对养分进行综合管理的方法可缓解农业生态矛盾^[12]。微生物菌肥又称生物肥料、菌肥或者接种剂，是一类以微生物生命活动及其产物致使农作物得到特定肥料效应的微生物活体制品^[16]，可以促进植物生长，提高果实品质，改善土壤质量，在植物和微生物之间构建良好的联系^[17]。微生物菌肥具有无毒害、无污染、肥效长^[12, 17]、活性高和有效防控土传病^[18]，可降低氮、磷、钾养分的淋溶，改善耕作条件，促进作物根系发育^[19]等优点。前人研究表明，木霉微生物菌肥与化肥减量配施可有效保证番茄稳产，提高番茄品质，长期施用还可提高土壤微生物数量、改善土壤肥力^[12]。化肥减量配施EM菌剂可有效提高圣女果产量和果实品质，对土壤肥力也有良好的改善作用^[6]。施氮量减半能有效降低设施番茄土壤硝态氮残留及淋失风险，不会造成产量的下降^[20]。在设施栽培条件下，减少农户常规化肥用量的40%并调整氮磷钾比例，番茄产量和氮素吸收量显著增加^[21]。由于各地圣女果的种植环境条件和肥料类型不同，微生物菌肥施用后提高番茄品质、改善土壤肥力的效果可能会有所差异。

目前单施化肥或单施微生物菌肥对圣女果影响的研究较多，而化肥减量配施微生物菌肥条件下圣女果产量、品质及土壤肥力的变化情况还有待进一步的深入研究。在广西西南部右江河谷地区，圣女果作为田阳县优势特色产业已有30年的种植历史^[22]，产品远销国内外100多个大中城市，成为引领该县农业经济发展的主导产业^[23]。现代农业正逐渐向“绿色农业”和生态农业转型，人们对圣女果也提出了更高的安全要求，减少化肥在圣女果生产中的施用量、提高其品质和安全性已得到人们共识。因此，本研究基于前期圣女果果园施用微生物菌肥^[24]，通过田间小区定位试验，探讨化肥减量与配施微生物菌肥对圣女果产量、品质的影响及其驱动因素，并研究对圣女果的最佳施用量，为实现圣女果高产、优质以及环境友好的绿色可持续目

标提供实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验区概况及试验材料

田间试验选在广西百色市右江河谷地区田阳县国家农业科技园区大田试验区(106° 98' 68.82" E, 23° 68' 71.14" N)进行。供试圣女果品种为“粉娇”，由广西科宏蔬菜育苗有限公司选育。施用化肥为狮马牌复合肥(比利时欧洲化学安特卫普公司生产)，主要成分为N 210 g/kg、P₂O₅ 80 g/kg、K₂O 110 g/kg。供试ETS微生物菌肥(天津生物科技发展有限公司生产)，主要成分为N 40 g/kg、P₂O₅ 30g/kg、K₂O 10 g/kg、有机质≥ 200 g/kg、腐植酸≥ 250 g/kg，包括放线菌、固氮菌、枯草芽孢杆菌、酵母菌等有效菌≥ 200 亿个/kg。

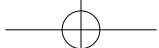
1.2 试验设计

试验于2019年4月开始实施，试验设6个处理：(1) CK，不施用化肥和微生物菌肥；(2) SI，100%化肥处理，1500 kg/hm²；(3) SM，100%微生物菌肥，2400 kg/hm²；(4) MC1，化肥减量50%+25%微生物菌肥；(5) MC2，化肥减量50%+50%微生物菌肥；(6) MC3，化肥减量50%+100%微生物菌肥。小区面积20 m² (1.0 m×20.0 m)，各小区栽种圣女果50株，每个处理设置3个重复，共18个小区，随机区组排列。圣女果苗定植后整个试验期，其他管护措施与当地田间管理一致。在试验区域内以五点采样法随机采集15个0~20 cm土层土壤混合为土壤初始样品，测定其本底值，随后对试验区域圣女果按试验设计进行施肥。供试田块土壤本底值：有机质12.52 g/kg，pH 5.6，全氮2.16 g/kg、全磷1.05 g/kg、全钾3.02 g/kg、碱解氮112.46 mg/kg、有效磷2.36 mg/kg、速效钾59.62 mg/kg。

1.3 样品采集与指标测定

圣女果为当年种植，当年采摘作物，待圣女果100 d生育期满后，分3次采摘并统计各小区圣女果果实产量，并随机选取5~8个圣女果作品质分析。圣女果根际土壤样品采集方法：在圣女果植株根部2 cm处小心采集0~20 cm土壤，收集于干净自封袋中，即为根际土壤，每个处理随机取样3份。

圣女果维生素C(Vc)含量测定采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^[25]；甜度通过日本产爱拓(ATAGO pa1-1)高精度糖度计测定；硝酸盐含量采用紫外



分光光度法, 还原糖含量采用 3, 5 - 二硝基水杨酸比色法测定^[26]; 粗蛋白质和粗灰分参照《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5—2010), 《食品安全国家标准食品中灰分的测定》(GB 5009.4—2010)。试验每处理种植圣女果 50 株, 平均每株产量 = 合计总量 / 50; 每公顷按种植 30000 株计算, 每公顷产量 = 平均每株产量 × 30000 株 / hm²; 2019 年圣女果平均市场价格 5 元 / kg。土壤样品采用鲍士旦^[27]的方法测定土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷和速效钾含量; 采用李阜棣等^[28]的稀释平板计数法统计细菌、放线菌、真菌、固氮菌和酵母菌数量; 参照刘业萍等^[29]的方法测定土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和酸性磷酸酶活性。

1.4 数据处理及分析

试验数据采用 Excel 2007 进行统计, 以 SPSS

19.0 进行差异显著性分析和冗余分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤养分的影响

由表 1 可知, 在圣女果不同施肥处理试验中, 随微生物菌肥用量的增加, 有机质含量随之增加, SM、MC1、MC2 和 MC3 处理的有机质含量显著高于 CK 和 SI 处理 ($P<0.05$), 分别提高了 22.7% ~ 35.6% 和 11.9% ~ 23.7%。MC2 和 MC3 处理的全氮、全磷和碱解氮含量显著高于 CK 和 SI 处理 ($P<0.05$); 各处理间全钾的含量差异不显著 ($P>0.05$)。SI、SM、MC1、MC2 和 MC3 处理间速效钾含量差异不显著, 但均显著高于 CK ($P<0.05$)。SI、MC1、MC2 和 MC3 处理的有效磷含量显著高于 CK ($P<0.05$), MC1、MC2 和 MC3 与 SI 相比, 有效磷含量呈现先减少后增加的趋势。

表 1 不同施肥处理下土壤养分含量的变化

处理	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)
CK	12.53 ± 0.45b	2.18 ± 0.04b	1.05 ± 0.07b	3.03 ± 0.07a	112.46 ± 10.95b	59.63 ± 3.13b	2.35 ± 0.11b
SI	13.74 ± 0.55b	2.31 ± 0.03b	1.13 ± 0.01b	3.19 ± 0.03a	142.98 ± 7.82ab	80.35 ± 0.64a	2.73 ± 0.10a
SM	16.14 ± 0.13a	2.28 ± 0.05b	1.29 ± 0.05ab	3.24 ± 0.02a	148.80 ± 4.30ab	72.23 ± 1.07a	2.54 ± 0.05ab
MC1	15.37 ± 0.26a	2.49 ± 0.04a	1.16 ± 0.02b	3.18 ± 0.04a	157.61 ± 3.57a	72.19 ± 0.83a	2.64 ± 0.09a
MC2	15.76 ± 0.50a	2.65 ± 0.09a	1.32 ± 0.02a	3.25 ± 0.02a	203.90 ± 5.83a	78.93 ± 1.52a	2.88 ± 0.04a
MC3	16.99 ± 0.07a	2.83 ± 0.03a	1.44 ± 0.02a	3.38 ± 0.03a	216.99 ± 7.33a	83.76 ± 0.49a	2.97 ± 0.08a

注: 表中同列不同小写字母表示施肥处理之间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.2 不同施肥处理对土壤微生物数量的影响

图 1 表明, 不同施肥处理对圣女果土壤微生物数量的影响不同。与 CK 相比, SI、SM、MC1、MC2 和 MC3 处理细菌数量显著高于 CK, 且 SM、MC1、MC2 和 MC3 处理细菌数量显著高于 SI 处理 ($P<0.05$), 细菌数量总体呈现出随微生物菌肥配施量的增加而增加的趋势。SI、SM、MC1、MC2 和 MC3 处理放线菌数量显著高于 CK 处理, 且 SM、MC2 和 MC3 处理放线菌数量高于 SI 处理, 放线菌数量变化趋势与细菌相似。SM 和 MC3 处理的真菌数量显著低于 CK 和 SI 处理 ($P<0.05$), 真菌数量随微生物菌肥施用量的增加而逐渐减少。SI、SM、MC1、MC2 和 MC3 处理固氮菌数量显著高于 CK 处

理, 且 MC2 和 MC3 处理固氮菌数量显著高于 SI 处理, 微生物菌肥配施量的增加有利于固氮菌数量的积累。MC2 和 MC3 处理酵母菌数量显著高于 SI 和 CK 处理, 随着微生物菌肥配施量的增加, 酵母菌数量亦呈现逐渐增加的趋势。

与全量化肥处理 (SI) 相比, 化肥减量配施微生物菌肥 (MC2 和 MC3) 显著增加了细菌、放线菌、固氮菌、酵母菌的数量, 增幅分别为 10.6% ~ 18.0%、7.1% ~ 11.8%、28.9% ~ 41.3%、13.3% ~ 18.7%; 而真菌则减少了 11.4% ~ 28.1%。全量微生物菌肥 (SM) 处理较全量化肥 (SI) 处理, 细菌数量增加 7.9%、放线菌增加 1.5%、固氮菌增加 15.2%、酵母菌增加 10.7%, 而真菌减少 28.2%。

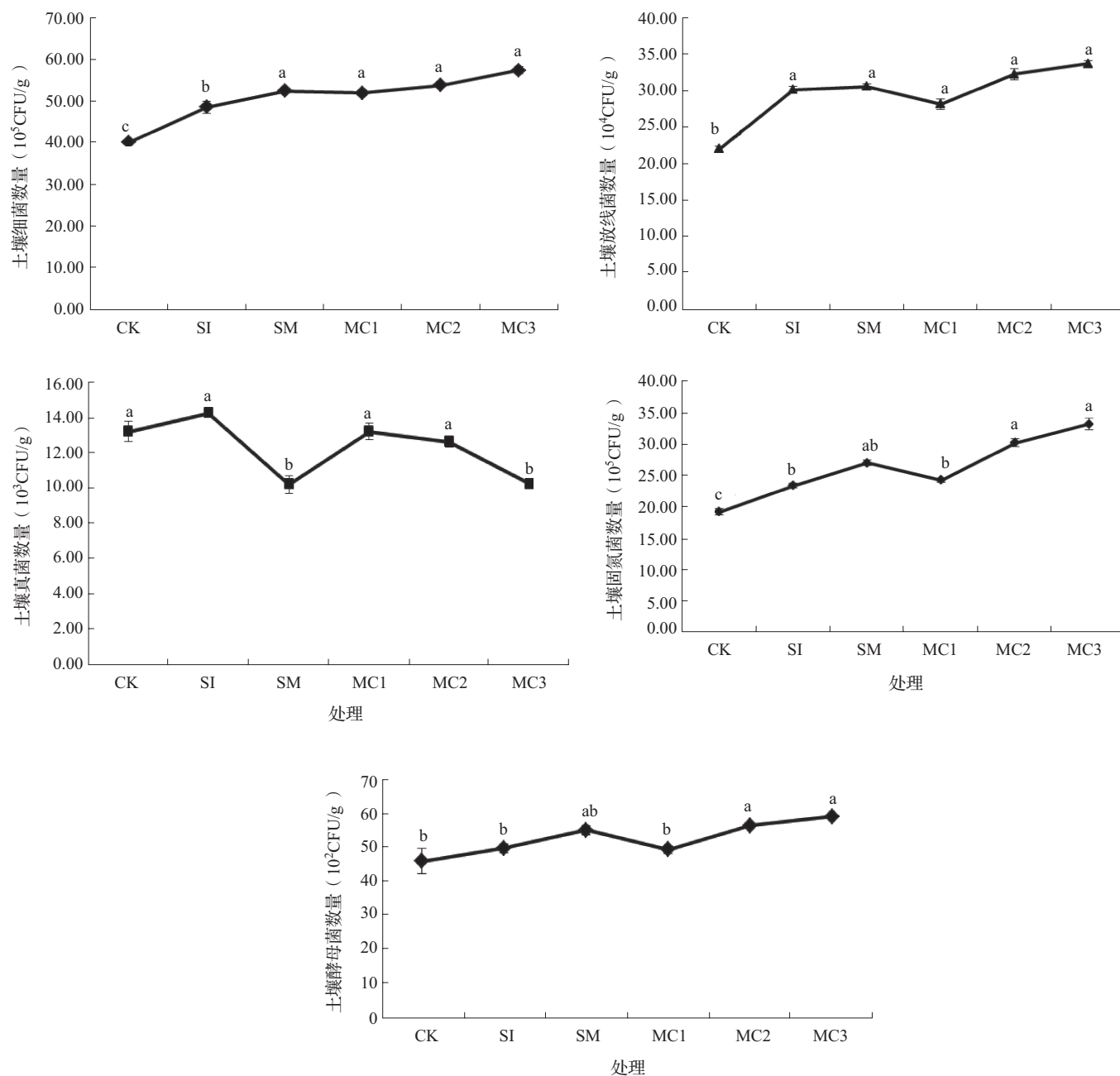


图1 不同施肥处理下土壤微生物数量的变化

注: 图中不同小写字母表示施肥处理之间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.3 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

图2表明, 不同施肥处理对土壤酶活性的影响不同。脲酶是促进土壤氮素转化的专一酶, SM、MC2和MC3处理中土壤脲酶活性显著高于CK和SI处理 ($P<0.05$)。蔗糖酶和过氧化氢酶是驱动土壤有机质分解的主要功能酶, SM、MC1、MC2和MC3处理中土壤蔗糖酶活性显著高于CK和SI处理, 且SM、MC1、MC2和MC3两两之间有显著差

异 ($P<0.05$), 随微生物菌肥用量的增加, 土壤蔗糖酶活性增强。SM、MC2和MC3处理中土壤过氧化氢酶活性显著高于CK和SI处理, 且与酸性磷酸酶和蔗糖酶的变化趋势类似。所有处理中以MC3处理土壤酶活性达到最高, 全量微生物菌肥 (SM) 处理与全量化肥 (SI) 处理相比, 土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和酸性磷酸酶活性分别显著增加了16.1%、59.3%、30%和85.3% ($P<0.05$)。

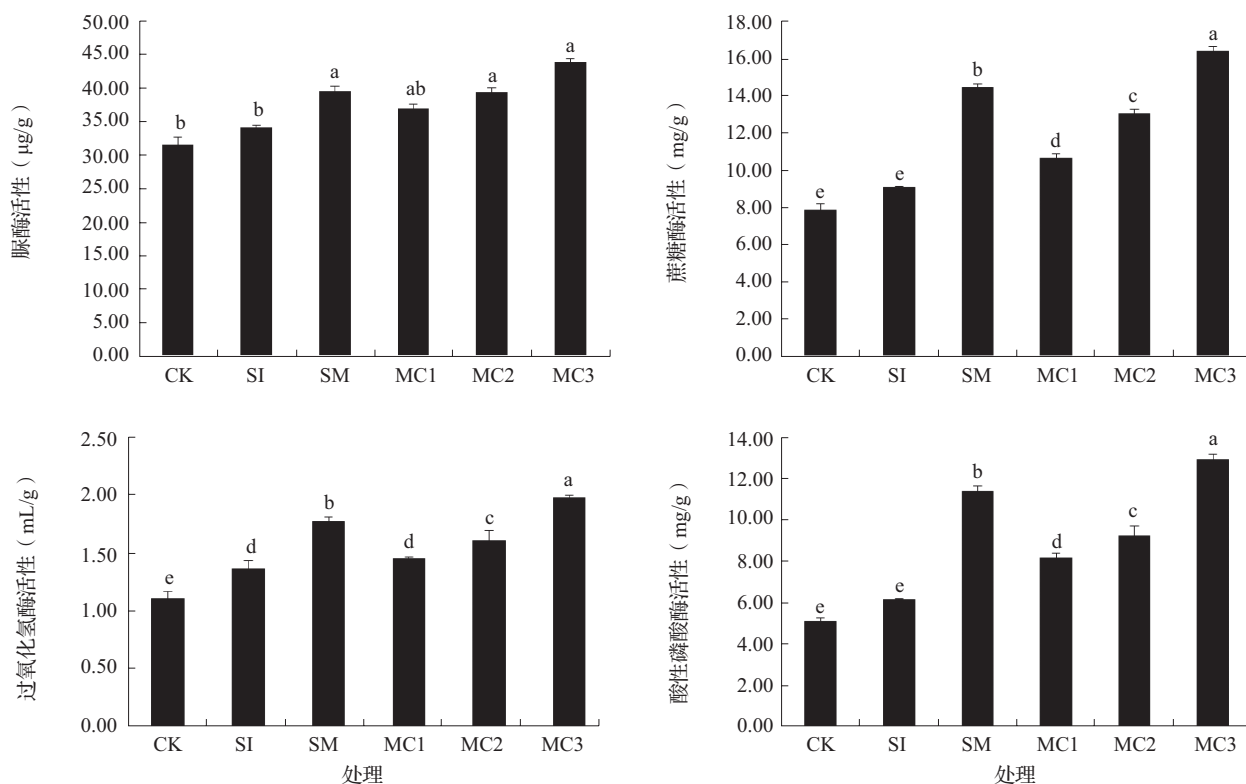
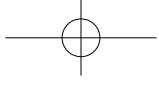


图2 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

2.4 不同施肥处理对圣女果品质的影响

还原糖、粗灰分和粗蛋白质是圣女果的营养品质指标, Vc 是圣女果的保健品质指标, 甜度是圣女果的直观口感指标, 而硝酸盐含量是其是否健康的评价标准, 这些指标含量直接影响圣女果的风味和营养价值^[8]。从图3可以看出, 不同施肥处理对圣女果品质有显著影响。与全量化肥处理(SI)相比, 单施微生物菌肥(SM)和化肥减量配施微生物菌肥处理(MC1、MC2和MC3)可显著降低圣女果中的硝酸盐含量。CK、SM处理与SI处理相比较, 在完全没有化肥施入条件下, 可使圣女果中硝酸盐的积累量下降28.9%~59.72%。在化肥减量50%, 配施微生物菌肥后, MC1、MC2、MC3处理较SI处理使果实中硝酸盐积累量下降了18.2%~36.6% ($P<0.05$), 除了MC1处理高于CK外 ($P<0.05$), SM、MC2和MC3处理均小于CK ($P>0.05$)。与SI处理相比, MC2和MC3处理下圣女果中还原糖含量显著量增加了31.0%~36.8% ($P<0.05$), SM处理果实中还原糖含量显著增加了34.6%; CK处理与SI处理相比, 果实中还原糖含量显著减少17.1% ($P<0.05$)。尽管各处理间甜度、粗灰分含量差异不显著 ($P>0.05$), 但与SI

相比, MC2和MC3处理提高了甜度, SM、MC1、MC2和MC3处理增加了粗灰分含量。相比于SI处理, MC2和MC3处理果实中Vc含量显著增加了16.5%~21.7%, SM处理果实中Vc含量显著增加了16.9% ($P<0.05$)。相比于SI处理, SM处理果实中粗蛋白质含量显著增加了23.5%, MC2处理果实中粗蛋白质含量显著增加了21.9% ($P<0.05$); MC1和MC3处理果实中粗蛋白质含量略高于SI处理 ($P>0.05$)。

2.5 不同施肥处理对圣女果产量和经济效益的影响

圣女果的产量是衡量施肥效果和土壤肥力的重要指标。由表2可知, 化肥用量减半配施微生物菌肥均能保证圣女果产量稳定。与SI处理相比, SM处理圣女果的单株产量和每公顷产量略有所减少 ($P>0.05$), 但SM处理收入要高于SI处理6300元; 同时, 化肥减量配施微生物菌肥处理(MC1、MC2和MC3)的圣女果产量增加了1200~2400 kg/hm², 且收入增加6900~17400元/hm²。MC1、MC2和MC3处理的圣女果产量、总产值及收入均高于SM处理, 产量增加2100~3300 kg/hm², 总产值增加10500~165000元/hm², 收入增加600~11100元/hm²。所有施肥处理圣

女果的产量、收入均显著高于CK，产量为CK的4.5 ~ 4.9 倍，收入为CK的4.1 ~ 4.5 倍 ($P<0.05$)，尤其化肥减量配施微生物菌肥处理的效果较为显著。

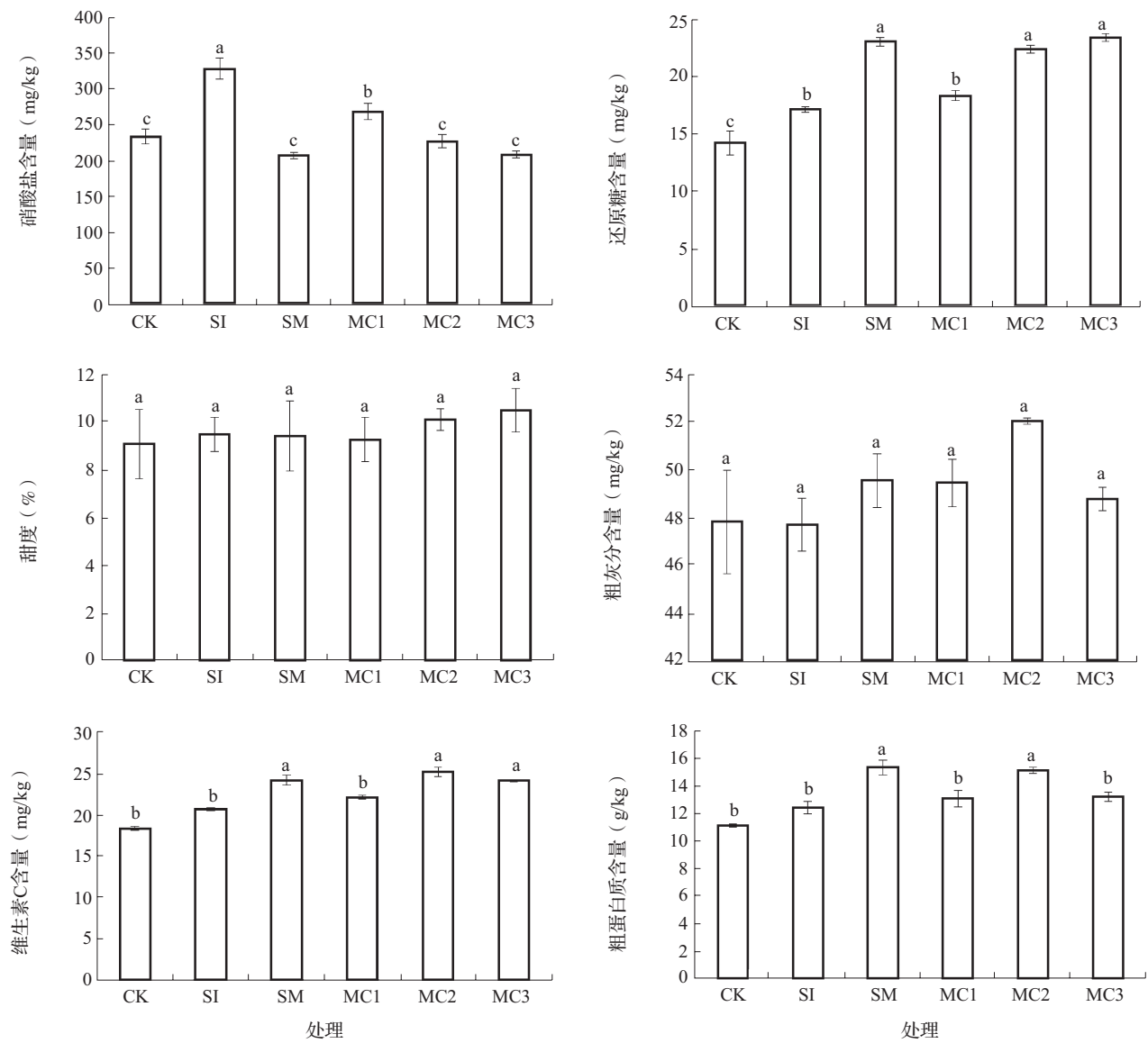
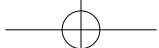


图3 不同施肥处理下圣女果品质的变化

表2 不同施肥处理对圣女果产量和经济效益的影响

处理	单株产量 (kg)	产量 (kg/hm ²)	总产值 (元/hm ²)	肥料成本 (元/hm ²)	收入 (元/hm ²)
CK	0.27 ± 0.01b	8100b	40500b	0d	40500c
SI	1.25 ± 0.06a	37500a	187500a	22800a	164700b
SM	1.22 ± 0.02a	36600a	183000a	12000c	171000b
MC1	1.29 ± 0.05a	38700a	193500a	15400b	178100b
MC2	1.33 ± 0.03a	39900a	199500a	17400b	182100a
MC3	1.32 ± 0.10a	39000a	195000a	23400a	171600b



2.6 土壤养分、微生物数量、土壤酶活性与圣女果产量及品质间的相关性

图4中,虚线空心箭头表示圣女果产量,实线箭头分别表示土壤养分和土壤酶活性。箭头连线的长短表示各指标对模型的贡献率大小,箭头的连线越长说明对模型的贡献率越大,越短则越小;箭头与排序轴间的夹角大小表示相关性的 大小,夹角越小说明相关性越大;而产量箭头连线在土壤养分与土壤酶活性箭头连线上的垂直投影 越长(余弦值越大),那么它对圣女果产量的影响越大。图4中显示的指标表明其对圣女果的产量具有显著的相关性,由图4可以看出,圣女果单株产量与有效磷的含量夹角很小,呈显著正相关关系;每公顷产量与土壤速效钾含量,总产值与土壤速效钾含量夹角很小且方向一致,呈显著正相关关系。土壤酵母菌数量、土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶、酸性磷酸酶活性及土壤有机质与圣女果的产量呈负相关关系。从投影长度来看,全磷和蔗糖酶在单株产量箭头反向延长线的投影长度最长,表明全磷和蔗糖酶对单株产量存在明显的负效应,而有效磷的含量则对圣女果单株

产量具有明显的正效应,说明全磷、蔗糖酶和有效磷是影响圣女果单株产量的主导因子;其次,对单株产量影响较大的因子还有酸性磷酸酶和脲酶活性;而速效钾对每公顷产量及总产值具有明显的正效应,蔗糖酶则在每公顷产量及总产值箭头的反向延长线上投影长度最长且具有明显的负效应,说明速效钾和蔗糖酶是影响每公顷产量及总产值的主导因子;另外,全氮、过氧化氢酶活性对每公顷产量及总产值影响较大,其余因子中,碱解氮对圣女果产量的影响相对较小。

图5中显示的指标表明其对圣女果的品质具有显著的相关性,由图5可知,圣女果品质的第一标准轴(RDA1)和第二标准轴(RDA2)分别解释了圣女果品质变量的52.78%和20.21%,其土壤养分、微生物数量、土壤酶活性各指标与圣女果品质的相关性表现为,圣女果果实中Vc含量分别与土壤放线菌、固氮菌、细菌和脲酶活性呈显著正相关关系($P<0.05$),同时与土壤有机质、碱解氮呈极显著正相关关系($P<0.01$);圣女果还原糖、粗蛋白质含量均与土壤蔗糖酶、过氧化氢酶活性呈极显著正相关关系,与真菌数量负相关;而圣女果中粗灰分含量与土壤

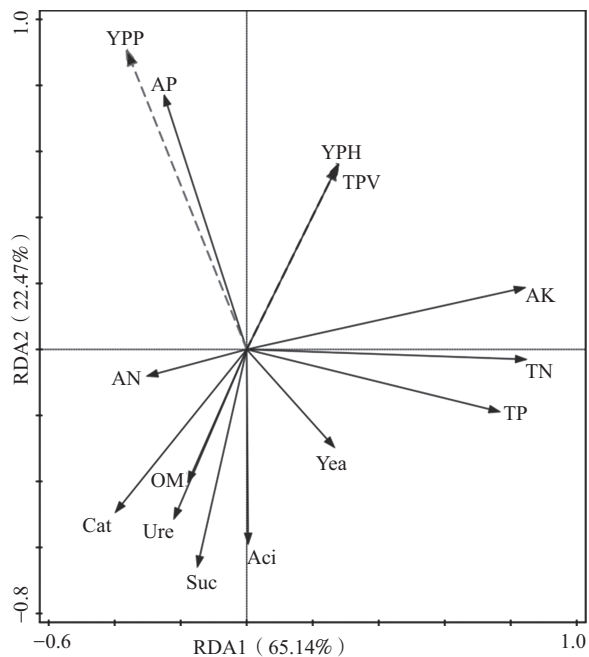


图4 圣女果产量与土壤养分、微生物数量、土壤酶活性的冗余分析

注: Yea: 酵母菌; Ure: 脲酶; Suc: 蔗糖酶; Cat: 过氧化氢酶; Aci: 酸性磷酸酶; OM: 有机质; TN: 全氮; TP: 全磷; AN: 碱解氮; AK: 速效钾; AP: 有效磷; YPP: 单株产量; YPH: 每公顷产量; TPV: 总产值。

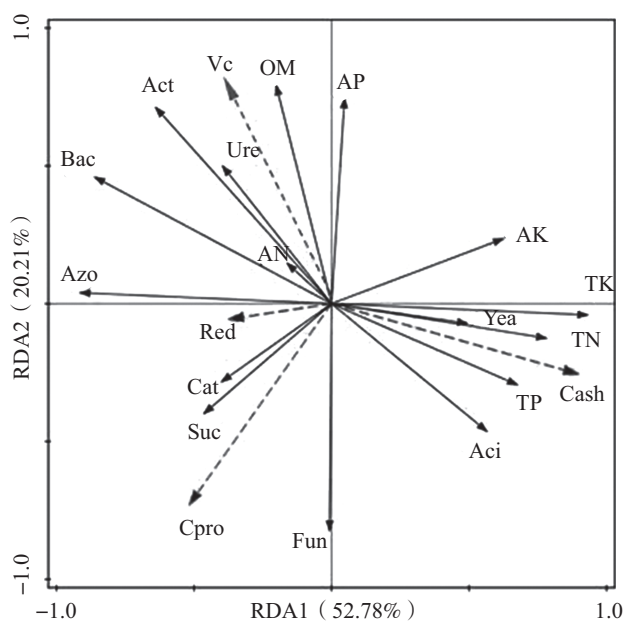


图5 圣女果品质与土壤养分、微生物数量、土壤酶活性的冗余分析

注: Vc: 维生素C; Red: 还原糖; Cash: 粗灰分; Cpro: 粗蛋白质; Bac: 细菌; Act: 放线菌; Fun: 真菌; Azo: 固氮菌; Yea: 酵母菌; Ure: 脲酶; Suc: 蔗糖酶; Cat: 过氧化氢酶; Aci: 酸性磷酸酶; OM: 有机质; TN: 全氮; TP: 全磷; TK: 全钾; AN: 碱解氮; AK: 速效钾; AP: 有效磷。

酵母菌、酸性磷酸酶、全氮、全磷、全钾呈显著正相关性；圣女果中硝酸盐含量受真菌数量影响，与其呈显著正相关关系 ($P<0.05$)。从投影长度来看，放线菌在 V_c 箭头的投影长度最长，表明放线菌对 V_c 存在明显的正效应，而真菌数量在 V_c 箭头的反向延长线上投影长度最长，对 V_c 含量具有明显的负效应，说明放线菌和真菌是影响果实 V_c 含量的主导因子，其次，对 V_c 含量影响较大的因子还有细菌数量、土壤有机质含量和酸性磷酸酶活性；而脲酶活性对圣女果甜度、粗蛋白质具有明显的正效应，全钾含量在甜度箭头的反向延长线上投影长度最长，有效磷在粗蛋白质反向延长上亦有最大投影，具有明显的负效应，说明脲酶、全钾和有效磷是影响甜度与粗蛋白质的主导因子；其次，全氮、速效钾和过氧化氢酶活性对甜度和粗蛋白质影响较大；全钾对果实中的粗灰分具有明显的正效应，而细菌数量则对粗灰分产生负效应。其余因子中，碱解氮对圣女果品质的影响较小。

图6中显示的指标表明其对圣女果果园土壤微生物具有显著的相关性，由图6可知，圣女果果园土壤微生物数量的第一标准轴 (RDA1) 和第二标准轴 (RDA2) 分别解释了微生物变量的 40.33% 和 19.08%，其土壤养分和土壤酶活性各指标与土壤微生物数量的相关性表现为土壤放线菌数量受土壤有机质、有效磷含量及土壤脲酶的正向影响，它们之间呈显著正相关关系；而土壤酵母菌数量与土壤全氮、全磷、全钾及速效钾呈极显著正相关关系；真菌数量受酸性磷酸酶活性正向影响显著。从投影长度来看，脲酶在放线菌箭头延长线的投影长度最长，有机质次之，表明脲酶和有机质对放线菌存在明显的正效应；而酸性磷酸酶与全钾含量则对放线菌具有明显的负效应，说明脲酶和酸性磷酸酶活性是影响放线菌数量的主导因子，土壤有机质和全钾为次要影响因子；而全钾、全氮、全磷及速效钾对酵母菌具有明显的正效应，蔗糖酶则在酵母菌箭头的反向延长线上投影长度最长，具有明显的负效应，说明全钾和蔗糖酶是影响酵母菌的主导因子，其次是全氮、全磷及速效钾对酵母菌影响较大；酸性磷酸酶活性对真菌有明显的正效应，而土壤有机质在真菌箭头的反向延长线上有最大投影，说明有机质含量对真菌数量有显著的抑制作用。其余因子中，速效氮和过氧化氢酶对圣女果土壤微生物数量的影响较小。

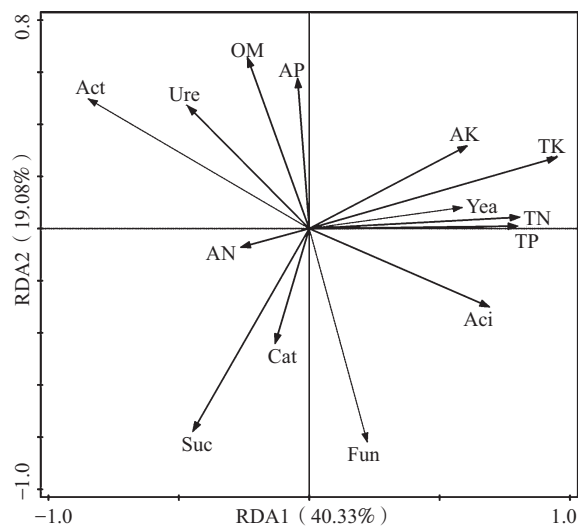


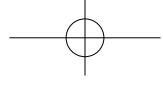
图6 土壤微生物数量与土壤养分、土壤酶活性的冗余分析

注: Act: 放线菌; Fun: 真菌; Yea: 酵母菌; Ure: 脲酶; Suc: 蔗糖酶; Cat: 过氧化氢酶; Aci: 酸性磷酸酶; OM: 有机质; TN: 全氮; TP: 全磷; TK: 全钾; AN: 碱解氮; AK: 速效钾; AP: 有效磷。

3 讨论

3.1 化肥减量配施微生物菌肥对圣女果产量的影响

农业生产过程中，化学肥料的肥效较快，易被作物吸收利用，因此，化肥的施用成为大规模集约化农业生产不可缺少的部分，然而化肥的长期大量滥施不仅会引起资源浪费、污染环境^[30]，而且还会导致土壤地力下降、营养成分失衡、农作物产量减少和品质降低等一系列问题^[12]。为倡导化肥零增长，适当减少化肥的施用量而增加微生物菌肥的用量，开展微生物菌肥与化肥配施对保障国家粮食和果蔬安全、转变农业发展模式、实现绿色高效发展的目标都具有重要意义^[31]。有研究表明，微生物菌肥肥效释放速度慢及肥力有限，单独施用不能满足作物初长期和旺长期生长的需要^[12]，因此，微生物菌肥与化肥配施可有效协调养分的平衡供给，满足作物在整个生育期对养分的需求，同时在减少化肥的施用量方面也有特殊意义^[17, 32]。本研究结果表明，与全量化肥 (SI) 相比，在化肥减量配施微生物菌肥模式 (MC1、MC2、MC3) 并未引起圣女果减产，这一结果与张怀志等^[21]、王文军等^[33]的研究结果一致。本研究在化肥减量配施微生物菌肥模式下，圣女果的产量表现为增加的趋势，产量增幅为 3.2% ~ 6.4%，收入增幅为 4.2% ~ 10.6%，其中化肥减量 50%+50% 微生物菌



肥 (MC2) 配施方式增产增收效果最好, 也验证了岳明灿等^[6]的减施化肥配施微生物菌剂对番茄产量有促进作用的研究结论。而全量微生物菌肥处理 (SM) 与全量化肥 (SI) 相比, 圣女果的产量和总产值略有降低, 进一步说明, 单施微生物菌肥的肥效和肥力相对有限, 这与赵政等^[12]的研究结论一致。本研究中, 与全量微生物菌肥处理 (SM) 相比, 化肥减量配施微生物菌肥模式 (MC1、MC2、MC3) 下圣女果产量、总产值及收入均高于 SM, 同时, 随着微生物菌肥施用量的持续增加, 圣女果的产量、总产值及收入的增幅趋势逐渐放缓, 说明微生物菌肥施用量超过一定限度后对圣女果的增产、增收效果不明显。可见, 合理的化肥与微生物配施用量才能提高作物的经济效益, 从增产、增收角度出发, 对圣女果而言, 微生物菌肥施用量以 1200 ~ 2400 kg/hm² 为最佳。

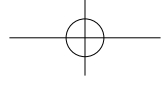
3.2 化肥减量配施微生物菌肥对圣女果品质的影响

蔬菜瓜果中硝酸盐的形成与土壤氮肥供应密切相关, 研究表明, 蔬菜中的硝酸盐含量与化肥的施用量呈显著正相关关系^[13], 本研究中, 与 SI 相比, 减施化肥配施微生物菌肥模式 (MC1、MC2、MC3) 和全量微生物菌肥 (SM) 中, 圣女果果实中硝酸盐含量显著降低, 降幅为 18.22% ~ 37.0%, 说明果实品质逐渐提升, 此结果与张绪美等^[34]、赵征宇等^[35]的研究结果一致。这可能与微生物菌肥施入土壤后, 其所含有的各类有益微生物对土壤中的氮、磷、钾营养元素进行了活化分解, 促进圣女果根部吸收土壤中的硝酸盐有关, 有利于圣女果果实品质的提高。图 5 冗余分析表明, 本研究中圣女果 Vc 含量与土壤有机质呈极显著正相关关系, 而硝酸盐含量则与土壤有机质呈显著负相关。前人的研究表明, 有机种植体系中, 作物植株在有效性相对较低的养分环境中生长, 生长速度相对较慢, 有利于其可溶性糖和 Vc 等营养物质的积累^[36]; 而在非有机种植体系中, 高硝酸盐的积累常与低 Vc 含量相伴^[37], 这一结果与本试验结果一致, 同时也与赵政等^[12]研究结果一致, 其认为果实 Vc 含量与土壤有机质含量显著正相关, 而硝酸盐含量则与土壤有机质显著负相关。表明减施化肥配施微生物菌肥促进了圣女果果园土壤有机质的增加, 提高了果实 Vc 含量, 降低了果实硝酸盐含量, 这有利于圣女果品质的提升。

3.3 化肥减量配施微生物菌肥对土壤微生物学特征的影响

土壤微生物学特征可以指示土壤养分的变化。土壤微生物是土壤有效养分的活动中心, 是土壤中最活跃和最易变化的部分^[38]。本研究 6 个处理中, MC2 和 MC3 处理的细菌、放线菌、固氮菌和酵母菌数量均显著高于 CK 和 SI 处理, SM 处理真菌数量最低, 且随微生物菌肥施用量的增加而逐渐减少, 这与化肥施用会导致微生物区系多样性和丰富度下降^[12, 39], 微生物菌肥会增加有益微生物数量有关^[17]。结合前人的研究成果, 可能主要有以下几个原因: 一方面, 化学肥料的投入会对土壤微生物生物量产生抑制作用, 投入过量的肥料会对土壤微生物群落产生不利的影响, 抑制了土壤中有益微生物的生长与繁殖^[34], 另一方面, 本研究表明, 微生物菌肥施入后圣女果土壤微生物数量明显增加, 这是因为有益微生物的加入改善了土壤微生态环境, 抑制病原微生物及真菌生长, 提高了土壤酶活性, 促进土壤根际微生物生长^[40]; 微生物的繁殖代谢过程中会分泌出大量多糖, 促进土壤团粒结构形成, 从而调节土壤物理性质^[6]。同时, 利用微生物菌肥自身有益微生物的生命活动产生的次生代谢物 (如激素类物质等) 加速了有机质的矿化作用, 从而增加植物营养元素的供应, 微生物菌肥中自身的有机质成分也有利于提高土壤有机质含量, 对土壤酸碱度形成有效缓冲, 为微生物的繁衍活动提供有利的保障且促进其数量的增加; 而土壤理化性质的改善又增加了其保水保肥的能力^[41], 在很大程度上改善了植株根系的生态环境, 增强了植物根系活力, 增加了根系的吸收面积, 使根际微生物活动更加活跃而养分得以活化, 提升了养分利用效率, 促进了植物对营养元素的吸收利用, 改善植物体内营养状况, 从而促进植物生长^[17, 42]。与上述结论类似, 冗余分析表明, 土壤养分含量与土壤有益微生物数量显著正相关, 如土壤有机质、全氮、全磷和全钾分别与细菌、放线菌、固氮菌和酵母菌数量呈显著正相关, 说明微生物菌肥中的有益微生物会大量繁殖而发挥其固氮, 促磷、钾释放的作用, 扩大根系吸收面积^[43], 直接或间接引起土壤微生物区系的变化, 从而调节根际养分有效性, 使之向更有利于作物生长的方向发展。

前人研究表明, 单独减氮处理下茶园土壤的细菌种类较多, 细菌丰度较高^[44], 化肥减量配施中



药源植物生长调节剂可促进当归早期根部生长,改善成药期根腐病病情,提高产量^[31]。本研究中,微生物菌肥的配施提高了有益微生物数量,使土壤由“真菌型”向“细菌型”转化,这与孙艳艳等^[7]的研究结果不一致,进一步说明微生物菌肥的施用更有益于使圣女果果园土壤微生态朝着土壤微生物数量和结构优化的方向发展。土壤酶作为一类生物活性物质,直接参与土壤中物质能力的转化、养分释放和固定过程,其活性是土壤新陈代谢的重要肥力指标。微生物菌肥能促进黄瓜植株生长、提高叶绿素含量和产量、改善果实营养品质,同时提高根际土壤蔗糖酶、脲酶的活性^[45]。本研究微生物菌肥的施用对圣女果土壤中脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和酸性磷酸酶的活性均有显著的提升作用,这与武杞蔓等^[45]、曹丹等^[46]施用微生物菌肥后有机黄瓜生长促进了土壤酶活性提升的研究结果一致。本研究中土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和酸性磷酸酶活性之间呈极显著正相关关系,而土壤有机质、全钾和全磷分别与土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和酸性磷酸酶活性间呈极显著正相关关系,说明化肥减量配施微生物菌肥条件下,土壤中有有机质、氮、磷和钾的转化与土壤酶活性密切相关且相互促进,化肥减量配施微生物菌肥有利于促进圣女果果园土壤肥力的提高。

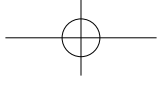
4 结论

与全量化肥(SI)和全量微生物菌肥(SM)处理相比,化肥减量配施微生物菌肥增加了圣女果产量,显著降低了圣女果果实中的硝酸盐含量,提高了果实中Vc含量,增加了果实中还原糖和粗蛋白质含量,显著提高了圣女果的经济效益。化肥减量配施微生物菌肥(MC2和MC3)显著提高了土壤有机质、全氮、全磷和碱解氮含量,同时,显著增加了细菌、放线菌、固氮菌和酵母菌的数量,减少了真菌含量,显著增强了脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和酸性磷酸酶活性。速效钾和蔗糖酶是影响圣女果产量及总产值的主导因子;放线菌和真菌是影响圣女果果实Vc含量的主导因子,脲酶、全钾和有效磷是影响甜度与粗蛋白质的主导因子;脲酶和酸性磷酸酶活性是影响放线菌数量的主导因子。在化肥减量50%基础上配施微生物菌肥,既保证圣女果增产增收,又减少了化肥施用量,降低了生产成本,提升了圣女果品质,改善了土壤肥力,能取得

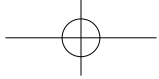
较好的生态效益。综合考虑,化肥减量50%+50%微生物菌肥模式较好。

参考文献:

- [1] 黄绍文,唐继伟,李春花,等.我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J].植物营养与肥科学报,2017,23(6):1480-1493.
- [2] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴(2020)[M].北京:中国统计出版社,2020.
- [3] 黄丽华,李芸瑛.樱桃番茄果实营养成分分析[J].中国农学通报,2005,21(10):91-92.
- [4] 柴敏,耿三省.特色番茄新品种及栽培技术[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [5] 闵炬,施卫明.不同施氮量对太湖地区大棚蔬菜产量、氮肥利用率及品质的影响[J].植物营养与肥科学报,2009,15(1):151-157.
- [6] 岳明灿,王志国,陈秋实,等.减施化肥配施微生物菌剂对番茄产质量和土壤肥力的影响[J].土壤,2020,52(1):68-73.
- [7] 孙艳艳,刘建国,富成璞,等.连作条件下加工番茄根区微生物区系动态变化[J].新疆农业科学,2010,47(8):1596-1599.
- [8] 吴雪,王坤元,牛晓丽,等.番茄综合营养品质指标构建及其对水肥供应的响应[J].农业工程学报,2014,30(7):119-127.
- [9] 秦程程,魏丹,金梁,等.有机无机肥配施对设施土壤耕层养分、番茄产量和品质的影响[J].北方园艺,2022,(6):84-91.
- [10] Simpson R J, Oberson A, Culvenor R A, et al. Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems[J]. Plant and Soil, 2011, 349(1): 89-120.
- [11] da Costa P B, Beneduzi A, de Souza R, et al. The effects of different fertilization conditions on bacterial plant growth promoting traits: guidelines for directed bacterial prospectation and testing[J]. Plant and Soil, 2013, 368(1/2): 267-280.
- [12] 赵政,陈巍,王欢,等.木霉微生物肥与减量化肥配施对番茄产量、品质及土壤肥力的影响[J].土壤学报,2018,55(5):1243-1253.
- [13] 郝小雨,高伟,王玉军,等.有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):538-547.
- [14] 郭颖,赵牧秋,吴蕊,等.有机肥对设施菜地土壤-植物系统硝酸盐迁移累积的影响[J].农业环境科学学报,2008,27(5):1831-1835.
- [15] 褚义红.不同微生物菌肥对温室生菜生长、品质、产量及氮素积累的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
- [16] 张瑞福,颜春荣,张楠,等.微生物肥料研究及其在耕地质量提升中的应用前景[J].中国农业科技导报,2013(5):8-16.



- [17] 武杞蔓, 张金梅, 李玥莹, 等. 有益微生物菌肥对农作物的作用机制研究进展 [J]. 生物技术通报, 2021, 37 (5): 221-230.
- [18] Zhao Q, Dong C, Yang X, et al. Biocontrol of *Fusarium* wilt disease for *Cucumis melo* melon using bio-organic fertilizer [J]. *Applied Soil Ecology*, 2011, 47: 67-75.
- [19] 马阳, 吴敏, 刘晓明, 等. 夏玉米根系活性、养分吸收和产量对不同施肥方式的响应 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (5): 95-100.
- [20] 寇长林, 骆晓声, 巨晓棠. 优化施氮对设施番茄土壤硝态氮残留及土壤氮平衡的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27 (5): 837-848.
- [21] 张怀志, 唐继伟, 袁硕, 等. 化肥减施对日光温室越冬长茬番茄氮肥利用率及去向的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26 (7): 1295-1302.
- [22] 谭海文, 谢慧婷, 赵世海, 等. 2016 年田阳县番茄黄化曲叶病毒病发生情况及流行原因分析 [J]. 中国蔬菜, 2017 (10): 90-92.
- [23] 黎向荣, 车轩. 田阳县圣女果 (番茄) 栽培标准化示范效益分析 [C] // 第十二届中国标准化论坛论文集. 北京: 中国标准化协会, 2015: 1155-1159.
- [24] 林立, 周颂荣, 颜启毅, 等. 复合微生物肥不同配方施用量对圣女果生长的影响 [J]. 湖南农业科学, 2019 (11): 59-61.
- [25] 李建武, 萧能, 余瑞元, 等. 生物化学实验原理和方法 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1994: 302-305.
- [26] 王宪泽. 生物化学实验技术原理和方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 76-79.
- [27] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [28] 李阜棣, 喻子牛, 何绍江. 农业微生物学实验技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [29] 刘业萍, 毛云飞, 胡艳丽, 等. 苹果园生草对土壤微生物多样性、酶活性及碳组分的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27 (10): 1792-1805.
- [30] 吕剑, 杨睿, 郁继华, 等. 不同肥料配施对樱桃番茄栽培基质养分含量和酶活性的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2016, 51 (4): 26-31, 36.
- [31] 谢田朋, 柳娜, 刘越敏, 等. 化肥减量配施中药源植物生长调节剂对当归质量和根际土壤细菌群落的影响 [J]. 生物技术通报, 2022, 38 (3): 79-91.
- [32] 黄东风, 王果, 李卫华, 等. 不同施肥模式对蔬菜生长、氮肥利用及菜地氮流失的影响 [J]. 应用生态学报, 2009, 20 (3): 631-638.
- [33] 王文军, 朱克保, 叶寅, 等. 水肥一体肥料减量对大棚番茄产量、品质和氮肥利用率的影响 [J]. 中国农学通报, 2018, 34 (28): 38-42.
- [34] 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.
- [35] 赵征宇, 孙永红, 赵明, 等. 有机无机肥配施对土壤氮素转化和番茄产量品质的影响 [J]. 华北农学报, 2013, 28 (1): 208-212.
- [36] Oliveira A B, Moura C F H, Gomes-Filho E, et al. The impact of organic farming on quality of tomatoes is associated to increased oxidative stress during fruit development [J]. *Plos One*, 2013, 8 (2): e56354.
- [37] 康亚龙, 景峰, 孙文庆, 等. 加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响 [J]. 土壤学报, 2016, 53 (2): 533-542.
- [38] 赵军, 李勇, 冉炜, 等. 有机肥替代部分化肥对稻麦轮作系统产量及土壤微生物区系的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2016, 39 (4): 594-602.
- [39] 张瑞福, 沈其荣. 抑病型土壤的微生物区系特征及调控 [J]. 南京农业大学学报, 2012, 35 (5): 125-132.
- [40] 耿士均, 王波, 刘刊, 等. 专用微生物肥对不同连作障碍土壤根际微生物区系的影响 [J]. 江苏农业学报, 2012, 28 (4): 758-764.
- [41] 宁川川, 王建武, 蔡昆争. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展 [J]. 生态环境学报, 2016, 25 (1): 175-181.
- [42] 李梦梅, 龙明华, 黄文浩, 等. 生物有机肥对提高番茄产量和品质的机理初探 [J]. 中国蔬菜, 2005 (4): 18-20.
- [43] 沈宝云, 余斌, 王文, 等. 腐植酸铵、有机肥、微生物肥配施在克服甘肃干旱地区马铃薯连作障碍上的应用研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2011 (2): 68-70.
- [44] 向芬, 李维, 刘红艳, 等. 氮肥减施对茶园土壤细菌群落结构的影响研究 [J]. 生物技术通报, 2021, 37 (6): 49-57.
- [45] 武杞蔓, 田诗涵, 李昀烨, 等. 微生物菌肥对设施黄瓜生长、产量及品质的影响 [J]. 生物技术通报, 2022, 38 (1): 125-131.
- [46] 曹丹, 宗良纲, 肖峻, 等. 生物肥对有机黄瓜生长及土壤生物学特性的影响 [J]. 应用生态学报, 2010, 21 (10): 2587-2592.



Effects of chemical fertilizer reduction and application of microbial fertilizer on yield and quality of cherry tomatoes and soil fertility

ZHANG De-nan¹, ZHANG Yan-zhao², TENG Qiu-mei¹, XU Guang-ping^{1*}, HUANG Ke-chao¹, LV Shi-hong¹, SUN Ying-jie¹ (1. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences/ Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guilin Guangxi 541006; 2. Guilin Dezhi Foreign Language School, Guilin Guangxi 541001)

Abstract: The effects of reduced chemical fertilizer combined with microbial fertilizer on yield, quality of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) and soil nutrients were explored, to study the suitable application amount of microbial fertilizer and provide a practical basis for achieving the green development goal of “reducing chemical fertilizer and increasing efficiency” in the cultivation of cherry tomatoes. A field experiment was conducted with six treatments: (1) CK, without fertilizer; (2) SI, 100% chemical fertilizer treatment; (3) SM, 100% microbial fertilizer; (4) MC1, 50% chemical fertilizer and 25% microbial fertilizer; (5) MC2, 50% chemical fertilizer and 50% microbial fertilizer; (6) MC3, 50% chemical fertilizer and 100% microbial fertilizer. Soil samples of 0–20 cm soil layer were collected at the start of the experiment and during the harvesting period of cherry tomatoes, and soil nutrients, microbial population and enzyme activities were measured. The indexes such as sweetness, Vc, nitrate, reducing sugar, crude protein and crude ash content related to cherry tomatoes quality and fruit yield were measured. The result showed that: (1) Compared with the SI treatment, MC1, MC2 and MC3 treatments significantly increased soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus and available nitrogen content, increased by 11.9%–23.7%, 7.8%–22.5%, 2.7%–27.4% and 10.2%–51.8%, respectively. (2) Compared with SI, the number of bacteria, actinomycetes, nitrogen-fixing bacteria and yeast under the MC2 and MC3 treatments were increased by 10.6%–18.0%, 7.1%–11.8%, 28.9%–41.3%, 13.3%–18.7%, respectively, and the number of fungi was decreased by 11.4%–28.1%. (3) Soil urease, sucrase, catalase and acid phosphatase activities were enhanced under MC1, MC2 and MC3 treatments compared to SI treatment, increased by 8.5%–28.7%, 17.3%–80.7%, 6.1%–45.1% and 33.3%–110%. The soil urease, sucrase, catalase and acid phosphatase activities were enhanced by 16.1%, 59.3%, 30% and 85.3% under the SM treatment. (4) MC1, MC2 and MC3 treatments reduced nitrate content in cherry tomatoes by 18.2%–36.6% effectively compared with SI treatment, increased the Vc content of cherry tomatoes by 16.5%–21.7%; the 100% microbial fertilizer treatment increased the Vc content, sugar content and crude protein content of cherry tomatoes by 16.9% , 34.6% and 23.5%, respectively, decreased the nitrate content of cherry tomatoes by 59.72%. (5) Compared with SI, the treatments of MC1, MC2, MC3 increased the yield by 6900–17400 yuan/hm², and the economic benefit was the highest under MC2. In short, in cherry tomatoes production, the reduction of chemical fertilizer combined with application of microbial fertilizer improved soil quality and cherry tomatoes quality, ensured the increase of cherry tomatoes yield, reduced chemical fertilizer application and production cost. The application of reduced fertilizer combined with microbial fertilizer had better economic efficiency and the ecology of cherry tomatoes, especially for 50% chemical fertilizer and 50% compound microbial fertilizer model.

Key words: microbial fertilizer; fertilizer reduction; yield and quality of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum*); soil nutrient; soil biological characters