

有机肥部分替代化肥对露地茄生长及品质的影响

吴金栋, 何勇, 朱祝军

(浙江农林大学园艺科学学院 浙江省山区农业高效绿色生产协同创新中心, 浙江 杭州 311300)

摘要: 【目的】探讨有机肥替代化肥在茄 *Solanum melongena* 生产中的作用。【方法】以单施化肥为对照 (ck), 设置有机肥替代基肥中 50% 化肥氮 (T₁) 和有机肥替代基肥中 100% 化肥氮 (T₂) 2 个处理, 测定分析不同处理对露地茄产量、品质及土壤肥力的影响。【结果】相比 ck, 处理组土壤 pH 显著升高 ($P < 0.05$), 土壤速效钾、有机质、微生物碳氮质量分数均显著增加 ($P < 0.05$); 单果质量和单株结果数均显著提高 ($P < 0.05$), 产量增加了 13.8%~22.3%, 其中 T₁ 产量最大, 为 70 099.5 kg·hm⁻²; 处理组茄果皮花青素质量分数显著增加 ($P < 0.05$), 茄外表皮紫红颜色更深; 果实中镁和硫质量分数显著增加 ($P < 0.05$), 可溶性糖、可溶性蛋白质和维生素 C 质量分数和氨基酸质量摩尔浓度均有不同程度提高, 其中 T₁ 综合效果更优。【结论】选择有机肥替代基肥中 50% 的化肥可以有效地提高露地茄产量, 改良品质, 并改善土壤肥力。表 9 参 40

关键词: 施肥; 茄; 花青素; 营养元素; 氨基酸; 土壤肥力

中图分类号: S641.1 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2021)06-1195-08

Effects of partial substitution of chemical fertilizer with organic fertilizer on growth and quality of *Solanum melongena* in open field

WU Jindong, HE Yong, ZHU Zhujun

(Collaborative Innovation Center for Efficient Green Production in Mountainous Agriculture of Zhejiang Province, College of Horticulture Science, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] This study aims to explore the effects of partial replacement of chemical fertilizer with organic fertilizer in the production of *Solanum melongena*. [Method] Taking chemical fertilizer as control (ck), 50% substitution of base nitrogen fertilizer with organic fertilizer (T₁) and 100% substitution of base nitrogen fertilizer with organic fertilizer (T₂) were set up as two treatments. The effects of different treatments on *S. melongena* yield, quality and soil fertility were studied in open field. [Result] Compared with ck, soil pH, soil available potassium, organic matter, microbial biomass carbon and nitrogen content increased significantly in both treatments ($P < 0.05$). The fruit weight and fruit number per plant increased significantly ($P < 0.05$), which led to the increase in yield by 13.8%–22.3%, and the yield of T₁ was highest, which was 70 099.5 kg·hm⁻². The anthocyanin mass fraction of *S. melongena* pericarp increased significantly in both treatments ($P < 0.05$), and thus deepened the fruit color. The mass fraction of magnesium and sulfur in fruits increased significantly ($P < 0.05$), and that of soluble sugars, soluble protein and vitamin C and the molar concentration of amino acid increased in varying degrees, and the comprehensive effect of T₁ was better. [Conclusion] Replacing 50% of the base fertilizer with organic fertilizer can effectively improve *S. melongena* yield, quality and soil fertility. [Ch, 9 tab. 40 ref.]

收稿日期: 2020-12-11; 修回日期: 2021-05-13

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0201209); 浙江省重点研发计划项目 (2019C02012)

作者简介: 吴金栋 (ORCID: 0000-0002-5002-0750), 从事蔬菜栽培生理研究。E-mail: 18705185589@163.com。通信作者: 朱祝军 (ORCID: 0000-0001-8551-7751), 教授, 从事园艺作物生理和分子生物学、设施园艺等领域的基础和应用研究。E-mail: zhuzj@zafu.edu.cn

Key words: fertilization; *Solanum melongena*; anthocyanin; nutrient elements; amino acid; soil fertility

化肥减量增效对农业可持续发展具有重要意义。2015年,农业农村部制定《到2020年化肥使用量零增长行动方案》^[1],随后于2017年出台《开展果菜茶有机肥替代化肥的行动方案》^[2],提出“精、调、改、替”4种技术策略以实现化肥使用量零增长,其中“替”就是用有机肥替代化肥从而减少化肥用量^[3]。已有研究^[4]表明:施用有机肥时,减少化学肥料用量并不会降低蔬菜产量。有机肥肥效周期长,能够促进土壤微生物活动,改良土壤结构;化肥养分释放周期短,营养供应速度快;将有机肥和化肥配合施用,不仅能弥补单施肥料的不足,还能充分发挥两者的优点,满足作物在生育期内对养分的持续需求,同时兼顾作物在生长和发育关键时期对养分的特殊需求^[5-6]。茄 *Solanum melongena* 是中国南方露地栽培的主要蔬菜之一^[7],目前关于茄栽培中肥料施用的研究,普遍侧重于减少养分流失、提高养分利用率等方面^[8-10],而有关有机肥替代化肥对茄产量和品质影响的研究较少。本研究分析了不同比例有机肥替代化肥处理对茄花青素、氨基酸和营养元素等品质及产量的影响,同时分析土壤肥力的变化,以为茄生产中化肥减量增效提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于浙江省龙泉市屏南镇百步村,该地属亚热带季风气候,年平均气温为17~18℃。供试土壤为红壤,基本理化性质:pH 4.81,碱解氮 198.2 mg·kg⁻¹,有效磷 16.2 mg·kg⁻¹,速效钾 91.1 mg·kg⁻¹,有机质 22.4 g·kg⁻¹,微生物碳 282.8 mg·kg⁻¹,微生物氮 20.2 mg·kg⁻¹,微生物碳氮比为14。

1.2 试验材料

供试茄品种为‘杭茄2010’*S. melongena* ‘Hangqie 2010’,由浙江省杭州市农业科学研究院提供;无机复合肥(氮16%,五氧化二磷6%,氧化钾23%,以质量分数计)购自深圳市芭田生态工程股份有限公司,有机肥(pH 7.6,氮2%,五氧化二磷4%,氧化钾2%,有机质83%,以质量分数计)购自浙江省龙泉市惠农生物科技有限公司。

1.3 试验处理

本试验为大田试验。根据前人研究结果^[11],按每生产1000 kg茄子需要3.0 kg氮,以75000 kg·hm⁻²为预期产量,设置施氮量240 kg·hm⁻²为施肥量基准。

以单施化肥(100%化肥)为对照(ck),设置T₁处理为有机肥替代基肥中50%的化肥氮,T₂处理为有机肥替代基肥中100%的化肥氮。设置3次重复,随机区组排列,田间常规管理完全相同。施肥方案见表1。

移栽前(2019年4月8日),按处理方案一次性施入全部基肥。选用长势一致、“三叶一心”的茄子幼苗进行移植,畦栽栽培,并用薄膜覆盖。5月11日定植,行距0.5 m,株距0.6 m。于挂果初期(2019年6月1日)和盛果期(2019年7月16日)追肥,施肥方法为水肥一体化,肥料随水灌入。

1.4 测试指标及测定方法

收获期内,各处理随机选取30株茄植株,统计并记录叶片数;采摘下最大功能叶,测定叶绿素相对含量(SPAD)^[12],并用平台扫描仪结合Image J软件测定叶长、叶宽、叶面积^[13]。果实采收时,各小区随机采摘10个果实,测量果实长度、直径、质量,总产量以实际称量结果计算。测定果实外观色差和模拟感官硬度^[14];采用pH示差法测定果皮花青素质量分数^[15];采用HPLC法测定果实维生素C质量分数^[16];采用考马斯亮蓝G-250法测定可溶性蛋白质质量分数,采用蒽酮法测定果实可溶性糖质量分数^[17];用Waters Acc Q-Tag法测定果实氨基酸质量摩尔浓度^[18];果实氮质量分数采用凯氏定氮法测定,

表1 施肥方案

处理	施基肥/(kg·hm ⁻²)			6月1日追	7月16日追
	有机肥	复合肥	硼砂	施复合肥/	施复合肥/
				(kg·hm ⁻²)	(kg·hm ⁻²)
ck	0	1200	45	150	150
T ₁	4245	600	45	150	150
T ₂	8490	0	45	150	150

其他元素质量分数采用 ICP-OES 法测定^[19]。

分别于种植施肥前和茄子收获后，按五点采样法用土壤螺旋钻于各处理小区随机取 0~20 cm 表层土壤样品；各处理土壤样品彻底混合后，四分法留样，过 2 mm 筛，鲜样测土壤微生物碳、氮(氯仿熏蒸浸提、TOC 法测定)^[20-21]；剩余土壤风干后过 1 mm 筛，用重铬酸钾容量法测定土壤有机质，用碱解扩散法测土壤碱解氮，用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测土壤有效磷，用醋酸铵浸提-火焰光度计法测土壤速效钾，用电位法测土壤 pH^[22]。

1.5 统计分析

采用 Excel 2010 处理数据和绘图，采用 Data Processing System (DPS V14.10) 分析数据，采用 Duncan 新复极差法进行差异显著性检验 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤的影响

由表 2 可知：相比 ck，处理组土壤 pH 显著升高 ($P < 0.05$)，土壤速效钾、有机质、微生物碳和微生物氮质量分数均显著增加 ($P < 0.05$)，其中 T₁ 分别增加了 87.6%、33.7%、61.5% 和 156.1%，效果最显著 ($P < 0.05$)。由表 3 可知：与 T₂ 和 ck 相比，T₁ 土壤碱解氮质量分数显著增加，同时微生物碳氮比显著降低 ($P < 0.05$)。上述结果表明，相较于 ck 与 T₂，T₁ 对土壤肥力的改善效果最佳。

表 2 不同施肥处理对土壤性状的影响

Table 2 Effects of different fertilization treatments on soil properties

处理	pH	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)	微生物碳/(mg·kg ⁻¹)	微生物氮/(mg·kg ⁻¹)	微生物碳氮比
ck	4.3±0.1 b	188.2±6.5 b	21.1±1.9 a	201.8±4.1 c	41.6±1.2 c	389.0±2.5 c	47.8±0.9 c	8.1±0.2 a
T ₁	5.1±0.1 a	385.7±6.7 a	22.1±3.9 a	378.5±1.8 a	55.6±3.6 a	628.3±1.4 a	122.4±2.1 a	5.1±0.1 b
T ₂	5.0±0.1 a	182.6±13.2 b	22.0±1.5 a	255.7±3.8 b	45.4±2.4 b	509.8±1.1 b	60.6±1.0 b	8.4±0.1 a

说明：同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

表 3 不同施肥处理对茄种植前后土壤性状的影响

Table 3 Effects of different fertilization treatments on soil properties before and after eggplant planting

处理	ΔpH	Δ碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	Δ有效磷/(mg·kg ⁻¹)	Δ速效钾/(mg·kg ⁻¹)	Δ有机质/(g·kg ⁻¹)	Δ微生物碳/(mg·kg ⁻¹)	Δ微生物氮/(mg·kg ⁻¹)	Δ微生物碳氮比
ck	-0.5	-80.0	4.9	110.7	19.2	106.2	27.6	-5.9
T ₁	0.3	187.5	5.9	287.4	33.2	345.5	102.2	-8.9
T ₂	0.2	-15.6	5.8	164.6	23.0	227.0	40.4	-5.6

说明：Δ表示增量

2.2 不同施肥处理对茄产量的影响

由表 4 可知：相比 ck，处理组茄植株茎粗显著增加 ($P < 0.05$)，茄果实长度、果实直径显著增加 ($P < 0.05$)，单果质量和单株结果数显著增加，产量大幅提升 ($P < 0.05$)。其中 T₁ 产量最高，为 70 099.5 kg·hm⁻²，相比 T₂ 增产 7.5%，相比 ck 增产 22.3%。

表 4 不同施肥处理对茄生长指标的影响

Table 4 Effects of different fertilization treatments on growth indexes of eggplant

处理	株高/cm	茎粗/mm	果长/cm	果直径/cm	单果质量/g	单株结果数/个	产量/(kg·hm ⁻²)
ck	106.8±6.3 a	21.3±1.1 c	25.7±1.6 b	2.3±0.1 b	60.0±7.0 b	8.4±2.5 c	57 300.0±1 501.5 c
T ₁	105.2±5.8 a	26.8±1.3 a	27.6±1.5 a	2.5±0.1 a	72.2±3.4 a	16.2±3.8 a	70 099.5±1 552.5 a
T ₂	105.1±5.3 a	24.4±1.3 b	27.3±1.7 a	2.4±0.2 a	71.7±11.8 a	12.3±2.3 b	65 200.5±1 819.5 b

说明：同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

2.3 不同施肥处理对茄叶片的影响

由表 5 可知：相比 ck，处理组叶片叶面积显著增加 ($P < 0.05$)，其中 T₁ 叶面积最大，为 226.5 cm²，

较 ck 增加 15.2%；SPAD 由高到低依次为 T₁、T₂、ck，其中 T₁ 叶片 SPAD 较 T₂ 增加了 7.5%，较 ck 增加了 14.1%。

2.4 不同施肥处理对茄果实品质的影响

2.4.1 不同施肥处理对茄果皮硬度和颜色的影响 由表 6 可知：相比 ck，T₁ 果皮硬度显著降低 ($P < 0.05$)；3 个处理茄果皮红绿色度 (a^*) 均大于零，黄蓝色度 (b^*) 均小于零，即颜色均在红蓝色区域；T₁ 的红色葡萄果实颜色指数 (CIRG) 最大，为 6.2，属于蓝黑，而 T₂ 和 ck 均属于深红色。相比 ck，处理组果皮花青素质量分数显著增加 ($P < 0.05$)，其中 T₁ 花青素高达 $13.3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ，比 ck 增加了 41.5%，比 T₂ 增加了 16.7%。

表 5 不同施肥处理对茄叶面积、叶片数和 SPAD 的影响

Table 5 Effects of different fertilization treatments on leaf area and leaf number and SPAD value of eggplant

处理	叶面积/cm ²	叶片数	SPAD
ck	196.6±3.6 c	94.2±29.6 a	74.6±3.9 a
T ₁	226.5±6.3 a	100.1±16.8 a	69.4±2.9 b
T ₂	215.6±9.3 b	99.2±8.7 a	65.4±4.8 c

说明：同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

表 6 不同处理对茄果皮硬度和颜色的影响

Table 6 Effects of different fertilization treatments on hardness and color of eggplant peel

处理	a^*	b^*	L^*	C	果皮硬度/N	花青素/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
ck	16.1±1.3 a	-6.2±0.3 c	18.2±0.2 a	5.1±0.1 c	6.6±0.7 b	9.4±0.8 c
T ₁	11.3±0.5 c	-4.5±0.4 a	16.7±1.4 a	6.2±0.2 a	7.7±0.8 b	13.3±1.5 a
T ₂	12.7±0.7 b	-5.5±0.2 b	17.7±0.8 a	5.7±0.2 b	7.9±0.8 a	11.4±0.2 b

说明： a^* 表示果皮红绿色度， $a^* < 0$ 显示绿色， $a^* > 0$ 显示红色，数值越大果皮越红； b^* 表示果皮黄蓝色度， $b^* < 0$ 显示蓝色， $b^* > 0$ 显示黄色，数值越大果皮越黄； L^* 表示果皮亮度， $L^* = 0$ 显示黑色， $L^* = 100$ 显示白色，数值越大，果皮越亮。 C 为红色葡萄果实颜色指数(CIRG)，是间接反映花青苷质量分数及着色的重要值^[23]，与花青素质量分数达到了0.835的线性相关^[24]， $C < 2$ 显示黄绿， $2 < C < 4$ 显示粉红， $4 < C < 5$ 显示红色， $5 < C < 6$ 显示深红， $C > 6$ 显示蓝黑。同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

2.4.2 不同施肥处理对茄果肉硬度、可溶性糖、可溶性蛋白质和维生素 C 的影响 由表 7 可知：相比 ck，T₁ 果肉硬度显著降低 ($P < 0.05$)；处理组可溶性糖、可溶性蛋白质和维生素 C 质量分数分别增加了 34.6%~56.8%、28.0%~33.3% 和 41.8%~122.2%。除可溶性蛋白质外，其他营养物质 T₁ 显著优于 T₂ ($P < 0.05$)。

表 7 不同处理对茄果肉硬度、可溶性糖、可溶性蛋白质和维生素 C 的影响

Table 7 Effects of different treatments on hardness, soluble sugar, soluble protein and vitamin C content of eggplant fruit

处理	果肉硬度/N	可溶性糖/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	可溶性蛋白质/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	维生素C/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
ck	3.32±0.55 a	101.29±9.10 c	7.51±0.53 b	0.15±0.04 c
T ₁	2.83±0.42 b	158.81±10.13 a	10.00±1.34 a	0.34±0.01 a
T ₂	3.29±0.37 a	136.32±8.20 b	9.57±0.71 a	0.22±0.04 b

说明：同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

2.4.3 不同施肥处理对茄中游离氨基酸的影响 由表 8 可知：相比 ck，处理组蛋氨酸、苯丙氨酸、天冬氨酸、丝氨酸、甘氨酸和半胱氨酸质量摩尔浓度显著增加 ($P < 0.05$)，其中除甘氨酸外，T₁ 提升效果显著高于 T₂ ($P < 0.05$)；同时 T₁ 的缬氨酸、赖氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、组氨酸和酪氨酸质量摩尔浓度显著高于 ck ($P < 0.05$)，T₂ 处理下苏氨酸、精氨酸、丙氨酸和脯氨酸质量摩尔浓度显著高于 ck ($P < 0.05$)。就必需氨基酸而言，T₁ 达 $99.31 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ ，是 ck 的 2.5 倍，是 T₂ 的 1.9 倍，差异显著 ($P < 0.05$)。不同处理下茄非必需氨基酸总质量摩尔浓度由高到低依次为 T₂、T₁、ck；相比 ck，处理组氨基酸总量显著提高了 80.8%~85.8% ($P < 0.05$)。

2.4.4 不同施肥处理对茄果实各营养元素的影响 由表 9 可知：相比 ck，处理组镁和硫质量分数显著增加，其中 T₁ 的果实硫质量分数较 T₂ 增加了 10%，较 ck 增加了 22.2%；T₁ 的果实氮、磷、钾、钙、锰、锌和铁质量分数均显著增加 ($P < 0.05$)，较 ck 分别增加了 13.5%、26.5%、6.4%、18.8%、11.6%、21.0% 和 13.3%。

表 8 不同施肥处理对茄果实中游离氨基酸的影响

Table 8 Effects of different fertilization treatments on the content of free amino acids in eggplant fruit

处理	苏氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	缬氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	蛋氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	赖氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	异亮氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	亮氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	苯丙氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)
ck	4.52±1.01 b	9.90±2.76 b	0.32±0.08 c	7.03±1.63 b	4.37±0.93 b	5.02±0.37 b	8.33±0.82 c
T ₁	4.16±0.92 b	22.72±1.26 a	1.45±0.15 a	32.61±2.23 a	17.03±1.64 a	10.46±2.17 a	10.88±0.34 a
T ₂	11.55±2.94 a	11.42±1.08 b	0.97±0.13 b	9.45±1.52 b	5.82±1.60 b	4.89±0.76 b	9.25±0.42 b
处理	天冬氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	丝氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	谷氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	甘氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	组氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	精氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	丙氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)
ck	11.22±2.99 c	25.03±3.11 c	1.29±0.96 a	1.39±0.34 b	99.17±8.97 b	5.51±1.88 b	3.48±0.83 b
T ₁	35.76±2.73 a	124.19±1.96 a	1.82±0.76 a	1.96±0.31 a	135.56±15.31 a	6.25±2.13 b	3.70±1.42 b
T ₂	14.63±1.38 b	44.78±7.97 b	1.35±0.17 a	1.89±0.35 a	106.89±6.87 b	10.48±2.97 a	13.38±3.06 a
处理	脯氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	半胱氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	酪氨酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	必需氨基酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	非必需氨基酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	总氨基酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	
ck	112.04±25.88 b	1.34±0.10 c	0.28±0.06 b	39.49±7.6 c	260.75±45.12 c	300.24±52.72 b	
T ₁	129.52±9.83 b	3.45±0.33 a	1.23±0.20 a	99.31±8.71 a	443.44±34.94 b	542.75±43.65 a	
T ₂	308.39±17.72 a	2.40±0.29 b	0.37±0.13 b	53.35±8.45 b	504.56±40.95 a	557.91±49.4 a	

说明：同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)

表 9 不同施肥处理对茄果实营养元素的影响

Table 9 Effects of different fertilization treatments on the content of nutrients in eggplant fruit

处理	氮/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	磷/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	钾/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	钙/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	镁/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	硫/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
ck	19.23±0.77 b	3.42±0.20 b	31.38±1.60 b	1.59±0.14 b	1.09±0.10 c	0.18±0.02 c
T ₁	21.78±0.41 a	4.31±0.13 a	33.41±1.42 a	1.90±0.07 a	1.37±0.11 b	0.22±0.03 a
T ₂	19.52±0.20 b	3.61±0.29 b	31.03±1.74 b	1.86±0.16 b	1.79±0.10 a	0.20±0.03 b
处理	锰/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	锌/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	铜/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	铁/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	硼/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	
ck	24.21±1.39 b	19.50±1.29 b	9.64±0.65 a	27.11±1.54 b	13.44±0.90 a	
T ₁	27.02±2.21 a	23.57±1.68 a	9.32±0.44 a	30.67±1.59 a	13.91±1.52 a	
T ₂	24.14±1.61 b	19.18±1.77 b	9.34±0.80 a	26.21±1.50 b	14.18±1.38 a	

说明：同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)

3 讨论与结论

3.1 不同施肥处理对土壤肥力的影响

黄婷等^[25]研究发现：有机肥替代化肥可增加土壤有机质含量。本研究发现：有机肥替代处理组(T₁与T₂)土壤有机质质量分数均显著上升，但有机肥全部替代化肥(T₂)土壤有机质少于有机肥替代50%化肥(T₁)。这可能是由于土壤微生物碳氮与土壤活性有机质正相关^[26-28]，T₂处理土壤微生物碳氮质量分数显著低于T₁，说明有机肥投入过多并不能增加额外的有机质^[29]。土壤微生物碳氮比可以反映土壤氮素的供应能力，碳氮比越小说明土壤氮素生物有效性较高。

3.2 不同施肥处理对茄子产量和品质的影响

武星魁等^[30]在叶菜蔬菜有机肥替代化肥的研究中发现：有机肥替代化肥可以提高叶菜产量与品质，但并不是有机肥替代化肥的比例越高效果越好，而是存在着最佳的比例。本研究发现：相比单施化肥，在提高茄维生素C质量分数等品质和产量方面，有机肥替代50%化肥处理优于有机肥完全替代化肥，这与李淑仪等^[31]结果相似。

花青素是一类影响茄果实品质的类黄酮化合物^[32]。已有研究^[33]发现：光照和环境温度对花青素合成与积累有影响。本研究发现：有机肥部分替代化肥能显著增加果皮中花青素质量分数，使茄果皮颜色加深，外观品质更好。推测原因可能是有机肥增加了类黄酮物质生物合成前提的苯丙氨酸的含量^[34]，提高了花青素质量分数，具体生理机制有待进一步研究。

有机肥部分替代化肥对茄果实营养元素的影响鲜见报道。矿物质元素是维持人体生长发育所需的营

营养物质,也是品质因子的成分之一^[35-36];硫元素能够组成蛋氨酸和半胱氨酸^[37],钾元素参与果实中糖的形成与积累^[38]。本研究发现:有机肥施入处理后茄硫元素质量分数显著提升,这可能是茄中蛋氨酸和半胱氨酸增加的原因;有机肥替代50%化肥处理后茄钾元素质量分数最高,这可能是T₁中可溶性糖质量分数高的原因。配施有机肥显著提高某些元素含量一方面在于有机肥本身可为植物提供多种元素,如李大伟等^[39]发现有机肥本身含有一定数量的铁,对提升白菜铁含量有利;另一方面,有机肥中的某些物质可能与矿物质元素具有协同吸收作用,如魏孝荣^[40]发现:土壤有效态锌与土壤有机质呈正相关,配施有机肥处理通过提高锌的生物有效性从而提高了茄中锌的质量分数。

综上所述,有机肥替代基肥中50%的化肥可以提高露地茄的产量和品质,并改善土壤肥力。

4 参考文献

- [1] 中华人民共和国农业农村部. 关于印发《到2020年化肥使用量零增长行动方案》和《到2020年农药使用量零增长行动方案》的通知[R/OL]. (2015-02-17)[2020-12-11]. http://www.moa.gov.cn/ztzl/mywrfz/gzgh/201509/t20150914_4827907.htm.
- [2] 中华人民共和国农业农村部. 农业部关于印发《开展果菜茶有机肥替代化肥行动方案》的通知[R/OL]. (2017-02-08)[2020-12-11]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2017/derq/201712/t20171227_6130977.htm.
- [3] 刘欢. 化学氮肥减量配施有机肥对白菜产量和品质的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
LIU Huan. *The Effect of Combined Application of Organic and Inorganic Fertilizers on Yield and Quality of Chinese Cabbage* [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [4] MIN Ju, ZHANG Hailin, SHI Weiming. Optimizing nitrogen input to reduce nitrate leaching loss in greenhouse vegetable production [J]. *Agric Water Manage*, 2012, **111**: 53 – 59.
- [5] 孙小钧, 伍国勇, 任秀. 化肥投入变化对粮食生产效率的影响: 基于贵州省县域面板数据的实证分析[J]. *南方农业学报*, 2019, **50**(8): 1869 – 1877.
SUN Xiaojun, WU Guoyong, REN Xiu. The impact of chemical fertilizer input changes on grain production efficiency: an empirical analysis based on panel data of counties in Guizhou Province [J]. *J Southern Agric*, 2019, **50**(8): 1869 – 1877.
- [6] 陈贵, 赵国华, 张红梅, 等. 长期施用有机肥对水稻产量和氮磷养分利用效率的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2017(1): 92 – 97.
CHEN Gui, ZHAO Guohua, ZHANG Hongmei, et al. Effect of long-term organic fertilizers application on rice yield, nitrogen and phosphorus use efficiency [J]. *Soil Fert Sci China*, 2017(1): 92 – 97.
- [7] 刘丹, 崔彦玲, 潜宗伟. 茄子种业现状及遗传育种研究进展[J]. *北方园艺*, 2019(1): 165 – 170.
LIU Dan, CUI Yanling, QIAN Zongwei. Research advances in the seed industry and breeding of eggplant [J]. *Northern Horticult*, 2019(1): 165 – 170.
- [8] 卢家柱, 赵贵宾, 颜建明, 等. 不同施氮量对茄子产量、品质及肥料利用率的影响[J]. *华北农学报*, 2016, **31**(3): 205 – 211.
LU Jiazhuzhu, ZHAO Guibin, XIE Jianming, et al. Effects of different nitrogen fertilizer application rates on yield, quality and fertilizer utilization rate of eggplant [J]. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2016, **31**(3): 205 – 211.
- [9] CHEN Yimin, ZHANG Jinyuan, XU Xin, et al. Effects of different irrigation and fertilization practices on nitrogen leaching in facility vegetable production in northeastern China [J]. *Agric Water Manage*, 2018, **210**: 165 – 170.
- [10] MAUCERI A, BASSOLINO L, LUPINI A, et al. Genetic variation in eggplant for nitrogen use efficiency under contrasting NO₃⁻ supply [J]. *J Integr Plant Biol*, 2020, **62**(4): 487 – 508.
- [11] 张雅. 茄子不同器官在不同生育期对氮磷钾吸收差异的比较分析[J]. *浙江农业学报*, 2011, **23**(6): 1134 – 1139.
ZHANG Ya. Comparative analysis on NPK uptake by different organs of eggplants during different growth stages [J]. *Acta Agric Zhejiang*, 2011, **23**(6): 1134 – 1139.
- [12] 宋慧, 黄芸萍, 臧全宇, 等. 甜瓜幼苗不同叶位 SPAD 值与叶绿素含量的变化规律及相关性[J]. *华北农学报*, 2019, **34**(增刊): 99 – 104.
SONG Hui, HUANG Yunping, ZANG Quanyu, et al. Variation and correlation analysis of SPAD value and chlorophyll content of leaves at different position in melon seedling [J]. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2019, **34**(suppl): 99 – 104.
- [13] SCHINDELIN J, RUEDEN C T, HINER M C, et al. The ImageJ ecosystem: an open platform for biomedical image

- analysis [J]. *Mol Rep Dev*, 2015, **82**(7/8): 518 – 529.
- [14] 吴瑞媛. ‘翠玉’梨果实糖代谢规律及提高果实品质技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
WU Ruiyuan. *A Study on Sugar Metabolism in Fruit and Technology for Improving Fruit Quality in ‘Cuiyu’ Pear*[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [15] NIU Shanshan, XU Changjie, ZHANG Wangshu, *et al.* Coordinated regulation of anthocyanin biosynthesis in Chinese bayberry (*Myrica rubra*) fruit by a R2R3 MYB transcription factor [J]. *Planta*, 2010, **231**(4): 887 – 899.
- [16] 童兰艳, 余文琴, 朱玲玲, 等. 蔬菜和水果中维生素 C 含量测定及其稳定性[J]. 食品工业, 2020, **41**(5): 87 – 89.
TONG Lanyan, YU Wenqin, ZHU Lingling, *et al.* Determination of vitamin C in vegetables and fruits and its stability [J]. *Food Ind*, 2020, **41**(5): 87 – 89.
- [17] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 111 – 114.
- [18] GAUDIN Z, CERVEAU D, MARNET N, *et al.* Robust method for investigating nitrogen metabolism of ¹⁵N labeled amino acids using AccQ•Tag ultra performance liquid chromatography-photodiode array-electrospray ionization-mass spectrometry: application to a parasitic plant-plant interaction [J]. *Anal Chem*, 2014, **86**(2): 1138 – 1145.
- [19] 袁建民, 何璐, 杨晓琼, 等. 微波消解 ICP-OES 法同时测定香茅草中 11 种微量元素[J]. 中国农学通报, 2020, **36**(14): 69 – 73.
YUAN Jianmin, HE Lu, YANG Xiaoqiong, *et al.* Simultaneous determination of 11 trace elements in *Cymbopogon citratus* by ICP-OES with microwave digestion [J]. *Chin Agric Sci Bullet*, 2020, **36**(14): 69 – 73.
- [20] VANCE E D, BROOKES P C, JENKINSON D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C [J]. *Soil Biol Biochem*, 1987, **19**(6): 703 – 707.
- [21] BROOKES P C, LANDMAN A, PRUDEN G, *et al.* Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil [J]. *Soil Biol Biochem*, 1985, **17**(6): 837 – 842.
- [22] 薛沛沛, 王兵, 牛香. 大岗山不同海拔毛竹林土壤肥力的灰色关联度分析[J]. 浙江农业学报, 2013, **25**(6): 1354 – 1359.
XUE Peipei, WANG Bing, NIU Xiang. Grey relation analysis of soil fertility of moso bamboo forests at different altitudes in Dagang Mountain [J]. *Acta Agric Zhejiang*, 2013, **25**(6): 1354 – 1359.
- [23] CARREÑO J, MARTÍNEZ A, ALIMELA L, *et al.* Measuring the color of table grapes [J]. *Color Res Appl*, 1996, **21**(1): 50 – 54.
- [24] 卢彩玉, 黄春辉, 郑小艳, 等. 根域限制对巨玫瑰葡萄果实外观、色素及内在品质的影响[J]. 果树学报, 2009, **26**(5): 719 – 724.
LU Caiyu, HUANG Chunhui, ZHENG Xiaoyan, *et al.* Effects of root restriction on visual quality, pigments and inner quality of Jumeigui grape berries [J]. *J Fruit Sci*, 2009, **26**(5): 719 – 724.
- [25] 黄婷, 苟卫兵, 张瑞福. 长期不同施肥对北方旱地轮作土壤有机质和作物产量影响的抽样调查[J]. 浙江农林大学学报, 2017, **34**(2): 253 – 260.
HUANG Ting, XUN Weibing, ZHANG Ruifu. Soil organic matter and crop yield with long-term fertilization schemes for an upland crop rotation in northern China [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(2): 253 – 260.
- [26] 禹朴家, 范高华, 韩可欣, 等. 基于土壤微生物生物量碳和酶活性指标的土壤肥力质量评价初探[J]. 农业现代化研究, 2018, **39**(1): 163 – 169.
YU Pujia, FAN Gaohua, HAN Kexin, *et al.* Soil quality assessment based on soil microbial biomass carbon and soil enzyme activities [J]. *Res Agric Modernization*, 2018, **39**(1): 163 – 169.
- [27] 曾全超, 李鑫, 董杨红, 等. 黄土高原不同乔木林土壤微生物量碳氮和溶解性碳氮的特征[J]. 生态学报, 2015, **35**(11): 3598 – 3605.
ZENG Quanchao, LI Xin, DONG Yanghong, *et al.* Soil microbial biomass nitrogen and carbon, water soluble nitrogen and carbon under different arbors forests on the Loess Plateau [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35**(11): 3598 – 3605.
- [28] 张成霞, 南志标. 土壤微生物生物量的研究进展[J]. 草业科学, 2010, **27**(6): 50 – 57.
ZHANG Chengxia, NAN Zhibiao. Research progress of soil microbial biomass in China [J]. *Pratacul Sci*, 2010, **27**(6): 50 – 57.
- [29] 陈琨, 喻华, 上官宇先, 等. 有机无机肥配施对冬水田水稻产量和耕层土壤性质的影响[J]. 中国稻米, 2020, **26**(2): 32 – 35, 40.

- CHEN Kun, YU Hua, SHANGGUAN Yuxian, *et al.* Impacts of organic-inorganic fertilizer application on yield of rice and soil properties in the waterlogged paddy field [J]. *China Rice*, 2020, **26**(2): 32 – 35, 40.
- [30] 武星魁, 姜振萃, 陆志新, 等. 有机肥部分替代化肥氮对叶菜产量和环境效应的影响[J]. 中国生态农业学报, 2020, **28**(3): 349 – 356.
- WU Xingkui, JIANG Zhencui, LU Zhixin, *et al.* Effects of the partial replacement of chemical fertilizer with manure on the yield and nitrogen emissions in leafy vegetable production [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2020, **28**(3): 349 – 356.
- [31] 李淑仪, 邓许文, 陈发, 等. 有机无机肥配施比例对蔬菜产量和品质及土壤重金属含量的影响[J]. 生态环境, 2007, **16**(4): 1125 – 1134.
- LI Shuyi, DENG Xuwen, CHEN Fa, *et al.* Effects of the quantity and proportion of organic and mineral fertilizers on vegetable yield and quality and soil heavy metal contents [J]. *Ecol Environ*, 2007, **16**(4): 1125 – 1134.
- [32] GAIZ A, KUNDUR A R, COLSON N, *et al.* Assessment of in vitro effects of anthocyanins on platelet function [J]. *Alternative Ther Health Med*, 2020, **26**(1): 12 – 17.
- [33] 吕玲玲, 冯雪峰, 李威, 等. 茄子花青素研究进展[J]. 分子植物育种, 2018, **16**(15): 5065 – 5071.
- LÜ Lingling, FENG Xuefeng, LI Wei, *et al.* Research progress of anthocyanin in eggplant [J]. *Mol Plant Breeding*, 2018, **16**(15): 5065 – 5071.
- [34] MORI T, SAKURAI M, SASUTA M. Effects of conditioned medium on activities of PAL, CHS, DAHP synthase (DS-Co and DS-Mn) and anthocyanin production in suspension cultures of *Fragaria ananassa* [J]. *Plant Sci*, 2001, **160**(2): 355 – 360.
- [35] HARDISSON A, RUBIO C, BAEZ A, *et al.* Mineral composition of the banana (*Musa acuminata*) from the island of Tenerife [J]. *Food Chem*, 2001, **73**(2): 153 – 161.
- [36] LYSLIAK G. The influence of harvest maturity and basic macroelement content in fruit on the incidence of diseases and disorders after storage of the ‘Ligol’ apple cultivar [J]. *Folia Horti*, 2013, **25**(1): 31 – 39.
- [37] 杜振宇, 史衍玺, 王清华. 施硒对茄子吸收转化硒和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, **10**(3): 298 – 301.
- DU Zhenyu, SHI Yanxi, WANG Qinghua. Effects of selenium application on the selenium absorption and transformation of eggplant and its qualities [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 2004, **10**(3): 298 – 301.
- [38] POSSNER D R E, KLIEWER W M. The localization of acids, sugars, potassium and calcium in developing grape berries [J]. *Vitis*, 1985, **24**: 229 – 240.
- [39] 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.
- LI Dawei, ZHOU Jiashun, PAN Genxing, *et al.* Effect of biochar-based compound fertilizer on the yield, fruit quality and N use efficiency of vegetables [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2016, **39**(3): 433 – 440.
- [40] 魏孝荣. 旱地长期定位试验对土壤锌、铜、锰、铁化学特性影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- WEI Xiaorong. *Effects of Long-Term Experiment on the Chemical Characteristics of Soil Zinc, Copper, Manganese, Iron in Dry Land*[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2004.