

肥料配施对基质培口感型番茄生长及品质的影响

孙 健, 王嘉敏, 王文茹, 吴凤芝, 潘 凯*

(东北农业大学园艺园林学院, 哈尔滨 150030)

摘 要: 为科学优化基质肥料配方、提升口感型番茄基质栽培条件下的产量和品质, 试验在减施复合肥基础上, 分别配施三种不同功能肥料, 以不减施复合肥处理为对照, 共设4个处理: 不减施复合肥(CK)、减施复合肥+配施缓释肥(T1)、减施复合肥+配施蛋白酶肥(T2)、减施复合肥+配施高活性微生物菌肥(T3); 采用袋培方式研究各处理对口感型番茄(‘高糖100’)生长、产量及品质的影响。结果表明, 与对照相比, T3处理显著增加植株地上及地下部干物质积累量, 单株产量增加50%以上, 显著提高果实糖酸比及维生素C含量, 且果实中硝酸盐含量显著降低, 该处理还显著提高基质中碱解氮和有效磷含量; T1处理与对照差异不显著, T2处理效果最差。综上所述, 每株番茄8 L基质占有量的袋式栽培条件下, 基质施肥方案为“复合肥8 g+配施高活性微生物菌肥2 g”的T3处理可显著提高春茬口感型番茄产量和品质, 提质效果明显。

关键词: 基质栽培; 肥料配施; 口感型番茄; 品质

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1005-9369(2024)01-0034-09

孙健, 王嘉敏, 王文茹, 等. 肥料配施对基质培口感型番茄生长及品质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2024, 55(1): 34-42. DOI: 10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.2024.01.004.

Sun Jian, Wang Jiamin, Wang Wenru, et al. Effects of different fertilizer combinations on growth and quality of substrate cultivation taste-like tomato[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2024, 55(1): 34-42. (in Chinese with English abstract) DOI: 10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.2024.01.004.

Effects of different fertilizer combinations on growth and quality of substrate cultivation taste-like tomato/SUN Jian, WANG Jiamin, WANG Wenru, WU Fengzhi, PAN Kai(School of Horticulture and Landscape Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to scientifically optimize the formula of substrate fertilizer and improve the yield and quality of tomato substrate cultivation conditions, this experiment applied three different functional fertilizers on the basis of reducing the application of compound fertilizer. The treatment without reducing the application of compound fertilizer was used as a control, and a total of four treatments were set up, no reduction of compound fertilizer (CK), reduced application of compound fertilizer+combined application of slow-release fertilizer (T1), reduced application of compound fertilizer+combined application of protein & enzyme fertilizer (T2), reduce the application of compound fertilizer and combine with the application of highly active microbial fertilizer (T3). The effects of various treatments on the growth, yield, and quality of taste-like tomato ('High Sugar 100') were studied by using bag culture. The results showed that compared with the control group, T3 treatment significantly increased the accumulation of

基金项目: 国家大宗蔬菜产业技术体系项目(CARS-25); 黑龙江省蔬菜现代农业产业技术协同创新推广体系(设施蔬菜栽培HNWJZTX 201701)

作者简介: 孙健(1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向为设施园艺与蔬菜生理生态。E-mail: cadiluck@163.com

*通信作者: 潘凯, 教授, 博士生导师, 研究方向为设施园艺与蔬菜生理生态。E-mail: 282015728@qq.com

dry matter in the shoot and root parts of plants, increased single plant yield by more than 50%, significantly increased the sugar acid ratio and vitamin C content of fruits, and significantly reduced the nitrate content in the fruits. This treatment also significantly increased the content of alkaline hydrolyzed nitrogen and available phosphorus in the substrate. There was no significant difference between T1 treatment and the control, while T2 treatment had the worst effect. In summary, under the bagged cultivation conditions of 8 L substrate per tomato plant, the T3 treatment with a substrate fertilization scheme of "8 g of compound fertilizer + 2 g of highly active microbial fertilizer" could significantly improve the yield and quality of spring season taste-like tomato, and the quality improvement effect was significant.

Key words: substrate cultivation; fertilizer combination; taste-like tomato; quality

随着设施蔬菜产业快速发展，无土栽培规模日益扩大。为保证产量，传统无土栽培通常会施入过量无机化肥，不仅增加生产和管理成本^[1]，还破坏基质理化性质，导致蔬菜产品品质下降，不利于可持续发展^[2]。近年来，有机生态型无土栽培已成为热门研究课题。研究表明，添加生物有机肥可改善基质理化性质、提高作物对养分吸收利用、促进作物生长并提高产量^[3-5]。朱宝国等研究表明，生物有机肥配合施用化肥，可增强作物抗病性、防止早衰^[6]。基质袋培是直接在袋装基质上种植作物的一种新型有机生态型无土栽培形式，其工艺简单成本低廉、管理方便，可实现全生长季仅浇水、免追肥的效果^[7-9]。常见新型肥料包括缓释肥、微生物菌肥和蛋白酶肥，已有研究主要集中于肥料施用量方面的优化，不同类型肥料配施在袋培基质中的配施效果还比较缺乏^[10]。口感型番茄是一类酸甜适中、风味浓郁的高品质番茄，现已成为无土栽培番茄生产主要品种类型，研发口感型番茄基质袋培科学合理的施肥方案是实现化肥减施、增产提质的关键^[11]。

因此，本研究在成熟基质配方基础上，以口

感型番茄品种‘高糖100’为供试作物，采用袋培方式，研究不同肥料配施对番茄生长、产量和品质的影响，并分析栽培过程中基质养分变化情况，为“番茄全营养有机生态型栽培基质”商品性开发与利用提供技术支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

东北农业大学实验与实习示范向阳基地1号大棚(45°74' N, 126°73' E)。

1.2 试验材料

1.2.1 供试作物

供试番茄品种为‘高糖100’，水果型高品质番茄，无限生长类型，由东北农业大学番茄研究所提供。

1.2.2 供试基质

试验所用栽培基质参考杨雪松等方法^[12]，主要成分为玉米秸秆、腐熟牛粪、稻壳、蚯蚓粪等，体积比为1:1:2:1，由东北农业大学设施蔬菜生理与生态实验室提供。

1.2.3 供试肥料

供试肥料见表1。

表 1 供试肥料
Table 1 Test fertilizer

肥料种类 Fertilizer varieties	养分成分 Nutrient composition	肥料名称及生产商 Fertilizer name and manufacturer
常规复合肥 Conventional compound fertilizer	NPK 配比 12:18:15	凯利丰复合肥，应城市新都化工复合肥有限公司
缓释肥 Slow-release fertilizer	NPK 配比 18:8:18	红四方缓释肥，中盐安徽红四方肥业股份有限公司
微生物菌肥 Microbial fertilizer	有效活菌数≥10.0亿·g ⁻¹ ，有机质≥45%， 氮磷钾(总养分)≥5%	天元微生物菌肥，哈尔滨天元生物科技有限公司
蛋白酶肥 Protein & enzyme fertilizer	粗蛋白 40% 有机质，50% 有机氮磷钾， 10% 复合氨基酸 8%，祖代原菌 0.2 亿·g ⁻¹	7 补·蛋白酶肥，国肥集团有限公司

1.3 试验设计与方法

1.3.1 试验设计

本试验共设 4 个处理。CK：不减施复合肥处理；T1：减施复合肥+配施缓释肥；T2：减施复合肥+配施蛋白酶肥；T3：减施复合肥+配施高活性微生物菌肥。各配方处理肥料添加量见表 2。番茄提前育苗，当长至 5~6 叶时，选择长势一致幼苗，定植到栽培袋中，定植后常规管理，单干整枝，保留三穗果。栽培基质袋为黑白 PO 膜(内黑外银)，

长、宽、高分别为 80、30、15 cm，每袋装 16 L 基质。番茄栽培时，将栽培袋放于定植垄中，每垄放置 10 个基质袋，每袋定植 2 株番茄，共定植 20 株，作为一个处理，株距×行距为 0.3 m×0.6 m，每个处理重复 3 次，随机排列。试验过程中采用滴灌方式灌水。试验各处理所用肥料全部采用一次性基施，后期不追肥，各处理栽培前化学性质见表 3。定植后第 30、60、90 天取样测量番茄生长和基质化学性质。

表 2 不同处理肥料施用配方

Table 2 Fertilizer application formula of different treatments

处理编号 Processing number	不同肥料施用量(g·株 ⁻¹) Fertilizer application rates			
	常规复合肥 Conventional compound fertilizer	缓释肥 Slow-release fertilizer	蛋白酶肥 Protein & enzyme fertilizer	微生物菌肥 Microbial fertilizer
对照 CK	15	0	0	0
T1	8	5	0	0
T2	8	0	5	0
T3	8	0	0	2

注：T1、T2 和 T3 处理均减施复合肥 46.67%。

Note: T1, T2 and T3 treatments all reduced the application of compound fertilizer by 46.67%.

表 3 不同处理栽培前基质化学性质

Table 3 Chemical properties of substrate before cultivation under different treatments

处理编号 Processing number	pH	EC 值(mS·cm ⁻¹) Electrical conductance	碱解氮(mg·kg ⁻¹) Alkali-hydrolyzed nitrogen	速效磷(mg·kg ⁻¹) Available phosphorus	有效钾(mg·kg ⁻¹) Available potassium
对照 CK	7.49	2.07	381.96	236.73	327.78
T1	7.49	1.83	361.40	198.47	276.81
T2	7.38	1.90	341.98	202.67	301.79
T3	7.35	1.85	346.75	213.63	305.76

1.3.2 测定项目及方法

1.3.2.1 番茄生长指标测定

株高：测量茎基部到生长点顶端的高度(卷尺测量)。

茎粗：测量子叶下 2 cm 处茎粗(游标卡尺测量)。

植物地上地下和全株干鲜重：将取样的地下部分用蒸馏水冲洗干净吸去水分后，使用电子天平称量记录。将植株地上部分和地下部分鲜样放入烘箱，105 ℃杀青烘干至恒重后用电子天平称量干重，全株干鲜重为地上部和地下部的总和。

根冠比=地下部鲜重/地上部鲜重。

1.3.2.2 番茄生理指标测定

叶片光合参数：在晴朗的上午 9: 00，选择植株中上部位且叶位一致的 3 片功能叶，使用 LI-6400 光合仪。测定植株净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)及蒸腾速率(Tr)。

叶绿素：跟踪部位叶片采用 80% 丙酮提取法测定，参照舒展等方法测定^[13]。

1.3.2.3 番茄产量和品质测定

植株产量：采用单株测产法，每个重复取 3 株。

可溶性糖含量：采用蒽酮比色法测定^[14]。

有机酸含量：采用标准碱液滴定法测定^[15]。

维生素C含量：采用2%草酸浸提，2, 6-二氯酚酞滴定法测定^[14]。

硝酸盐含量：采用5%水杨酸-硫酸法测定^[15]。

1.3.2.4 基质化学性质测定

基质EC值、pH按照土水比1:5(W/V)的浸提方法，分别用电导率仪、酸度计测定。

基质养分测定：速效氮含量采用碱解扩散-容量法测定，速效磷含量采用M3浸提-钼锑抗比色法测定，速效钾含量采用M3浸提-火焰光度法测定^[16]。

1.4 数据处理与分析

原始数据整理使用Excel 2016；数据差异分析运用SPSS 21.0软件，采用Turkey的HSD法分析差异显著性，差异水平 $P<0.05$ ；图形制作运用Prism 8.0软件。

2 结果与分析

2.1 不同肥料配施对基质培口感型番茄生长的影响

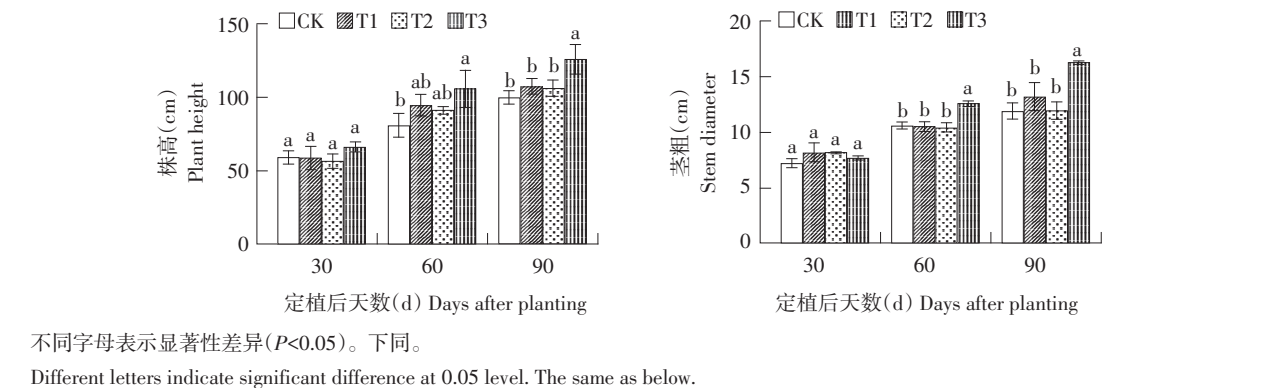
2.1.1 不同肥料配施对基质培口感型番茄株高茎粗的影响

各处理基质栽培番茄随时间增加株高、茎粗呈上升趋势(见图1)。各处理株高、茎粗在30 d时无显著差异。T3处理在60和90 d时株高显著高于

对照，分别提高30.86%和26.00%。60 d时T1和T2处理番茄株高高于对照但差异不显著。60和90 d时T3处理茎粗显著高于对照和其他处理，与对照相比分别增加18.46%和36.90%。

2.1.2 不同肥料配施对基质培口感型番茄干鲜重的影响

不同肥料配方基质栽培番茄植株地上部、地下部干鲜重随时间增加呈上升趋势(见图2)。T3处理番茄全株鲜重在各时期均显著高于其他处理，在30、60和90 d时与CK相比分别提高23.79%、9.29%和18.92%；T2处理全株鲜重在90 d时显著低于其他处理；T3处理全株干重在60 d时显著高于其他处理，与CK相比提高25.61%。T3处理番茄各时期地上部鲜重均显著高于其他处理，与CK相比在0、60和90 d时分别提高24.44%、10.02%和19.38%；T3处理地上部干重在30和60 d时显著高于CK，分别提高31.87%和27.33%。T3处理番茄地下部鲜重在30和90 d时显著高于CK，与对照相比分别提高12.65%和11.68%。T2处理番茄地下部鲜重在30 d时显著高于CK。T3处理地下部干重在90 d时显著高于CK和T2处理，与对照相比提高16.76%。



不同字母表示显著性差异($P<0.05$)。下同。
Different letters indicate significant difference at 0.05 level. The same as below.

图1 不同肥料配施对基质培口感型番茄株高、茎粗的影响

Fig. 1 Effects of different fertilizer combinations on substrate cultivation taste-like tomato height and stem diameter

2.1.3 不同肥料配施对基质培口感型番茄根冠比的影响

定植30 d时，各处理组番茄根冠比均低于对照组，其中T3处理达到显著水平。定植60和90 d时各处理番茄根冠比无显著差异(见图3)。

2.2 不同肥料配施对基质培口感型番茄叶片光合和叶绿素含量的影响

T3处理显著提高番茄叶片净光合速率、气孔

导度和叶绿素含量，与对照相比分别提高14.52%、33.64%和25%。T1处理显著提高番茄叶片气孔导度和胞间CO₂浓度，与对照相比分别提高34.84%和8.30%(见表4)。

2.3 不同肥料配施对基质培口感型番茄产量及果实品质的影响

2.3.1 不同肥料配施对基质培口感型番茄产量的影响

各处理对番茄产量的影响如表5所示。与对照

相比, T3 处理显著提高番茄单果重和单株产量, 分别提高 26.9% 和 55.37%。而 T2 处理降低番茄单株结果数。

2.3.2 不同肥料配施对基质培口感型番茄果实品质的影响

与对照相比, T1、T3 处理显著提高番茄果实中可溶性糖含量, 分别提高 13.85% 和 18.08%; T2

处理降低番茄果实可溶性糖含量; T2、T3 处理有机酸含量显著低于其他处理, 其中 T3 处理有机酸含量最低; 与对照相比, T3 处理显著提高 35.5% 番茄果实糖酸比; T3 处理维生素 C 含量显著高于其他处理; 肥料配施各处理组均显著降低番茄果实中硝酸盐含量, 其中 T3 处理效果最显著, 与对照相比显著下降 21.3% (见表 6)。

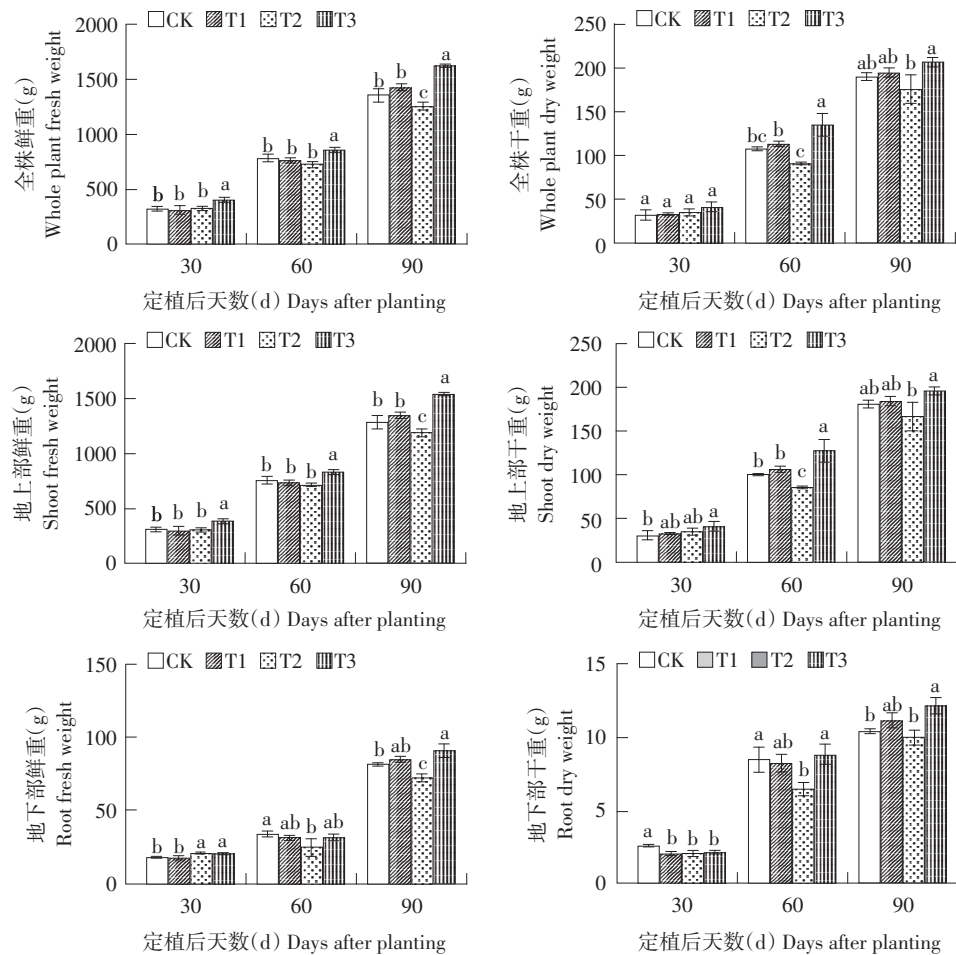


图2 不同肥料配施对基质培口感型番茄干鲜重的影响

Fig. 2 Effects of different fertilizer combinations on the dry and fresh weight of substrate cultivation taste-like tomato

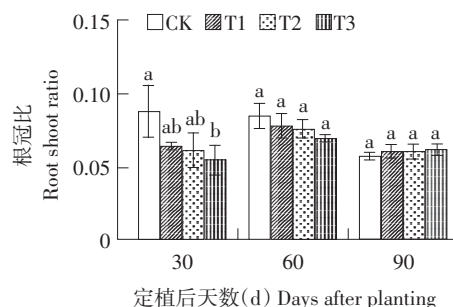


图3 不同肥料配施对基质培口感型番茄根冠比的影响

Fig. 3 Effects of different fertilizer combinations on the substrate cultivation taste-like tomato root shoot ratio

表 4 不同肥料配施对基质培口感型番茄光合特性和叶绿素含量的影响

Table 4 Effects of different fertilizer combinations on light characteristics and chlorophyll content of substrate cultivation taste-like tomato

处理 Treatments	净光合速率 Pn ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Photosynthetic rate	气孔导度 Gs ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Stomatal conductance	胞间 CO ₂ 浓度 Ci ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) Intercellular CO ₂ concentration	蒸腾速率 Tr ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Transpiration rate	叶绿素含量 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) Chlorophyll content
对照 CK	17.9±0.7b	283.9±6.2b	321.5±20.1c	7.28±0.14a	1.24±0.07b
T1	18.4±0.8b	382.8±6.6a	348.2±13.2ab	7.61±0.27a	1.32±0.05b
T2	19.1±0.6ab	264.2±5.9c	372.6±16.1a	7.11±0.22a	1.39±0.07ab
T3	20.5±0.7a	379.4±9.6a	337.5±9.9ab	7.55±0.24a	1.55±0.08a

注：不同字母表示显著性差异(P<0.05)。下同。
Note: Different letters indicate significant difference at 0.05 level. The same as below.

表 5 不同肥料配施对基质培口感型番茄产量的影响

Table 5 Effects of different fertilizer combinations on substrate cultivation taste-like tomato plant yield

处理 Treatments	单株结果数(个) Number of fruit per plant	单果重(g·个 ⁻¹) Single fruit weight	单株产量(g·株 ⁻¹) Yield per plant
对照 CK	7.3±0.57ab	113.0±2.31b	828.4±57.39bc
T1	8.3±0.57ab	117.1±3.52b	975.5±58.62b
T2	6.7±0.57c	113.0±2.31b	754.0±73.44c
T3	9.0±1.00a	143.4±5.75a	1287.1±92.68a

表 6 不同肥料配施对基质培口感型番茄果实品质的影响

Table 6 Effects of different fertilizer combinations on the fruit quality of substrate cultivation taste-like tomato

处理 Treatments	可溶性糖(%) Soluble sugar content	有机酸(%) Organic acid content	糖酸比 Sugar acid ratio	维生素 C(mg·g ⁻¹) Vitamin C content	硝酸盐(mg·kg ⁻¹) Nitrate content
对照 CK	5.20±0.043b	0.367±0.004a	13.8±0.26c	6.48±0.12b	411.3±9.50a
T1	5.92±0.066a	0.363±0.005a	16.3±0.21b	6.45±0.05b	392.0±5.57b
T2	4.59±0.139c	0.348±0.004b	13.5±0.11c	6.22±0.04c	354.7±5.13c
T3	6.14±0.112a	0.328±0.002c	18.7±0.49a	6.70±0.02a	323.7±2.52d

2.4 不同肥料配施对基质化学性质的影响

2.4.1 不同肥料配施对基质 EC 值、pH 的影响
与不减施复合肥处理相比，T1 处理在各时期

均显著降低栽培基质 EC 值；T3 处理在 90 d 时显著降低基质 EC 值。T2 和 T3 处理在番茄生长前期(30 d)和末期(90 d)显著降低基质 pH(见图 4)。

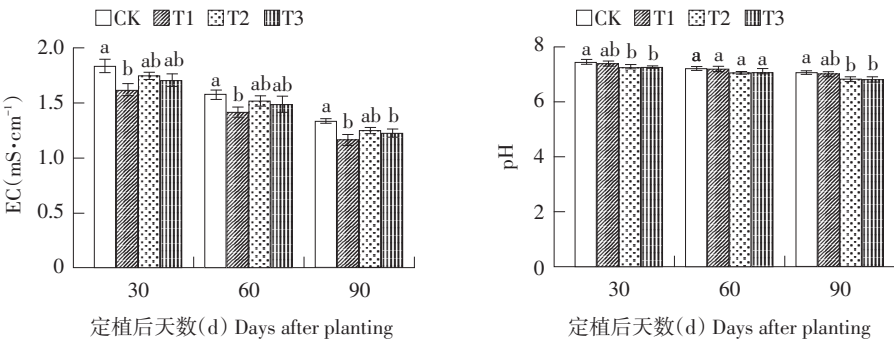


图 4 不同肥料配施对基质 EC 和 pH 的影响

Fig. 4 Effects of different fertilizer combinations on substrate EC and pH

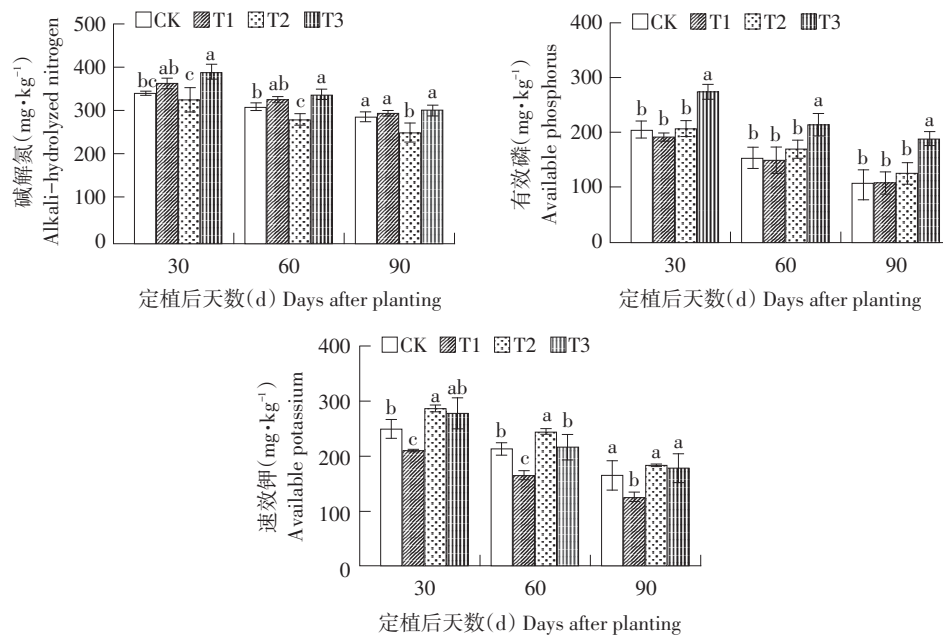


图5 不同肥料配施基质养分含量变化

Fig. 5 Changes of nutrient contents of substrates with different fertilizer combinations

2.4.2 不同肥料配施基质养分含量变化

不同肥料配施基质养分含量变化如图5所示, 定植后各处理基质中碱解氮、有效磷、速效钾含量整体均呈下降趋势。T3处理在定植30和60 d时, 碱解氮含量显著高于CK, 与对照相比分别提高14.24%和9.13%; T2处理在定植60和90 d时, 碱解氮含量显著低于其他处理。T3处理显著提高基质中有效磷含量, 在各时期均显著高于CK, 与对照相比分别提高33.33%、33.4%和75.78%。T1处理显著降低基质中速效钾含量; T2处理在番茄生长前中期(30和60 d)显著提高基质中速效钾含量。

3 讨论

3.1 不同肥料配施对基质培口感型番茄生长及生理指标的影响

基质中配施微生物菌肥可提高基质速效养分含量, 改善根际微生态环境^[17]。本研究中, 与仅添加复合肥相比, 复合肥和高活性微生物菌肥配施, 对不同时态番茄生长均起到显著的促进作用, 且T3处理对番茄生长的促进效果优于T2处理。测定基质养分, 我们发现T3处理显著提高基质碱解氮和速效磷含量, 可能与番茄生物量积累增加有关。同时, 对番茄生理指标而言, T2、T3处理显著提高番

茄叶片叶绿素含量、净光合速率和胞间CO₂浓度。这与毕静静等研究结果一致^[18], 微生物菌肥与化肥配施提高番茄净光合速率。

3.2 不同肥料配施对基质培口感型番茄产量及果实品质的影响

本研究中所用番茄属于商品品种, 畸形果率低, 统计中不计畸形果数。微生物菌肥施用可提高作物单株结果数和单果重^[19]。本研究中, 与其他处理相比, T3处理也显著提高番茄平均单果重和平均单株产量, 可能是微生物菌肥施入引入大量有益微生物, 改善基质理化性质^[20]。鞠舒娜等研究表明, 蛋白酶肥作为底肥显著增加水稻产量^[21]。而本研究中, T2处理并未提高番茄产量, 可能是这种栽培方式未提供合适的透气和温度条件, 酶活性受抑制, 影响蛋白酶肥应用效果^[22]。可溶性糖、有机酸和糖酸比是影响番茄果实风味的重要因素, 适宜糖酸比可使果实拥有更好的口感风味^[23-24], 通常情况下, 随着糖酸比减小, 果实风味也随之变差^[25]。本研究中, T1和T3处理可溶性糖含量显著高于CK和T2处理, 其中T3处理可溶性糖含量最高, 且T3处理糖酸比也显著高于其他处理, 说明复合肥配施高活性微生物菌肥可在一定程度上提升番茄风味。刘赵帆研究也发现类似结果^[26], 微生物菌肥部分替代化肥可改善果实口感, 增加植株叶片中叶绿素含

量, 提高品质和产量。可能是菌肥中微生物生命活动可分解基质中某些难溶性有机物, 改善作物生长环境, 从而促进番茄生长, 改善果实品质^[27-28]。硝酸盐威胁人体健康, 过多的硝酸盐含量增加患癌风险^[27]。肥料配施的各处理组均显著降低番茄果实硝酸盐含量, 说明不同肥料配施可减少番茄果实中硝酸盐积累, 提高果实品质。

3.3 不同肥料配施对基质养分的影响

基质中碱解氮、有效磷、速效钾是衡量基质肥力水平的重要指标^[29]。蔡东升等研究表明, 化肥减量配施菌肥可提高土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量^[30]。复合肥、菌肥配施可在作物生长过程中不断提供所需养分, 实现两种肥料的优势互补, 最大限度发挥两种肥料优势^[31]。本研究 T3 处理在番茄生长前期和中期碱解氮含量显著高于 CK, 有效磷含量在各时期均显著高于其他处理, 结合 T3 处理的番茄鲜重在各时期显著高于其他处理, 地上部干重在 60 d 时显著高于其他处理, 说明复合肥配施微生物菌肥促进番茄对基质养分的吸收。可能是化肥与菌肥搭配可更好地释放有机酸, 从而提高基质中微生物数量和活性, 增加基质中微量元素有效性, 使养分和水更易被作物吸收利用^[32-33]。而对于配施缓释肥的 T1 处理, 碱解氮下降幅度相对平缓, 可能与缓释肥的肥料性质有关, 其养分释放与作物吸收规律相似^[34]。

4 结 论

在有机生态型无土栽培生产条件下, 基质中添加一定量高活性微生物菌肥, 可实现减肥增效的效果。本研究表明, 每株番茄 8 L 基质占有量的袋式栽培条件下, 基质施肥方案为“复合肥 8 g+配施高活性微生物菌肥 2 g”的 T3 处理可显著提高春茬口感型番茄产量和品质, 相较于对照, 该处理减少复合肥用量 46.67%。研究为口感型番茄袋培应用和基质配方开发提供技术支持和理论依据。

[参 考 文 献]

- [1] 朱惠芬. 蔬菜有机生态型无土栽培营养生理探究[J]. 现代园艺, 2019(4): 31-32.
- [2] 台连丽, 张志刚, 李福凯等. 孔穴型式和营养液浓度对黄瓜潮汐式穴盘育苗效果的影响[J]. 中国蔬菜, 2016(12): 26-29.
- [3] 李蒙, 朱思远, 袁童瑶, 等. 生物有机肥对基质肥力、酶活性及番茄生长和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2023, 36(6): 1260-1270.
- [4] 赵丹. 微生物菌剂对基质培黄瓜生长、产量和品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
- [5] 訾利梅. 不同施肥方式对小麦产量及肥料利用率的影响[J]. 现代农业科技, 2023(17): 8-10, 20.
- [6] 朱宝国, 匡恩俊, 滕占林, 等. 不同生物有机肥配施化肥对大豆植株生长、抗病及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(5): 1127-1133.
- [7] 黄文献. 日光温室基质袋培辣椒水铁耦合方案研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023.
- [8] 李佳莹. 有机生态型全营养栽培基质配方的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- [9] 赵玉红, 康珍, 孙涛, 等. 不同营养液供应频率对日光温室袋培辣椒产量、品质及水分利用效率的影响[J]. 中国蔬菜, 2021(10): 79-84.
- [10] 蒋静静, 屈锋, 苏春杰, 等. 不同肥水耦合对黄瓜产量品质及肥料偏生产力的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(1): 86-97.
- [11] 蔡润, 孙正梁, 胡京昂, 等. 不同口感型番茄品种的品质鉴定及多元统计分析[J]. 中国蔬菜, 2023(11): 87-97.
- [12] 杨雪松, 赵海静. 不同基质对黄瓜长势、产量及果实品质的影响[J]. 蔬菜, 2021(11): 11-15.
- [13] 舒展, 张晓素, 陈娟, 等. 叶绿素含量测定的简化[J]. 植物生理学通讯, 2010, 46(4): 399-402.
- [14] 张治安, 陈展宇. 植物生理学实验技术[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2008.
- [15] 王晶英. 植物生理生化实验技术和原理[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2003.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [17] 刘玉连, 卢红, 李明, 等. 2 种微生物菌肥对穿心莲根际土壤理化性质、微生物数量及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(12): 208-214.
- [18] 毕静静, 郭宪峰, 郭建党. 微生物菌肥对番茄光合效能、产量及品质的影响[J]. 山东农业科学, 2012, 44(7): 61-62, 66.
- [19] 刘燕, 潘婷, 孙萍, 等. 农用微生物菌肥在黄瓜上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2020(6): 60-61.
- [20] 于健. 微生物肥在番茄基质栽培中的应用效果研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [21] 鞠舒娜, 展希翔. 一种新型肥料在江川农场水稻田上施用效果试验[J]. 现代化农业, 2021(11): 17-19.
- [22] 吴怡, 董炜华, 李晓强, 等. 土壤酶活性对土壤环境变化的响应

- 研究进展[J]. 南方农业, 2023, 17(15): 42–46, 52.
- [23] 芮文婧, 王晓敏, 高艳明, 等. 环境对番茄果实品质和风味影响的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(6): 34–36.
- [24] 王丹丹, 齐连芬, 张庆银, 等. 日光温室不同施肥量对番茄果实品质的影响[J]. 河北农业大学学报, 2019, 42(3): 71–75, 87.
- [25] 王艳丹, 方海东, 李建查, 等. 不同水肥管理对番茄品质和产量的影响[J]. 农学学报, 2019, 9(6): 39–45, 50.
- [26] 刘赵帆. 微生物菌肥替代部分化肥对设施黄瓜生长、品质及产量的影响[J]. 北方园艺, 2022, (2): 47–53.
- [27] Bhardwaj D, Ansari M W, Sahoo R K, et al. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity[J]. Microbial Cell Factories, 2014, 13: 66.
- [28] 方成, 岳明灿, 王东升, 等. 化肥减施配施微生物菌剂对鲜食玉米生长和土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2020, 52(4): 743–749.
- [29] Kotopoulou S, Zampelas A, Magriplis E. Dietary nitrate and nitrite and human health: a narrative review by intake source[J]. Nutrition Reviews, 2022, 80(4): 762–773.
- [30] 蔡东升, 李建明, 樊翔宇, 等. 基质栽培营养液氮磷钾补充水平对番茄养分吸收及产量品质影响[J]. 东北农业大学学报, 2017, 48(1): 7–14.
- [31] 姜钦龙, 王苏影, 祝飞, 等. 化肥减量配施复合微生物菌肥对土壤养分和水稻产量的影响[J]. 耕作与栽培, 2023, 43(5): 49–51, 58.
- [32] 蒋林沛. 复合肥与生物菌肥配施对欧李生长发育的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2023.
- [31] Li X Q, Lu Q J, Li D Y, et al. Effects of different microbial fertilizers on growth and rhizosphere soil properties of corn in newly reclaimed land[J]. Plants–Basel, 2022, 11(15): 1978.
- [33] 刘中良, 高俊杰, 闫伟强, 等. 磷钾配施对基质栽培番茄品质、产量及养分积累的影响[J]. 土壤通报, 2020, 51(2): 449–454.
- [34] 王远, 高兵倩, 王珽, 等. 5 种不同缓释肥在盆栽菜用甘薯上的应用研究[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2023, 45(10): 11–20.