

引用格式: 张杨, 马宗桓, 毛娟, 等. 5 种叶面肥对大棚草莓光合特性及品质的影响[J]. 西北植物学报, 2024, 44(4): 0562-0571. [ZHANG Y, MA Z H, MAO J, et al. Effects of five foliar fertilizers on photosynthetic characteristics and fruit quality of *Fragaria ananassa* in greenhouse [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2024, 44(4): 0562-0571.] DOI:10.7606/j.issn.1000-4025.20221005

5 种叶面肥对大棚草莓光合特性及品质的影响

张 杨, 马宗桓, 毛 娟, 李文芳, 王 萍, 陈佰鸿*

(甘肃农业大学 园艺学院, 兰州 733700)

摘 要 【目的】探讨不同叶面肥对大棚草莓光合特性、果实品质及产量的影响, 筛选出适宜的叶面肥, 为草莓的生长发育提供科学的施肥管理。【方法】以甘肃省兰州市西固区牟家台草莓温室大棚内栽植的草莓品种‘蒙特瑞’为试材, 在施肥充足的情况下, 在萌芽期、现蕾期、生长期和开花期叶面喷施经典 750 倍液(T1)、花仆 1500 倍液(T2)、润亮 750 倍液(T3)、艾德拉果 500 倍液(T4)及磷酸二氢钾 1 500 倍液(T5)5 种叶面肥, 清水作为对照(CK), 测定处理植株光合参数、果实品质、生物量及产量等指标。【结果】(1)喷施不同叶面肥后草莓植株生物量、叶绿素含量显著增加, 叶片的净光合速率和蒸腾速率显著上升, 胞间 CO₂ 浓度均高于 CK; (2)T2 和 T3 处理能够显著改善草莓果形指数, T1 和 T5 可以显著增大果实体积和质量, T1 处理平均单果质量较 CK 增加了 35.04%, T5 处理果实横径和纵径分别较 CK 增加了 49.39%和 40.64%。(3)各叶面肥处理草莓果实品质均得到有效改善, 并均以 T1 处理最佳, 其维生素 C、可溶性固形物、可溶性蛋白、还原性糖和可溶性糖含量分别比 CK 增加 30.84%、33.5%和 38.5%、27.9%和 36.2%, 可滴定酸含量则最低, 糖酸比最高, 且均与 CK 差异显著。(4)喷施适宜叶面肥能够显著提高草莓植株生物量以及果实的最大单果质量、产量, 且以 T1 处理果实产量最高, 较 CK 显著增长了 13.65%。【结论】施用适宜的叶面肥均能有效改善草莓营养生长状况, 提升草莓果实品质, 显著提高产量, 并以经典 750 倍液叶面肥施用综合效果最佳。

关键词 草莓; 叶面肥; 果实品质; 植株生长; 产量; 光合特性

中图分类号 Q945; S668.4 **文献标志码** A

Effects of five foliar fertilizers on photosynthetic characteristics and fruit quality of *Fragaria ananassa* in greenhouse

ZHANG Yang, MA Zonghuan, MAO Juan, LI Wenfang, WANG Ping, CHEN Baihong*

(College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract [Objective] The study aims to explore the effects of different foliar fertilizers on the photosynthetic characteristics, fruit quality, and yield of greenhouse strawberries, and to screen suitable foliar fertilizers. [Methods] The strawberry variety “Monterey” planted in the greenhouse of Moujiatai Strawberry in Xigu District of Lanzhou City, Gansu Province was used as test materials. Under sufficient fertilization, five types of foliar fertilizers, including classic 750×liquid (T1), Huapu 1 500×liquid (T2), and Runliang 750×liquid (T3), 500×Adela fruit (T4), and 1500×potassium dihydrogen phosphate (T5), were ap-

收稿日期: 2022-11-23; 修改稿收到日期: 2023-12-07

基金项目: 甘肃省教育厅双一流重大科研项目(GSSYLXM-02); 甘肃省科技重大专项(22ZD6NA045)

作者简介: 张 扬(1999—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事果树栽培生理研究。E-mail: 1929665243@qq.com

* 通信作者: 陈佰鸿, 教授, 主要从事果树栽培生理与生物技术研究。E-mail: bhch@gsau.edu.cn

plied topdressing at four growth stages, with water as control. The photosynthetic parameters, fruit quality, biomass, and yield were measured. [Results] (1) After spraying different foliar fertilizers, the biomass and chlorophyll content of strawberry plants were significantly increased, and the net photosynthetic rate and transpiration rate of leaves were significantly increased, while the intercellular carbon dioxide concentration was higher than that of CK. (2) For fruit quality, T2 and T3 treatments significantly improved the strawberry fruit shape index, while T1 and T5 treatments significantly increased fruit volume and weight. Among them, the average single fruit mass of T1 was increased by 35.04% compared with CK, while the transverse and longitudinal diameters of T5 fruits were increased by 49.39% and 40.64%, respectively. (3) The quality of strawberry fruits was effectively improved by various foliar fertilizer treatments, and T1 treatment was the best. The content of vitamin C, soluble solids, soluble proteins, reducing sugars, and soluble sugars were increased by 30.84%, 33.5%, 38.5%, 27.9%, and 36.2%, respectively, compared with CK. The content of titratable acid was the lowest, and the sugar acid ratio was the highest, with significant difference compared with CK. (4) Spraying appropriate fertilizer significantly increased plant biomass, max single fruit weight, and fruit yield; treatment T1 had the highest yield, an increase of 13.65% compared with CK. [Conclusion] The application of appropriate foliar fertilizer effectively improves the nutritional growth status of strawberries, enhances the quality of strawberry fruits, and significantly increases yield. The comprehensive effect is best when applying classic 750×liquid.

Key words strawberry; leaf fertilizer; fruit quality; plant growth; yield; photosynthetic characteristics

草莓 (*Fragaria ananassa* Duch.) 是蔷薇科 (Rosaceae) 草莓属 (*Fragaria* L.) 多年生草本植物^[1], 在园艺学上属浆果类果树^[2], 果实芳香多汁, 果肉鲜美, 酸甜可口, 具有较高的营养价值和经济价值^[3]。营养管理是草莓栽培的关键技术之一^[4], 肥源供给将直接影响植株的生长发育、品质和产量, 过量施肥和使用未腐熟的有机肥都会造成草莓肥害^[5-6]。

由于果实组织娇嫩多汁, 收获时间集中, 果品不分级处理等因素, 导致采后草莓耐贮性和果实品质下降, 造成经济效益不高, 制约草莓产业的发展^[7]。产生这些问题的一个重要原因是大棚草莓施肥量不合理, 施用方法不当。草莓施肥应根据土壤肥力状况和营养需求规律确定不同营养元素的施用量和比例, 保证各种营养元素的平衡, 达到高产优质。国内已有许多研究表明, 草莓适宜生长在疏松、肥沃、透水的土壤中, 且表层土壤有机质含量达到 1.5% 以上, 才能生长良好^[8-9]。在草莓生长期, 缺乏氮素不利于植株蛋白质和叶绿素的合成^[10-11], 叶片枯黄且坐果率降低; 缺乏磷酸 (P_i) 不利于促进光合代谢^[12-13]; 缺钾不利于提高光诱导下的质子跨膜运输, 且会导致果实含糖量降低^[14-16]。研究发现, 叶面施肥是一种有效、环保的施肥方式, 其以细雾喷洒在叶片表面, 通过叶片的纤维组织直接吸收营养。合理喷施叶面肥可提高葡萄糖、蛋白质的转化, 增加

氧气的释放量, 从而增强植物的光合速率, 提升叶绿素含量, 促进植株生长发育^[17]。另外, 草莓生长所需微量元素直接影响植株的生长, 叶面肥营养全面且见效快, 还可以针对植物在某一时期的缺肥特点, 研制专用叶面肥, 应对不同植物缺肥状态^[18]。例如, 喷施氨基酸叶面肥对番石榴果实的单果质量及维生素 C、可溶性糖和可溶性固形物含量有一定的促进作用^[19], 叶面喷施磷酸二氢钾及葡萄糖可明显增加番茄果实中的糖含量^[20]。

此外, 施用叶面肥能提供草莓所需的微量元素^[21], 且在提升草莓品质、提高产量等方面具有显著效果^[22]。因此, 探索不同叶面肥在草莓上的应用效果尤为重要。

迄今, 前人相关研究多集中于叶面肥对不同品种草莓生长、品质的影响, 而关于不同叶面肥对草莓光合特性增强、果实品质改善及生物量提高等综合影响鲜有报道。本研究以栽培面积较广的草莓品种‘蒙特瑞’为试验材料, 设置不同种类的叶面肥喷施处理, 探究不同叶面肥处理间草莓叶片光合特性、果实形态和品质的差异, 筛选出对兰州本地草莓栽培应用效果最佳的叶面肥, 为草莓生长发育提供科学的施肥管理。

1 材料和方法

1.1 供试品种及设施

试验于 2021 年 10 月份在甘肃省兰州市西固区

牟家台草莓温室大棚内进行, 植苗土壤为普通园土, 定植前施足基肥, 单株定植。参试草莓品种为‘蒙特瑞’, 在兰州栽培面积较广, 且颇受消费者喜爱。

试验供试大棚长度 60 m, 跨度 8 m, 面积 960 m²。试验采用随机区组排列设计, 每个小区栽种 4 行, 行长 25 m, 面积为 175 m², 每行定植 40 株, 株距 0.3 m、行距 0.2 m。

大棚以黄绵土为主, 棚内相对湿度为 70%~80%, 棚顶塑料薄膜透光率约为 85%, 到最热月份棚顶加盖遮阳网。

1.2 试验设计

试验共设 6 个施肥处理: ①经典 750 倍液 (T1), 供应商为松原市大正惠农; ②花仆 1 500 倍液 (T2), 有效成分含量 $Cu+Zn+Mn+Fe+B \geq 100$ g/L, 供应商为松原市大正惠农; ③润亮 750 倍液 (T3), 有效成分含量氨基酸 ≥ 100 g/L, $Fe+Mn+Cu+Zn+B+Mo \geq 20$ g/L, 产自西班牙艾德拉股份有限公司; ④艾德拉果 500 倍液 (T4), 有效成分含量 $Fe+Mn+B+Zn+Cu+Mo \geq 0.5\%$, 产自西班牙艾德拉股份有限公司; ⑤磷酸二氢钾 1 500 倍液 (T5), $P_2O_5+K_2O \geq 87\%$, $As+Cl \leq 0.013\%$, 供应商为郑州源呈化有限公司; ⑥清水对照 (CK)。

每个处理在草莓萌芽期 (10 月 6 日)、现蕾期 (10 月 21 日)、生长期 (11 月 6 日) 和开花期 (11 月 21 日) 各喷施叶面肥 1 次, 共 4 次; 采用背负式喷雾器将稀释 1 倍后的叶面肥均匀喷施于草莓叶片的正反面, 喷施量以叶面出现水珠但不滴流为准。各处理在每次喷施叶面肥后第 15 天取样 (分别标记为 S1、S2、S3 和 S4), 即在下一次喷施叶面肥之前完成田间指标测定和样品采集, 最后 1 次取样在果实成熟期 (12 月 6 日, 标记为 S5)。各处理均设置 3 个生物学重复。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 叶片光合特性

每个处理随机抽取 10 株采集叶片样品, 采用乙醇-丙酮 (混合液体积比为 1:2) 混合浸提法测定、计算叶片叶绿素含量^[18]。叶片光合参数净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO₂ 浓度 (C_i) 采用美国 Li-6400 便携式光合仪测定。每个处理 3 次重复。

1.3.2 果实形态指标

选取 10 个草莓果实, 称其重量, 取平均值计算平均单果质量, 同时测定果实纵、横径, 最后计算出果形指数 (果实纵径/果实横径)。

1.3.3 果实品质指标

果实硬度使用水果硬度计 (杭州托普仪器有限公司, GY-1 型) 测量, 每个处理取 10 个果实, 读数即为草莓果实硬度, 取其平均值; 可溶性固形物含量 (SSC) 使用 PAL-1 型便携式数显糖度计测定计算, 每个处理测量 10 次, 取其平均值。可溶性糖含量使用蒽酮-硫酸比色法测定计算^[23]; 维生素 C 含量采用碘量法^[24]测定; 可滴定酸含量采用氢氧化钠滴定法^[25]测定。

1.3.4 草莓植株生物量及产量

草莓生长后期, 从设施大棚挖出标签标记的定株草莓, 将植株清洗干净, 晾干后用精度为 0.01 g 的电子天平称量地上、地下部鲜质量, 然后放入 105 °C 烘箱内烘 20 min, 最后 75 °C 烘至恒重, 分别称量地上、地下部干质量; 草莓盛果期果实完全成熟时采摘草莓, 称取每个小区最大单果质量及计算出单位面积产量。

1.4 数据统计分析

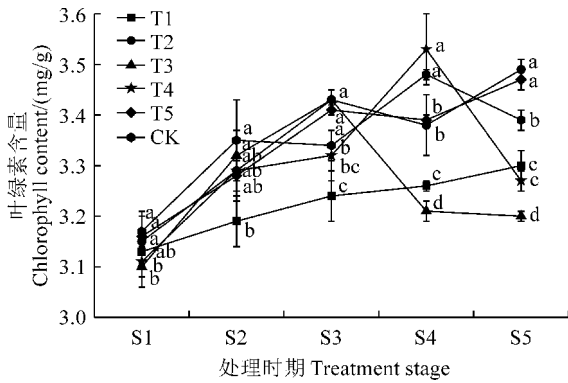
采用 Excel 2003 软件进行数据处理和绘图; 用 SPSS 2019 软件进行显著性分析, 采用单因素方差分析法 (one-way ANOVA) 和 Duncan 法进行方差分析和多重比较 ($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同叶面肥对草莓光合相关指标的影响

2.1.1 叶绿素含量

图 1 显示, 在萌芽期 (S1) 和现蕾期 (S2), 各施肥处理草莓叶片叶绿素含量均不同程度低于对照 (CK), 但仅个别处理降幅达到显著水平; 在生长期 (S3), T2、T3 和 T5 处理叶绿素含量均显著高于 CK, 并以 T2 和 T3 处理最高 (3.49 mg/g); 在开花期 (S4), 叶绿素含量仅 T4 处理稍高于 CK, 在其余处理下均显著低于 CK, 并以 T3 处理最低; 在成熟期 (S5), T1、T2 和 T5 处理叶绿素含量均有上升趋势, 其中 T2 处理较开花期增长了 0.16 mg/g。未施肥前对照相对叶绿素含量最高, 叶面肥处理后均有显著提升。



S1, S2, S3, S4, S5 分别为萌芽期、现蕾期、生长期、开花期和成熟期处理后第 15 天取样测定。T1 为经典 750 倍液叶面肥; T2 为花仆 1 500 倍液叶面肥; T3 为润亮 750 倍液叶面肥; T4 为艾德拉果 500 倍液叶面肥; T5 为磷酸二氢钾 1 500 倍液叶面肥。同期不同小写字母表示各处理之间在 0.05 水平上存在显著性差异。下同。

图 1 不同叶面肥处理下草莓叶片叶绿素含量

S1, S2, S3, S4, and S5 refer to the sampling and measurement after the 15th day of treatment at germination, budding, growth, flowering, and maturity periods. T1 is a classic 750×liquid foliar fertilizer. T2 is a 1 500×liquid foliar fertilizer for Huapu. T3 is a Runliang 750×liquid foliar fertilizer. T4 is a 500×liquid foliar fertilizer for Adela fruit. T5 is a 1 500×liquid foliar fertilizer of potassium dihydrogen phosphate. Different lowercase letters within same period indicate significant differences between the treatments at 0.05 level. The same as below.

Fig. 1 Chlorophyll content in strawberry leaves under different fertilizer treatments

2.1.2 光合气体交换参数

首先,草莓叶片净光合速率(P_n)在 S1 和 S2 时期仅 T3 处理显著高于 CK,在 S3 时期仅 T2 处理显著低于 CK,此时其余处理均与 CK 无显著差异; P_n 在 S4 和 S5 时期仅 T3 处理与 CK 相近,其余处理均显著低于 CK(图 2)。以上结果说明适量喷施适宜叶面肥可显著提高草莓的净光合速率,并以喷施 2 次(现蕾期-生长期)为宜,T3 处理效果较佳。

其次,草莓叶片蒸腾速率(T_r)在 S1 和 S2 时期仅 T3 处理显著高于 CK,T1 处理显著低于对照,而其余处理与 CK 无显著差异;在 S3 和 S5 时期,各处理 T_r 均与 CK 无显著差异;在 S4 时期,仅 T2 处理 T_r 显著高于 CK,而其余处理均显著低于 CK(图 2)。可见,适量喷施叶面肥可不同程度增强草莓的蒸腾速率,T2 处理效果最佳。再次,各处理草莓气孔导度(G_s)在 S1~S3 时期变化趋势一致,T1、T2、T4 处理大多显著高于 CK,其余处理多与 CK 无显著差异;在 S4 时期,仅 T2 处理 G_s 显著低于 CK,其余处理与 CK 均无显著差异;在 S5 时期,仅 T4、T5 处理 G_s 显著高于 CK,其余处理与 CK 无显著差异(图 2)。这表明适量喷施适宜叶面肥能有效缓解气孔导度下降。

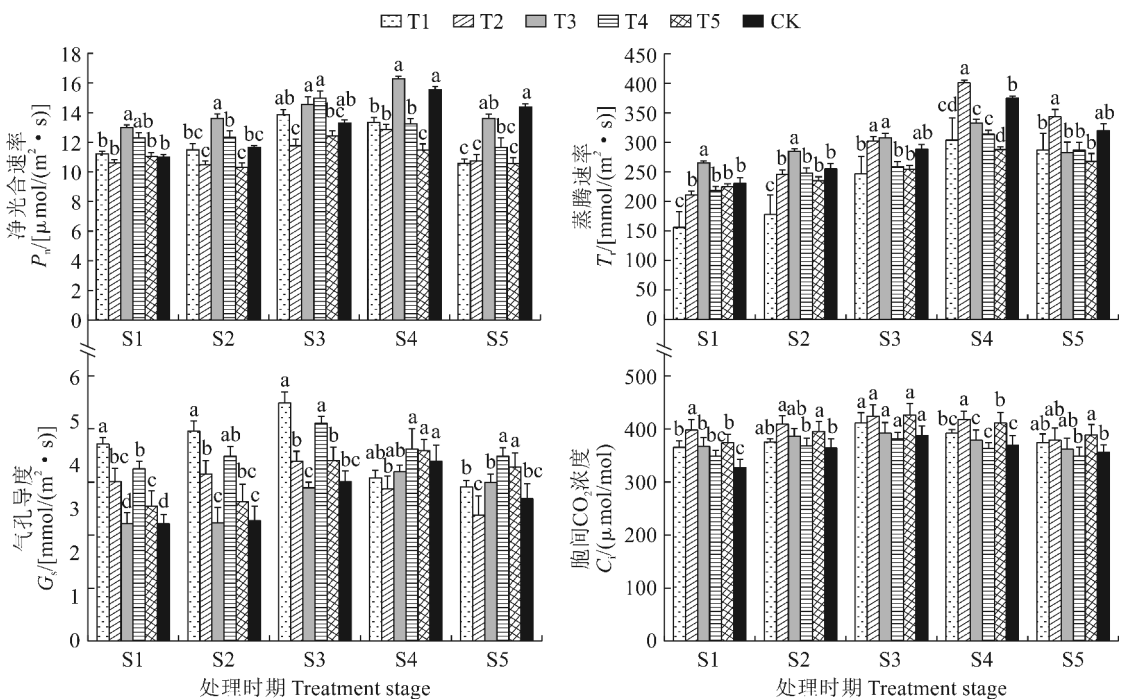


图 2 不同叶面肥处理下草莓叶片光合气体交换参数

Fig. 2 Photosynthetic gas exchange parameters in strawberry leaves under different fertilizer treatments

另外,草莓胞间 CO_2 浓度(C_i)在 $S_1 \sim S_3$ 时期时,各处理均不同程度高于 CK,且在 S_1 时期除 T_4 处理外增幅均达到显著水平,但在 S_2 时期 T_2 和 T_5 处理增幅显著,在 S_3 时期各处理增幅均不显著; C_i 在 S_4 时期仅 T_2 和 T_5 处理显著高于 CK,在 S_5 时期仅 T_5 处理显著高于 CK,其余处理均与 CK 无显著差异(图 2)。以上结果表明,草莓叶片胞间 CO_2 浓度在 T_1 、 T_2 和 T_5 处理下均明显高于对照,其中 T_2 和 T_5 处理的效果在各时期大多达到显著水平,有效缓解胞间 CO_2 浓度下降。

2.2 不同叶面肥对草莓果实形态指标的影响

草莓全育期果实横径、纵径、果形指数总体在各

叶面肥处理下波动幅度不大,仅 T_5 处理横径、 T_1 和 T_5 处理纵径、 T_2 处理果形指数显著高于对照,其中 T_5 处理果实横径(3.69 cm)和纵径(3.98 cm)分别较 CK 增加了 49.39%和 40.64%,其余处理的各果实形态指标均与 CK 无显著差异;各处理的果形指数均大于 1.0,果实均呈长圆形(图 3)。与果实形态指标表现不同,从图 3 可知,各叶面肥处理草莓平均单果质量均显著高于 CK,并以 T_1 处理的平均单果质量最大(21.84 g),较 CK 显著增加了 35.04%,并显著高于其余处理。说明喷施叶面肥经典(T_1)、花仆(T_2)、磷酸二氢钾(T_5)对促进草莓果形指数变化及增大果实体积,增加质量均有积极影响。

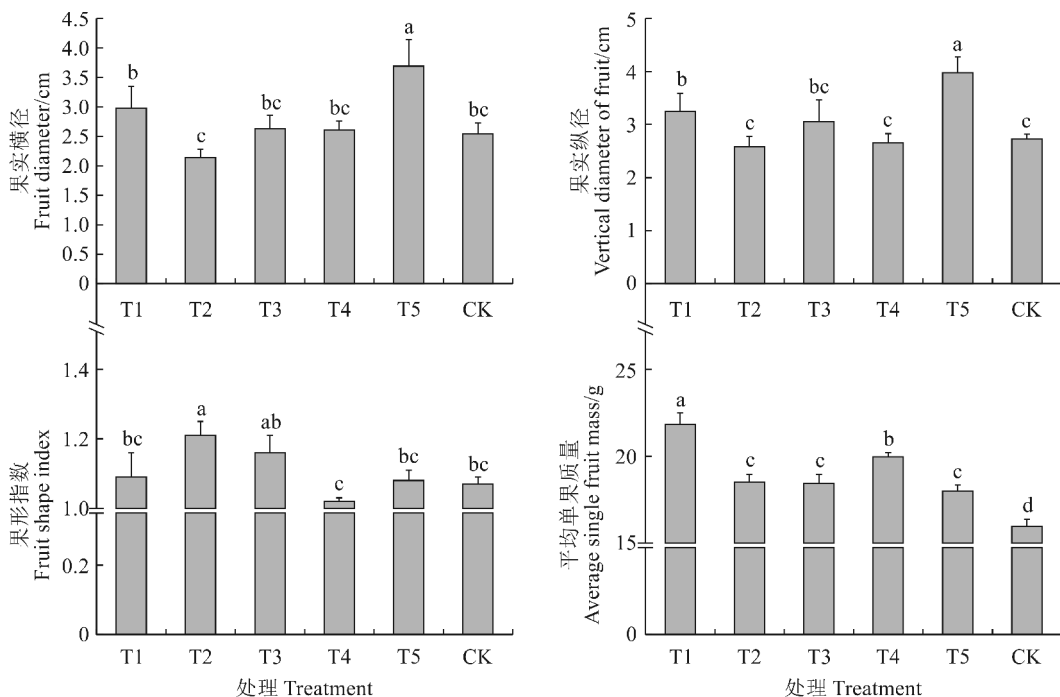


图 3 不同叶面肥处理下草莓果实形态指标

Fig. 3 Fruit shape index of strawberry under different fertilizer treatments

2.3 不同叶面肥对草莓果实品质的影响

各叶面肥处理草莓果实的可滴定酸含量均不同程度地低于 CK,而果实的其余品质指标均不同程度地高于 CK(图 4)。其中,各施肥处理果实硬度均与 CK 无显著差异,并以 T_1 处理的硬度最高(3.03), T_2 处理最低,且两者差异显著。草莓果实的维生素 C 含量除 T_4 处理外均与 CK 存在显著差异,仍以 T_1 处理的维生素 C 含量最高[64.53 mg/(100 g)],比 CK 显著增加 30.84%,并与除 T_3 之外处理间差异显著。草莓果实的可溶性固形物和可

溶性蛋白含量均以 T_1 处理最高,分别达到 13.14%和 0.36 mg/g,分别比 CK 显著提高 33.5%和 38.5%,其余与 CK 均差异不显著。 $T_1 \sim T_4$ 处理的还原糖含量以及 T_1 、 T_3 处理可溶性糖含量均比 CK 显著提高,并均以 T_1 处理最高(分别为 9.63%和 11.24%),分别比 CK 显著增加 27.9%和 36.2%,其余处理均与 CK 无显著差异。 T_1 、 T_3 、 T_5 处理的可滴定酸含量均比 CK 显著降低,并均以 T_1 处理最低。另外,各叶面肥处理的果实糖酸比均显著高于 CK,并仍以 T_1 处理最高, T_3 处理次之。以上结

果说明,合理喷施叶面肥可显著增加草莓果实硬度,提高果实维生素 C、可溶性固形物、可溶性蛋白、还

原糖、可溶性糖含量,而降低可滴定酸含量,从而提高糖酸比,并以经典叶面肥(T1)施用效果最佳。

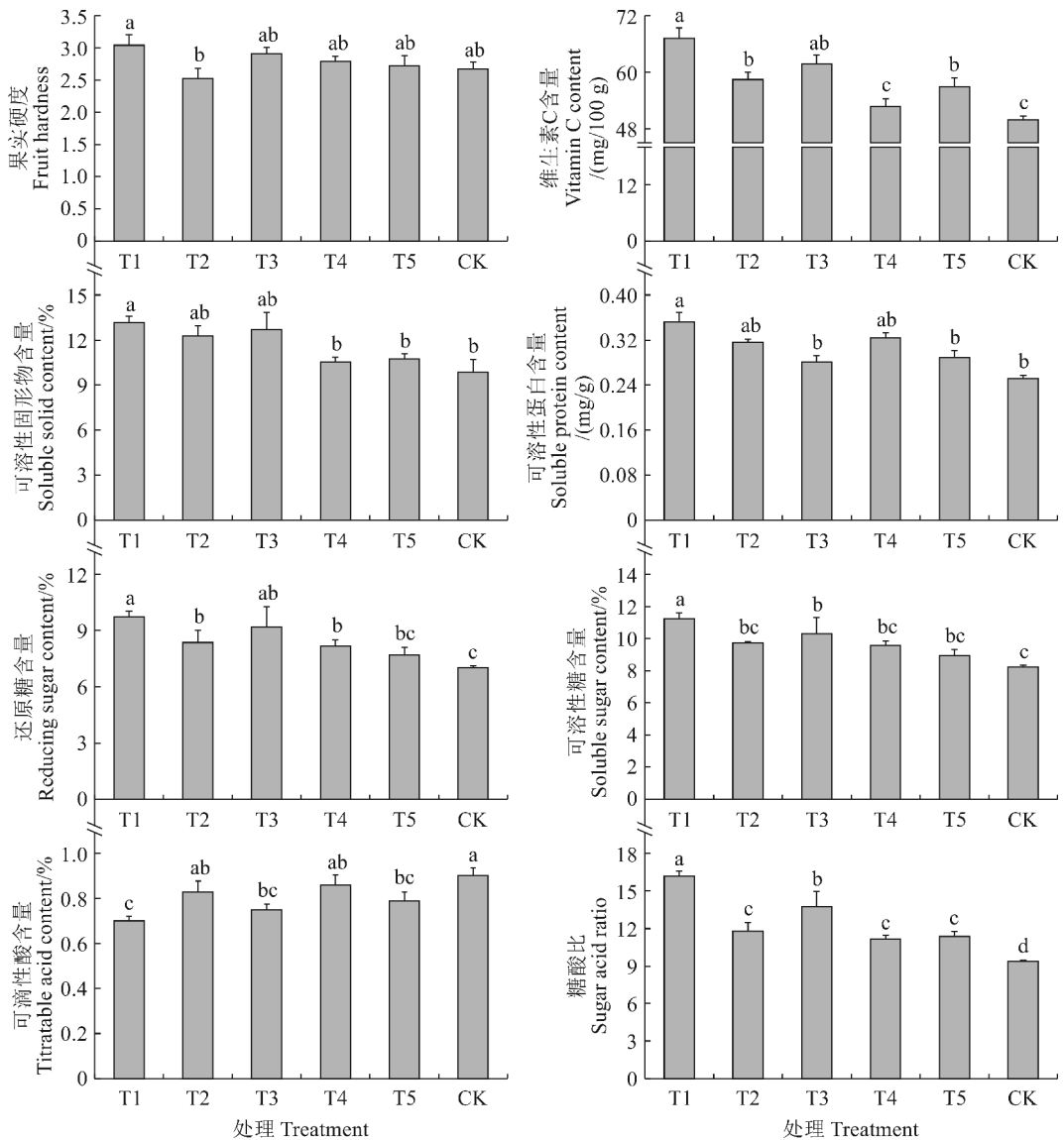


图 4 不同叶面肥处理下草莓果实品质指标

Fig. 4 Fruit quality of strawberry under different fertilizer treatments

2.4 不同叶面肥对草莓果实生物量和产量的影响

各施肥处理草莓果实的最大单果质量均显著高于CK,并以T1处理最高(25.84 g),且显著高于其余处理(图5);草莓单位面积果实产量在各施肥处理下均比CK不同程度提高,并在T1和T4处理下增幅达到显著水平,分别达到13.65%和了8.96%,但仍以T1处理最高,且显著高于其余处理(图5);各处理单株产量也比CK不同程度提高,且除T3处理外增幅均达显著水平,并以T1处理最高(224.84 g),比CK显著提高14.74%(图5)。另外,草莓植

株地上部鲜质量在T4、T5处理下均显著高于CK,其余处理稍有增加;植株地上部干质量在T1~T5处理下均显著高于CK,T4、T5处理又显著高于其余处理;植株地下部鲜质量在T1、T4、T5处理下均高于CK,在T2、T3处理下低于CK,但仅T2、T5处理变化显著;植株地下部干质量在T1、T5处理下显著高于CK,在T2、T3处理下显著低于CK(图5)。以上结果说明适宜的叶面肥处理均能显著提高草莓植株生物量以及果实的最大单果质量、产量,并以经典叶面肥(T1)施用效果最佳。

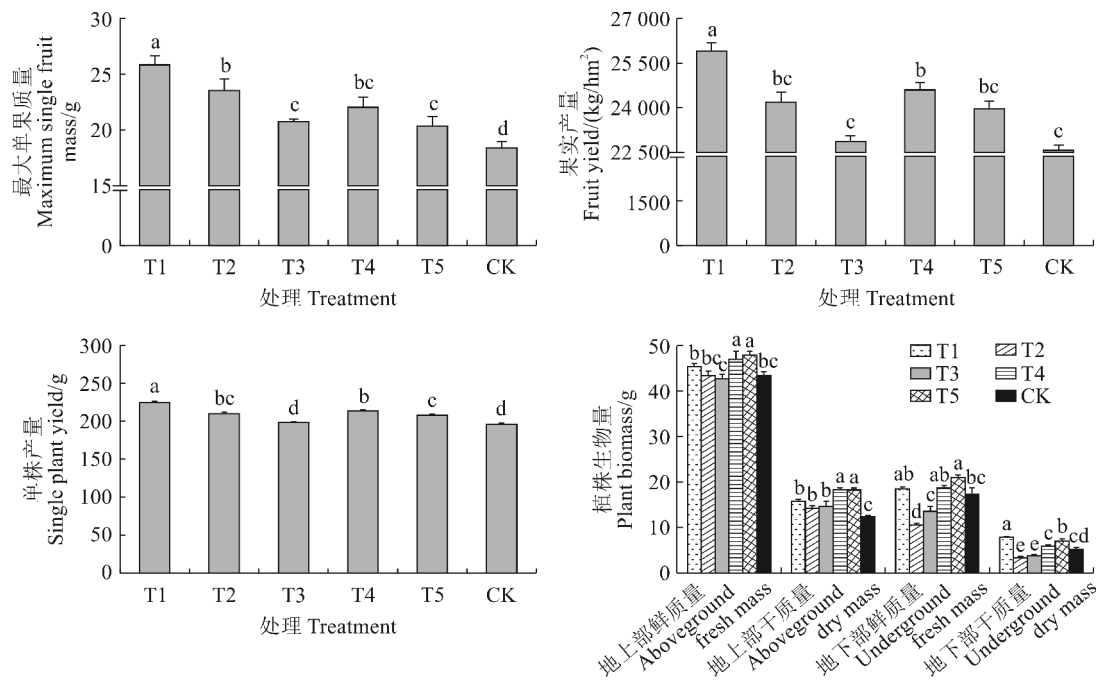


图5 不同叶面肥处理下草莓果实产量和生物量

Fig. 5 Strawberry fruit yield and biomass under different foliar fertilizer treatments

3 讨论

叶面肥是草莓等经济作物的新型施肥方式,它具有便携、经济、吸收快、养分利用率高等诸多优点,对于促进草莓营养生长,提高品质有积极影响。研究表明,经典叶面肥与磷、钾、硼肥配合施用叶面肥有利于增加植物净光合速率、胞间 CO_2 浓度,而叶片净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度与植物生长有较密切关系,说明改善叶片光合特性有利于促进植物生长发育^[26]。前人研究发现喷施多种不同类型的叶面肥对苹果和核桃的光合特性具有一定的影响,表现为植株叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率都明显提高,同时还能缓解叶片胞间 CO_2 浓度降低^[27-28]。本试验中花仆 1 500 倍液叶面肥、磷酸二氢钾 1 500 倍液能有效促进草莓叶片净光合速率和蒸腾速率提升,从而促进光合作用的进行;经典 750 倍液叶面肥能有效缓解草莓叶片气孔导度和胞间 CO_2 浓度下降,有效提高草莓光合性能及转化能力,这与前人研究结果一致。与此同时,本研究发现喷施叶面肥有利于提高草莓叶绿素含量,其中花仆 1 500 倍液叶面肥和磷酸二氢钾 1 500 倍液叶面肥较其他 3 种叶面肥效果更佳。据报道,喷施叶面肥使苹果梨叶绿素含量逐步增加^[29],且磷酸二氢钾、花仆等叶面肥都是含有氮、磷、钾等大量元素,可以改善作物的营养状况,还能够在作物生长的后期补

充足够的微量元素^[30],这也与草莓生长需求相似。

林建城等^[31]发现,果实硬度大有利于枇杷贮运品质的提升,喷施叶面肥能有效提升枇杷的单果质量、维生素 C 含量等果实品质^[32]。果实果肉不同部位的硬度不一样,比如果实顶部与果梗部位有一定差异,果实表皮层与靠近果核的果肉其硬度也有一定的差异性。此外,氨基酸水溶肥已广泛应用改善和提高杨梅^[33]、黄金梨^[34]、葡萄^[35]的单果质量和抗氧化活性,并且显著增加果实的单果质量和其他果形指数。唐岩等^[36]研究发现,叶面施肥可增加苹果中可溶性固形物和可溶性糖含量,显著改善果实品质。本研究中各叶面肥处理‘蒙特瑞’草莓果实全生育期的果形指数整体保持在 1.02~1.21 之间,花仆 1 500 倍液叶面肥对草莓果形指数的提升效果最好;喷施经典 750 倍液叶面肥果实硬度最高(3.03),其次为润亮 750 倍液叶面肥(2.92),这 2 种叶面肥可以有效增加草莓的硬度,改善果实品质,延长保鲜上架期,从而达到增加经济效益的效果。另外,本研究中喷施经典 750 倍液叶面肥和艾德拉果 500 倍液叶面肥后草莓果实可溶性蛋白含量最高,且均高于对照;喷施叶面肥后,‘蒙特瑞’草莓果实的可滴定酸含量明显降低,喷施经典 750 倍液叶面肥后可滴定酸含量最低,润亮 750 倍液叶面肥效果次之。所以,这 2 种叶面肥能更显著地降低‘蒙特瑞’草莓果实的可滴定酸含量,从而改善果实品质,提升口感。

生物量是草莓生长性状的重要指标,在一定程度上可以反映草莓的营养生长状况^[37]。本研究表明,叶面肥可有效提高草莓植株生物量,且经典 750 倍液叶面肥可以有效增加草莓植株地下部干质量,艾德拉果 500 倍液叶面肥和磷酸二氢钾 1 500 倍液叶面肥对草莓植株地上干质量影响较大,这主要是因为艾德拉果、磷酸二氢钾和经典 750 倍液 3 种叶面肥富含各类有益成分和植物生长所需的大量活性物质,能够促进根系生长^[38],有利于植株对养分的吸收,提高肥料利用率^[39]。本研究中喷施 5 种不同叶面肥后,草莓产量都显著增加,且明显高于对照,但相比较而言经典 750 倍液叶面肥增产最为明显。综合各项指标表现来看,经典 750 倍液叶面肥在‘蒙特瑞’草莓上的应用效果最佳。

参考文献:

- [1] 左红娟,曹辉,王晓云,等. 氨基酸叶面肥对盆栽草莓‘章姬’生长特性的影响[J]. 农业科技通讯, 2019(1): 90-91.
ZUO H J, CAO H, WANG X Y, *et al.* Effect of amino acid foliar fertilizer on growth characteristics of potted strawberry ‘Zhangji’[J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2019(1): 90-91.
- [2] 周艳孔,陆利民,倪秀红,等. 不同叶面肥对大棚草莓生长和果实品质的影响[J]. 中国果树, 2017(1): 34-36.
ZHOU Y K, LU L M, NI X H, *et al.* Effects of different foliar fertilizers on strawberry growth and fruit quality in greenhouse[J]. *China Fruits*, 2017(1): 34-36.
- [3] 苏代发,童江云,杨俊誉,等. 中国草莓属植物种质资源的研究、开发与利用进展[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2018, 40(6): 1261-1276.
SU D F, TONG J Y, YANG J Y, *et al.* Advances in research, exploitation and utilization of *Fragaria* spp. germplasm resources in China[J]. *Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition)*, 2018, 40(6): 1261-1276.
- [4] 罗学兵,贺良明. 草莓的营养价值与保健功能[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(4): 74-76.
LUO X B, HE L M. Nutritional value and health function of strawberry[J]. *Food and Nutrition in China*, 2011, 17(4): 74-76.
- [5] 祝宁,王志平,齐长红,等. 2 种叶面肥对草莓生长、产量和品质的影响[J]. 蔬菜, 2019(4): 27-29.
ZHU N, WANG Z P, QI C H, *et al.* The effect of two types of leaf fertilizers on the growth, yield and quality of strawberry[J]. *Vegetables*, 2019(4): 27-29.

4 结 论

草莓叶片喷施叶面肥后,经典 1 500 倍液叶面肥能有效提高草莓植株生物量,磷酸二氢钾 750 倍液叶面肥能提高叶绿素含量;叶片光合气体交换参数在不同叶面肥处理之间存在差异,喷施润亮 750 倍液和花仆 1 500 倍液叶面肥后,叶片的净光合速率和蒸腾速率显著上升,叶片的气孔导度和胞间 CO₂ 浓度则是经典 1 500 倍液叶面肥施用效果最佳。5 种叶面肥均能提升草莓生物量、光合特性、产量、果实硬度、果形指数以及可溶性固形物、维生素 C、可溶性蛋白、可溶性糖和可滴定酸含量,但经典 1 500 倍液叶面肥综合效果最优,可作为兰州本地‘蒙特瑞’草莓优先选用的叶面肥。

- [6] 纪晓玲,徐福利,张保军. 杨凌示范区草莓施肥存在的主要问题与对策[J]. 陕西农业科学, 2004, 50(3): 23-25.
JI X L, XU F L, ZHANG B J. Main problems and countermeasures of strawberry fertilization in Yangling demonstration area[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2004, 50(3): 23-25.
- [7] 王鸣谦,薛莉,赵珺,等. 世界草莓生产及贸易现状[J]. 中国果树, 2021(2): 104-108.
WANG M Q, XUE L, ZHAO J, *et al.* Present situation of strawberry production and trade in the world[J]. *China Fruits*, 2021(2): 104-108.
- [8] 陈海霞,石雪晖. 草莓的营养与施肥[J]. 西南园艺, 2002, 30(2): 16-17.
CHEN H X, SHI X H. Nutrition and fertilization of strawberry[J]. *Southwest Horticulture*, 2002, 30(2): 16-17.
- [9] 陈春宏,汪寅虎,柯福源. 草莓吸肥特点和施肥技术研究[J]. 上海农业学报, 1997, 13(4): 67-70.
CHEN C H, WANG Y H, KE F Y. Study on nutrient absorption characteristics and fertilizer application technique of strawberry[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 1997, 13(4): 67-70.
- [10] ZHOU Z Z, LIU S C, LIANG K N, *et al.* Growth and mineral nutrient analysis of teak (*Tectona grandis*) grown on acidic soils in south China[J]. *Journal of Forestry Research*, 2017, 28(3): 503-511.
- [11] 彭福田,姜远茂,顾曼如,等. 不同负荷水平下氮素对苹果果实生长发育的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(6): 690-694.
PENG F T, JIANG Y M, GU M R, *et al.* Effect of nitrogen

- on apple fruit development in different load[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(6): 690-694.
- [12] MIN L. Effect of phosphorus stress and AMF on photosynthesis in strawberry under salt stress[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2009, 32(4): 71-76.
- [13] 戴凌. 土壤磷素形态及物种多样性对植物生产力的影响研究[J]. *南方农业*, 2014(3): 113-115.
- DAI L. Effects of soil phosphorus forms and species diversity on plant productivity[J]. *South China Agriculture*, 2014(3): 113-115.
- [14] 魏永胜, 梁宗锁, 田亚梅. 土壤干旱条件下不同施钾水平对烟草光合速率和蒸腾效率的影响[J]. *西北植物学报*, 2002, 22(6): 1330-1335.
- WEI Y S, LIANG Z S, TIAN Y M. Effect of potassium on tobacco photosynthesis and transpiration efficiency under soil drought stress and different potassium supplied[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2002, 22(6): 1330-1335.
- [15] 齐华, 于贵瑞, 程一松, 等. 钾肥对灌浆期冬小麦群体内叶片光合特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(5): 690-694.
- QI H, YU G R, CHENG Y S, *et al.* Effect of potassium fertilization on the photosynthetic characteristics of the leaf of winter wheat population during its grain-filling stage[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(5): 690-694.
- [16] 马振峰. 钾营养水平对柰李光合特性和果实质量影响的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学.
- [17] 李小明, 龙惊惊, 周悦, 等. 叶面肥的应用及研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(3): 127-130.
- LI X M, LONG J J, ZHOU Y, *et al.* Application and research progress of foliar fertilizer[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(3): 127-130.
- [18] 李得孝, 侯万伟, 员海燕. 玉米叶片叶绿素快速浸提方法研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2006, 34(11): 65-67.
- LI D X, HOU W W, YUN H Y. Fast-soaking methods of chlorophyll from maize leaf[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry* (Natural Science Edition), 2006, 34(11): 65-67.
- [19] 李翔, 刘忠珍, 魏岚, 等. 氨基酸微肥、钙镁肥和锌硼钼叶面肥对番石榴产量与品质的影响[J]. *热带农业科学*, 2021, 41(11): 51.
- LI X, LIU Z Z, WEI L, *et al.* Zinc-boron-molybdenum foliar fertilizer on yield and quality of guava (*Psidium guajava* L.)[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2021, 41(11): 51.
- [20] 齐红岩, 李天来, 陈元宏, 等. 叶面喷施磷酸二氢钾与葡萄糖对番茄光合速率和蔗糖代谢的影响[J]. *农业工程学报*, 2005, 21: 137-142.
- QI H Y, LI T L, CHEN Y H, *et al.* Effects of foliage applications of KH_2PO_4 and glucose on photosynthesis and sucrose metabolism of tomato[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21: 137-142.
- [21] 王丽娟. 鲜食草莓栽培中食味提升技术与示范[D]. 天津: 天津农学院, 2021.
- [22] 梁春玲, 刘永, 曹逸凡, 等. 中微量元素与减氮配施对设施草莓产量及品质的影响[J]. *中国农技推广*, 2022, 38(8): 72-76.
- LIANG C L, LIU Y, CAO Y F, *et al.* Effects of combined application of medium and trace elements and nitrogen reduction on yield and quality of strawberry in greenhouse[J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2022, 38(8): 72-76.
- [23] 由继红, 董春光, 史晓昆. 小麦叶片可溶性糖含量测定方法的研究[J]. *实验室科学*, 2021, 24(2): 27-29.
- YOU J H, DONG C G, SHI X K. Study on determination method of soluble sugar content in wheat leaves[J]. *Laboratory Science*, 2021, 24(2): 27-29.
- [24] 岳志劲, 李新华, 赵宇楠, 等. 直接碘量法测定维生素 C 含量的实验室微型化研究[J]. *山西大同大学学报(自然科学版)*, 2022, 38(2): 8-10.
- YUE Z J, LI X H, ZHAO Y N, *et al.* Study on miniaturization of determination of vitamin C by direct iodometry in laboratory[J]. *Journal of Shanxi Datong University* (Natural Science Edition), 2022, 38(2): 8-10.
- [25] 杨晓玉, 王艳萍, 冷平, 等. ABA 对甜瓜果实成熟和软化的调节[J]. *中国农业大学学报*, 2010, 15(4): 25-32.
- YANG X Y, WANG Y P, LENG P, *et al.* Effect of abscisic acid(ABA) on melon fruit ripening and softening[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2010, 15(4): 25-32.
- [26] 白玉超, 崔国贤, 马渊博, 等. 苧麻叶面施肥研究进展[J]. *中国麻业科学*, 2012, 34(3): 142-145.
- BAI Y C, CUI G X, MA Y B, *et al.* Research progress on foliar fertilization of ramie[J]. *Plant Fiber Sciences in China*, 2012, 34(3): 142-145.
- [27] 潘越, 王明, 马合木提·阿不来提, 等. 不同配方叶面肥对苹果光合特性日变化规律的影响[J]. *经济林研究*, 2019, 37(1): 87-93.
- PAN Y, WANG M, Mahemut Abulait, *et al.* Effects of different foliar fertilizer formulas on diurnal variations of photosynthetic characteristics in apple[J]. *Nonwood Forest Research*, 2019, 37(1): 87-93.
- [28] 任静, 孔芬, 韩富军, 等. 核桃生长期光合及荧光特性对叶面肥料施用的响应[J]. *甘肃农业大学学报*, 2018, 53(5): 37-42.
- REN J, KONG F, HAN F J, *et al.* Response of photosynthetic and fluorescence characteristics of walnut growth period to foliar fertilizer application[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2018, 53(5): 37-42.
- [29] 刘冰雁, 王亮, 杨林先, 等. 不同配方叶面肥对苹果梨叶绿

- 素·产量及果实品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(9): 156-158.
- LIU B Y, WANG L, YANG L X, *et al.* Effects of different leaf fertilizers on chlorophyll, yield and fruit quality of Pingguoli[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, 49(9): 156-158.
- [30] 张静. 叶面肥及其在作物上的应用[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(7): 143-144.
- ZHANG J. Foliar fertilizer and its application in crops[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2007, 13(7): 143-144.
- [31] 林建城, 林河通, 黄志明, 等. 福建省 5 个主栽品种枇杷果实品质比较及其与果实耐贮运的关系[J]. 食品科学, 2008, 29(6): 433-437.
- LIN J C, LIN H T, HUANG Z M, *et al.* Comparison of fruit qualities of five major loquat cultivars in Fujian Province and relationship between fruit quality and storability [J]. *Food Science*, 2008, 29(6): 433-437.
- [32] 蒲靖, 王巧梅, 金雪微, 等. 喷施不同叶面肥对枇杷果实品质的影响[J]. 福建农业学报, 2022, 37(6): 774-780.
- PU J, WANG Q M, JIN X W, *et al.* Effect of foliar fertilizer application on loquat fruit quality[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37(6): 774-780.
- [33] 张建斌, 戚行江, 吴世军, 等. 氨基酸水溶肥对复壮杨梅树势和改善果实品质的作用[J]. 湖南农业科学, 2021(5): 51.
- ZHANG J B, QI X J, WU S J, *et al.* Effects of amino acid water-soluble fertilizer on tree vigor and fruit quality of waxberry (*Myrica rubra*) [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2021(5): 51.
- [34] 刘松忠, 刘军, 张强, 等. 不同肥料种类对黄金梨果实内在品质及风味的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(1): 6-10.
- LIU S Z, LIU J, ZHANG Q, *et al.* Effects of manure types on sugars and acids content and flavor of pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Hwangkumbae)[J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29(1): 6-10.
- [35] 许会会, 陈光, 王春夏, 等. 含氨基酸水溶肥对葡萄产量与质量及经济效益的影响[J]. 现代农业科技, 2018(24): 57.
- XU H H, CHEN G, WANG C X, *et al.* Effect of amino acid-containing water-soluble fertilizer on grape yield, quality and economic benefit[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2018(24): 57.
- [36] 唐岩, 宋来庆, 孙燕霞, 等. 叶面喷施磷酸二氢钾对红将军苹果叶片性状、果实品质和香气成分的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(5): 82-85.
- TANG Y, SONG L Q, SUN Y X, *et al.* Effects of foliage application of potassium dihydrogen phosphate on blade, fruit quality and aroma components of red general Fuji apple[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2017, 49(5): 82-85.
- [37] 孙萍, 林贤锐, 鲍慧, 等. 有机肥对设施草莓土壤盐渍化及草莓生长的影响[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(8): 1298-1300.
- SUN P, LIN X R, BAO H, *et al.* The effect of organic fertilizer on soil salinization and strawberry growth in protected strawberry[J]. *Zhejiang Agricultural Science*, 2019, 60(8): 1298-1300.
- [38] 杨金娟, 马琨, 丁东, 等. 不同培肥方式对旱作区耕地土壤的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(12): 75-81.
- YANG J J, MA K, DING D, *et al.* Effects of different fertilization methods on cultivated soil in dryland areas [J]. *Northwest Agricultural Journal*, 2013, 22(12): 75-81.
- [39] 何永秋, 刘国顺, 母海勇, 等. 不同钾肥组合对烤烟质体色素及降解产物的影响[J]. 土壤, 2013, 45(3): 495-500.
- HE Y Q, LIU G S, MU H Y, *et al.* Effects of different potassium fertilizer combinations on plastid pigments and degradation products in flue-cured tobacco [J]. *Soil*, 2013, 45(3): 495-500.