

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2023.02.005

有机肥替代化肥对“爱媛 28 号” 橘橙产量和品质的影响

万连杰, 何瑞杰, 何满, 田洋, 郑永强,
吕强, 谢让金, 马岩岩, 邓烈, 易时来

西南大学 柑桔研究所/国家柑桔工程技术研究中心/中国农业科学院 柑桔研究所, 重庆 400712

摘要: 以“爱媛 28 号”橘橙初结果树为研究对象, 设置 S1~S4 等 4 个不同生物有机肥部分替代化肥的比例, 除不施肥处理(CK)外, 各有机肥替代化肥处理的氮、磷、钾养分与常规单施化肥(FP)一致, 分析不同处理对“爱媛 28 号”各器官组织养分、土壤理化性质和果实产量、品质的影响。结果表明, 相比 FP 处理, 各有机肥替代化肥处理的当年生叶片、枝条、根、花和果的养分含量, 以及土壤理化性质、果实产量和内外品质均有不同程度的改善和提高, 且各有机肥替代处理的肥料贡献率增长了 6.3%~21.7%。整体上以 S2 和 S3 处理对“爱媛 28 号”橘橙初结果树综合效果较好, 即生物有机肥替代 20%~30% 的氮肥、40%~60% 的磷肥和 30%~45% 的钾肥的效果最好。

关键词: “爱媛 28 号”; 有机肥部分替代化肥; 养分;
产量; 品质

中图分类号: S666

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1673-9868(2023)02-0036-09



Effects of Partial Substitution of Chemical Fertilizer with Organic Fertilizer on Yield and Quality of ‘Ehime 28’

WAN Lianjie, HE Ruijie, HE Man, TIAN Yang,
ZHENG Yongqiang, LYU Qiang, XIE Rangjin,
MA Yanyan, DENG Lie, YI Shilai

Citrus Research Institute of Southwest University / National Citrus Engineering and Technology Research Center /
Citrus Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China

Abstract: In this study, initial bearing trees of ‘Ehime 28’ were used as the material, the different ratios of S1-S4 bioorganic fertilizers were set to partially replace chemical fertilizers, and the nitrogen, phosphorus and potassium contents of all fertilization treatments (S1-S4 and FP) were consistent except CK. The effects of different treatments on the nutrients of various organs of ‘Ehime 28’ plants and soil physico-

收稿日期: 2022-03-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0700602, 2016YFD0200104); 重庆市技术创新与应用发展专项面上项目(cstc2020jcsx-msxmX0026, cstc2020jcsx-msxm0079); “科力生态”有机肥科学试验与示范项目。

作者简介: 万连杰, 硕士研究生, 主要从事果树栽培生理与施肥技术。

通信作者: 易时来, 副研究员。

chemical properties were analyzed. The effects of different treatments on the nutrients of various organs, soil physical and chemical properties, yield and quality of ‘Ehime 28’ were analyzed. The results showed that compared with FP treatment, the nutrient content, soil physical and chemical properties, fruit yield and internal and external quality of the current-year leaves, branches, roots, flowers and fruits of each organic fertilizer substitution treatment were improved to varying degrees, and the fertilizer contribution rate of each organic fertilizer substitution treatment increased by 6.3%—21.7%. On the whole, S2 and S3 treatments had better comprehensive effect on the early fruiting trees of ‘Ehime 28’, and the effect of replacing 20%—30% nitrogen fertilizer, 40%—60% phosphorus fertilizer and 30%—45% potassium fertilizer with bio-organic fertilizer was the best.

Key words: ‘Ehime 28’; organic fertilizer replacement partial chemical fertilizer; nutrient; yield; quality

柑橘是目前我国和世界第一大类的水果^[1], 我国柑橘产量占全球的 28.2%, 位居全球榜首。“爱媛 28 号”橘橙(*Citrus reticulata* Ehima 28)俗称“红美人”“果冻橙”, 由于果皮颜色鲜艳, 皮薄、果肉嫩、口感好, 且具备早熟和丰产等特点, 是近年来市场和生产上主推的优质杂柑品种之一。

目前, 我国柑橘生产上普遍存在不合理甚至过量施用化肥、忽视施用有机肥的现象, 一定程度上影响了我国柑橘优质生产与良性可持续发展。据报道, 我国主产区柑橘氮(N)、磷(P)、钾(K)等肥料投入分别过量 36.2 万 t、42.5 万 t 和 35.5 万 t, 而果园有机肥投入严重不足, 仅占 47.8%^[2]。柑橘氮肥利用率为 20%~30%, 远低于国外 50%左右的水平^[3-4]。过量施用化肥不但影响了果实产量与品质, 增加了果品生产成本, 还对果园土壤板结、水体富营养化、温室气体排放等带来潜在风险。当前我国有机肥替代化肥逐渐成为研究热点^[5], 已经在苹果^[6]、芒果^[7]、荔枝^[8]、柑橘^[3, 9-11]等水果上开展了相关试验研究。方林发^[9]在一年生大雅柑幼苗的盆栽试验中发现, 绿肥替代 75%~100%的化学氮肥有利于促进幼苗对氮素吸收和干物质量的积累。侯海军等^[10]对椪柑的研究发现, 有机肥替代无机氮肥增产了 14%~21%, 可滴定酸降低了 15%~19%, 维生素 C 提高了 42.9%~59.3%。此外, 在塔罗科血橙^[12]、柠檬^[13-14]上的研究表明, 减施化肥、配施有机肥有利于提高果实产量与品质, 还对果园土壤养分和有机质有一定的提升效果。目前, 减施化肥、配施有机肥的相关研究主要集中在减施氮肥对农产品产量品质影响等方面, 而未见等量 N,P,K 养分下减施化肥配施有机肥在柑橘养分吸收和产量品质等方面的研究报道, 尤其对初结果树柑橘的研究鲜见报道。本研究以“爱媛 28 号”初结果树为对象, 研究等量 N,P,K 条件下, 不同有机肥替代比例对其养分吸收利用和产量品质的影响, 以期获得最佳有机肥替代比, 为柑橘化肥科学减量和有机肥合理增施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2020—2021 年在四川省广安市武胜县壹志嘉树果业专业合作社生产园进行。该果园地处北纬 30°38′、东经 106°17′, 为亚热带季风气候型, 年均气温 18℃, 年均日照时长 1 181.1 h, 年均降水量 1 087 mm。果园土壤为紫色土, 由水稻田改建而成, 其中土壤 pH 值为 5.6, 碱解氮含量 96.58 mg/kg, 有效磷含量 82.36 mg/kg, 速效钾含量 79.85 mg/kg, 有机质含量 15.71 g/kg, 土壤基础肥力中等略偏低。供试柑橘品种为“爱媛 28 号”(*Citrus reticulata* “Ehima 28”), 砧木为红橘, 3 年生初结果树。果园种植模式为起垄栽植, 株行距为 3 m×4 m。

供试肥料为尿素(四川天华股份有限公司, 含 N 比例 46.7%)、钙镁磷肥(湖北禹晖化工有限公司, 含 P₂O₅ 量比例为 12%)、硫酸钾(国投新疆罗布泊钾盐有限公司, K₂O 含量 51%)、生物有机肥(成都正富生物科技有限公司, 其中 N,P,K 总养分≥5.0%, 有机质≥40.0%, 有效活菌数≥0.20 亿/g, 含有枯草芽孢杆菌、侧孢短芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌等菌种)。

1.2 试验设计

试验设不施肥(CK)、单施化肥(FP)、生物有机肥替代化肥(S1, S2, S3, S4)等共 6 个处理, 处理 S1, S2,S3,S4 的 N,P 和 K 养分均与 FP 相同, 具体试验设计如表 1 所示。单行柑橘树为 1 个处理, 选择生长健壮、长势相对一致的植株 14 株, 头和尾各留一株作为保护树(采样时避开此树), 每 3 株为 1 个重复, 共

4 个重复. 在 3 月、7 月和 10 月分别进行 3 次施肥, 其中有机肥在 10 月配合化肥一次性施入土壤, 3 月和 7 月追施化肥. N,P,K 肥 3 次施用的比例分别为 1:1:0.5, 0.4:0.6:1, 0.6:1:0.4. 施肥位置为树体行间两侧滴水线外侧各挖 1 个长×宽×深为 1 m×0.2 m×0.3 m 的条沟, 将肥料与挖出的土拌匀后回填处理. 果园病虫害和其他田间管理按当地常规技术统一进行.

表 1 施肥试验设计

处理	单株有机肥	替代化肥比例/%			株施有机肥纯养分/kg			株施化肥纯养分/kg		
	配施量/kg	N	P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	0	—	—	—	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FP	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.600	0.240	0.420
S1	3	10	20	15	0.059	0.048	0.063	0.541	0.192	0.357
S2	6	20	40	30	0.118	0.096	0.126	0.482	0.144	0.294
S3	9	30	60	45	0.178	0.144	0.189	0.422	0.096	0.231
S4	12	40	80	60	0.237	0.192	0.252	0.363	0.048	0.168

注: 有机肥替代化肥比例以化肥(N, P, K)养分相较 FP 的减少量占 FP 的百分比计算.

1.3 采样与项目测定

1.3.1 枝、叶、根样品采集与养分测定

分别于 4 月、7 月和 11 月采集当年生花朵、春梢和秋梢, 在树冠四周分上、中、下 3 层, 每层 4 个方位各采集 2 个枝条和花朵, 每 3 株树混合采集为一个样品, 每个处理 4 次重复. 采集后的样品立即放入事先准备好的带有冰袋的保鲜盒中临时保存, 迅速带回实验室进行枝叶分离, 并用去离子水洗净并擦干样品, 再将样品放置在恒温干燥鼓风箱中 105 ℃杀青 30 min, 然后 80 ℃烘干至恒质量并称量, 后用 H₂SO₄-H₂O₂ 法消煮制备成待测液, 分别用半微量凯氏定氮法、钼锑抗比色法、火焰光度法测定 N,P,K 含量^[15]. 7 月在所有处理树的同一侧方向去除地表杂草等非土物质后, 沿树冠滴水线朝内取长×宽×深为 20 cm×20 cm×40 cm 的土块, 将土块中的根系取出并清洗干净, 按照叶片类似的操作方法测定养分含量.

1.3.2 果实样品采集与产量、品质测定

于 11 月调查单株产量, 沿树冠 4 个方位各采 1 个果, 3 株树为 1 个混合样品, 每个果样共 12 个果, 4 次重复. 每个样品随机分成两份, 一份用于烘干并按叶片和枝条相同方法进行果实 N,P,K 养分测定, 另一份测定果实内外品质指标. 去离子水洗净果实后擦干, 测定单果质量和果实纵横径等, 然后采用 CR-10 手持色差计(日本柯尼卡美能达公司)测定果面色差(Lab 色差模型)^[16]. L 表示亮度, 值越大表示亮度越高; a 表示红绿色度, 值越大越红, 反之越绿; b 表黄蓝色度, 值越大越黄, 反之越蓝. 用游标卡尺测定果皮厚度, 硬度用 GY-4 果实硬度计(浙江托普仪器有限公司研制)测定, 榨汁后采用 PAL-1 数显糖度仪(日本 ATAGO 公司)测定可溶性固形物(TSS), NaOH 中和滴定法测定可滴定酸含量(TA), 2, 6-二氯苯酚吡啶酚钠滴定法测定维生素 C(Vc)含量.

1.3.3 土壤样品采集与养分测定

于采果前采集土壤样品, 距树冠滴水线施肥穴同侧 10 cm 左右处采集土壤样品, 每 3 株树的土壤样品混合为一份土壤样品, 每个处理 4 次重复. 采集后的样品带回实验室, 自然风干过筛后测定土壤有机质、土壤 pH、碱解氮、有效磷、速效钾等含量^[15].

1.4 数据统计方法

采用 Microsoft Excel 2019, SPSS 25.0 和 GraphPad Prism 5 对数据进行分析 and 绘图, 采用 Duncan 新复极差法对数据进行统计学分析. 肥料贡献率(%)=(施肥处理产量-不施肥处理产量)/施肥处理产量×100 %^[17].

2 结果与分析

2.1 有机肥替代化肥对树体养分的影响

从试验结果可以看出, 春梢叶片和枝条的养分含量高于秋梢, 叶片和枝条均以 N 最大, 其次为 K, P 相对最低, 且随着有机肥替代比的增加, 叶片和枝条的 N,P 和 K 质量分数均呈先升高后降低的趋势. 相比

FP 处理, 4 个有机肥替代处理春梢叶片 N、P 和 K 质量分数差异均无统计学意义; S2 和 S3 处理的春梢枝条 P 含量分别增加了 16.4% 和 19.1%, 其较 S1 和 S4 差异也具有统计学意义; S3 处理的春梢枝条 K 质量分数与提高了 18.0%, 且相比其他有机肥替代处理差异也有统计学意义. S3 处理的秋梢叶片 N 和 P 质量分数比 FP 显著增加了 9.2% 和 10.6%, 各有机肥替代处理(除 S1)的秋梢叶片 K 质量分数较 FP 均有明显提升; S3 处理的秋梢枝条 K 质量分数较 FP 显著增加了 13.2%, 秋梢枝条各有机肥替代处理间的 N、P 和 K 质量分数差异均无统计学意义. 根和花的养分也均以 N 质量分数最大, 其次为 K, P 相对最低, 且随着有机肥替代比的增加, 根和花中 N、P 和 K 质量分数均呈先增后降的趋势. 其中根 S3 和 S4 处理的 N、P 质量分数比 FP 处理分别提高了 18.4% 和 9.9%, 25.0% 和 13.4%, 根 S2 和 S3 处理的 K 质量分数比 FP 处理分别增加了 28.1% 和 32.8%, 差异均有统计学意义; S2 和 S3 处理的花中 P 质量分数较 FP 处理分别增加了 45.2% 和 41.9%, 但各施肥处理(FP 和 S1~S4)之间的 N 和 K 差异均无统计学意义(表 2).

此外, 各施肥处理的果实养分含量较 CK 均有所提升, 果实养分变化规律和根、花类似, 均以 N 最高, 其次为 K, P 相对最低, 且随着有机肥替代比的增加, 果实 N、P 和 K 质量分数均呈先增后降的趋势. 其中 S3 处理的果实中 N 质量分数比 FP 增加了 7.6%, 差异有统计学意义; 而各施肥处理 P 和 K 之间差异无统计学意义. 由此可知, 减施化肥并补施生物有机肥不仅不会影响“爱媛 28 号”橘橙各组织对养分的吸收利用, 一定程度上还能改善和提升吸收利用的效果, 以 S2 和 S3 处理对“爱媛 28 号”橘橙各器官组织的养分吸收效果较好(表 2).

表 2 不同处理对“爱媛 28 号”橘橙各组织养分的影响								g/kg
组织类型	矿质元素	CK	FP	S1	S2	S3	S4	
春梢叶片	N	24.64±0.74b	26.52±1.48ab	27.49±1.45a	28.09±0.42a	27.99±1.10a	27.70±1.61a	
	P	1.31±0.03a	1.35±0.13a	1.41±0.11a	1.48±0.10a	1.40±0.14a	1.43±0.09a	
	K	11.35±0.72b	12.76±0.70a	13.31±0.63a	13.40±0.66a	13.59±0.61a	13.36±1.05a	
春梢枝条	N	13.87±0.51b	15.45±1.07a	15.78±1.34a	15.99±1.06a	16.70±0.42a	16.38±0.55a	
	P	1.06±0.04c	1.10±0.04bc	1.17±0.06b	1.28±0.04a	1.31±0.06a	1.19±0.08b	
	K	10.72±0.20c	11.00±0.11bc	11.49±0.34b	11.76±0.54b	12.98±0.66a	11.52±0.43b	
秋梢叶片	N	20.82±0.64c	22.76±1.67b	23.50±0.30ab	23.67±0.61ab	24.86±0.69a	23.54±0.50ab	
	P	1.19±0.09c	1.23±0.02bc	1.24±0.02bc	1.25±0.03bc	1.36±0.04a	1.29±0.06ab	
	K	9.64±0.09c	10.03±0.18bc	10.68±0.48ab	10.94±0.40a	11.14±0.54a	11.07±0.46a	
秋梢枝条	N	9.54±0.67b	11.00±0.88ab	11.22±1.65ab	11.84±1.06a	11.67±0.41a	11.59±0.44a	
	P	0.95±0.19b	1.08±0.08ab	1.17±0.01a	1.18±0.17a	1.29±0.02a	1.25±0.11a	
	K	9.76±0.20c	10.62±0.80bc	10.90±1.09abc	11.69±0.36ab	12.02±0.47a	11.29±0.75ab	
根	N	18.13±0.75d	20.56±0.91c	21.49±1.54bc	22.03±0.64bc	24.35±1.16a	22.59±1.20ab	
	P	1.07±0.03d	1.12±0.04cd	1.15±0.05bcd	1.21±0.10bc	1.40±0.07a	1.27±0.10b	
	K	7.07±0.57c	7.87±0.46bc	8.23±0.66bc	10.08±0.99a	10.45±1.23a	9.39±1.06ab	
花	N	25.93±1.09b	28.67±0.95ab	29.40±3.06a	29.31±1.79a	30.22±1.78a	29.37±1.37a	
	P	1.28±0.17c	1.55±0.14bc	2.08±0.54ab	2.25±0.36a	2.20±0.34a	2.05±0.31ab	
	K	7.25±0.64a	7.59±0.50a	7.75±0.15a	8.26±0.81a	8.06±0.45a	7.56±0.64a	
果	N	18.08±0.61c	18.46±0.49bc	18.87±0.99abc	19.42±0.89ab	19.87±0.43a	18.81±0.51abc	
	P	1.41±0.03b	1.46±0.05ab	1.50±0.04a	1.52±0.02a	1.53±0.04a	1.47±0.06ab	
	K	14.79±0.75b	15.83±0.54a	16.33±0.53a	16.48±0.15a	16.41±0.34a	16.39±0.60a	

注: 每行数据后小写字母不同表示处理间差异有统计学意义($p<0.05$).

2.2 有机肥替代化肥对土壤养分的影响

对土壤养分的分析可知,各有机肥替代处理的土壤理化性质较 CK 和 FP 均有提升,且总体上土壤 pH 值和土壤有机质随有机肥替代比的增加而增加,土壤碱解氮、有效磷和速效钾均随有机肥替代比的增加呈先升后降的趋势. 其中,各施肥处理的土壤 pH 值变化范围为 5.56~6.48,基本都在最适宜土壤 pH 值(5.50~6.50)范围内,各有机肥替代处理的土壤 pH 值比 FP 增加了 3.4%~16.5%,除 S1 外差异均有统计学意义;各有机肥替代处理的土壤有机质值变化范围为 20.17~24.75 g/kg,基本都在适宜的土壤有机质范围内,各有机肥替代处理的土壤有机质比 FP 提高了 5.8%~22.7%,但仅 S4 处理有明显提升;S3 处理的土壤碱解氮和速效钾比 FP 分别增加了 14.1%和 12.55,差异有统计学意义;各有机肥替代处理的土壤有效磷比 FP 提高 10.3%~19.0%,差异有统计学意义. 由此可知,有机肥替代化肥处理能改善和提升土壤的理化性质,以 S3 处理的效果相对较好(表 3).

表 3 不同处理对“爱媛 28 号”橘橙园土壤理化性质的影响

处理	pH 值	有机质/(g·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)
CK	5.69±0.07bc	14.11±0.77c	95.28±6.87c	80.01±6.40c	80.75±4.15c
FP	5.56±0.12c	20.17±2.07b	115.50±1.31b	96.18±2.29b	124.25±11.01b
S1	5.75±0.47bc	21.92±1.86ab	120.75±3.34b	106.95±6.59a	133.00±6.48ab
S2	6.19±0.22ab	21.33±0.95b	122.05±7.44ab	111.62±4.89a	135.75±7.50ab
S3	6.36±0.23a	22.76±2.78ab	131.75±8.41a	114.48±4.35a	139.75±6.83a
S4	6.48±0.44a	24.75±1.63a	124.08±3.12ab	106.09±4.79a	126.00±6.04b

注:同列数据后小写字母不同表示处理间差异有统计学意义($p<0.05$).

2.3 有机肥替代化肥对产量和品质的影响

2.3.1 有机肥替代化肥对产量及其构成因素的影响

如表 4 所示,相比 CK 处理,各施肥处理的产量、单果质量、横径和纵径均有明显增加,且随有机肥替代比的增大,各有机肥替代处理的产量、单果质量、横径、纵径和果形指数总体上均呈先升后降的趋势. 其中,相比 FP 处理,各有机肥替代处理的产量增加了 7.4%~26.2%,但仅 S2 和 S3 处理较 FP 差异有统计学意义,且 S3 处理较 S1 和 S4 处理增产了 17.4%和 14.8%;各有机肥替代处理的单果质量增加了 1.8%~30.3%,除 S1 外,差异均有统计学意义,且 S2 和 S3 处理较其他有机肥替代处理差异也有统计学意义;S2 处理的横径增加了 11.5%,但较 S3 处理差异无统计学意义;S3 处理的纵径增加了 10.8%,较其他处理差异也有统计学意义;而各处理的果形指数差异均无统计学意义. 以上结果说明,有机肥替代处理一定程度上能增加“爱媛 28 号”橘橙果实的横径和纵径,提高果实的单果质量和产量,以 S2 和 S3 处理的效果较好.

表 4 不同处理对“爱媛 28 号”橘橙产量和果实大小的影响

处理	单株产量/g	单果质量/g	横径/mm	纵径/mm	果形指数
CK	2 921.39±245.78d	152.25±6.69d	60.29±4.67c	58.67±4.87c	0.88±0.02a
FP	5 710.86±231.61c	183.33±7.14c	70.95±2.36b	63.70±2.63b	0.90±0.02a
S1	6 135.28±492.64bc	186.61±9.96c	71.40±2.01b	65.23±2.54b	0.91±0.02a
S2	6 668.72±456.89ab	217.44±3.89a	79.14±2.10a	65.18±1.01b	0.90±0.04a
S3	7 204.72±242.04a	220.56±7.80a	75.82±1.20ab	70.61±1.23a	0.93±0.02a
S4	6 275.17±206.83bc	202.08±8.08b	73.66±2.27b	63.41±2.28b	0.92±0.02a

注:同列数据后小写字母不同表示处理间差异有统计学意义($p<0.05$).

2.3.2 有机肥替代化肥对果实品质的影响

从试验结果可以看出, 各施肥处理对“爱媛 28 号”橘橙果实可食率和出汁率也有不同程度的影响, 相较 CK 和 FP, 各有机肥替代处理的果实可食率和出汁率均有所提高, 且随有机肥替代比的增大, 总体上呈现先增后减的趋势. 其中, 相比 FP 处理, 各有机肥替代处理的果实可食率和出汁率分别增加了 0.4%~2.2%和 1.7%~3.5%, 以 S2 和 S3 处理相对较高, 但各施肥处理之间差异均无显著差异统计学意义(图 1).

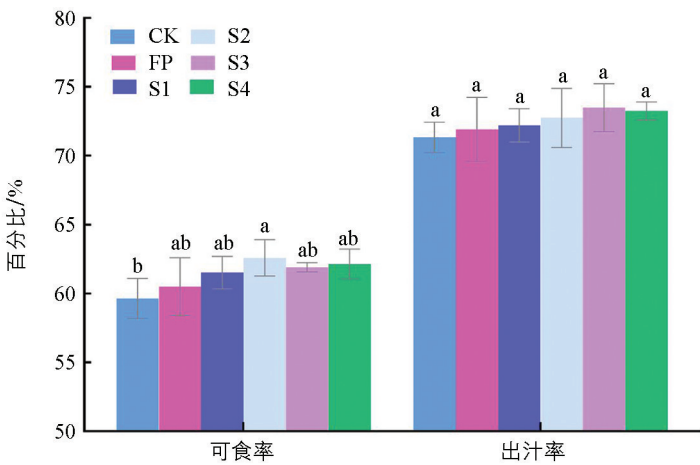
试验对“爱媛 28 号”橘橙果皮特

性和果实内在品质进行了测定, 结果可知, 各施肥处理对“爱媛 28 号”橘橙果皮亮度(L)、红色度(a)、黄色度(b)、着色度(a/b)、果皮硬度和果皮厚度等果皮特性均有不同程度的影响, 增施有机肥处理的果皮特性较 CK 和 FP 均有改善, 且随有机肥替代比的增加, 各有机肥处理的各项果皮外观指标呈现先升后降的趋势, 其果皮硬度和果皮厚度总体上呈现降低的趋势. 相比 FP 处理, 各有机肥替代处理的 a 值增加了 38.0%~104.9%, 除 S1 外差异均有统计学意义, 其他各有机肥处理间差异无统计学意义; 各有机肥替代处理的 b 值增加了 5.7%~12.3%, 除 S4 外差异均有统计学意义, 其他各有机肥处理间差异无统计学意义; S3 处理的 a/b 值增加了 41.2%, 较其他有机肥处理差异无统计学意义. 各有机替代处理的 L 值、果皮硬度和果皮厚度均以 S3 处理相对较好, 但各处理与 FP 相比差异无统计学意义. 进一步统计分析可知, 各有机肥替代处理的可溶性固形物、可滴定酸、固酸比和维生素 C 等内在指标较 CK 和 FP 均有改善, 且随有机肥替代比的增大, 果实可溶性固形物和固酸比呈升高、可滴定酸呈降低、维生素 C 呈先升后降的趋势. 其中相比 FP 处理, S4 处理的可溶性固形物和固酸比分别增加了 8.5%和 23.5%, 差异有统计学意义; S4 处理的可滴定酸降低了 14.8%, 但较其他有机肥替代处理差异均无统计学意义; 各有机肥替代处理的维生素 C 增加了 2.8%~18.6%, 除 S1 外差异均有统计学意义, 且 S3 处理相较 S1 和 S2 处理增加了 15.4%和 7.7%. 由此说明, 有机肥替代处理一定程度上能改善“爱媛 28 号”橘橙果皮特性和果实内在品质, 以 S3 处理相对较好(表 5).

表 5 不同处理对“爱媛 28 号”橘橙果皮特性和果实内在品质的影响

指标	CK	FP	S1	S2	S3	S4
亮度(L)	17.62±0.44a	16.89±0.76a	17.14±1.12a	17.03±0.96a	16.24±0.66a	16.41±0.60a
红色度(a)	4.10±1.41c	4.68±1.88c	6.46±1.21bc	8.91±0.35ab	9.59±0.49a	8.86±2.39ab
黄色度(b)	32.55±1.34d	35.67±1.38c	37.96±1.11ab	40.06±0.85a	38.23±1.70ab	37.70±0.59bc
着色度(a/b)	0.12±0.03c	0.17±0.03b	0.19±0.03ab	0.22±0.01ab	0.24±0.02a	0.20±0.04ab
果皮硬度/N	23.57±0.80a	22.32±1.75ab	21.14±0.95b	20.15±1.88b	20.08±1.10b	20.45±1.07b
果皮厚度/mm	3.58±0.41a	3.37±0.15ab	3.42±0.17ab	3.11±0.11b	3.05±0.11b	3.14±0.09b
可溶性固形物/%	9.05±0.08c	9.20±0.07bc	9.33±0.29bc	9.50±0.07b	9.53±0.20b	9.98±0.38a
可滴定酸/%	1.12±0.06a	1.08±0.18a	1.05±0.05ab	0.99±0.06ab	0.97±0.05ab	0.92±0.03b
固酸比	8.19±0.38c	8.79±1.21bc	8.98±0.42bc	9.61±0.49b	9.81±0.38ab	10.86±0.77a
维生素 C/(mg·L ⁻¹)	345.83±26.54d	353.33±5.68d	363.17±11.86cd	389.17±11.77bc	419.17±14.72a	410.83±20.64ab

注: 同行数据后小写字母不同表示处理间差异有统计学意义($p<0.05$).

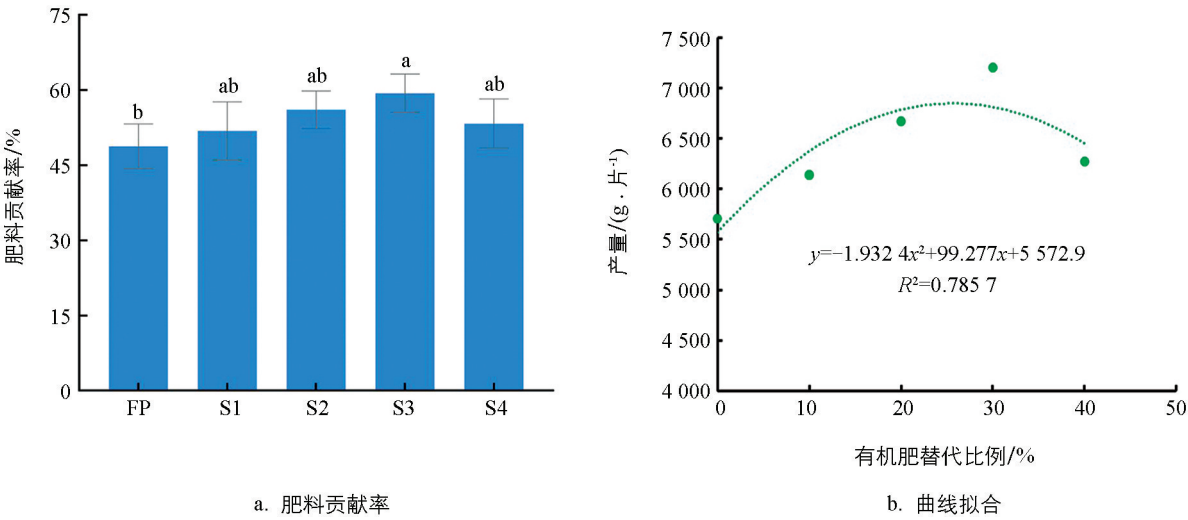


小写字母不同表示处理间差异有统计学意义($p<0.05$).

图 1 不同处理对“爱媛 28 号”橘橙果实可食率和出汁率的影响

2.4 有机肥替代化肥对肥料贡献率的影响

由图 2a 可知,各有机肥替代处理的肥料贡献率为 51.8%~59.3%,均高于 FP 处理的肥料贡献率,且随有机肥替代比的增大,各处理的肥料贡献率呈先增后减的趋势.其中相比 FP 处理,各有机肥替代处理的肥料贡献率增加了 6.3%~21.7%,但仅 S3 处理与 FP 差异有统计学意义,各有机肥替代处理之间差异无统计学意义.由图 2b 可知,进一步曲线拟合分析得出,果实产量(y)与有机肥替代比(x)的拟合方程为 $y = -1.9324x^2 + 99.277x + 5572.9$,其中决定系数 R^2 为 0.79,拐点出现在 S3 附近,进一步分析可知有机肥替代比在 S2 和 S3 处理间产量相对最高.由此可见,有机肥替代比并不是越高越好,适量的有机肥替代化肥才能有效地提高肥料贡献率和果实产量.



a. 肥料贡献率
b. 曲线拟合
曲线拟合中有机肥替代比例以替代 N 计量。
图 2 不同处理“爱媛 28 号”橘橙园的肥料贡献率(a)及曲线拟合(b)

3 讨论

有机肥富含各种矿质元素,减施化肥并配施有机肥可有效促进养分的转化^[18].据报道^[19],适量有机肥与化肥配施能促进柑橘幼苗的生长、降低根冠比以及促进树体对各养分的吸收.本试验结果表明,各有机肥替代处理不同程度地改善和提高了叶片、枝条、根系、花和果等器官组织的氮、磷、钾的养分含量,且以 S2 和 S3 处理对“爱媛 28 号”橘橙各器官组织的养分吸收效果相对较好.这与杜春燕^[6]、司若彤等^[7]分别在台农杧果和番茄上的研究结果规律一致.有机肥同时含有多种活性物质,如氨基酸、微生物、有机碳等,在土壤上施用相当于给土壤“接种”,有利于培肥土壤地力.研究表明,农田长期施用有机肥能提高有机质、土壤基础养分以及改善土壤结构,从而增强土壤保肥供应养分的能力^[20-21].本试验结果表明,各有机肥替代处理的土壤 pH 值相比单施化肥处理提高了 3.4%~16.5%,一定程度上减轻了土壤酸化,各有机肥替代处理的土壤有机质提高了 5.8%~22.7%,且有机肥施用量越大,有机质含量也相应有所增加.这与李司童^[22]和 Li 等^[23]的研究结果类似,可能与生物有机肥中富含多种有机物有关.

氮肥的利用及供应效率与有机肥的使用有关,且作物主要利用土壤中的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ^[24],但其在土壤中易淋失损耗,而有机肥可以将其吸附固定,从而提高氮素利用效率.本研究结果表明,有机肥替代处理的土壤碱解氮、有效磷和速效钾相较单施化肥均有一定程度的提升,这可能因为有机肥疏松多孔,且含有丰富有机碳等活性物质,可以有效吸附土壤中的氮、磷和钾^[25],从而提高了养分的吸收利用效率;但有机肥替代化肥比例过高,增长效果却并不显著,这可能与短期内有机肥矿化相对缓慢有关.这与裴宇^[3]和杜春燕^[6]分别在椪柑和苹果上的研究结果一致.

研究表明,一定量的化肥减量配施有机肥有利于作物产量的提高^[18, 26-27].本研究中各有机肥替代处理的单果质量、产量分别比单施化肥增加了 1.8%~30.3%, 7.4%~26.2%,且以有机肥替代处理 S2 和 S3

的增产效果较好, 这可能与有机肥替代化肥处理的矿质养分丰富齐全且生物有机肥中含有多种有益活性物质促进了树体的生长发育有关. 有机肥替代化肥处理的果皮着色度, 果实可溶性固形物、可滴定酸、固酸比和维生素 C 等品质指标比单施化肥(FP 处理)均有不同程度的改善或提升; 一方面可能与有机肥相比单施化肥处理提供了更为丰富的养分有关, 另一方面可能是因为有机肥提高了柑橘叶片光合作用, 促进了糖类等光合产物的合成. 这与杜玉霞等^[28]、Hazarika 等^[14]和李国良等^[29]在柠檬和贡柑上的研究结果一致. 其他果皮特性指标如果皮亮度值、果皮硬度和果皮厚度等, 有机肥替代处理组和 FP 处理相比差异均无统计学意义, 这可能与“爱媛 28 号”橘橙初结果树体自身的生长生理特性有关, 相关研究还需进一步深入. 各有机肥替代处理的肥料贡献率相比 FP 处理提高了 6.3%~21.7%, 且曲线拟合结果分析表明, 各有机肥替代处理中, S2 与 S3 处理之间的产量相对较高. 各指标综合分析表明, 有机肥替代处理中 S2 和 S3 处理的效果相对较好, 可能与该处理能满足“爱媛 28 号”橘橙初结果树体对养分及时供应和生长生理的需求有关, 有机肥替代量并不是越大越好, 因为有机肥中的养分含量相对较低且大多为有机形态存在, 短期内难以被微生物分解矿化, 一定程度上会影响柑橘生长旺盛阶段对养分的大量需求, 前人^[3,6,9,22,30-31]也有类似的研究报道.

4 结论

在本研究条件下, 与单施化肥相比, 生物有机肥部分替代化肥一定程度上促进了“爱媛 28 号”初结果树各器官组织的养分吸收与利用; 提高了“爱媛 28 号”橘橙初结果树的产量, 改善了果实外观与内在品质, 且一定范围内提高了果园土壤 pH 值、有机质含量以及土壤有效氮、磷、钾的质量分数; 尤以 S2 和 S3 处理的综合效果相对较好, 即生物有机肥替代 20%~30% 的氮肥、40%~60% 的磷肥和 30%~45% 的钾肥效果最佳.

参考文献:

[1] 梁珊珊. 我国柑橘主产区氮磷钾肥施用现状及减施潜力研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.

[2] 雷靖, 梁珊珊, 谭启玲, 等. 我国柑橘氮磷钾肥用量及减施潜力 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(9): 1504-1513.

[3] 裴宇. 饼肥替代不同比例尿素对柑橘产量品质、树体营养及橘园土壤养分的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.

[4] 何舒乐. 有机肥与氮肥不同施水平对矮化苹果生长、结果的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.

[5] 万连杰, 李俊杰, 张绩, 等. 有机肥替代化肥技术研究进展 [J]. 北方园艺, 2021(11): 133-142.

[6] 杜春燕. 有机肥替代化肥对果实产量、品质及土壤肥力的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.

[7] 司若彤, 刘维, 林电. 有机肥部分替代化肥对台农芒果产量和品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2020(4): 107-114.

[8] 安祥瑞, 江尚焘, 李焕苓, 等. 减施化肥配施有机肥对荔枝生长、产量品质及肥料利用率的影响 [J]. 土壤, 2021, 53(6): 1174-1184.

[9] 方林发. 豆科绿肥替代化肥对柑橘氮素营养及生长发育的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2020.

[10] 侯海军, 韩健, 黄继桃, 等. 配施有机肥和稻草对湘西北椪柑产量及品质的影响 [J]. 湖南农业科学, 2020(6): 38-41.

[11] 田想, 张威, 伍玉鹏, 等. 绿肥种植配施减量氮肥对橘园土壤肥力及果实质量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2020(6): 197-204.

[12] QIU F Y. Bacillus Subtilis Biofertilizer Application Reduces Chemical Fertilization and Improves Fruit Quality in Fertilized Tarocco Blood Orange Groves [J]. Scientia Horticulturae, 2021, 281: 110004.

[13] MARTÍNEZ-ALCÁNTARA B, MARTÍNEZ-CUENCA M R, BERMEJO A, et al. Liquid Organic Fertilizers for Sustainable Agriculture: Nutrient Uptake of Organic Versus Mineral Fertilizers in Citrus Trees [J]. PLoS One, 2016, 11(10): e0161619.

[14] HAZARIKA T K, AHEIBAM B. Soil Nutrient Status, Yield and Quality of Lemon (*Citrus limon* Burm.) Cv. ‘Assam Lemon’ as Influenced by Bio-Fertilizers, Organics and Inorganic Fertilizers [J]. Journal of Plant Nutrition, 2019, 42(8): 853-863.

[15] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.

- [16] 余倩倩, 李文涛, 邓烈, 等. 柑橘皮渣有机肥对特洛维塔甜橙树体营养、果实品质和经济效益的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(10): 20-26.
- [17] 王婷, 丁宁平, 李利利, 等. 化肥与有机肥或秸秆配施提高陇东旱塬黑垆土上作物产量的稳定性和可持续性 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(11): 1817-1826.
- [18] 裴雪霞, 党建友, 张定一, 等. 化肥减施下有机替代对小麦产量和养分吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(10): 1768-1781.
- [19] 叶荣生, 石孝均, 周鑫斌. 有机肥对柑橘苗期生物学特性的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(10): 12-18.
- [20] 李文军, 彭保发, 杨奇勇. 长期施肥对洞庭湖双季稻区水稻土有机碳、氮积累及其活性的影响 [J]. 中国农业科学, 2015, 48(3): 488-500.
- [21] BILALIS D, KALIVAS A, KARYDOGIANNI S, et al. Effect of Organic Fertilization on Soil Characteristics, Yield and Quality of Virginia Tobacco in Mediterranean Area [J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2020, 32(8): 610-616.
- [22] 李司童. 蚯蚓粪替代部分化肥对土壤性状及烤烟生长与品质的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [23] LI R F, CHANG Y D, HU T, et al. Effects of Different Fertilization Treatments on Soil, Leaf Nutrient and Fruit Quality of *Citrus grandis* Var. Longanyou [J]. World Journal of Engineering and Technology, 2017, 5(2): 1-14.
- [24] 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.
- [25] CUI H J, WANG M K, FU M L, et al. Enhancing Phosphorus Availability in Phosphorus-Fertilized Zones by Reducing Phosphate Adsorbed on Ferrihydrite Using Rice Straw-Derived Biochar [J]. Journal of Soils and Sediments, 2011, 11(7): 1135-1141.
- [26] 韩悌倩, 刘震, 刘玉汇, 等. 减氮及有机替代对马铃薯根系形态和产量的影响 [J]. 浙江农业学报, 2020, 32(12): 2111-2118.
- [27] 牛新湘, 蒲胜海, 吴湘琳, 等. 有机肥替代化肥对棉花生长性状、产量的影响 [J]. 新疆农业科学, 2021, 58(11): 2043-2048.
- [28] 杜玉霞, 李晶, 高俊燕, 等. 有机无机配施对柠檬产量和品质的影响 [J]. 中国农学通报, 2017, 33(7): 92-97.
- [29] 李国良, 何兆桓, 杨苞梅. 有机肥配施微生物菌剂对贡柑品质、产量和土壤肥力的影响 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(7): 60-65.
- [30] 谢育利, 王吉平, 苏天明, 等. 有机肥部分替代化肥对生菜生长及土壤环境的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(5): 41-49.
- [31] 胡国智, 闫淼, 熊韬, 等. 适宜有机肥氮替代化肥氮比例提高甜瓜养分吸收、产量和品质 [J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(2): 260-268.

责任编辑 王新娟