

不同施肥处理对梁平柚产量、品质和土壤肥力的影响^①

冯大兰, 王玉书, 黄小辉, 张 宏*, 魏立本, 陈道静

(重庆市林业科学研究院, 三峡库区森林生态保护与恢复重庆市市级重点实验室, 重庆 400036)

摘 要: 通过连续 3 a (2014—2017 年) 的田间试验, 以 10 a 生梁平柚为研究对象, 研究不施肥(CK)、单施化肥(CF)、50% 化肥+50% 有机肥(CF+OF)和单施有机肥(OF)下梁平柚产量、品质和土壤肥力的影响。结果表明, 在不同施肥处理中, CF+OF、OF 和 CF 的单果重均无显著性差异($P>0.05$), 但 CF+OF 的柚子单株果实数最高, 柚子产量分别高出 OF、CF 和 CK 8.2%、31.2% 和 11.82%; CF+OF 处理中, 柚子果实中的果汁含量、总糖、游离氨基酸和维生素 C 比 CK 分别提高 20.40%、18.95%、64.34% 和 27.06%, 而柚子果皮厚度、种子数和总酸度显著降低, 品质改善; 施肥显著提高土壤微生物生物量碳氮, 在不同施肥处理中, 微生物生物量碳氮比介于 7.39 ~ 13.89, 且差异显著($P<0.05$)。CF+OF 处理中, 柚子成熟期土壤可培养细菌、真菌、放线菌数量显著高于或相似于单施化肥, 说明化肥和有机肥配施能促进微生物生长繁殖, 协调土壤养分供应, 改善柚子营养。虽然不同施肥处理对土壤 pH 无显著影响($P>0.05$), 但是与 CK 相比, OF 和 CF+OF 处理有机质和速效钾含量增加, CF 处理无显著差异($P>0.05$); CF、OF 和 CF+OF 处理有效磷含量分别比 CK 增加 6.53%、22.74% 和 34.72%, 且差异显著($P<0.05$); CF+OF 碱解氮含量最高, CF 和 OF 次之, CK 最低。此外, 有机无机配施还可提高土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性, 有益于土壤有机质循环、氮磷养分转化、活性氧消除。总之, 在不同施肥处理中, 有机无机配施显著提高柚子产量, 品质得到明显改善, 且土壤养分供应协调, 土壤微生物数量增加, 土壤酶活性增强, 有益于土壤养分转化和保持健康。因此, 在梁平柚施肥中, 提倡有机无机配施很有必要。

关键词: 施肥; 梁平柚; 品质; 土壤肥力

中图分类号: S606 文献标志码: A

Effects of Different Fertilization on Yield, Quality and Soil Fertility of Liangping Pomelo (*Citrus maxima* (Burm.) Merr. cv. *Liangping Yu*)

FENG Dalan, WANG Yushu, HUANG Xiaohui, ZHANG Hong*, WEI Liben, CHEN Daojin

(Chongqing Academy of Forestry, Chongqing Municipal Key Laboratory for Forest Ecological Protection and Restoration in Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400036, China)

Abstract: A field experiment was conducted from 2014 to 2017 with Liangping pomelo (*Citrus maxima* (Burm.) Merr. cv. *Liangping Yu*) aged 10 a as the object. Different fertilization were designed, which included no fertilizer (CK), single chemical fertilizer (CF), 50% fertilizer + 50% organic fertilizer (CF+OF), and single organic fertilizer (OF), and then their effects on the yield, quality and soil fertility of pomelo were studied. The results showed that no significant difference existed in the single fruit weight between CF+OF, OF and CF, however, CF + OF had the highest fruit number per plant, and its pomelo yield was 8.2%, 31.2% and 11.82% higher than those of OF, CF and CK, respectively. Compared with CK, CF+OF increased fruit juice content, total sugar, free amino acid and vitamin C in pomelo by 20.40%, 18.95%, 64.34% and 27.06% respectively, while decreased significantly peel thickness, seed number and total acidity of pomelo, thus improved the quality of pomelo. Fertilization significantly increased soil microbial biomass C and N. In different fertilization, the ratio of microbial C and N changed from 7.39 to 13.89 with significant differences ($P<0.05$). The number of bacteria, fungi and actinomycetes in the maturing stage of pomelo was significantly higher in CF+OF than or similar to those of single fertilization, indicating that CF+OF could promote the growth and reproduction of soil microbes, coordinate the supply of soil nutrients and improve the nutrition of pomelo. Different fertilization had no significant effect

^①基金项目: 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项项目(cstc2017shms-xdny80020)资助。

* 通讯作者(407221681@qq.com)

作者简介: 冯大兰(1976—), 女, 重庆大足人, 博士, 高级工程师, 主要从事生态学和土壤肥料研究。E-mail: 786182557@qq.com

on soil pH ($P>0.05$). Compared with CK, OF and CF+OF increased the contents of soil organic matter and available potassium content, while CF had no significant difference with CK ($P>0.05$); CF, OF and CF+OF increased significantly the content of available phosphorus by 6.53%, 22.74% and 34.72% respectively compared with CK ($P<0.05$). CF+OF had the highest content of alkali-hydrolyzable nitrogen, followed by CF and OF, while CK was the lowest. In addition, combination application of organic and inorganic fertilizers also improved the activities of soil invertase, urease, phosphatase and catalase, which was beneficial to the cycle of soil organic matter, the transformation of nitrogen and phosphorus, and the elimination of reactive oxygen species. In conclusion, the combination application of organic and inorganic fertilizers can increase the yield and quality of Liangping pomelo, coordinate the supply of soil nutrients, increase the number of soil microbes and the activities of soil enzymes, which is beneficial to the transformation and health of soil nutrients, and should be to advocated in the fertilization of pomelo.

Key words: Fertilization; Liangping pomelo (*Citrus maxima* (Burm.) Merr. cv. *Liangping Yu*); Quality; Soil fertility

梁平柚(*Citrus maxima* (Burm.) Merr. cv. *Liangping Yu*)产于重庆市梁平区, 与广西沙田柚和福建文旦柚并称为中国三大名柚, 其果实硕大, 芳香浓郁, 汁多味甜, 营养丰富, 被称为“天然水果罐头”。目前梁平柚的栽植面积达 $1.95 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 其产量和品质直接关系着梁平的经济的发展^[1]。肥料是果树丰产的重要物质保障, 施肥管理不仅关系果实产量和品质的提升, 还影响果园土壤肥力和质量^[2]。梁平柚属地方性水果, 科学管理和经营技术薄弱, 相关研究更是缺乏, 而柚子果实生长期长, 需肥量大, 多数柚农为提高产量盲目施用化肥, 导致柚果品质和口感下降, 严重影响梁平柚产业的健康发展。因此, 科学合理施肥、提高柚子产量和品质、维持土地生产力是梁平柚可持续经营中亟待解决的重要问题。

施用有机肥能均衡补充氮、磷、钾及微量元素, 改善土壤结构, 提高肥料利用率, 是改善果实品质的有效途径^[3-6]。在施足有机肥的区域, 早熟温州蜜柑和脐橙果汁中含糖量明显提高, 特别在控制水分的条件下品质更好^[7]; 增施生物有机肥可以提高脐橙果实的果糖含量, 改善糖酸比, 提高果实品质^[8]; 施用生物有机复合肥, 与等价值和等养分的无机复合肥相比, 可提高坐果率和黄果率, 改善柑橘外观和口感^[9-10]。可见, 有机肥在改善果实品质方面表现出明显的优势, 但有机肥有效养分含量低, 分解缓慢, 不能及时满足果树高产的需求, 在产量提升方面仍较弱势。而有机无机配施既能满足作物对有效养分的及时需求, 还有丰富的有机质和有益微生物, 能有效提高肥料利用率, 减少资源浪费, 是未来生态环保肥料的主要发展趋势^[11-12]。并且, 目前针对梁平柚丰产栽培方面的研究较少, 尤其是关于施肥的研究还未有报道。因此, 本研究以梁平柚为研究对象, 设置有机无机配施、纯有机肥和化肥等不同施肥处理, 考察不同施肥类型对梁平柚产量、品质及土壤的影响, 以期对梁平柚制定

科学的施肥制度, 构建健康的土壤环境提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于重庆市梁平区合兴镇龙滩柚子专业合作社($107^{\circ}49'E$, $30^{\circ}44'N$), 为梁平区梁平柚核心示范片区。该地区属暖湿亚热带季风气候, 海拔 350 m, 年平均气温 16.6°C , 年均无霜期 282 d, 年均日照 1 336.4 h, 年降水量 1 250 mm, 冬暖夏热、无霜期长。柚树种植土壤为紫色土, 土层厚度 60 cm, pH 5.31, 有机质含量 6.25 g/kg, 碱解氮含量 50.1 mg/kg, 有效磷含量 62.5 mg/kg, 速效钾含量 97.5 mg/kg。

1.2 试验材料

供试柚子: 品种为梁平本地平顶柚, 10 a 生, 柚树株行距为 $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 。

供试肥料: 有机肥, 由梁平丰疆生物科技有限公司提供(当地牛场鲜牛粪发酵制成), 其有机质、氮、磷、钾含量(干重)分别为 500、20.4、12.2、18.3 g/kg; 化肥包括尿素(N 46%), 磷酸一铵(N 9%, P_2O_5 49%), 硫酸钾(K_2O 50%), 均购于当地农资公司。

1.3 试验设计

试验于 2014 年 10 月 20 日柚子采收后布置, 选择树势基本一致无病虫害的 30 棵柚树为一个处理小区, 重复 3 次, 随机区组排列, 常规管理。共设置 4 个处理: ①不施肥(CK); ②单施化肥(CF); ③单施有机肥(OF); ④50%化肥+50%有机肥(CF+OF)。在 CF+OF 和 OF 处理中, 有机肥用量以氮计, 不足的磷钾用化学肥料补足, 使各处理的氮、磷、钾用量相等, 即 $\text{N } 322.5 \text{ kg/hm}^2$, $\text{P}_2\text{O}_5 181.5 \text{ kg/hm}^2$, $\text{K}_2\text{O } 294.8 \text{ kg/hm}^2$ 。有机肥和磷肥全做基肥, 氮和钾基肥用量占总量的 60%, 剩余的氮和钾肥全用于追肥, 具体施肥方案见表 1。基肥施肥时间为上一年 12 月上旬, 追肥为次年 5 月上旬。施肥方式为沟施, 施肥点距柚树主干

40 ~ 50 cm, 深度为 40 cm。试验连续进行 3 a, 于 2017 年柚子采收后测定柚子产量、品质及土壤性状等指标。

表 1 柚树施肥试验方案(kg/hm²)
Table 1 Fertilization design for Liangping pomelo tree

处理	基肥				追肥	
	氮肥	磷肥	钾肥	有机肥	氮肥	钾肥
CK	0	0	0	0	0	0
CF	348.17	370.41	353.76	0	280.43	235.84
OF	0	134.25	6.61	9 485.05	280.43	235.84
CF+OF	88.48	252.33	180.18	4 742.53	280.43	235.84

1.4 样品采集及测定项目

柚子产量测定:各处理现场随机选择柚树 10 株,在果实成熟期调查每株柚子数量,然后每株分东、南、西、北、中 5 个方位随机采摘 10 个柚子,采用 1/100 台秤测定柚子单果重,即可得出单株果实数、单果重及产量。

柚子生物学性状及品质测定:各处理随机选择 5 株柚树,每株分东、南、西、北、中 5 个方位随机采摘 10 个柚子,带回实验室,进行生物学性状及品质的测定。采用数显游标卡尺测量柚子果皮厚度,压榨法测定果汁含量,并计数种子数;采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定总糖;酸碱中和滴定法测定总酸度;2,6-二氯酚靛酚滴定法测定维生素 C;水合茚三酮法测定游离氨基酸含量^[13]。

土壤养分指标测定:于果实成熟期,各处理随机选取 5 株柚树,避开施肥点,沿树冠滴水线处采集 0 ~ 40 cm 土层混合土样。土壤样品采回后,剔除杂物,常规分析土壤 pH、有机质及有效氮、磷、钾含量^[14];用氯仿熏蒸-0.5 mol/L K₂SO₄ 提取微生物生物量碳氮, K₂CrO₇ 氧化法测碳, 脲酚蓝比色法测氮^[15]。风干另一部分土壤,磨细过筛,采用高锰酸钾滴定法、靛酚比色法、水杨酸比色法和 3,5-二硝基水杨酸比色法分别测定过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶和蔗糖酶活性^[16];采用平板计数法测定土壤细菌(牛肉膏蛋白胨培养基)、真菌(马丁氏琼脂培养基)和放线菌(高氏一号培养基)数量^[17]。

1.5 数据处理

试验数据分别用 Excel 2010、SPSS 19.0 统计软件和 LSD 多重比较法进行计算、方差分析和差异显著性检验,显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对柚子产量的影响

由表 2 可见,不同施肥处理的柚子单株果实数、单果重及产量均表现出明显的差异。其中单株果实数

以 CF+OF 最高,其次是 OF 和 CF, CK 最低,且差异显著($P<0.05$);而 CF+OF、OF 和 CF 的单果重均无显著性差异($P>0.05$),但均显著高出 CK 19.0% 以上($P<0.05$);不同施肥处理柚子每公顷产量 $CF+OF>OF>CF>CK$,而 CF+OF 分别高出 OF、CF 和 CK 8.2%、31.2% 和 118.2%,且差异显著($P<0.05$)。

表 2 不同施肥处理柚子产量
Table 2 Pomelo yields under different fertilization treatment

处理	单株果实数	单果重(kg)	产量(kg/hm ²)
CK	16.2 ± 0.90 d	0.79 ± 0.04 b	6 334.50 ± 183.30 d
CF	22.4 ± 1.10 c	0.95 ± 0.05 a	10 533.00 ± 351.15 c
OF	26.6 ± 1.20 b	0.97 ± 0.05 a	12 772.50 ± 376.20 b
CF+OF	29.7 ± 1.80 a	0.94 ± 0.02 a	13 819.50 ± 393.60 a

注:同一列小写字母不同表示处理间差异显著($P<0.05$),下表同。

2.2 不同施肥处理对柚子果实生物学性状的影响

由表 3 可见,不同施肥处理的柚子果汁含量、果皮厚度及种子数均表现出明显的差异。与 CK 相比,OF 和 CF+OF 的柚子果汁含量分别增加 16.8% 和 20.4%,且差异显著($P<0.05$),但 CF 无显著性增加($P>0.05$);与 CK 相比,OF 和 CF+OF 的果皮厚度均显著下降($P>0.05$),但 CF 显著增加 25.0%($P<0.05$);与 CK 相比,CF 的种子数显著增加 66.7%,OF 无显著性变化($P<0.05$),而 CF+OF 显著减少 55.6% ($P<0.05$)。

表 3 不同施肥处理柚子果实生物学性状
Table 3 Biological characters of pomelo under different treatments

处理	果汁 (%)	果皮厚度(cm)	种子数
CK	46.45 ± 0.22 b	1.92 ± 0.04 b	45.00 ± 1.98 b
CF	48.80 ± 0.42 b	2.40 ± 0.06 a	75.00 ± 2.03 a
OF	54.28 ± 0.79 a	1.70 ± 0.09 c	49.00 ± 9.36 b
CF+OF	55.94 ± 0.48 a	1.60 ± 0.02 c	20.00 ± 6.70 c

2.3 不同施肥处理对柚子果实品质的影响

由表 4 可见,不同施肥处理的柚子果实总糖含

量、总酸度、游离氨基酸及维生素 C 均表现出明显的差异。与 CK 相比, OF 和 CF+OF 的维生素 C 分别增加 16.03% 和 27.06%, 且差异显著($P<0.05$), 但 CF 无显著性增加($P>0.05$); 与 CK 相比, OF 和 CF+OF

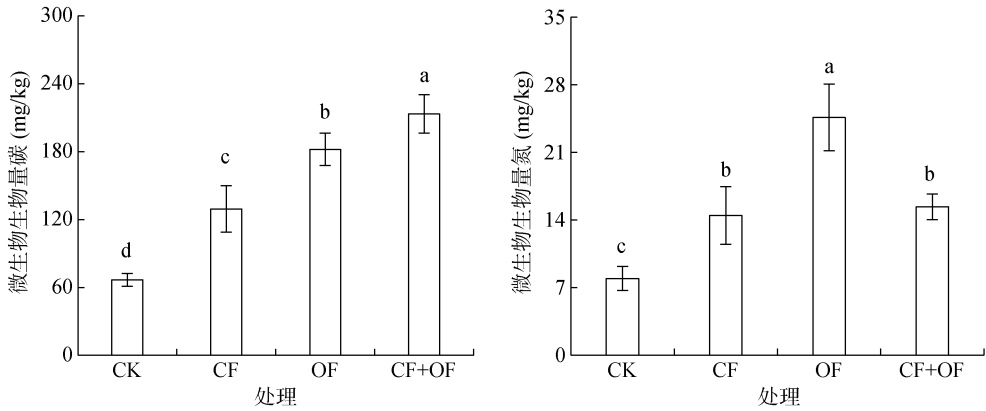
的游离氨基酸均显著增加($P>0.05$), 但 CF 显著下降 7.84%($P<0.05$); 此外, OF 和 CF+OF 的柚子果实总糖含量显著高于 CK 和 CF, 相反, OF 和 CF+OF 的柚子果实总酸度显著低于 CK 和 CF($P<0.05$)。

表 4 不同处理柚子果实内在品质
Table 4 Intrinsic qualities of pomelo under different treatments

处理	总糖(g/100 ml)	总酸度(g/100 ml)	游离氨基酸(mg/100 ml)	维生素 C(mg/100 ml)
CK	9.28 ± 0.02 b	0.19 ± 0.01 a	0.51 ± 0.03 c	101.12 ± 7.36 c
CF	9.31 ± 0.02 b	0.22 ± 0.01 a	0.47 ± 0.01 d	108.24 ± 9.48 bc
OF	10.93 ± 0.05 a	0.12 ± 0.01 b	0.67 ± 0.06 b	117.33 ± 11.76 b
CF+OF	11.45 ± 0.06 a	0.10 ± 0.02 b	1.43 ± 0.02 a	128.48 ± 5.82 a

2.4 不同施肥处理对柚树林下土壤微生物的影响
由图 1 可知, 施肥显著提高土壤微生物生物量碳氮。不同处理间微生物生物量碳 CF+OF > OF > CF > CK, 介于 66.74 ~ 213.40 mg/kg; 微生物生物量氮 OF > CF+OF ≈ CF > CK, 介于 7.94 ~ 24.62 mg/kg。在不同施肥处理中, 微生物生物量碳氮比为 7.39 ~ 13.89, 且差异显著($P<0.05$)。

表 5 可见, 在柚树根际土壤中, 土壤细菌数变化于 $14.02\times10^7\sim37.09\times10^7$ cfu/g, CF+OF 和 CF 处理显著高于 CK, 但是 OF 处理无显著变化($P>0.05$); 土壤真菌数以 CF+OF 处理最高, 比 CK、CF 和 OF 平均高约 2 倍; 土壤放线菌数变化于 $16.97\times10^6\sim35.28\times10^6$ cfu/g, CF+OF 处理最高, OF 与 CK 之间无显著差异($P>0.05$), CF 处理最低。



(图中小写字母不同表示处理间差异达 $P<0.05$ 显著水平)

图 1 不同施肥处理土壤微生物生物量
Fig.1 Soil microbial C and N under different fertilization

表 5 不同施肥处理土壤可培养细菌、真菌、放线菌数量
Table 5 Population of soil bacteria, fungi and actinomycetes under different fertilization (Dry soil)

处理	细菌($\times10^7$ cfu/g)	真菌($\times10^4$ cfu/g)	放线菌($\times10^6$ cfu/g)
CK	14.02 ± 2.08 b	5.26 ± 1.09 b	23.31 ± 3.12 b
CF	32.43 ± 4.20 a	6.99 ± 2.35 b	16.97 ± 2.59 c
OF	17.69 ± 3.45 b	7.79 ± 2.08 b	25.06 ± 2.62 b
CF+OF	37.09 ± 5.27 a	12.63 ± 2.25 a	35.28 ± 3.36 a

2.5 不同施肥处理对柚树林下土壤养分的影响
由表 6 可知, 不同施肥处理对土壤 pH 无显著影响($P>0.05$)。与 CK 相比, OF 和 CF+OF 土壤有机质和速效钾含量增加, 但是 CF 无显著差异($P>0.05$); CF、OF 和 CF+OF 有效磷含量分别比 CK 增加 6.53%、

22.74% 和 34.72%, 且差异显著($P<0.05$); CF+OF 碱解氮含量最高, CF 和 OF 次之, CK 最低。

2.6 不同施肥处理对柚树林下土壤酶活性的影响
由表 7 可见, 土壤酶活性因施肥不同而异。与 CK 相比, CF+OF 处理蔗糖酶活性显著提高 52.18%, 但

CF 和 OF 处理无显著变化($P>0.05$); OF 和 CF+OF 过氧化氢酶活性分别比 CK 提高 28.57% 和 54.55%, 且差异显著($P<0.05$), 但 CF 无显著变化($P>0.05$); CF+OF、OF 和 CF 的脲酶活性均无显著性差异($P>0.05$), 但均显著高出 CK 63.86% 以上($P<0.05$); 磷酸酶活性以 CF 最高, CK 最低, OF 和 CF+OF 之间无显著差异($P>0.05$)。

表 6 不同施肥处理下土壤 pH、有机质及有效养分含量
Table 6 Soil pH values, contents of organic matter and available nutrients under different fertilization

处理	pH	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
CK	5.52 ± 0.23 a	4.80 ± 0.77 c	40.41 ± 1.87 c	55.59 ± 1.46 d	84.63 ± 8.82 b
CF	5.48 ± 0.19 a	5.42 ± 0.53 c	49.73 ± 2.46 b	59.22 ± 1.71 c	89.58 ± 7.63 b
OF	5.54 ± 0.12 a	16.37 ± 0.92 a	47.89 ± 1.42 b	68.23 ± 3.52 b	164.93 ± 11.81 a
CF+OF	5.66 ± 0.08 a	12.97 ± 0.93 b	67.53 ± 1.71 a	74.89 ± 2.97 a	155.83 ± 10.68 a

表 7 不同施肥处理下土壤酶活性
Table 7 Soil enzyme activities under different fertilization

处理	蔗糖酶(Glucose, mg/(g·h))	磷酸酶(pNP, mg/(g·h))	过氧化氢酶(0.1 mol/L K ₂ MnO ₄ , ml/(g·h))	脲酶(NH ₄ ⁺ -N, mg/(g·h))
CK	30.97 ± 3.68 b	0.68 ± 0.08 c	0.20 ± 0.02 c	12.95 ± 2.63 b
CF	33.85 ± 4.28 b	2.01 ± 0.16 a	0.21 ± 0.01 c	21.22 ± 3.48 a
OF	34.51 ± 2.24 b	1.38 ± 0.12 b	0.28 ± 0.08 b	23.26 ± 2.05 a
CF+OF	64.76 ± 3.42 a	1.41 ± 0.04 b	0.44 ± 0.04 a	24.87 ± 2.19 a

3 讨论

柚树属多年生植物,需要持续较长时间的养分供应,且营养需求具有选择吸收性,长期施用化肥会造成土壤养分不平衡,而增施有机肥可明显改善土壤肥力状况,有利于柚子优质丰产^[18]。研究表明,有机无机配施可以增加柑橘、苹果、枣和库尔勒香梨等的产量和着果数;提高柑橘、柠檬果实的 VC 含量、可溶性总糖含量、糖酸比、可溶性固形物百分比和可食率,降低可滴定酸含量、青果率和果皮厚度,使果实品质得到改善^[18-22]。通过连续 3 a 的田间试验,本研究发现,与单施化肥处理(CF)相比,有机无机配施处理(CF+OF)显著提高了柚子产量,柚子果实果汁、总糖、游离氨基酸和维生素 C 含量也均以 CF+OF 处理最高,并且其果皮厚度和种子数则显著低于 CF 处理,这与前人研究有机无机配施对其他果树的增产提质作用类似。究其原因可能是有机无机配施增加了土壤有机质含量和多种微量元素,改善土壤理化性状,提高土壤肥力,为果树提供渐进、持续、全面的养分,同时提高了化学肥料的利用率,使果树产量提高,品质改善。据报道, Ca、B 可使胡柚、锦橙果实可滴定酸显著降低,固酸比显著提高,明显提高果实品质; B、Zn、Cu、Mo 对香榧的生长、产量和品质均有明显的促进作用; Zn、Cu、Mo、Mn、B、Fe 可使柑桔果实饱满、果肉增多、果皮变薄、糖分含量增多、酸味物质减少,柑桔的座果率、果实中维生素 C 含量、糖分含量和产量也均有所提高^[23-25]。说明有机肥中的

微量元素对于果树生长发育以及产量和品质的提高有着至关重要的作用。此外,有机肥与氮、磷、钾肥配施是维持系统可持续性的最优施肥模式,有利于作物的高产稳产,而有机肥中腐解产生的有机酸促进土壤中有机养分的矿化,使难溶性养分得到释放^[26]。CF+OF 处理的有效氮磷钾和有机质含量显著高于 CF,说明 CF+OF 处理速缓相济,协调了土壤养分供应,满足了柚树的养分需要,有益于柚树生长发育。土壤中微生物种类繁多,数量巨大,直接参与土壤有机质循环和养分转化等过程,对土壤肥力、健康和影响很大^[27-28]。在单施有机肥处理(OF)中,土壤可培养微生物数量较低,这可能与有机肥养分释放缓慢,有效养分不足有关,而微生物数量在一定程度上与速效养分含量高低相关^[29]。在 CF+OF 处理中,土壤微生物生物量碳氮显著高于单施化肥,说明有机肥配施化肥可促进微生物生长繁殖,数量增加,其原因可能是有机无机配施提供了丰富的氮素,增加微生物需要的营养和能源物质,更加适合土壤微生物的生长繁殖。此外,在不同施肥处理中,微生物生物量碳氮比差异显著,这意味着土壤微生物的组成和群落结构因施肥而发生变化,具体情况需要进一步研究。土壤酶主要来源于微生物代谢,参与土壤中各种化学反应和生物化学过程,是评价土壤微生物活性、土壤营养物质转化及肥料效果的重要指标之一^[29-30]。CF+OF 处理土壤过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性较高,推测与有机无机配施有利于改善土壤理化性质,调节土壤 C/N,促进作物和土壤微生物的生长有关。

增施有机肥可为土壤酶提供丰富的酶促基质, 发挥底物诱导作用, 还可提高土壤腐殖质含量, 而腐殖质能够通过离子交换、离子键或共价键等与土壤酶结合, 固定土壤酶^[31]。CF+OF 处理土壤过氧化氢酶活性增强, 有利于有机质氧化, 发挥解毒功能, 保持土壤健康^[32]; 蔗糖酶对增加土壤易溶性营养物质起到重要作用, 其活性高低与土壤供肥能力呈显著正相关^[33]; 土壤蔗糖酶活性提高, 有利于促进有机质矿化, 增加养分供应, 本试验有机肥和无机肥料配施效果最好, 这与张长华等^[34]研究结果一致; 与 CK 相比, 施肥显著提高了脲酶活性, 原因可能是肥料中氮刺激了微生物活性, 所分泌的脲酶量增加, 提高了土壤供氮能力^[12]; 酸性磷酸酶活性在一定程度上受土壤有效磷的影响^[33], 在单施化肥的处理中, 施入土壤中的磷源最多, 有效磷含量较高, 刺激了土壤微生物的生长繁殖和生命活动, 磷酸酶分泌数量增加, 使土壤磷酸酶活性升高。

4 结论

施肥尤其是有机无机配施能有效提高柚子产量, 改善其品质。在有机无机配施的处理中, 土壤养分供应协调, 土壤微生物数量增加, 土壤酶活性增强, 有益于土壤养分转化和可持续经营。因此, 在梁平柚栽培过程中, 提倡有机无机配施很有必要。

参考文献:

- [1] 周心智, 文家富, 张云贵, 等. 重庆市梁平区梁平柚产业发展成效[J]. 南方农业, 2017, 11(31): 10–12.
- [2] 张林森, 李雪薇, 王晓琳, 等. 根际注射施肥对黄土高原苹果氮素吸收利用及产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2): 421–430.
- [3] Hedlund K. Soil microbial community structure in relation to vegetation management on former agricultural land[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2002, 34(9): 1299–1307.
- [4] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 144–152.
- [5] 杨宇虹, 晋艳, 黄建国, 等. 长期施肥对植烟土壤微生物的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1186–1193.
- [6] Hunter P R, Gaston M. Numerical index of the discriminatory ability of typing systems: an application of Simpson's index of diversity[J]. Journal of Clinical Microbiology, 1988, 26(11): 2465–2466.
- [7] 李泽碧, 王正银. 柑橘品质的影响因素研究[J]. 广西农业科学, 2006, 37(3): 307–310.
- [8] 林斌. 菌糠、沼渣有机肥对脐橙产量和品质的影响[J]. 福建农业学报, 2006, 21(3): 293–295.
- [9] 张明祥, 童军, 胡群中. 生物有机复合肥对柑桔产量、品质和桔园土壤肥力的影响[J]. 湖北农业科学, 2002, 41(3): 34–36.
- [10] 谭冠礼. 施用有机肥对提高砂糖橘品质和效益对比试验初报[J]. 广西农学报, 2010, 25(5): 10–12.
- [11] 杨文叶, 季淑枫, 李丹, 等. 连续施用商品有机肥对耕地质量及蔬菜产量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(4): 319–322.
- [12] 田小明, 李俊华, 王成, 等. 连续 3 年施用生物有机肥对土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响[J]. 土壤, 2014, 46(3): 481–488.
- [13] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 孙凯, 刘娟, 凌婉婷. 土壤微生物量测定方法及其利弊分析[J]. 土壤通报, 2013, 44(4): 1010–1016.
- [16] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [17] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [18] 褚长彬, 吴淑杭, 张学英, 等. 有机肥与微生物肥配施对柑橘土壤肥力及叶片养分的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(22): 201–205.
- [19] 赵佐平, 高义民, 刘芬, 等. 化肥有机肥配施对苹果叶片养分、品质及产量的影响[J]. 园艺学报, 2013, 40(11): 2229–2236.
- [20] 李楠, 廖康, 孙琪, 等. 有机肥对库尔勒香梨生长发育及产量品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(10): 1820–1826.
- [21] 叶胜兰, 徐福利, 王渭玲, 等. 不同有机肥对黄土丘陵区梨枣生长、光合特性及果实品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 370–378.
- [22] 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.
- [23] 邱超, 胡承孝, 谭启玲, 等. 钙、硼对常山胡柚叶片养分、果实产量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 459–467.

- [24] 黄其颖, 王飞高, 赵元军, 等. 硼锌铜钼配施对香榧生长和果实产量及品质的影响[J]. 经济林研究, 2015, 33(3): 33–38.
- [25] 黄玉溢, 王影, 陈桂芬, 等. 低产柑桔园植株叶片及土壤营养状况分析及评价[J]. 土壤通报, 2009, 40(1): 118–121.
- [26] 李忠芳, 徐明岗, 张会民, 等. 长期施肥和不同生态条件下我国作物产量可持续性特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1264–1269.
- [27] 李晨华, 贾仲君, 唐立松, 等. 不同施肥模式对绿洲农田土壤微生物群落丰度与酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2012, 49(3): 567–574.
- [28] 李秀英, 赵秉强, 李絮花, 等. 不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系[J]. 中国农业科学, 2005, 38(8): 1591–1599.
- [29] Courty P, Buee M, Diedhiou A G, et al. The role of ectomycorrhizal communities in forest ecosystem processes: New perspectives and emerging concepts[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2010, 42(5): 679–698.
- [30] Das S K, Varma A. Role of enzymes in maintaining soil health[J]. Soil Enzymology, 2010, 22: 25–42.
- [31] 王孝娣, 史大川, 宋烨, 等. 有机栽培红富士苹果芳香成分的 GC-MS 分析[J]. 园艺学报, 2005, 32(6): 998–1002.
- [32] 郑勇, 高勇生, 张丽梅, 等. 长期施肥对旱地红壤微生物和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(2): 316–321.
- [33] 唐玉姝, 慈恩, 颜廷梅, 等. 太湖地区长期定位试验稻麦两季土壤酶活性与土壤肥力关系[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 1000–1006.
- [34] 张长华, 蒋卫, 蒋玉梅, 等. 施肥对烤烟产量、品质及土壤养分、酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(3): 77–80.
- [35] 王斯佳. 长期施用化肥对黑土氮、磷及酶活性的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008.