



农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

有机肥替代化肥对橘园土壤培肥及果实产量品质的影响

俞巧钢, 孙万春, 叶静, 胡妙丹, 林辉, 陈照明, 王强, 马军伟

引用本文:

俞巧钢,孙万春,叶静,胡妙丹,林辉,陈照明,王强,马军伟. 有机肥替代化肥对橘园土壤培肥及果实产量品质的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(4): 755–762.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0631>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

有机肥替代部分化肥结合外源硒对白术的促生作用

周武先, 张美德, 王华, 段媛媛, 艾伦强, 黄东海, 罗孝荣, 张宇

农业资源与环境学报. 2021, 38(3): 457–465 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0228>

长期有机无机肥配施对红壤性水稻土微生物生物量和有机质结构的影响

蓝贤瑾, 刘益仁, 侯红乾, 吕真真, 冀建华, 冯兆滨, 刘秀梅

农业资源与环境学报. 2021, 38(5): 810–819 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0584>

有机替代对长江流域水稻产量和籽粒含氮量的影响

任科宇, 陆东明, 邹洪琴, 王慧颖, 许发辉, 卢昌艾, 段英华

农业资源与环境学报. 2022, 39(4): 716–725 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0380>

3种改良剂对连作川党参生长及土壤生化性质的影响

周武先, 刘翠君, 何银生, 吴海棠, 段媛媛, 魏海英, 艾伦强, 张美德

农业资源与环境学报. 2021, 38(1): 43–52 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0201>

有机肥添加对不同磷肥用量新疆棉田磷素状况及棉花产量的影响

袁芳, 张凯, 马超, 张楠, 盛建东, 张文太

农业资源与环境学报. 2022, 39(1): 118–128 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0767>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

俞巧钢, 孙万春, 叶静, 等. 有机肥替代化肥对橘园土壤培肥及果实产量品质的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(4): 755–762.

YU Q G, SUN W C, YE J, et al. Effects of organic manure substituting chemical fertilizer on soil fertility and fruit yield and quality in citrus orchard[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(4): 755–762.

有机肥替代化肥对橘园土壤培肥及果实产量品质的影响

俞巧钢¹, 孙万春¹, 叶静¹, 胡妙丹², 林辉¹, 陈照明¹, 王强¹, 马军伟^{1*}

(1. 浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所, 杭州 310021; 2. 绍兴市农业科学研究院, 浙江 绍兴 312003)

摘要:为探究猪粪和鸡粪有机肥部分替代化肥对椪柑橘园土壤培肥及果实产量品质的影响,通过2年定位试验,选用鸡粪和猪粪2种有机肥,开展7.5 t·hm⁻²和15 t·hm⁻²替代施用量对椪柑橘园土壤肥力、果实产量及品质的影响效果研究。结果表明,采用鸡粪和猪粪2种有机肥部分替代化肥的模式,可明显提升柑橘园土壤肥力。与全化肥处理相比,施用有机肥替代化肥处理的土壤酸化有所改善,全氮、有效磷、速效钾和有机质含量分别提高16.1%~54.7%、15.9%~30.1%、12.9%~36.9%和6.8%~39.6%。土壤微生物多样性的香农指数和均匀度增加,平均CO₂产生率总体随着有机肥替代量的增加而提高,微生物数量明显增加。在同等有机肥替代化肥施用量条件下,猪粪有机肥培肥地力和增加土壤微生物数量及多样性的效果优于鸡粪有机肥。有机肥替代化肥处理较全化肥处理提高柑橘产量5.1%~19.5%,增加果实可溶性总糖2.7%~11.8%、维生素C 2.1%~10.8%、可溶性固形物5.9%~10.8%。7.5 t·hm⁻²猪粪有机肥替代化肥处理柑橘产量最高,而15 t·hm⁻²猪粪有机肥替代化肥处理柑橘品质最好。研究表明,采用有机肥部分替代化肥的施肥模式,有利于提高椪柑橘园土壤肥力和微生物多样性,进而提高果实产量、改善柑橘品质。

关键词:有机肥;土壤肥力;柑橘;果实品质;产量

中图分类号:S158;S666 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2023)04-0755-08 doi: 10.13254/j.jare.2022.0631

Effects of organic manure substituting chemical fertilizer on soil fertility and fruit yield and quality in citrus orchard

YU Qiaogang¹, SUN Wanchun¹, YE Jing¹, HU Miaodan², LIN Hui¹, CHEN Zhaoming¹, WANG Qiang¹, MA Junwei^{1*}

(1. Institute of Environmental Resources and Soil Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 2. Shaoxing Academy of Agricultural Sciences, Shaoxing 312003, China)

Abstract: This study investigated the effect of substituting chemical fertilizer with organic manure on soil fertility and the yield and quality of the fruit in a ponkan citrus orchard. A 2-year field experiment including two different application rates (7.5 t·hm⁻² and 15 t·hm⁻²) of chicken manure and pig manure was conducted. Results showed that substituting chemical fertilizer with organic manure significantly improved soil fertility in a citrus orchard. The soil pH as well as the contents of the total nitrogen, available phosphorus, available potassium, and organic matter in the organic manure substituting chemical fertilizer treatments were higher than those in the only chemical fertilizer-applied treatment and increased by 16.1%–54.7%, 15.9%–30.1%, 12.9%–36.9%, and 6.8%–39.6%, respectively. The soil microbial diversity index of Shannon and Evenness increased upon substituting chemical fertilizer with organic manure, and correspondingly the average soil CO₂ production rate increased. Pig manure showed stronger improving effects on soil fertility and microbial quantity and diversity than chicken manure. Furthermore, substituting chemical fertilizer with organic manure was beneficial for ponkan citrus production by increasing the yields by 5.1%–19.5%, total soluble sugar 2.7%–11.8%, vitamin C 2.1%–10.8%, and soluble solids

收稿日期: 2022-09-13 录用日期: 2022-10-21

作者简介: 俞巧钢(1973—), 男, 浙江永康人, 博士, 研究员, 从事土壤肥料与环境保护相关研究。E-mail: yqganhzzj@sina.com

*通信作者: 马军伟 E-mail: majw111@126.com

基金项目: 浙江省重点研发计划项目(2020C02030); 浙江省科技创新领军人才项目(2021R52045)

Project supported: The Major Scientific and Technological Project of Zhejiang Province of China(2020C02030); Science and Technology Innovation Leading Talent Project of Zhejiang Province(2021R52045)

5.9%–10.8%。The highest yield was found in the treatment with $7.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ pig manure, while the best fruit quality was found in the treatment with $15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ pig manure. Overall, substituting chemical fertilizer with organic manure is an effective strategy for improving soil fertility and microbial activity, thus increasing the yield and quality of citrus.

Keywords: organic manure; soil fertility; citrus; fruit quality; yield

柑橘果实营养丰富,色、香、味兼优,在我国广泛种植,是我国农民经济增收的重要来源^[1]。近年来,随着柑橘果园种植结构趋向集约化,栽培密度趋向密植化,一些种植区域氮磷化学肥料投入量越来越大,导致肥料利用率普遍偏低,土壤性状失调,严重影响农作物的正常生长及品质的提高^[2-4]。同时,过量不合理施用速效肥料导致的养分流失也带来水体环境恶化等污染问题^[5-6]。目前我国氮肥利用率约为30%,过量不合理施肥造成果园土壤养分流失、土壤板结、盐渍化、地下水硝酸盐超标等问题,且导致树体抗逆性降低、生理病害加重、果实耐贮性降低及品质较差等问题,直接影响到柑橘种植的经济效益,成为限制柑橘产业良性发展的重要障碍^[5-8]。

农业农村部发布的《到2020年化肥使用量零增长行动方案》提出“增加有机肥资源利用,减少不合理化肥投入”,诸多学者开展了有机肥替代部分化肥的试验研究。裴宇等^[9]通过两年有机肥替代部分化肥田间试验,研究了化学氮肥减量配合饼肥施用对柑橘果实产量品质及橘园土壤肥力的影响,结果表明配施饼肥、减少30%化学氮肥并不会减少柑橘产量,同时提升果实品质。陈大超等^[10]针对重庆橘园的紫色土,研究了商品有机肥不同施用量及深度对土壤肥力和柑橘品质及产量的影响,结果表明施用有机肥可增加土壤碱解氮、有效磷、速效钾和有机质含量,降低土壤容重,提高土壤pH值及土壤地力,进而改善柑橘果实品质,提高柑橘产量,增加经济效益。农田土壤施用有机肥可显著改善理化性质,增加土壤速效氮、磷、钾和有机质含量,提升土壤有益微生物群落种类和数量,对于作物高产稳产和品质改善具有良好的效果^[11-12]。鸡粪有机肥和猪粪有机肥是目前产生量最大、施用最广泛的2种畜禽养殖源有机肥,研究其在南方柑橘园果树上的有机替代效果具有十分重要的科学意义。

衢州椪柑为国家地理标志产品,以其为研究对象的化肥减量结合有机替代研究还有待进一步开展。本研究针对柑橘种植环节过度依赖化肥高量施用的问题,选择国家地理标志产品衢州椪柑为对象,开展基于种养循环化肥减量有机替代的效果研究,以期为

改善柑橘果园土壤肥力、提高产量品质,促进其产业可持续健康发展和实现绿色增效提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验地点位于浙江省衢州市龙游湖镇,该地区有几百年的柑橘种植历史,是我国的柑橘主产区,同时也是国家级地理标志保护示范区,拥有“中国柑橘之乡”的美称。试验点属亚热带季风气候区,具有四季分明、冬夏长春秋短、光温充足等地带性特征。年平均气温为 17.4°C ,年平均降水量 $1\,691.6 \text{ mm}$ 。试验地为原先长期种植水稻后改种柑橘的园地,其土壤pH为4.85,有机质、全氮、全磷和全钾含量分别为23.7、1.06、0.53 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和18.8 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验材料及试验设计

试验于2019年3月选择土壤肥力较为均匀一致的10龄柑橘开展试验,品种为衢州椪柑。鸡粪有机肥为龙游金禾宝生物有机肥料有限公司生产,氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)养分含量分别为2.30%、2.69%、2.06%,pH为7.53,有机质47.33%;猪粪有机肥为龙游旺农有机肥公司生产,氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)养分含量分别为2.25%、2.64%、1.85%,pH为7.36,有机质58.62%;化肥为尿素、过磷酸钙和氯化钾,其N、 P_2O_5 和 K_2O 含量分别为46%、12%和60%。试验共设5个处理:对照,全化肥(CK);鸡粪有机肥 $7\,500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ +化肥(CM1);鸡粪有机肥 $15\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ +化肥(CM2);猪粪有机肥 $7\,500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (PM1)+化肥;猪粪有机肥 $15\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ +化肥(PM2)。鸡粪有机肥CM1和CM2处理采用化肥减量配合有机肥施用,氮磷钾养分替代化肥的有机替代率分别为28%和56%。猪粪有机肥PM1和PM2处理采用化肥减量配合有机肥施用,氮磷钾养分替代化肥的有机替代率分别为27%和54%。CM1和PM1处理、CM2和PM2处理之间的有机替代率相近。按照当地施肥习惯设置全化肥处理的施肥量,各试验处理氮磷钾养分施入量相等,其中有机肥所含的氮磷钾养分按当年50%矿化计,其余以化肥补充施入(表1)。各处理设3个重复,随机排列,5株柑橘为1个小区。肥料施用参照

表1 试验处理养分用量和有机替代率
Table 1 Nutrient application and organic replacement rate
in the tested treatments

处理 Treatment	有机肥 Organic manure/(t·hm ⁻²)	化肥 Chemical fertilizer/(kg·hm ⁻²)			总养分有机替代率 Organic replacement rate of total nutrients/%
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
CK	0	315	315	315	0
CM1	7.5	229	214	238	28
CM2	15	143	113	161	56
PM1	7.5	231	216	246	27
PM2	15	146	117	176	54

当地种植习惯,化肥分3次施用,50%作为底肥3月初施用,在7月下旬和8月下旬分别施用15%和35%作为壮果稳果肥。猪粪和鸡粪有机肥全部作基肥施用,开20~30 cm深环形沟均匀施入,环形内径离树干30~50 cm,外径为树冠滴水处,施肥后及时覆土。

1.3 测定指标

连续定位施用有机肥2年,在2020年冬季11月份柑橘收获后,在距施肥沟10 cm处随机选取5点采集表层0~20 cm土壤。土样充分混匀后一部分用于微生物分析,剩余土壤风干、过筛用于理化指标测定。土壤pH、有机质、全氮、有效磷、速效钾及水溶性盐等按照常规方法测定,土壤微生物香农多样性指数、均匀度指标及平均CO₂产生率采用MicroResp方法分析^[13-14]。连续2年各小区柑橘单独采摘测产,同时在各小区沿每株柑橘树的树冠外围4个方向采摘代表性果实4个,5株柑橘树果实混合成为一个样品,用于品质指标测定。柑橘可溶性总糖、维生素C、可滴定酸和可溶性固形物参照《柑桔鲜果检验方法》(GB/T 8210—2011)分析测定。

1.4 数据统计

试验数据采用Microsoft Excel 2016进行分析处理和制图,使用SPSS 20.0软件的Duncan法进行数据的多重比较($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 有机肥替代对橘园土壤肥力的影响

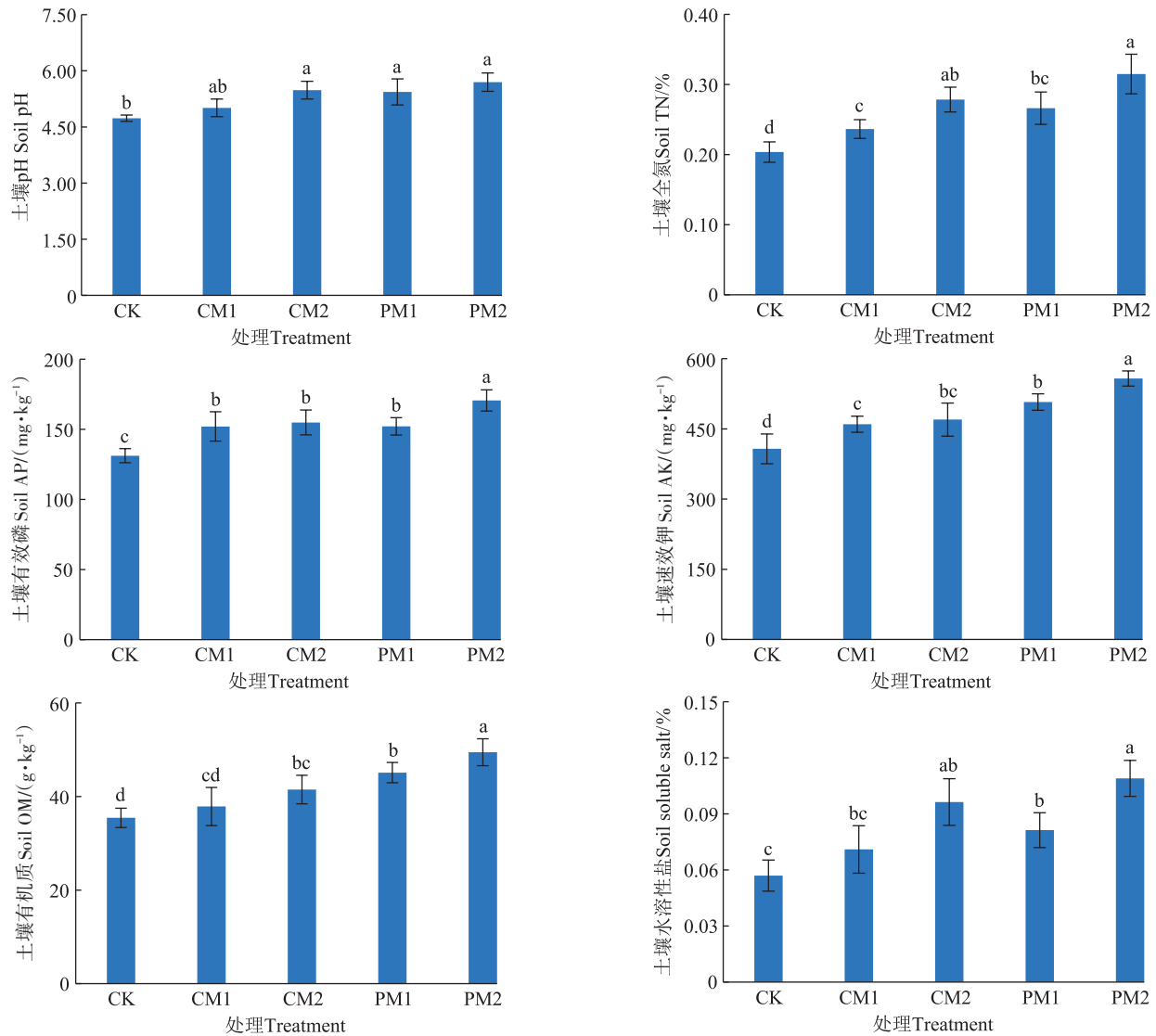
柑橘园采用有机肥替代化肥模式对其土壤肥力指标具有较大影响(图1)。与全化肥处理相比,施用鸡粪和猪粪两种有机肥均能提高柑橘园土壤的pH值,改善土壤的酸碱性。CM2和PM2处理土壤pH值较CK处理提高0.75、0.97个单位,猪粪有机肥改善酸碱性的效果优于鸡粪有机肥。有机肥的施用均不

同程度提高了土壤全氮、有效磷、速效钾和有机质含量。与CK相比,CM1处理的土壤全氮、有效磷、速效钾和有机质含量分别提高16.1%、15.9%、12.9%和6.8%,CM2处理土壤全氮、有效磷、速效钾和有机质含量分别提高36.7%、18.1%、15.3%和17.1%。与CK相比,PM1处理土壤全氮、有效磷、速效钾和有机质含量分别提高30.8%、16.0%、24.5%和27.3%,PM2处理土壤全氮、有效磷、速效钾和有机质含量分别提高54.7%、30.1%、36.9%和39.6%。试验结果表明,施用鸡粪和猪粪2种有机肥均能提高土壤肥力,且提升肥力指标的效果随着有机肥替代施用量的增加而增加。在同等替代施用量下,猪粪有机肥对土壤全氮、有效磷、速效钾和有机质含量提升效果明显优于鸡粪有机肥。此外,从土壤水溶性盐变化可见,CM2、PM1和PM2处理土壤水溶性盐含量较CK处理有所提高且差异显著,总体呈现随着施用量增加而上升的趋势。

2.2 有机肥替代对橘园土壤微生物的影响

不同微生物有不同的代谢方式和生理功能,从而适应不同的生态环境,并与其他生物进行相互作用。香农多样性指数(Shannon-Wiener index)可分析不同处理对土壤微生物群落代谢多样性的影响,反映土壤微生物群落利用碳源类型的能力。土壤微生物群落物种越多,香农多样性指数越高,群落多样性越高。由表2可知,CM1、CM2、PM1和PM2的土壤微生物的香农指数都高于CK处理,并且均表现出随着有机肥替代用量增加而增加的趋势。在同等有机肥替代用量时,猪粪有机肥处理的香农指数高于鸡粪有机肥处理。统计分析表明,除低用量鸡粪有机肥处理与全化肥处理之间差异不显著外,其他施用有机肥处理的香农指数均与全化肥处理差异显著。有机肥的施用也显著影响土壤微生物均匀度。表2表明,CM1、CM2、PM1和PM2处理的均匀度均高于CK处理,且均匀度随有机肥替代用量的增加而增加。统计分析表明,土壤微生物均匀度除CM1处理与CK差异不显著外,CM2、PM1、PM2处理与CK均有显著差异。CM2、PM1、PM2处理之间的均匀度差异不显著。总体上,施用鸡粪和猪粪有机肥均有利于提高柑橘园土壤微生物多样性和均匀度,且猪粪有机肥的施用效果优于鸡粪有机肥。

土壤平均CO₂产生率作为微生物整体性的有效指标,可以反映微生物群落对不同碳源的利用能力。平均CO₂产生率越高表明土壤中微生物活性越高,对底物代谢的能力越强。图2为不同处理柑橘园土壤



柱上不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Different letters indicate significant differences at $P<0.05$. The same below.

图1 不同有机肥处理对柑橘园土壤理化性状的影响

Figure 1 Effects of different organic manure treatments on soil physicochemical properties in citrus orchard

表2 基于MicroResp的不同有机肥处理对土壤微生物群落代谢多样性影响

Table 2 Effects of different organic manure treatments on metabolic diversity of soil microbial community based on MicroResp

处理 Treatment	香农指数 Shannon-Wiener index (H')	均匀度 Pielou index (E)
CK	8.22±0.31d	0.88±0.01b
CM1	8.55±0.46cd	0.90±0.02b
CM2	8.99±0.39c	0.98±0.01a
PM1	9.91±0.48b	0.97±0.01a
PM2	11.68±0.63a	0.99±0.01a

注:同列数据后不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences at $P<0.05$. The same below.

的平均 CO_2 产生率,CK处理与CM2、PM1、PM2处理之间差异显著。与CK相比,CM2处理的平均 CO_2 产生率增加16.3%,PM1、PM2处理的平均 CO_2 产生率增加13.3%和45.5%。与CK相比,PM1、PM2和CM2处理均显著提高土壤平均 CO_2 产生率,且PM2处理的平均 CO_2 产生率显著高于其他有机肥处理。结果表明,施用鸡粪有机肥和猪粪有机肥有利于增强柑橘园土壤微生物活性,提高代谢能力,尤其是猪粪有机肥效果更明显。

2.3 有机肥替代对果实产量和品质及经济效益的影响

柑橘果树的产量有大小年的波动及树体间的一定差异,采用连续2年的平均产量进行比较分析更具

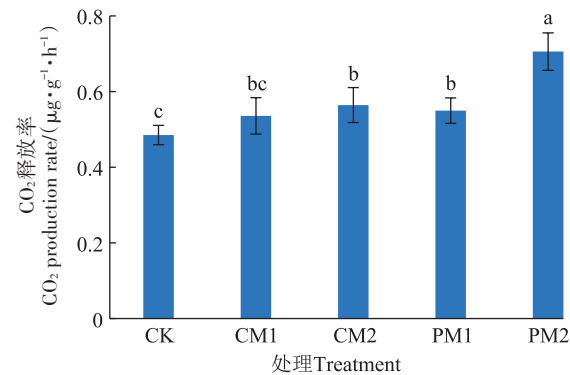


图2 不同有机肥处理对土壤平均CO₂产生率的影响
Figure 2 Effects of different organic manure treatments on soil average CO₂ production rate

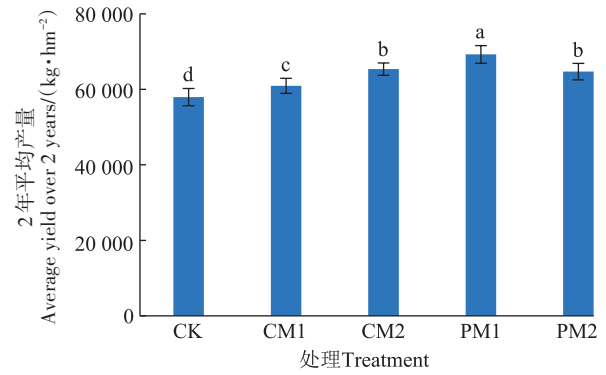


图3 不同有机肥处理对柑橘平均产量的影响
Figure 3 Effects of different organic manure treatments on citrus average yield

有科学性和代表性。不同种类有机肥和替代施用量对桠柑的产量影响较大(图3)。与CK相比,CM1、CM2处理的柑橘产量增加5.1%和12.8%,PM1、PM2处理的柑橘产量增加19.5%和11.6%。鸡粪有机肥和猪粪有机肥替代化肥施用均可显著提高柑橘产量。CM1处理的产量低于CM2处理,两者差异显著。而PM1处理的产量高于PM2处理,两者也差异显著。说明柑橘果园采用有机肥部分替代化肥时,应根据有机肥的种类确定相应的施用量,鸡粪有机肥的替代施用量可以达到15 t·hm⁻²,而猪粪有机肥的替代施用量以7.5 t·hm⁻²左右为宜。

柑橘施用猪粪和鸡粪有机肥后,果实可溶性总糖、维生素C、可滴定酸、可溶性固形物等品质指标发生明显变化(表3)。与CK相比,CM1、CM2处理可溶性总糖增加2.7%和4.9%,维生素C增加2.1%和7.1%,可溶性固形物增加5.9%和10.8%;PM1、PM2处理可溶性总糖增加4.6%和11.8%,维生素C增加6.2%和10.8%,可溶性固形物增加5.9%和10.8%,可滴定酸下降4.1%和8.6%。高有机肥施用量的处理下,可溶性总糖、维生素C、可滴定酸、糖酸比以及可溶性固形物等品质指标改善更加明显,其中猪粪有机

肥对品质指标提升的效果优于鸡粪有机肥。这说明以缓释性的有机肥代替一部分速效性的常规化肥可均衡供应柑橘生长所需养分,加强果实叶片的光合作用,促进可溶性总糖、维生素C和可溶性固形物含量提高,使酸度下降、糖酸比提高,口感风味增强。

化肥减量有机肥替代处理使有机肥成本增加,氮磷钾化肥的成本降低。从表4可知,各处理的收益高低为PM1>CM2>PM2>CM1>CK。与CK处理相比,CM1、CM2、PM1、PM2处理的收益分别提高4.36%、10.91%、17.12%、8.48%。有机肥替代化肥处理虽增加肥料成本,但其生产管理与常规基本相同,柑橘产量提升,增加的效益绝大多数为纯利润。猪粪有机肥替代量为7.5 t·hm⁻²的处理,即氮磷钾养分的有机替代率为27%时,柑橘种植的经济效益增加最明显。

3 讨论

柑橘果园化肥施用量普遍较高,长期施用可导致土壤养分失衡、功能障碍、酸化加剧、有益微生物种类及数量下降,严重影响柑橘果树的正常生长。本研究结果表明,施用鸡粪和猪粪2种有机肥替代部分化

表3 不同有机肥处理对柑橘品质的影响
Table 3 Effects of different organic manure treatments on citrus fruit quality

处理 Treatment	可溶性总糖 Total soluble sugar/%	维生素C Vitamin C/(mg·kg ⁻¹)	可滴定酸 Titratable acid/%	糖酸比 Sugar acid ratio	可溶性固形物 Soluble solids/%
CK	9.14±0.10d	437±3.9c	0.825±0.015a	11.1±0.4c	10.2±0.2c
CM1	9.39±0.09c	446±4.3b	0.805±0.014ab	11.7±0.4bc	10.8±0.2b
CM2	9.59±0.11b	468±4.1b	0.786±0.009bc	12.2±0.4b	10.9±0.1b
PM1	9.56±0.21bc	464±5.4b	0.791±0.008b	12.1±0.3b	10.8±0.1b
PM2	10.22±0.38a	484±6.6a	0.754±0.012c	13.6±0.5a	11.3±0.2a

表4 有机肥替代化肥对柑橘种植经济效益的影响

Table 4 Effects of organic manure replacing chemical fertilizer on the economic profits of citrus planting

处理 Treatment	增产率 Yield increase rate/%	单价 Unit price/ (yuan· kg ⁻¹)	产值/ (元·亩 ⁻¹) Out value/ (yuan·mu ⁻¹)	肥料投入/ (元·亩 ⁻¹) Cost of fertilizers/ (yuan·mu ⁻¹)
CK	0	5.2	20 092.8	467.3
CM1	5.1	5.2	21 117.5	636.4
CM2	12.8	5.2	22 664.7	805.4
PM1	19.5	5.2	24 010.9	642.5
PM2	11.6	5.2	22 423.6	816.8

注:猪粪有机肥和鸡粪有机肥按0.68元·kg⁻¹计算;尿素按2.80元·kg⁻¹、磷肥按0.98元·kg⁻¹、钾肥按4.80元·kg⁻¹计算。1亩≈667 m²。

Note: Pig manure and chicken manure are 0.68 yuan·kg⁻¹; Urea is 2.80 yuan·kg⁻¹; Phosphate fertilizer is 0.98 yuan·kg⁻¹; Potassium fertilizer is 4.80 yuan·kg⁻¹. 1 mu≈667 m².

肥,施用量为7.5 t·hm⁻²和15 t·hm⁻²时,可明显提升柑橘果园土壤肥力,增加全氮、有效磷、速效钾和有机质含量,同时改善土壤pH。与全化肥处理相比,有机肥替代处理土壤养分含量有较大提升,一方面是由于有机肥施用带入较多的缓释性养分,另一方面是有机肥替代有助于减少土壤氮、磷、钾等养分的流失^[15-18]。猪粪有机肥对土壤改良培肥的效果优于鸡粪有机肥,高用量有机替代模式优于低用量。同时研究发现,有机肥施用后土壤中水溶性盐含量有所增加,可一定程度提高土壤钙、镁、钾等盐基离子的含量,促进柑橘的生长吸收和养分利用,但长期施用也需控制有机肥替代量,避免土壤盐分(如钠离子)的过度累积对柑橘生长造成不良影响。有机肥可有效增加果园土壤有机质的含量,提高土壤养分的有效性,维持供应潜力,尤其在改善土壤功能结构、培肥地力和满足作物养分吸收供应方面有着非常巨大的作用^[19-20]。高用量猪粪和鸡粪有机肥替代化肥施用可补充土壤更多养分,提高土壤养分含量,其原因在于有机肥含较多的中量和微量元素。施用有机肥不仅可维持土壤生产力,而且因富含生物活性物质,可显著提高土壤酶活性和养分的有效性^[21-22]。猪粪有机肥改良土壤和培肥效果优于鸡粪有机肥,其原因可能是相较于鸡粪有机肥,猪粪有机肥在土壤中降解矿化速度相对较慢,致使较多的氮、磷、钾等养分残留于土壤中。

常规速效化肥养分含量高,施入土壤后可迅速转化,及时供给作物吸收利用。有机肥中的有机氮因缓慢矿化释放,在作物关键的生育期虽不能及时快速供给大量养分,但肥效较无机化肥氮更持久^[23-24]。有机肥部分替代化肥的模式兼顾了化肥的速效性和有机

肥养分的缓慢长效性,两者结合可满足作物的营养生长需要,同时获得高产^[21-22]。本试验中,采用7.5 t·hm⁻²和15 t·hm⁻²的有机肥替代量,即30%和60%左右的总养分被有机肥替代,与全化肥处理相比,柑橘的产量明显提升。这表明采用一部分的有机肥替代速效性化肥,可实现养分的快慢均衡供给,可以较好地满足柑橘果树对养分的吸收利用,促进产量增加。但替代量15 t·hm⁻²的猪粪有机肥处理产量低于7.5 t·hm⁻²替代处理,其原因可能是相较于鸡粪有机肥,猪粪有机肥因分解速度较慢,高用量替代时不能及时满足柑橘生长前期所需的养分。猪粪和鸡粪有机肥不仅含有丰富的有机质及氮、磷、钾养分,还有一定的中微量元素,养分齐全有助于柑橘生长和产量提升。一些研究发现,果园土壤有机质含量及中微量元素的增加,有助于提高果实中可溶性固形物的含量,改善果实营养品质,同时使产量增加^[25-27]。本研究通过有机肥替代化肥提高了土壤有机质的含量,对柑橘产量和品质的提升效果与其研究结果相一致。

微生物是土壤有机质和一些难溶矿物养分的主要分解者,可促进土壤中大中量养分和微量元素的循环,也是作物营养物质源和库周转的重要环节^[19]。土壤微生物对土壤养分的迁移及周转平衡具有非常重要的调节功能。本研究表明,鸡粪和猪粪有机肥替代部分化肥的有机替代模式对土壤微生物多样性有着较大的影响,通过促进健康土壤的培育,进而影响柑橘产量和品质。鸡粪和猪粪有机肥含有较多的活性有机质,如蛋白质、氨基酸、纤维素等,施用后为土壤微生物快速生长繁殖提供了丰富的活性碳源,提高微生物群落种类和数量,并通过改善柑橘果树根系生长的土壤微域环境,造就强壮、密集的地下根系,加强了果树对土壤养分的吸收利用^[28]。本试验取土采样时观察到,施用有机肥处理浅表层根系较全化肥处理大量增加且密集分布。另外,根系土壤中微生物的代谢分泌物(如有机酸)可以活化利用微量元素,促进各种营养元素的吸收,柑橘作物地上部生长旺盛,光合效率加强,碳水化合物的转运积累加快,而且抗病性也显著增强,从而明显改善果实的品质和提高产量^[29-30]。本研究中鸡粪有机肥和猪粪有机肥均可提高土壤微生物多样性、均匀度和土壤平均CO₂产生率,表明有机肥替代施用可增加土壤微生物的群落种类及数量,营造良好的微生态环境,促进柑橘果树的生长和养分吸收利用。本研究表明,在柑橘果园采用30%和60%左右的氮磷钾总养分替代,可提高土壤有

机质和养分含量,促进土壤微生物的繁殖,营造健康土壤环境,从而改善柑橘果实品质、提高产量。

4 结论

(1)与全化肥处理相比,柑橘园施用有机肥后土壤酸化得到改善,全氮、有效磷、速效钾和有机质含量分别提高16.1%~54.7%、15.9%~30.1%、12.9%~36.9%和6.8%~39.6%。采用鸡粪和猪粪有机肥部分替代化肥可明显提升橘园土壤肥力,且猪粪有机肥提升土壤肥力效果优于鸡粪有机肥。

(2)有机肥的施用有利于增强橘园土壤微生物种群数量和活性,随鸡粪和猪粪有机肥替代量增加,土壤微生物的多样性和均匀度提高,且猪粪有机肥的提升效果优于鸡粪有机肥。

(3)采用有机肥部分替代化肥可使柑橘产量提高,品质指标改善,果实中可溶性总糖、维生素C、可溶性固形物等含量增加,7.5 t·hm⁻²猪粪有机肥替代量时柑橘产量最高,而15 t·hm⁻²猪粪有机肥替代量时果实品质最好。

参考文献:

- [1] 郭文武,叶俊丽,邓秀新. 新中国果树科学研究70年:柑橘[J]. 果树学报, 2019, 36(10):1264-1272. GUO W W, YE J L, DENG X X. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: citrus[J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36(10):1264-1272.
- [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. LEI J, LIANG S S, TAN Q L, et al. NPK fertilization rates and reducing potential in the main citrus producing regions of China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2019, 25(9):1504-1513.
- [3] 曹胜,欧阳梦云,周卫军,等. 湖南省柑橘园土壤pH和主要养分特征及其相互关系[J]. 中国土壤与肥料, 2020(1):31-38. CAO S, OUYANG M Y, ZHOU W J, et al. Soil pH and main nutrients of citrus orchard in Hunan Province and their relationship[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2020(1):31-38.
- [4] 位高生,胡承孝,谭启玲,等. 氮磷减量施肥对琯溪蜜柚果实产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(2):471-478. WEI G S, HU C X, TAN Q L, et al. The effect of nitrogen and phosphorus fertilizer reduction on yield and quality of Guanxi pomelo[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(2):471-478.
- [5] 王甜,黄志霖,曾立雄,等. 不同施肥处理对三峡库区柑橘园土壤氮磷淋失影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(5):53-57. WANG T, HUANG Z L, ZENG L X, et al. Effects of different fertilization on nitrogen and phosphorus leaching of citrus orchard soil in the Three Gorges Reservoir area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(5):53-57.
- [6] 刘瑞,张宇亭,王志超,等. 绿肥覆盖对紫色土坡耕地柑橘园氮磷流失的阻控效应研究[J]. 水土保持学报, 2021, 35(2):68-74. LIU R, ZHANG Y T, WANG Z C, et al. Control effect of green manure cover on nitrogen and phosphorus loss of citrus orchard on purple soil slope farmland[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2021, 35(2):68-74.
- [7] MARTÍNEZ-ALCÁNTARA B, QUIÑONES A, FORNER-GINER M A, et al. Impact of fertilizer-water management on nitrogen use efficiency and potential nitrate leaching in citrus trees[J]. *Soil Science & Plant Nutrition*, 2012, 58(5):659-669.
- [8] FAN M, SHEN J, YUAN L, et al. Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2011, 63(1):13-24.
- [9] 裴宇,伍玉鹏,张威,等. 化肥减量配合有机替代对柑橘果实、叶片及橘园土壤的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(4):88-95. PEI Y, WU Y P, ZHANG W, et al. Effects of chemical fertilizer reduction combined with organic substitution on citrus fruit, leaf and soil[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2021(4):88-95.
- [10] 陈大超,张跃强,甘涛,等. 有机肥施用量及深度对柑橘产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(4):143-147. CHEN D C, ZHANG Y Q, GAN T, et al. The response of citrus yield and quality to application of organic fertilizer with different depths and rates[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2018(4):143-147.
- [11] 李荣飞,王明明,杨艺,等. 不同施肥处理对龙安柚果实产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(10):60-68. LI R F, WANG M M, YANG Y, et al. Effects of different fertilization treatments on fruit yield and quality of *Citrus grandis* var. *longanyou*[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(10):60-68.
- [12] 冯焕德,党志国,倪斌,等. 羊粪发酵肥替代化肥对芒果园土壤性状、叶片营养及果实品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(6):190-195. FENG H D, DANG Z G, NI B, et al. Effects of sheep manure fermentation fertilizer on soil properties, leaf nutrition and fruit quality in mango orchard[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2019(6):190-195.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000. LU R K. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [14] CAMPBELL C D, CHAPMAN S J, CAMERON C M, et al. A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(6):3593-3599.
- [15] 胡冬妮,董志新,朱波. 有机肥替代化肥对紫色土坡耕地氮素流失的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(3):431-440. HU D N, DONG Z X, ZHU B. Impact of substitution of synthetic nitrogen fertilizer with organic fertilizers on nitrogen loss from sloping cropland of purple soil[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2022, 30(3):431-440.
- [16] 王红霞,周建斌,雷张玲,等. 有机肥中不同形态氮及可溶性有机碳在土壤中淋溶特性研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4):1364-1370. WANG H X, ZHOU J B, LEI Z L, et al. Leaching of different forms of nitrogen and dissolved organic carbon of organic ma-

- nure in soil column[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(4): 1364–1370.
- [17] LIANG B, YANG X, HE X, et al. Long-term combined application of manure and NPK fertilizers influenced nitrogen retention and stabilization of organic C in loess soil[J]. *Plant and Soil*, 2012, 353: 249–260.
- [18] 张康宁, 俞巧钢, 叶静, 等. 有机替代对农田土壤肥力及氮磷流失的影响[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(7): 1154–1158. ZHANG K N, YU Q G, YE J, et al. Effects of organic substitution on farmland soil fertility and nitrogen and phosphorus loss[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2019, 60(7): 1154–1158.
- [19] 任凤玲, 张旭博, 孙楠, 等. 施用有机肥对中国农田土壤微生物量影响的整合分析[J]. 中国农业科学, 2018, 51(1): 119–128. REN F L, ZHANG X B, SUN N, et al. A meta-analysis of manure application impact on soil microbial biomass across China's croplands[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(1): 119–128.
- [20] 韩建, 尹兴, 郭景丽, 等. 有机肥施用对红地球葡萄产量、品质及土壤环境的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(1): 131–142. HAN J, YIN X, GUO J L, et al. Effects of manure application on yield and quality of red globe grape and soil environment[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2020, 26(1): 131–142.
- [21] DEMELASH N, BAYU W, TESFAYE S, et al. Current and residual effects of compost and inorganic fertilizer on wheat and soil chemical properties[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2014, 100(3): 357–367.
- [22] 吕凤莲, 侯苗苗, 张弘弢, 等. 壤土冬小麦-夏玉米轮作体系有机肥替代化肥比例研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 22–32. LÜ F L, HOU M M, ZHANG H T, et al. Replacement ratio of chemical fertilizer nitrogen with manure under the winter wheat–summer maize rotation system in Lou soil[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(1): 22–32.
- [23] 奚振邦, 王寓群, 杨佩珍. 中国现代农业发展中的有机肥问题[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 1874–1878. XI Z B, WANG Y Q, YANG P Z. The issue on organic manure in developing modern agriculture in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(12): 1874–1878.
- [24] 周建斌. 作物营养从有机肥到化肥的变化与反思[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1686–1693. ZHOU J B. Reconsideration of the changes of plant nutrition from organic fertilizers to chemical fertilizers[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23(6): 1686–1693.
- [25] 谢凯, 宋晓晖, 董彩霞, 等. 不同有机肥处理对黄冠梨生长及果园土壤性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 214–222. XIE K, SONG X H, DONG C X, et al. Effects of different organic fertilizers on tree growth and soil property in Huangguan pear orchard[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(1): 214–222.
- [26] SAS-PASZT L, PRUSKI K, ZURAWICZ E, et al. The effect of organic mulches and mycorrhizal substrate on growth, yield and quality of Gold Milenium apples on M.9 rootstock[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2014, 94(2): 281–291.
- [27] MARATHE R A, SHARMA J, MURKUTE A A, et al. Response of nutrient supplementation through organics on growth, yield and quality of pomegranate[J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 214: 114–121.
- [28] BALDI E, TOSELLI M, MARANGONI B. Nutrient partitioning in potted peach (*Prunus persica* L.) trees supplied with mineral and organic fertilizers[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2010, 33: 2050–2061.
- [29] ROAN S F, NEE W T, CHENG S H. Effects of organic fertilizer dosage and sod culture on soil reaction, organic matter and available nutrients content of a 'Tankan' (*Citrus tankan*) orchard[J]. *Acta Horticulturae*, 2008, 773: 83–88.
- [30] ASLANTAS R, CAKMAKCI R, SAHIN F. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions[J]. *Scientia Horticulturae*, 2007, 111: 371–377.