

沼肥深施对果园土壤性质及柑橘产量的影响

陈霞¹, 罗友进¹, 吴纯清¹, 高明², 谢永红¹

(1. 重庆市农业科学院, 重庆 401329; 2. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

摘要: 以紫色丘陵区柑橘园为研究对象, 采用机械化深松, 并根据深松沟的数量灌施沼肥(每增加一条深松沟增施 45 t/hm² 沼肥), 研究沼肥深施对柑橘园土壤水稳定性团聚体、土壤养分和柑橘产量的影响, 以期对柑橘园合理施用沼肥提供科学依据。试验设置 5 个处理: (1) CK; 单施化肥; (2) T0: 未深松+沼肥 45 t/hm²; (3) T2: 2 条深松沟+沼肥 135 t/hm²; (4) T3: 3 条深松沟+沼肥 180 t/hm²; (5) T5: 5 条深松沟+沼肥 270 t/hm²。结果表明, 沼肥施用提高了土壤中 0.25~2 mm 水稳定性团聚体的数量, 降低了<0.25 mm 微团聚体的数量, 且随着深松沟和沼肥施用量的增加, 2~5 mm 水稳定性大团聚体数量显著提高; 在 0~20 cm 土层中, T3、T5 的团聚体平均重量直径(MWD)分别较 CK 和 T0 提高了 27.6%~29.9% 和 12.2%~14.2%。0~20 cm 土层中各处理有机质、全氮、全磷含量均高于其他两个土层。在 0~20 cm 土层, T3、T5 的有机质含量较 CK 和 T0 分别提高了 1.46~2.90 g/kg 和 5.00~6.44 g/kg。T5 显著提高了各土层的全氮含量; T3、T5 能显著提高 0~20 cm 和 20~40 cm 土层的全磷含量以及 20~40 cm 土层全钾含量。2014~2015 年 T3、T5 均较 CK 显著提高了试验果园的柑橘产量, 平均产量分别为 3.57×10⁴, 3.66×10⁴ kg/hm², 平均增产 4.20%, 7.02%; 各处理固酸比表现为 T3>T5>T2>T0>CK; T5 显著提高了 Vc 含量 4.39, 4.48 g/100 ml。丘陵区果园行间深施 180~270 t/hm² 沼肥不但能改良土壤结构和提高养分含量, 而且持续 2 年提高果实产量及品质, 确保了柑橘生产的可持续发展。研究结果为沼肥深施提高土壤肥力以及果树产量、果园肥水合理化管理提供科学依据。

关键词: 沼肥深施; 柑橘果园; 土壤肥力; 产量; 品质

中图分类号: S141.2; S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)05-0177-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2016.05.030

Effects of Biogas Fertilizer Deep Application on Soil Properties and Yield of Citrus Orchard

CHEN Xia¹, LUO Youjin¹, WU Chunqing¹, GAO Ming², XIE Yonghong¹

(1. Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329; 2. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract: This case taken citrus garden in purple hilly area as the research object, using mechanical deep loosening method, according to the number of ditch irrigation biogas fertilizer (one subsoiling ditch nitrogen 45 t/hm² biogas fertilizer), we researched the effects of biogas fertilizer deep application in citrus orchards soil aggregates, soil nutrient and yield of citrus. We set 5 pieces of experiment treatment: (1) CK: only fertilizer application; (2) T0: no subsoiling + biogas fertilizer 45 t/hm²; (3) T2: 2 subsoiling + biogas fertilizer 135 t/hm²; (4) T3: 3 subsoiling + biogas fertilizer 180 t/hm², (5) T5: 5 subsoiling + biogas fertilizer 270 t/hm². Results showed that: Biogas fertilizer improved the number of soil in 0.25~2 mm water stable aggregates, reduced the < 0.25 mm microaggregate number and 2~5 mm water stable aggregate amount significantly increased with increase of subsoiling ditch and biogas fertilizer application amount. In the 0~20 cm soil layer T3 and T5 treatment aggregate mean weight diameter (MWD) respectively, compared to the control treatment and biogas fertilizer without T0 treatment improved the 27.6%~29.9% and 12.2%~14.2%. The content of organic matter, total nitrogen and total phosphorus in 20 cm soil layer was higher than that of 20~40 cm and 40~60 cm. In 0~20 cm soil layer, soil organic matter content of the T3 treatment were increased 1.46~2.90 g/kg and 5.00~6.44 g/kg compared with the soil organic matter content of

收稿日期: 2016-05-26

资助项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD14B18)

第一作者: 陈霞(1981—), 女, 硕士, 主要从事果树生态及土壤肥力保持研究。E-mail: 35257716@qq.com

通信作者: 谢永红(1968—), 男, 硕士, 研究员, 主要从事果树栽培及土壤学研究。E-mail: cqxieyh@hotmail.com

CK and T0. The biogas fertilizer deep application of T5 treatment significantly increased the contents of soil total nitrogen. T3 and T5 treatment could significantly improve the total phosphorus content of 0—20 cm and 20—40 cm and total potassium content of 20—40 cm soil. Compared with conventional fertilization (CK), T3 and T5 treatment significantly improved the yield of citrus in the test orchard, and the average yield were 3.57×10^4 , 3.66×10^4 kg/hm² in 2014—2015, the average yield increased 4.20% and 7.02%; Each biogas fertilizer (T0,T2,T3,T5) was significantly higher than the solid acid of CK, the ratio of solid acid level of performance are T3>T5>T2>T0>CK. T5 treatment significantly increased the content of Vc, two years were increased 4.39, 4.48 g/100 ml respectively. Hilly orchard rows deep application biogas fertilizer (180~270 t/hm²) not only could improve soil structure as well as the nutrient content, but also improved the yield and fruit quality for 2 years, so that it can ensure the sustainable development of citrus production. The results provide a scientific basis for improving soil fertility and fruit yield, orchard fertilizer rational management.

Keywords: biogas fertilizer deep application; citrus orchard; soil fertility; yield; quality

施肥是提高作物产量与品质、改善土壤肥力的重要技术措施^[1-3]。Stewart 研究指出,施肥对作物产量的贡献率在 30%~50%间^[4]。沼肥作为一种公认的高产、高效、质优价廉、无污染、无公害的速效水肥,是农业废弃物如畜禽粪便、作物秸秆等在沼气池内经厌氧发酵产生的液态残留物,其富含 N、P、K、有机质和矿物质等多种作物生长发育所需的水溶性营养成分。国内外诸多研究表明,施用沼肥不仅可以明显促进土壤有机质的积累、提高土壤的 pH 值且趋于中性,而且还能增强土壤中 N、P、K、S 等元素的有效性,调节土壤中的水、肥、气、热等状况,最终促进土壤生态环境的良性循环,提高作物产量,改善作物品质。郑学博等^[5]通过沼肥化肥配施定位试验研究指出红壤旱地花生产区沼液化肥均衡配施(30%)既显著提高花生产量、减少化肥施用量,又可以提高土壤养分库,增加土壤有机质和活性有机质含量;同时沼液的施用也能可以平衡土壤中各营养元素,提高小麦产量、土壤有机碳矿化和氨氧化潜力^[6-7]。同时也有研究发现,虽然长期施用沼液有利于土壤微生物生长和酶活性提高,但对土壤质量存在潜在危险^[8]。在果树应用中,沼液灌溉能够显著提高荔枝果园土壤有机质含量,改善土壤理化性质,提高土壤肥力水平;施用沼肥,荔枝的单果重、可溶性固形物、总糖含量明显增加,可滴定酸显著降低,品质得到显著改善^[9]。而我国传统栽培模式下,农户对肥料的过量投入普遍,肥料利用率低下现象突出,尤其施氮量的增加导致土壤中 N 的淋失严重,最终导致淋洗到地下水,造成环境污染^[10]。合理的施肥方式是以提高水肥利用效率,增加作物产量,避免增加环境污染负荷为准绳的。史晓楠等^[11]研究发现,施肥深度决定肥料浓度峰值的位置,而对浓度值本身无显著影响,深施在作物根系生长区可以更有效地发挥肥效。肥料深施、秸秆深还

皆有利于提高作物对肥料/秸秆的利用率^[12-13]。苏志峰等^[14]采用根管土柱法,研究指出当年生土棉花根—冠—土系统协调发展的最佳施肥方式是 40—60 cm 土层单施有机肥或配施 NPK 肥。而果树不同于普通农作物,较长的生育期及各自的树体类型决定了其特定土壤微域环境,同时频繁的各项栽培措施(施肥方式和栽培管理)对各土层的影响也明显大于林木等环境条件下土壤的变化。钟必凤等^[15]以梨园为研究对象,指出高压节水深施技术能有效提高深层土壤(30—60 cm)N 和 P 等养分含量,但对土壤有机质和有效磷影响不大;高压节水深施技术能显著提高浅层(0—30 cm)土壤脲酶、蛋白酶和蔗糖酶活性,但对浅层土壤多酚氧化酶和过氧化氢酶影响不大;节水深施,耕作对表层土壤的影响减少,土壤中菌落分布层次往下推移,出现新的分布形式。

综上所述,前人关于沼肥施用的研究主要集中于大田作物,深施的研究主要集中于化肥和秸秆深还,而有关果园沼肥深施研究则鲜见报道。因此,本文以沼肥深施试验果园(柑橘)为研究对象,研究沼肥深施对其土壤肥力以及果树产量影响,为果园肥水合理化管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

重庆江津示范基地柑橘果园,位于重庆市江津区先锋镇仙池坝(29°13'N,106°17'E),属于丘陵地貌,平均海拔高度 295 m。该柑橘果园土壤为紫色壤土,由沙溪庙组母质风化而成,土层厚度 65 cm 以上。土壤的基本理化性质:pH 6.32,有机质含量 1.03 g/kg,全氮 0.88 g/kg,碱解氮 76.8 mg/kg,全磷 0.26 g/kg,速效磷 38.7 mg/kg,全钾 15.2 g/kg,速效钾 125.3 mg/kg。本试验在其园区内土壤地质均一、地形一致的地块进行,供试果树为 10 年生渝红橙/枳橙砧柑橘品种。

1.2 供试材料

供试沼肥为江津试验基地养猪场猪粪—秸秆混合原料沼气发酵后,经沼渣泵剪切匀浆调配成干物质含量15%的液态沼肥。沼肥的养分含量分别为:有机质含量68.5 g/kg,全氮5.24 g/kg,全磷1.85 g/kg,全钾3.08 g/kg。供试肥料为柑橘专用复合肥(氮—磷—钾配比18—8—16),购买于九禾股份有限公司。

1.3 试验设计

果园系统沼肥深施试验于2014年3月上旬开展。试验小区面积为9 m×50 m,果树种植株行距3 m×3 m,各小区间以60 cm排水沟隔离。深松作业采用翼铲式深松机,翼铲入土深度>30 cm,深松行间距50 cm,翼铲数2~5可调节,工作幅宽200 cm,试验设置5个处理:(1)CK:单施柑橘专用复合肥(500 kg/hm²);(2)T0:果园行间未深松+沼肥灌溉45 t/hm²(沼肥直灌);(3)T2:果园行间2条深松沟+沼肥灌溉135 t/hm²; (4)T3:果园行间3条深松沟+沼肥灌溉180 t/hm²; (5)T5:果园行间5条深松沟+沼肥灌溉270 t/hm²;每个处理3次重复,共15个试验小区,随机区组排列。各处理在春梢萌发期和壮果期均施用柑橘专用复合肥追肥;柑橘生长过程中各小区独立排灌,其他生产管理方式保持一致。

1.4 样品采集和处理

2014年12月中旬和2015年12月中旬果实成熟期测定小区产量,采取随机抽样法抽取20个果实进行品质分析。待柑橘成熟收获后,于2016年2月中旬采集土壤样品,每个小区设置3个采样点,于树冠边缘垂直下方,分别采集0—20,20—40,40—60 cm 3个土层的原状土样,同一土层的土样采用四分法均匀混合成1个样品,约2 kg;为避免破坏团聚体,在采集和运输过程中尽量减少对土样的扰动。一部分土样在室温风干过程中用手沿土壤结构的自然裂隙掰成直径约1 cm的小土块,剔除砂砾及作物细根,过5,2,0.25 mm筛用于土壤水稳定团聚体测定;其余部分自然风干后用于土壤有机质、全氮、全磷、全钾含量测定分析。

1.5 分析方法

土壤养分采用常规测定方法:全氮采用半微量凯氏定氮法;全磷采用钼锑抗比色法;全钾采用氢氟酸—高氯酸消煮、火焰光度计法测定;土壤有机质的采用重铬酸钾—硫酸外加热法测定;土壤pH采用电位法测定。

果实固形物含量采用手持折光仪测定;果实总糖含量采用盐酸水解,斐林试剂滴定法测定;柠檬酸含量采用氢氧化钠滴定法测定;维生素C(Vc)含量采用2%草

酸溶液提取,0.1% 2,6—二氯酚靛酚滴定法测定。

水稳定性团聚体分别采用湿筛法分离出>5,2~5,0.25~2,<0.25 mm的团聚体。用 W_i 表示第*i*级团聚体重量所占的比例,计算公式如下:

$$W_i = \frac{w_i}{w_t} \times 100\% \quad (1)$$

式中: w_i 为第*i*级团聚体的重量(g); w_t 为各粒级团聚体重量总和(g)。

团聚体平均重量直径(MWD)计算公式如下:

$$MWD = \sum_{i=1}^n \overline{x_i} w_i \quad (2)$$

式中: $\overline{x_i}$ 为某级团聚体的平均直径(mm); w_i 为某级团聚体重量百分比(%)。

1.6 数据处理

试验数据的统计分析采用SPSS 19.0统计软件进行数据处理,图表采用Excel 2010制作。

2 结果与分析

2.1 沼肥深施对柑橘园土壤团聚体的影响

2.1.1 沼肥深施对柑橘园土壤水稳定性团聚体分布特征的影响 沼肥深施处理的果园土壤水稳定性团聚体分布特征存在差异。从表1可以看出,不同土层(0—20,20—40,40—60 cm)的土壤水稳定性团聚体含量均以>5 mm团聚体为主,为39.53%~53.75%,且明显高于其他粒径含量($P<0.05$)。在0—20 cm土层中,T3的>5 mm水稳定性团聚体含量最高,较CK增加了9.20,其次为T5;且T3和T5的优势粒径为>5 mm和2~5 mm,其中>5 mm团聚体含量均高于50%。20—40 cm土层中,各处理的>0.25 mm水稳定性团聚体含量表现为T5>T3>T0>T2>CK,其中T5的优势粒径为>5 mm和2~5 mm,两种粒径的含量达到了72.90%。40—60 cm土层中,T5的>5 mm团聚体含量最大,较CK增加了8.70。总体上沼肥的施用提高了>0.25 mm水稳定性团聚体含量,减少了微团聚体<0.25 mm的含量,且随着深松沟和沼肥施用量的增加,显著增加了2~5 mm水稳定性团聚体含量。

从土壤水稳定性团聚体含量在各土层间分布特征看,单施化肥(CK)的各土层主要以>5 mm和<0.25 mm水稳定性微团聚体为优势粒径,其中40—60 cm土层由于受到外界干扰较少,团聚体破坏少,故40—60 cm土层的<0.25 mm水稳定性团聚体含量最少,较其他土层减少了0.52~2.19,>5 mm水稳定性团聚体含量最多,较其他2个土层增加了2.64~5.52。直灌沼肥(T0)0—20 cm土层的<0.25 mm水稳定性微团聚体含量最高,较20—40 cm和40—60 cm分别增加了1.90和1.43;除T2处理20—40 cm土层的

<0.25 mm水稳定性微团聚体含量增加外,T3、T5三个土层的<0.25 mm水稳定性微团聚体含量较T0均下降,其中T5的0—20 cm的含量最低,仅为

7.80%,这说明虽然深松对20—40 cm团聚体有破坏,但是施用沼肥处理较CK提高了20—40 cm土层的大团聚体稳定性。

表 1 沼肥深施处理下各土层土壤水稳定性团聚体分布特征 %

土层/cm	处理	>5 mm	2~5 mm	0.25~2 mm	<0.25 mm
0—20	CK	42.41±3.20aB	10.68±1.61dD	16.77±1.75cCD	30.14±2.39bA
	T0	47.35±1.94aAB	13.66±1.57cC	22.51±2.11bB	16.48±2.48cB
	T2	45.88±1.58aAB	15.44±0.87cC	25.60±1.23bA	13.07±1.37cBC
	T3	51.61±1.30aA	20.93±1.50bB	18.58±0.97bC	8.88±3.71cC
	T5	50.85±4.81aA	26.16±1.80bA	15.19±0.50cD	7.80±3.18dC
20—40	CK	39.53±2.99aC	13.66±1.53dB	18.34±1.01cCD	28.47±2.77bA
	T0	43.05±1.93aABC	15.23±2.42cB	27.14±1.59bA	14.58±2.60cC
	T2	41.82±1.08aBC	15.32±1.01dB	20.12±1.37cC	22.74±0.78bB
	T3	47.97±0.37aAB	17.28±1.03cB	23.37±1.11bB	11.38±2.49dC
	T5	49.11±5.13aA	23.79±1.52bA	17.26±1.04cD	9.85±3.11dC
40—60	CK	45.05±3.55aB	11.31±1.86cC	15.69±1.52cC	27.95±3.51bA
	T0	51.05±2.38aAB	14.49±2.09cB	19.42±1.00bB	15.05±1.68cB
	T2	49.27±2.07aAB	20.51±0.86bA	19.20±1.33bB	11.03±0.74cB
	T3	47.32±2.03aAB	19.10±2.00cA	24.29±1.79bA	9.29±1.78dB
	T5	53.75±3.82aA	19.23±1.39bA	14.88±0.84bC	12.14±5.71bB

注:不同小写字母表示同一处理同一土层不同粒级间存在着显著性差异, $P<0.05$;不同大写字母表示同一土层同一粒级不同处理间存在着显著性差异, $P<0.05$ 。

2.1.2 沼肥深施对柑橘园土壤水稳定性团聚体平均重量直径(MWD)的影响 土壤水稳定性团聚体平均重量直径(MWD)作为土壤团聚体状况的指标之一,其值越大表示土壤的团聚度越高,团聚体稳定性就越强,土壤抗侵蚀能力越强。如图1所示,与CK相比,沼肥深施处理中MWD在所有土层均有显著提高。同一土层在不同处理间的MWD存在差异,在0—20 cm土层中,T5和T3的MWD明显高于T2、T0和CK($P<0.05$),分别较CK和T0提高了27.6%~29.9%和12.1%~14.2%;在20—40 cm土层中,各处理的MWD大小表现为T5>T3>T0>T2>CK,其中T5的MWD最高,为4.72 mm,其次为T3(4.48 mm);在40—60 cm土层中,沼肥处理(T0、T2、T3、T5)的MWD明显比CK增加了0.52~0.90 mm,但各沼肥处理间差异不显著($P<0.05$),可见施用沼肥能提高土壤团聚体稳定性,其中T5效果最佳。同一处理在不同土层间的MWD也存在不同,在高量沼肥深施处理下(T3、T5),0—20 cm土层的MWD值最高,其次为40—60 cm,而低中量沼肥处理(T0、T2)的MWD最高值分布在40—60 cm土层中,其次为0—20 cm。总体上,沼肥深施可以提高土壤团聚体稳定性,其中大量沼肥深施处理(T3、T5)对0—20 cm土层的团聚体水稳定性提高效果较佳。

2.2 沼肥深施对柑橘园土壤有机质和全氮、全磷、全钾含量的影响

沼肥深施对土壤有机质、全氮(全N)、全磷(全P)和全钾(全K)的影响见图2。对土壤中有机质含量而言,在0—20 cm土层中,各处理的土壤有机质含

量表现为T3>T5>T2>T0>CK,其中T3、T5和T2之间无显著性差异,但明显高于CK和T0,分别较二者显著提高了5.00~6.44 g/kg和1.46~2.90 g/kg($P<0.05$)。在20—40 cm土层,各试验处理的有机质含量为7.77~12.87 g/kg,明显低于0—20 cm土层;其中T3和T5的有机质较高,超过了12 g/kg,明显高于T2、T0和CK。40—60 cm土层中有机质含量较其他两个土层低,其中T5的有机质含量最高,为8.50 g/kg,明显高于其他处理。可见沼肥深施各处理都能不同程度提升0—20,20—40 cm土层中土壤有机质含量,特别是T5对各土层有机质含量提升效果最佳。

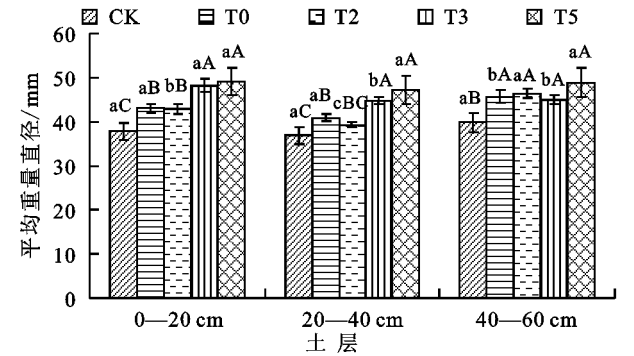


图 1 沼肥深施处理下各层土壤水稳定性团聚体平均重量直径

注:不同小写字母表示同一处理不同土层存在着显著性差异, $P<0.05$;不同大写字母表示同一土层不同处理间存在着显著性差异, $P<0.05$ 。下同。

如图2所示,在整个试验过程中,各试验处理的土壤全N均表现为0—20 cm含量最高(0.82~1.05 g/kg),其次为20—40 cm土层(0.64~0.86 g/kg)和40—60 cm土层(0.53~0.67 g/kg)。在0—20 cm

土层中,随着沼肥施用量的增加,各沼肥处理(T0、T2、T3、T5)的全 N 含量较 CK 分别提高了 26.0%, 15.0%, 16.7% 和 28.4%, 其中 T0 和 T5 较 CK 有显著性提高。20—40 cm 土层,与 CK 相比,仅 T3 和 T5 的全 N 显著提高了 34.9% 和 29.7%, 其他沼肥处理差异不显著,可见对于土壤亚表层而言,深松配

合一定量的沼肥才能显著提高土壤全 N 含量。40—60 cm 土层,仅 T5 的全 N 含量较 CK 显著提高了 25.8%, 其他沼肥处理较 CK 无显著性差异,这说明随着土层深度的加深,低中量的沼肥施用(T0、T2)对土壤全 N 含量提升效果减弱,而 T5 对 3 个土层土壤全 N 含量的提升效果最佳。

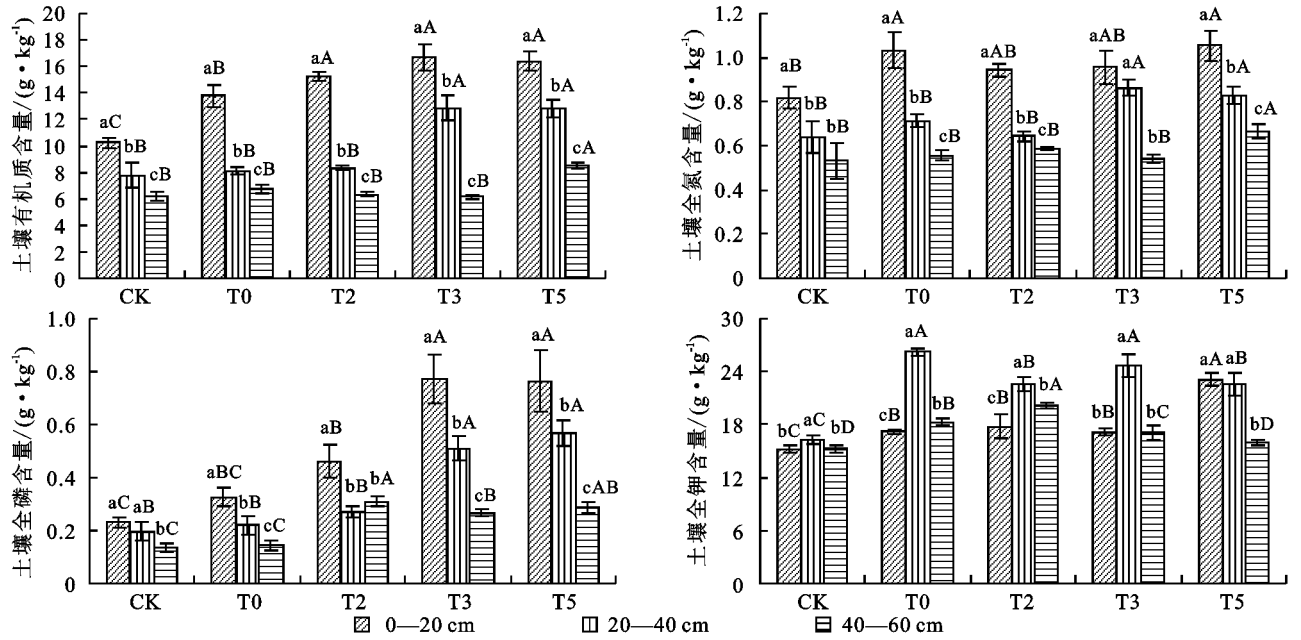


图 2 沼肥深施处理下各层土壤有机质和全氮、全磷、全钾含量

各试验处理的土壤全 P 含量分布差异较大,从图 2 可以看出,各土层的全 P 含量仍表现为 0—20 cm (0.23~0.77 g/kg) > 20—40 cm (0.20~0.57 g/kg) > 40—60 cm (0.14~0.29 g/kg)。大量沼肥深施处理(T3 和 T5)显著提高了 0—20 cm 和 20—40 cm 土层的全 P 含量,其中较 CK 分别提高了 231.8%~236.2% (0—20 cm) 和 155.0%~183.3% (20—40 cm), 同时比 T0 显著提高了 133.7%~136.7% (0—20 cm) 和 131.8%~157.6% (20—40 cm)。随着土壤深度的加深,在 40—60 cm 土层中,沼肥深施处理(T2、T3、T5)的土壤全 P 含量显著提高了 90.5%~121.4%, 而 T0 与 CK 差异不显著。

各试验处理的土壤全 K 含量的变化与有机质、全 N、全 P 存在差异。20—40 cm 土层的土壤全 K 含量(16.30~26.27 g/kg)大部分明显高于 0—20 cm 和 40—60 cm 土层中的含量。0—20 cm 土层,T5 的土壤全 K 含量最高,达到了 23.10 g/kg,明显高于其他处理。20—40 cm 土层,沼肥处理的土壤全 K 含量比对照 CK 显著提高了 38.6%~61.1%, 其中 T0 和 T3 效果较佳,其次为 T5。

综上所述,沼肥处理可以提高整个土层的土壤有机质含量、全 N、全 P 和全 K 含量,其中沼肥深施,特别是大量沼肥深施处理(T3、T5)均能显著提高土壤各土层的有机质、全 N 和全 P 含量。

2.3 沼肥深施对柑橘产量和品质的影响

各试验处理的柑橘产量见表 2。2014—2015 年试验果园各处理的柑橘平均产量趋势表现为 T5 > T3 > CK > T2 > T0, 其中 T3、T5 都能显著提高柑橘产量,平均产量分别为 3.57×10^4 , 3.66×10^4 kg/hm², 较 CK 平均增产 4.20%, 7.02%; T0 则显著降低了试验果园的柑橘产量,较 CK 平均减产 27.48%; T2 与 CK 差异不显著。可见大量沼肥深施处理(T3、T5)能显著提高柑橘产量,低中量的沼肥施用(T0、T2)不能满足或者仅能满足柑橘植株自身正常生长对养分的需求量,造成柑橘园减产或者产量提升效果不佳。

沼肥深施对柑橘果品质量的影响较大,从表 3 可以看出,2014—2015 年各沼肥处理均能提高试验果园柑橘果实的固形物(TSS)含量,其中 T3、T5 的 2014—2015 年柑橘 TSS 增幅较大,分别比 CK 显著提高了 18.6%~19.4% 和 20.4%~21.6%; 与 CK 相比,施用沼肥能提高柑橘总糖含量,其中 T3、T5 对总糖含量的提升效果较好,2014 年和 2015 年分别显著提高了 1.92, 2.04 g/100 ml 与 2.77, 2.82 g/100 ml; 对柑橘果酸含量而言,与 CK 相比,T3 和 T5 处理 2014 年的果酸显著下降了 0.15, 0.13 g/100 ml, 至第 2 年(2015 年),除 T0 和 T3 的果酸能显著低于 CK 外,其他沼肥处理的果酸含量与 CK 不存在显著差异;沼肥

深施能提高柑橘维生素 C(Vc)含量,其中 T5 处理 2014 年和 2015 年的柑橘 Vc 含量较 CK 显著提高了 4.39,4.48 g/100 ml,而 T0 显著下降了 1.58,1.77 g/100 ml。2014 年和 2015 年各处理的柑橘固酸比表现均为 T3>T5>T2>T0>CK,其中各沼肥处理(T0、T2、T3、T5)固酸比均较 CK 显著提高了

6.4%~37.4%(2014 年)和 10.7%~38.4%(2015 年),且 2015 年各处理的固酸比低于 2014 年。总之,通过连续两年对试验果园的柑橘产量与品质跟踪监测发现,施用沼肥都能不同程度提升柑橘品质,使柑橘风味更加浓郁,但仅有 T3、T5 能同时显著提升柑橘产量和品质。

表 2 沼肥深施下柑橘产量的变化

处理	2014 年		2015 年		2014—2015 年		
	产量/ ($\times 10^4$ kg $\cdot$ hm $^{-2}$)	增产/ %	产量/ ($\times 10^4$ kg $\cdot$ hm $^{-2}$)	增产/ %	平均产量/ ($\times 10^4$ kg $\cdot$ hm $^{-2}$)	平均 增产/ %	变异 系数/ %
CK	3.16 $\pm$ 0.09b	—	3.67 $\pm$ 0.08b	—	3.42 $\pm$ 0.12c	—	3.35
T0	2.46 $\pm$ 0.14c	−22.15	2.50 $\pm$ 0.12d	−31.81	2.48 $\pm$ 0.18b	−27.48	6.99
T2	3.23 $\pm$ 0.10b	2.22	3.47 $\pm$ 0.12c	−5.34	3.40 $\pm$ 0.13c	−0.58	3.61
T3	3.44 $\pm$ 0.13a	8.86	3.70 $\pm$ 0.15b	0.95	3.57 $\pm$ 0.16b	4.20	4.35
T5	3.43 $\pm$ 0.13a	8.54	3.90 $\pm$ 0.14a	6.43	3.66 $\pm$ 0.15a	7.02	3.99

注:不同小写字母表示同一年份不同处理间的显著性差异, $P<0.05$ 。

表 3 2014—2015 年柑橘果园果品质量

年份	处理	TSS/ %	总糖/ (g $\cdot$ 100 ml $^{-1}$)	果酸/ (g $\cdot$ 100 ml $^{-1}$)	Vc/ (g $\cdot$ 100 ml $^{-1}$)	固酸比
2014	CK	10.8 $\pm$ 0.2c	7.93 $\pm$ 0.31e	1.11 $\pm$ 0.06a	40.18 $\pm$ 1.24c	9.73 $\pm$ 0.48c
	T0	11.5 $\pm$ 0.3b	8.33 $\pm$ 0.24d	1.11 $\pm$ 0.05a	38.60 $\pm$ 1.73d	10.35 $\pm$ 0.63b
	T2	11.4 $\pm$ 0.3b	8.93 $\pm$ 0.16c	1.07 $\pm$ 0.03a	40.13 $\pm$ 0.88c	10.65 $\pm$ 0.43b
	T3	12.9 $\pm$ 0.4a	9.85 $\pm$ 0.28b	0.96 $\pm$ 0.03b	42.46 $\pm$ 1.32b	13.37 $\pm$ 0.50a
	T5	13.0 $\pm$ 0.3a	10.70 $\pm$ 0.28a	0.98 $\pm$ 0.02b	44.57 $\pm$ 1.32a	13.30 $\pm$ 0.34a
2015	CK	10.2 $\pm$ 0.2e	7.52 $\pm$ 0.25d	1.11 $\pm$ 0.07a	34.19 $\pm$ 2.37b	9.17 $\pm$ 0.53e
	T0	10.4 $\pm$ 0.2d	8.07 $\pm$ 0.20c	1.02 $\pm$ 0.05b	32.42 $\pm$ 2.21c	10.15 $\pm$ 0.54c
	T2	11.4 $\pm$ 0.2c	7.86 $\pm$ 0.28cd	1.07 $\pm$ 0.05a	34.66 $\pm$ 1.37b	10.51 $\pm$ 0.46c
	T3	12.1 $\pm$ 0.2b	9.56 $\pm$ 0.62b	0.90 $\pm$ 0.03c	35.69 $\pm$ 1.44b	12.69 $\pm$ 1.35a
	T5	12.4 $\pm$ 0.1a	10.34 $\pm$ 0.43a	1.12 $\pm$ 0.09a	38.67 $\pm$ 1.31a	11.79 $\pm$ 1.53b

注:不同小写字母表示同一年份不同处理间的显著性差异, $P<0.05$ 。

3 讨论

深松能打破犁底层减小根系穿透阻力,提高土壤蓄水能力,扩大根系的生长空间,改善根系的生态条件,持续保持作物产量^[16-17]。本试验条件下,深松对果树根际的肥水分布起到明显的渗透调节作用,随着深松铲数量的增加,能有效打破犁底层后保障肥水在柑橘整个根层分布范围内均匀分布,实现沼肥有机质向果园土壤深层输送,达到良好的果园施肥效果。

沼肥的施用有利于土壤有机—无机复合物和团聚体的形成,改善土壤结构^[18],这是因为沼肥施入土壤后,经腐解作用,产生了能与土壤粒状表明或氢氧聚合物表面的多价金属离子相结合形成有机—无机复合物的羧基一类的配位体,有机—无机复合物的形成有利于土粒之间相互结合而形成团聚体,经脱水后逐渐稳定^[19]。本试验中,施用沼肥后,在沼肥参与下,土粒团聚作用增加,形成了疏松多孔的水稳定性团聚体,因此沼肥处理的土壤大团聚体>0.25 mm 含量增加,特别是沼肥深施处理(T2、T3、T5)各土层的大团聚体>0.25 mm 得到显著提高。机械深松对 20—40 cm 土层的团聚体有破坏,但施用沼肥较 CK

提高了 20—40 cm 土层中大团聚体的稳定性。李建军等^[20]对沼肥在果树生产中的综合应用研究表明,沼肥施用使果树园土壤的水稳性团粒提高了 8.5%~20.5%,这与本研究结果相一致。

长期施用沼肥可以提高有机质总量和易氧化有机碳含量^[20]。谢勇等^[21]研究表明,在一定施用年限内,随着沼渣施用年限的增加,土壤中有机碳含量明显提高,特别是在沼渣连续施用 3 年的情况下,0—30 cm 土层中的有机碳含量显著提高。本研究中,沼肥深施各处理都能不同程度提升 0—20 cm 与 20—40 cm 土层有机质含量,尤其在大量沼肥深施处理(T3、T5)对这 2 个土层的有机肥提升效果最佳。刘飞虎^[22]对沼肥改良红壤土地的试验研究表明,在紫色丘陵区红壤中连续施用 5 年的沼肥后,土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾含量均提高了 130%以上,其中对土壤有机质和全氮含量提高最大,分别达到了 261%和 271%。试验中,270 t/hm² 的沼肥深施处理(T5)对各土层土壤全 N 含量效果最佳,而低中量的沼肥处理(T0、T2)对土壤全 N 含量提升效果随着土层深度的加深减弱。这主要是因为沼肥施

入土壤后,为微生物提供了丰富的能源,提高了微生物活性,促进了微生物固氮作用,从而提高了土壤中全氮含量。张玉凤等^[23]研究也表明,沼肥的施用提高了有益菌群的活性,促进了土壤有机养分转化为氮、磷、钾等营养元素。本研究也发现,大量沼肥深施处理(T3、T5)显著提高了0—20 cm与20—40 cm土层的全P含量,而对K含量无显著影响。

沼肥的施用可以提高果树产量,增加果实中Vc和糖分^[23,24],特别是长期施用沼肥可以增强光合作用,有助于柑橘累积干物质,最终提高产量。在本研究中,2014—2015年大量沼肥深施处理(T3、T5)显著提高了柑橘平均产量,较CK分别显著提高了 0.15×10^4 , 0.24×10^4 kg/hm²,而其他沼肥处理(深施或者不深施)的柑橘产量下降或者提高效果不佳。有研究表明,沼肥对改善柑桔果实品质具有重要作用,尤其是在增加单果重,提高果实可溶性固形物TSS含量、降低含酸量等方面有较好的效果^[18]。在本试验条件下,大量沼肥深施处理(T3、T5)显著提高了柑橘的TSS、固酸比、总糖和Vc含量,而直灌沼肥(T0)仅柑橘Vc含量次于单施化肥(CK),其他果实质量指标均高于CK。胡向军等^[25]研究沼液对芦柑生长发育、产量和品质的影响表明,沼肥使用后,芦柑中的TSS、总糖、Vc含量分别增加了8.2%~9.4%,2.1%~21.1%和2.1%~16.8%,这与彭春瑞等^[26]研究沼肥在南丰蜜桔上的效果相一致,可见施用沼肥,特别是大量沼肥深施对柑橘产量和品质提升效果最佳。

4 结论

以紫色丘陵区柑橘园为研究对象,研究了机械化深松结合灌施沼肥对柑橘园土壤水稳定性团聚体、土壤养分和柑橘产量的影响,研究结果如下:

(1)沼肥深施能够改善紫色丘陵区柑橘园土壤团聚体的水稳定性,提高整个土层的土壤有机质含量、全N、全P和全K含量。大量沼肥深施处理(T5)土壤团聚体稳定性(MWD)分别较单施化肥(CK)和直灌沼肥(T0)提高了27.6%~29.9%和12.2%~14.2%;土壤有机质、全N和全P含量分别提高了2.33~6.17 g/kg,1.73~4.73 g/kg;0.14~0.23 g/kg,0.02~0.12 g/kg;0.15~0.53 g/kg,0.15~0.43 g/kg。

(2)沼肥深施对果实产量的影响与施用量存在着密切相关,当施用量为135 t/hm²时,其产量与单施化肥处理相当,达到180 t/hm²之后,其产量则有显著增加。

(3)沼肥施用能够提升果实品质。与单施化肥(CK)相比,大量沼肥深施处理(T3、T5)显著提高了柑橘的TSS、固酸比、总糖和Vc含量,而直灌沼肥(T0)仅柑橘Vc含量次于单施化肥(CK),其他果实质量指标均高于CK。

参考文献:

- [1] 林琪,侯立白,韩伟.不同肥力土壤下施氮量对小麦子粒产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(6):561-567.
- [2] 王月福,于振文,李尚霞,等.土壤肥力和施氮量对小麦氮素吸收运转及子粒产量和蛋白质含量的影响[J].应用生态学报,2003,14(11):1868-1872.
- [3] 田小明,李俊华,危常州,等.连续3年施用生物有机肥对土壤有机质组分、棉花养分吸收及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(5):1111-1118.
- [4] Stewart W M.肥料对作物产量的贡献[J].谢玲,译.农资科技,2003(3):31-33.
- [5] 郑学博,樊剑波,周静,等.沼液化肥配施对红壤旱地土壤养分和花生产量的影响[J].土壤学报,2016,53(3):115-124.
- [6] Abubaker J, Risberg K, Pell M. Biogas residues as fertilizers-effects on wheat growth and soil microbial activities[J]. Applied Energy, 2012, 99:126-134.
- [7] Galvez A, Sinicco T, Cayuela M, et al. Short term effects of bioenergy by-products on soil C and N dynamics, nutrient availability and biochemical properties[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012, 160:3-14.
- [8] 冯丹妮,伍钧,杨刚,等.连续定位施用沼液对水旱轮作耕层土壤微生物区系及酶活性的影响[J].农业环境科学学报,2014,33(8):1644-1651.
- [9] 胡福初,何凡,范鸿雁,等.沼液对荔枝果园土壤肥效及果实产量与品质的影响[J].广东农业科学,2014,41(1):42-45.
- [10] 吴雪,左强,吴建新,等.保护地菜田土壤氮素淋溶阻控措施及其效果研究[J].水土保持学报,2011,25(3):59-67.
- [11] 史晓楠,王全九,黄国琴.施肥方式对土壤水肥分布特征影响[J].水土保持学报,2010,24(1):191-196.
- [12] 王应君,王淑珍,郑义.肥料深施对小麦生育性状、养分吸收及产量的影响[J].中国农学通报,2006,22(9):276-280.
- [13] 萨如拉,高聚林,于晓芳,等.玉米秸秆深翻还田对土壤有益微生物和土壤酶活性的影响[J].干旱区资源与环境,2014,28(7):138-143.
- [14] 苏志峰,宗毓铮,杨珍平,等.当年肥料深施对生土棉花根—冠—土系统建成的影响[J].水土保持学报,2016,30(1):218-224.
- [15] 钟必凤,张全军,李文贵.长期高压节水深施肥水技术对梨园土壤养分及酶活性的影响[J].华北农学报,2015,30(增刊):478-483.
- [16] 何进,李洪文,高焕文.中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J].农业工程学报,2006,22(10):62-67.
- [17] 秦红灵,高旺盛,马月存,等.两年免耕后深松对土壤水分的影响[J].中国农业科学,2008,41(1):78-85.