

彭程, 陆育生, 常晓晓, 陈喆, 林志雄, 邱继水. 不同施肥方式对苹果桃园土壤养分及果实香气成分的影响 [J]. 广东农业科学, 2021, 48(4): 69-76.

不同施肥方式对苹果桃园土壤养分 及果实香气成分的影响

彭程, 陆育生, 常晓晓, 陈喆, 林志雄, 邱继水

(广东省农业科学院果树研究所 / 农业农村部亚热带果树生物学与遗传资源利用重点实验室 /
广东省热带亚热带果树研究重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要: 【目的】找寻适宜于贵州东部地区苹果桃种植的施肥方案。【方法】以苹果桃果园为研究对象, 使用复合肥、商业有机肥和菜籽麸肥 3 种肥料, 研究不同施肥方式对土壤养分和果实香气成分的影响。【结果】在施入不同肥料处理中, 施用有机肥能够显著提升土壤有机质、有效磷、速效钾含量, 其中施用菜籽麸肥处理土壤有机质含量最高, 上调 22.80%; 施用商用有机肥土壤有效磷和速效钾含量最高, 分别上调 71.21% 和 67.66%。相较于复合肥处理, 施用有机肥对苹果桃果实可溶性固形物含量、总酸、单果重、纵径、横径没有明显差异, 只有菜籽麸肥处理能够显著提升果实总糖含量和硬度强度, 分别提升 17.26% 和 17.16%。相较于复合肥处理, 施用有机肥能够显著提升苹果桃果实总香气物质含量, 其中菜籽麸肥和商用有机肥处理果实总香气物质含量分别提升 44.07% 和 22.82%。【结论】施用有机肥能够显著提升苹果桃果园土壤养分有效性和提高果实香气物质含量, 其中菜籽麸肥效果更好。

关键词: 苹果桃; 香气; 有机肥; 土壤养分; 果实品质

中图分类号: S662.1

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X(2021)04-0069-08

Effects of Different Fertilization Treatments on Soil Nutrient in the Orchard and Fruit Aroma Component of *Prunus persica* 'apple' Peach

PENG Cheng, LU Yusheng, CHANG Xiaoxiao, CHEN Zhe, LIN Zhixiong, QIU Jishui

(Institution of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of South Subtropical Fruit Biology and Resource Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Provincial Key Laboratory of Tropical and Subtropical Fruit Tree Research, Guangzhou 510640, China)

Abstract: 【Objective】The study was carried out to find out suitable fertilization scheme for the planting of *Prunus persica* 'apple' Peach in eastern Guizhou. 【Method】Using the *P. persica* 'apple' peach orchards as research objects, the effects of different fertilization including compound fertilizer, commercial organic fertilizer and colseeed oil press cake fertilizer on soil nutrients and fruit aroma components were researched. 【Result】In comparison with different fertilizer treatments, applying organic fertilizers could improve the organic matter content, available P and available K in soil, and the organic matter content was increased by 22.80% (the highest increase) under the treatment of colseeed oil press cake fertilizer; the contents of available P and available K were the highest under commercial organic fertilizer

收稿日期: 2020-11-29

基金项目: 广州市科技计划项目(201803050013); 广东省农作物种质资源库(圃)建设与资源收集保存、鉴评项目(粤农计〔2018〕36号); 广东省优稀水果产业技术体系创新团队建设项目(2020KJ116)

作者简介: 彭程(1989—), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向为果实品质调控, E-mail: pengcheng@gdaas.cn

通信作者: 邱继水(1965—), 男, 研究员, 研究方向为果树栽培与生理, E-mail: qiujiushui@gdaas.cn

treatment, which increased by 71.21% and 67.66%, respectively. Compared with compound fertilizer treatment, there was no significant difference in soluble solid content, total acid, single fruit weight, longitudinal diameter and transverse diameter of *P. persica* 'apple' Peach fruits under the organic fertilizer treatment, while the total sugar content and hardness of fruits under the colleseed oil press cake fertilizer treatment were increased by 17.26% and 17.16%, respectively. Compared with compound fertilizer treatment, the application of organic fertilizer could increase the total aroma component content of fruits significantly, under colleseed oil press cake fertilizer and commercial organic fertilizer treatments, contents of total aroma component were increased by 44.07% and 22.82%, respectively. 【Conclusion】 The application of organic fertilizers can improve soil nutrient effectiveness and aroma component of *P. persica* 'apple' Peach significantly, and the effect of colleseed oil press cake fertilizer is better.

Key words: *Prunus persica* 'apple' Peach; aroma component; organic fertilizer; soil nutrient; fruit quality

【研究意义】苹果桃 (*Prunus persica* 'apple' Peach) 是从红花桃中选育出来的优良芽变品种, 其果实外观近圆形, 外形似苹果而得名^[1-2]。苹果桃主要在广西、贵州、湖南、湖北有商业种植, 其中贵州省黔南苗族布依族自治州、遵义市等种植面积累计约 2 666 hm²。贵州省黔南苗族布依族自治州属亚热带季风湿润气候, 年平均气温 13.6 ℃, 年降水量为 1 148.2 mm。独特的气候条件, 促使苹果桃成为当地主导产业^[3]。然而, 由于当地土地资源缺乏, 大部分果园都种植在荒山荒坡非耕地或坡地上, 果园立地条件差。再加上长期重产量轻品质, 重视化学肥料、忽略有机肥施用等现象, 导致桃园土壤有机质含量下降、养分平衡失调和果实品质下降等诸多问题, 致使产业发展受限^[3]。【前人研究进展】已有研究表明, 施肥直接关系到果树的生长、花芽分化、果实品质, 影响其生产能力和经济效益^[4-9]。在农业生产中, 施肥还能改变土壤生物活性和土壤化学性质, 对土壤的可持续利用具有重要影响^[10]。另外, 不同施肥处理对果实香气成分影响较大。邹晶晶等^[11]证实施用不同肥料显著影响桂花精油中醇类、酯类、醛类物质的质量, 其中施用复合肥、饼肥显著提高了酮类物质的质量。史星雲等^[12]证实施用有机肥可以提高葡萄果实中高级醇类、脂肪酸类等物质的质量。施入有机肥在枸杞^[4]、蓝莓^[5]、葡萄^[6]、苹果^[7]及番茄^[8]等研究已有报道, 但大多集中在营养品质的影响上。【本研究切入点】关于苹果桃的研究, 尤其是不同施肥方法对苹果桃果园土壤养分和果实香气影响方面的研究尚未见报道。【拟解决的关键问题】因此, 本研究通过研究不同种类肥料对苹果桃果园土壤肥力指标和果实香气成分的影响, 旨在找出适宜于贵州东部地区苹果桃种植的施肥方

案, 以期黔南苗族布依族自治州瓮安县地区苹果桃生产实践和理论研究提供依据或指导作用, 从而促进贵州东部及东北部地区苹果桃产业健康发展。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于贵州省黔南苗族布依族自治州瓮安县猴场镇草堂社区 (107°07'~107°42'E, 26°53'~27°29'N), 该地区属亚热带季风湿润气候, 年平均气温 13.6 ℃, 最热月 (7 月) 平均气温 23.1 ℃, 最冷月 (1 月) 平均气温 2.9 ℃, 年降水量为 1 148.2 mm。苹果桃果园中苹果桃树栽植于 2013 年, 栽植株行距为 4 m × 5 m。

1.2 试验方法

1.2.1 果园改造方法 果园改土于 2018 年秋进行, 改土时将果园 (约 2 hm²) 的土壤进行深耕, 在果树滴水线两侧开沟, 沟深 60 cm、宽 30 cm, 填入肥料, 覆盖土壤。其中 0.67 hm² 使用 2 000 kg 菜籽麸肥 (当地常见) 作为基肥, 0.67 hm² 使用 2 000 kg 商用有机肥作为基肥, 0.67 hm² 使用 2 000 kg 复合肥作为基肥。其余肥水药进行统一管理。

1.2.2 采样方法 土壤取样时间为 2019 年 8 月上旬, 以苹果桃树滴水线附件采取土壤, 每棵树的 6 个方向取土壤样品, 3 次重复, 每个重复 3 棵树。土壤样品置于 4 ℃ 储藏备用。不同施肥处理均按照此方法取土壤样品。

苹果桃果实取样时间为 2019 年 8 月中旬, 待果实成熟取样。选取长势一致的 4 棵树进行取样, 每棵树选取大小颜色一致的果实 20 个, 均匀分成 3 份。不同施肥处理均按照此方法取果实样品。

1.2.3 测定方法 土壤 pH 值采用土壤 pH 计检测, 土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法 - 外加热法测定, 土壤有效氮、速效磷、速效钾分别采用碱解扩散法、碳酸氢钠提取 - 钼锑抗比色法和乙酸铵浸提 - 火焰光度法测定^[13]。单果质量采用千分之一电子天平逐个称量, 采用游标卡尺逐个测量果实横径、纵径。可溶性固形物含量采用手持折光仪 ATAGO 测定, 果实硬度采用 GY-1 型果实硬度计进行测定, 果实糖分采用铁氰化钾滴定法^[14]测定, 果实中有机酸质量采用标准 NaOH 溶液中和滴定法^[15]测定。

1.2.4 挥发性成分检测 样品处理: 在 50 mL 顶空瓶加入 10 g 苹果桃果肉, 加入 10 μ L 浓度 2.05 mg/L 2-辛醇(内标), 10 mL 饱和 NaCl 水溶液。用锡箔纸密封后, 40 $^{\circ}$ C 水浴 10 min, 插入固相微萃取纤维 DVB/CAR/PDMS (50/30 μ m), 萃取 30 min, 解吸 3 min。

色谱条件: 使用 Rtx-wax 毛细管气相色谱柱 (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m)。升温程序初始温度为 40 $^{\circ}$ C, 以 5 $^{\circ}$ C/min 的速度升至 180 $^{\circ}$ C, 然后以 10 $^{\circ}$ C/min 的速度升至 230 $^{\circ}$ C。载气 He (纯度大于 99.99%), 不分流, 流速 1.0 mL/min。进样口温度 240 $^{\circ}$ C, 传输线温度 240 $^{\circ}$ C。质谱条件: 离子源温度为 230 $^{\circ}$ C, 电离方式为 EI。电子能量设为 70 eV, 扫描范围 35~450 m/z。定性采用各组分在图谱库 NIST11.lib 中匹配度大于 99% 的鉴定结果, 并根据 C7-C30 正构烷烃标准样品保留时间计算相关化合物保留指数。采用内标法对样品的峰面积进行校正。

分别用 Excel 和 SPSS 22.0 软件进行数据整理和方差分析, 用 Sigma plot 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥方式对土壤养分的影响

2.1.1 不同施肥方式对土壤 pH 值和有机质含量的影响 由表 1 可知, 不同施肥处理对土壤 pH 值和有机质含量的影响存在差异。不同施肥处理对土壤 pH 值影响不大, 3 种施肥处理土壤 pH 值差异不显著; 而不同施肥处理对土壤有机质含量影响显著, 其中菜籽麸肥处理和商用有机肥处理土壤有机质含量较高, 分别为 28.81、27.18 g/kg, 均高于复合肥处理的土壤有机质含量。由此可见, 苹果桃园施用菜籽麸肥和商用有机肥均能提高

表 1 不同施肥处理对土壤 pH 值和有机质含量的影响
Table 1 Effects of different fertilization treatments on soil pH value and organic matter content

处理 Treatment	pH	有机质含量 Organic matter content (g/kg)
菜籽麸肥 Colleseed oil press cake fertilizer	4.39	28.81 \pm 0.15a
商用有机肥 Commercial organic fertilizer	4.14	27.18 \pm 0.85a
复合肥 Compound fertilizer	4.22	22.24 \pm 0.77b

注: 同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters after data in the same column represent significant differences.

土壤有机质含量, 其中菜籽麸肥效果最为明显。

2.1.2 不同施肥方式对土壤氮、磷、钾含量的影响 由表 2 可知, 不同施肥处理对土壤中氮、磷、钾含量的影响显著。菜籽麸肥处理土壤铵态氮含量最高, 为 0.53 mg/kg, 而商用有机肥处理和复合肥处理分别为 0.38、0.37 mg/kg。商用有机肥处理硝态氮含量最高, 为 1.26 mg/kg; 而菜籽麸肥处理含量最低, 为 0.93 mg/kg。不同施肥处理对土壤中速效氮含量影响不显著, 而对有效磷和速效钾含量影响显著。商用复合肥处理土壤有效磷含量最高, 为 129.47 g/kg; 菜籽麸肥含量次之, 为 121.47 g/kg, 均显著高于复合肥处理。商用复合肥处理土壤速效钾含量最高, 为 357.67 g/kg; 菜籽麸肥处理次之, 为 286.00 g/kg, 均显著高于复合肥处理。由此可见, 菜籽麸肥和商用有机肥处理能够显著提高土壤中的有效磷、速效钾含量。

2.1.3 不同施肥方式对土壤微量元素的影响 由表 3 可知, 不同施肥处理对土壤中微量元素的影响不同。菜籽麸肥处理土壤中交换性钙、交换性镁含量均为最高, 其次为复合肥处理, 含量最低的为商用有机肥处理。有效硫含量在各处理中情况则正好相反, 商用有机肥处理最高, 为 87.46 mg/kg; 其次为复合肥处理, 为 72.84 mg/kg; 菜籽麸肥处理最低, 为 62.40 mg/kg。土壤中有有效硼和有效铜在 3 种处理中均未发生显著变化。土壤中有有效锌含量菜籽麸肥处理最高, 为 3.38 mg/kg; 其次为商用有机肥处理, 为 2.79 mg/kg; 复合肥处理最低, 为 2.46 mg/kg。土壤中有有效锰和有效铁含量均是复合肥处理最高, 分别为 78.34、59.99 mg/kg; 有效锰含量最低的为商用

表 2 不同施肥处理对土壤氮、磷、钾含量的影响

Table 2 Effects of different fertilization treatments on the contents of N, P, K in soil (mg/kg)

处理 Treatment	铵态氮 Available NH ₄ ⁺	硝态氮 Available NO ₃ ⁻	速效氮 Available N	有效磷 Available P	速效钾 Available K
菜籽麸肥 Colleseed oil press cake fertilizer	0.53 ± 0.12a	0.93 ± 0.03c	154.48 ± 4.38b	121.47 ± 0.97b	286.00 ± 2.00b
商用有机肥 Commercial organic fertilizer	0.38 ± 0.10ab	1.26 ± 0.03a	146.76 ± 0.71c	129.47 ± 0.40a	357.67 ± 5.13a
复合肥 Compound fertilizer	0.37 ± 0.03b	1.11 ± 0.03b	174.35 ± 38.12abc	75.62 ± 0.92c	213.33 ± 3.06c

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters after data in the same column represent significant differences.

表 3 不同施肥处理对土壤微量元素的影响

Table 3 Effects of different fertilization treatments on the contents of trace elements in soil

处理 Treatment	交换性钙 Exchangeable Ca (c mol/kg, 1/2Ca ⁺)	交换性镁 Exchangeable Mg (c mol/kg, 1/2Ca ⁺)	有效硫 Available S (mg/kg)	有效硼 Available B (mg/kg)
菜籽麸肥 Colleseed oil press cake fertilizer	1.57 ± 0.02a	0.53 ± 0.01a	62.40 ± 4.44c	0.05 ± 0a
商用有机肥 Commercial organic fertilizer	0.86 ± 0.01c	0.36 ± 0.01c	87.46 ± 4.39a	0.05 ± 0.01a
复合肥 Compound fertilizer	1.19 ± 0.01b	0.43 ± 0.01b	72.84 ± 4.92b	0.06 ± 0.01a

处理 Treatment	有效铜 Available Cu (mg/kg)	有效锌 Available Zn (mg/kg)	有效锰 Available Mn (mg/kg)	有效铁 Available Fe (mg/kg)
菜籽麸肥 Colleseed oil press cake fertilizer	1.72 ± 0.01a	3.38 ± 0.02a	73.72 ± 0.74b	35.18 ± 0.22c
商用有机肥 Commercial organic fertilizer	2.01 ± 0.01a	2.79 ± 0.09b	63.17 ± 0.88c	55.47 ± 1.06b
复合肥 Compound fertilizer	1.89 ± 0a	2.46 ± 0.04c	78.34 ± 1.96a	59.99 ± 1.72a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters after data in the same column represent significant differences.

有机肥处理，为 63.17 mg/kg；有效铁含量最低的为菜籽麸肥处理，为 35.18 mg/kg。由此可见，相较于复合肥，施用有机肥能够提高土壤中交换性钙、有效硫、有效铜、有效锌、有效硼含量，降低有效铁、有效锰含量。

2.2 不同施肥方式对果实品质的影响

2.2.1 不同施肥方式对苹果桃果实品质的影响

由表 4 可知，与复合肥处理相比，菜籽麸肥处理

能够显著提高果实硬度、可溶性固形物含量和总糖含量，而商用有机肥处理效果不显著。其中菜籽麸肥处理苹果桃果实总糖含量为 9.51%，硬度为 10.38 kg/cm²，均显著高于其他处理。而果实单果重、纵径、横径、总酸含量在不同处理间未见显著差异。由此可见，有机肥处理对苹果桃单果重、纵径、横径、总酸含量影响不显著，只有菜籽麸肥处理能够提升苹果桃果实总糖含量和

表 4 不同施肥处理对果实品质的影响

Table 4 Effects of different fertilization treatments on fruit quality

处理 Treatment	可溶性固形物 Total soluble solid (° Brix)	总糖 Total soluble sugar (%)	硬度 Hardness (kg/cm ²)	总酸 Total acid (%)	单果重 Single fruit weight (g)	纵径 Longitudinal diameter (mm)	横径 Transverse diameter (mm)
菜籽麸肥 Colleseed oil press cake fertilizer	11.44 ± 1.41a	9.51 ± 0.33a	10.38 ± 1.35a	2.48 ± 0a	197.69 ± 24.59a	64.99 ± 3.71a	74.10 ± 3.38a
商用有机肥 Commercial organic fertilizer	11.12 ± 1.33a	8.11 ± 0.32b	8.91 ± 0.58b	2.47 ± 0.10a	204.82 ± 20.78a	65.39 ± 2.57a	74.22 ± 3.76a
复合肥 Compound fertilizer	10.47 ± 1.01a	8.11 ± 0.76b	8.86 ± 0.66b	2.53 ± 0.05a	190.46 ± 29.86a	65.85 ± 4.48a	71.80 ± 4.98a

注：单果重、纵径和横径数据为 50 次重复的平均值 ± 标准差；可溶性固形物、总糖和总酸数据为 3 次重复的平均值 ± 标准差；同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Single fruit weight, longitudinal diameter and transverse diameter data are expressed as means ± SD of 50 samples. Total soluble solid, total soluble sugar and total acid content data are expressed as means ± SD of triplicate samples. Different lowercase letters after data in the same column represent significant differences.

硬度。

2.2.2 不同施肥方式对苹果桃果实香气成分的影响 由表 5 可知, 不同施肥处理苹果桃果实共检测出 57 种香气物质, 各处理香气物质总含量差异显著。其中菜籽麸肥处理果实香气物质总含量最高, 为 396.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (FW); 商用有机肥处理次之, 为 337.59 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (FW); 复合肥处理最低, 为 274.86 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (FW)。先前的研究表明桃类果实香气以酯类物质为主^[16]。本研究发现各处理酯类香气物质总含量差异显著, 其中菜籽麸肥处理苹果桃果实共检测出 8 种酯类, 分别为乙酸乙

酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、乙酸壬酯、辛酸乙酯、丁酸, 2- 乙烯酯, 共计含量为 44.52 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (FW); 商用有机肥处理苹果桃果实共检测出 6 种酯类, 分别为乙酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、乙酸壬酯、辛酸乙酯、丁酸-2- 乙烯酯, 共计含量为 29.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (FW); 复合肥处理苹果桃果实共检测出 6 种酯类, 分别为乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯、乙酸壬酯、3- 己烯酸乙酯, 共计含量为 19.95 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (FW)。由此可见, 经菜籽麸肥处理和商用有机肥处理后, 苹果桃果实香气酯香型物质含量均显著提升。

表 5 不同施肥方式对苹果桃果实香气成分的影响

Table 5 Effects of different fertilization treatments on the aroma components of *Prunus persica* 'apple' Peach ($\mu\text{g}/\text{kg}$, FW)

序号 No.	化合物 Compound	保留指数 Retention index	菜籽麸肥 Colleseed oil press cake fertilizer	商用有机肥 Commercial organic fertilizer	复合肥 Compound fertilizer
1	乙醛				0.84 ± 0.53
2	乙酸乙酯		33.03 ± 12.80a	16.15 ± 6.72ab	16.80 ± 5.38b
3	乙醇				4.39 ± 6.10
4	二甲醚		28.81 ± 10.72a	7.68 ± 7.40bc	15.35 ± 13.32ab
5	α - 蒎烯	809			0.74 ± 0.72
6	丁酸乙酯	827	1.11 ± 0.39a		0.92 ± 0.26a
7	辛烷	860			0.12 ± 0.15
8	己醛	869	105.62 ± 39.92a	88.90 ± 11.44a	91.10 ± 17.20a
9	乙苯	904	4.38 ± 2.18a	1.82 ± 0.29b	3.67 ± 2.24ab
10	对二甲苯	912	4.24 ± 2.04bc	6.62 ± 1.37b	11.42 ± 6.53ab
11	环戊烯	919		2.74 ± 2.62	
12	苯	920	19.69 ± 13.05a		13.24 ± 13.01a
13	3- 己烯醛	927		1.80 ± 1.56a	0.74 ± 0.67a
14	β - 月桂烯	943	1.83 ± 0.94a	2.16 ± 1.84a	
15	α - 水芹烯	944	1.32 ± 0.26a	2.03 ± 1.15a	1.34 ± 0.56a
16	1,3- 环己二烯	954		0.47 ± 0.27a	0.23 ± 0.23a
17	邻二甲苯	960		6.10 ± 0.45	
18	D- 柠檬烯	974	1.82 ± 1.43a	3.06 ± 3.29a	
19	β - 水芹烯	981	10.47 ± 9.97a	21.51 ± 16.34a	10.63 ± 9.16a
20	2- 己烯醛	1004	96.44 ± 17.29a	96.92 ± 11.38a	37.47 ± 30.25b
21	己酸乙酯	1023	0.37 ± 0.23a	0.17 ± 0.13a	0.38 ± 0.10a
22	苯乙烯	1040	46.46 ± 11.14a	31.47 ± 0.77b	35.45 ± 8.85ab
23	<i>o</i> - 伞花烃	1054	0.64 ± 0.47a	1.78 ± 2.11a	0.50 ± 0.44a
24	乙酸己酯	1063	3.51 ± 2.04a	3.40 ± 1.21a	1.62 ± 0.12a
25	辛醛	1077		0.15 ± 0.11a	0.16 ± 0.16a
26	乙酸壬酯	1084	6.14 ± 2.30a	9.07 ± 2.20a	0.21 ± 0.19b
27	3- 己烯酸乙酯	1090			0.02 ± 0.04
28	3- 己烯-1- 醇, 乙酸盐	1105		0.08 ± 0.07a	0.75 ± 1.30a
29	3- 辛酮	1112		0.57 ± 0.50a	0.52 ± 0.47a
30	2,5- 辛二酮	1113	0.24 ± 0.22		

(续表 5)

序号 No.	化合物 Compound	保留指数 Retention index	菜籽麸肥 Colleseed oil press cake fertilizer	商用有机肥 Commercial organic fertilizer	复合肥 Compound fertilizer
31	5-庚烯-2-酮	1124	3.27 ± 3.11a		3.03 ± 0.12a
32	2-丁基-5-甲基 ^[1,3] 二氧环-4-酮	1132	0.29 ± 0.28		
33	1-正己醇	1146	7.74 ± 7.68a	5.64 ± 1.26a	5.95 ± 5.16a
34	2-溴十二烷	1162		0.14 ± 0.05a	0.12 ± 0.18a
35	癸烷	1170	0.39 ± 0.51		
36	3-己烯-1-醇	1174	2.29 ± 0.89a	1.39 ± 0.08b	0.81 ± 0.73bc
37	壬醛	1179		1.08 ± 0.33a	0.90 ± 0.92a
38	呋喃	1182		0.25 ± 0.22	
39	2-己烯-1-醇	1195	4.09 ± 1.97a	3.84 ± 0.18a	1.77 ± 1.58a
40	3-甲基-3-环己烯-1-酮	1209	0.30 ± 0.20		
41	辛酸乙酯	1225	0.36 ± 0.31a	0.25 ± 0.25a	
42	丁酸, 2-乙烯己酯	1235		0.06 ± 0.05	
43	1-辛烯-3-醇	1243	0.19 ± 0.18a	0.08 ± 0.09a	0.16 ± 0.03a
44	1-乙基-5-甲基环己烷	1246	0.24 ± 0.22a	0.24 ± 0.22a	
45	2,4-二烯醛	1273		0.07 ± 0.07	
46	1-己醇	1281	4.25 ± 1.65a	7.35 ± 8.91a	5.37 ± 1.31a
47	苯甲醛	1296	0.77 ± 0.70a	1.27 ± 0.40a	1.38 ± 1.20a
48	1-Oxaspiro ^[4,5] dec-6-ene	1298	0.97 ± 0.58a	0.95 ± 0.54a	1.04 ± 0.49a
49	2,6-壬二烯醛	1366		0.07 ± 0.01a	0.08 ± 0.07a
50	壬二烯醛	1375		0.08 ± 0.09	
51	正十五烷	1449		0.7 ± 1.03	
52	2(3H)-呋喃酮	1469			0.08 ± 0.07
53	萘	1528		0.35 ± 0.37	
54	肪	1554	2.96 ± 2.40a	4.36 ± 2.70a	3.10 ± 2.05a
55	正十六烷	1578		1.62 ± 1.69a	0.40 ± 0.35a
56	2-丁酮	1608		0.74 ± 0.84	
57	3-丁-2-酮	1912		0.07 ± 0.07	
	合计		396.00 ± 124.49a	337.59 ± 29.17ab	274.86 ± 47.83c

注: 同行数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters followed by data in the same row represent significant differences.

3 讨论

贵州的气候条件具有生产优质果品供应市场的优势, 但由于土地资源缺乏, 为保证粮食生产, 果园立地条件较差; 加上栽培管理技术缺乏以及长期重产量轻品质, 重视化学肥料、忽略有机肥施用等原因, 该地区苹果桃园土壤有机质和养分含量低^[3]。已有研究表明, 有机肥能够改善土壤肥力, 提高肥料利用效率, 提升果实品质^[17-18]。本研究结果表明, 施用有机肥苹果桃园土壤养分如有机质、有效磷、速效钾、交换性钙、有效硫、有效铜、有效锌、有效硼含量均有提升趋势。这与陈洁^[17]和邱吟霜等^[18]的研究结果一致。这可

能是由于菜籽麸肥和商用有机肥中含有易分解的碳氮和营养元素^[23], 能够促进微生物生长和代谢^[24], 提高土壤酶活性^[25]以及土壤肥力^[26-27]。

本研究发现相较于复合肥处理, 菜籽麸肥处理和商用有机肥处理苹果桃果实香气物质含量分别提升 44.07% 和 22.82%, 有机肥处理能够提升果实香气物质含量。罗华等^[16]研究发现施入有机肥能提高肥城桃香气物质相对含量, 提升酯类化合物相对含量。王孝娣等^[24]研究发现有机肥栽培红富士苹果主要香气成分相对含量显著提升, 尤其是酯类香气物质。本研究也证实菜籽麸肥和商用有机肥处理能够显著提升果实酯类香气物质含量, 相较于复合肥处理分别提升 123.16%

和 45.68%。有机肥如何提升果实香气物质含量的机理尚不明晰,且各种挥发性物质的生物合成前体不同,其合成途径也不尽相同。已有研究表明,脂肪酸是形成果实香气成分的主要前体物质。果实挥发性物质中的一些 C6、C9 的醇类、醛类以及由 C6、C9 的脂肪酸所形成的酯类物质,多是以脂肪酸为前体,在脂氧合酶的催化作用下形成。脂肪酸代谢途径主要包括脂氧合酶 LOX 氧化、 α -氧化、 β -氧化及 γ -氧化等,其中 LOX 氧化和 β -氧化两个代谢途径是大多数植物香气形成的主要来源。可能是经有机肥处理后,土壤理化性质得以改善^[18,25-26], 树体吸收的营养元素种类更加全面,脂肪酸代谢途径以及香气物质合成途径的相关基因或酶活性增加,从而使香气物质含量显著增加。关于菜籽麸肥和商用有机肥对苹果桃香气物质作用机理还有待进一步研究。

4 结论

本试验分析了复合肥、菜籽麸肥和商用有机肥对苹果桃果园土壤养分和果实品质的影响,结果表明,2种有机肥处理均能够增加苹果桃果园有机质含量,分别提升 22.80% 和 17.15%;菜籽麸肥和商用有机肥处理土壤有效磷含量分别上调 60.63% 和 71.21%,速效钾含量分别上调 34.06% 和 67.66%。相较于复合肥处理,菜籽麸肥和商用有机肥处理对果实可溶性固形物含量、总酸、单果重和纵径、横径未见显著影响,只有菜籽麸肥能够提升果实总糖含量和果实硬度,分别提升 17.26% 和 17.16%。菜籽麸肥和商用有机肥能够显著提升果实总香气物质含量,分别提升 44.07% 和 22.82%。综上所述,菜籽麸肥对果实基本品质和香气物质的提升效果最佳。综合考虑因地制宜和经济效益等因素,推荐使用菜籽麸肥作为提升苹果桃品质和商业价值主要施用肥料。

参考文献 (References) :

[1] 陈美林,徐俐,陈梦佳,耿阳阳.不同包装处理对苹果桃贮藏效果的影响[J].食品科技,2014,39(5):34-38.
CHEN M L, XU L, CHEN M J, GENG Y Y. Effect of different packaging processing on apple peach during storage [J]. *Food Science and Technology*, 2014, 39 (5) :34-38.

[2] 李光仕,陆卫荣.苹果桃高产栽培技术[J].广西园艺,2004(6):49-50.
LI G S, LU W R. High yield cultivation techniques of apple peach [J]. *Guangxi Horticulture*, 2004 (6) :49-50.

[3] 陈林.浅谈贵州果树产业化发展的对策[J].农村实用科技信息,2014(6):29.
CHEN L. Discuss the countermeasure of fruit industry development in Guizhou [J]. *Practical Scientific and Technological Information in Rural Areas*, 2014 (6) :29.

[4] 黄婷,张波,刘俭,秦垦,戴国礼,邹文勇.不同施肥处理对枸杞宁杞1号果实品质的影响[J].湖北农业科学,2019,58(3):45-47.
HUANG T, ZHANG B, LIU J, QIN K, DAI G L, ZOU W Y. Effects of different fertilization treatments on fruit quality of *Lycium barbarum* Ningqi No.1 [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2019, 58 (3) :45-47.

[5] 周琳,张会慧,魏殿文,张悦.施肥对蓝莓植株生长、叶片叶绿素荧光特性和果实品质的影响[J].植物研究,2015,35(6):854-859. DOI:10.7525/j.issn.1673-5102.2015.06.011.
ZHOU L, ZHANG H H, WEI D W, ZHANG Y. Effects of fertilization on plant growth, leaves chlorophyll fluorescence parameters and fruit quality of blueberry [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2015, 35 (6) :854-859. DOI:10.7525/j.issn.1673-5102.2015.06.011.

[6] 周兴,王振平,代红军.不同施肥处理对“蛇龙珠”葡萄光合性能及品质的影响[J].北方园艺,2013(14):1-4.
ZHOU X, WANG Z P, DAI H J. Effects of different fertilizer treatments on photosynthesis and quality of 'Cabernet' grape [J]. *Northern Horticulture*, 2013 (14) :1-4.

[7] 何学涛,牛俊义,刘建华.不同施肥水平对苹果产量及品质的影响[J].甘肃农业大学学报,2010,45(2):83-86.
HE X T, NIU J Y, LIU J H. Effects of the different fertilizer application level on the yield and quality of apple [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2010, 45 (2) :83-86.

[8] 李吉进,张青,邹国元,边庆花,李楠,黄德明.施肥对番茄风味成分影响的GC-MS分析[J].中国农学通报,2009,25(24):244-248.
LI J J, ZHANG Q, ZOU G Y, BIAN Q H, LI N, HUANG D M. Study on influence of organic manure and chemical fertilizers on the flavor substances of tomatoes using GC-MS analysis [J]. *Chinese Agricultural Sciences Bulletin*, 2009, 25 (24) :244-248.

[9] 赵和涛,游小清,黄建琴,舒庆龄,李名君.茶园施肥对祁门红茶香气品质的影响[J].茶叶科学,1996(2):27-32.
ZHAO H T, YOU X Q, HUANG J Q, SHU Q L, LI M J. Effect of fertilizing on the aroma of Keemun black tea [J]. *Journal of Tea Sciences*, 1996 (2) :27-32.

[10] 陈伟,薛立.人工林施肥研究进展综述[J].广东林业科技,2004(1):61-66.
CHEN W, XUE L. Summary of research on tree fertilization [J]. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2004 (1) :61-66.

[11] 邹晶晶,曾祥玲,杨洁,史玉敏,陈洪国.不同施肥种类对桂花精油成分的影响[J].江苏农业科学,2017,45(16):161-167. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.16.041.
ZOU J J, ZENG Z L, YANG J, SHI Y M, CHEN H G. Effects of different fertilization types on the components of *Osmanthus fragrans* essential oil [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45 (16) :161-167. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.16.041.

- [12] 史星雲, 徐珊珊, 张兆铭, 赵三虎, 王多文, 刘伟, 赵连鑫. 不同施肥量对酿酒葡萄“马瑟兰”果实香气成分的影响[J]. 林业科技通讯, 2019(9):59-67.
- SHI X Y, XU S S, ZHANG Z M, ZHAO S H, WANG D W, LIU W, ZHAO L X. Effects of different fertilizer application amounts on aroma components of wine grape "Matheran" [J]. *Forest Science and Technology*, 2019(9):59-67.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000.
- LU R K. Methods of soil agricultural chemical analysis [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2020.
- [14] 孙军伟, 郭慧, 危月辉, 范志勇, 李江美, 高文华, 王天龙, 邢凌云, 杨惠娟. 施用不同改土物料后植烟土壤理化性状动态变化[J]. 山西农业科学, 2020, 48(10):1628-1633. DOI:10.3969/j.issn.1002-2481.2020.10.21.
- SUN J W, GUO H, WEI Y H, FAN Z Y, LI J M, GAO W H, WANG T L, XING L Y, YANG H J. Dynamic changes of physical and chemical properties of tobacco-planting soil after applying different soil improvement materials [J]. *Shanxi Agricultural Sciences*, 2020, 48(10):1628-1633. DOI:10.3969/j.issn. 1002-2481.2020.10.21.
- [15] 靳亚忠, 陈业雯, 龙闪闪, 李康乐, 马晓伟, 何淑平, 齐红岩. 鸡粪的施用对薄皮甜瓜果实糖积累及糖代谢相关酶活性的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(5):1106-1112.
- JIN Y Z, CHEN Y W, LONG S S, LI K L, MA X W, HE S P, QI H Y. Effects of application of chicken manure on sugar accumulation and activity of enzymes related to carbohydrate metabolism in *Oriental Melon* fruit [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(5):1106-1112.
- [16] 罗华, 李敏, 冯志文, 宋红日, 张连忠. 肥城桃果实不同发育时期的香气组分及其变化[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2012, 38(3):276-281. DOI:10.3724/SP.J.1238.2012.00276.
- LUO H, LI M, FENG Z W, SONG H R, ZHANG L Z. Changes in aroma components during fruit development in Feicheng peach [J]. *Journal of Hunan Agricultural University*, 2012, 38(3):276-281. DOI:10.3724/SP.J.1238.2012.00276.
- [17] 陈洁. 长期施肥对稻麦轮作土壤碳组分及微生物特征的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- CHEN J. Effect of long-term fertilization on soil carbon fractions and microbial characteristics in a rice-wheat rotation system [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.
- [18] 邱吟霜, 王西娜, 李培富, 侯贤清, 王艳丽, 吴鹏年, 霍文斌. 不同种类有机肥及用量对当季旱地土壤肥力和玉米产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(6):182-189. DOI:10.11838/sfsc.1673-6257.18498.
- QIU Y S, WANG X N, LI P F, HOU X Q, WANG Y L, WU P N, HUO W B. Different kinds of organic fertilizers and amounts on dryland soil fertility and corn yield in the current season [J]. *Chinese Soil and Fertilizer*, 2019(6):182-189. DOI:10.11838/sfsc.1673-6257.18498.
- [19] 梁路. 有机无机肥配施对旱地麦田土壤养分有效性及酶活性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- LIANG L. Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on soil nutrient availability and enzyme activity in rainfed wheat field [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forest University, 2019.
- [20] 卫婷, 韩丽娜, 韩清芳, 贾志宽, 张睿, 聂俊峰, 杨宝平. 有机培肥对旱地土壤养分有效性和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3):611-620.
- WEI T, HAN L N, HAN Q F, JIA Z K, ZHANG R, NIE J F, YANG B P. Effects of organic fertilization on soil nutrient availability and enzyme activity in arid areas [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Sciences*, 2012, 18(3):611-620.
- [21] 张毅博, 韩燕来, 吴名宇, 乔丹丹, 李慧. 生物炭与有机肥施用对黄褐土土壤酶活性及微生物碳氮的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(13):113-118.
- ZHANG Y B, HAN Y L, WU M Y, QIAO D D, LI H. Effect of biochar and organic fertilizer on soil enzyme activities and microbial carbon and nitrogen in yellow-cinnamon soil [J]. *Chinese Agricultural Sciences Bulletin*, 2018, 34(13):113-118.
- [22] 吴海燕, 金荣德, 范作伟, 彭畅, 高洪军, 张秀芝, 李强, 朱平. 基于主成分和聚类分析的黑土肥力质量评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(2):325-334. DOI:10.11674/zwyf.17225.
- WU H Y, JIN R D, FAN Z W, PENG C, GAO H J, LI X Z, LI Q, ZHU P. Assessment of fertility quality of black soil based on principal component and cluster analysis [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(2):325-334. DOI: 10.11674/zwyf.17225.
- [23] 荣勤雷. 有机肥/秸秆替代化肥模式对设施菜田土壤团聚体微生物特性的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- RONG Q L. Effects of partial substitution of chemical fertilizer with organic amendments on microbial characteristics of soil aggregates in greenhouse vegetable production [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018.
- [24] 王孝娣, 史大川, 宋焯, 翟衡. 有机栽培红富士苹果芳香成分的GC-MS分析[J]. 园艺学报, 2005(6):998-1002. DOI:10.1039/b500605h.
- WANG X D, SHI D C, SONG Y, ZHAI H. GC-MS analysis of fruit aroma components of organic 'fuji' apple [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005(6):998-1002. DOI:10.1039/b500605h.
- [25] 罗华, 李敏, 胡大刚, 宋红日, 郝玉金, 张连忠. 不同有机肥对肥城桃果实产量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4):955-964.
- LUO H, LI M, HU D G, SONG H R, HOU Y J, ZHANG L Z. Effects of organic fertilization on fruit yield and quality of Feicheng peach (*Prunus persica* cv. Feicheng) [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Sciences*, 2012, 18(4):955-964.
- [26] 薛娇, 宋亚星, 张军平. 施用有机肥对土壤肥力的影响[J]. 农民致富之友, 2019(3):117.
- XUE Q, SONG Y X, ZHANG J P. Effect of organic fertilizer application on soil fertility [J]. *The Farmer's Friend*, 2019(3):117.