

有机肥部分替代化肥对台农芒果产量和品质的影响

司若彤, 刘 维, 林 电*

(海南大学热带作物学院, 海南 海口 570228)

摘 要: 为明确不同有机肥部分替代化肥对芒果叶片矿质养分和果实产量品质的影响, 通过主成分分析和综合评价得分, 综合评价不同施肥方式肥料效应, 为芒果产量品质综合评价提供分析方法和芒果的提质增效提供实践依据。通过大田试验, 在等量施肥条件下有机肥部分替代化肥氮, 设常规沟施化肥 (CK)、发酵纯羊粪替代 10% 化肥 (10SF)、发酵纯羊粪替代 20% 化肥 (20SF)、生物有机肥替代 10% 化肥 (10BF)、生物有机肥替代 20% 化肥 (20BF), 共 5 个处理, 分析芒果生物学性状、产量、经济效益、品质对不同施肥方式的响应, 并对肥料效应综合评价。与 CK 相比, 生物有机肥替代 10% 和 20% 化肥处理均可以显著提高第三次梢叶片中钾含量。10BF 果实纵茎较 CK 增加了 2.57%, 各处理纵茎排列: 10BF>20BF>20SF>CK>10SF; 生物有机肥 10% 和 20% 替代化肥处理的芒果体积均大于纯羊粪相应处理; 20BF 处理单果重显著高于 CK 和 20SF, 单果重排序: 20BF>10BF>CK>20SF>10SF。相较于 CK, 10BF 的可食率、糖酸比、固酸比、Vc 含量分别增加了 4.80%、63.34%、54.81%、49.81%, 可滴定酸降低了 31.82%。肥料效应综合排序: 10BF>20BF>20SF>10SF>CK。综合分析不同施肥处理的芒果产量和品质及其他指标, 生物有机肥替代 10% 化肥处理为本试验条件下最佳推荐施肥方式。

关键词: 芒果; 有机肥; 产量; 品质; 主成分分析

芒果 (*Mangifera indica* L.) 属于漆树科 (Anacardiaceae) 芒果属 (*Mangifera*) 常绿大乔木, 因其风味独特, 营养价值高被誉为“热带果王”, 目前芒果种植于 100 多个国家, 其世界生产与贸易上均占有一定的地位^[1]。中国拥有 1 300 多年芒果栽培历史, 是世界第 6 大芒果生产国^[2]。海南是中国芒果栽培的重要省区之一, 其芒果种植区主要分布在三亚、乐东、陵水、昌江、东方等市 (县), 以早熟品种为主, 主栽品种有台农一号、贵妃芒、金煌芒、白象牙芒等^[3], 芒果产业已经成为中国热区农民经济收入的主要途径之一, 至 2015 年为止, 海南芒果种植面积约 4.69 万 hm^2 , 占全国总面积的 40.78%^[4]。研究表明, 芒果园土壤 pH 值和有机质含量偏低, 各地果园有机质含量基本为三级及以下水平^[5-6]。目前大多数果农为了追求产量和迎合市场需求仅凭经验施肥, 大量施用化肥, 不仅造

成地下水污染和温室气体增加的环境问题, 更会导致果园土壤团聚结构破坏, 有机质含量降低, 容重增加, 土壤酸化, 及土壤生物多样性降低等不利影响, 进而造成产量不稳, 品质不佳, 果农收益不理想。随着世界芒果生产日益发展和人们对水果营养价值及品质认识的不断提高, 水果的品质与安全问题越来越被关注。因此, 在保证产量情况下, 解决化肥减量并提高芒果品质的问题迫在眉睫。前人研究表明, 有机肥部分替代化肥是减肥增效的主要途径之一^[7-10], 适当比例的有机无机配施有利于改善稻米的品质, 当有机肥比例超过一定值后, 可能会导致水稻前期养分不足, 后期贪青晚熟^[11]。李孝良等^[12]研究表明, 在化肥减量 0%、20%、40% 配施有机肥处理中, 化肥减量 20% 可改善玉米生育后期营养状况, 提高产量和肥料利用率。张鹏等^[13]研究表明, 常规施肥量减少 20% 水肥一体化条件下, 芒果的各项品质指标及产量综合得分最高。陈瑞州等^[14]探索芒果园化肥减施 20% 可以提高真菌和放线菌数量, 有机肥部分替代化肥可以提高细菌数量。有机肥氮替代 10% 化肥氮是等肥力棉田增产、稳产、增效的合理施肥方式^[15]。臧小平等^[16]研究发现, 增施有机肥处理使果实可溶性固形物含量提高 10.1% ~ 21.6%, Vc 含量提高

收稿日期: 2019-09-11; 录用日期: 2019-10-19

基金项目: 国家重点研发计划-高效施肥技术与新型肥料研究 (2017YFD0202102); 海南省重大科技计划项目-海南芒果、柑橘品质提升关键技术与示范 (ZDKJ2017003)。

作者简介: 司若彤 (1993-), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 研究方向为热区果树养分综合管理。E-mail: 905471152@qq.com。

通讯作者: 林电, E-mail: lindian5519@163.com。

3.1% ~ 38.4%，可滴定酸含量下降 6.6% ~ 16.0%，固酸比提高 17.9% ~ 44.9%。尽管围绕芒果园施肥技术，叶片和土壤营养特性研究较多，但是针对有机肥部分替代化肥对芒果产量和品质综合评价的报道较少。本研究以两种不同碳氮比有机肥分别替代 10% 和 20% 化肥，通过主成分分析和综合评价得分，综合评价不同施肥方式肥料效应，以期为芒果园产量和品质综合评价提供分析方法，为芒果的提质增效和可持续发展提供理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料概况

田间试验于 2018 年 5 月至 2019 年 4 月在乐东黎族自治县佛罗农场进行，该农场处于东经 108° 39′，北纬 18° 24′，属于热带气候，年平均温度 24℃，年降水量约 1 600 mm，光热充足，雨量充沛，适宜芒果生长。供试芒果品种为台农一号，树龄 20 年生，株行距为 3 m × 3 m，果园 0 ~ 20 cm 土层的土壤容重为 1.60 g/cm³，碱解氮 2.63 mg/kg，有效磷 25.5 mg/kg，速效钾 21.02 mg/kg，有机质 2.82 g/kg，pH 值为 5.26。土壤类型为海相沉积燥红土。供试有机肥一：发酵纯羊粪，其有机质含量为 520.99 g/kg，氮含量 7.45 mg/kg，P₂O₅ 含量 12.92 mg/kg，K₂O 含量 11.74 mg/kg，C/N 为 40.26；供试有机肥二：生物有机肥，其有机质含量为 624.34 g/kg，氮含量 15.26 mg/kg，P₂O₅ 含量 55.93 mg/kg，K₂O 含量 36.70 mg/kg，C/N 为 23.70，有效活菌数 ≥ 0.2 亿/g（有效菌名称未知）。供试化肥：尿素（N 46.4%）、磷酸二氢钾（P₂O₅ 52%，K₂O 34%）、硫酸钾（K₂O 52%）。

1.2 试验设计

在氮磷钾等量施肥条件下有机肥部分替代化肥氮，试验设置 5 个处理：常规沟施化肥（CK）、发酵纯羊粪替代 10% 化肥（10SF）、发酵纯羊粪替代 20% 化肥（20SF）、生物有机肥替代 10% 化肥（10BF）、生物有机肥替代 20% 化肥（20BF），常规施肥量为 N 124 kg/hm²，P₂O₅ 75 kg/hm²，K₂O 250 kg/hm²。肥料在攻梢期、催花期和壮果期 3 个生理期施入，施肥量分别占总施肥量的 30%、40%、30%，有机肥在攻梢期一次施入，化肥氮磷钾在有机肥养分基础上于 3 个生理期施入。每个处理 4 个小区，每小区 4 棵，共 16 棵树。试验区除施肥处理以外，其他管理与果园一致。

1.3 试验测定项目与方法

叶片采样方法，在第三次梢叶片长势稳定后，从树体外侧中上部东南西北 4 个方向各取 2 片第三次梢叶片，每小区 16 片叶为一个混合样。果实产量以单株为单位计产，以每个处理的平均值折算每公顷产量。分析样果采摘于树体东南西北 4 个方向各 1 个，果实大小一致，无病害，每个小区 8 个果为一个混合样。用游标卡尺测定果实纵横茎并计算果型指数和体积^[17]。将芒果擦拭干净放置自然成熟。随机取样测定品质指标。果实抗坏血酸：草酸浸提，2，6-二氯酚酚滴定法测定；果实总酸度：酸碱滴定法测定；果实可溶性糖：3，5-二硝基水杨酸比色法；果实可溶性固形物：折射仪法。

果型指数 = 纵茎 / 最大横茎

可食率 (%) = (果肉质量 / 果实质量) × 100

加权单价 (元/kg) = 标准果^[18]单价 × 标准果率 + 小果单价 × (1 - 标准果率)

1.4 数据处理

采用 Excel 2013 和 SPSS 20.0 进行数据整理和方差分析，采用 Duncan's 法分析差异显著性（α = 0.05）。运用 SPSS 20.0 对 X₁ 芒果体积、X₂ 单果重、X₃ 可食率、X₄ 糖酸比、X₅ 固酸比、X₆ 维生素 C、X₇ 冠幅、X₈ 产量、X₉ 肥料效益 9 个指标标准化后，进行主成分分析，得到主成分得分系数矩阵，利用公式 1 计算提出的主成分得分，利用公式 2 计算综合得分^[19]。

$$Z_m = \sum C_{mj} \times ZX_{ij} \quad (1)$$

$$D_i = \sum F_{mi} \times E_m \quad (2)$$

式中，Z_m 指第 m 个主成分，ZX_{ij} 表示第 i 个处理的第 j 个指标的标准化数据，C_{mj} 表示第 m 个主成分对应第 j 个指标的得分系数；D_i 为各处理多个性状指标的综合评分值，F_{mi} 为第 i 个处理第 m 个主成分的分值，E_m 为第 m 个主成分的方差贡献率。

2 结果与分析

2.1 营养生长期叶片矿质养分含量对有机肥部分替代化肥的响应

在营养生长阶段，第三次梢叶氮含量最高，钾含量次之，磷含量最少；各有机肥替代处理氮含量与 CK 差异不显著，10% 替代处理的氮含量高于 20% 比例；相较于 CK，磷含量除 20SF 处理显著降低外，其他处理均无显著差异，说明在树体营养生长阶段 20SF 处理的磷供应低。各处理钾含量排序：

20BF>10BF>20SF>CK>10SF, 与CK相比, 20BF和10BF分别增加了43.92%和32.07%, 可见, 生物有机肥可以促进树体对钾元素的吸收, 提高第三次稍叶片中钾元素含量, 发酵纯羊粪对磷元素的供应低。

2.2 对果实植物学性状的影响

如表1所示, 在芒果成熟期, 各处理与纯化肥相比果实含水量、横径、侧径、果型指数差异不显著; 10BF处理的果实纵径较CK增加了2.57%, 达到显著水平, 各处理纵径排列: 10BF>20BF>20SF>CK>10SF; 与CK相比, 其他各处理的芒果体积差异不显著, 10BF显著高于10SF体积, 且生物有机肥10%和20%替代化肥处理的芒果体积均大于纯羊粪相应处理, 10BF最大; 说明生物有机肥对芒果纵向生长和体积增加有促进作用。

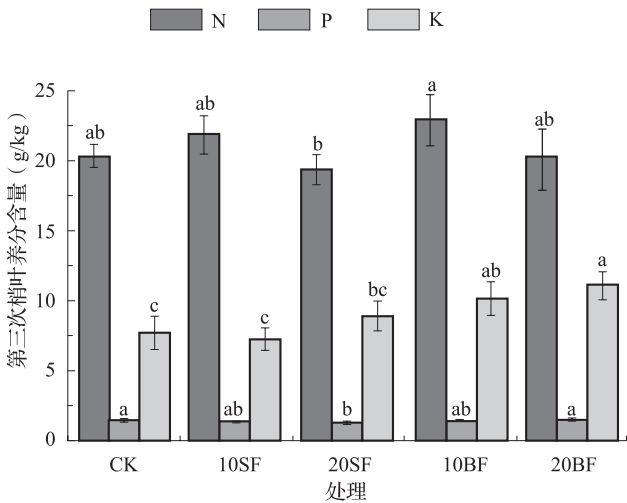


图1 不同施肥处理营养生长阶段叶片养分的差异
注: 柱上不同小写字母表示处理间0.05水平的差异显著。

表1 芒果成熟期不同处理的果实生物学性状

处理	含水量 (%)	果实纵径 (mm)	果实横径 (mm)	果实侧径 (mm)	果型指数	芒果体积 (cm ³)
CK	84.63 ± 0.25a	105.14 ± 1.67b	67.25 ± 1.75a	55.82 ± 1.9a	1.56 ± 0.03a	201.48 ± 14.72ab
10SF	84.80 ± 0.33a	104.30 ± 1.35b	66.28 ± 1.61a	54.53 ± 0.74a	1.57 ± 0.02a	192.37 ± 9.72b
20SF	84.74 ± 0.14a	105.16 ± 0.80b	66.70 ± 1.39a	54.56 ± 0.71a	1.58 ± 0.03a	195.18 ± 6.80ab
10BF	84.83 ± 0.39a	107.84 ± 1.62a	68.31 ± 1.28a	56.22 ± 1.66a	1.58 ± 0.02a	211.40 ± 12.45a
20BF	84.80 ± 0.30a	106.36 ± 1.03ab	66.53 ± 0.72a	55.33 ± 0.55a	1.60 ± 0.03a	199.66 ± 3.76ab

注: 含水量为湿基含水量。同列不同小写字母表示0.05水平的差异显著, 下同。

2.3 对果实产量和经济收益的影响

2.3.1 不同施肥处理对产量的影响

由表2可知, 等量施肥条件下, 20BF处理单果重显著高于CK和20SF, 单果重排序: 20BF>10BF>CK>20SF>10SF。与CK相比, 10SF、20SF、10BF、20BF处理的产量依次增加了30.91%、13.63%、22.10%、1.06%, 同一种有机肥条件下, 10%替代比例处理的产量高于20%比例; 10SF处理的产量最高, 为19.78 t/hm², 各处理产量排序:

10SF>10BF>20SF>20BF>CK。与CK相比, 10BF和20BF处理的标准果率分别提高了7.13%、13.75%, 纯羊粪替代两个处理均低于CK。可见生物有机肥可以提高芒果单果重和标准果率, 发酵纯羊粪可提高芒果产量, 但单果重和标准果率降低。

2.3.2 不同施肥处理的经济效益

由于果实产量与果实数量相关性很大, 单纯以表观产量估算肥料产值与实际不符, 故以标准果率为权重对芒果单价进行加权计算, 得出加权单价。

表2 不同处理的芒果产量及经济效益

处理	单果重 (g)	产量 (t/hm ²)	增幅 (%)	标准果率 (%)	加权单价 (元/kg)	果实产值 (元/hm ²)	肥料成本 (元/hm ²)	肥料效益 (元/hm ²)	增幅 (%)
CK	238.43b	15.11a	—	13.75	5.69	85 939	6 222	79 717	—
10SF	222.25b	19.78a	30.91	10.60	5.53	109 388	6 504	102 884	29.06
20SF	234.95b	17.17a	13.63	10.89	5.54	95 203	7 063	88 140	10.57
10BF	256.57ab	18.45a	22.10	14.73	5.74	105 839	7 770	98 069	23.02
20BF	265.41a	15.27a	1.06	15.64	5.78	88 289	10 650	77 639	-2.61

按标准芒果商品价格 10 元/kg，小芒果商品价格 5 元/kg，常规施肥尿素 801.9 元/hm²，磷酸二氢钾 4 276.8 元/hm²，硫酸钾 1 143.5 元/hm²，发酵纯羊粪价格 800 元/t，生物有机肥 4 000 元/t，计算各施肥处理的肥料效益。由表 2 得知，10SF 芒果肥料效益最高，达到 102 884 元/hm²，较 CK 增加了 29.06%，10BF 较 CK 增加了 23.02%，仅次于 10SF。可见 10% 替代比例处理的经济效益更高。

2.4 不同有机肥部分替代化肥对芒果果实内在品质的影响

由表 3 可知，在等量施肥条件下，10BF 处理的果实可食率最高，达到 72.12%，较 CK 增加 4.8%；10% 替代比例下，生物有机肥处理的果实可食率高于纯羊粪处理。10BF 可滴定酸含量较 CK 降低了

31.82%，较 10SF 处理降低 41.86%。10BF 可溶性固形物含量最高，与 CK 相比差异达到显著水平，各处理排序为 10BF>20BF>10SF>20SF>CK。10BF 的糖酸比均显著高于 CK、10SF、20BF，增幅分别为 63.34%、92.28%、53.66%。10BF 的固酸比均显著高于 CK、10SF、20BF，增幅分别为 54.81%、86.09%、52.51%。与 CK 相比，10SF 处理的 Vc 含量增加了 49.81%，20SF 增加 25.45%，20BF 处理降低了 20.63，各处理 Vc 含量排序：10SF>20SF>10BF>CK>20BF。10BF 处理可食率、可溶性糖、可溶性固形物、糖酸比、固酸比均最高，可滴定酸最低，说明生物有机肥替代 10% 化肥处理对芒果品质有正效应，可以显著提高芒果内在品质。

表 3 不同施肥处理芒果鲜果品质指标差异

处理	可食率 (%)	可滴定酸 (%)	可溶性糖 (%)	可溶性固形物 (%)	糖酸比	固酸比	维生素 C (mg/100 g)
CK	68.78 ± 0.89ab	0.37 ± 0.09a	16.59 ± 0.96a	19.00 ± 0.60b	45.42 ± 16.78b	53.91 ± 15.62b	17.14 ± 0.12c
10SF	65.05 ± 2.99b	0.43 ± 0.03a	16.56 ± 1.24a	19.27 ± 0.64b	38.58 ± 3.98b	44.85 ± 2.75b	25.68 ± 0.11a
20SF	69.85 ± 2.27ab	0.43 ± 0.01a	15.83 ± 1.73a	19.20 ± 0.35b	37.11 ± 2.94b	45.10 ± 1.95b	21.50 ± 0.14b
10BF	72.12 ± 1.27a	0.25 ± 0.02b	18.47 ± 1.63a	20.87 ± 0.23a	74.18 ± 12.57a	83.45 ± 7.84a	17.17 ± 0.23c
20BF	67.38 ± 5.94ab	0.36 ± 0.06a	17.08 ± 1.22a	19.47 ± 1.01b	48.28 ± 10.00b	54.72 ± 8.69b	13.60 ± 0.31d

2.5 不同处理果实品质效益综合评价

2.5.1 各指标的主成分分析

将不同施肥处理的芒果果实植物学性状、产量和品质性状指标数据标准化，利用 SPSS 软件进行主成分分析，结果如表 4，前 2 个主成分的累计方差贡献率为 76.926%，即前 2 个主成分所含信息占总信息量的 76.926%，且 2 个主成分的特征值均大于 1，表明前 2 个主成分可以用于不同施肥处理肥料效应综合评价。由表 4 知，主成 1 主要作用的是芒果体积、单果重、可食率、糖酸比、固酸比、Vc，方差贡献率为 43.529%；主成分 2 主要作用的是冠幅、产量、肥料效益，方差贡献率为 33.397%。

通过得分系数和标准化后的数据可以将主成分表示为两个线性组合：

$$Z1=0.36ZX_1+0.42ZX_2+0.26ZX_3+0.35ZX_4+0.37ZX_5-0.43ZX_6-0.28ZX_7-0.25ZX_8-0.22ZX_9;$$
$$Z2=0.19ZX_1+0.01ZX_2+0.27ZX_3+0.34ZX_4+0.34ZX_5+0.10ZX_6+0.42ZX_7+0.48ZX_8+0.49ZX_9。$$

表 4 主成分得分系数列表、贡献率及累计贡献率

性状	主成分 1	主成分 2
X ₁ 芒果体积 (cm ³)	0.36	0.19
X ₂ 单果重 (g)	0.42	0.01
X ₃ 可食率 (%)	0.26	0.27
X ₄ 糖酸比	0.35	0.34
X ₅ 固酸比	0.37	0.34
X ₆ 维生素 C (mg/100 g)	-0.43	0.10
X ₇ 冠幅 (m)	-0.28	0.42
X ₈ 产量 (t/hm ²)	-0.25	0.48
X ₉ 肥料效益 (元/hm ²)	-0.22	0.49
特征值	3.918	3.006
贡献率	43.529	33.397
累计贡献率	43.529	76.926

2.5.2 不同施肥处理肥料效应的综合评价

本研究以主成分1和主成分2分别作横纵坐标做成散点图(图2),可直观地揭示不同施肥处理肥料效应综合分布状况。由于各主成分的方差贡献率不同,所以在进行评价施肥效果时,还要结合主成分的贡献率,来协调好不同主成分之间的侧重关系。以各主成分方差贡献率为权重,利用公式(2)计算不同处理各个指标的2个主成分综合得分 D_n ,表5显示,在等量施肥条件下,4个有机肥部分替代化肥与纯化肥处理在芒果上的肥料效应的综合排序:10BF>20BF>20SF>10SF>CK。

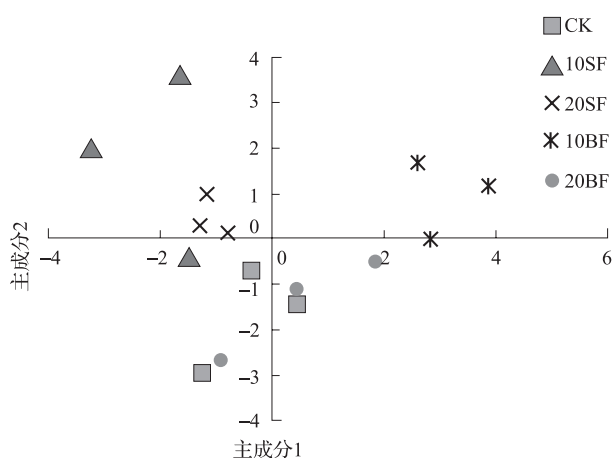


图2 不同施肥处理的主成分二维图

表5 不同施肥处理的肥料效应综合得分

处理	D1	D2	D	排序
CK	-0.40	-1.69	-0.74	5
10SF	-2.10	1.73	-0.34	4
20SF	-1.07	0.46	-0.31	3
10BF	3.11	0.93	1.66	1
20BF	0.46	-1.43	-0.28	2

3 讨论

3.1 叶片矿质养分含量对不同有机肥部分替代化肥的响应

叶片是多年生作物最理想的营养诊断部位,叶片矿质元素在营养生长和生殖生长期含量稳定,能代表树体营养状况,根据叶片同化产物的分配原理,养分分配具有就近原则,果实离顶蓬叶最近,顶蓬叶的养分含量直接影响果实生长发育^[20-22]。李晓天等^[23]研究表明,台农芒果叶片达到成熟后氮磷钾年平均含量分别在11.11~20.67、

0.91~1.35、1.26~7.93 g/kg范围,并提出果树在开花结果时需要大量补充氮和钾两种元素,磷只要保证基本需要即可。本研究各处理叶片大量元素含量依次是氮、钾、磷,与李晓天研究一致,10BF处理叶片氮磷钾含量均略高于李晓天台农叶片养分含量标准,说明生物有机肥替代10%化肥可以充分补充芒果生长发育需要的养分。典型相关分析获得影响苹果品质的主要是叶片养分因子,单果质量、果实硬度、可溶性固形物、果形指数均受叶片中钾和磷含量的影响,果实可滴定酸与氮钾含量有关^[24]。在等量施肥条件下,生物有机肥替代处理叶片钾和氮含量均高于相应替代比例发酵纯羊粪处理,说明不同种类有机肥对芒果根系氮钾吸收和运输影响力不同,这有可能与有机肥C/N不同有关,生物有机肥C/N为23.70,发酵纯羊粪C/N为40.26,C/N高的有机物料在分解过程中微生物用于自身繁殖消耗的养分与释放至芒果根际供给根系吸收的养分形成竞争^[25],且生物有机肥中含有大量有效菌,有益于改善根系环境。研究中第三次梢叶片中,20BF处理钾含量最高,10BF处理次之,可能是有机肥中含钾量高,且含有大量有效菌,有益微生物在根际定殖并形成优势菌,可以抑制有害微生物生长,并且向作物根际土壤微生态环境分泌各种代谢产物,刺激植株地上部与地下部生长^[26],在一定范围内,植株对钾素的吸收和转运能力随着有机肥的比例增加而增强。钾元素在光合作用和生理调节过程中起重要作用,也是提高作物抗逆性、改善果色、提高果质的重要元素^[27]。在多种肥料对芒果产量和经济效益的试验中,钾肥能显著提高芒果的经济效益,在芒果的经济效益中创收最高^[28]。

3.2 对果实植物学性状的影响

田益华等^[29]在探究有机肥施肥量对“夏黑”葡萄果实发育的影响中发现,施用有机肥在花后40 d可以增加果实的横径、纵径和果实的生长速度,果实粒重也随之增加。本试验中不同有机肥处理对于果实纵径、横径、果形指数、体积的影响较小,但总体上生物有机肥处理优于发酵纯羊粪处理。果形指数与单果质量受叶片中钾和磷含量的影响^[24],植物细胞分裂和增殖与磷元素有关^[30],在果实生长过程中叶片养分向果实转移,生物有机肥处理的叶片磷钾均高于发酵纯羊粪处理。生物有机肥对芒果的纵横径影响相对大一些,这可能是该有机肥中

含有有机小分子对芒果果皮和果肉细胞分裂有促进作用。因此,生物有机肥替代 10% 化肥可以增加果实体积,拉长芒果果实纵径,使得芒果外形修长,改善商品果外形。

3.3 对果实产量和经济效益的影响

影响产量的因素有很多,单果质量是影响产量的最重要因子,单果质量越大,单花序果实数目越少^[31]。在小麦、番茄、卷筒青、茶等多种作物的研究中表明,有机肥与化肥配合施用可以提高作物产量和经济效益^[32-36]。果实生长在幼果期果实内部物质积累,在膨大期果实细胞生理代谢活动最为旺盛,矿质营养供应充足是果实健康生长的必要条件^[37]。本研究从产量和肥料效益来看,相较于 CK, 10SF 的增幅均最大, 10BF 次之, 10SF 虽然产量和肥料效益最高,但其单果重小,小果率很高。发酵纯羊粪与化肥配施可能在花期提供的养分较多,增加花序数目,提高结果数量,但果实之间养分竞争,使果实体积和重量较小;生物有机肥与化肥配施在果实膨大期对树体供应养分充足,通过促进芒果纵向生长和体积增加提高单果重,增加标准果率。20BF 产量增幅小,原因一可能是有机肥养分投入整体表现出报酬递减的趋势,随着有机肥等投入量增加,果实产量呈不同程度地先增后减的趋势^[38],由于有机肥的肥效后效作用,20% 的有机肥比例可能已经超过了最佳产量的施肥量;原因二可能是 20BF 处理在当季营养生长阶段遭受龙卷风影响,其产量有可能受此影响。20BF 经济效益低,主要是因为生物有机肥的成本较高。因此,生物有机肥通过提高单果重提高产量,而发酵纯羊粪通过增加果实数量提高产量;生物有机肥替代 10% 化肥经济效益仅次于低成本发酵纯羊粪替代 10% 化肥处理。

3.4 不同有机肥部分替代化肥对芒果果实内在品质的影响

果实可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C、固(糖)酸比等是评价果实内在品质的重要指标,其含量的高低决定芒果营养价值和风味,进而影响芒果的商品价值。施用有机肥可提高可溶性固形物、可溶性糖及 Vc 含量,降低可滴定酸含量^[39-41]。有机肥在果树生产中可以改善果实品质,因为有机肥中矿质养分全面,富含有机质和有机酸,可以活化土壤养分,能改善土壤性状,促进微生物活动,为果树提供良好的生长发育环境,有助于维持良好的

果实风味^[42]。本研究中,10BF 处理可食率、可溶性固形物、可溶性糖、糖酸比、固酸比均最高,可滴定酸最低,这与臧小平等^[16]研究一致。这可能是生物有机肥中含有大量功能菌,功能菌的迅速繁殖优化土壤微生物种群结构,加快了土壤有机物质的分解和有效养分的活化,进而促进植株根系及地上部的生长,提高芒果产量且改善果实品质^[43]。生物有机肥、纯化肥和发酵纯羊粪处理的 Vc 含量依次增加,这与很多增施有机肥可以提高果实 Vc 含量的结论不相同。闫超等^[44]研究表明枣果生长成熟过程中,可溶性固形物、可溶性糖、氨基酸、矿质元素随着枣果生长逐步积累,维生素 C 含量逐步下降,可见生物有机肥处理的芒果成熟度高于纯化肥和发酵纯羊粪处理,发酵纯羊粪处理的果实成熟度最低,因此,生物有机肥可以提高芒果单果重和果实成熟程度,对果实品质改善起重要作用。

3.5 不同处理果实品质效益综合评价

由于原始指标测定计量单位不同,数据的量纲也不一致,及对评价体系的正、负影响,无法直观对各种施肥方式的肥料效应做出优劣比较,故利用主成分分析对各个代表指标进行综合评分^[16],综合分析不同施肥处理芒果果型、内在品质以及产量和经济效益,生物有机肥替代 10% 化肥时芒果综合得分最高,施肥效果最佳。本研究结果基于芒果的一个生长周期,如用于推广应用,需进一步验证分析。

4 结论

施用生物有机肥替代 10% 和 20% 化肥可以提高营养生长期第三次梢叶片钾含量。

从产量和经济效益考虑,发酵纯羊粪替代 10% 化肥为最佳施肥方式。

从果实外观和内在风味品质考虑,生物有机肥替代 10% 化肥为最佳施肥方式。

从生物学、品质、产量和经济效益等性状综合考虑,生物有机肥替代 10% 化肥的肥料效应最佳。

综上,主成分分析和综合评分可以综合分析评价芒果品质产量以及其他生物学等多个指标,在等量施肥条件下,生物有机肥替代 10% 化肥可以提高芒果经济效益,改善芒果外形和内在品质,在保证产量基础上,为芒果园提质增效的可持续发展提供一项施肥方式。

参考文献:

- [1] 贾文君, 李雯, 邵远志, 等. 热处理对红贵妃芒果贮藏品质及保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 722-725.
- [2] 黄顺坚, 龙笛笛, 何彦. 我国芒果施肥研究进展及展望[J]. 农业与技术, 2018, 38(16): 7-8.
- [3] 李日旺, 黄国弟, 苏美花, 等. 我国芒果产业现状与发展策略[J]. 南方农业学报, 2013, 44(5): 875-878.
- [4] 白大娟, 严海, 周开兵, 等. 三亚芒果产业现状、存在问题及其发展对策[J]. 热带农业科学, 2017, 37(9): 94-97.
- [5] 姚智, 康专苗, 白亭玉, 等. 三亚芒果主产区土壤养分现状评价与叶片矿质养分相关性分析[J]. 西南农业学报, 2017, 30(4): 803-810.
- [6] 兰子汉, 姚智, 陈瑞州, 等. 陵水芒果园土壤养分、pH与果实矿质营养的状况分析[J]. 热带作物学报, 2018, 39(3): 426-432.
- [7] 周慧, 史海滨, 徐昭, 等. 化肥有机肥配施对盐渍化土壤氮挥发及玉米产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(7): 1649-1656.
- [8] Manna M C, Swarup A, Wanjari R H, et al. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India [J]. Field Crops Research, 2005, 93(2-3): 264-280.
- [9] Yang S M, Li F M, Suo D R, et al. Effect of long-term fertilization on soil productivity and nitrate accumulation in Gansu oasis [J]. Agricultural Sciences in China, 2006, 5(1): 57-67.
- [10] Akiyama H, McTaggart I P, Ball B C, et al. N_2O , NO , and NH_3 emissions from soil after the application of organic fertilizers, urea and water [J]. Water Air and Soil Pollution, 2004, 156(1-4): 113-129.
- [11] 聂俊, 邱俊荣, 史亮亮, 等. 有机肥和化肥配施对抛栽水稻产量、品质及钾吸收转运的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(2): 122-125.
- [12] 李孝良, 胡立涛, 王泓, 等. 化肥减量配施有机肥对皖北夏玉米养分吸收及氮素利用效率的影响[J]. 南京农业大学学报, 2019, 42(1): 118-123.
- [13] 张鹏, 范家慧, 程宁宁, 等. 水肥一体化减量施肥对芒果产量、品质及肥耗的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019, (2): 114-118.
- [14] 陈瑞州, 李静, 范家慧, 等. 不同施肥配比对芒果园土壤养分、微生物数量和酶活性的影响[J]. 热带作物学报, 2018, 39(6): 1055-1060.
- [15] 哈丽哈什·依巴提, 李青军, 张炎. 有机肥氮替代部分化肥氮对棉花养分吸收、氮素利用和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019, (3): 137-142.
- [16] 臧小平, 周兆禧, 林兴娥, 等. 不同用量有机肥对芒果果实品质及土壤肥力的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016, (1): 98-101.
- [17] 李世军, 王茗, 袁孟玲, 等. 台农一号芒果果实体积的非离体测定及果实体积与风味品质的关系[J]. 热带生物学报, 2016, 7(4): 444-449.
- [18] NY/T 3011-2016, 芒果等级标准[S].
- [19] 马庆华, 李永红, 梁丽松, 等. 冬枣优良单株果实品质的因子分析与综合评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(12): 2491-2499.
- [20] 白亭玉, 李华东, 王艺蓉, 等. 桂热砧82号叶片矿质营养诊断采样时间和采样部位的研究[J]. 中国南方果树, 2017, 46(2): 81-85.
- [21] 康专苗, 姚智, 白亭玉, 等. 帕拉英达芒果叶片养分变化规律及营养诊断[J]. 南方农业学报, 2017, 48(4): 686-691.
- [22] 范家慧, 张鹏, 程宁宁, 等. 海南‘红金龙’芒果叶片矿质养分特征与诊断指标[J]. 热带作物学报, 2019, 40(3): 438-444.
- [23] 李晓天, 林电, 李华东, 等. 台农芒果叶片氮磷钾养分含量规律研究[J]. 中国土壤与肥料, 2013, (6): 63-67.
- [24] 张东, 赵娟, 韩明玉, 等. 黄土高原富士苹果叶片矿质养分与果实品质相关性分析[J]. 园艺学报, 2014, 41(11): 2179-2187.
- [25] 魏元茂. 不同碳氮比有机肥对有机农业土壤微生物生物量的影响[J]. 农业与技术, 2016, (21): 29-30, 76.
- [26] 伍从成. 连续施用生物有机肥对黄冠梨生长及土壤性状的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [27] 柴仲平, 王雪梅, 孙霞, 等. 不同氮磷钾配比滴灌对灰枣产量与品质的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(2): 229-233.
- [28] 韦莉莎. 不同肥料对芒果产量及经济效益的影响分析[J]. 农业与技术, 2017, 37(10): 5-6.
- [29] 田益华, 王倩, 奚晓军, 等. 有机肥施肥量对‘夏黑’葡萄果实发育的影响[J]. 河北林业科技, 2015, (4): 38-40.
- [30] 兰子汉, 陈瑞州, 仇海威, 等. 土壤基施硼肥对芒果产量及品质的影响[J]. 中国南方果树, 2018, 47(4): 73-76.
- [31] 徐娜, 冯辉, 王五宏, 等. “串番茄”(Truss tomato)果实主要数量性状的遗传[J]. 园艺学报, 2006, (1): 146-148.
- [32] Cherif H, Ayari F, Ouzari H, et al. Effects of municipal solid waste compost, farmyard manure and chemical fertilizers on wheat growth, soil composition and soil bacterial characteristics under Tunisian arid climate [J]. European Journal of Soil Biology, 2009, 45(2): 138-145.
- [33] 李顺, 李廷亮, 何冰, 等. 有机肥替代化肥对旱地小麦水氮利用及经济效益的影响[J]. 山西农业科学, 2019, 47(8): 1359-1365.
- [34] 杨海玲, 李吉军. 不同商品有机肥用量对番茄产量及经济效益的影响试验报告[J]. 农业科技与信息, 2019, (4): 37-39.
- [35] 李玉梅, 陈居民, 黄世革. 有机无机肥配比用量对卷筒青产量及经济效益的影响[J]. 广西农学报, 2017, 32(3): 18-22.
- [36] 肖秀丹, 黄延政, 郑政, 等. 不同配方施肥对夷陵区茶园土壤、茶叶品质和效益的影响初探[J]. 中国茶叶, 2018, 40

- (3): 20–24.
- [37] 林建明, 林电, 许杰. 不同氮钾配比对芒果产量与品质的影响[J]. 广东农业科学, 2012, 39(10): 92–93.
- [38] 王小英, 同延安, 刘芬, 等. 陕西省苹果施肥状况评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 206–213.
- [39] 石胜友, 武红霞, 王松标, 等. 杧果种质果实品质性状多样性分析[J]. 园艺学报, 2011, 38(5): 840–848.
- [40] 来源, 同延安, 陈黎岭, 等. 施肥对猕猴桃产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(10): 171–176.
- [41] 万水霞, 李帆, 蒋光月, 等. 有机肥不同用量对土壤微生物以及甘蓝品质和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012, (6): 74–76, 97.
- [42] 张丽娟, 李彦慧, 潘海泉. 施肥对水果品质影响的研究进展[J]. 河北林果研究, 1999, 14(2): 185–189.
- [43] 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.
- [44] 闫超, 苏彩霞, 郭凯勋, 等. 不同成熟度灰枣营养品质研究[J]. 农村科技, 2018, (8): 37–41.

Effect of partial replacement of chemical fertilizer by organic fertilizer on yield and quality of Tainong mango

SI Ruo-tong, LIU Wei, LIN Dian* (Hainan University, Tropical Crops College, Haikou Hainan 570228)

Abstract: The objective of this study was to investigate the effects of different organic fertilizers on the nutrient of leaves and fruit yield and quality of mango, evaluate the advantages and disadvantages of fertilizer effects in different fertilization methods, and to provide an analytical method for the comprehensive evaluation of mango yield and quality and provide a practical basis for improving the quality and efficiency of mango, using the principal component analysis and comprehensive evaluation scores. Five treatments were set up with the organic fertilizer partially replaced the fertilizer nitrogen in the field: the traditional chemical fertilizer (CK), 10% chemical fertilizer replaced by the fermented sheep manure (10SF), 20% chemical fertilizer replaced by the fermented sheep manure (20SF), 10% chemical fertilizer replaced by the bio-organic fertilizer (10BF), 20% chemical fertilizer replaced by the bio-organic fertilizer (20BF). The response of mango in biological traits, yield, economic benefit and quality to different fertilization methods and comprehensive evaluation of fertilizer effects were analyzed. Compared with CK, 10BF and 20BF significantly increased the content of potassium in the third shoot leaves. The longitudinal stem of 10BF fruit increased significantly by 2.57% compared with CK, and the longitudinal stem arrangement of 5 treatments was as follows: 10BF>20BF>20SF>CK>10SF. The mango volumes of 10BF and 20BF were larger than that of the sheep manure treatments. The single fruit weight of 20BF treatment was significantly higher than that of CK and 20SF, and the reordering of single fruit weight among 5 treatments was as follows: 20BF > 10BF > CK > 20SF > 10SF. Compared with CK, the edible rate, sugar-acid ratio, solid-acid ratio and VC content of 10BF, were significantly increased by 4.80%, 63.34%, 54.81% and 49.81%, respectively, and the titrated acid were significantly reduced by 31.82%. The comprehensive order of fertilizer effects of five treatments on mango was 10BF > 20BF > 20SF > 10SF > CK. Principal component analysis and comprehensive score evaluation can analyze the mango yield and quality and other indicators of different treatments, the highest comprehensive score was the 10BF, which was the best recommended fertilization method.

Key words: mango; organic fertilizer; yield; quality; principal component analysis