

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2022.02.005

李跃森, 吴水金, 张帅, 等. 有机肥氮投入比例对香蕉生长及主要品质影响. 土壤, 2022, 54(2): 247–254.

有机肥氮投入比例对香蕉生长及主要品质影响^①

李跃森, 吴水金, 张帅, 林宝妹, 李海明, 邱珊莲*

(福建省农业科学院亚热带农业研究所, 福建漳州 363005)

摘要: 探讨有机肥替代氮素在总氮投入中的不同比例对香蕉生长发育及主要品质的影响, 可进一步揭示不同供肥模式与香蕉生长发育、果实主要品质等相关性, 为找出最佳的有机肥替代比例提供理论支持。于福建漳州国家土壤质量数据中心观测监测点连续多年进行香蕉连作试验, 其中, 对照处理(CK)不施任何肥料, 其他处理氮素施入量均为 $N\ 630\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 以商品有机肥(MN)作为有机肥氮素代替不同比例的无机肥氮素(CN), 按照有机肥氮素占总氮投入的百分比, 设置 3 个处理, 分别为 M0 (3/3 CN)、M1 (2/3 CN+1/3 MN)和 M2 (3/3 MN)。通过比较分析 2018 年和 2019 年 2 年香蕉农艺性状、生育期和成熟果实主要品质等, 研究不同有机肥氮替代比例对香蕉生长发育及主要品质的影响。结果表明: ①M0 处理和 M1 处理香蕉维持较高的生长势, 生育期较短, 产量明显高于 M2 处理, 较高的有机肥氮替代比例明显限制了香蕉植株和果实的生长发育。②有机肥替代化肥提高了香蕉果实存储品质和风味品质, 有机肥氮替代比例越高香蕉转色速率越快, 货架期也相应延长, 同时增加成熟果实可溶性糖含量, 糖酸比提升明显。③土壤氮含量与香蕉风味品质形成相关程度高, 成熟香蕉果实可溶性糖含量、糖酸比与土壤硝态氮、铵态氮含量呈极显著或显著负相关, 香蕉可滴定酸含量与土壤硝态氮含量呈显著正相关。土壤速效氮含量较高时, 香蕉糖度降低, 酸度相应增加, 风味品质下降。④成熟香蕉果实大部分挥发性成分为酯类, 分别占总挥发性成分的 93.36%~98.66%。M1 处理有 10 种酯类化合物含量最高, 其中乙酸异丁酯、丁酸乙酯、异戊酸乙酯、异丁酸异丁酯、丁酸-2-甲基丙酯、异戊酸异丁酯、异丁酸异戊酯显著高于其他 3 个处理, 而乙酸异戊酯和醇类化合物含量则较低。综上, 在本试验条件下, 大比例有机肥氮替代无机肥氮显著限制香蕉的生长发育, 降低了香蕉单株产量, 但提高了香蕉存储品质和风味品质。在正常施肥水平下, 要维持香蕉较高产量和品质及适宜生长周期, 有机肥氮投入比例 1/3 为较佳的施肥方式。

关键词: 香蕉; 有机肥; 氮; 生长发育; 品质

中图分类号: S963.91 **文献标志码:** A

Effects of Ratio of Organic Fertilizer Nitrogen Input on Banana Growth and Main Quality

LI Yuesen, WU Shuijin, ZHANG Shuai, LIN Baomei, LI Haiming, QIU Shanlian*

(Subtropical Agriculture Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Zhangzhou, Fujian 363005, China)

Abstract: To explore the effects of different proportions of nitrogen substitute by organic fertilizer in total nitrogen input on banana growth and main quality can further reveal the correlation between different fertilizer supply modes and banana growth main quality, and provide theoretical support for finding the optimal ratio of nitrogen substitute by organic fertilizer. Banana continuous cropping experiment was conducted at the observation and monitoring site of Zhangzhou National Soil Quality Data Center in Fujian for consecutive years, no fertilizer was applied in the control (CK), while $N\ 630\ \text{kg}/\text{hm}^2$ was applied in other treatments. Commercial organic fertilizer (MN) was used to replace inorganic fertilizer nitrogen (CN) in different proportions according to the percentage of organic fertilizer nitrogen in total nitrogen input, namely M0 (3/3 CN), M1 (2/3 CN+1/3 MN) and M2 (3/3 MN), then the effects of different MN substitution on banana growth and main quality were compared and analyzed. The results showed that: 1) M0 and M1 maintained high growth potential, with shorter growth period and significantly higher yield than M2. The higher MN substitution significantly restricted the growth of banana plants and fruits. 2) MN substitution improved the storage quality and flavor quality of banana. The higher MN replacement, the faster banana color change rate and the longer the shelf life. At the same time, soluble sugar content of ripe banana fruit was increased, and the ratio of sugar to acid was

①基金项目: 国家土壤质量数据中心观测监测项目(ZX02S140103)和福建省农业科学院自由探索项目(AA2018-11)资助。

* 通讯作者(slqiu79@163.com)

作者简介: 李跃森(1982—), 男, 福建南靖人, 硕士, 助理研究员, 主要从事植物营养与环境生态研究。E-mail: 57112612@qq.com

increased significantly. 3) Soil nitrogen content was significantly correlated with the formation of banana flavor and quality. Soluble sugar content and sugar-acid ratio of the ripe banana fruits were extremely significantly or significantly negatively correlated with soil nitrate nitrogen and ammonium nitrogen contents. Banana titratable acid content and soil nitrate nitrogen content was significantly positively correlated. The higher available nitrogen content in soil, the lower banana sugar content, the higher soil acidity and the lower banana flavor quality. 4) Most volatile components in ripe banana fruits were esters, which accounted for 93.36%-98.66% of the total volatile components. M1 had the highest contents of 10 ester compounds, including isobutyl acetate, ethyl butyrate, ethyl isovalerate, isobutyl isobutyrate, 2-methyl propyl butyrate, isobutyl isovalerate. The ester and isoamyl isobutyrate were significantly higher in M1 than other treatments, while the content of isoamyl acetate and alcohol compounds was lower in M1. In summary, under the general level of soil basic fertility, especially when soil available nitrogen content was low, a large proportion of MN replacing CN could significantly limited the growth of bananas, reduced banana yield, but improved banana storage quality and flavor quality. Under the normal fertilization level, to maintain a higher banana yield and quality and a suitable growth cycle, 1/3 of organic fertilizer nitrogen input ratio is the better fertilization method.

Key words: Banana; Organic fertilizer; Nitrogen; Growth; Quality

香蕉是世界上最大宗的热带水果,是我国热带高效农业的支柱产业。福建是我国香蕉重要产区,漳州地处福建南部,属热带亚热带季风气候,在生产高品质香蕉上具有巨大的气候优势。近二十年,漳州地区香蕉生产中为追求高产和节省劳力,农民长期大量施用化学肥料,造成土壤板结酸化和香蕉枯萎病肆虐等问题,香蕉产量和品质下滑严重,种植面积锐减,严重影响福建香蕉产业发展^[1-2]。蕉园合理施肥,从根本上减轻施肥对环境的压力,建立和谐的香蕉生产环境,进一步提升土壤质量和香蕉品质,可从根本上解决目前香蕉生产被动局面,促进香蕉产业可持续发展。

作物产量和品质受作物品种和生长环境的双重影响^[3-4],不同的施肥时间、施肥量、基追比、氮磷钾肥以及有机肥间的互相配施对作物的品质均有不同的影响,合理施肥可以改善土壤环境,提高作物产量和品质^[5-7]。有机无机配施结合了化肥和有机肥二者所长,在保证作物高产优质、培肥土壤方面均表现出一定的优势^[8-9]。目前,相对于单施化肥或有机肥,有机无机配合施肥在作物增产提质、培肥土壤方面的优势已有很多报道,但在生产中有机无机配施效果也受到多种因素的影响。土壤基础肥力、施肥水平、有机肥类型、有机无机配施比例、气候条件等因素对作物品质的提升效应均有不同影响^[10]。因此,合理的有机无机配施在作物生长期所提供的速效养分含量应以实现作物产量和品质的同步提升为目标。

我国香蕉营养与施肥研究始于 20 世纪 90 年代初,早期主要集中于施肥对香蕉生长发育和产量的影响研究,后期主要集中于不同施肥模式下对香蕉产量和营养品质的研究^[11],但关于不同施肥条件下香蕉存储品质和香气成分的研究鲜见报道。因此,本研究通

过香蕉有机无机配施试验,研究不同有机肥氮替代比例对香蕉生长发育和主要品质的影响,进一步探讨有机无机配施条件下供氮与香蕉风味品质形成相关性,旨在明确香蕉生产适宜的有机肥氮替代比例,为香蕉生产科学施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验点位于福建省南部城市漳州市龙文区,国家土壤质量数据中心(热区)观测监测点(117°43'35" E, 24°32'55" N),土壤类型为灰砂泥田,海拔高度 12 m。该试验地所属区域的气候类型为南亚热带海洋季风气候,年均温 21.4 °C,年均日照时数 2 068 h,年均降水量 1 450 mm,无霜期 336 d,≥10 °C 的活动积温 7 258 °C。试验地耕层土壤 pH 5.6,有机质含量 11.1 g/kg,全氮含量 0.68 g/kg,全磷含量 0.67 g/kg,全钾含量 22.1 g/kg。试验地种植类型为香蕉连作。

1.2 试验设计与样品采集

试验设 4 个处理:①不施肥料(CK);②单施化肥(M0, N 400 kg/hm², P₂O₅ 160 kg/hm², K₂O 800 kg/hm²);③2/3 化肥氮+1/3 有机肥氮(M1, 与处理 2 等氮磷钾);④3/3 有机肥氮(M2, 与处理 2 等氮,补足磷钾),每个处理重复 3 次。N、P₂O₅ 和 K₂O 分别使用尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 12%)和硫酸钾(K₂O 50%),有机肥使用充分腐熟商品有机肥(N 1.5%、P₂O₅ 2.0%、K₂O 1.8%)。香蕉株行距 2.5 m × 2.8 m,每小区种植 16 株,种植密度为 1 600 株/hm²,区组内完全随机排列。氮肥、钾肥分 3 次施用,定植后 1~3 月施肥料总量的 30%,4~5 月施 30%,6~8 月施 40%;磷肥和有机肥作为基肥一次性施用。试验地

香蕉灌水、断蕾、病虫害防治等管理措施同当地蕉园。

试验开始于 2018 年 4 月, 在香蕉定植后, 每小区选定长势一致、健康无病虫害香蕉 6 株, 用于测定香蕉的株高、假茎粗、倒三叶叶长和宽, 并于收获时记录每株香蕉产量, 取果穗样进行产量、果指长、果指围等农艺性状调查, 农艺性状和产量性状的描述记录参照《香蕉种质资源描述规范》^[12]。在香蕉收获期, 每个处理随机采集测产株香蕉果实各 3 串, 催熟后测定第 3 梳香蕉主要品质, 包括转色速率、可食率、货架期、可溶性糖、可滴定酸、Vc 含量。2019 年 12 月香蕉全部采收后, 采集土壤耕层土样进行土壤全氮、铵态氮、硝态氮含量的测定分析。

1.3 香蕉主要品质的测定与分析

取样香蕉果实在 20 °C、相对湿度 90%~95% 条件下, 以乙烯 1 000 mg/kg 催熟, 催熟后测定香蕉果实主要品质。果皮转色速率即果指色级指数由一级(全绿)到达四级(黄多于绿)所需天数; 可食率即测定成熟果指果肉与果指重量比; 果指色级指数由四级转至七级(生理斑点出现)所需天数即为果实货架期^[13]。可溶性糖含量的测定采用蒽酮法^[14], 可滴定酸测定采用氢氧化钠滴定法^[14], Vc 含量的测定采用紫外分光光度计法^[14]。

香蕉成熟果实挥发性成分经顶空-气相色谱/质谱联用仪(GC-MS)进行测定分析: 使用 TriPlus 300 顶空自动进样器(美国赛默飞公司)和 Trace1300-TSQ 9000 气质联用仪(美国赛默飞公司)进行测定; 气相色

谱分析条件: 色谱柱, TG-5SILMS, 30 m×0.25 mm×0.25 μm 石英毛细管柱; 升温程序: 50 °C 保持 2 min, 以 4 °C/min 升温至 240 °C, 保持 5 min。进样量 1 000 μl, 载气为 He, 体积流量 1.2 ml/min, 分流比 10:1。质谱条件: 电离方式为 EI, 离子源温度 250 °C, 接口温度 280 °C。扫描质量范围为 30~550 amu。

1.4 数据分析

经 GC-MS 测定后, 通过 NIST/WILEY 谱库检索并确认各香气组分, 其相对含量通过面积归一化法计算。

试验数据采用 Excel 2007 进行原始数据分析; 采用 SPSS 22.0 统计软件进行相关性和单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对香蕉生长发育及产量的影响

2.1.1 不同施肥处理对香蕉植株生长的影响 施肥对香蕉植株生长发育起着重要作用, 表 1 结果表明, M0 处理与 M1 处理在香蕉株高、假茎围、倒三叶长、倒三叶宽方面均能维持在较高的生长水平, 二者差异不显著。M0 处理和 M1 处理在表征香蕉植株生长发育的各项农艺性状(总叶数除外)均明显优于 M2 处理和 CK 处理, 差异达到显著水平以上。在一定的施肥水平条件下, 较低的有机肥氮替代比例处理(M1)促进了植株生长, 效果与单施化肥氮处理(M0)相当, 较高的有机肥氮替代比例处理(M2)明显限制了香蕉植株的生长发育。

表 1 不同施肥处理对香蕉植株生长的影响

Table 1 Effects of different fertilization treatments on banana growth

年份	处理	株高(cm)	假茎围(cm)	倒三叶长 (cm)	倒三叶宽(cm)	总叶数(片)
2018	CK	245.4 ± 2.08 bB	49.7 ± 1.53 bC	132.0 ± 4.00 bB	51.0 ± 1.00 cB	23.6 ± 0.47 bA
	M0	267.3 ± 2.05 aA	61.3 ± 4.52 aA	146.2 ± 0.58 aA	62.3 ± 0.58 aA	24.3 ± 0.58 abA
	M1	259.3 ± 9.45 aAB	58.7 ± 2.31 aAB	140.7 ± 3.06 aA	60.5 ± 1.52 aA	24.0 ± 0 abA
	M2	247.2 ± 2.08 bB	53.4 ± 2.52 bBC	132.0 ± 3.46 bB	55.5 ± 6.10 bB	25.0 ± 1.00 aA
2019	CK	228.6 ± 2.52 cC	41.3 ± 4.32 cC	120.3 ± 4.04 cB	45.5 ± 1.43 cC	21.0 ± 1.00 bB
	M0	266.7 ± 3.06 aA	62.3 ± 0.58 aA	149.0 ± 4.58 aA	62.7 ± 0.53 aA	23.7 ± 0.58 aA
	M1	264.0 ± 6.08 aA	63.2 ± 0.58 aA	138.7 ± 2.08 aA	63.6 ± 2.76 aA	24.0 ± 0 aA
	M2	242.3 ± 2.08 bB	51.3 ± 1.54 bB	129.3 ± 2.31 bB	57.4 ± 1.38 bB	24.0 ± 1.00 aA

注: 同列数据小写字母不同表示处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平, 大写字母不同表示处理间差异达 $P < 0.01$ 显著水平, 下表同。

2.1.2 不同施肥处理对香蕉生育期和产量的影响 不同有机肥氮替代比例对香蕉生育期和产量形成具有显著影响。由表 2 可以看出, 在抽蕾周期、成熟周期、抽蕾-成熟周期和全生育期方面, 处理间表现为: CK>M2>M1>M0, 有机肥替代化肥处理香蕉各生育期均比单施化肥处理延长, M2 处理与 M0 处理间差

异极显著($P < 0.01$), M1 处理与 M0 处理间差异也达到显著水平($P < 0.05$)。试验表明不同有机肥氮替代比例延长了香蕉生育期, 有机肥氮替代比例越高, 香蕉各生育期相应延长。香蕉果指长、果指围、每梳果指数和单果重是构成香蕉产量的重要参数。由表 3 可以看出, 不同有机肥氮替代比例对香蕉产量及产量

表 2 不同施肥处理对香蕉生育期的影响
Table 2 Effects of different fertilization treatments on banana growth periods

年份	处理	抽蕾周期(d)	成熟周期(d)	抽蕾-成熟周期(d)	全生育期(d)
2018	CK	246.5 ± 1.53 aA	333.7 ± 6.27 aA	85.5 ± 0.58 aA	336.5 ± 1.42 aA
	M0	234.3 ± 1.15 dC	314.4 ± 3.12 dD	76.4 ± 0.58 dC	324.3 ± 1.12 dC
	M1	238.4 ± 0.58 cC	319.5 ± 2.18 cC	78.0 ± 1.00 cC	328.4 ± 0.55 cC
	M2	242.0 ± 2.00 bA	326.5 ± 0.58 bB	81.7 ± 1.15 bB	332.0 ± 1.88 bB
2019	CK	260.4 ± 1.15 aA	345.3 ± 2.08 aA	88.7 ± 2.52 aA	350.4 ± 1.10 aA
	M0	233.0 ± 1.00 dC	313.5 ± 1.17 dC	77.6 ± 1.53 cC	323.0 ± 1.00 dC
	M1	237.4 ± 1.15 cC	321.0 ± 11.00 cB	79.5 ± 1.62 cBC	327.4 ± 1.11 cC
	M2	254.7 ± 1.16 bB	334.7 ± 5.16 bB	83.8 ± 0.58 bB	344.7 ± 1.12 bB

表 3 不同施肥处理对香蕉产量的影响
Table 3 Effects of different fertilization treatments on banana growth

年份	处理	果指长(cm)	果指围(cm)	每梳果指数(个)	单果重(g)	单株产量(kg)
2018	CK	15.4 ± 0.15 cB	11.3 ± 0.10 cC	16.4 ± 0.58 bB	123.1 ± 3.05 dD	16.3 ± 0.45 cC
	M0	15.7 ± 0.06 bA	13.6 ± 0.17 aA	18.2 ± 0 aA	152.8 ± 4.34 bB	24.4 ± 0.75 aA
	M1	16.5 ± 0.23 aA	13.4 ± 0.39 aA	17.7 ± 1.58 aA	161.7 ± 2.61 aA	25.4 ± 0.78 aA
	M2	15.8 ± 0.15 bA	12.5 ± 0.15 bB	16.0 ± 0 bB	139.4 ± 2.19 cC	20.4 ± 0.38 bB
2019	CK	12.8 ± 0.20 dD	10.1 ± 0.20 dD	13.7 ± 0.58 bB	112.1 ± 4.48 dD	11.2 ± 0.48 cC
	M0	16.7 ± 0.26 aA	13.1 ± 0.06 bB	18.0 ± 0 aA	157.7 ± 2.08 bB	26.2 ± 0.74 aA
	M1	15.7 ± 0.21 bB	13.9 ± 0.05 aA	18.0 ± 0 aA	166.9 ± 0.42 aA	26.8 ± 0.47 aA
	M2	14.7 ± 0.36 cC	12.1 ± 0.40 cC	17.0 ± 1.00 aA	140.0 ± 4.00 cC	21.3 ± 1.58 bB

指标有显著影响,各处理 2 年香蕉产量及产量指标总体表现为 M0≈M1>M2>CK。M2 处理香蕉产量指标整体上显著低于 M0 处理,两年平均单株产量降低 17.6%。M1 处理与 M0 处理 2019 年香蕉果指长、果指围和单果重差异极显著,而香蕉平均单株产量差异不显著。较高的有机肥氮替代比例明显限制了香蕉植株和果实的生长发育。随着有机肥氮替代比例增加,香蕉生育周期相应变长,单株产量也有所下降, M0 处理和 M1 处理香蕉从定植到采收时间最短, M2 处理次之。研究表明较低的有机肥氮替代比例不影响香蕉果实的生长发育,可以维持较高的单株产量。

2.2 不同施肥处理对香蕉果实品质的影响

2.2.1 不同施肥处理对香蕉存储品质的影响

存储品质在果蔬的生产流通环节起着决定性的作用,提高果蔬存储品质可以极大提高产品附加值。不同气候条件、栽培措施对果蔬存储品质具有重要影响,合理施肥可提高果蔬存储品质。结果(图 1A)表明,有机肥氮替代化肥氮降低了香蕉的可食率, M0 处理香蕉可食率最高, M1 处理次之,二者两年平均可食率分别达到 80.6% 和 78.8%;有机肥氮替代水平越高,香蕉可食率越低, M2 处理与 CK 处理香蕉可食率较低,两年平均分别为 74.8% 和 75.5%。图 1B、图 1C

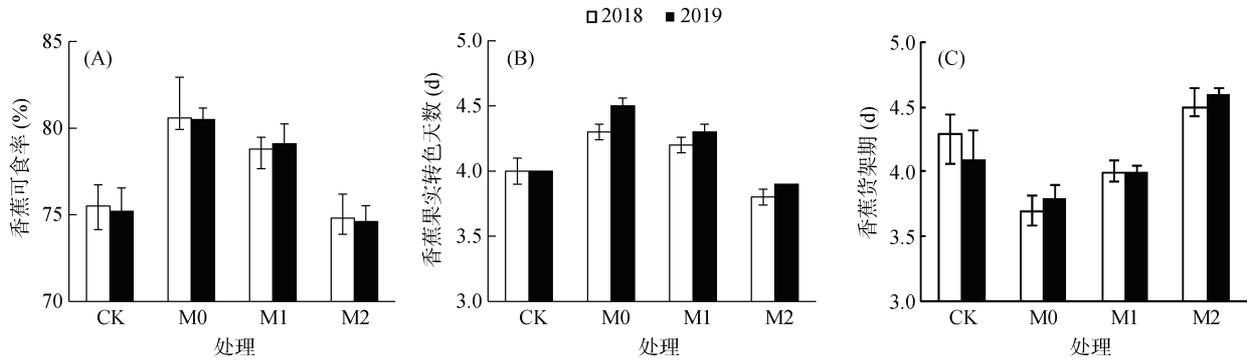
表明有机肥替代化肥明显提高香蕉果实转色速率,增加香蕉货架期; M0 处理转色速率最慢,货架期最短; M2 处理转色速率最快,货架期最长,达到 4.6 d,明显高于 M0 处理,差异极显著。研究还发现, CK 处理香蕉果实可食率较低,但同样具有较高的转色速率和较长的货架期。

2.2.2 不同施肥处理对香蕉风味品质的影响

香蕉风味品质主要取决于糖酸组分及其含量。合理的有机无机配施可以在保障产量的同时,改变香蕉果实的糖酸组分及其含量,使香蕉风味进一步提升。结果(图 2A、2B)表明较高的有机肥氮替代比例可提升香蕉可溶性糖含量,进而提升香蕉的糖酸比, M2 处理和 CK 处理香蕉均具有较高的可溶性糖含量和较低可滴定酸含量, M1 处理次之, M0 处理香蕉可溶性糖含量最低。不同施肥处理间 Vc 含量差异不显著(图 2C)。

2.2.3 土壤氮含量与香蕉果实可溶性糖、可滴定酸、糖酸比的相关性分析

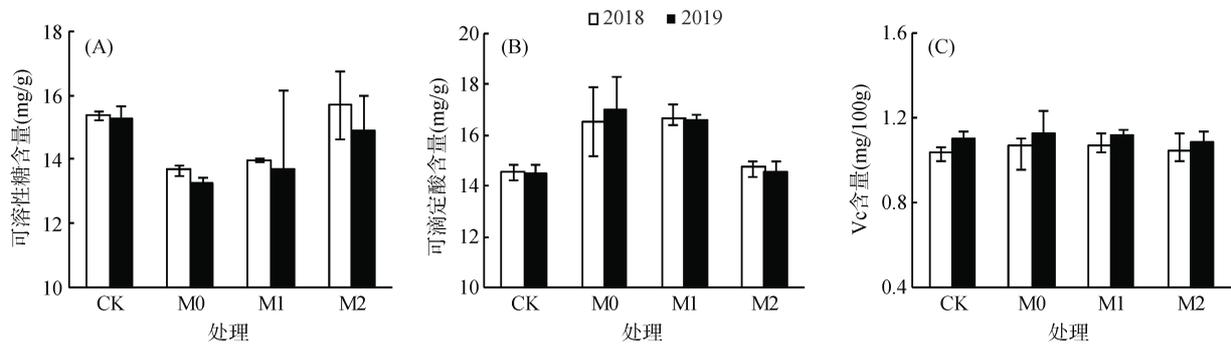
为了进一步探究不同施肥处理香蕉风味品质形成与土壤施肥的关系,本研究选取了 2019 年香蕉采收后土壤全氮、铵态氮、硝态氮与香蕉可溶性糖、可滴定酸、糖酸比等指标进行相关性分析,结果(表 4)发现,土壤氮含量与香蕉风味品质形成相关程度较高,香蕉成熟果实可溶性糖含量、



(A. 香蕉可食率; B. 香蕉果实转色速率; C. 香蕉货架期)

图 1 不同施肥处理对香蕉存储品质的影响

Fig.1 Effects of different fertilization treatments on storage quality of banana



(A. 可溶性糖含量; B. 可滴定酸含量; C. Vc 含量)

图 2 不同施肥处理对香蕉风味品质的影响

Fig.2 Effects of different fertilization treatments on banana flavor quality

表 4 土壤氮含量与香蕉果实可溶性糖、可滴定酸、糖酸比的相关性

Table 4 Correlation between soil nitrogen content and banana soluble sugar, titratable acid, sugar-acid ratio

土壤氮	可溶性糖		可滴定酸		糖酸比	
	相关系数(<i>r</i>)	显著性水平(<i>P</i>)	相关系数(<i>r</i>)	显著性水平(<i>P</i>)	相关系数(<i>r</i>)	显著性水平(<i>P</i>)
全氮	-0.145 4	0.652 1	0.207 6	0.517 4	-0.169 6	0.598 3
铵态氮	-0.579 1	0.048 5*	0.386 3	0.214 8	-0.547 6	0.065 5
硝态氮	-0.899 7	0.000 1**	0.658 3	0.019 9*	-0.856 7	0.000 4**

注：*、**分别表示相关性达 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 显著水平；土壤氮含量与香蕉果实可溶性糖、可滴定酸、糖酸比的值采用 2019 年试验数据。

糖酸比与土壤硝态氮含量呈极显著负相关($r = -0.899 7, P = 0.000 1$; $r = -0.856 7, P = 0.000 4$), 土壤铵态氮含量与可溶性糖含量呈显著负相关($r = -0.579 1, P = 0.048 5$)。研究还表明, 成熟香蕉可滴定酸含量与土壤氮含量呈正相关关系, 与土壤硝态氮含量呈显著正相关($r = 0.658 3, P = 0.019 9$)。土壤速效氮含量越高, 香蕉糖度降低, 酸度相应增加, 糖酸比下降, 风味品质相应下降。

2.2.4 不同施肥处理对香蕉成熟果实挥发性成分含量的影响 香蕉后熟环境对果实挥发物成分和含量影响的研究较多, 有机无机肥配施对香蕉香味物质形成的影响还未见报道。由表 5 可以看出, 经 GC-MS

分析, M0、M1、M2 处理和 CK 处理中分别检测到 27、30、29 和 31 种挥发性成分, 其中大部分挥发性成分为酯类, 分别有 25、26、25 和 27 种, 是香蕉香气成分的主要组成, 分别占总挥发性成分的 93.36% ~ 98.66%。酯类中的乙酸异戊酯、乙酸异丁酯、丁酸异戊酯、1-甲基乙酸丁酯、丁酸-2-甲基丙酯在所有处理中含量都较高。本试验中 M1 处理有 10 种酯类化合物含量最高, 其中丁酸乙酯、异戊酸乙酯、异丁酸异丁酯、异戊酸异丁酯、异丁酸异戊酯、正己酸乙酯显著高于其他 3 个处理, 而乙酸异戊酯含量则较低。另外, M0、M1 处理醇类化合物含量显著低于 M2、CK 处理。

表 5 不同施肥处理香蕉成熟果实的主要挥发性成分相对含量(%)
Table 5 Contents of main volatile components in mature banana fruits under different fertilization

挥发性成分		施肥处理				
		CK	M0	M1	M2	
酯类	乙酸异丁酯	9.59 ± 1.23 b	12.25 ± 2.16 a	12.65 ± 2.08 a	9.88 ± 1.17 b	
	丁酸乙酯	1.34 ± 0.20 c	1.78 ± 0.11 b	4.11 ± 0.28 a	2.45 ± 0.22 b	
	乙酸丁酯	2.41 ± 0.32 bc	2.71 ± 0.25 ab	2.17 ± 0.19 c	2.96 ± 0.34 a	
	1-甲基乙酸丁酯	14.40 ± 1.47 a	8.61 ± 0.78 c	7.57 ± 0.53 c	11.09 ± 1.09 b	
	异戊酸乙酯	0.16 ± 0.05 d	0.29 ± 0.04 c	0.85 ± 0.09 a	0.44 ± 0.07 b	
	乙酸异戊酯	32.24 ± 2.88 a	30.29 ± 2.36 a	30.70 ± 2.54 a	31.52 ± 2.94 a	
	异丁酸异丁酯	0.36 ± 0.06 c	0.56 ± 0.07 b	0.69 ± 0.07 a	0.50 ± 0.04 b	
	异丁酸丁酯	0.05 ± 0.00 b	0.07 ± 0.00 a	0.08 ± 0.01 a	0.08 ± 0.00 a	
	丁酸-2-甲基丙酯	5.12 ± 0.29 bc	6.57 ± 0.30 ab	7.29 ± 0.43 a	5.97 ± 0.32 b	
	丁酸丁酯	1.79 ± 0.18 a	1.65 ± 0.22 a	1.91 ± 0.20 a	2.39 ± 0.28 a	
	丁酸 2-甲基丁酯	0.12 ± 0.04 b	0.20 ± 0.04 a	0.19 ± 0.03 a	0.11 ± 0.02 b	
	异戊酸异丁酯	1.00 ± 0.13 b	1.48 ± 0.18 b	2.03 ± 0.17 a	1.35 ± 0.12 b	
	丁酸 2-戊酯	3.50 ± 0.33 a	2.63 ± 0.24 b	2.48 ± 0.20 b	3.49 ± 0.31 a	
	异戊酸丁酯	0.44 ± 0.02 b	0.42 ± 0.00 b	0.61 ± 0.05 a	0.63 ± 0.04 a	
	丁酸异戊酯	12.98 ± 1.06 a	12.32 ± 0.98 a	12.39 ± 1.32 a	13.12 ± 1.05 a	
	2-甲基丁酸-3-甲基丁酯	0.20 ± 0.01 b	0.33 ± 0.04 a	0.25 ± 0.03 ab	0.20 ± 0.02 b	
	异戊酸异戊酯	7.68 ± 0.33 b	9.01 ± 0.37 a	8.87 ± 0.26 a	8.60 ± 0.31 a	
	丁酸己酯	0.23 ± 0.05 a	0.23 ± 0.02 a	0.18 ± 0.05 b	0.18 ± 0.03 b	
	丁酸 1-甲基己酯	0.33 ± 0.03 a	0.26 ± 0.04 a	—	—	
	3-甲基丁酸己酯	0.20 ± 0.02 b	0.20 ± 0.02 b	0.29 ± 0.04 a	0.27 ± 0.02 a	
	乙酸异庚酯	0.19 ± 0.02 a	0.18 ± 0.02 a	—	0.11 ± 0.03 b	
	1-甲基乙酸己酯	2.34 ± 0.22 a	1.32 ± 0.16 b	1.14 ± 0.12 b	1.32 ± 0.10 b	
	正己酸乙酯	—	—	0.05 ± 0.00	—	
	庚烷-2-基丁酸酯	—	—	—	0.27 ± 0.02	
	异丁酸异戊酯	—	—	2.08 ± 0.19	—	
	正戊酸异戊酯	0.05 ± 0.00	—	—	—	
	1-甲基乙酸戊酯	0.10 ± 0.01 a	—	0.07 ± 0.00 b	—	
	合计	96.83 ± 0.87 a	93.36 ± 0.75 b	98.66 ± 0.97 a	96.91 ± 0.78 a	
	酮类	5-甲基-2-庚酮	0.21 ± 0.04 a	0.13 ± 0.02 b	0.13 ± 0.02 b	—
		2-庚酮	—	—	—	0.17 ± 0.04
2,4-二甲基-3-戊酮		—	—	0.11 ± 0.03 a	0.06 ± 0.00 b	
合计		0.21 ± 0.04 a	0.13 ± 0.02 b	0.24 ± 0.02 a	0.23 ± 0.03 a	
醇类	2-甲基-1-戊醇	2.18 ± 0.24 a	—	—	2.17 ± 0.18 a	
	3-甲基-4-戊醇	—	—	0.05 ± 0.00	—	
	顺-5-辛烯-1-醇	—	—	—	—	
	合计	2.18 ± 0.24 a	0	0.05 ± 0.00 b	2.17 ± 0.18 a	
其他	2-甲基-1,4-己二烯	0.15 ± 0.03	—	—	—	
	正己基甲醚	—	0.07 ± 0.00	—	—	
	3-甲基-4-戊醇醋酸盐	0.13 ± 0.01 b	—	0.18 ± 0.03 a	0.12 ± 0.02 b	
	合计	0.28 ± 0.02 a	0.07 ± 0.00 d	0.18 ± 0.03 b	0.12 ± 0.02 c	
占总峰面积的百分数		99.51 ± 0.89	93.55 ± 0.73	99.13 ± 1.03	99.43 ± 1.35	

注：“—”表示未检测到；同行数据小写字母不同表示处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平。

3 讨论

3.1 不同有机肥氮替代比例香蕉生长发育变化特征

在生产实际中,有机无机肥配施是维持作物高产和培肥地力的重要途径。许多试验均表明,一定养分投入量下,适当的有机无机肥配施比例能够保持和提高小麦、水稻等农作物的产量,有机肥的比例超过一定的阈值则会降低作物产量^[15-16]。同时,许多研究结果均指出有机无机肥替代比例保持在20%~40%可以提高水稻、蔬菜作物土壤肥力并保持作物高产^[17-21]。

本试验条件下,1/3有机肥氮替代化肥氮处理(M1)香蕉可以维持较高的生长势和产量,生育期也较短,效果与单施化肥处理(M0)相当,而较高的有机肥替代比例处理(M2)香蕉生长势和产量明显低于单施化肥,生育周期也变长。出现这种结果的原因可能是化肥和有机肥的供肥模式不同,在土壤基础地力一般情况下,土壤本身可提供的养分水平较低,作物生长主要依靠肥料中的养分。有机肥养分浓度低,矿化速度慢,其所提供的速效养分不能及时满足作物生长需求,而化肥可以迅速提高土壤中主要养分的浓度,满足作物生长需求,因此会出现有机肥处理的产量明显低于化肥处理。有学者指出,合理的有机无机配施比例应该充分考虑农田基础地力、施肥水平、有机肥类型、作物品种以及气候条件等要素,需要在充分验证的基础上才能确定较适宜的有机肥替代比例^[10]。

3.2 不同有机肥氮替代比例香蕉相关品质变化特征

作物品质受作物品种和生长环境的双重影响,合理施肥可以改善作物生长环境,提高品质^[3-6]。有机无机配施对谷类作物品质影响的研究较多,一些研究表明有机无机配施可以改善小麦面粉与面团品质指标中的大部分指标,提高籽粒蛋白质含量,改善淀粉糊化特性^[22-24]。也有研究表明,合理的有机无机配施虽然一定程度上可能会降低稻米的外观品质,但可以提高稻米中必需氨基酸和蛋白质含量,食味品质也能得到一定的改善^[25-28]。有机无机配施对瓜果蔬菜的品质有重要影响。多数报道表明,相对于单施化肥,合理的有机无机配施在保证产量的同时可以有效提高瓜果蔬菜蛋白质、可溶性糖、Vc等含量,降低叶菜类硝酸盐含量^[6, 29-30]。本试验中相较于单施化肥,1/3有机肥氮替代化肥氮和纯有机肥氮处理香蕉存储品质和风味品质提升明显,其原因可能是有机肥所含营养元素的形态、数量以及比例均衡,可以为作物提供更加全面、平衡的养分,为实现作物的高品质提供了物质基础^[4, 31-32]。

3.3 香蕉果实糖酸累积与土壤氮含量相关性

果实糖酸含量是果实风味品质最主要的构成部分,果实糖累积量的高低是内在的遗传与外在的自然因子、栽培措施等因素相互作用的结果^[33]。本研究发现,土壤速效氮含量与香蕉可溶性糖含量、糖酸比呈极显著负相关,较高的土壤速效氮降低了香蕉风味品质。有研究表明有机无机配施对作物品质的提升效应主要取决于其供肥模式,其中供氮模式尤为重要,适量的氮肥可以提高果实中可溶性糖含量及糖酸比,过量使用氮肥则不利果实糖累积^[25, 27, 34]。目前国内在施肥对香蕉风味品质形成机理研究方面不够深入,后期应加强施肥与香蕉糖累积规律相关研究,尤其是供氮模式与香蕉糖代谢机理研究。

3.4 不同有机肥氮替代比例香蕉成熟果实挥发性成分变化特征

果实香气是水果风味品质重要组成部分,施肥方式和肥料种类会影响果实的香气成分和含量。有研究表明分次施肥较一次性施肥更能增加果实香气成分含量^[35],过量施用氮肥会促进桃果实青香型物质的形成,减少其甜香气味物质^[36]。研究认为,酯类是香蕉中特有的风味化合物,尤其是乙酸异戊酯和乙酸异丁酯代表了成熟香蕉果实中的特征果香味^[37]。试验初步表明较高的有机肥氮替代比例和不施肥处理促进了香蕉挥发性成分往乙酸异丁酯和醇类方向转化,这可能是在有机肥替代比例较大或不施肥情况下与土壤矿化氮含量较低有关,还有待进一步验证。

4 结论

在本试验中,1/3有机肥氮替代化肥氮处理(M1)香蕉维持较高的生长势和较短生育期,产量与单施化肥处理(M0)相当,显著高于有机肥氮全部替代化肥氮处理(M2),较高的有机肥氮替代比例明显限制了香蕉植株和果实的生长发育;有机肥替代化肥提高了香蕉果实存储品质和风味品质,与M0处理相比,M1处理增加成熟果实可溶性糖含量,糖酸比提升明显;研究还发现土壤氮含量与香蕉风味品质形成相关程度高,成熟香蕉果实可溶性糖含量、糖酸比与土壤硝态氮、铵态氮含量呈极显著或显著负相关,香蕉可滴定酸含量与土壤硝态氮含量呈显著正相关;成熟香蕉果实酯类占总挥发性成分的93.36%~98.66%,M1处理有10种酯类化合物含量最高,其中乙酸异丁酯、丁酸乙酯、异戊酸乙酯、异丁酸异丁酯、丁酸-2-甲基丙酯、异戊酸异丁酯、异丁酸异戊酯显著高于其他3个处理。在本试验条件下,要维持香蕉较高产量和

品质及适宜生长周期, 有机肥氮投入比例 1/3 为较佳的施肥方式。

参考文献:

- [1] 周红玲, 郑云云, 洪佳敏, 等. 福建省香蕉产业发展现状及对策[J]. 现代农业科技, 2017(5): 100-101.
- [2] 陈小玲, 黄勇, 黄丽娜. 福建香蕉产业的现状及发展策略[J]. 福建热作科技, 2011, 36(3): 62-66.
- [3] Graybosch R A, Peterson C J, Shelton D R, et al. Genotypic and environmental modification of wheat flour protein composition in relation to end-use quality[J]. *Crop Science*, 1996, 36(2): 296-300.
- [4] Triboni E, Abad A, Michelena A, et al. Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: 1. quantitative and qualitative variation of storage proteins[J]. *European Journal of Agronomy*, 2000, 13(1): 47-64.
- [5] 沈中泉, 郭云桃, 袁家富. 有机肥料对改善农产品品质的作用及机理[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 54-60.
- [6] 王昌全, 李廷强, 夏建国, 等. 有机无机复合肥料对农产品产量和品质的影响[J]. 四川农业大学学报, 2001, 19(3): 241-244.
- [7] 唐永金. 施肥方式对作物品质影响的研究近况[J]. 土壤肥料, 2004(3): 46-49.
- [8] 沈善敏. 国外的长期肥料试验(一)[J]. 土壤通报, 1984, 15(2): 85-91.
- [9] 高菊生, 黄晶, 董春华, 等. 长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 314-324.
- [10] 李燕青, 赵秉强, 李壮. 有机无机结合施肥制度研究进展[J]. 农学学报, 2017, 7(7): 22-30.
- [11] 谢江辉. 新中国果树科学研究 70 年——香蕉[J]. 果树学报, 2019, 36(10): 1429-1440.
- [12] 黄秉智, 胡春华, 魏岳荣, 等. 香蕉种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [13] 张春梅, 隆之高, 蒋世超, 等. 有机栽培制度对蕉园土壤环境及蕉果后熟品质之影响[J]. 台湾园艺, 2007, 53(4): 381-393.
- [14] 赵世杰. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002.
- [15] 孔文杰, 倪吾钟. 有机无机肥配合施用对土壤-水稻系统重金属平衡和稻米重金属含量的影响[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(5): 517-523.
- [16] 刘守龙, 童成立, 吴金水, 等. 等氮条件下有机无机肥配比对水稻产量的影响探讨[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 106-112.
- [17] 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3133-3139.
- [18] 郑兰君, 曾广永, 王鹏飞. 有机肥、化肥长期配合施用对水稻产量及土壤养分的影响[J]. 中国农学通报, 2001, 17(3): 48-50.
- [19] 孟琳, 张小莉, 蒋小芳, 等. 有机肥料氮替代部分化肥氮对稻谷产量的影响及替代率[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 532-542.
- [20] 宁建凤, 邹献中, 杨少海, 等. 有机无机氮肥配施对土壤氮淋失及油麦菜生长的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 95-100.
- [21] 刘宇锋, 梁燕菲, 邓少虹, 等. 灌溉方式和有机无机氮比例对水稻产量与水分利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 551-561.
- [22] 李春明, 熊淑萍, 赵巧梅, 等. 有机无机肥配施对小麦冠层结构、产量和蛋白质含量的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4287-4293.
- [23] 谢迎新, 王小明, 王化岑, 等. 无机与有机肥配施对小麦籽粒产量和淀粉糊化特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(2): 299-302.
- [24] 曲环, 赵秉强, 陈雨海, 等. 灰漠土长期定位施肥对小麦品质和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 12-17.
- [25] 刘建, 魏亚凤, 吴魁, 等. 有机无机 N 不同配比与中粳稻米品质关系的研究[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2004, 22(3): 246-250.
- [26] 荆奇, 曹卫星, 戴廷波. 小麦籽粒品质形成及其调控研究进展[J]. 麦类作物, 1999(4): 46-50.
- [27] 吴春艳, 陈义, 许育新, 等. 长期定位试验中施肥对稻米品质的影响[J]. 浙江农业学报, 2008, 20(4): 256-260.
- [28] 王飞, 林诚, 李清华, 等. 长期不同施肥方式对南方黄泥田水稻产量及基础地力贡献率的影响[J]. 福建农业学报, 2010, 25(5): 631-635.
- [29] 张娟, 沈其荣, 冉炜, 等. 施用预处理秸秆对土壤供氮特征及菠菜产量和品质的影响[J]. 土壤, 2004, 36(1): 37-42.
- [30] 王冰清, 尹能文, 郑棉海, 等. 化肥减量配施有机肥对蔬菜产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(1): 242-247.
- [31] 王允圃, 刘玉环, 阮榕生, 等. 有机肥改良农产品品质的科学探索[J]. 中国农学通报, 2011, 27(9): 51-56.
- [32] 王华静, 吴良欢, 陶勤南. 有机营养肥料研究进展[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 110-114.
- [33] 罗霄, 郑国琦, 王俊. 果实糖代谢及其影响因素的研究进展[J]. 农业科学研究, 2008, 29(2): 69-74.
- [34] 周江明. 有机-无机肥配施对水稻产量、品质及氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 234-240.
- [35] 史沉鱼, 李向民, 李晓东, 等. 两种施肥处理对红富士苹果香气成分的影响[J]. 北方园艺, 2010(3): 1-3.
- [36] Jia H J. Studies on peach quality affected by orchard practices [D]. Japan: Doctor Thesis of Okayama University, 2002.
- [37] Mayr D, Märk T, Lindinger W, et al. Breath-by-breath analysis of banana aroma by proton transfer reaction mass spectrometry[J]. *International Journal of Mass Spectrometry*, 2003, 223/224: 743-756.