

李映晖, 吕庆芳, 李映志, 等. 不同肥料对香蕉和粉蕉果实挥发物的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(1): 73-79.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.01.011

## 不同肥料对香蕉和粉蕉果实挥发物的影响

李映晖, 吕庆芳, 李映志, 叶春海, 李润唐  
(广东海洋大学农学院, 广东 湛江 524088)

**摘要:** 为了解不同肥料对香蕉和粉蕉果实挥发物成分和含量的影响及其影响机制,以香蕉巴西(*Musa* AAA Cavendish subgroup cv. Brazil)和粉蕉广粉1号(*Musa* AAB Group Fenjiao cv. Guangfeng NO. 1)为试材,研究了增施鱼粉和花生麸对果实挥发物及相关酶活性的影响。结果表明,香蕉巴西中检测到32种挥发性物质,粉蕉广粉1号中检测到25种挥发性物质,均以酯类为主,其次为醛类,粉蕉果实中没有烃类及酚类物质;香蕉果实挥发物总量为6 113.43~20 253.89  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,粉蕉果实挥发物总量为1 614.09~4 383.99  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。增施鱼粉和花生麸能增加香蕉和粉蕉果实的挥发物总含量和种类,促进大多数挥发物的积累,以增施鱼粉的效应最大;增施鱼粉和花生麸能够提高香蕉和粉蕉果实醇脱氢酶和醇酰基转移酶的活性,增施鱼粉的效果最明显;在香蕉和粉蕉果实后熟过程中,醇脱氢酶活性不断下降,醇酰基转移酶则出现一个活性高峰,香蕉和粉蕉具有相似的酶活性变化模式,但酶活性水平存在差异。香蕉和粉蕉果实在挥发物成分和含量上都存在差异,增施鱼粉可以提高果实醇脱氢酶和醇酰基转移酶活性,与增施鱼粉后香蕉和粉蕉果实挥发物总量和种类的增加有一定关系。

**关键词:** 香气; 肥料; 香蕉; 粉蕉

**中图分类号:** S668.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)01-0073-07

## Influence of different fertilizers on volatile compounds of banana and dwarf banana

LI Ying-hui, LÜ Qing-fang, LI Ying-zhi, YE Chun-hai, LI Run-tang  
(College of Agriculture, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to investigate the effects of different fertilizers on volatile compounds of banana and dwarf banana fruits and to understand the underlying mechanisms. Banana brazil (*Musa* AAA Cavendish subgroup cv. Brazil) and dwarf banana Guangfeng NO. 1 (*Musa* AAB Group Fenjiao cv. Guangfeng No. 1) were employed as materials, and fish meal and peanut cake were used for fertilization. Totally 32 volatile compounds were detected in fully matured fruits of Brazil and 25 volatile compounds in fully matured fruits of Guangfeng No. 1. Esters dominated the volatile compounds, followed by aldehydes. Alkanes and phenols were not detected in Guangfeng No. 1. In addition to the components of volatile compounds, the amounts differed as well, 6 113.43–20 253.89  $\mu\text{g}/\text{kg}$  in Brazil and 1 614.09–4 383.99

收稿日期: 2014-07-06

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系香蕉栽培与耕作岗位专家项目[粤财教(2009)356号]

作者简介: 李映晖(1988-), 女, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事热带园艺作物遗传育种研究。(E-mail) 576526479@qq.com

通讯作者: 李映志, (E-mail) lyingzhi2005@126.com; 叶春海, (E-mail) gydych@126.com

$\mu\text{g}/\text{kg}$  in Guangfeng No. 1. Applications of both fish meal and peanut cake increased total amount and components of volatile compounds and facilitated the accumulation of most volatile compounds, with fish meal being more effective. Application of fish meal and peanut cake also increased the activities of alcohol dehydrogenase (ADH) and alcohol acetyltransferase (AAT) in the fruits of both banana and

dwarf banana, with fish meal being more effective. During ripening of postharvested banana and dwarf banana fruit, the activities of ADH decreased continuously, while the activities of AAT showed a distinct peak. Banana and dwarf banana displayed similar patterns of changes in enzymes activities, but different enzyme activities. Increased activities of both ADH and AAT could explain the increase of components and amounts of volatile compounds in both fruits of banana and dwarf banana.

**Key words:** aroma; fertilizer; banana; fenjiao

中国是世界上第二大香蕉生产国,其产量的 38.8% 来自广东<sup>[1]</sup>。随着消费者对果实品质的日益关注,许多研究人员都在设法通过育种或栽培措施来增进果实品质。香蕉是肥水需求较高的作物,肥料种类和施用时期对香蕉的产量和品质都有很大的影响<sup>[2-4]</sup>,然而,除了糖、酸和 Vc 含量等品质属性外,有关肥料对香蕉果实香气成分和含量影响的国内外报道还比较少。

成熟果实中的挥发性物质赋予果实独特的香味,其成分和含量构成果实的香气特征谱或香气指纹<sup>[5]</sup>,是果树栽培、采后处理及品质育种等领域的重要研究内容。影响果实香气物质形成的因素很多,除了品种、成熟度等内部因素外,外部环境,如栽培管理、施肥类型等也是造成果实香气物质种类和含量差异的重要因素<sup>[6-8]</sup>。

本研究以巴西香蕉 (*Musa* AAA Cavendish subgroup cv. Brazil) 和广粉 1 号粉蕉 (*Musa* AAB Group Fenjiao cv. Guangfeng NO. 1) 为试材,采用顶空固相微萃取结合气相-质谱联用技术 (SPME/GC-MS), 分析不同肥料种类对香蕉和粉蕉果实香气成分及含量的影响,以期为香蕉品质育种和栽培技术研究提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验于 2012 至 2013 年间在广东省湛江市果树蔬菜研究所的试验基地进行。地理位置为东经 21°26' 和北纬 110°28', 海拔 45 m, 亚热带季风性气候, 年平均气温 22.7 ~ 23.3 °C, 年平均日照 1 817 ~ 2 106 h。园地土壤类型为砖红壤, 微喷灌溉。

### 1.2 试验材料

试验材料为巴西香蕉 (*Musa* AAA Cavendish subgroup cv. Brazil) 与广粉 1 号粉蕉 (*Musa* AAB Group Fenjiao cv. Guangfeng NO. 1)。挥发性物质

吸附提取用的萃取头为 50/30 μm 复合二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷 (Divinylbenzene / Carboxen / Polydimethylsiloxane, DVB/CAR/PDMS) 纤维头。气质联用仪为安捷伦 Agilent 6890N/5975/GC-MS。色谱柱为 HP-5MS (30 m×0.32 mm×0.25 μm) 毛细管色谱柱。

### 1.3 试验方法

完全随机试验设计。设复合肥 (对照)、鱼粉+复合肥和花生麸+复合肥 3 个处理, 每个处理设 3 个重复行, 试验区域设 2 行保护行。复合肥的 N、P、K 比率为 14 : 8 : 19。3 种肥料同时分 3 次施入, 分别为定植前、旺盛生长期 (植后 70 d) 和抽蕾期 (植后 150 d)。试验园种苗为组培苗袋苗, 南北行向, 株行距 2.5 m×3.0 m, 常规管理。

不同肥料处理的果实在八成熟时采收, 采收后放置室温下任其自然成熟, 期间分批取果, 每个处理随机取 5 个果指, 去果皮后将果肉用液氮速冻后, 置于 -80 °C 冰箱保存备用。参考朱虹等<sup>[9]</sup>的方法, 利用顶空固相微萃取结合气相色谱和质谱联用技术分析样品果肉中的挥发性物质。参考 Echeverría 等<sup>[10]</sup>的方法, 测定样品果肉的乙醇脱氢酶 (Alcohol dehydrogenase, ADH) 活性。参考隋静等<sup>[11]</sup>的方法, 测定醇酰基转移酶 (Alcohol acetyltransferase, AAT) 活性。所有测定均重复 3 次。

### 1.4 数据分析

质谱图经 NIST05 质谱库匹配分析, 结合人工图谱解析, 确定挥发性物质的成分。参考陈美霞等<sup>[12]</sup>的方法, 以 2-辛醇作为内标计算出各挥发性物质的含量: 含量 (μg/kg) = (待测物质的峰面积/内标峰面积) × 内标含量 (μg) / 样品质量 (kg)。

## 2 结果与分析

### 2.1 肥料对香蕉和粉蕉果实挥发物成分和含量的影响

不同肥料处理的香蕉和粉蕉果实挥发性物质

成分和含量的测定结果见表1。由表1可以看出,酯类物质是香蕉和粉蕉成熟果实香气成分中的主要成分,分别占总挥发物成分的85.73%~98.13%和48.2%~89.79%,其中,异丁酸异戊酯、异戊酸异戊酯、乙酸异戊酯、丁酸异丁酯、异戊酸异丁酯含量较高;其次是醛类物质,分别占香蕉和粉蕉成熟果实总挥发物成分的7.33%~12.79%和10.21%~13.65%,其中反式-2-己烯醛、己醛含量较高。

香蕉和粉蕉成熟果实在香气成分和含量上都

存在明显差异(表1)。巴西香蕉成熟果实香味浓郁,香气物质类型较多,检测到的挥发性物质有32种,挥发性物质总含量为6 113.43~20 253.89  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。广粉1号粉蕉成熟果实的香味较淡,香气物质类型较少,含量较低,检测到的挥发性物质有25种,总含量为1 614.09~4 383.99  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。巴西香蕉和广粉1号粉蕉成熟果实中的香气成分都以酯类为主,分别为23种和21种,两者在酯类物质的种类上也存在较大差异。

表1 肥料对巴西香蕉和广粉1号粉蕉果实挥发物成分及含量的影响

Table 1 Effects of fertilizers on the components and contents of volatile compounds in the fruits of banana Brazil and dwarf banana Guangfeng No. 1

香气成分	香蕉果实挥发物含量( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			粉蕉果实挥发物含量( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			
	复合肥处理	花生麸+复合肥处理	鱼粉+复合肥处理	复合肥处理	花生麸+复合肥处理	鱼粉+复合肥处理	
醛类	己醛	74.76± 4.20Aa	297.21± 7.25BCc	341.21± 120.68Cc	69.42± 5.40Aa	151.52± 1.08Aab	179.96± 1.13ABb
	反式-2-己烯醛	373.41± 12.98Aa	1 051.28± 32.36Bb	1 429.47± 525.86Bb	125.93± 8.54Aa	303.05± 2.04Aa	285.38± 0.80Aa
	醛类总和	448.17± 13.03Cc	1 348.48± 43.18Dd	1 770.67± 645.45Aa	195.35± 13.81Bb	454.57± 3.11Cc	465.34± 1.93Cc
醇类	3-甲基-丁醇	40.12± 2.33Bc	33.82± 1.83Bbc	80.30± 13.82Cd	28.28± 1.64Bb	24.70± 1.27ABb	10.16± 0.40Aa
	醇类总和	40.12± 2.33	33.82± 1.83	80.30± 13.82	28.28± 1.64	24.70± 1.27	10.16± 0.40
酮类	2-戊酮	62.46± 2.72Aa	111.49± 1.10Aa	200.53± 48.91Bb	-	-	-
	2-壬酮	-	8.15± 1.00B	16.70± 1.92A	-	-	-
	2-辛酮	9.03± 2.06Bc	5.22± 0.42Ab	23.56± 1.02Cd	-	2.13± 0.28Aa	7.43± 0.15ABc
	酮类总和	71.49± 1.81Bb	124.85± 0.46Bc	240.79± 51.13Cd	-	2.13± 0.28Aa	7.43± 0.15Aa
酯类	异丁酸异戊酯	978.23± 217.41ABa	2 933.55± 24.61Bb	5 939.30± 1861.42Cc	622.04± 72.57Aa	996.89± 105.99ABa	792.01± 33.34ABab
	异戊酸异戊酯	1 023.53± 362.99Aa	3 042.49± 97.30Bb	5 177.81± 1704.55Cc	496.70± 36.08Aa	1 189.21± 146.78ABa	876.48± 0.02ABa
	乙酸异戊酯	1 105.06± 89.42Bc	855.83± 55.31ABbc	2 271.77± 815.46Cd	335.66± 26.87ABab	183.89± 17.55Aa	111.52± 3.54Aa
	丁酸异丁酯	508.67± 60.50Ac	442.77± 26.30Abc	1 600.98± 478.65Bd	49.98± 5.19Aa	94.26± 5.45Aab	40.96± 0.39Aa
	丁酸 1-甲基丁酯	219.96± 33.49Aa	162.51± 8.70Aa	923.30± 285.21Bb	18.47± 2.01Aa	28.48± 2.82Aa	53.50± 0.13Aa
	异戊酸异丁酯	367.41± 77.19Bb	313.08± 28.21Bb	600.08± 184.68Cc	19.69± 1.97Aa	57.21± 4.81Aa	22.86± 0.25Aa
	戊酸 4-己烯酯	243.50± 51.56Aa	190.19± 7.46Aa	597.76± 191.54Bb	-	-	-
	丁酸异戊酯	413.13± 60.75BCb	378.50± 22.91Bb	590.31± 180.56Cc	61.52± 6.78Aa	156.23± 13.67Aa	42.76± 0.53Aa

续表 1 Continued table 1

香气成分	香蕉果实挥发物含量(μg/kg)			粉蕉果实挥发物含量(μg/kg)		
	复合肥处理	花生麸+复合肥处理	鱼粉+复合肥处理	复合肥处理	花生麸+复合肥处理	鱼粉+复合肥处理
乙酸异丁酯	243.61± 19.35Bb	255.94± 23.84Bb	506.74± 138.01Cc	15.34± 1.05Aa	13.40± 1.30Aa	4.54± 0.06Aa
丁酸丁酯	56.05± 6.66Aa	38.00± 2.16Aa	329.39± 97.62Bb	22.90± 2.89Aa	21.07± 1.88Aa	19.42± 0.21Aa
异戊酸己酯	72.82± 17.13Ab	36.14± 3.73Aab	223.06± 64.53Bc	—	1.21± 0.46Aa	1.85± 0.35Aa
异戊酸丁酯	60.54± 10.13Ab	41.32± 2.26Aab	217.38± 64.53Bc	9.87± 1.06Aa	13.48± 1.35Aa	11.14± 0.04Aa
乙酸丁酯	—	—	191.78± 37.99A	—	—	5.42± 0.04B
2-甲基丁酸异戊酯	73.13± 13.43Bb	119.44± 7.58Cc	119.63± 31.46Cc	25.79± 2.78Aa	49.06± 5.95ABab	57.32± 0.06ABb
丁酸己酯	30.60± 11.61Aa	15.55± 0.98Aa	113.46± 23.62Bb	19.08± 1.39Aa	33.70± 5.91Aa	35.57± 1.35Aa
丁酸 4-己烯酯	32.90± 7.47ABb	41.80± 2.09Bb	109.91± 29.09Cc	1.98± 0.39Aa	2.67± 0.46Aa	5.79± 0.08Aa
异丁酸丁酯	74.05± 10.58Bb	91.23± 5.96Bc	97.71± 16.45Bc	—	8.93± 0.52Aa	1.27± 0.00Aa
乙酸顺-4-己烯酯	31.53± 2.68Aa	48.05± 2.36Bb	73.17± 0.00Cc	—	—	—
乙酸乙酯	—	—	63.95± 0.28Dd	13.01± 0.93Cc	8.27± 0.83Bb	5.86± 0.05Aa
异戊酸顺-3-己烯酯	—	15.95± 3.67B	43.99± 4.61A	—	—	—
己酸 2-甲基丙酯	—	17.40± 3.11Bb	42.15± 10.04Cc	1.29± 0.19Aa	2.97± 0.48Aa	2.01± 0.06Aa
2-戊醇乙酸酯	—	—	32.40± 3.22	—	—	—
丁酸顺-3-己烯酯	2.09± 0.59Aa	1.88± 0.14Aa	9.69± 3.15Bb	—	—	—
丁酸-2-甲基己酯	—	—	—	—	4.78± 0.89A	9.61± 0.34A
戊酸异戊酯	—	—	—	5.42± 0.54Aa	9.72± 1.45Bb	7.27± 0.20ABab
丁酸 4-戊烯酯	—	—	—	—	—	4.06± 0.06
酯类总和	5 536.81± 817.40ABab	9 041.64± 176.30Bb	19 875.73± 5045.30Cc	1 718.74± 159.93Aa	2 875.43± 312.01ABa	2 111.22± 36.78ABa
烃类						
乙烷基环己烷	19.47± 3.88Aa	11.22± 0.08Aa	50.85± 12.18Bb	—	—	—
1,3-环辛二烯	37.49± 8.95Bb	20.56± 1.71Aa	69.20± 0.00Cc	—	—	—
烃类总和	56.96± 10.47Ab	31.78± 1.71Aa	120.05± 12.18Bc	—	—	—
酚类						
丁香酚	10.60± 1.42Aa	15.54± 0.65ABb	17.32± 2.09Bb	—	—	—
酚类总和	10.60± 1.42	15.54± 0.65	17.32± 2.09	—	—	—
总和	6 113.43± 1 016.89ABab	10 546.75± 256.94Bb	20 253.89± 6 241.87Cc	1 914.09± 206.16Aa	3 330.13± 386.10Aa	4 383.99± 42.88ABa

同行数据后不同大、小写字母分别表示差异达 0.01 和 0.05 显著水平。—表示未检测到该物质。

肥料对巴西香蕉及广粉1号粉蕉果实挥发物的成分和总含量有明显的影响(表1)。无论是香蕉还是粉蕉,增施花生麸和鱼粉,都能增加挥发物的种类。增施花生麸可使香蕉熟果增加2种酯类和1种酮类物质,增施鱼粉可增加5种酯类和2种酮类物质。增施花生麸可使粉蕉熟果增加3种酯类和1种酮类物质,增施鱼粉可增加5种酯类和1种酮类物质。无论香蕉还是粉蕉,增施花生麸和鱼粉均增加了挥发性物质的总量,以增施鱼粉处理的挥发性物质总量最大,分别达到20 253.89  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和4 383.99  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。3种施肥处理下,香蕉果实挥发物总量的差异达到极显著水平,但粉蕉果实挥发物总量的差异不显著。

增施花生麸或鱼粉能显著增加香蕉熟果中的醛类物质含量、3-甲基-丁醇含量、酮类和酯类物质含量、丁香酚含量,降低烃类物质总量(表1)。增施花生麸或鱼粉能显著增加粉蕉果实熟果醛类物质含量、2-辛酮含量、酯类物质总量、烃类物质含量,降低粉蕉果实中3-甲基-丁醇含量。

## 2.2 肥料对香蕉和粉蕉果实乙醇脱氢酶(ADH)活性的影响

不同肥料处理下,香蕉和粉蕉果实后熟过程中,

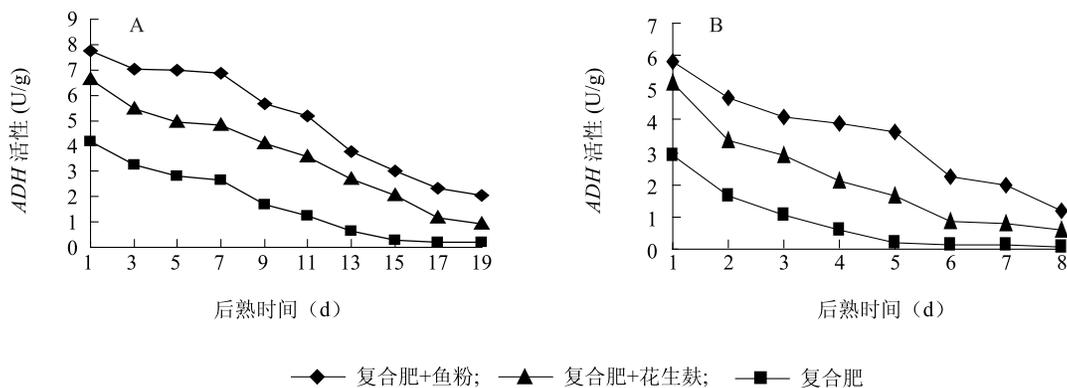


图1 3种肥料对香蕉(A)和粉蕉(B)果实成熟过程中乙醇脱氢酶(ADH)活性的影响

Fig.1 Effects of three fertilizers on the activities of alcohol dehydrogenase (ADH) during fruit ripening of banana (A) and dwarf banana (B)

## 2.3 肥料对香蕉和粉蕉果实醇酰基转移酶(AAT)活性的影响

3种肥料对香蕉和粉蕉果实后熟过程中醇酰基转移酶(AAT)活性的影响见图2。从图2中可以看出,巴西香蕉和广粉1号粉蕉果实中的AAT活性分别在后熟第11d和第5d出现峰值。香蕉和粉蕉果实后熟过程中表现出相似的酶活性变化模式。

ADH酶活性的变化见图1。从图1中可以看出,随着果实后熟,巴西香蕉和广粉1号粉蕉果实中的ADH活性均呈下降趋势。单施复合肥的香蕉果实后熟第15d(ADH活性为0.30 U/g),酶活性变化趋于平缓,早于增施花生麸或鱼粉的处理。粉蕉果实中,单施复合肥处理的果实在后熟第5d(ADH活性为0.21 U/g),酶活性变化开始趋于平缓;增施花生麸的处理则在后熟第6d(ADH活性为0.86 U/g),酶活性变化趋于平缓。

从图1中还可看出,增施花生麸和鱼粉都能增加香蕉和粉蕉果实中的乙醇脱氢酶活性,以增施鱼粉的增加作用最大。香蕉果实后熟第1d,单施复合肥、增施花生麸和增施鱼粉的ADH活性分别为4.18 U/g、6.63 U/g和7.77 U/g;至第19d,酶活性分别下降至0.19 U/g、0.91 U/g和2.07 U/g,分别下降了95.5%、86.3%和73.4%。粉蕉果实后熟第1d,单施复合肥、增施花生麸和增施鱼粉的ADH活性分别为2.89 U/g、5.13 U/g和5.83 U/g;至第19d,酶活性分别下降至0.09 U/g、0.59 U/g和1.19 U/g,分别下降了96.9%、88.5%和79.6%。这些结果还表明,香蕉和粉蕉的果实ADH活性也存在差异,香蕉果实中的酶活性较高。

增施花生麸和鱼粉均能增加香蕉和粉蕉果实中的AAT活性,以增施鱼粉对AAT活性的增加效应最大。在香蕉果实中,单施复合肥、增施花生麸和增施鱼粉后,果实中AAT活性的峰值分别为3.28 U/g、8.41 U/g和13.07 U/g,分别是第1d(分别为0.33 U/g、1.01 U/g和1.46 U/g)的9.94倍、8.33倍和8.95倍。在粉蕉果实中,单施复合肥、增施花生麸

和增施鱼粉后,果实中 AAT 活性的峰值分别为 2.13 U/g、6.47 U/g 和 10.07 U/g,分别是第 1 d(分别为 0.27 U/g、0.56 U/g 和 0.95 U/g)的 7.89 倍、11.55

倍和 10.6 倍。这些结果也表明,香蕉和粉蕉果实间 AAT 活性存在差异,香蕉果实中的酶活性较高。

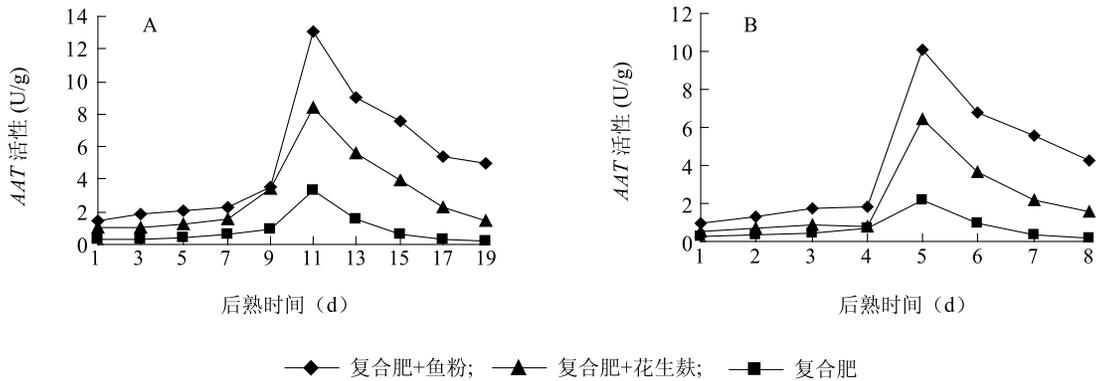


图 2 3 种肥料对香蕉 (A) 和粉蕉 (B) 果实成熟过程中醇酰基转移酶 (AAT) 活性的影响

Fig. 2 Effects of three fertilizers on the activities of alcohol acetyltransferase (AAT) during fruit ripening of banan (A) and dwarf banana (B)

### 3 讨论

香蕉果实香味浓郁,是鲜食品质的重要组成部分<sup>[13-15]</sup>。已有研究表明,香蕉熟果中主要挥发物是酯类物质<sup>[16-20]</sup>,但这些研究所检测到的挥发物成分存在一定的差异。Pino 等<sup>[20]</sup>比较了 3 种提取方法获得的香蕉果实挥发物成分及其香气活力值,从香蕉果实中 146 种化合物中,鉴定出 31 种具有香气活力的化合物。本研究从香蕉熟果中检出 32 挥发物成分,主要为酯类,与前人研究结果相似,但所含有的酯类物质成分与前人研究存在一些差异,这可能与品种、生长环境以及栽培措施有关<sup>[19,21-23]</sup>。本研究还从粉蕉中检测到 25 种挥发物,其熟果的主要香气物质也是酯类,但和香蕉相比,除挥发物总量较低外,粉蕉熟果中还缺少烷烃类和酚类物质,酮类物质也较少。目前,国内外还未见有关粉蕉香气方面的研究报道。有关煮食香蕉香味成分的分析结果表明<sup>[24]</sup>,其香气物质成分与香蕉存在较大差异,42 种挥发性物质中,2-甲基丙醇、糠醛、二甲基吡嗪等为熟果香味的主要影响物质。

施肥方式和肥料种类会影响果实的香气成分和含量。分次施肥较一次性施肥更能增加果实香气成分含量<sup>[25]</sup>,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<sup>[26]</sup>。香蕉果实挥发物成分和含量受生长及果实后熟环境影响的研究也见于其他报道,但肥料对香味物质形成的影响还未见报道。Facundo 等<sup>[27]</sup>的研究结果表明,不同香蕉品种对

冷藏的敏感性不同,其酯类物质的合成受冷藏影响很大。Selli 等<sup>[23]</sup>比较了露地和保护地栽培下香蕉香味物质成分的差异,结果表明,露地栽培下的香味物质种类和含量均高于保护地栽培。乙烯处理和非乙烯处理<sup>[22]</sup>,以及不同产区的香蕉果实<sup>[21-22]</sup>,其香味物质成分和含量都存在差异。本研究结果表明,对香蕉和粉蕉增施鱼粉和花生麸能显著增加果实挥发物总含量和挥发物种类,以增施鱼粉的效果最为显著;对单个挥发物而言,增施花生麸或鱼粉能提高大多数挥发物的含量,但也会降低个别挥发物的含量。

在果实香味物质的合成代谢途径中,醇脱氢酶 (ADH) 和醇酰基脱氢酶 (AAT) 是酯类物质代谢的 2 个关键酶<sup>[28]</sup>。本研究结果表明,尽管 ADH 和 AAT 两种酶在果实后熟过程中表现出不同的变化模式,但每种酶在粉蕉与香蕉之间、以及在不同肥料类型的各个处理之间都表现出类似的变化模式,仅在酶活性的高低上存在差别。Imahori 等<sup>[29]</sup>研究了低氧贮藏对香蕉果实成熟过程和酯类合成的影响,结果表明,低氧贮藏降低了果实酯类物质含量,同时 ADH 和 AAT 的活性也受到抑制。Jayanty 等<sup>[30]</sup>认为,在香蕉果实香味物质形成过程中,早期主要受限于底物的可得性,后期脂氧合酶等酶的作用提供了底物之后,AAT 活性的高低成为香气物质的限制因素。Wyllie 等<sup>[31]</sup>和 Jules 等<sup>[32]</sup>对 AAT 的研究结果也表明,底物的供应是果实香味浓度和质量的主要决定因子。本研究结果表明,增施花生麸或鱼粉可以

提高 ADH 和 AAT 的活性水平,进而提高了香味物质的总含量和各类香味物质的含量,但其对底物可得性的影响还有待进一步的研究。

### 参考文献:

- [1] 黄秉智,周灿芳,吴雪珍,等. 2011 年广东香蕉产业发展现状分析[J]. 广东农业科学,2012(5):12-14,26.
- [2] 何永群,熊柳梅,樊保宁,等. 25% 有机质生物有机复混肥对香蕉品质与产量的影响[J]. 南方农业学报,2012,43(1):67-69.
- [3] KUMAR D, PANDEY V, NATH V. Growth, yield and quality of vegetable banana Monthan (Banthal-ABB) in relation to NPK fertigation [J]. Indian Journal of Horticulture, 2012,69(4):467-471.
- [4] 周东荣,莫金荣. 配施有机肥对香蕉生长和产量的影响[J]. 广东农业科学,2012(13):70-71.
- [5] 张上隆,陈昆松. 果实品质形成与调控的分子生理[M]. 北京:中国农业出版社,2007:189-196.
- [6] 李秋棉,罗均,李雪萍,等. 果实香气物质的合成与代谢研究进展[J]. 广东农业科学,2012(19):104-107.
- [7] 赵峰,王少敏,高华君,等. 套袋对红富士苹果果实芳香成分的影响[J]. 果树学报,2006,23(3):322-325.
- [8] 黎源,董涛. 果实香气物质的研究进展[J]. 热带生物学报,2013,4(3):266-275.
- [9] 朱虹,陈玉芬,李雪萍,等. 顶空固相微萃取气-质联用分析香蕉的香气成分[J]. 园艺学报,2007,34(2):485-488.
- [10] ECHEVERRÍA G, GRAELL J, LÓPEZ M L, et al. Volatile production, quality and aroma-related enzyme activities during maturation of 'Fuji' apples [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 31: 217-227.
- [11] 隋静,姜远茂,彭福田,等. 草莓果实发育过程中芳香物质含量和醇酰基转移酶活性的变化[J]. 园艺学报,2007,34(6):1411-1417.
- [12] 陈美霞,陈学森,周杰,等. 杏果实不同发育阶段的香味组分及其变化[J]. 中国农业科学,2005,28(6):1244-1249.
- [13] 陈波,张锡炎,黄霄,等. 香蕉枯萎病区土壤真菌多样性分析[J]. 江苏农业科学,2013,41(11):354-357.
- [14] 唐辉,肖玫. 香蕉水果馒头的最佳配方和工艺条件研究[J]. 江苏农业科学,2013,41(8):293-294.
- [15] 黄臂,周登博,张锡炎,等. 1 株香蕉枯萎病菌拮抗菌鉴定及抑菌效果[J]. 江苏农业科学,2013,41(7):90-93.
- [16] NOGUEIRA J M, FERNANDES, P J, NASCIMENTO A M. Composition of volatiles of banana cultivars from Madeira Island [J]. Phytochemical Analysis, 2003, 14(2): 87-90.
- [17] ZHU H, LI X P, CHEN Y F, et al. Changes in volatile compounds and associated relationships with other ripening events in banana fruit [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2010, 85(4): 283-288.
- [18] 陶晨,王道平,杨小生,等. 固相微萃取气相色谱质谱法分析香蕉中的香气成分[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(4): 139-141.
- [19] PONTES M, PEREIRA J, CÂMARA J. Dynamic headspace solid-phase microextraction combined with one-dimensional gas chromatography-mass spectrometry as a powerful tool to differentiate banana cultivars based on their volatile metabolite profile [J]. Food Chemistry, 2012, 134: 2509-2520.
- [20] PINO J A, FEBLES Y. Odour-active compounds in banana fruit cv. Giant Cavendish [J]. Food Chemistry, 2013, 141: 795-801.
- [21] BOUDHRIOUA N, GIAMPAOLI P, BONAZZI C. Changes in aromatic components of banana during ripening and air-drying [J]. Lebensmittel Technol, 2003, 36: 633-642.
- [22] VERMEIR S, HERTOOG M L, VANKERSCHAVER K, et al. Instrumental based flavour characterisation of banana fruit [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42: 1647-1653.
- [23] SELLI S, GUBBUK H, KAFKAS E, et al. Comparison of aroma compounds in Dwarf Cavendish banana (*Musa* spp. AAA) grown from open-field and protected cultivation area [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 141: 76-82.
- [24] LASEKAN O. Headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) determination of volatile compounds in roasted plantains (*French sombre* and *Dwarf kalapua*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46: 536-541.
- [25] 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.
- [26] JIA H J. Studies on peach quality affected by orchard practices [D]. Japan: Doctor Thesis of Okayama University, 2002.
- [27] FACUNDO H V, GARRUTI D S, DIAS C T S, et al. Influence of different banana cultivars on volatile compounds during ripening in cold storage[J]. Food Research International, 2012,49:626-633.
- [28] 卮兰春,孙建设,邸蓀. 苹果果实香气产生过程中氨基酸和脂肪酸含量及一些相关酶活性的变化[J]. 植物生理与分子生物学报,2005,31(6):663-667.
- [29] IMAHORI Y, YAMAMOTO K, TANAKA H, et al. Residual effects of low oxygen storage of mature green fruit on ripening processes and ester biosynthesis during ripening in bananas [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 77: 19-27.
- [30] JAYANTY S, SONG J, RUBINSTEIN N M, et al. Temporal relationship between ester biosynthesis and ripening events in bananas [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2002, 127(6): 998-1005.
- [31] WYLLIE S G, FELLMAN J K. Formation of volatile branched chain esters in bananas (*Musa sapientum* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(8): 3492-3496.
- [32] JULES B, MAYTE A H, EVERT N, et al. Functional characterization of enzymes forming volatile esters from strawberry and banana [J]. Plant Physiology, 2004, 135(4): 1865-1878.

(责任编辑:张震林)