

邱珊莲,张少平,林宝妹,等.不同成熟期番石榴果实香气成分变化[J].江苏农业科学,2021,49(13):162-169.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.13.032

不同成熟期番石榴果实香气成分变化

邱珊莲,张少平,林宝妹,张 帅,洪佳敏,吴妙鸿,郑开斌

(福建省农业科学院亚热带农业研究所,福建漳州 363005)

摘要:探究番石榴不同成熟期果实香气组成,旨在为番石榴果实适时采收、品质评价及开发利用提供理论基础。采用气相色谱-质谱联用技术,对水蜜、珍珠、本地、西瓜、红宝石 5 个番石榴品种始熟期、成熟期及完熟期的果实进行香气组分分析。结果表明,从水蜜始熟果、成熟果、完熟果中分别鉴定出 19、12、8 种化合物,珍珠鉴定出 22、11、5 种化合物,本地鉴定出 14、11、11 种化合物,西瓜鉴定出 17、11、5 种化合物,红宝石鉴定出 21、19、12 种化合物。各品种果实香气成分种类均随成熟度增加而下降,始熟果均以萜烯类物质为主要香气成分,含量范围为 77.13%~94.85%,红宝石含量最高;完熟果均以醛类物质为主要香气成分,含量范围为 82.56%~96.79%,珍珠含量最高。从始熟期至成熟期,白肉型品种(水蜜、珍珠、本地)的果实醛类物质含量大幅增加,萜烯类含量急剧下降;红肉型品种(西瓜、红宝石)的果实萜烯类、醛类含量变化趋势较缓。各品种始熟果中萜烯类物质均由单萜类和倍半萜类组成,倍半萜类种类较丰富,白肉型品种始熟果中倍半萜类物质总含量远高于单萜类,红肉型两者差异不大;始熟果的单萜类主成分为 β -罗勒烯,倍半萜类主成分为石竹烯,白肉型品种石竹烯含量高于 β -罗勒烯,红肉型品种反之。完熟果中醛类物质主要成分为己醛或 3-己烯醛。

关键词:番石榴;成熟期;香气组分;醛类;萜烯类

中图分类号: S667.901 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)13-0162-08

番石榴(*Psidium guajava* Linn.),别称芭乐、拔子、喇叭果、鸡屎果等,为桃金娘科(Myrtaceae)番石榴属热带果树,原产于热带美洲,在我国广泛种植于海南、云南、广西、广东、福建、台湾等地区。番石榴果实清甜脆爽、香气独特,含有较丰富的蛋白质、维生素 A、维生素 C 及磷、钙、镁等微量元素^[1]。番石榴品种繁多,常见的有珍珠、新世纪、水晶、帝王、红心等^[2],果实香气是重要的果实品质性状,能客观反映不同果实的风味特征及成熟程度,不同品种间香气组成会有明显差异^[3]。关于番石榴香气成分的研究国内外已有一些报道,Chyau 等分析了番石榴成熟果和完熟果的香气组分^[4];Soares 等分析了青果、中熟果、成熟果 3 个成熟阶段番石榴果实的香气组分^[5];马镭等分析了番石榴青果、成熟果和完熟果的香气组分^[6];李莉梅等分析比较了红肉品

种四季桃和白肉品种珍珠桃番石榴果实中的香气组分差异^[7]。已有的大多报道仅限于对番石榴 1 个品种的香气组分分析或者 2 个品种间的比较,本研究以市场上较常见的 3 种白肉型(水蜜、珍珠、本地)和 2 种红肉型(西瓜、红宝石)番石榴的始熟果、成熟果、完熟果为试验材料,研究不同品种、不同成熟期番石榴果实的香气组成差异,旨在更全面地了解不同番石榴品种的香气品质特征以及成熟度对风味品质的影响,为番石榴果实适时采收、品质评价及进一步开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 番石榴来源 供试番石榴品种为水蜜、珍珠、本地、西瓜、红宝石,其中水蜜、珍珠、本地品种的果肉呈白色,西瓜、红宝石品种的果肉呈红色。果实于 2020 年 1 月 10 日至 2 月 25 日期间采自福建省农业科学院亚热带农业研究所国家闽台特色作物种质资源圃,树龄为 5 年。各品种盛花日期和果实发育时间稍有差异,在 2019 年 10 月中下旬盛花当日,每个品种按东、南、中、西、北 5 个方位各选 1 株长势较一致的植株统一挂牌标示作为供试植

收稿日期:2020-11-15

基金项目:福建省属公益类科研院所基本科研专项(编号:2019R1030-4);福建省农业科学院创新团队项目(编号:STIT2017-3-4)。

作者简介:邱珊莲(1979—),女,福建龙岩人,博士,副研究员,主要从事农产品加工研究。E-mail:slqiu79@163.com。

通信作者:郑开斌,博士,研究员,主要从事农产品加工研究。E-mail:kaibin118@163.com。

株,待果实长到 1~2 cm 时疏果,每个结果枝留 2 个果进行套袋。各供试株按东、南、西、北、中 5 个方位随机选取 3~4 个果挂牌标记,供日后采摘之用。各品种在进入果实迅速膨大期(始熟期)时开始采摘样果,各品种每隔 15~20 d 采果 1 次,分为 I(始熟期)、II(成熟期)、III(完全成熟期)3 个时期。每次采果时间为 09:00,采后立即进行品质测定和干燥处理。

1.1.2 试验试剂 氮气、氦气、氩气(纯度 $\geq 99.999\%$,漳州市新兴气体有限公司提供)。

1.1.3 试验仪器 TriPlus 300 顶空自动进样器、Trace1300-TSQ 9000 气质联用仪(美国赛默飞公司),JYS-M01 粉碎机(济南九阳股份有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 样品制备 于不同成熟期精选 3 粒无机械损伤和病虫害的果实,洗净,水分晾干后切块用粉碎机打成果浆,称取 5 g 果肉置于 20 mL 顶空瓶,放入顶空自动进样器,瓶静态平衡时间为 5 min。

1.2.2 气相色谱-质谱分析条件 气相色谱分析条件:色谱柱, TG-5SILMS, 30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m 石英毛细管柱;升温程序:起始温度 40 $^{\circ}$ C,保持 2 min,然后以 5 $^{\circ}$ C/min 升温到 1 400 $^{\circ}$ C,再以 10 $^{\circ}$ C/min 升温到 250 $^{\circ}$ C,保持 10 min;进样量 1 000 μ L,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 $^{\circ}$ C,接口温度 280 $^{\circ}$ C。扫描质量范围为 30~550 amu。

1.2.3 香气成分分析 各组分质谱经 NIST 检索,再结合文献进行人工谱图分析以确定各化学成分,采用峰面积归一法计算各成分相对百分含量。

2 结果与分析

2.1 水蜜番石榴不同成熟期果实香气成分变化

从水蜜番石榴始熟期、成熟期、完全成熟期 3 个不同成熟期的果实中共检测出包含醛类、萜烯类、醇类在内的共 20 种化合物,检出的主要芳香成分及相对含量详见表 1。随着果实的成熟,香气成分的种类不断减少,醛类物质含量不断增加,萜烯类物质含量不断降低。始熟果中检测出的成分最多,为 19 种,主要成分为萜烯类化合物,包括石竹烯(47.63%)、 β -罗勒烯(18.56%)、香树烯(2.92%)、胡椒烯(2.81%)等 13 种化合物,占香气成分总量的 78.29%,醛类化合物主要包括己醛和

2-己烯醛,相对含量分别为 12.90% 和 5.00%,醇类物质包括桉叶素(1.03%)、顺-3-己烯-1-醇(0.86%)、己醇(0.70%)、顺-2-己烯-1-醇(0.39%)。成熟果中共检出 12 种香气成分,主要成分为醛类物质(67.43%),包括己醛(55.88%)和 2-己烯醛(11.55%),萜烯类物质含量降至 31.61%,含石竹烯(19.93%)、 β -罗勒烯(6.90%)、胡椒烯(1.57%)等 8 种化合物,醇类物质仅占 0.41%。至完全成熟期,醛类物质含量上升至 85.07%,主体成分仍为己醛(58.75%),但 2-己烯醛含量明显增加,达 26.32%,萜烯类物质含量降至 13.38%,种类降至仅剩 5 种。

2.2 珍珠番石榴不同成熟期果实香气成分变化

从珍珠番石榴始熟果、成熟果、完熟果中共检测出包含醛类、萜烯类、醇类、烷烃 4 类在内的共 25 种化合物,检出的主要芳香成分及相对含量详见表 2。与水蜜相似,珍珠番石榴各成熟期果实的香气成分组成及其含量差异较大,随着果实成熟,香气成分种类不断下降,醛类物质含量不断增加,萜烯类物质含量不断降低。从始熟果检测出 22 种成分,成熟果 11 种,完熟果 5 种。始熟果 22 种成分中,萜烯类物质有 17 种,为香气主体成分,相对含量占总成分的 84.61%,其中石竹烯占 46.26%、 β -罗勒烯占 11.71%、香树烯占 4.45%,醇类、醛类、烷烃类物质分别有 3、1、1 种,分别占 10.28%、0.78%、1.97%,醇类物质包括桉叶素(5.54%)、顺-3-己烯-1-醇(4.21%)、顺-2-己烯-1-醇(0.53%)。成熟果香气主体成分为醛类物质,相对含量占 78.08%,其中己醛占 49.63%,2-己烯醛占 28.45%,萜烯类物质含量仅占 9.32%,其中石竹烯占 3.98%、(R)-1-甲基-5-(1-甲基乙烯基)环己烯占 3.26%,其余 5 种萜烯类物质含量均小于 1%。完熟果中的醛类物质相对含量占总成分的 96.79%,主体成分为 3-己烯醛,占 79.93%,2-己烯醛占 16.86%,其余萜烯类、醇类成分含量均小于 1%。

2.3 本地番石榴不同成熟期果实香气成分变化

从本地番石榴始熟果、成熟果、完熟果中共检测出包含醛类、萜烯类、醇类、酯类、芳烃类等在内的共 20 种化合物,检出的主要芳香成分及相对含量详见表 3。与水蜜、珍珠相似,本地番石榴各成熟期果实的香气成分组成及其含量差异大,随着果实成熟,香气成分种类下降,醛类物质含量不断增加,萜烯类物质含量不断降低。

表 1 水蜜番石榴不同成熟期果实的香气成分

序号	保留时间 (min)	成分名称	分子式	相对含量(%)		
				始熟果	成熟果	完熟果
1	4.75	己醛	C ₆ H ₁₂ O	12.90	55.88	58.75
2	5.90	2-己炔-1-醇	C ₆ H ₁₀ O	—	0.16	—
3	6.06	2-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	5.00	11.55	26.32
4	6.14	顺-3-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	0.86	—	—
5	6.42	顺-2-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	0.39	—	—
6	6.53	己醇	C ₆ H ₁₄ O	0.70	—	—
7	11.33	桉叶素	C ₁₀ H ₁₈ O	1.03	0.25	0.55
8	11.46	β-罗勒烯	C ₁₀ H ₁₆	18.56	6.90	4.33
9	21.22	胡椒烯	C ₁₅ H ₂₄	2.81	1.57	0.78
10	22.35	石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	47.63	19.93	7.21
11	22.79	香树烯	C ₁₅ H ₂₄	2.92	1.26	0.63
12	23.16	α-律草烯	C ₁₅ H ₂₄	2.04	0.83	0.43
13	23.26	2-表-反式-β-石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	0.67	0.27	—
14	23.56	γ-紫穗槐烯	C ₁₅ H ₂₄	0.16	—	—
15	23.90	β-愈创木烯	C ₁₅ H ₂₄	0.30	—	—
16	24.04	α-红没药烯	C ₁₅ H ₂₄	0.35	—	—
17	24.39	δ-杜松烯	C ₁₅ H ₂₄	1.39	0.60	—
18	24.64	萆澄茄油烯	C ₁₅ H ₂₄	0.73	0.25	—
19	25.09	(Z,E)-α-金合欢烯	C ₁₅ H ₂₄	0.37	—	—
20	25.55	β-龙脑烯	C ₁₅ H ₂₄	0.36	—	—

注:“—”表示未检出。下表同。

表 2 珍珠番石榴不同成熟期果实的香气成分

序号	保留时间 (min)	成分名称	分子式	相对含量(%)		
				始熟果	成熟果	完熟果
1	4.72	3-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	—	—	79.93
2	4.76	己醛	C ₆ H ₁₂ O	0.78	49.63	—
3	5.87	2-己炔-1-醇	C ₆ H ₁₀ O	—	0.36	—
4	6.04	2-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	—	28.45	16.86
5	6.11	顺-3-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	4.21	—	—
6	6.43	顺-2-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	0.53	—	—
7	6.50	甲基环戊烷	C ₆ H ₁₂	1.97	—	—
8	8.32	2-甲基-5-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]-2-己烯	C ₁₀ H ₁₆	0.37	—	—
9	10.02	β-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	0.36	—	—
10	11.22	(R)-1-甲基-5-(1-甲基乙烯基)环己烯	C ₁₀ H ₁₆	9.57	3.26	0.82
11	11.30	桉叶素	C ₁₀ H ₁₈ O	5.54	1.57	0.57
12	11.44	β-罗勒烯	C ₁₀ H ₁₆	11.71	0.48	—
13	12.11	(1S,3R)-顺式-4-萆烯	C ₁₀ H ₁₆	0.24	—	—
14	21.21	胡椒烯	C ₁₅ H ₂₄	4.00	0.65	—
15	22.33	石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	46.26	3.98	0.67
16	22.78	香树烯	C ₁₅ H ₂₄	4.45	0.44	—
17	23.15	α-律草烯	C ₁₅ H ₂₄	1.89	0.31	—
18	23.25	2-表-反式-β-石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	0.96	—	—
19	23.55	γ-紫穗槐烯	C ₁₅ H ₂₄	0.48	—	—
20	23.89	β-愈创木烯	C ₁₅ H ₂₄	0.73	—	—
21	24.02	α-红没药烯	C ₁₅ H ₂₄	0.46	—	—
22	24.11	(一)-异喇叭烯	C ₁₅ H ₂₄	0.30	—	—
23	24.38	δ-杜松烯	C ₁₅ H ₂₄	1.92	0.20	—
24	24.63	萆澄茄油烯	C ₁₅ H ₂₄	0.79	—	—
25	25.54	β-龙脑烯	C ₁₅ H ₂₄	0.13	—	—

表3 本地番石榴不同成熟期果实的香气成分

序号	保留时间 (min)	成分名称	分子式	相对含量(%)		
				始熟果	成熟果	完熟果
1	4.76	己醛	C ₆ H ₁₂ O	2.42	67.53	86.87
2	6.05	2-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	—	16.51	2.89
3	6.13	顺-3-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	8.55	—	—
4	6.42	顺-2-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	0.95	0.60	0.74
5	6.51	己醇	C ₆ H ₁₄ O	7.74	1.84	—
6	7.07	苯乙烯	C ₈ H ₈	—	0.54	1.53
7	8.33	2-甲基-5-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]-2-己烯	C ₁₀ H ₁₆	1.96	0.96	0.24
8	10.32	己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	—	—	0.43
9	10.51	乙酸叶醇酯	C ₈ H ₁₄ O ₂	—	0.38	—
10	11.33	桉叶素	C ₁₀ H ₁₈ O	0.96	0.95	0.29
11	11.46	β-罗勒烯	C ₁₀ H ₁₆	26.71	5.27	0.94
12	15.45	苯甲酸乙酯	C ₉ H ₁₀ O ₂	—	—	0.39
13	19.13	茶香螺烷	C ₁₃ H ₂₂ O	—	1.08	0.42
14	21.21	胡椒烯	C ₁₅ H ₂₄	2.83	—	—
15	22.35	石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	39.04	3.06	0.51
16	22.79	香树烯	C ₁₅ H ₂₄	2.71	—	—
17	23.16	α-律草烯	C ₁₅ H ₂₄	1.66	—	—
18	23.26	2-表-反式-β-石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	0.69	—	—
19	24.39	δ-杜松烯	C ₁₅ H ₂₄	0.94	—	—
20	24.64	萆澄茄油烯	C ₁₅ H ₂₄	0.59	—	—

从始熟果检测出 14 种成分,成熟果和完熟果均为 11 种。始熟果 14 种成分中,萜烯类物质为香气主体成分,占总成分的 77.13%,包括石竹烯(39.04%)、β-罗勒烯(26.71%)、胡椒烯(2.83%)等 9 种化合物,醇类物质占 18.20%,包括顺-3-己烯-1-醇(8.55%)、己醇(7.74%)、桉叶素(0.96%)、顺-2-己烯-1-醇(0.95%),醛类物质仅己醛 1 种,占 2.42%。成熟果主要芳香成分为醛类物质(84.04%),包括己醛(67.53%)和 2-己烯醛(16.51%);萜烯类物质含量为 9.29%,包括 β-罗勒烯(5.27%)、石竹烯(3.06%)、2-甲基-5-(1-甲基乙基)-双环[3.1.0]-2-己烯(0.96%)等 3 种化合物;醇类物质占 3.39%,包括己醇(1.84%)、桉叶素(0.95%)、顺-2-己烯-1-醇(0.60%)。与始熟果相比,成熟果增加了酯类、芳烃类成分,分别为乙酸叶醇酯(0.38%)、苯乙烯(0.54%)、茶香螺烷(1.08%)。完熟果中醛类物质相对含量占总成分的 89.76%,主体成分为己醛(86.87%),2-己烯醛占 2.89%,萜烯类物质成分与成熟果相同,总含量仅占 1.69%,酯类物质包括己酸乙酯(0.43%)、苯甲酸乙酯(0.39%);芳烃类组成与

成熟果相同,苯乙烯占 1.53%、茶香螺烷 0.42%。

2.4 西瓜番石榴不同成熟期果实香气成分变化

从西瓜番石榴始熟果、成熟果、完熟果中共检测出包含醛类、萜烯类、醇类在内的共 17 种化合物,检出的主要芳香成分及相对含量见表 4。该品种为红色果肉品种,与上述 3 个白色果肉品种相同之处为随着果实成熟香气成分种类下降,醛类物质含量不断增加,萜烯类物质含量不断降低,不同之处在于西瓜番石榴始熟果中单萜类化合物 β-罗勒烯(48.64%)含量明显高于倍半萜类化合物石竹烯(35.68%),成熟果中萜烯类物质(59.60%)为最主要成分,其含量明显高于醛类物质(36.33%)。始熟果中萜烯类物质占 94.30%,包括 β-罗勒烯、石竹烯、α-红没药烯(2.85%)等 14 种化合物,醛类物质占 3.33%,其中己醛占 1.71%,2-己烯醛占 1.62%,醇类物质桉叶素占 1.67%。成熟果中萜烯类物质仍为最主要成分,含 8 种化合物,其次为醛类。随着果实成熟,至完熟期,果实中醛类物质含量达 82.56%,由己醛(55.23%)和 2-己烯醛(27.33%)组成,萜烯类物质仅剩 2 种,为 β-罗勒烯(11.10%)、石竹烯(2.65%)。

表 4 西瓜番石榴不同成熟期果实的香气成分

序号	保留时间 (min)	成分名称	分子式	相对含量(%)		
				始熟果	成熟果	完熟果
1	4.77	己醛	C ₆ H ₁₂ O	1.71	20.03	55.23
2	6.07	2-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	1.62	16.3	27.33
3	11.33	桉叶素	C ₁₀ H ₁₈ O	1.67	2.11	0.68
4	11.46	β-罗勒烯	C ₁₀ H ₁₆	48.64	38.57	11.10
5	21.22	胡椒烯	C ₁₅ H ₂₄	1.45	0.67	—
6	22.35	石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	35.68	17.45	2.65
7	22.79	香树烯	C ₁₅ H ₂₄	1.75	0.90	—
8	23.16	α-律草烯	C ₁₅ H ₂₄	1.58	0.66	—
9	23.26	2-表-反式-β-石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	0.45	0.18	—
10	23.56	γ-紫穗槐烯	C ₁₅ H ₂₄	0.08	—	—
11	23.90	β-愈创木烯	C ₁₅ H ₂₄	0.09	—	—
12	24.05	α-红没药烯	C ₁₅ H ₂₄	2.85	0.85	—
13	24.39	δ-杜松烯	C ₁₅ H ₂₄	0.94	0.32	—
14	24.53	γ-红没药烯	C ₁₅ H ₂₄	0.13	—	—
15	24.64	萆澄茄油烯	C ₁₅ H ₂₄	0.36	—	—
16	25.09	(Z,E)-α-金合欢烯	C ₁₅ H ₂₄	0.17	—	—
17	25.55	β-龙骨烯	C ₁₅ H ₂₄	0.13	—	—

2.5 红宝石番石榴不同成熟期果实香气成分变化

从红宝石番石榴始熟果、成熟果、完熟果中共检测出包含醛类、萜烯类、醇类、酮类、酸类 5 类在内的共 29 种化合物,检出的主要芳香成分及相对含量见表 5。该品种也为红色果肉品种,其各成熟期的主要香气成分组成与西瓜类似,即始熟期、成熟期的主要成分均为萜烯类,完熟期的主要成分为醛类,始熟期单萜类化合物 β-罗勒烯含量高于倍半萜类化合物石竹烯。始熟果中含 21 种香气成分,其中萜烯类物质含量占 94.85%,包括 β-罗勒烯(45.01%)、石竹烯(39.18%)、α-红没药烯(2.68%)等 13 种化合物;醇类物质占 2.29%,包括顺-3-己烯-1-醇(1.37%)、桉叶素(0.39%)、己醇(0.24%)、顺-2-己烯-1-醇(0.18%)、β-菖蒲烯醇(0.11%);醛类物质占 1.99%,其中己醛占 1.37%,2-己烯醛占 0.62%;酸类物质二十二碳六烯酸占 0.09%。成熟果中检出 19 种成分,萜烯类物质含量占 66.74%,包括 β-罗勒烯(36.90%)、石竹烯(19.48%)、α-红没药烯(2.58%)等 15 种化合物,醛类物质占 28.38%,包括己醛(18.98%)和 2-己烯醛(9.40%),醇类物质占 0.81%,包括 2-己炔-1-醇(0.12%)和桉叶素(0.69%)。完熟果中检出 12 种成分,醛类物质含量占 84.13%,主体成分为 3-己烯醛,占

70.99%,2-己烯醛占 13.14%;萜烯类物质占 9.98%,主要由石竹烯(4.63%)和 β-罗勒烯(4.59%)组成,其余 5 种萜烯类化合物含量均低于 0.50%;另外,完熟果中还含有 0.18% 甲基庚烯酮,0.07% 花生四烯酸。

2.6 不同番石榴品种果实香气成分比较

随果实成熟度增加,不同品种番石榴香气成分种类均不断下降,其中萜烯类(除红宝石外)、醇类(除西瓜外)物质种类不断下降,醛类物质相对含量不断增加,萜烯类物质相对含量不断减少(表 6)。果实始熟期香气成分均以萜烯类物质含量最高,为主要香气成分,含量范围为 77.13%~94.85%,红宝石含量最高,完全成熟期均以醛类物质的含量最高,是主要香气成分,含量范围 82.56%~96.79%,珍珠含量最高。始熟期和成熟期均以萜烯类物质种类最多。白肉型品种(水蜜、珍珠、本地)与红肉型品种(西瓜、红宝石)果实主要香气成分含量随成熟度的变化规律存在明显差异,白肉型品种醛类物质含量从始熟期至成熟期急剧增加,成熟果中含量已达 67.43%~84.04%,红肉型品种醛类物质含量增加较慢,成熟果中含量为 28.38%~36.33%,白肉型品种萜烯类物质含量从始熟期至成熟期急剧下降,成熟果中含量已降至 9.29%~31.61%,而红肉型品种含量仍有 59.60%~66.74%。

表 5 红宝石番石榴不同成熟期果实的香气成分

序号	保留时间 (min)	成分名称	分子式	相对含量(%)		
				始熟果	成熟果	完熟果
1	4.72	3-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	—	—	70.99
2	4.77	己醛	C ₆ H ₁₂ O	1.37	18.98	—
3	5.90	2-己炔-1-醇	C ₆ H ₁₀ O	—	0.12	0.42
4	6.07	2-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	0.62	9.4	13.14
5	6.14	顺-3-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	1.37	—	—
6	6.44	顺-2-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	0.18	—	—
7	6.54	己醇	C ₆ H ₁₄ O	0.24	—	—
8	9.91	甲基庚烯酮	C ₈ H ₁₄ O	—	—	0.18
9	11.33	桉叶素	C ₁₀ H ₁₈ O	0.39	0.69	—
10	11.47	β -罗勒烯	C ₁₀ H ₁₆	45.01	36.90	4.59
11	14.25	别罗勒烯	C ₁₀ H ₁₆	—	0.10	—
12	16.44	花生四烯酸	C ₂₀ H ₃₂ O ₂	—	—	0.07
13	21.23	胡椒烯	C ₁₅ H ₂₄	1.02	1.17	0.12
14	22.06	γ -雪松烯	C ₁₅ H ₂₄	—	—	0.10
15	22.36	石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	39.18	19.48	4.63
16	22.80	香树烯	C ₁₅ H ₂₄	1.95	1.59	0.14
17	22.96	广藿香烯	C ₁₅ H ₂₄	—	0.23	—
18	23.09	(Z)- β -金合欢烯	C ₁₅ H ₂₄	—	0.34	—
19	23.17	α -律草烯	C ₁₅ H ₂₄	1.68	1.62	0.19
20	23.27	2-表-反式- β -石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	0.48	0.58	—
21	23.57	γ -紫穗槐烯	C ₁₅ H ₂₄	0.26	0.12	—
22	23.90	β -愈创木烯	C ₁₅ H ₂₄	0.20	0.24	—
23	24.05	α -红没药烯	C ₁₅ H ₂₄	2.68	2.58	0.21
24	24.40	δ -杜松烯	C ₁₅ H ₂₄	0.88	1.01	—
25	24.65	萆澄茄油烯	C ₁₅ H ₂₄	0.36	0.41	—
26	25.10	(Z,E)- α -金合欢烯	C ₁₅ H ₂₄	0.86	0.37	—
27	25.17	β -菖蒲烯醇	C ₁₅ H ₂₆ O	0.11	—	—
28	25.50	二十二碳六烯酸	C ₂₂ H ₃₂ O ₂	0.09	—	—
29	25.55	β -龙脑烯	C ₁₅ H ₂₄	0.29	—	—

由表 7 可知,不同品种番石榴始熟果中香气主要成分为萜烯类物质,由单萜类和倍半萜类组成,倍半萜类物质种类明显多于单萜类。单萜类的主要组成成分为 β -罗勒烯,倍半萜类的主要组成成分为石竹烯。白肉型品种(水蜜、珍珠、本地)始熟果中倍半萜类物质相对含量远高于单萜类物质,水蜜、珍珠、本地倍半萜类含量分别为 59.73%、62.36%、48.37%,单萜类含量分别为 18.56%、22.25%、28.76%。红肉型品种(西瓜、红宝石)始熟果中倍半萜类物质相对含量与单萜类物质相差不大,西瓜、红宝石倍半萜类含量分别为 45.66%、49.84%,单萜类含量分别为 48.64%、45.01%。白肉型品种始熟果中石竹烯相对含量远高于 β -罗勒

烯,水蜜、珍珠、本地石竹烯含量分别为 47.63%、46.26%、39.04%, β -罗勒烯含量分别为 18.56%、11.71%、26.71%,红肉型品种 β -罗勒烯含量高于石竹烯,西瓜、红宝石石竹烯含量分别为 35.68%、39.18%, β -罗勒烯含量分别为 48.64%、45.01%。

3 讨论与结论

由 5 个不同番石榴品种不同成熟期果实香气成分的分析结果可知,5 个品种始熟果中香气成分种类数在 14~22 之间,包括醛类、萜烯类、醇类、酯类、烷烃类等,其中共有成分为 7 个,分别为桉叶素、 β -罗勒烯、胡椒烯、石竹烯、香树烯、 α -律草烯、 δ -杜松烯,5 种始熟果中萜烯类物质含量在 77.13%~

表 6 5 个番石榴品种不同成熟期果实的香气组成

品种	果实类型	醛类		萜烯类		醇类		酯类		酮类		其他	
		种类数	相对含量(%)	种类数	相对含量(%)	种类数	相对含量(%)	种类数	相对含量(%)	种类数	相对含量(%)	种类数	相对含量(%)
水蜜	始熟果	2	17.90	13	78.29	4	2.97	—	—	—	—	—	—
	成熟果	2	67.43	8	31.61	2	0.41	—	—	—	—	—	—
	完熟果	2	85.07	5	13.38	1	0.55	—	—	—	—	—	—
珍珠	始熟果	1	0.78	17	84.61	3	10.28	—	—	—	—	1	1.97
	成熟果	2	78.08	7	9.32	2	1.93	—	—	—	—	—	—
	完熟果	2	96.79	2	1.49	1	0.57	—	—	—	—	—	—
本地	始熟果	1	2.42	9	77.13	4	18.20	—	—	—	—	—	—
	成熟果	2	84.04	3	9.29	3	3.39	1	0.38	—	—	2	1.62
	完熟果	2	89.76	3	1.69	2	1.03	2	0.82	—	—	2	1.95
西瓜	始熟果	2	3.33	14	94.30	1	1.67	—	—	—	—	—	—
	成熟果	2	36.33	8	59.60	1	2.11	—	—	—	—	—	—
	完熟果	2	82.56	2	13.75	1	0.68	—	—	—	—	—	—
红宝石	始熟果	2	1.99	13	94.85	5	2.29	—	—	—	—	1	0.09
	成熟果	2	28.38	15	66.74	2	0.81	—	—	—	—	—	—
	完熟果	2	84.13	7	9.98	1	0.42	—	—	1	0.18	1	0.07

表 7 5 个番石榴品种不同成熟期果实香气中的萜烯类组成

品种	果实类型	单萜类			倍半萜类		
		种类数	总相对含量(%)	β -罗勒烯相对含量(%)	种类数	总相对含量(%)	石竹烯相对含量(%)
水蜜	始熟果	1	18.56	18.56	12	59.73	47.63
	成熟果	1	6.90	6.90	7	24.71	19.93
	完熟果	1	4.33	4.33	4	9.05	7.21
珍珠	始熟果	5	22.25	11.71	12	62.36	46.26
	成熟果	2	3.74	0.48	5	5.58	3.98
	完熟果	1	0.82	—	1	0.67	0.67
本地	始熟果	2	28.76	26.71	7	48.37	39.04
	成熟果	2	6.23	5.27	1	3.06	3.06
	完熟果	2	1.18	0.94	1	0.51	0.51
西瓜	始熟果	1	48.64	48.64	13	45.66	35.68
	成熟果	1	38.57	38.57	7	21.03	17.45
	完熟果	1	11.10	11.10	1	2.65	2.65
红宝石	始熟果	1	45.01	45.01	12	49.84	39.18
	成熟果	2	37.00	36.90	13	29.74	19.48
	完熟果	1	4.59	4.59	6	5.39	4.63

94.85%之间,是主要香气成分,与马镫等报道的结果较一致,该研究从新世纪番石榴青果中检出 21 种香气成分,其中萜烯类含量最高,占 67.65%;另外,该研究报道还发现,新世纪番石榴萜烯类和醇类物质相对含量随果实成熟而减少,酯类和醛类含量随果实成熟而增加^[6]。本研究中 5 个品种的萜烯类、

醇类物质(除西瓜番石榴外)、醛类物质含量变化规律与新世纪类似,但本研究的水蜜、珍珠、西瓜、红宝石中未检测到酯类成分,只有本地成熟果和完熟果中分别检测到 0.38%、0.82% 的酯类物质。Sinuco 等研究了 2 个哥伦比亚番石榴果实成熟过程中的香气组分,发现 C6 醛类物质和含硫化合物的

含量随着果实成熟而下降,而酯类物质和呋喃类化合物的含量则随着果实成熟而升高^[8]。Soares 等也研究发现,醛类物质含量随番石榴果实的成熟而减少^[5],均与本研究的结果不同。研究结果的差异源于多种因素,香气组分除了受成熟度的影响外,还与品种遗传特性、栽培环境、栽培措施、香气组分的采集及分析方法等息息相关^[9]。

果实香气作为一个重要的果实品质特性,其由数种挥发性物质组成。果实中挥发性物质生物合成途径的多样性使得果实香气组成因树种、品种而异,“草香型”的醇醛类化合物及“果香型”酯类物质是番石榴果实主要的挥发性物质组分^[9]。本研究中 5 个番石榴品种完熟果中主要香气成分均为醛类物质,相对含量在 82.56% ~ 96.79% 之间,且均由 2 种醛类成分组成,水蜜、本地、西瓜均由己醛和 2-己烯醛组成,珍珠和红宝石由 3-己烯醛和 2-己烯醛组成。李国鹏等研究发现,四季桃番石榴中醛类物质对果实香气的贡献率最高,相对含量达到 56.39%,其中己醛和 2-己烯醛共占 54.54%,为最主要的 2 种醛类物质^[10]。但其检测到醛类物质有 14 种,远高于本研究的 2 种,这同样应该与栽培品种、环境、措施、检测方法等因素有关。同为珍珠番石榴,本研究与周浓等的研究结果^[11]相差较大,本研究发现,成熟果和完熟果中主要成分分别为己醛(49.63%)和 3-己烯醛(79.93%)。而周浓等的研究结果显示,超市果实中最主要的成分为乙酸叶醇酯(38.66%),其次为己醛(11.99%)^[11],这可能与栽培措施、采后处理、贮藏条件等因素有关。

不同果肉类型品种间番石榴果实香气物质差异较大,本研究发现,从始熟期至成熟期,白肉型品种果实醛类物质含量大幅增加,萜烯类含量急剧下降,而红肉型品种西瓜、红宝石萜类、醛类含量变化趋势较缓;白肉型品种始熟果中倍半萜类物质总含量远高于单萜类,红肉型品种两者相差不大;白肉型品种始熟果中石竹烯含量高于 β -罗勒烯,红肉型品种 β -罗勒烯含量高于石竹烯。李莉梅等的研究也表明,红肉型四季桃和白肉型珍珠桃番石榴果实中的香气组分存在明显差异,红肉型果实中酯类、醇类、酸类物质的种类和含量均明显高于白肉

型果实,白肉型果实的醛类含量(83.61%)明显高于红肉型果实(59.94%)^[7]。

番石榴作为一种风味独特的热带水果,果实香气是评价果实品质的一个重要性状,本研究检测了 5 个番石榴品种的 3 个成熟期果实的香气组成,分析和比较了各品种不同成熟阶段果实的香气特征,对比了不同果肉类型果实香气随成熟度的变化规律及始熟果中成分的差异,为番石榴果实适时采收、品质评价及进一步开发利用提供了科学依据。

参考文献:

- [1] Dakappa S S, Adhikari R, Timilsina S S, et al. A review on the medicinal plant *Psidium guajava* Linn. (Myrtaceae) [J]. J Drug Deliv Therap, 2013, 3(2): 162-168.
- [2] 张丽梅, 张乾坤, 陈洪彬, 等. 番石榴种质资源果实性状的聚类分析[J]. 中国南方果树, 2019, 18(6): 53-58.
- [3] Dixon J, Hewett E W. Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: a review [J]. New Zealand Journal of Crop and Horticulture Science, 2000, 28(3): 155-173.
- [4] Chyau C C, Chen S Y, Wu C M. Differences of volatile and nonvolatile constituents between mature and ripe guava (*Psidium guajava* Linn.) fruits [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(5): 846-849.
- [5] Soares F D, Pereira T, Marques M M, et al. Volatile and non-volatile chemical composition of the white guava fruit (*Psidium guajava*) at different stages of maturity [J]. Food Chemistry, 2007, 100(1): 15-21.
- [6] 马 镭, 陈思嫦, 张瑞萍, 等. 不同发育阶段番石榴果实中挥发物成分变化 [J]. 热带作物学报, 2011, 32(2): 320-323.
- [7] 李莉梅, 静 玮, 袁 源, 等. 不同果肉类型番石榴果实香气比较 [J]. 广东农业科学, 2014, 41(15): 89-92, 106.
- [8] Sinuco D C, Steinhaus M, Schieberle P, et al. Changes in odor-active compounds of two varieties of Colombian guava (*Psidium guajava* L.) during ripening [J]. European Food Research and Technology, 2010, 230(6): 859-864.
- [9] 李国鹏, 静 玮, 林丽静, 等. 番石榴香气影响因素研究 [J]. 中国果菜, 2014, 34(10): 12-15.
- [10] 李国鹏, 静 玮, 袁 源, 等. 红肉番石榴 (*Psidium guajava* L.) 果实香气物质的研究 [J]. 热带作物学报, 2014, 35(5): 985-991.
- [11] 周 浓, 杨锡洪, 解万翠, 等. “珍珠”番石榴的营养成分与挥发性成分风味特征分析 [J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 37-40.