

固相微萃取 - 气相色谱 - 质谱联用法分析荔枝汁贮藏过程中香气成分的变化

李春美¹, 钟慧臻¹, 郝菊芳¹, 徐玉娟²

(1. 华中农业大学食品科技学院, 湖北 武汉 430070; 2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东省农产品加工公共实验室, 广东 广州 510610)

摘 要: 以荔枝果汁为研究对象, 研究其在贮藏过程中香气成分的变化, 旨在为荔枝汁生产和品质控制提供理论依据。采用 SPME/GC-MS 法分别对 4℃ 和 25℃ 贮藏的荔枝汁于贮藏 4、5、6、7、8 周后进行香气成分检测。结果表明: 荔枝汁中香气成分总量在 4℃ 和 25℃ 贮藏 4 周后分别比贮藏前增长 39.10% 及 31.99%。贮藏 5 周后呈显著下降趋势($P < 0.05$), 贮藏 8 周后香气保留率分别为 96.17% 及 74.49%。其中醇类、酸类香气成分均在贮藏 4 周时含量最高, 此后随着贮藏时间延长含量呈缓慢下降趋势; 酯类物质在冷藏 6 周后达到最高, 之后出现显著降低趋势($P < 0.05$); 烯类香气成分随着贮藏时间的延长逐渐减少, 呈现显著下降趋势($P < 0.05$); 醛类香气成分含量在贮藏 4 周时变化不大, 在 4℃ 和 25℃ 贮藏 8 周后保留率分别为 59.86% 和 55.3%。荔枝汁中几种典型的香气成分如香叶醇、香茅醇、苯乙醇, β -月桂烯, *D*-柠檬烯, 香叶醛的含量也是在贮藏 4 周达最大, 此后逐渐降低。通过对 4℃ 冷藏和 25℃ 常温贮藏的荔枝汁主要香气类型及典型香气成分的比较分析表明, 4℃ 冷藏后香气总量和绝大多数典型香气成分的含量显著高于同期常温贮藏($P < 0.05$)。

关键词: 荔枝汁; 香气; 贮藏; 变化

Changes in Aroma Compounds of Litchi Juice during Storage

LI Chun-mei¹, ZHONG Hui-zhen¹, HAO Ju-fang¹, XU Yu-juan²

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. Guangdong Open Access Laboratory of Agricultural Products Processing, Sericulture and Agri-food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Science, Guangzhou 510610, China)

Abstract: The changes in aroma compounds of litchi juice during storage at different temperatures (4 °C and 25 °C) were studied by solid-phase micro-extraction (SPME) coupled to gas chromatography-mass spectroscopy (GC-MS). The results showed the content of total aroma stored at 4 °C and 25 °C increased by 39.10% and 31.99%, respectively, after 4 weeks of storage. After 8 weeks of storage, the retention rates of total aroma were 96.17% and 74.49% at 4 °C and 25 °C, respectively. The content of alcohols and acids significantly increased ($P < 0.01$) during the first 4 weeks of storage, and then decreased significantly ($P < 0.05$) with further storage. The content of esters reached its peak value after 6 weeks of storage and then decreased significantly ($P < 0.05$) with further storage. The content of alkenes decreased significantly during the whole storage time. The content of aldehydes changed slightly during the first 4 weeks of storage, but the retention rates of aldehydes apparently decreased to 59.86% (4 °C) and 55.3% (25 °C) after storage for 8 weeks. The contents of six typical aromas such as citronellol, geraniol, phenylethyl alcohol, β -myrcene, *D*-limonene, and geraniol in litchi juice reached the highest value after 4 weeks of storage, and then decreased with the increase of storage time. As for the retention of total aroma in litchi juice, 4 °C was a better storage temperature than 25 °C.

Key words: litchi juice; aroma; storage; change

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)08-0206-06

收稿日期: 2010-06-14

基金项目: 国家 - 广东省联合基金项目(u0731005)

作者简介: 李春美(1973—), 女, 副教授, 博士, 主要从事天然产物化学研究。E-mail: lichmyl@126.com

果蔬中荔枝果实营养丰富, 风味独特, 具有很高的食用和医疗保健价值。目前国内外对荔枝的研究大多集中在采前采后生理和病理方面, 对荔枝风味的研究也有少量的研究报道^[1-3], 但对荔枝汁加工和贮藏过程中香气成分的变化至今尚未见有研究报道。本研究室前期研究表明, 荔枝汁加工过程中酶解、灭酶、超滤、杀菌等各操作单元对荔枝汁风味都有不同程度的影响^[4]。由于果汁或饮料是一个复杂体系, 其中含有大量的挥发性物质和非挥发性组分。在贮藏过程中这些成分可能会发生许多复杂的化学变化, 例如酚类氧化、氨基酸降解等, 这均可能导致果汁或饮料在贮藏过程中风味发生显著改变^[5-6]。顶空固相微萃取技术(solid phase microextraction, SPME)操作比较简单, 携带更为方便, 操作费用更为低廉, 同时克服了一些传统样品处理技术的缺点, 集采样、萃取、浓缩、进样为一体, 同时还可将气相色谱、液相色谱、气质联用及液质联用仪等作为后续分析仪器, 提高实验效率。由于SPME萃取技术的众多优点, 因而被广泛用于水果香气成分的提取。本实验以荔枝果汁为研究对象, 采用SPME/GC-MS法对其贮藏过程中香气成分变化进行研究, 旨在为荔枝汁生产和品质控制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

荔枝: 品种为妃子笑, 产地为广东省茂名市, 挑选成熟、无病、虫、害和机械伤的果实。己酸乙酯(色谱纯) 美国Sigma-Aldrich公司; 氯化钠(分析纯) 上海试剂一厂。

1.2 仪器与设备

正萃取纤维头、手动SPME进样器 美国Supelco公司; 气相色谱-质谱联用仪 美国Agilent公司; 恒温磁力搅拌器 江苏金坛市环宇科学仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 荔枝汁制作工艺

工艺流程: 原料→拨壳去核→打浆→果胶酶酶解→灭酶→粗滤→超滤→灭菌→罐装→成品。将荔枝汁分为两组, 一组25℃常温贮藏, 一组贮藏4℃冷藏。于贮藏4、5、6、7、8周后对其香气成分进行检测。

1.3.2 挥发性化合物的提取

取贮藏一定时间的荔枝汁样品8mL置于15mL样品瓶中, 加入2.2g氯化钠和1μL己酸乙酯(内标), 密封, 采用CAR/DVB/PDMS萃取头在磁力搅拌条件下, 于50℃恒温萃取60min。试验设3个重复。

1.3.3 GC-MS分析

5973N气相色谱质谱仪, 配7683自动进样器。HP-

5石英毛细管柱(30m×250μm, 0.25μm), 40℃保持2min, 以3℃/min程序升温至120℃保持2min, 然后以10℃/min升至230℃保持5min; 进样口温度270℃。质谱条件: 电离方式EI, 电子能量70eV, 灯丝发热电流0.25mA, 电子倍增器电压1000V, 离子源温度230℃, 接口温度250℃, 扫描速度全程40~400u/s。

1.3.4 定性和定量分析

定性: 由GC-MS分析得到的质谱数据经计算机在NIST标准谱库的检索及参照已发表的质谱资料, 鉴定大部分峰; 定量: 采用内标法按面积归一化法计算各组分的相对含量。内标选用己酸乙酯, 质量浓度43.650μg/L。

$$\text{各香气成分的含量}(\mu\text{g/L}) = \frac{\text{各组分的峰面积} \times \text{内标物质量}}{\text{内标物峰面积} \times \text{样品量}}$$

2 结果与分析

2.1 荔枝汁4℃冷藏及25℃常温贮藏期间香气成分的变化

由表1可知, 4℃冷藏及25℃常温贮藏期间荔枝汁香气成分总量在冷藏4周后达到最高, 分别比贮藏前增长39.10%及31.99%。贮藏5周后呈显著下降趋势($P < 0.05$), 至8周后香气总量分别为贮藏前的96.17%及74.49%。

醇类香气是荔枝汁的主要香气成分。冷藏4周后, 醇类香气含量极显著增长($P < 0.01$), 增幅达52.89%。冷藏5~8周含量呈缓慢下降趋势, 8周后与贮藏前相比, 含量略微增加。常温贮藏4周后其含量呈极显著增加($P < 0.01$), 从贮藏前的559.61μg/L增长至748.11μg/L。5周后开始下降, 6周后含量无显著变化($P > 0.05$), 贮藏7周后含量下降幅度较大, 至8周后含量降至439.77μg/L, 为贮藏前的78.58%。据报道^[1-3], 香叶醇、香茅醇和苯乙醇具有花香、柑橘类水果香气, 是荔枝的典型呈香物质, 对荔枝香气起着特别重要的作用。香叶醇、苯乙醇和α-松油醇冷藏期间含量与醇类香气变化趋势一致, 在4周后含量上升幅度较大, 随后缓慢下降。香茅醇在贮藏4周和6周后出现两个峰值。橙花叔醇在4℃贮藏4周含量最大, 此后逐渐降低, 到第8周时含量仅为贮藏前的54%, 但在25℃贮藏5周就损失殆尽。Voon等^[7]研究榴莲在4℃贮藏期间挥发性风味成分和品质的变化发现, 己醇在冷藏3周后被检测到, 本试验在冷藏4周后的荔枝汁中检测到该物质, 可能是由于脂肪酸氧化降解形成的^[8]。

酯类物质在6周后达到最高, 6周前含量变化不显著($P > 0.05$), 之后出现显著降低趋势($P < 0.05$)。冷藏8周后含量与未冷藏时相当。其中, 己二酸二(2-甲基

表 1 荔枝汁 4℃冷藏及 25℃贮藏期间香气成分的变化($n=3$)

Table 1 Change in the aroma compound profile of litchi juice during storage at 4℃ and 25℃ ($n=3$)		$\mu\text{g/L}$					
化合物名称		0d(4℃/25℃)	4周(4℃/25℃)	5周(4℃/25℃)	6周(4℃/25℃)	7周(4℃/25℃)	8周(4℃/25℃)
醇类	乙醇	18.77 ± 2.05/	17.39 ± 1.85/	17.45 ± 2.31/	20.65 ± 3.72/	19.38 ± 4.28/	18.6 ± 1.93/
	ethylalcohol	18.77 ± 2.05	26.52 ± 3.78	15.85 ± 2.09	21.96 ± 2.51	12.99 ± 1.91	10.97 ± 1.31
	1-己醇	— / —	3.45 ± 0.31/	3.27 ± 0.51/	2.91 ± 0.29/	2.03 ± 0.21/	1.99 ± 0.27/
	1-hexanol		2.89 ± 0.54	2.30 ± 0.43	2.63 ± 0.33	1.56 ± 0.17	1.13 ± 0.11
	1-辛烯-3-醇	14.70 ± 2.01/	14.71 ± 1.89/	12.82 ± 1.41/	13.35 ± 1.76/	12.73 ± 1.31/	12.3 ± 1.81/
	1-octen-3-ol	14.70 ± 2.01	16.13 ± 1.91	12.27 ± 1.34	10.58 ± 0.93	10.52 ± 2.31	9.46 ± 1.03
	2-乙基-1-己醇	98.28 ± 11.51/	122.0 ± 11.57/	97.13 ± 8.48/	96.7 ± 10.51/	94.2 ± 11.22/	92 ± 10.35/
	2-ethyl-1-hexanol	98.28 ± 11.51	127.0 ± 12.31	97.1 ± 10.32	85.88 ± 9.87	82.8 ± 10.31	79.90 ± 9.36
	芳樟醇	29.87 ± 2.81/	49.1 ± 6.37/	31.99 ± 3.31/	32.65 ± 3.61/	30.70 ± 2.71/	28.5 ± 2.31/
	linalool	29.87 ± 2.81	87.17 ± 10.05	81.63 ± 7.31	79.73 ± 9.09	74.10 ± 8.27	68.42 ± 5.79
	苯乙醇	27.05 ± 2.21/	45.82 ± 3.78/	43.96 ± 4.01/	29.07 ± 2.83/	28.66 ± 3.07/	25.3 ± 2.31/
	phenylethylalcohol	27.05 ± 2.21	25.39 ± 2.31	22.79 ± 2.39	20.42 ± 2.51	20.24 ± 2.38	18.16 ± 1.99
	5-甲基-2-(1-甲基乙基)-环己醇	1.96 ± 0.09/	3.16 ± 0.06/	1.71 ± 0.03/	1.69 ± 0.22/	1.86 ± 0.03/	1.54 ± 0.03/
	5-methyl-2-(1-methylethyl)-cyclohexanol	1.96 ± 0.09	2.49 ± 0.02	1.65 ± 0.04	2.41 ± 0.05	1.69 ± 0.02	1.35 ± 0.05
	4-甲基-1-(1-甲基乙基)-3-环己烯-1-醇	2.29 ± 0.02/					
	4-methyl-1-(1-methylethyl)-3-cyclohexen-1-ol	2.29 ± 0.02	3.45 ± 0.01/ —	— / —	— / —	— / —	— / —
	1-辛醇	1.48 ± 0.03/					
	1-octanol	1.48 ± 0.03	— / —	— / —	— / —	— / —	— / —
	α -松油醇	9.27 ± 0.21/	18.33 ± 1.26/	14.17 ± 2.01/	14.57 ± 1.87/	12.24 ± 1.31/	11.6 ± 1.14/
	α -terpineol	9.27 ± 0.21	29.11 ± 2.31	22.12 ± 2.25	21.33 ± 2.34	18.38 ± 2.01	15.40 ± 2.03
	香茅醇	177.10 ± 12.31/	225.97 ± 20.29/	191.1 ± 18.54/	205. ± 21.21/	197.6 ± 20.41/	190.5 ± 2.08/
	citronellol	177.10 ± 12.31	207.43 ± 20.31	171.8 ± 18.71	182.6 ± 19.21	126.99 ± 14.61	105.35 ± 11.31
	(Z)-3,7-二甲基-3,6-辛二烯-1-醇	20.50 ± 2.12/	32.22 ± 2.95/	22.89 ± 2.31/	23.50 ± 2.39/	22.77 ± 2.81/	19.90 ± 1.97/
	(Z)-3,7-dimethyl-3,6-octadien-1-ol	20.50 ± 2.12	34.95 ± 3.77	22.69 ± 2.58	23.21 ± 2.77	17.38 ± 2.03	15.39 ± 1.88
	香叶醇	144.17 ± 15.31/	294.64 ± 27.36/	228.1 ± 20.31/	184.91 ± 20.01/	184.15 ± 16.79/	179.5 ± 20.31/
	geraniol	144.17 ± 15.31	195.05 ± 21.55	163.4 ± 19.88	169.57 ± 19.22	129.30 ± 12.21	113.31 ± 12.33
	4-(1-甲基乙基)-1-环己烯-1-甲醇	1.54 ± 0.02/	3.04 ± 0.11/	2.14 ± 0.12/	2.22 ± 0.14/	1.86 ± 0.13/	1.57 ± 0.13/
	4-(1-methylethyl)-1-cyclohexene-1-methanol	1.54 ± 0.02	2.63 ± 0.13	1.89 ± 0.05	1.74 ± 0.17	1.28 ± 0.09	0.97 ± 0.11
	橙花叔醇	7.31 ± 0.96/	11.90 ± 1.31/				
	nerolidol	7.31 ± 0.96	4.82 ± 1.02	5.37 ± 1.01/ —	5.02 ± 1.31/ —	4.12 ± 0.09/ —	3.95 ± 1.51/ —
	雪松醇	2.73 ± 1.11/					
	cedrol	2.73 ± 1.11	3.30 ± 0.51/ —	— / —	— / —	— / —	— / —
	2-呋喃甲醇	0.71 ± 0.31/					
	2-furanmethanol	0.71 ± 0.31	— / —	— / —	— / —	— / —	— / —
	金合欢醇	— / —	6.54 ± 1.31				
	farnesol		7.01 ± 1.25/	3.48 ± 1.01/ —	0.80/ —	— / —	— / —
	1-十六醇	— / —	— / —	— / 1.75	— / 1.55	— / —	— / —
	1-hexadecanol						
酯类	醇类小计	559.64 ± 73.78/	855.64 ± 91.04/	675.63 ± 72.43/	632.50 ± 53.77/	613.29 ± 53.80/	587.43 ± 63.77/
		559.64 ± 73.78	748.11 ± 85.77	617.30 ± 68.99	623.66 ± 73.73	497.24 ± 51.12	439.77 ± 53.53
	己酸乙酯 *	43.65 ± 3.77/	43.65 ± 3.77/	43.65 ± 3.77/	46.35 ± 3.77/	43.65 ± 3.77/	43.65 ± 3.77/
	hexanoic acid, ethylester *	43.65 ± 3.77	43.65 ± 3.77	43.65 ± 3.77	43.65 ± 3.77	43.65 ± 3.77	43.65 ± 3.77
	己二酸二(2-甲基丙基)酯	2.84 ± 0.53/	2.46 ± 0.77/		0.47 ± 0.34		
	hexanedioic acid, bis(2-methylpropyl)ester	2.84 ± 0.53	2.10 ± 0.34	1.90 ± 0.57/ —	1.43 ± 0.87/	— / —	— / —
	丁酸苯甲酯benzylbutyrate	— / —	— / 1.81 ± 0.37	— / 0.58 ± 0.43	— / 0.58 ± 0.31	— / 0.42 ± 0.29	— / 0.36 ± 0.19
	邻苯二甲酸异丁基辛酯	29.33 ± 3.06/	27.87 ± 3.17/	33.50 ± 3.02/	36.18 ± 3.27/	34.07 ± 3.77/	
	phthalic acid, isobutyl octylester	29.33 ± 3.06	34.74 ± 2.97	35.05 ± 4.14	28.96 ± 2.98	15.86 ± 2.21	14.97 ± 2.35
	1,2-苯二羧酸丁基辛酯	1.97 ± 0.57/	3.00 ± 0.37/	2.24 ± 0.77/			
	1,2-benzenedicarboxylic acid, butyloctylester	1.97 ± 0.57	1.90 ± 0.54	0.79 ± 0.33	2.91 ± 0.57/ —	2.90 ± 1.13/ —	— / —
	棕榈酸乙酯	0.48 ± 0.59/					
	hexadecanoic acid, ethylester	0.48 ± 0.59	— / —	— / —	— / —	— / —	— / —
	邻苯二甲酸二丁酯	5.15 ± 1.07/	6.41 ± 1.27/	4.35 ± 0.78/	7.90 ± 1.34/	6.90 ± 0.87/	5.12 ± 1.21/
	dibutylphthalate	5.15 ± 1.07	4.31 ± 1.12	2.72 ± 1.14	4.79 ± 1.02	4.60 ± 0.65	4.12 ± 0.97
	酯类小计	83.43 ± 10.18/	83.39 ± 9.34/	85.73 ± 12.02/	94.77 ± 11.42/	87.51 ± 7.35/	82.76 ± 8.11/
		83.43 ± 10.18	88.51 ± 8.21	82.79 ± 10.15	78.44 ± 9.03	64.53 ± 6.43	63.10 ± 5.31

续表 1

	化合物名称	0d(4℃/25℃)	4周(4℃/25℃)	5周(4℃/25℃)	6周(4℃/25℃)	7周(4℃/25℃)	8周(4℃/25℃)
酮 类	3-庚酮	— / —	0.60 ± 0.27/	0.88 ± 0.26/	0.53 ± 0.23/	0.45 ± 0.24/	0.36 ± 0.15/
	3-heptanone		0.60 ± 0.27	0.28 ± 0.07	0.39 ± 0.17	0.39 ± 0.15	0.42 ± 0.21
	苯乙酮	2.37 ± 0.53/	2.53 ± 0.77/	2.05 ± 0.47/	1.78 ± 0.53/	1.72 ± 0.31/	1.5 ± 0.25/
	acetophenone	2.37 ± 0.34	2.67 ± 1.01	1.90 ± 0.84	1.71 ± 0.66	1.49 ± 0.45	1.25 ± 0.13
	2,6-二(1,1-二甲基乙基)-2,5-环己二烯-1,4-二酮	2.44 ± 0.37/					
	2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-2,5-cyclohexadiene-1,4-dione	2.44 ± 0.37	— /1.76 ± 0.25	— /1.71 ± 0.44	— /1.56 ± 0.57	— /1.00 ± 0.12	— /0.84 ± 0.25
	酮类 2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4h-吡喃-4-酮	8.03 ± 1.09/					
	2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4h-pyran-4-one	8.03 ± 1.09	— / —	— / —	— / —	— / —	— / —
	β -大马酮	1.33 ± 0.21/	2.56 ± 0.41/	1.28 ± 0.53/	1.31 ± 0.27/	1.34 ± 0.17/	1.24 ± 0.23/
	β -damascenone	1.33 ± 0.21	7.01 ± 0.42	4.09 ± 0.32	5.62 ± 0.33	3.48 ± 0.21	3.04 ± 0.14
	(Z)-6,10-二甲基-5,9-十一碳二烯-2-酮	2.06 ± 0.27/	1.68 ± 0.07/ —	1.40 ± 0.16/	0.79 ± 0.24/	0.79 ± 0.33/	0.70 ± 0.27/
	(Z)-6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one	2.06 ± 0.31		0.60 ± 0.09	0.92 ± 0.27	0.24 ± 0.13	0.37 ± 0.11
	酮类小计	16.23 ± 2.03/	7.37 ± 1.38/	5.62 ± 4.79/	4.42 ± 1.02/	4.30 ± 0.49/	3.82 ± 0.85/
		16.23 ± 2.03	12.03 ± 2.21	8.57 ± 7.98	10.20 ± 1.33	6.74 ± 1.18	5.79 ± 1.04
烯 类	1,3,8- <i>p</i> -薄荷三烯	1.43 ± 0.27/	1.90 ± 0.18/	1.71 ± 0.21/			
	1,3,8- <i>p</i> -menthatriene	1.43 ± 0.27	1.71 ± 0.26	1.39 ± 0.19	— / —	— / —	— / —
	β -月桂烯	5.04 ± 0.57/	5.01 ± 0.33/	3.83 ± 0.56/	4.24 ± 0.32/	3.71 ± 0.46/	3.10 ± 0.41/
	beta-myrcene	5.04 ± 0.57	5.69 ± 0.45	3.76 ± 0.43	4.96 ± 0.46	3.15 ± 0.37	2.16 ± 0.25
	<i>D</i> -柠檬烯	1.72 ± 0.47/	1.88 ± 0.37/	1.72 ± 0.89/	1.70 ± 0.07/	1.59 ± 0.11/	1.33 ± 0.45/
	<i>D</i> -limonene	1.72 ± 0.40	1.79 ± 0.24	1.46 ± 0.31	1.33 ± 0.09	1.29 ± 0.37	0.76 ± 0.31
	α -松油烯	0.67 ± 0.18/					
	α -terpinene	0.67 ± 0.22	— / —	— / —	— / —	— / —	— / —
	香橙烯a	1.52 ± 0.35/					
	romadendrene	1.52 ± 0.35	— / —	— / —	— / —	— / —	— / —
	罗勒烯	3.50 ± 0.41/	4.31 ± 0.24/	3.32 ± 0.53/	4.62 ± 0.55/	3.16 ± 0.29/	2.67 ± 0.22/
	(Z)-3,7-dimethyl-1,3,6-octatriene	3.50 ± 0.41	3.58 ± 0.78	2.70 ± 0.42	3.45 ± 0.38	2.32 ± 0.34	1.94 ± 0.17
	烯类小计	13.87 ± 3.12/	13.10 ± 2.19/	10.57 ± 1.37/	10.55 ± 2.04/	8.46 ± 1.12/	7.09 ± 2.52/
		13.87 ± 3.12	12.77 ± 2.47	10.39 ± 1.56	9.74 ± 2.78	6.76 ± 0.97	4.85 ± 1.34
酸 类	牻牛儿酸	8.44 ± 0.28/	8.96 ± 1.13/	8.47 ± 0.88/	3.21 ± 0.43/	3.08 ± 0.44/	3.00 ± 0.57/
	geranicacid	8.44 ± 0.55	9.02 ± 0.98	8.65 ± 1.13	7.17 ± 0.93	10.15 ± 2.21q	8.13 ± 1.88
	苯甲酸	— / —	— /12.93 ± 1.31	— /5.46 ± 0.95	— /4.00 ± 0.37	— / —	— / —
	benzoicacid						
	山梨酸	— / —	— / —	— / —	— / —	— /1.44 ± 0.11	— /1.00 ± 0.09
	sorbicacid						
	正癸酸	2.40 ± 0.27/	2.28 ± 0.19/	2.20 ± 0.54/	1.57 ± 0.27/	1.31 ± 0.07/	2.00 ± 0.747/
	<i>n</i> -decanoicacid	2.40 ± 0.27	2.40 ± 0.23	1.78 ± 0.35	1.63 ± 0.29	1.07 ± 0.03	0.73 ± 0.59
	酸类小计	10.84 ± 1.23/	11.24 ± 2.13/	10.67 ± 2.12/	4.78 ± 1.05/	4.39 ± 0.32/	4.99 ± 1.66/
		10.84 ± 1.57	24.34 ± 3.34	15.89 ± 1.77	12.80 ± 1.32	12.66 ± 2.13	9.86 ± 2.11
醛 类	糠醛	5.48 ± 1.27/	5.47 ± 1.09/	4.40 ± 1.01/	3.39 ± 1.48/	1.58 ± 0.07/	1.33 ± 0.16/
	furfural	5.48 ± 1.27	12.01 ± 1.32	15.24 ± 2.15	13.28 ± 2.77	12.34 ± 1.67	11.38 ± 1.23
	3-甲基-丙醛	1.70 ± 0.58/	1.58 ± 0.24/	2.08 ± 0.17/	2.13 ± 0.43/	0.86 ± 0.27/	0.77 ± 0.22/
	3-(methylthio)-propanal	1.70 ± 0.58	2.12 ± 0.31	0.83 ± 0.33	2.61 ± 0.27	1.74 ± 0.29	1.24 ± 0.18
	2-乙基-己醛	— / —	0.38 ± 0.08/	0.47 ± 0.21/	0.34 ± 0.25/	0.45 ± 0.18/	0.47 ± 0.31/
	2-ethyl-hexanal		0.35 ± 0.13	0.38 ± 0.43	0.26 ± 0.33	0.36 ± 0.23	0.39 ± 0.25
	苯甲醛	5.14 ± 1.03/	6.51 ± 0.77/	3.90 ± 0.25/	3.55 ± 0.81/	4.27 ± 0.67/	4.03 ± 0.77/
	benzaldehyde	5.14 ± 1.03	4.94 ± 0.52	3.45 ± 0.44	3.32 ± 0.16	3.49 ± 0.45	2.50 ± 0.19
	橙花醛	5.06 ± 1.27/					
	neral	5.06 ± 1.27	7.40 ± 1.57/ —	5.91 ± 1.34/ —	4.38 ± 1.33/ —	4.51 ± 1.78/ —	4.00 ± 0.77/ —
	香叶醛	8.48 ± 1.18/	10.83 ± 1.54/	7.09 ± 1.05/	7.27 ± 1.41/	7.93 ± 1.46/	6.54 ± 1.33/
	geranial	8.48 ± 1.18	7.90 ± 1.12	5.62 ± 1.03	6.21 ± 1.33	5.97 ± 1.21	3.75 ± 0.54
	2-(苯亚甲基)-辛醛	— / —	0.83 ± 0.17/				
	2-(phenylmethylene)-octanal		0.41 ± 0.19	0.54 ± 0.77/ —	0.50 ± 0.67/ —	0.48 ± 0.76/ —	0.33 ± 0.43/ —
	3,5-二叔丁基-4-羟基苯醛	4.19 ± 0.21/	5.01 ± 0.46/	3.85 ± 0.91/	2.57 ± 0.13/	5.70 ± 0.52/ —	3.48 ± 0.47/ —
	3,5-di-tert-butyl-4-hydroxybenzaldehyde	4.19 ± 0.21	3.12 ± 0.35	1.89 ± 0.85	1.95 ± 0.21		
	壬醛	3.29 ± 0.34/					
	nonanal	3.29 ± 0.34	— / —	4.78/ —	4.60/ —	— / —	— / —

续表 1

	化合物名称	0d(4℃/25℃)	4周(4℃/25℃)	5周(4℃/25℃)	6周(4℃/25℃)	7周(4℃/25℃)	8周(4℃/25℃)
醛 类	正癸醛	2.07 ± 0.37/					
	decanal	2.07 ± 0.37	— / —	— / —	— / —	— / —	— / —
	(E)-2-辛烯醛	1.41 ± 0.21/					
	(E)-2-hexenal	1.41 ± 0.21	— / —	— / —	0.94 ± 0.27/—	1.01 ± 0.43/—	1.12 ± 0.55/—
	醛类小计	36.82 ± 4.51/	38.01 ± 4.37/	33.02 ± 3.27/	29.66 ± 3.01/	26.79 ± 3.22/	22.04 ± 1.87/
		36.82 ± 4.51	30.84 ± 3.14	27.40 ± 4.23	27.62 ± 3.41	23.89 ± 2.31	19.25 ± 2.03
	二甲硫醚	38.72 ± 2.73/	16.96 ± 2.01/	14.96 ± 2.77/	14.15 ± 2.28/	14.89 ± 2.05/	13.95 ± 1.41/
	dimethylsulfide	38.72 ± 2.73	50.36 ± 4.39	39.14 ± 5.07	30.76 ± 3.10	13.64 ± 1.74	13.13 ± 1.44
	四氢-4-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯基)-2H-吡喃	33.24 ± 3.73/	52.88 ± 3.77/	19.34 ± 2.01/	27.80 ± 3.31/	28.02 ± 3.09/	26.53 ± 3.08/
	Tetrahydro-4-methyl-2-(2-methyl-1-propenyl)-2H-pyran	33.24 ± 4.28	51.05 ± 6.01	47.05 ± 5.08	32.86 ± 3.45	29.66 ± 4.12	25.44 ± 3.34
其 他	3,6-二氢-4-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯基)-2H-吡喃	8.10 ± 1.09/	14.80 ± 1.58/	7.00 ± 1.14/	9.59 ± 0.79/	9.22 ± 0.77/	8.836 ± 1.97/
	3,6-dihydro-4-methyl-2-(2-methyl-1-propenyl)-2H-pyran	8.10 ± 1.09	21.15 ± 3.31	12.15 ± 2.21	15.24 ± 0.72	11.56 ± 1.25	9.15 ± 1.44
	2-(1,1-二甲基乙基)-6-甲基-苯酚	2.41 ± 1.89/	4.17 ± 2.45/	2.68 ± 1.02/	2.26 ± 0.44/	2.80 ± 0.81/	2.88 ± 0.33/
	2-(1,1-dimethylethyl)-6-methyl-phenol	2.41 ± 1.89	2.48 ± 1.18	1.48 ± 0.12	1.44 ± 0.09	0.90 ± 0.32	0.73 ± 0.41
	6-叔丁基-2,4-二甲基苯酚	1.09 ± 0.27/	1.90 ± 0.53/	1.09 ± 0.31/			
	6-tert-butyl-2,4-dimethylphenol	1.09 ± 0.27	1.09 ± 0.51	0.65 ± 0.44	2.24 ± 0.17/—	1.05 ± 0.22/—	1.14 ± 0.23/—
	2,4-二(1,1-二甲基乙基)-苯酚	— / —	19.42 ± 2.35/	13.58 ± 2.09/	11.99 ± 2.25/	13.26 ± 2.18/	12.13 ± 0.77/
	2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-phenol		19.00 ± 2.12	11.03 ± 1.37	12.36 ± 2.11	8.35 ± 0.77	8.12 ± 0.33
	其他小计	83.56 ± 9.27/	110.14 ± 15.44/	58.66 ± 7.81/	68.02 ± 6.17/	68.19 ± 7.33/	65.46 ± 9.18/
		83.56 ± 8.12	145.12 ± 13.79	111.49 ± 10.77	92.66 ± 8.98	64.11 ± 7.93	56.56 ± 6.32
总 计		804.39 ± 101.77/	1118.88 ± 123.15/	879.88 ± 102.11/	844.70 ± 87.23/	812.9 ± 101.352/	773.60 ± 81.23/
		804.39 ± 101.77	1061.73 ± 90.77	873.81 ± 90.33	855.12 ± 63.77	675.92 ± 103.48	599.18 ± 65.99

注：*.内标物；—,未检出。

丙基)酯在贮藏期间逐渐减少,至7周后已检测不到。棕榈酸乙酯只在未贮藏时能检测到。

烯类物质是荔枝的重要呈香成分。在贮藏过程中,该类香气成分随着贮藏时间的延长逐渐减少,呈显著下降趋势($P < 0.05$)。 β -月桂烯、 D -柠檬烯是构成荔枝香气的重要成分,贮藏8周后含量分别降低38.54%和22.97%。 α -松油烯和香橙烯只在贮藏前检测到。

醛类物质是荔枝香气的重要组成部分。冷藏4周后,该类香气成分含量与冷藏前相当,5周后逐渐下降,冷藏8周后含量为冷藏前的59.86%。醛类物质中苯甲醛、橙花醛和香叶醛的含量较高,这3种香气成分在冷藏4周后达到最高,5周后逐渐减少,与醛类物质总量变化一致。常温贮藏期间醛类香气物质总体也呈下降趋势,只在贮藏6周后含量较第5周相比略有增加。

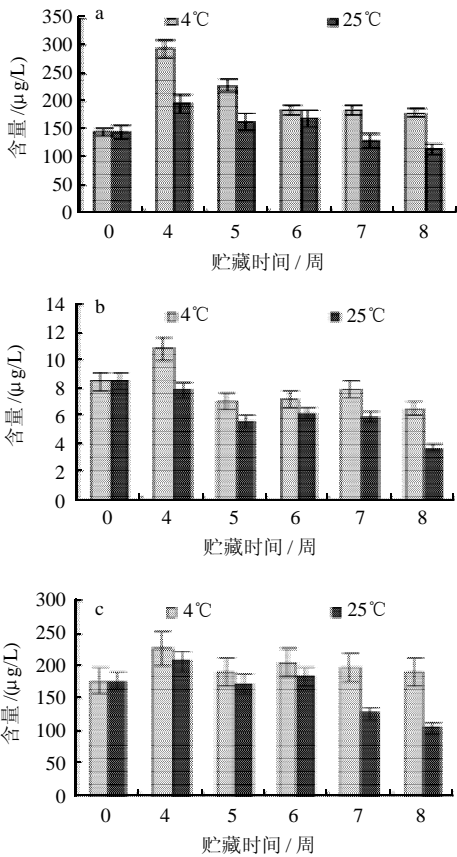
酸类物质含量在贮藏4周后达到最高,之后逐渐减少,至8周后含量与贮藏前相比都有所降低。

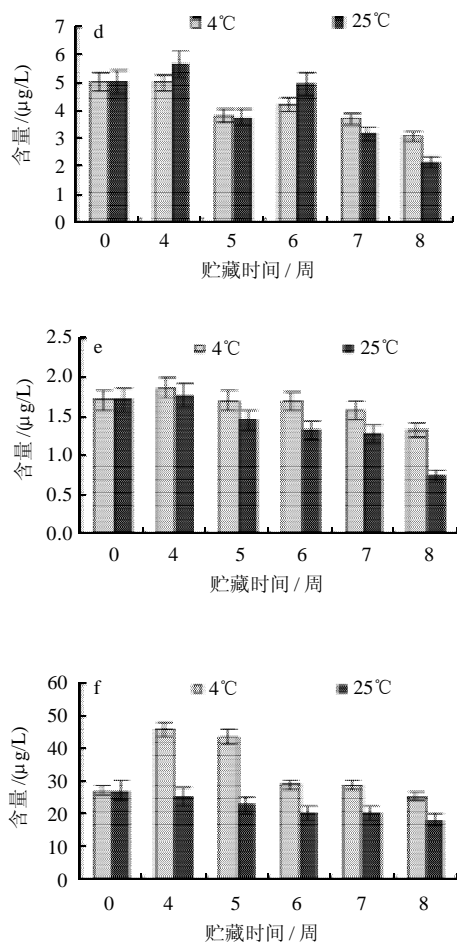
从各类香气在4℃冷藏及常温贮藏期间的变化趋势来看,贮藏4周后香气含量显著增长($P < 0.05$),之后随着贮藏时间延长,含量逐渐降低。

2.2 4℃冷藏和25℃贮藏期间几种荔枝典型香气成分变化的比较分析

据报道,香叶醇、香茅醇、苯乙醇具有青甜玫瑰花香、甜花香及柑橘水果香气, β -月桂烯和 D -柠檬烯具有令人愉快的香气,香叶醛具有强烈的柠檬香气,这些物质是荔枝的主体香气成分,在一定程度决定了荔

枝汁的香气品质^[1-3]。荔枝汁贮藏过程中这6种典型香气成分的变化见图1。





a. 香叶醇; b. 香叶醛; c. 香茅醇; d. β -月桂烯; e. *D*-柠檬烯; f. 苯乙醇。

图1 4℃冷藏和25℃贮藏期间荔枝法典型香气含量变化比较

Fig.1 Comparisons of content changes of several representative aroma compounds in litchi juice stored at 4℃ and 25℃

从图1可看出, 4℃贮藏条件下, 香茅醇、香叶醇和苯乙醇含量均较贮藏前明显增加, 其中贮藏4周增幅最大, 分别达到27.1%、104.4%、63.4%, 贮藏8周时其含量分别为贮藏前的107.6%、124.5%和93.8%; 香叶醛和*D*-柠檬烯含量则是在贮藏到4周时有所增长, 此后虽贮藏期延长含量逐渐降低, 贮藏8周时, 其含量分别为贮藏前的77.1%和77.3%; β -月桂烯在贮藏第4周

含量变化不大, 此后逐渐降低。在25℃贮藏, 香茅醇、香叶醇和 β -月桂烯含量均在贮藏4周达到最大, 此后逐渐降低, 到第8周时含量均较贮藏前低; 苯乙醇、*D*-柠檬烯和香叶醛在贮藏过程时间中含量呈逐渐下降的趋势; 除 β -月桂烯在常温贮藏4周和6周后含量高于4℃冷藏外, 其他香气成分含量均低于同期4℃冷藏期间, 且绝大多数典型香气成分含量存在显著差异($P < 0.05$)。可见, 低温贮藏有助于香气成分的保留, 贮藏温度越高, 风味损失越严重。

3 结论

3.1 荔枝汁在4℃冷藏和常温贮藏4周后香气含量增长, 之后随着贮藏时间延长, 含量降低。

3.2 通过对4℃冷藏和常温贮藏的荔枝汁主要香气类型及典型香气成分的比较分析可见, 4℃冷藏后绝大多数典型香气成分的含量显著高于($P < 0.05$)同期常温贮藏, 这说明低温贮藏有助于香气成分的保留。

参考文献:

- [1] ONG PKC, ACREE T E. Gas chromatography/olfactory analysis of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.)[J]. J Agric Food Chem, 1998, 46: 2282-2286
- [2] ONG PKC, ACREE T E. Similarities in the aroma chemistry of Gewurztraminer variety wines and litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47 (2): 665-670.
- [3] CHYAU A C C, KOB P T, CHANG C H, et al. Free and glycosidically bound aroma compounds in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.)[J]. Food Chem, 2003, 80: 387-392
- [4] LI Chunmei, HAO Jufang, ZHONG Huizheng, et al. Aroma components at various stages of litchi juice processing [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 81 (14): 2405-2414.
- [5] 窦宏亮. 绿茶饮料在贮藏中主要生化成分和香气成分的变化及其对茶饮料品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007: 57-61
- [6] 孙爱东. 苹果汁加工中典型芳香成分的形态变化及香气调控的研究[D]. 山东: 山东农业大学, 2000: 63-64.
- [7] VOON Y Y, SHEIKH N, HAMID A, et al. Volatile flavour compounds and sensory properties of minimally processed durian (*Durio zibethinus* cv. D24) fruit during storage at 4℃[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 46(1): 76-85.
- [8] 乜兰春, 孙建设, 黄瑞虹. 果实香气形成及其影响因素[J]. 植物学通报, 2004, 21(5): 631-637.