5种市售脐橙果实香气成分的主成分分析

唐会周[1]，明 建[1,2,*]
(1.西南大学食品科学学院，重庆 400715；2.重庆市特色食品工程技术研究中心，重庆 400715)

摘 要：研究5种市售脐橙的香气成分，并探索将脐橙香气成分作为风味评价指标的可能性。采用固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术测定5种市售脐橙果实的香气成分，并用主成分分析法对脐橙果实的香气成分进行分析。结果表明：5种市售脐橙的香气成分存在较大差异，从中检出65种香气成分，主要是单萜、倍半萜、醛类、酮类、醇类和酯类，第一主成分、第二主成分分别指向单萜、烯萜类氧化衍生物。这些香气成分的差异，形成脐橙各自的风味特征，脐橙香气成分的主成分分析可以作为脐橙香气品质潜在的评价方法。

关键词：脐橙；挥发性化合物；主成分分析；气相色谱-质谱联用

Principal Components Analysis of Aroma Components of Marketed Navel Oranges from Five Varieties

TANG Hui-zhou[1]，MING Jian[1,2,*]
(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China；
2. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400715, China)

Abstract：In the current work, the aroma components of marketed navel oranges from five varieties such as Fengjie Newhal navel orange, Fengjie navel orange Fengyuan 72-1, Gannan Newhall navel orange, Changhong navel orange and Beibei Powell navel orange were investigated by solid phase microextraction (SPME) followed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) combined with principal component analysis, and the feasibility of using aroma components for flavor evaluation of orange was explored. The orange varieties presented a large difference in their aroma components. The number of aroma components identified in them was 65, mainly monoterpenes, sesquiterpenes, aldehydes, ketones, alcohols and esters. The first and second principal components were explained as monoterpenes and oxided terpenoid derivatives, respectively. The difference of these aroma components resulted in the unique flavor characteristics of different orange varieties. Therefore, principal component analysis has the potential to be used for aroma quality evaluation of orange.

Key words：navel orange；volatile compounds；principal component analysis；gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS)
中图分类号：TS255.2 **文献标识码**：A **文章编号**：1002-6630(2011)20-0175-06

柑橘是世界重要的商品水果，其产量为所有水果之首，并且营养价值、药用价值及保健价值都很高，被世界公认为保健食品[1]。脐橙是我国重要的柑橘品种，亦是鲜食之佳品。香气成分是构成和影响果品鲜食、贮藏、加工质量及典型性的重要因素，相比传统品质指标而言，香气成分越来越成为相关研究的重点。目前，有关柑橘香气成分的报道较多，主要是果汁贮藏、加工过程中产生异味以及异味物质种类的研究[2-6]，不同品种柑橘香气成分对比分析报道相对较少，有美国、西班牙的一些品种[7]和温州蜜柑[8]，有关不同地域脐橙的对比研究主要集中在普通品质上[9-10]，还未见有不同品种脐橙果实香气成分的报道。主成分分析是一种多元统计分析技术，它是一种降维或者把多个指标转化为少数几个综合指标的一种方法，主成分分析的目的是简化数据和揭示变量间的关系，其作为一种多元分析方法已广泛应用于橙汁中果汁含量的判别、浓缩方式的判别以及产品类型与品种的判别[11-13]。目前，中国脐橙面临着国外“洋水果”的严峻挑战，合理地评价市售鲜食脐橙的香气品质，有助于应对这种挑战。本实验以固相微萃取(solid phase micro extraction，SPME)为香气富集方法，

收稿日期：2011-05-17
作者简介：唐会周(1986—)，男，硕士研究生，研究方向为果蔬采后生理。E-mail：shcjthz@163.com
*通信作者：明建(1972—)，男，副教授，博士，研究方向为食品化学与营养学。E-mail：mingjian1972@163.com
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

采用气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry，GC-MS)联用技术测定5种市售优质鲜食脐橙的香气成分，利用主成分分析方法分析影响香气成分的主要因子，旨在为脐橙香气品质的评价提供一种新的思路。

1 材料与方法

1.1 材料

5种市售脐橙商品名分别为奉节纽荷尔脐橙(产于重庆奉节县，品种为纽荷尔)、奉节脐橙(产于重庆奉节县，品种为奉园72-1)、赣南脐橙(产于江西赣州市安远县，品种为纽荷尔)、长红脐橙(产于湖北秭归县，系华中农业大学培育纽荷尔脐橙中的一个优良品系)和北碚脐橙(产于重庆北碚区，品种为鲍威尔)，商业成熟，购于重庆，每个品种选取10个大小均一、无损伤的果实去核去皮，将可食部分混匀，用于香气成分分析。

1.2 仪器与设备

QP2010气相色谱-质谱联用仪、DB-FFAP弹性石英毛细管柱(30m×0.25mm，0.25μm) 日本岛津公司；固相微萃取装置、DVB/CAR/PDMS 50/30μm(二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷)萃取头 美国Supelco公司；手持折光仪。

1.3 方法

1.3.1 香气成分分析

SPME条件：称取5g待测样品，转移至15mL顶空瓶中，加入磁力搅拌子(转速500r/min)，使用DVB/CAR/PDMS 50/30μm萃取头、固相微萃取装置(在40℃条件下顶空吸附30min后，将萃取头插入GC进样口，解析5min。

色谱条件：DB-FFAP石英毛细柱(30m×0.25mm，0.25μm)；载气：氦气(He)；进样口温度：230℃，无分流进样。升温程序：起始温度40℃保持5min，以7℃/min升至140℃，再以10/min℃升至230℃，保持8min。

质谱条件：接口温度230℃，离子源温度230℃，四极杆温度150℃，离子化方式EI，电子能量70eV，质量扫描范围35～350 *m/z*。

数据分析：运用计算机检索并与图谱库(NIST 05)的标准质谱图对照，结合有关文献，确认香气物质的各个化学成分，按峰面积归一化法算出样品中各个组分的相对含量。

1.3.2 数据统计及制图

主成分分析采用SAS 9.1软件，根据相关系数列出相关矩阵，求出特征根及其相应的特征向量，从特征根中选出几个较大的特征根及其特征向量，使其累积贡献率在90%以上。根据每个品种有关成分相对含量的标准化值及特征根、特征向量计算出各主成分值，并以此作散点图。

2 结果与分析

2.1 5种脐橙果实香气成分分析

5种市售脐橙果实香气成分各组分经计算机谱库，并结合相关文献[7,14-15]检索，从中检出65种香气成分(表1)，主要分为6大类，其中醇类15种、醛类11种、酮类5种、酯类7种、单萜9种、倍半萜15种以及其他类3种。

在相同的分析条件下，不同品种脐橙果实各类芳香物质的种类及其相对含量存在很大的差异。从奉节纽荷尔脐橙果实中检出香气成分41种，其中醇类11种、醛类8种、酯类3种、单萜5种、倍半萜11种，其他类3种，且无酮类检出；从奉节脐橙果实中检出香气成分25种，其中醇类6种、醛类5种、酮类2种、酯类1种、单萜5种、倍半萜5种，其他类1种；从赣南脐橙果实中检出香气成分36种，其中醇类3种、醛类7种、酯类6种、单萜8种、倍半萜11种，其他类1种，且无酮类检出；从长红脐橙果实中检出香气成分32种，其中醇类4种、醛类5种、酮类2种、酯类6种、单萜5种、倍半萜8种，其他类2种；从北碚脐橙果实中检出香气成分37种，其中醇类11种、醛类6种、酮类1种、酯类3种、单萜5种、倍半萜9种，其他类2种。

2.1.1 共有香气成分

由表1可知，5种脐橙果实共有的香气成分共有14种，其中包括：醇类3种，即乙醇(0.35%～3.47%)、芳樟醇(0.37%～2.30%)、*α*-萜品醇(0.09%～0.38%)；醛类2种，即己醛(0.12%～2.38%)、反-柠檬醛(0.06%～0.78%)；酯类1种，即丁酸乙酯(0.08%～3.72%)；萜烯类7种，即*D*-柠檬烯(68.5%～80.6%)、*β*-水芹烯(0.46%～1.49%)、*β*-月桂烯(2.72%～3.99%)、*α*-蒎烯(0.34%～0.49%)、石竹烯(0.32%～0.90%)、*α*-法呢烯(0.02%～0.11%)、*α*-人参烯(0.28%～1.21%)；其他类1种，即1,1,1-三甲基-3-苯基-2,3-二氢茚满(0.34%～0.90%)。

2.1.2 特有香气成分

由表1可知，不同脐橙果实具有不同的香气特征，其中一个原因是其香气成分种类存在差异。奉节纽荷尔脐橙果实特有的香气成分共9种，分别是1-壬醇、1-癸醇、马鞭草烯醇、紫苏醇、十一醛、顺-柠檬烯、吉马烯*D*、*β*-倍半水芹烯、9-甲基-1-十一烯；奉节脐橙果实特有的香气成分共4种，分别是(*Z*)-2-己烯醛、乙基乙烯基酮、环戊酮、1,4-二甲基-7-异丙基-1,2,3,3*a*,

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1 5种市售脐橙果实香气成分及其相对含量

Table 1 Aroma components and relative contents in marketed navel oranges from five varieties

类别	编号	化合物名称	品种				
			奉节纽荷尔脐橙	奉节脐橙	赣南脐橙	长红脐橙	北碚脐橙
醇	1	乙醇	0.35	1.79	1.99	3.47	3.27
	2	1-己醇	—	0.86	—	0.71	0.88
	3	1-壬醇	0.06	—	—	—	—
	4	1-癸醇	0.16	—	—	—	—
	5	3,7-二甲基-1-辛醇	—	—	—	—	0.06
	6	(*Z*)-3-己烯醇	—	1.15	—	—	1.71
	7	(*Z*)-2-己烯醇	—	0.38	—	—	0.22
	8	芳樟醇	1.50	0.71	0.40	0.37	2.30
	9	4-香芹草孟烯醇	0.06	—	—	—	0.08
	10	马鞭草烯醇	0.01	—	—	—	—
	11	*α*-萜品醇	0.21	0.21	0.12	0.09	0.38
	12	*β*-香茅醇	0.04	—	—	—	0.14
	13	橙花醇	0.06	—	—	—	0.20
	14	香叶醇	0.04	—	—	—	0.15
	15	紫苏醇	0.02	—	—	—	—
		合计	2.51	5.10	2.51	4.64	9.39
醛	16	乙醛	—	—	0.12	0.22	—
	17	己醛	0.12	2.38	0.40	0.60	0.40
	18	辛醛	0.71	—	0.57	—	0.15
	19	壬醛	0.18	—	0.08	—	—
	20	癸醛	2.37	0.34	0.54	—	0.62
	21	十一醛	0.07	—	—	—	—
	22	(*E*)-2-己烯醛	0.31	—	0.71	1.11	1.15
	23	(*Z*)-3-己烯醛	—	2.91	—	0.45	0.62
	24	(*Z*)-2-己烯醛	—	5.00	—	—	—
	25	顺-柠檬醛	0.83	—	—	—	—
	26	反-柠檬醛	0.78	0.29	0.22	0.06	0.50
		合计	5.29	10.92	2.64	2.44	3.44
酮	27	3,3,4,4,-四甲基-2-戊酮	—	—	—	0.15	—
	28	1-戊烯-3-酮	—	—	—	0.11	—
	29	3-戊酮	—	—	—	—	0.21
	30	乙基乙烯基酮	—	0.38	—	—	—
	31	环戊酮	—	0.10	—	—	—
		合计	0.00	0.48	0.00	0.26	0.21
酯	32	乙酸乙酯	—	—	0.25	0.24	—
	33	丁酸乙酯	0.08	0.45	1.80	3.72	1.06
	34	己酸乙酯	0.15	—	0.54	0.60	0.15
	35	辛酸乙酯	0.20	—	0.42	0.26	0.14
	36	2-甲基丁酸乙酯	—	—	0.24	0.17	—
	37	己酸己酯	—	—	0.04	—	—
	38	香茅醇乙酸酯	—	—	—	0.07	—
		合计	0.43	0.45	3.29	5.06	1.35
单萜	39	*α*-蒎烯	0.49	0.34	0.47	0.48	0.34
	40	*β*-侧柏烯	0.04	0.27	—	0.08	0.66
	41	香桧烯	—	—	0.04	—	—
	42	3-蒈烯	—	—	0.21	—	—
	43	*α*-水芹烯	—	—	0.20	—	—
	44	4-蒈烯	—	—	0.08	—	—
	45	*β*-水芹烯	1.49	0.49	1.12	0.47	0.46
	46	*β*-月桂烯	3.99	2.82	3.35	2.79	2.72
	47	*D*-柠檬烯	80.60	73.20	70.02	69.61	68.50
		合计	86.61	77.12	75.49	73.43	72.68

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续表 1

类别	编号	化合物名称	品种				
			奉节纽荷尔脐橙	奉节脐橙	赣南脐橙	长红脐橙	北碚脐橙
倍半萜	48	1,4-二甲基-7-异丙基-1,2,3,3*a*,4,5,6,7-八氢天蓝烃	—	0.56	—	—	—
	49	顺-*β*-罗勒烯	0.11	—	0.10	—	—
	50	吉马烯D	0.19	—	—	—	—
	51	石竹烯	0.32	0.63	0.90	0.60	0.67
	52	蛇麻烯	0.29	—	0.57	0.25	0.26
	53	*β*-倍半水芹烯	0.06	—	—	—	—
	54	*β*-人参烯	0.11	—	0.48	7.51	0.34
	55	怡米烯	0.10	—	—	0.28	0.36
	56	1,8*a*-二甲基-7-异丙烯基-1,2,3,5,6,7,8,8*a*-八氢萘	2.56	3.61	8.34	—	7.42
	57	4*a*,8-二甲基-2-异丙烯基-1,2,3,4,4*a*,5,6,8*a*-八氢萘	0.42	—	2.71	1.77	1.47
	58	*α*-法呢烯	0.11	0.02	0.04	0.04	0.04
	59	*α*-人参烯	0.37	0.28	1.21	1.09	0.96
	60	雪松烯	—	—	0.24	—	—
	61	斧柏烯	—	—	0.44	—	—
	62	长叶烯	—	—	0.53	0.41	0.46
		合计	4.64	5.10	15.56	11.95	11.98
其他	63	9-甲基-1-十一烯	0.04	—	—	—	—
	64	柠檬烯氧化物	0.04	—	—	0.17	0.08
	65	1,1,1-三甲基-3-苯基-2,3-二氢茚满	0.34	0.83	0.34	0.90	0.87
		合计	0.42	0.83	0.34	1.07	0.95
		总计	99.90	100	99.83	98.85	100

注：“—”表示未检出。

4,5,6,7-八氢天蓝烃；赣南脐橙果实特有的香气成分共7种，分别是己酸乙酯、香桧烯、3-蒈烯、*α*-水芹烯、4-蒈烯、雪松烯、斧柏烯；长红脐橙果实特有的香气成分共3种，分别是3,3,4,4-四甲基-2-戊酮、1-戊烯-3-酮、香茅醇乙酸酯；北碚脐橙果实特有的香气成分共2种，为3,7-二甲基-1-辛醇和3-戊酮。

2.2 5种脐橙香气成分的主成分分析

利用SAS软件分析家模块的主分量分析过程对5种市售脐橙果实香气成分的相对含量进行主成分分析，得到主成分的特征值和特征向量见表2。由表2可知，第1成分的贡献率为45.05%，第2成分的贡献率为19.07%，第3成分的贡献率为16.33%，第4成分的贡献率为10.40%，4个成分的累计贡献率已经达到90.84%，根据主成分分析一般提取主成分包含90%以上信息的原理[16]，可见此4个主成分足以说明该数据的变化趋势，故根据其贡献大小将其命名为第1、2、3、4主成分。

表2 4个主成分的特征值及其贡献率

Table 2 Eigenvalues, contribution and cumulative contribution of 4 principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	29.28	45.05	45.05
2	12.4	19.07	64.12
3	10.61	16.33	80.45
4	6.76	10.40	90.84

表3 主成分载荷矩阵

Table 3 Principal component loading matrix

编号	指标	主成分			
		1	2	3	4
1	乙醇	0.160	−0.117	0.080	−0.039
2	1-己醇	0.124	−0.092	0.200	0.013
3	1-壬醇	0.091	0.236	−0.040	−0.038
4	1-癸醇	0.091	0.236	−0.040	−0.038
5	3,7-二甲基-1-辛醇	0.091	−0.018	0.169	−0.042
6	(*Z*)-3-己烯醇	0.127	−0.088	0.201	−0.018
7	(*Z*)-2-己烯醇	0.086	−0.035	0.213	0.203
8	芳樟醇	0.155	0.072	0.124	0.000
9	4-香芹草孟烯醇	0.127	0.130	0.111	−0.057
10	马鞭草烯醇	0.091	0.236	−0.040	−0.038
11	*α*-萜品醇	0.162	0.028	0.126	0.053
12	*β*-香茅醇	0.112	0.047	0.152	−0.051
13	橙花醇	0.113	0.050	0.151	−0.052
14	香叶醇	0.111	0.043	0.153	−0.051
15	紫苏醇	0.091	0.236	−0.040	−0.038
16	乙醛	0.115	−0.152	−0.088	−0.137
17	己醛	0.097	−0.064	0.135	0.203
18	辛醛	0.144	0.123	−0.130	0.055
19	壬醛	0.122	0.179	−0.120	0.025
20	癸醛	0.134	0.193	−0.020	0.025
21	十一醛	0.091	0.236	−0.040	−0.038
22	(*E*)-2-己烯醛	0.162	−0.084	0.028	−0.123
23	(*Z*)-3-己烯醛	0.075	−0.051	0.180	0.207
24	(*Z*)-2-己烯醛	0.046	−0.030	0.148	0.259
25	顺-柠檬醛	0.091	0.236	−0.040	−0.038

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续表3

编号	指标	主成分			
		1	2	3	4
26	反-柠檬醛	0.156	−0.139	0.052	0.040
27	3,3,4,4,-四甲基-2-戊酮	0.079	−0.124	0.011	−0.236
28	1-戊烯-3-酮	0.079	−0.124	0.011	−0.236
29	3-戊酮	0.091	−0.185	0.169	−0.042
30	乙基乙烯基酮	0.046	−0.030	0.148	0.259
31	环戊酮	0.046	−0.030	0.148	0.259
32	乙酸乙酯	0.124	−0.151	−0.140	−0.580
33	丁酸乙酯	0.138	−0.149	−0.019	−0.127
34	己酸乙酯	0.152	−0.109	−0.101	−0.089
35	辛酸乙酯	0.166	−0.047	−0.121	−0.024
36	2-甲基丁酸乙酯	0.124	0.146	−0.160	−0.017
37	己酸己酯	0.096	−0.091	−0.204	0.147
38	香茅醇乙酸酯	0.079	−0.124	0.012	−0.236
39	α-蒎烯	0.182	−0.003	−0.002	0.011
40	β-侧柏烯	0.115	−0.030	0.213	0.040
41	香桧烯	0.096	−0.091	−0.204	0.147
42	3-蒈烯	0.096	−0.091	−0.204	0.147
43	α-水芹烯	0.096	−0.091	−0.204	0.147
44	4-蒈烯	0.096	−0.091	−0.204	0.147
45	β-水芹烯	0.169	0.083	−0.065	0.051
46	β-月桂烯	0.181	0.022	0.009	0.042
47	*D*-柠檬烯	0.180	0.004	0.035	0.042
48	1,4-二甲基-7-异丙基-1,2,3,3*a*,4,5,6,7-八氢天蓝烃	0.046	−0.030	0.148	0.259
49	顺-β-罗勒烯	0.132	0.114	−0.167	0.071
50	吉马烯D	0.091	0.236	−0.040	−0.038
51	石竹烯	0.174	−0.077	0.012	0.078
52	蛇麻烯	0.169	−0.026	−0.110	0.004
53	β-倍半水芹烯	0.091	0.236	−0.040	−0.038
54	β-人参烯	0.091	−0.127	0.006	−0.229
55	怡米烯	0.137	−0.038	0.129	−0.183
56	1,8*a*-二甲基-7-异丙烯基-1,2,3,5,6,7,8,8*a*-八氢萘	0.156	−0.033	−0.001	0.146
57	4*a*,8-二甲基-2-异丙烯基-1,2,3,4,4*a*,5,6,8*a*-八氢萘	0.160	−0.110	−0.084	−0.027
58	α-法呢烯	0.164	0.122	−0.018	−0.034
59	α-人参烯	0.173	−0.094	−0.023	−0.031
60	雪松烯	0.096	−0.091	−0.204	0.147
61	斧柏烯	0.096	−0.091	−0.204	0.147
62	长叶烯	0.154	−0.132	−0.032	−0.047
63	9-甲基-1-十一烯	0.091	0.236	−0.040	−0.038
64	柠檬烯氧化物	0.127	−0.068	0.072	−0.235
65	1,1,1-三甲基-3-苯基-2,3-二氢茚满	0.160	−0.065	0.125	0.002

由表3可知：第一主成分反映的指标主要有芳樟醇、α-萜品醇、(*E*)-2-己烯醛、反-柠檬醛、辛酸乙酯、α-蒎烯、β-水芹烯、β-月桂烯、*D*-柠檬烯，指向单萜类物质；第二主成分反映的指标主要有1-壬醇、1-癸醇、马鞭草烯醇、紫苏醇、癸醛、顺-柠檬醛、β-倍半水芹烯，指向烯萜类氧化衍生物；第三主成分反映的指标主要有1-己醇、(*Z*)-3-己烯醇、(*Z*)-2-己烯醇、β-侧柏烯，指向C_6醇类；第4主成分反映的指标主要有己醛、乙基乙烯基酮、环己酮和1,4-二甲基-7-异丙基-1,2,3,3*a*,4,5,6,7-八氢天蓝烃，指向酮类。因此，柑橘的主要香气成分可以综合成单萜类物质、烯萜类氧化衍生物、C_6醇类和酮类等几项指标，用来评价柑橘香气成分的组成。

根据表1中5种市售脐橙的65种香气成分的相对含量、表2中前两个主成分的特征值和表4中65种香气成分的载荷值计算出5种脐橙的第一、第二主成分值(且第一、第二主成分之和所占总变异额为64.12%)，然后以第一主成分值为横坐标、第二主成分值为纵坐标作散点图(图1)，由图1可知，5个品种脐橙根据距离远近分为4个区域，其中除北碚脐橙和奉节脐橙相离较近可以视为较接近外，奉节纽荷尔脐橙、赣南脐橙、长红脐橙相距都比较远。

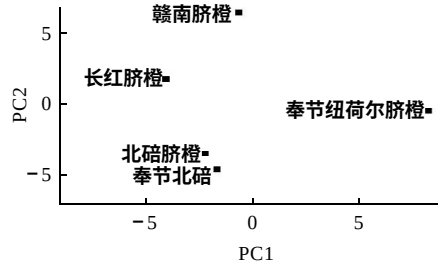

图1 5种市售脐橙的主成分散点图

Fig.1 PCA biplot for five orange varieties

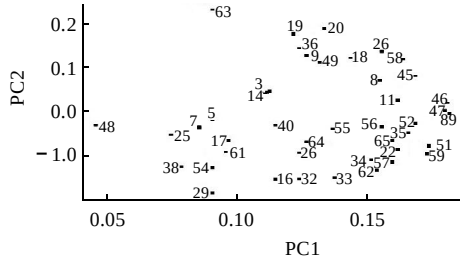

图2 65种香气成分的主成分散点图

Fig.2 PCA biplot for 65 identified aroma components

图2由65种香气成分的第一主成分值为横坐标、第二主成分值为纵坐标作散点图而得。图2结合图1可知，影响奉节纽荷尔脐橙的香气组成的香气成分主要集中在第一主成分的正半轴，按影响力从大到小依次为α-蒎烯(39)、β-月桂烯(46)、*D*-柠檬烯(47)、石竹烯(51)、α-人参烯(59)、β-水芹烯(45)、β-人参烯(54)，其中*D*-柠檬烯(80.6%)和β-月桂烯(3.99%)占有高的百分含量；影响赣南脐橙的香气组成的香气成分主要集中在第二主成分的正半轴，按影响力从大到小依次为癸醛(20)、壬醛(19)、2-甲基丁酸乙酯(36)、反-柠檬醛(26)、

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

辛醛(18)、α-法呢烯(58)；影响奉节和本地脐橙的香气组成的香气成分主要集中在第二主成分的负半轴，按影响力从大到小依次为3-戊酮(29)、乙醛(16)、乙酸乙酯(32)、丁酸乙酯(33)、β-人参烯(54)；影响长红脐橙的香气组成的香气成分主要集中在第一主成分的正半轴，按影响力从大到小依次为1,4-二甲基-7-异丙基-1,2,3,3*a*,4,5,6,7-八氢天蓝烃(48)、(*Z*)-2-己烯醛(24)、环戊酮(31)。

3 讨 论

鲍江峰等[9-10]研究表明，不同纬度和不同产区、产地的纽荷尔脐橙果实的食味品质和品质状态存在较大差异，并且主要通过温度、光照和降雨量等影响果实的品质。本研究考查5种市售脐橙品种香气成分，发现各品种之间品质指标差异较大。

结果表明，所占成熟脐橙果实香气成分比例最高的是烯萜类，脐橙果实香气成分中的烯萜分为单萜和倍半萜，其中单萜类物质占绝大多数。柠檬烯具有典型的柑橘香气，对橙汁的香气有重要作用[17]，本研究所有单萜中又以柠檬烯相对含量最高，同时柠檬烯也是脐橙果实全部香气成分中相对含量最高的，含量较高的还有α-萜品醇、β-水芹烯、β-月桂烯、芳樟醇等，Pérez-López等[18]认为*D*-柠檬烯、芳樟醇、α-萜品醇等是橙汁加工过程中的主要控制参数，本实验的检测结果从相对含量的大小上来分析也与此相似，相对含量范围分别是68.5%～80.6%、0.37%～2.3%、0.09%～0.38%，这样的结果与对其他橙汁的报道有一定的差异，其他橙汁的*D*-柠檬烯(86.9%～97.1%)相对含量较大[19-20]。

本实验尝试用主成分分析法研究脐橙果实香气成分的差异，可以找出引起其香气成分差异的主要化合物，并进行模拟量化。本研究的找出4个主成分，他们代表了90%以上的样品信息，可以说明样品之间的差异，第一主成分主要指向单萜类物质，第二主成分主要指向烯萜类氧化衍生物，这与影响橙汁加工的物质相似[18]。

评价一种物质对果实整体香气的贡献不能够仅仅看其相对含量，不同的香气物质由于阈值及在样品基质中浓度的不同，对果实香气的贡献会不同，仅凭某种香气成分含量的高低不能准确判断其对样品整体香气贡献的大小，只有具有较高香气值(浓度/香气阈值)的成分才是果实的特征香气。它们之中，有些含量虽极其微小，但由于香气阈值较低作用巨大，同时果实香气的构成中，除了主要赋香物质外，还包括了起协调作用的、起修饰作用的和起定香作用的化合物，并且这些化合物有的含量甚微，单一通过相对含量或者是香气值可能无法评价某一成分对果实香气的影响。主成分分析方法有其可取之处，它提取了香气成分的有效信息，克服了香气成分的相对含量评价或者是阈值评价的不足之处，对理解各化合物对香气的贡献有重要的帮助。

参考文献：

[1] 乔羽. 柑橘汁香气活性化合物的鉴定及其在加工和储藏中的变化[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.

[2] EREZ-CACHO P R, ROUSEFF R. Processing and storage effects on orange juice aroma: a review[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(21): 9785-9796.

[3] EREZ-CACHO P R, MAHATTANATAWEE K, SMOOT J M, et al. Identification of sulfur volatiles in canned orange juices lacking orange flavor[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(14): 5761-5767.

[4] KUMAZAWA K, WADA Y, MASUDA H. Characterization of potent odorants in hand-squeezed and heat processed citrus juices[J]. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology, 2007, 54(6): 266-273.

[5] EREZ-LOPEZ A J, SAURA D, LORENTE J, et al. Limonene, linalool, alpha-terpineol, and terpinen-4-ol as quality control parameters in mandarin juice processing[J]. European Food Research and Technology, 2006, 222(3/4): 281-285.

[6] EREZ-LOPEZ A J, CARBONELL-BARRACHINA A A. Volatile odour components and sensory quality of fresh and processed mandarin juices[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(14): 2404-2411.

[7] EREZ-CACHO P R, GALAN-SOLDEVILLA H, MAHATTANATAWEE K, et al. Sensory lexicon for fresh squeezed and processed orange juices [J]. Food Science and Technology International, 2008, 14(5): 131-141.

[8] 乔宇, 谢笔钧, 张妍, 等. 三种温州蜜柑果实香气成分的研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(5): 1452-1458.

[9] 鲍江峰, 夏仁学, 邓秀新, 等. 不同纬度产地纽荷尔脐橙果实品质状况初步研究[J]. 亚热带植物科学, 2006, 31(1): 13-16.

[10] 鲍江峰, 夏仁学, 彭抒昂, 等. 中国纽荷尔脐橙主要食味品质的系统聚类分析[J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 724-727.

[11] SHAW P E, BUSLIG B S, MOSHONAS M G. Classification of commercial orange juice types by pattern recognition involving volatile constituents quantified by gas chromatography[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1993, 41(5): 809-813.

[12] SHAW P E, MOSHONAS M G. Quantification of volatile constituents in orange juice drinks and its use for comparison with pure juices by multivariate analysis[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 1997, 30(5): 497-501.

[13] MACCARONE E, CAMPISI S, FALLICO B, et al. Flavor components of italian orange juices[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(6): 2293-2298.

[14] 张红艳, 夏仁学, 徐娟, 等. “伦晚脐橙”成熟果实及其留树保鲜果实的香气成分分析[J]. 植物生理学通讯, 2010, 46(2): 181-184.

[15] ALLEGRONE G, BELLIARDO F, CABELLA P. Comparison of volatile concentrations in hand-squeezed juices of four different lemon varieties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(5): 1844-1848.

[16] 刘大海, 李宁. SPSS 15.0统计分析从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.

[17] TØNDER D, PETERSEN M A, POLL L, et al. Discrimination between freshly made and stored reconstituted orange juice using GC odour profiling and aroma values[J]. Food Chemistry, 1998, 61(1/2): 223-229.

[18] PÉREZ-LÓPEZ A, SAURA D, LORENTE J, et al. Limonene, linalool, α-terpineol, and terpinen-4-ol as quality control parameters in mandarin juice processing[J]. European Food Research and Technology, 2006, 222(3): 281-285.

[19] JIA Mingyu, ZHANG Q H, MIN D B. Optimization of solid-phase microextraction analysis for headspace flavor ompounds of orange juice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(7): 2744-2747.

[20] PÉREZ A G, LUACES P, OLIVA J, et al. Changes in vitamin C and flavour components of mandarin juice due to curing of fruits[J]. Food Chemistry, 2005, 91(1): 19-24.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net