

顶空固相微萃取-气质联用结合主成分分析法 对太平猴魁茶香气成分的研究

杨 婷¹, 雷攀登^{1,2}, 周汉琛¹, 丁 勇^{1,2}, 崔 朋³, 程满环³, 黄建琴^{1,*}

(1.安徽省农业科学院茶叶研究所, 安徽黄山 245000;

2.黄山茶产业技术研究院, 安徽黄山 245600;

3.黄山学院, 安徽黄山 245041)

摘要:香气是影响茶叶品质的重要因子之一,太平猴魁茶是历史名茶,其独特的香气受到消费者青睐。本研究利用顶空固相微萃取-气质联用结合主成分分析法对太平猴魁茶的香气成分进行研究。结果表明:从太平猴魁茶样品中共检测到51种挥发性成分,3个不同地域的7个太平猴魁茶样品香气成分在组成及含量上存在一定的差异,但它们的主要香气物质是相似的,主要包括13种醇类物质、8种烯类物质、6种醛类、3种酮类物质、7种酯类物质、4种芳香烃类物质和8种烷烃类物质;采用主成分分析法,鉴定出太平猴魁茶特征香气成分主要有29种,包括7种醇类成分,8种烯类成分,3种醛类成分,5种烷烃类成分,2种酮类成分,3种酯类成分和1种芳香烃类成分。

关键词:太平猴魁茶,气相色谱-质谱联用,香气成分,主成分分析

Studies on aroma components in Taiping Houkui tea by HS-SPME-GC-MS coupled with principal component analysis

YANG Ting¹, LEI Pan-deng^{1,2}, ZHOU Han-chen¹, DING Yong^{1,2},

CUI Peng³, CHENG Man-huan³, HUANG Jian-qin^{1,*}

(1.Tea Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Huangshan 245000, China;

2.Huangshan Research Institute of Tea Industry Technology, Huangshan 245600, China;

3.Huangshan University, Huangshan 245041, China)

Abstract: Aroma is a major factor influence tea quality. Taiping Houkui tea is famous world-wide which rest on its unique flavor. Aroma components of Taiping Houkui tea were analyzed using solid phase micro-extraction followed by gas chromatography-mass spectrometry combined with principal component analysis. Results showed that a total of 51 compounds were identified from the tea samples major including 13 kinds of alcohols, 6 kinds of aldehydes, 8 kinds of alkene, 3 kinds of ketones, 7 kinds of esters, 4 kinds of aromatic hydrocarbons and 8 kinds of alkanes. The varieties of the aromatic constituents behaved similarly in seven commercial Taiping Houkui tea samples, but the contents behaved differently in different regions. Principle component analysis showed that 7 kinds of alcohols, 8 kinds of alkene, 3 kinds of aldehydes, 5 kinds of alkanes, 2 kinds of ketones, 3 kinds of esters and one kind of aromatic hydrocarbons made a major contribution to Taiping Houkui tea.

Key words: Taiping Houkui tea; gas chromatography-mass spectrometer; aroma component; principal component analysis

中图分类号: TS272.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)10-0049-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.10.001

太平猴魁茶产于安徽省黄山市黄山区(原太平县)三合村的猴坑、猴岗、颜家三个自然村落的凤凰山、狮形山、鸡公山、鸡公尖一带,属于绿茶尖茶类,根据《地理标志产品——太平猴魁茶》国家标准,太平猴魁茶具有“两叶一芽、扁平挺直、魁伟重实、色泽苍绿、兰香高爽、滋味甘醇”的品质特征^[1]。太平猴

魁茶独特的香气是消费者青睐的重要因子之一,王卿等研究表明太平猴魁茶的香气以醇类和酯类为主^[2],雷攀登等应用同时蒸馏萃取结合气相色谱法对不同产地的太平猴魁茶品质成分分析,认为雪松醇、香榧醇、氧化芳樟醇、橙花叔醇、壬醛、庚醛、苯甲酸芳樟酯、新植二烯、 β -紫罗酮、叔丁基对甲酚为太平

收稿日期: 2016-11-04

作者简介: 杨婷(1989-),女,硕士,研究实习员,研究方向:茶叶加工与品质化学, E-mail: yt08116040@163.com。

* 通讯作者: 黄建琴(1964-),女,硕士,研究员,研究方向:茶叶加工与品质化学, E-mail: ahnytea@163.com。

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-23);安徽省农业科学院名优茶现代化加工关键技术与设备科技创新团队(12C0803);安徽省科技攻关计划(1501031100)。

猴魁茶的主要香气成分^[3]。

茶叶香气种类众多,前人的研究大多以某些成分相对含量的多少来界定该物质对茶叶整体香气的贡献,而茶叶香气的实质是不同芳香物质以不同浓度组合对人类嗅觉神经综合作用的结果,芳香物质的种类和含量多少影响茶叶香型^[4]。在茶叶香气特征的研究中,主成分分析被作为一种常用的分析方法,它可以将大量彼此可能存在相关关系的变量转换成较少的彼此不相关的综合指标^[5]。利用主成分分析法分析普洱生茶的主要香气成分为芳樟醇及其氧化物、香叶醇、水杨酸甲酯、 α -萜品醇等^[6];此外对广东罗坑红茶、湖北伍家台绿茶、板栗香型绿茶等茶叶香气品质的评价均用到了主成分分析法^[7-9]。太平猴魁茶是历史名茶,在国际上享有盛誉,其独特的香气滋味深受消费者喜爱,而对太平猴魁茶品质化学的研究还比较少,尤其是在香气方面。因此本研究利用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱法对太平猴魁茶的香气成分进行提取分析,并利用主成分分析法分析影响太平猴魁茶香气成分的主要因子,旨在深入了解太平猴魁茶的香气特征,为太平猴魁茶香气评价方法提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

茶叶 在黄山市黄山区太平猴魁产地收集,共7个样品,均来自于黄山市猴坑茶叶公司,具体样品信息见表1,将样品用粉碎机磨碎过筛,放-4℃冰箱备用;**C₁₀~C₂₀正构烷烃** 百灵威科技有限公司;芳樟醇(浓度 $\geq 98\%$)标准品、香叶醇(浓度 $\geq 99\%$)标准品 上海阿拉丁试剂股份有限公司。

50/30 μ m CAR/DVB/PDMS 萃取头(二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷)、萃取手柄 美国色谱科公司;Agilent 7890-5975 气相色谱质谱联用仪、DB-5MS 石英毛细管柱(30 m \times 250 μ m \times 0.25 μ m) 美国安捷伦公司。

表1 茶叶样品信息

Table 1 Information of tea samples

样品编号	产地	品种	制作时间
1	猴坑	柿大种	2016年4月26日
2	猴坑	柿大种	2016年4月27日
3	猴坑	柿大种	2016年4月26日
4	猴坑	柿大种	2016年4月26日
5	猴岗	柿大种	2016年4月26日
6	颜家	柿大种	2016年4月26日
7	颜家	柿大种	2016年4月26日

1.2 实验方法

1.2.1 茶叶香气成分萃取 称取3.0 g茶样放于250 mL萃取瓶中,加入15 mL沸水,立即将瓶口密封,然后将萃取头(50/30 μ m CAR/DVB/PDMS)插入萃取瓶中,在60℃水浴温度下萃取60 min,萃取结束后将萃取头插入气相色谱进样口解吸附3 min,每个样品重复三次。

1.2.2 GC-MS分析条件 气相色谱仪进样口温度为

250℃,不分流进样,载气为高纯氦气,纯度为99.99%;柱温程序为40℃保持2 min,随后以5℃/min升到85℃,保持2 min;再以2℃/min升到110℃,再以7℃/min升到139℃,最后以5℃/min升到230℃,保持8 min,总的分析时间为56 min;质谱接口温度为250℃,EI源温度为230℃,电子能量70 eV,质量扫描范围:35~400 amu。

1.2.3 定性定量方法 茶叶香气经GC-MS分析,各组质谱数据输入计算机库进行检索匹配,对基峰、质核比和相对峰度等方面进行分析,同时结合采用Kovats保留指数(Retention index, RI)公式计算各组分的RI值,通过与参考文献数据比对进行定性。采用面积归一化法计算各香气成分的相对百分含量,待测物质的含量=待测物的峰面积/总峰面积。

2 结果与分析

2.1 太平猴魁茶香气组成及含量分析

太平猴魁茶的香气组成及含量如表2和图1所示。从太平猴魁茶样品中总共鉴定出51个挥发性成分,主要包括13种醇类物质、8种烯类物质、6种醛类、3种酮类物质、7种酯类物质、4种芳香烃类物质、8种烷烃类物质、1种醌类物质和1种酚类物质。7个太平猴魁茶样品的香气成分在组成及含量上存在一定的差异,但它们的主要香气物质是相似的。

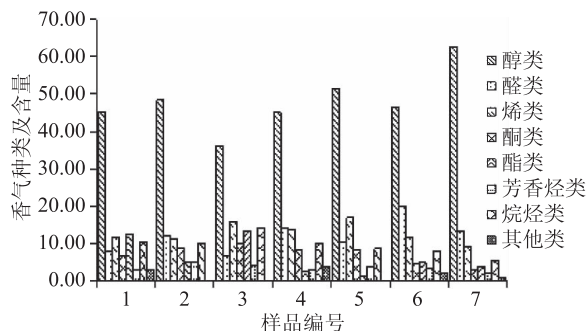


图1 太平猴魁茶样品香气成分种类及其相对含量

Fig.1 Aroma components and relative content in Taiping Houkui tea samples

太平猴魁茶香气成分中醇类物质占据重要地位,相对含量介于36.18%~62.81%,主要包括芳樟醇(10.33%~34.19%)、香叶醇(相对含量介于9.06%~17.03%)、2-乙基-1-己醇(相对含量介于1.51%~3.74%)、脱氢芳樟醇(相对含量介于0.79%~3.66%)、顺式芳樟醇氧化物(相对含量介于0.41%~3.90%)和反式芳樟醇氧化物(相对含量介于1.44%~2.34%)。

从太平猴魁茶样品的挥发性成分中鉴定出8种烯类物质,主要包括月桂烯(相对含量介于2.73%~6.63%)、 α -雪松烯(相对含量介于1.44%~9.43%)、 δ -杜松烯(相对含量介于0.31%~1.83%)。

从太平猴魁茶样品中鉴定出的醛类物质主要包括壬醛(相对含量介于5.01%~9.25%)和辛醛(相对含量介于0.73%~1.92%)。

太平猴魁茶样品中酯类成分主要有顺-己酸-3-己烯酯(相对含量介于0.82%~5.53%)和水杨酸甲

表2 GC-MS 鉴定出的太平猴魁茶的香气成分及相对含量

Table 2 Aroma compounds and relative content in Taiping Houkui tea identified by GC-MS

编号	物质	保留时间 (min)	鉴定方法	RI	相对含量(%)						
					1	2	3	4	5	6	7
1	庚醛	8.08	MS	-	0.25	1.28	1.13	ND	ND	0.66	1.27
2	苯甲醛	10.11	MS RI	978	0.22	1.50	ND	0.39	0.14	0.96	ND
3	1-辛烯-3-醇	10.48	MS RI	988	1.13	6.02	4.36	ND	ND	ND	ND
4	月桂烯	10.69	MS RI	993	2.73	6.63	5.54	2.91	3.33	6.24	5.05
5	辛醛	11.21	MS RI	1006	0.98	1.86	0.89	0.73	0.85	1.92	1.37
6	2-乙基-1-己醇	12.02	MS RI	1026	2.22	3.24	2.93	1.51	2.79	3.74	3.28
7	顺- β -罗勒烯	12.66	MS RI	1042	0.18	ND	ND	0.36	0.31	0.55	0.45
8	顺式氧化芳樟醇	13.69	MS RI	1068	1.05	3.90	1.63	0.41	0.67	2.63	2.89
9	1-辛醇	13.75	MS RI	1070	2.60	3.90	ND	1.21	1.56	ND	ND
10	反式氧化芳樟醇	14.40	MS RI	1086	1.33	2.20	2.34	1.36	2.21	2.04	2.22
11	β -芳樟醇	15.05	MS RI	1102	14.89	12.38	14.39	10.33	15.22	23.40	34.19
12	脱氢芳樟醇	15.20	MS RI	1105	1.42	1.80	1.36	0.79	3.40	3.66	2.59
13	壬醛	15.28	MS RI	1107	5.01	6.14	6.50	5.63	7.50	9.25	6.51
14	呋喃型氧化芳樟醇	18.49	MS RI	1169	1.65	1.72	0.74	1.45	ND	ND	1.90
15	萘	19.21	MS RI	1183	ND	1.68	0.43	0.45	0.28	0.29	0.23
16	水杨酸甲酯	19.69	MS RI	1193	3.53	2.09	1.12	1.83	1.25	2.34	2.87
17	十二烷	20.05	MS RI	1200	0.96	ND	1.84	1.39	1.66	1.62	1.24
18	癸醛	20.52	MS RI	1208	1.52	1.08	1.84	0.00	2.76	4.24	1.45
19	β -环柠檬醛	21.10	MS RI	1218	ND	ND	ND	ND	2.93	2.92	2.68
20	二甲基戊酸甲酯	21.15	MS RI	1219	2.68	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21	橙花醇	21.49	MS RI	1225	0.21	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22	顺-3-己烯醇-2-甲基丁酸酯	21.80	MS RI	1230	ND	ND	ND	1.10	ND	ND	ND
23	香叶醇	23.04	MS RI	1252	16.81	11.54	13.10	16.57	17.03	9.06	14.23
24	正己酸乙酯	23.45	MS RI	1259	ND	ND	ND	4.16	ND	ND	ND
25	五甲基苯	24.30	MS RI	1273	0.74	ND	ND	1.02	0.70	0.97	0.73
26	1-甲基萘	25.43	MS RI	1293	1.14	1.77	1.70	1.41	1.05	0.67	0.58
27	十三烷	25.79	MS RI	1299	0.68	0.87	ND	0.83	0.68	ND	ND
28	2-甲基萘	26.17	MS RI	1308	1.11	1.32	1.39	1.11	0.96	1.15	0.45
29	α -葑烯油烯	27.80	MS RI	1348	0.71	ND	ND	ND	ND	ND	ND
30	法尼烷	28.99	MS RI	1377	ND	ND	ND	0.84	0.49	ND	ND
31	β -倍半水芹萜烯	29.08	MS RI	1380	0.49	ND	ND	ND	ND	ND	ND
32	顺-己酸-3-己烯酯	29.24	MS RI	1384	5.22	2.74	ND	5.53	1.24	2.39	0.82
33	十四烷	29.89	MS RI	1399	3.83	4.22	ND	4.35	2.82	2.57	1.70
34	桉烯	30.02	MS RI	1403	0.00	0.00	ND	2.39	1.55	0.00	0.30
35	α -雪松烯	30.25	MS RI	1411	3.48	3.49	9.43	4.25	3.73	2.40	1.44
36	β -雪松烯	30.53	MS RI	1420	2.92	0.00	ND	4.77	4.25	1.98	1.56
37	顺-香叶基丙酮	31.43	MS RI	1449	2.78	3.45	ND	2.87	2.05	ND	ND
38	2,6-二叔丁基苯醌	31.76	MS RI	1460	2.99	ND	ND	ND	2.45	2.12	0.36
39	β -紫罗酮	32.31	MS RI	1478	3.21	4.74	8.10	6.65	5.80	3.81	2.46
40	十五烷	32.95	MS RI	1499	2.63	2.78	4.46	3.62	2.38	1.92	1.15
41	2,4-二叔丁基苯酚	33.17	MS RI	1507	ND	ND	ND	ND	1.24	ND	0.43
42	δ -杜松烯	33.41	MS RI	1516	1.11	1.14	1.83	1.02	0.57	0.38	0.31
43	十六烷	35.60	MS RI	1599	1.90	2.00	2.18	2.20	1.28	1.82	1.23
44	α -雪松醇	35.85	MS RI	1609	1.01	1.25	10.40	1.88	2.10	1.81	1.51
45	α -杜松醇	36.99	MS RI	1657	0.33	ND	0.37	ND	ND	ND	ND
46	十七烷	38.02	MS RI	1700	ND	ND	ND	0.79	0.43	ND	ND
47	十八烷	40.21	MS RI	1799	0.18	0.23	ND	0.19	ND	ND	ND
48	6,10,14-三甲基-十烷-2-酮	41.10	MS RI	1841	0.44	0.65	ND	0.44	0.34	0.51	0.55
49	邻苯二甲酸二异丁酯	41.49	MS RI	1860	0.77	ND	ND	0.61	ND	ND	ND
50	2-甲基十五酸甲酯	42.83	MS RI	1925	0.08	ND	ND	ND	ND	ND	ND
51	植醇	46.31	MS	-	0.45	0.40	ND	0.67	ND	ND	ND

注:ND 表明未检出。保留指数数据参考了文献 14 和 15。

酯(相对含量介于1.12%~3.53%)。

芳香烃类和烷烃类成分主要包括1-甲基萘(相对含量介于0.58%~1.77%)、2-甲基萘(相对含量介于0.45%~1.39%)、十四烷(相对含量介于1.70%~4.35%)、十五烷(相对含量介于1.15%~4.46%)和十六烷(相对含量介于1.23%~2.20%)。

7个太平猴魁茶样中均检测出较高含量的芳樟醇(木香和花香,香气阈值为6 ng/g)^[10]、香叶醇(玫瑰花香;阈值为3.2 ng/g)^[10]、壬醛(柑橘香、花香,香气阈值为1 ng/g)^[11]、 β -紫罗酮(紫罗兰香,偏木香;阈值为0.007 mg/L)^[12]、月桂烯(淡香脂味;香气阈值为36 μ g/L)^[13]五种成分,这五种香气成分均表现出花果香并且香气阈值普遍偏低,对构成太平猴魁茶独特香气风格可能具有重要的作用。但影响茶叶香气的因素很多,为了进一步分析太平猴魁茶的主体香气成分,本研究通过统计学分析加以判定和归类。

2.2 太平猴魁茶香气成分主成分分析

利用SPSS 19.0软件对7个太平猴魁茶样品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3。由表3可知,第1主成分的贡献率为31.254%,第2主成分的贡献率为22.982%,第3主成分的贡献率为18.535%,第4主成分的贡献率为14.665%,4个主成分的累计贡献率达到87.436%,综合了太平猴魁茶样品香气的大部分信息。

表3 4个主成分的特征值及其贡献率

Table 3 Eigenvalues, contribution

and cumulative contribution of 4 principal components

主成分	特征值	贡献率	累计贡献率
1	15.94	31.254	31.254
2	11.721	22.982	54.236
3	9.453	18.535	72.771
4	7.479	14.665	87.436

表4所示为4种主成分的载荷矩阵。第一主成分反应的指标主要有桉烯、 β -雪松烯、十七烷、法尼烷、庚醛、香叶醇、顺-氧化芳樟醇、2-乙基-1-己醇、月桂烯、辛醛;第二主成分反应的指标主要有 α -雪松烯、 β -芳樟醇、 δ -杜松烯、十五烷、 β -紫罗酮、1-甲基萘、顺- β -罗勒烯;第三主成分反应的指标主要有橙花醇、二甲基戊酸甲酯、 α -萜澄茄油烯、 β -倍半水芹萜烯、水杨酸甲酯、反-氧化芳樟醇、2-甲基十五酸甲酯;第四主成分反应的指标主要有1-辛醇、苯甲醛、十二烷、十三烷、顺-香叶基丙酮。鉴定出太平猴魁茶特征香气成分主要有29种,包括7种醇类成分,8种烯类成分,3种醛类成分,5种烷烃类成分,2种酮类成分,3种酯类成分和1种芳香烃类成分。

图2是7个太平猴魁茶样品的第一主成分和第二主成分的散点图,根据第一主成分和第二主成分散点图可以将7个太平猴魁茶样品分为三类,1号、3号、4号样品为一类,2号样品和5号样品为一类,6号和7号样品为一类。

图3是51种香气成分和7个太平猴魁茶样品以PC1值为横坐标,PC2值为纵坐标作图得来的,样品和香气成分距离越近表示关系越密切。由图3可

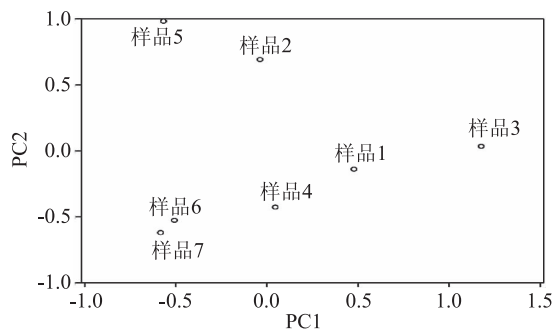


图2 7个不同产地的太平猴魁样品在第一主成分和第二主成分上的分布

Fig.2 Scatter diagram of seven Taiping Houkui

tea formed by the first and the second significant factors

知,影响样品1、样品3和样品4的香气成分主要有:顺-己酸-3-己烯酯、十四烷、香叶醇、十三烷、呋喃型氧化芳樟醇、水杨酸甲酯;影响样品2和样品5的香气成分主要有: α -雪松烯、 δ -杜松烯、十五烷、 β -紫罗酮、1-甲基萘、萘;影响样品6和样品7的香气成分主要有: β -芳樟醇、脱氢芳樟醇、癸醛、水杨酸甲酯、辛醛、十二烷、2-乙基-1-己醇、壬醛。

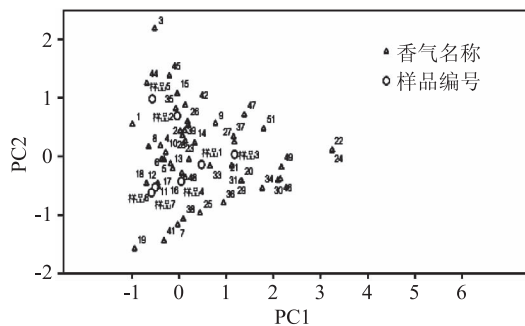


图3 51种香气成分的主成分散点图

Fig.3 PCA biplot for 51 identified aroma components

3 结论

香气成分是茶叶中重要的风味物质,受茶叶品种、产地等因素的影响。本研究应用顶空固相微萃取-气质联用仪测定7个太平猴魁茶样品的挥发性香气成分,并用主成分分析法研究它们的特征香气成分。本研究中,来自不同产地的太平猴魁茶样品中香气成分种类相似,但含量上有所差别。从太平猴魁茶样品中总共鉴定出51种挥发性成分,主要包括13种醇类物质、8种烯类物质、6种醛类、3种酮类物质、7种酯类物质、4种芳香烃类物质、8种烷烃类物质、1种醌类物质和1种酚类物质。用主成分分析法对太平猴魁茶样品进行分析,提取出四个主成分,累计贡献率达到87.436%,综合了太平猴魁茶样品香气的大部分信息。7个太平猴魁茶样品的第一主成分反应的指标主要有桉烯、 β -雪松烯、十七烷、法尼烷、庚醛、香叶醇、顺-氧化芳樟醇、2-乙基-1-己醇、月桂烯、辛醛;第二主成分反应的指标主要有 α -雪松烯、 β -芳樟醇、 δ -杜松烯、十五烷、 β -紫罗酮、1-甲基萘、顺- β -罗勒烯;第三主成分反应的指标主要有橙花醇、二甲基戊酸甲酯、 α -萜澄茄油烯、 β -倍半水芹萜烯、水杨酸甲酯、反-氧化芳樟醇、2-甲基十五酸

表4 主成分载荷矩阵
Table 4 Principle component loading matrix

香气编号	香气成分	主成分			
		1	2	3	4
1	庚醛	-0.870	0.035	-0.314	-0.112
2	苯甲醛	-0.369	-0.058	-0.255	0.754
3	1-辛烯-3-醇	-0.589	0.650	-0.145	0.399
4	月桂烯	-0.814	0.035	-0.507	0.043
5	辛醛	-0.721	-0.392	-0.233	0.311
6	2-乙基-1-己醇	-0.816	-0.261	-0.298	-0.133
7	顺- β -罗勒烯	0.308	-0.804	-0.122	-0.336
8	顺-氧化芳樟醇	-0.859	-0.249	-0.313	0.258
9	1-辛醇	-0.069	0.143	0.267	0.930
10	反-氧化芳樟醇	-0.607	0.093	-0.602	-0.209
11	β -芳樟醇	-0.403	-0.732	-0.099	-0.522
12	脱氢芳樟醇	-0.249	-0.537	-0.219	-0.136
13	壬醛	-0.212	-0.280	-0.438	-0.251
14	呋喃型氧化芳樟醇	-0.130	-0.141	0.223	0.256
15	萘	-0.384	0.241	-0.478	0.726
16	水杨酸甲酯	-0.222	-0.588	0.687	0.097
17	十二烷	0.383	0.108	-0.089	-0.831
18	癸醛	-0.339	-0.213	-0.004	-0.281
19	β -环柠檬醛	-0.055	-0.679	-0.276	-0.325
20	二甲基戊酸甲酯	0.015	0.002	0.991	0.110
21	橙花醇	0.015	0.002	0.991	0.110
22	顺-3-己烯醇-2-甲基丁酸酯	0.801	0.051	-0.221	0.102
23	香叶醇	0.699	0.058	0.376	0.010
24	正己酸乙烯酯	0.801	0.051	-0.221	0.102
25	五甲基苯	0.618	-0.663	0.179	-0.187
26	1-甲基萘	-0.010	0.857	-0.116	0.431
27	十三烷	0.464	0.135	0.152	0.842
28	2-甲基萘	-0.083	0.812	0.039	0.326
29	α -葎澄茄油烯	0.015	0.002	0.991	0.110
30	法尼烷	0.947	0.034	-0.281	0.145
31	β -倍半水芹萜烯	0.015	0.002	0.991	0.110
32	顺-己酸-3-己烯酯	0.521	-0.116	0.476	0.484
33	十四烷	0.386	-0.284	0.196	0.827
34	桉烯	0.938	-0.042	-0.307	0.103
35	α -雪松烯	-0.001	0.948	-0.066	-0.308
36	β -雪松烯	0.919	-0.299	0.163	0.046
37	顺-香叶基丙酮	0.355	0.142	0.227	0.875
38	2,6-二叔丁基苯醌	0.111	-0.277	0.671	0.014
39	β -紫罗酮	0.347	0.847	-0.380	-0.114
40	十五烷	0.245	0.943	-0.045	-0.024
41	2,4-二叔丁基苯醌	0.278	-0.246	-0.190	-0.049
42	δ -杜松烯	-0.073	0.944	0.144	0.017
43	十六烷	0.077	0.685	0.069	0.179
44	α -雪松醇	-0.180	0.783	-0.182	-0.565
45	α -杜松醇	-0.188	0.651	0.630	-0.360
46	十七烷	0.947	0.035	-0.280	0.144
47	十八烷	0.160	0.148	0.264	0.788
48	6,10,14-三甲基-十烷-2-酮	-0.129	-0.744	-0.030	0.618
49	邻苯二甲酸二异丁酯	0.556	0.037	0.698	0.163
50	2-甲基十五酸甲酯	0.015	0.002	0.991	0.110
51	植醇	0.472	0.122	0.256	0.589

(下转第 57 页)

3 结论

本研究合成了 PDDA 包裹的纳米 Ag; 日落黄对 PDDA-Ag 体系紫外-可见吸收具有猝灭作用, 基于此建立了测定果粒橙中日落黄的新方法, 该方法相对于已经报道的分光光度法检测日落黄方法具有更宽的线性范围, 较低的检测限, 为测定食品中日落黄的含量提供了方法参考。

参考文献

- [1] 丁成翔, 代汉慧, 陈冬东. 六种着色剂毒性研究进展[J]. 检验检疫科学, 2009, 19(2): 70-73.
- [2] 李广, 李琪, 金丽琼, 等. 高效液相色谱法同时测定葡萄酒中 9 种人工合成色素[J]. 中国酿造, 2013, 32(11): 132-135.
- [3] 李必全, 高静, 易志坚, 等. 高效液相色谱法同时测定橙味饮料中的多种类添加剂[J]. 南方农业, 2015, 28(9): 55-57.
- [4] 黎银波, 孟庆玉, 殷帅, 等. 高效液相色谱法测定药用辅料日落黄的含量[J]. 中南药学, 2012, 10(4): 251-253.
- [5] 刘玉莹, 马永民. 示波极谱法测定饮料及糖果中合成色素日落黄[J]. 中国卫生检验杂志, 1998, 8(6): 351-352.
- [6] 刘宇, 谢志海, 蔡清, 等. 荧光光谱法测定饮料中的日落黄[J]. 分析科学学报, 2012, 28(4): 535-538.
- [7] 陈海春. 双波长 K 系数分光光度法同时测定日落黄与柠檬黄[J]. 化学试剂, 2003, 25(2): 98-99.
- [8] 刘冷, 李建晴, 郭芬, 等. 紫外分光光度法同时测定柠檬黄和日落黄[J]. 光谱实验室, 2007, 24(3): 423-427.
- [9] 黄红霞. 多波长线回归-导数分光光度法同时测定柠檬黄, 日落黄, 维生素 B₂[J]. 福建轻纺, 2000(8): 7-10.
- [10] 林壮森, 张美珍, 江英志, 等. 分光光度法快速检测饮料中日落黄的研究[J]. 广州化工, 2011, 39(7): 109-110.
- [11] Kim S, Park C M, Kim I, et al. Synthesis of Silver Platelets Using Chemical Reduction Method [J]. Nanoscience and Nanotechnology Letters, 2016, 8(1): 48-51.

(上接第 53 页)

甲酯; 第四主成分反应的指标主要有 1-辛醇、苯甲醛、十二烷、十三烷、顺-香叶基丙酮。

参考文献

- [1] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 19698-2008 地理标志产品 太平猴魁茶[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [2] 王卿, 杜守平, 李尚庆, 等. 扁形茶压制式连续成型干燥机对太平猴魁茶品质的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 44-48.
- [3] 雷攀登, 黄建琴, 吴琼, 等. 太平猴魁茶主要品质成分分析[J]. 中国茶叶加工, 2016(1): 33-37.
- [4] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [5] 陈胜可. SPSS 统计分析从入门到精通(第二版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013: 349.
- [6] Shi-dong Lv, Yuan-shuang Wu, Yu-zhu Song, et al. Multivariate Analysis Based on GC-MS Fingerprint and Volatile Composition for the Quality Evaluation of Pu-Erh Green Tea[J]. Food Anal Methods, 8(2): 321-333.
- [7] 王秋霜, 吴华玲, 姜晓辉, 等. 基于多元统计分析方法的广东罗坑红茶香气品质研究[J]. 现代食品科技, 2016(2): 309-316.
- [8] Wu Y, Lv S, Lian M, et al. Study of characteristic aroma components of baked Wujiatai green tea by HS-SPME/GC-MS

- [12] Malassis L, Dreyfus R, Murphy R J, et al. One-step green synthesis of gold and silver nanoparticles with ascorbic acid and their versatile surface post-functionalization [J]. RSC Advances, 2016, 6(39): 33092-33100.
- [13] Lu Y-C, Chou K-S. A simple and effective route for the synthesis of nano-silver colloidal dispersions [J]. Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers, 2008, 39(6): 673-678.
- [14] Janardhanan R, Karuppaiah M, Hebalkar N, et al. Synthesis and surface chemistry of nano silver particles [J]. Polyhedron, 2009, 28(12): 2522-2530.
- [15] 樊新, 黄可龙, 刘素琴, 等. 化学还原法制备纳米银粒子及其表征[J]. 功能材料, 2007, 38(6): 996-999.
- [16] 陈社云, 于萍, 王岑岭, 等. 化学还原法制备纳米银粒子[J]. 江西化工, 2013(4): 100-104.
- [17] Park S, Seo D, Lee J. Preparation of Pb-free silver paste containing nanoparticles [J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2008, 313: 197-201.
- [18] Kvitěk L, Panůček A, Soukupová J, et al. Effect of Surfactants and Polymers on Stability and Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles (NPs) [J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2008, 112(15): 5825-5834.
- [19] 樊雪梅, 王书民, 崔俊伟. 鲁米诺-过氧化氢-纳米银化学发光体系测定药物中的对乙酰氨基酚[J]. 应用化学, 2014, 31(1): 109-113.
- [20] Li J, Li X, Yang R, et al. A sensitive electrochemical chlorophenols sensor based on nanocomposite of ZnSe quantum dots and cetyltrimethylammonium bromide [J]. Analytica Chimica Acta, 2013, 804: 76-83.
- [21] Filik H, Çetintaş G, Avan A A, et al. Electrochemical sensing of acetaminophen on electrochemically reduced graphene oxide-nafion composite film modified electrode [J]. Int J Electrochem Sci, 2013, 8: 5724-5737.

- combined with principal component analysis [J]. CyTA-Journal of Food, 2016, 14(3): 423-432.
- [9] 叶国注, 江用文, 尹军峰, 等. 板栗香型绿茶香气成分特征研究[J]. 茶叶科学, 2009, 29(5): 385-394.
- [10] 赵常锐, 宁井铭, 丁勇, 等. 祁红毛茶初制过程中香气成分变化的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(3): 471-477.
- [11] Larsen M, Poll L. Odour thresholds of some important aroma compounds in raspberries [J]. Zeitschrift für Lebensmittel - Untersuchung und Forschung, 1990, 191(2): 129-131.
- [12] Kanani D M, Nikhade B P, Balakrishnan P, et al. Recovery of valuable tea aroma components by pervaporation [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2003, 42(26): 6924-6932.
- [13] Ahmed E M, Dennison R A, Dougherty R H, et al. Flavor and odor thresholds in water of selected orange juice components [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1978, 26(1): 187-191.
- [14] Angioni A, Barra A, Coroneo V, et al. Chemical composition, seasonal variability, and antifungal activity of Lavandula stoechas L. ssp. stoechas essential oils from stem/leaves and flowers [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2006, 54(12): 4364-4370.
- [15] Maia J G S, Andrade E H A, Silva A C M D, et al. Leaf volatile oils from four Brazilian Xylopia, species [J]. Flavour & Fragrance Journal, 2005, 20(5): 474-477.