

甜菊干叶及其茶制品中挥发性成分的比较分析

夏延斌, 邓佐

(湖南农业大学食品科技学院, 湖南长沙 410128)

摘要: 为考察普通甜菊干叶与按绿茶加工方式加工的甜菊茶制品香气成分, 采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用法, 结合计算机检索对挥发性成分进行鉴定与分析。结果表明: 普通甜菊干叶检出 76 种挥发性物质, 而按绿茶加工方式得到的甜菊茶制品检出 73 种挥发性成分。其中共有的香气成分有 β -榄香烯、 α -香柠檬烯、(E)- β -金合欢烯、 α -葑草烯、反式-橙花叔醇等, 但各自的相对含量差别较大; 另外, 甜菊茶制品与甜菊干叶具有自己独特的香气成分, 甜菊干叶的特有香气成分主要有石竹烯、甘香烯等。甜菊茶制品的特有香气成分主要有柏木烯醇、二氢猕猴桃内酯、(-)-异丁香烯等挥发性成分。甜菊茶制品与甜菊干叶挥发性成分相比, 烯烴类化合物的种类及含量有所减少, 而醛类、脂类、醇类化合物类有所增加, 说明快速热加工对甜菊叶具有增香去异味的作用。

关键词: 甜菊干叶; 甜菊茶制品; 顶空固相微萃取法(HS-SPME); 气相色谱-质谱联用法(GC-MS); 香气成分

文章编号: 1673-9078(2013)11-2752-2756

Comparative Analysis of Volatile Components in Stevia Dry Leaves and its Tea Products

XIA Yan-bin, DENG Zuo

(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: The composition of aroma compounds in dried Stevia leaf and tea products were analyzed by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) combining with computer search. The results showed that 76 and 73 volatile compounds existed in stevia leaves and tea products respectively. β -Elemene, α -bergapten, (E)- β -farnesene, α -Humulene and Trans nerolidol were identified in both two kinds of dry leaves, but their relative contents were considerable different in the two kinds of samples. In addition, caryophyllene and elixene were the characteristic compounds in stevia dry leaves. Cedrenol, dihydroactinidiolide and (-)-isocaryophyllene were found in stevia tea products. Compared with volatile components of dry leaves in stevia, the types and contents of olefins compounds decreased, while aldehyde compounds, lipids, alcohol compounds increased in its tea product, indicating that rapid heating could enhance the aroma component contents.

Key words: stevia dry leaf; stevia tea products; headspace solid-phase micro-extraction; gas chromatography-mass spectrometry; aroma compounds

甜菊(*Stevia rebaudiana Bertoni*)原产地于南美巴拉圭东北部与巴西国境相接的阿曼拜山脉中, 现在已被世界各地引进^[1]。甜菊叶含有 14 种微量元素、32 种营养成分, 因此, 它既是极好的甜味食品, 又是良好的营养来源。甜菊叶有调节血压、软化血管、降低血脂、降血糖、尿糖、抑菌止血、镇痛、减肥养颜、养阴生津、帮助消化, 促进胰腺、脾胃功能和清热解毒的功效^[2]。但目前甜菊叶的主要是用来提取甜菊糖苷^[3-7], 不光相关功能成分没有利用, 而且提取过程还产生大量的环境污染。但把甜菊叶直接作为食品利用, 很多消费者不喜欢原叶的气味, 为充分利用甜菊叶中的其他功能性成分, 一些人把甜菊叶按绿茶加工方式加工

为茶制品, 为考察该种加工方式的合理性, 本研究以甜菊干叶和甜菊叶茶制品为原料比较加工前后气味的变化。随着科学研究的深入和生产的发展, 甜菊开发与研究已引起世界各国的重视^[1]。各种关于甜菊的应用和功效的报道不断出现, 但其挥发性成分分析的报道在国内鲜有见到, 而甜菊叶经过绿茶加工方式制成甜菊茶制品后其香气成分还未见报道。

顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用法(SPME-GC-MS)具有所需样品少、灵敏度高、选择性与重现性好、操作简单、方便快捷且能够较真实的反映样品特别是活体样品的挥发性风味组成, 目前已经广泛运用到食品香气成分的研究中, 在食品香气检测中发挥巨大的作用^[8]。本研究利用固相微萃取(SPME)特有的高效吸收和富集功能, 对甜菊干叶和

收稿日期: 2013-07-08

作者简介: 夏延斌(1952-), 男, 教授, 博士生导师

茶制品的挥发性成分进行提取, 气-质联用仪定性, 面积归一化法定量分析^[9], 为开发与利用这类特色茶提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

1.1.1 实验样品

甜叶菊由湖南怀化大正绿色产业科技有限公司提供

1.1.2 甜菊干叶与甜菊茶制品的加工流程

甜菊干叶: 鲜甜菊叶-日晒(或烤制)-摊凉-成品

甜菊茶制品: 鲜甜菊叶-选叶-杀青-揉捻-毛火-整形-摊凉-高温短时间提香-成品茶包装、冷藏

1.1.3 仪器与设备^[10]

气相色谱-质谱联用仪, GCMS-QP2010, 日本岛津公司; 手动SPME进样器, 100 μm聚甲基硅氧烷(PDMS)萃取纤维头, SPME操作平台, 上海安谱科学仪器有限公司; 磁力搅拌器GL-3250, 海门市其林贝尔仪器制造有限公司; 中草药粉碎机, Fw177, 天津市泰斯特仪器有限公司; 电子天平, TP-213, 北京赛多利斯仪器系统有限公司; 60目标准检验筛, 浙江萧山水发电器有限公司。

1.2 实验方法

先将100 μm PDMS萃取纤维头插入气-质联用仪的进样口中, 于250 °C老化30 min。将待分析的甜菊干叶及甜菊茶制品用粉碎机磨碎后过60目筛, 分别取1 g样品于2个15 mL样品瓶中, 老化后的萃取纤维头插入样品瓶, 于60 °C顶空吸附20 min后, 取出萃取纤维头, 迅速插入气-质联用仪进样口脱附5 min。

1.3 GC-MS 分析条件

色谱条件: 30.00 m、0.25 mmxO. 25 μm DB-5MS弹性石英毛细管柱; 载气为高纯氮气(99.999%); 氮气流速1.0 mL/min; 进样口温度250 °C; 不分流进样。程序升温: 柱温45 °C保持1 min, 以5 °C/min升温至290 °C, 保持2 min。

质谱条件: 离子源为EI; 离子源温度200 °C; 电子能量70 eV; 发射电流150 μA; 倍增器电压1037 V; 接口温度220 °C; 质量扫描范围45~500 amu。

2 结果与分析

2.1 甜菊干叶及甜菊茶制品挥发性成分

GC-MS 分析鉴定

由气相色谱-质谱并结合计算机联用技术检测得到甜菊干叶、甜菊茶制品挥发性成分的总离子图如图1、2所示。将挥发性成分按照结构分析统计见表1。根据各种化合物的官能团的不同进行分类, 并计算出相对含量见表2。

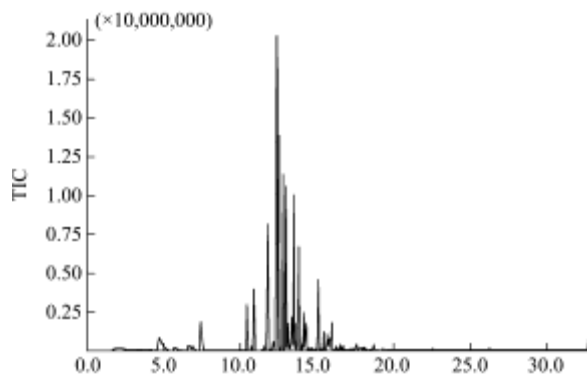


图1 甜菊干叶挥发性成分总离子图

Fig.1 GC/MS total ion chromatogram of volatile compounds in stevia dry leaf

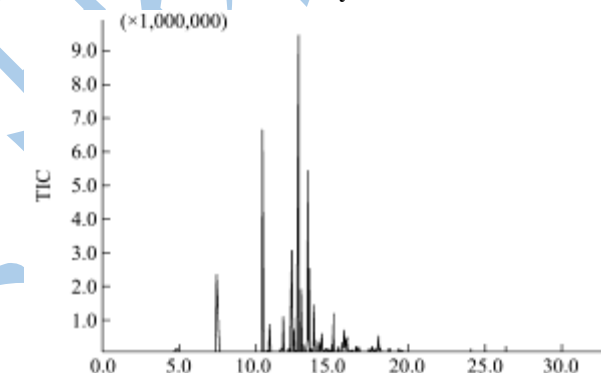


图2 甜菊茶制品挥发性成分总离子图

Fig.2 GC/MS total ion chromatogram of volatile compounds in Stevia tea products

表1 甜菊干叶与甜菊茶制品挥发性化合物的种类及相对百分比

Table 1 Relative percentage of volatile components of stevia dried leaf and stevia tea products

序列	样品名称	甜菊干叶		甜菊茶制品	
		保留时 间/min	含量/ %	保留时 间/min	含量 /%
1	2-甲基丁醛	1.900	0.87	-	-
2	戊醛	-	-	2.125	1.30
3	1-辛烯	2.467	0.21	-	-
4	2-己烯醛	3.100	0.10	-	-
5	壬烯	3.367	0.20	-	-
6	α-蒎烯	4.033	0.17	-	-

转下页

接上页						44	1-氯-8-十七碳烯	-	-	13.033	0.12
7	β -蒎烯	4.692	1.02	-	-	45	香树烯	13.117	1.22	-	-
8	罗勒烯	5.692	0.41	-	-	46	樟脑	13.150	1.67	13.100	1.95
9	3,5-辛二烯-2-酮	-	-	6.150	0.08	47	α -法呢烯	-	-	13.233	0.15
10	壬醛	-	-	6.725	0.07	48	雪松烯	13.517	6.99	13.467	6.29
11	月桂烯	-	-	6.908	0.24	49	α -瑟林烯	-	-	13.592	0.39
12	芳樟醇	6.642	0.65	-	-		1-甲基-2,4-双(1-				
13	3,6-二甲基-1,5-庚二烯	6.875	0.47	-	-	50	甲基亚乙基)-1-乙	13.833	4.61	-	-
14	α -松油醇	8.308	0.01	-	-	51	烯基环己烷				
15	1-碘十二烷	-	-	8.325	0.03	52	(-)- β -红没药烯	13.883	1.23	13.858	0.89
16	癸醛	8.458	0.05	8.492	0.17	53	(+)-香橙烯	14.017	0.26	-	-
17	柠檬醛	8.892	0.01	8.900	0.05	54	β -倍半水芹烯	14.233	0.41	-	-
18	2,8-二甲基-5-壬酮	-	-	10.242	0.02	55	(+)- δ -杜松烯	14.300	0.96	14.275	1.74
19	1-甲基-2,4-双(1-甲基亚乙基)-1-乙	-	-	10.717	2.94	56	十二烷	-	-	14.483	0.24
20	γ -榄香烯	10.717	0.25	13.783	4.54	57	二氢猕猴桃内酯	-	-	14.617	0.55
21	甘香烯	10.892	3.11	-	-	58	环己烷	-	-	14.758	0.34
22	对-薄荷-1(7)-烯-2-酮	11.008	0.03	-	-	59	α -衣兰油烯	14.642	0.15	-	-
23	(-)- α -葑澄茄油烯	-	-	11.092	0.08	60	2-甲基-十五烷	-	-	14.892	0.33
24	衣兰烯	11.117	0.03	-	-	61	榄香醇	14.900	0.04	-	-
25	乙酸丁香酚酯	11.183	0.06	-	-	62	法尼基氯化物	14.975	0.07	-	-
26	α,α -二甲基苯丙醇	-	-	11.183	0.18	63	反式-橙花叔醇	15.108	3.14	15.067	3.73
27	2,6,10-三甲基十二烷	-	-	11.333	0.08	64	4-(2,2-二甲基-6-亚甲基环己烷)丁醛	-	-	15.250	0.18
28	(+)-环异酒别烯	11.450	0.07	-	-	65	反-2,顺-6-壬二烯醇	15.267	0.06	-	-
29	α -古巴烯	-	-	11.458	0.08	66	环丙基甲醇	15.400	0.64	-	-
30	α -蒎烯	11.558	0.24	11.558	0.34	67	角鲨烯	15.442	0.81	-	-
31	十四烷	-	-	11.717	0.54	68	(+)-绿花白千层醇	18.708	0.32	15.492	0.70
32	β -榄香烯	11.808	8.59	11.783	2.97	69	大根香叶烯 D-4-醇	15.683	0.88	15.658	1.24
33	肉豆蔻酸	-	-	11.925	0.10	70	匙叶桉油烯醇	15.783	0.60	15.758	2.14
34	α -波旁烯	11.942	0.06	-	-	71	十六烷	-	-	15.867	1.33
35	(-)- α -古芸烯	12.158	0.59	12.142	0.35	72	氧化石竹烯	15.900	2.14	15.950	1.63
36	α -柏木烯	-	-	12.242	0.11	73	喇叭茶醇	16.192	0.06	16.183	1.02
37	(-)-异丁香烯	-	-	12.342	8.56	74	β -石竹烯	-	-	16.242	0.26
38	石竹烯	12.408	24.77	-	-	75	α -芹子烯	16.267	0.21	-	-
39	α -香柠檬烯	12.525	8.78	12.483	2.01	76	α -律草烯	16.383	0.17	-	-
40	异喇叭茶烯	-	-	12.558	0.23	77	柏木烯醇	-	-	16.517	0.72
41	γ -木罗烯	12.600	0.06	-	-	78	异香橙烯环氧化物	16.533	0.27	-	-
42	(E)- β -金合欢烯	12.792	5.85	12.775	21.64	79	氯代十四烷	-	-	16.950	0.10
43	α -葑草烯	13.000	6.44	12.950	5.62	80	高蓝桉醇	17.233	0.08	-	-
						81	2,6,10-三甲基十五烷	-	-	17.367	0.44
						82	反-Z-a-甜没药烯环氧	17.400	0.32	22.575	0.15
						83	T-杜松醇	17.600	0.45	17.583	0.87
							5-十四烷基酯-1-				
							金刚烷甲酸	17.750	0.07	-	-

转下页

接上页

84	3-四癸炔-1-醇	-	-	17.858	0.40
85	α -毕橙茄醇	18.100	0.18	18.083	0.51
86	(-)-反式-一松香芹醇	18.225	0.07	-	-
87	十二烯基丁二酸酐	18.483	0.03	18.475	0.14
88	马鞭烯醇	19.017	0.02	-	-
89	1-十八烷基磺酰氯	-	-	19.317	0.33
90	苈烯-6-醇,新戊酸	19.342	0.12	-	-
91	姥鲛烷	-	-	19.542	0.29
92	2,6,10-三甲基十二烷(19)	19.558	0.05	-	-
93	十四醛三聚物	20.058	0.04	-	-
94	α -檀香醇	22.075	0.03	-	-
95	十八烷	23.425	0.03	23.425	0.08
96	植烷	23.633	0.02	23.625	0.09
97	3-二十烷炔	24.225	0.01	-	-
98	植物醇	-	-	24.225	0.09
99	金合欢基乙醛	-	-	24.283	0.03
100	植酮	-	-	24.342	0.07
101	吉法酯	24.292	0.02	-	-
102	13-甲基-氧杂环十四碳烷-2,11-二酮	24.558	0.02	-	-
103	邻苯二甲酸二异丁酯	24.758	0.02	24.758	0.09
104	1-二十醇	24.867	0.01	-	-
105	4-十八烷基	24.908	0.02	-	-
106	1,2-苯二羧酸双十二烷基酯	-	-	25.375	0.04
107	溴代十八烷	25.383	0.01	-	-
108	棕榈酸甲酯	25.433	0.03	25.433	0.04
109	异植物醇	-	-	25.658	0.01
110	4-亚甲基-1-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯-1-基)-1-乙炔基-环庚烷	25.750	0.02	-	-
111	四氢薰衣草醇	-	-	25.833	0.01
112	邻苯二甲酸正丁异辛酯	-	-	25.883	0.03
113	邻苯二甲酸丁基十一烷基酯	25.892	0.01	-	-
114	黄葵内酯	-	-	26.267	0.26
115	香紫苏醇	26.275	0.07	27.958	0.11
116	1-十七醇	26.858	0.01	-	-
117	花生醇	-	-	26.858	0.04
118	2-溴十二烷	-	-	26.950	0.02
119	3-十二烷醇	-	-	27.458	0.06
120	2,4-二氯苯氧乙酸	26.950	0.01	-	-
121	叶绿醇	27.083	0.01	-	-

表2 甜菊茶制品中挥发性化合物的种类及含量

Table 2 Comparison of volatile compounds of Stevia tea products in types and contents

化合物类型	甜菊干叶		甜菊茶制品	
	数量/种	相对含量/%	数量/种	相对含量/%
醛类化合物	5	1.07	6	1.80
酸类化合物	4	0.23	2	0.86
酮类化合物	2	0.05	3	0.17
烷烃类化合物	7	4.76	11	5.52
杂环类化合物	1	0.01	3	0.15
烯烃类化合物	32	78.13	22	60.24
醇类化合物	19	6.7	17	12.25
酯类化合物	5	0.14	6	1.01
其他	1	0.07	3	0.59

由表1和表2可知,甜菊干叶中都含有丰富的挥发性风味化合物,经SPME-GC-MS检测,由NIST质谱数据库检索和文献^[1]对照,菊干叶和甜菊茶制品中分别检出76、73种成分,包括烯烃类、醇类、醛类、酮类、酸类、酯类,烷烃类化合物等。其风味成分多是由烯烃类化合物和醇类化合物组成的,分别高达72.49%和84.83%。

2.2 甜菊干叶及甜菊茶制品挥发性成分比较分析

甜菊干叶与甜菊茶制品存在一些共有的挥发性成分,共有30种。其中有肉桂香气的 β -榄香烯;柠檬香气的 α -香柠檬烯;青香、花香并伴有香脂香气的(E)- β -金合欢烯;辛辣味的 α -葎草烯;玫瑰香气的反式-橙花叔醇等物质相对含量均超过1%,为各茶共有的主要呈香物质。

甜菊干叶的主要挥发性成分中,石竹烯作为主要的香气物质,占总含量的24.77%。石竹烯天然存在于柠檬、园柚、肉豆蔻、胡椒、覆盆子、黑加仑、肉桂叶油、丁香叶油中,具有辛香、木香、柑橘香、樟脑香,温和的丁香香气,常用于调配丁香、胡椒、肉豆蔻、柑橘、药草等食用香精;其次是 α -香柠檬烯,具有柠檬香气,主要用于调配水果型香精; β -榄香烯具有肉桂香气。经过加工的甜菊茶制品,(E)- β -金合欢烯作为主要的香气物质,占总含量的21.64%。(E)- β -金合欢烯具有青香、花香并伴有香脂香气,常用于香精的调配;其次是(-)-异丁香烯,具有焦糖香气,也常用于香精的调配。这些烯烃类化合物赋予了加工前后甜菊干叶特殊的香气,是主要的呈香物质。

烯烃类除化合物外,通过GC-MS检出挥发性物

质中含有较多醇类物质。醇类物质通常认为是由氨基酸降解产生的,一般具有微弱的花香和芳香味。其阈值较高,一般对于食品的风味贡献较小^[11]。两组中均含有喇叭茶醇、香紫苏醇、 α -毕橙茄醇、匙叶桉油烯醇等,以及在醇类化合物中均含量最高的具有甜清柔美的橙花气息,带有像玫瑰、铃兰和苹果花香气的反式-橙花叔醇。在经过绿茶加工方式制成的甜菊茶制品中独有的甘甜木香和膏香香气的柏木烯醇以及花香和香脂香气的植物醇。

脂类物质通常赋予一种香甜的果香,是重要的呈香物质^[12]。甜菊茶制品和甜菊干叶挥发性成分相比,前者种类和含量更丰富一点。比如具有奶香、茶香的二氢猕猴桃内酯、具有微清香的邻苯二甲酸二异丁酯、果香的黄葵内酯等等。

醛类物质虽含量不高,但阈值较低^[13]。两组物质中均含有具有花香-橙香香气的癸醛和具有柠檬香气的柠檬醛;在甜菊茶制品中还独具有具有苹果、桃子气味的戊醛;油脂气味和甜橙气息的壬醛;青香、花香并伴有香脂香的金合欢基乙醛,对甜菊干叶呈香具有一定作用。

两组中酮类和酸类化合物含量较少,甜菊茶制品中具有青叶香、果香的植酮。烷烃类化合物由于一般无香气或香气微弱,对茶叶的香气贡献很小,可忽略不计^[14]。

3 结论

本实验采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用法检测对甜菊干叶和甜菊茶制品的挥发性成分进行鉴定与分析。通过比较可以发现未经加工的甜菊干叶检出76、加工后检出73种成分,经比较分析,加工后的甜菊干叶茶减少原有的50种挥发性物质,另新生成43种挥发性物质。甜菊茶制品与甜菊干叶挥发性成分相比,甜菊干叶中的挥发性成分石竹烯、甘香烯、香树烯等在甜菊茶制品中并未检出,而 α -香柠檬烯、氧化石竹烯、雪松烯等含量有所减少。在甜菊茶制品中新生成戊醛、柏木烯醇、二氢猕猴桃内酯、(-)-异丁香烯等挥发性成分,而甜菊干叶中所含有的匙叶桉油烯醇、(E)- β -金合欢烯、邻苯二甲酸二异丁酯等物质与含量有所增加。而制成的甜菊茶制品口感清新、回味绵长,且高甜度、低热量,是糖尿病、肥胖症、高血压、胃酸过多和长期饮酒者的首选饮品。

参考文献

[1] 詹家芬,陆舍铭,向能军,等.GC-MS 分析甜菊叶的挥发性成分[J].热带亚热带植物学,2008,16(4):377-381

- ZHAN Jia-fen, LU She-min, XIANG Neng-jun, et al. GC-MS Analysis of Volatile Components in Leaves of *Stevia rebaudiana* [J]. *Journd of Tropical and Subtropical Botany*, 2008, 16(4): 377-381
- [2] Carakostas M C, Curry L L, Boileau A C, et al. Overview: the history, technical function and safety of rebaudioside A a naturally occurring steviol glycoside. for use in food and beverages [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2008, 46(7): 11-S10
- [3] Ursula Woelwer-Rieck, Christa Lankes, Andreas Wawrzun, et al. Improved HPLC method for the evaluation of the major steviol glycosides in leaves of *Stevia rebaudiana* [J]. *Eur Food Res Technol*, 2010, 231: 581-588
- [4] Geuns J M c. Stevioside [J]. *Phytochemistry*, 2003, 64(5): 913-921
- [5] Dominik Bergs, Bernhard Burghoff, Matthias Joehnck, et al. Fast and isocratic HPLC-method for stevia glycosides analysis from *Stevia rebaudiana* leaves [J]. *J. Verbr. Lebensm.*, 2012, 7: 147-154
- [6] LIU Jie, LI Jinwei, TANG Jian. Ultrasonically assisted extraction of total carbohydrates from *Stevia rebaudiana* Bertoni and identification of extracts [J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2010, 88(2-3): 215-221
- [7] A ERKUCUK, I H AKGUN, O YESIL-CELIKITAS. Supercritical CO₂ extraction Of glycosides from *Stevia rebaudiana* leaves: Identification and optimization [J]. *Supercritical Fluids*, 2009, 51: 29-35
- [8] BAPTISTA J A B, da P TAVARES J F, CARVALHO R C B. Comparison of catechins and aromas among different green teas using HPLC/SPME-GC [J]. *Food Research International*, 1998, 31(10): 729-736
- [9] 罗发美,詹家芬,罗正刚,等.SPME-GC-MS 分析普洱茶的挥发性成分[J].林产化学与工业,2010,30(5):52-55
- LUO Fa-mei, ZHAN Jia-fen, LUO Zheng Gan, et al. Analysis of Volatile Components in Pu-er Tea by SPME-GC-MS [J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2010, 30 (5): 52-55
- [10] 熊学斌,夏延斌,邓后勤,等.不同干制工艺对野山椒挥发性成分的影响[J].湖南农业大学学报,2012,38(1): 106-111
- XIONG Xue-bin, XIA Yan-bin, DENG Hou-qin, et al. Influence of different drying technologies on the volatile components of chilli (*Capsicum annum* L) powder [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2012, 38(1): 106-111
- [11] 冯倩倩,胡飞,李平凡.SPME-GC-MS 分析罗非鱼体中挥发

- 性风味成分[J].食品工业科技,2012,33(6):69-72
- FENG QIAN-qian, HU Fei, LI PING-fan. Analysis of volatile compounds of Tilapia by solid phase microextraction and GC-MS [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(6): 69-72
- [12] 蔡长河,陈玉旭,曾庆孝,等.冷冻处理对荔枝香气成分的影响[J].食品科学,2007,28(12):404-408
- CAI Chang-he, CHEN Yu-xu, ZENG Qing-xiao, et al. Study on Effects of Freezing Treatment on Aroma Components in Litchi Fruit [J]. FOOD SCIENCE, 2007, 28(12): 404-408
- [13] 张莉,王华.桑葚汽油挥发性成分的气相色谱-质谱分析[J].蚕业科学,2010,36(1):152-156
- ZHANG Li, WANG Hua,. Analysis of Volatile Components in Mulberry by Gas Chromatograph-Mass Spectrometer [J]. SCIENCE OF SERICULTURE, 2010, 36(1): 152-156
- [14] 张春花,单治陶,袁文侠,等.不同有益菌固态发酵对普洱茶香气成分的影响研究[J].茶叶科学,2010,30(4):251-258
- ZHANG Chun-hua, SHAN Zhi-guo, YUAN Wen-xia, et al. Effects on Aroma Composition of Pu-erh Tea under Solide State Fermentation with Different Beneficial Microorganisms [J]. Journal of Tea Science, 2010, 30(4): 251-258