

山楂茶特征成分分析

弓 威, 顾丰颖, 贺 凡, 王 锋*

(中国农业科学院农产品加工研究所, 农业部农产品加工综合重点实验室, 北京 100193)

摘 要: 采用一定加工工艺制作山楂茶, 测定其营养成分含量, 并采用顶空固相微萃取与气相色谱-质谱联用技术检测香气成分, 探讨其加工适宜性。结果表明: 经传统绿茶加工工艺后, 山楂茶保持较高黄酮含量 (24.3 mg/g) 及多酚含量 (15.4 mg/g), 与山楂鲜叶相比下降不明显, 能够有效保留活性成分; 山楂茶氨基酸总量为121.16 mg/g, 经加工后比原叶提高33.08%, 营养价值提高; 香气成分分析表明山楂茶中共检测出43种香气物质, 其中含量较高的成分为紫罗酮、丁香酚、苯乙醛、香叶基丙酮、芳樟醇、叶绿醇、壬醛等, 这些成分均为绿茶特征香气成分, 形成山楂茶独特的风味。该实验结果为山楂茶的加工适宜性提供一定的数据支撑。

关键词: 山楂茶; 顶空固相微萃取; 功能成分; 氨基酸; 香气成分

Analysis of Characteristic Components from Hawthorn Tea

GONG Wei, GU Fengying, HE Fan, WANG Feng*

(Comprehensive Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: This study aimed to discuss the processing suitability of hawthorn tea. The contents of nutritional and functional components of hawthorn tea were determined and its aroma components were detected by headspace-solid phase microextraction combined with gas chromatography-tandem mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). The results showed that hawthorn tea had high contents of flavonoid (24.3 mg/g) and polyphenol (15.4 mg/g). Compared with fresh hawthorn leaves, the changes in flavonoid and polyphenol contents of hawthorn tea, produced using the same procedure as for green tea, were not significant. Amino acid analysis showed that total amino acid content of hawthorn tea was 121.16 mg/g, which was 33.08% higher than that of hawthorn leaves. Analysis of aroma components showed that hawthorn tea contained 43 volatile components and ionone, eugenol, hyacinthin, geranyl acetone, linalool, phytol, nonanal and so on, the characteristic aroma substances of green tea, also primarily contributed to the unique flavor of hawthorn tea. These results can provide data support for the processing suitability of hawthorn tea.

Key words: hawthorn tea; headspace-solid phase microextraction; functional components; amino acid; aroma components

中图分类号: TS272

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 20-0115-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201520021

山楂 (*Crataegus pinnatifida* Bge.) 在我国有悠久的栽培历史, 山楂果及叶是传统的中药材, 有活血化瘀、理气通脉的功效。近代研究^[1-2]表明, 山楂叶中含有丰富的营养成分成分如黄酮类、三萜类、维生素、氨基酸等, 其中有些成分含量甚至高于山楂果。医学研究^[3]发现, 山楂叶具有预防心血管疾病、降糖降脂、延缓衰老、抗菌等功效。每年我国山楂叶产量巨大, 资源丰富, 然而我国山楂叶加工产品种类较少, 目前市场上只有山楂叶与其他中草药复配的袋泡茶, 口味比较单一, 不能满足大众需求, 山楂叶的开发远赶不

上山楂果的开发利用, 这在一定程度上造成资源的浪费, 因此新型山楂叶茶的开发是挖掘山楂叶价值、解决资源浪费的有效途径, 并且能够满足人们对保健茶叶日益增长的需求^[4-5]。

本实验以10月份落果后的山楂叶为原料, 按照传统绿茶加工技术制作山楂茶, 通过分析主要营养成分及香气成分的变化, 探明山楂叶加工绿茶的适宜性, 旨在开发满足人们需求的茶产品, 提高山楂叶利用价值, 为今后山楂叶茶的进一步开发利用提供理论依据和技术参考。

收稿日期: 2015-04-01

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项; 大宗水果加工副产物与残次果综合利用技术与示范项目 (201303076)

作者简介: 弓威 (1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为农产品副产物综合利用。E-mail: gzy2007n@126.com

*通信作者: 王锋 (1974—), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为农产品副产物综合利用。E-mail: fengwang88@sohu.com

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

山楂鲜叶于2014年10月采自中国科学院植物研究所,经绿茶加工工艺:叶片选择→清洗→萎凋→杀青→冷却→揉捻→干燥,加工后制成山楂茶。

芦丁标准品、没食子酸标准品 阿拉丁试剂(上海)有限公司;无水乙醇、甲醇、福林酚、碳酸钠、亚硝酸钠、氯化铝、氢氧化钠、盐酸 国药集团化学试剂有限公司;以上化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

6CST-50型滚筒连续杀青机、CR-65型揉捻机 浙江绿峰茶机有限公司;Spectra Max 190酶标仪 美国Molecular Devices公司;QP2010气相色谱-质谱联用仪 日本Shimadzu公司;手动固相微萃取进样手柄、75 μm 聚二甲基硅氧烷/二乙基苯(polydimethylsiloxane/divinylbenzene, PDMS/DVB)固相微萃取头 美国Supelco公司;L-8900全自动氨基酸分析仪 日本日立公司;KQ-600DV数控超声清洗器 昆山市超声仪器有限公司;RE-2000E旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 山楂茶加工工艺

鲜叶采摘后清洗,自然萎凋3 h,摊放厚度约为2~3 cm,每1 h翻动1次;杀青采用滚筒杀青的方式,杀青温度为220 $^{\circ}\text{C}$,每次投叶量约为1~2 kg,调整杀青机倾斜角度,使叶子在滚筒中的杀青时间约为3~4 min,杀青后叶子颜色呈现微红色;揉捻主要以轻压为主,根据叶子形态不断调整压力,揉捻时间为30 min,使叶子形成紧实的条索状;采用烘干方式干燥茶样,每隔一定时间测定水分含量,使水分含量降至质量分数7%~12%。

1.3.2 总黄酮含量测定

根据Herald等^[6]方法改进,采用倍比稀释法配制质量浓度为0.25、0.125、0.062 5、0.031 25 mg/mL的芦丁标准液。分别取50 μL 芦丁标准溶液及茶样溶液于96孔酶标板中,加入0.5 mol/L NaNO_2 溶液20 μL ,静置5 min;加入0.3 mol/L AlCl_3 溶液20 μL ,静置6 min;最后加入0.5 mol/L NaOH 溶液200 μL ,在酶标仪中振荡30 s,以试剂空白作对照,于波长510 nm处测定吸光度,根据标准曲线计算山楂茶总黄酮含量。以芦丁质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,得到芦丁质量浓度 ρ_1 (mg/mL)与吸光度 A 之间的回归方程为 $A=1.539\ 9\rho_1+0.006\ 2$ ($R^2=0.999\ 8$)。

1.3.3 多酚含量测定

根据Singleton等^[7]方法改进,采用倍比稀释法配制质量浓度为200、100、50、25、12.5 $\mu\text{g/mL}$ 的没食子

酸标准溶液,分别取25 μL 没食子酸标准液及茶样溶液于96孔板中,加入125 μL 体积分数10%福林酚试剂,混匀后静置8 min,加入125 μL 质量分数7.5% Na_2CO_3 溶液,密封静置30 min,于波长765 nm处测定吸光度,根据标准曲线计算山楂茶多酚含量。没食子酸质量浓度 ρ_2 ($\mu\text{g/mL}$)与吸光度 A 之间的回归方程为 $A=6.376\ 4\rho_2-0.007\ 9$ ($R^2=0.999\ 9$)。

1.3.4 游离氨基酸含量测定

山楂茶干燥至恒质量,称取适量茶样于5 mL沸水中浸泡,浸泡一段时间后,将茶溶液置于水解管中,加入10 mL 6 mol/L盐酸溶液,经氮吹除氧封口,于110 $^{\circ}\text{C}$ 恒温箱内水解24 h,冷却至室温,过滤,滤液定容至50 mL。吸取1 mL定容液,氮气吹干,取1 mL 0.02 mol/L盐酸溶液复溶,样液用氨基酸自动分析仪测定氨基酸种类及含量。计算公式如下:

$$\text{含量}/(\text{mg/g}) = \frac{C \times M \times N}{m \times 1\ 000}$$

式中: C 为氨基酸物质的量/nmol; M 为氨基酸相对分子质量; N 为稀释倍数; m 为样品干质量/g。

1.3.5 香气成分测定

称取粉碎的茶样2.0 g于顶空瓶中,加入5 mL沸水浸泡,立即密封顶空瓶。样品60 $^{\circ}\text{C}$ 条件下平衡30 min,插入75 μm PDMS/DVB固相微萃取头吸附30 min,最后将萃取头置于250 $^{\circ}\text{C}$ 进样口解吸5 min。

色谱条件:DB-5石英毛细管柱(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm);进样口温度250 $^{\circ}\text{C}$,载气为高纯氮气,流速1 mL/min;升温程序:初始温度40 $^{\circ}\text{C}$,保持3 min,以3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至160 $^{\circ}\text{C}$,保持1 min,再以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至240 $^{\circ}\text{C}$,保持1 min,不分流进样。

质谱条件:电子电离源;电子能力70 eV;离子源温度230 $^{\circ}\text{C}$;四极杆温度150 $^{\circ}\text{C}$;转接口温度280 $^{\circ}\text{C}$;质量扫描范围35~500 u。

由气相色谱-质谱分析得到的质谱数据经计算机在NIST.11标准谱库进行检索,根据质谱匹配度进行核对,然后再从特征离子、相对丰度等方面进行综合比较,确定其化学成分,同时采用峰面积归一化法进行定量,得到各组分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 山楂茶功能成分分析

山楂叶含有丰富的黄酮类化合物,且含量较高,该成分是山楂叶主要功能物质,具有预防心血管疾病、降糖降脂、抑菌等功效,目前从山楂叶中已发现60余种黄酮类成分,主要苷元包括芹菜素类、木犀草素、山奈酚、槲皮素、双氢黄酮苷类等^[1];山楂叶中同时含有多酚

类化合物,如绿原酸、咖啡酸等,但含量相对较少^[5]。山楂茶黄酮及多酚含量如图1所示,山楂叶中总黄酮含量为27.68 mg/g,经过加工后,山楂茶黄酮含量为24.3 mg/g,降低12.2%;山楂叶多酚含量为17.97 mg/g,山楂茶多酚含量为15.4 mg/g,降低14.3%。经过绿茶工艺加工后,多酚、黄酮含量均有不同程度的下降,推测分析,与萎凋过程中山楂叶中多酚氧化酶的作用有关;而下一道杀青工序温度高,使氧化酶迅速钝化失活,从而阻止多酚类化合物的进一步氧化分解^[8-10]。山楂茶与市售龙井茶相比,黄酮含量明显高于龙井茶(18.42 mg/g),而多酚含量远低于龙井茶(265.52 mg/g),可能由于山楂叶与茶叶树种属之间的不同,两类物质含量存在差异,并非加工工艺所致。由此可得,山楂茶中含有一定的活性物质,具备一定的保健功能活性。

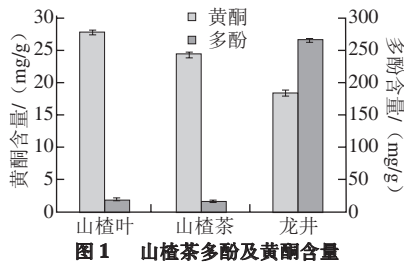


图1 山楂茶多酚及黄酮含量
Fig.1 The contents of flavonoids and polyphenols in hawthorn tea and green tea

2.2 山楂茶游离氨基酸分析

表1 山楂茶游离氨基酸组成

Table 1 Contents of free amino acids in hawthorn tea and leaves

氨基酸	样品		氨基酸	样品	
	山楂茶	山楂叶		山楂茶	山楂叶
天冬氨酸	12.663	9.695	异亮氨酸	5.536	3.941
苏氨酸	6.436	4.629	亮氨酸	11.536	8.036
丝氨酸	6.310	4.647	酪氨酸	2.936	2.507
谷氨酸	18.184	16.071	苯丙氨酸	7.166	5.028
甘氨酸	7.044	5.375	赖氨酸	9.319	6.768
丙氨酸	7.796	5.594	组氨酸	2.834	2.052
胱氨酸	0.279	0.342	精氨酸	7.666	4.844
缬氨酸	7.300	5.193	脯氨酸	7.624	5.531
蛋氨酸	0.526	0.783	总量	121.16	91.039

游离氨基酸是构成茶叶品质,影响茶汤滋味的重要因素,与茶汤鲜爽度密切相关,是评价茶叶品质的重要指标。山楂茶氨基酸含量见表1。山楂叶及山楂茶中均含有17种氨基酸,山楂叶氨基酸总量为91.039 mg/g,山楂茶氨基酸总量为121.16 mg/g,经过绿茶加工工艺后,每种氨基酸含量均有所增加,氨基酸总量比原叶增加33.08%。在绿茶萎凋过程中蛋白质及肽类在蛋白酶类作用下水解为游离氨基酸;杀青前期,温度未能使蛋白酶类变性,游离氨基酸含量继续增加;揉捻挤压使细胞壁

通透性增大,游离氨基酸自由穿过细胞壁,使茶汤中氨基酸含量增加;而在干燥过程中,虽然氨基酸会转化为香气成分,氨基酸含量有所下降,但总体而言游离氨基酸总量增加^[11-13]。由此可得,山楂叶加工绿茶后,氨基酸含量显著增加,提高了山楂叶的营养价值。

2.3 山楂茶香气成分分析

茶叶香气成分是茶叶中具有挥发性物质的总称,是影响茶叶质最重要的因素之一,感官评审中,香气对茶叶感官评价的总体贡献率达25%~35%。近代研究^[14]表明,茶叶芳香物质已经鉴定出300多种,主要分为醛类、醇类、酮类、酯类、吡啶类等15类。茶鲜叶含有的香气成分较少,茶叶香气主要形成于后期加工过程,到目前为止,专家学者提出4种茶叶香气形成机理,包括类胡萝卜素降解机理、脂肪酸氧化降解机理、氨基酸转化机理及糖苷化合物水解机理。不同种类的茶鲜叶在这几种机理的作用下发生一系列复杂的生物化学反应,转化为多种多样的香气成分,从而构成茶叶独特的风味。醇类、酮类、醛类及酯类化合物具有特殊香气如清香、花果香,是构成绿茶香气的主体成分。山楂叶及山楂茶香气成分分析如表2所示。山楂鲜叶共检测出香气物质35种,其中烃类占65.91%、醇类占14.35%、酮类占9.06%、醛类占2.27%、酯类占0.6%;山楂茶香气成分共43种,各种成分相对含量分布比较均匀,其中包括烃类(26.4%)、酮类(16.96%)、酯类(15.93%)、醇类(13.61%)、醛类(8.4%)及酚类(8.13%)。

表2 山楂茶主要香气成分相对含量

Table 2 Main aroma components of hawthorn tea and leaves

保留时间/min	相似度/%	化合物名称	相对含量/%	
			山楂叶	山楂茶
8.830	91	十二烷	21.08	2.31
12.530	97	苯乙醛	—	4.00
13.300	89	2-丁基辛醇	0.61	—
13.748	94	植烷	2.40	1.24
14.792	95	3,7-二甲基-3-辛醇	8.27	—
14.882	96	壬醛	—	2.98
15.101	98	苯乙醇	—	2.15
15.131	96	十四烷	13.00	8.73
16.781	83	乙酸	1.05	—
17.893	92	2,4-庚二烯醛	0.53	—
18.057	96	水杨酸甲酯	—	1.46
18.068	89	2-乙基己醇	1.65	—
18.144	91	己基癸醇	0.73	2.43
18.202	92	α -松油醇	—	0.35
18.619	95	癸醛	—	0.97
18.750	81	3,5-辛二烯-2-酮	1.84	—
19.634	90	2-辛基十二醇	0.89	—
19.686	94	2-甲基丁酸己酯	—	3.27
19.785	92	芳樟醇	0.41	3.30
19.837	80	四氢薰衣草醇	0.35	—
20.276	90	2-甲基二十六烷	2.80	—
20.501	89	己酸	0.55	—

续表2

保留 时间/min	相似 度/%	化合物名称	相对含量/%	
			山楂叶	山楂茶
21.722	89	β -环柠檬醛	1.02	0.45
21.917	90	2,6,10,14-四甲基十五烷	3.01	1.59
22.666	92	2-甲基-2-丁烯酸叶醇酯	—	2.86
22.879	92	正二十烷	1.83	0.70
23.636	97	丁香酚	—	7.34
23.710	93	3,7,11-三甲基-1-十二烷醇	—	1.63
24.385	88	环十五酯	0.72	—
24.493	89	2,6,10-三甲基十二烷	—	1.41
24.775	93	己酸己酯	—	0.24
24.965	94	萘	0.63	—
25.206	98	甲基丁香酚	—	0.79
25.948	94	α -紫罗酮	—	4.65
26.760	96	香叶基丙酮	—	4.44
26.850	89	十三烷	—	0.72
26.902	96	二十一烷	20.50	4.00
27.034	91	10-甲基十九烷	—	0.68
27.138	94	2-十三烷酮	0.30	—
27.332	93	正十七烷	—	2.42
27.547	88	2-环己烯酮	6.17	2.61
27.823	91	4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环[4.1.0] 庚-1-基]-3-丁烯-2-酮	—	1.02
27.976	97	2-甲基萘	0.69	—
28.256	94	己酸	0.89	—
28.558	91	α -法尼烯	—	1.81
28.895	77	对氯苯醇	0.88	—
29.184	88	二氢猕猴桃内酯	—	1.39
29.907	92	2-十四酮	0.19	—
30.441	97	β -紫罗兰酮	0.23	3.92
30.538	96	苯甲酸叶醇酯	—	1.91
30.773	96	苯甲酸正己酯	—	1.72
30.826	96	2,6-二甲基萘	0.26	—
31.028	91	2-甲基-1-(1,1-二甲基乙基)-2-甲 基-1,3丙酯	—	1.69
31.366	95	1-十三醇	0.27	—
31.757	93	1,3-二甲基萘	0.40	—
32.554	91	2-十五烷酮	0.33	0.32
32.786	92	正十八烷	—	0.79
34.808	90	柏木烯醇	0.29	—
35.034	91	山萘酸	—	2.88
35.832	95	肉豆蔻酸	—	0.59
35.968	78	对乙氧基苯甲酸乙酯	0.33	—
37.485	88	2-(4-氯苯甲酰)苯甲酸	0.91	—
38.024	94	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	—	4.63
40.957	93	抗坏血酸二棕榈酸酯	—	0.57
44.092	96	邻苯二甲酸二异丁酯	0.27	0.82
44.689	97	叶绿醇	—	3.75

注：—未检出。

与山楂叶相比，山楂茶中烃类化合物相对含量下降59.9%，烃类化合物具有浓厚的青草气味，山楂叶在加工过程中，烃类物质发生氧化缩合等一系列反应生成醛、酮、醇等化合物，烃类化合物减少，芳香类香气成分增加，有助于提升山楂茶品质。山楂鲜叶和山楂茶醇类化合物相对含量分别为14.35%、13.61%，醇类相对含量无

明显变化，山楂鲜叶中3,7-二甲基-3-辛醇相对含量最高，而山楂茶中相对含量较高的有玫瑰花香气的苯乙醇（2.15%）、清香气味的叶绿醇（3.75%）、玉兰花香气的芳樟醇（3.30%）及己基癸醇（2.43%）等。这些醇类是绿茶重要的芳香物质，在龙井、碧螺春等名优绿茶中含量均较高^[15-16]。酮类化合物在山楂鲜叶和山楂茶中的相对含量分别为9.06%、16.96%，经过加工后酮类相对含量提高87.2%，其中紫罗酮相对含量最高，由0.23%上升到8.57%，紫罗酮由 β -胡萝卜素降解产生，具有紫罗兰花香，是绿茶香气的主要成分；香叶基丙酮相对含量为4.44%，该成分具有特殊花香，能够使香气更加圆润，因此形成山楂茶特有的香气^[17-20]。山楂茶中酯类化合物相对含量占15.93%，其相对含量比山楂鲜叶提高26倍之多（0.6%），其中猕猴桃内酯、苯甲酸酯等具有鲜叶草香味，对茶香贡献较大。山楂茶中醛类物质相对含量为8.4%，比原叶相对含量大大提高，其中苯乙醛（4.00%）、壬醛（2.98%）、癸醛（0.97%）及 β -环柠檬醛（0.45%）均具有特殊香气，是绿茶典型的香气成分，在西湖龙井、黄山毛峰、信阳毛尖中均被检出，且含量较高^[11]。此外山楂茶酚类化合物中丁香酚相对含量高达7.34%，该成分具有强烈的丁香气味，是构成山茶花茶特有香气的重要物质^[21]。综上，山楂茶具有绿茶特征香气成分。

3 结 论

山楂叶按照一定工艺加工为绿茶后，黄酮及多酚含量下降不明显，能够较好保持功能成分；经加工后山楂茶各种氨基酸含量均有所提升，总含量为121.16 mg/g，比原叶提高33.08%，高含量的氨基酸能够保证茶汤独特的滋味，营养价值有所提高。山楂茶香气成分中酮类占16.96%、酯类占15.93%、醇类占13.61%、醛类占8.4%、酚类占8.13%，其中相对含量较高的成分为紫罗酮（8.57%）、丁香酚（7.34%）、香叶基丙酮（4.44%）、苯乙醛（4.00%）、芳樟醇（3.30%）、叶绿醇（3.75%）、壬醛（2.98%）等，这些成分均为绿茶特征香气物质，对山楂茶独特风味的形成具有重要作用。

综上表明山楂叶可以作为加工原料应用于新型茶饮料的开发，这对提高山楂叶利用价值，延伸山楂叶加工产业链，满足人们对茶产品日益增长的需求具有重要的经济价值和社会意义。

参考文献：

[1] 张培成, 徐绥绪. 山楂叶化学成分研究[J]. 药学报, 2001, 36(10): 754-757.
[2] 胡敏, 张晓丹, 涂映, 等. 山楂叶总黄酮对缺血性脑卒中活血化瘀作用研究[J]. 实用中西医结合临床, 2011, 11(5): 1-3.

- [3] 梁伟伟, 严瑾, 吴利花, 等. 山楂叶总黄酮对高脂血症大鼠脂代谢的影响[J]. 健康研究, 2010, 30(1): 8-11.
- [4] 梁淑芳, 黄汉民, 马柏林, 等. 山楂叶的化学成分及其开发利用[J]. 陕西林业科技, 1996, 3(5): 5-6.
- [5] 刘荣华, 余伯阳, 邱声祥, 等. 山楂叶中多元酚类成分抗超氧阴离子活性研究及构效关系分析[J]. 中国药学杂志, 2005, 40(14): 1066-1069.
- [6] HERALD T J, GADGIL P, TILLEY M. High-throughput micro plate assays for screening flavonoid content and DPPH-scavenging activity in sorghum bran and flour[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(11): 2326-2331.
- [7] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTOS R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent[J]. Methods in Enzymology, 1999(299C): 152-178.
- [8] 龙立梅, 宋沙沙, 李柰, 等. 3 种名优绿茶特征香气成分的比较及种类判别分析[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 114-119. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201502022.
- [9] 杨贤强, 沈生荣. 炒青绿茶制造中香气组分变化的研究[J]. 食品科学, 1989, 10(8): 1-7.
- [10] 孙慕芳, 郭桂义, 张洁. 蒸青绿茶和炒青信阳毛尖绿茶香气品质的GC-MS分析[J]. 食品科学, 2014, 35(12): 151-155. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201412030.
- [11] 王云, 李春华. 名优茶氨基酸含量变化规律及其影响因素研究[J]. 西南农业学报, 2007, 19(6): 1121-1126.
- [12] SANDERSON G W. The chemistry of tea and tea manufacturing[J]. Recent Advances in Phytochemistry, 1972, 5: 247-316.
- [13] 尹军峰, 许勇泉, 袁海波, 等. 名优绿茶鲜叶摊放过程中主要生化成分的动态变化[J]. 茶叶科学, 2009, 29(2): 102-110.
- [14] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [15] 韩孝坤, 郭雯飞, 吕毅. 原产地域保护绿茶洞庭碧螺春的香气成分[J]. 茶叶, 2006, 32(3): 150-154.
- [16] 窦宏亮, 李春美, 乔宇. 炒青绿茶香气成分的GC-MS分析[J]. 食品科学, 2007, 28(5): 258-262.
- [17] FERNANDEZ P L, PABLOS F, MARTIN M J, et al. Study of catechin and xanthine tea profiles as geographical tracers[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(7): 1833-1839.
- [18] 兰欣, 汪东风, 张莉, 等. HS-SPME法结合GC-MS分析崂山绿茶的香气成分[J]. 食品与机械, 2012(5): 96-101.
- [19] 游陈娜, 俞诗雯. 茉莉花的香气成分研究进展[J]. 福建茶叶, 2010(10): 20-24.
- [20] CHU B S, ICHIKAWA S, KANAFUSA S, et al. Preparation of protein-stabilized β -carotene nanodispersions by emulsification-evaporation method[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2007, 84(11): 1053-1062.
- [21] 甘秀海, 梁志远, 王道平, 等. 3 种山茶属花香气成分的HS-SPME/GC-MS分析[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 204-207.