

# 不同品种青砖茶化学成分与抗氧化活性的比较分析

刘盼盼<sup>1</sup>, 郑鹏程<sup>1</sup>, 龚自明<sup>1</sup>, 滕靖<sup>1</sup>, 尹鹏<sup>2</sup>, 高士伟<sup>1</sup>, 郑琳<sup>1</sup>, 叶飞<sup>1</sup>, 王雪萍<sup>1</sup>, 郭桂义<sup>2</sup>

(1. 湖北省农业科学院果树茶叶研究所, 湖北省茶叶工程技术研究中心, 湖北武汉 430064)

(2. 信阳农林学院, 河南省豫南茶树资源综合开发重点实验室, 河南信阳 464000)

**摘要:** 本研究第一次分析比较了赤壁群体种、中茶 108、楣叶齐和丹桂品种所制青砖茶在感官品质、化学成分及抗氧化活性方面的差异。采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱仪联用技术, 对 4 个品种青砖茶样品挥发性成分进行了分析鉴定。结果表明, 不同品种青砖茶的化学成分含量有明显差异; 总抗氧化能力、抑制羟自由基能力和 DPPH 自由基清除能力以中茶 108、楣叶齐和丹桂所制青砖茶较高; 相关性分析表明青砖茶茶汤的抗氧化活性主要与茶多酚、儿茶素类化合物总量以及咖啡碱总量具有较大的相关性, 其中与表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)和苹果酸的相关性最强; 可溶性糖、反-2-癸烯醛、壬醛与感官评分呈极显著正相关, 而没食子酸、3-甲基呋喃、苯乙酮、异佛尔酮等与感官评分呈极显著负相关; 不同品种青砖茶的醛类、酮类和醇类化合物具有明显的差异, 其中丹桂品种所制青砖茶的品种香明显, 与其芳香醛和酮类物质含量较高相关; 感官审评结果显示, 4 个品种所制青砖茶的品质无显著差异。通过对不同品种青砖茶的主要品质化学成分含量、抗氧化活性以及感官品质等分析, 为青砖茶品种选育及其应用提供参考依据。

**关键词:** 青砖茶; 品种; 化学成分; 香气; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2018)09-77-87

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.9.013

## Comparative Analysis of Chemical Constituents and Antioxidant Activities of Different Cultivars of Qingzhu Tea

LIU Pan-pan<sup>1</sup>, ZHENG Peng-cheng<sup>1</sup>, GONG Zi-ming<sup>1</sup>, TENG Jing<sup>1</sup>, YIN Peng<sup>2</sup>, GAO Shi-wei<sup>1</sup>, ZHENG Lin<sup>1</sup>, YE Fei<sup>1</sup>, WANG Xue-ping<sup>1</sup>, GUO Gui-yi<sup>2</sup>

(1. Institute of Fruit and Tea, Hubei Academy of Agricultural Science Hubei Tea Engineering and Technology Research Centre, Wuhan 430064, China) (2. Henan Key Laboratory of Tea Comprehensive utilization in South Henan Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang, 464000, China)

**Abstract:** In this study, the differences in sensory quality, chemical composition and antioxidant activity of tea infusions made from Chibiquntizhong, Zhongcha108, Zhu yeqi and Dangui cultivars were investigated for the first time. The volatile components of four different varieties of Qingzhu tea were analyzed using headspace solid-phase micro-extraction (HS-SPME) coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The result showed that significant differences were observed in the chemical compositions of Qingzhu teas made from four different varieties. The total antioxidant activity, ability to inhibit hydroxyl free radicals, DPPH free radical scavenging activity of Qingzhu teas made from Zhongcha108, Zhu yeqi and Dangui cultivars were higher; Correlation analysis revealed the significant correlations between the antioxidant activity of Qingzhu tea and the total amounts of tea polyphenols and catechins and total amount of caffeine, in particular, the correlations with EGCG and malic acid were the strongest; the sensory score was positively correlated with the contents of water-soluble sugars, trans-2-decenal and nonanal, while negatively correlated with the contents of gallic acid, 3-methylfuran, acetophenone and isophorone; There were significant differences in aldehydes, ketones and alcohols among the different varieties of Qingzhu teas, and the unique aroma of Dangui cultivar was related to the abundant aromatic aldehyde and ketones. Sensory evaluation revealed that there was no significant difference in the sensory quality of Qingzhu teas made from the four varieties. The analyses of major chemical components, antioxidant activities and

收稿日期: 2018-04-12

基金项目: 国家现代农业(茶叶)产业技术体系专项(CARS-23); 湖北省重大科技创新计划项目(2014ABA023); 信阳农林学院河南省豫南茶树资源综合开发重点实验室开放基金资助项目(HNKLTOF2017004); 湖北省农业科技创新中心资助项目(2016-620-000-001-032); 湖北省农业科学院青年科学基金项目(2017NKYJJ13)

作者简介: 刘盼盼(1988-), 男, 助理研究员, 硕士, 研究方向: 茶叶深加工

通讯作者: 龚自明(1966-), 男, 研究员, 研究方向: 茶叶加工及茶树安全优质高效栽培模式; 郭桂义(1963-), 教授, 研究方向: 茶叶加工与品质化学

sensory quality of different varieties of Qingzhuan tea would provide an important reference for breed selection and application of tea varieties.

**Key words:** Qingzhuan tea; cultivar; chemical constituents; aroma; antioxidant activity

青砖茶, 湖北特产, 我国传统边销砖茶之一, 采用毛茶初制、渥堆陈化、复制拼配、汽蒸压制、烘房干燥等加工工艺制成, 具有独特的品质特征<sup>[1]</sup>。因具有良好的减肥<sup>[2]</sup>、降血糖<sup>[3]</sup>和抗氧化<sup>[4,5]</sup>等保健作用, 一直是边疆少数民族的生产生活必需品, 对保障民族同胞的身体健康起到了重要的作用。

目前有关黑茶品质与其化学成分之间的关系已有很多研究报道。对普洱茶<sup>[6,7]</sup>、茯砖茶<sup>[8]</sup>、四川黑茶<sup>[9]</sup>和青砖茶<sup>[10]</sup>品质与化学成分及抗氧化活性方面的研究表明, 茶多酚、氨基酸、儿茶素、有机酸和可溶性糖等化合物的含量水平影响普洱茶滋味品质; 杂环类化合物呈现高火香, 烯醛类物质与“菌花香”紧密相关, 低级脂肪醛具青气味; 抑制羟自由基活性、总抗氧化活性、黄酮、茶褐素以及醇类等是区分普洱茶等级的重要理化指标; 青砖茶的自由基清除能力与茶多酚、儿茶素、茶褐素等显著正相关。现有研究大多涉及普洱茶、茯砖茶等<sup>[11-14]</sup>, 对不同品种青砖茶的品质成分与抗氧化活性差异分析关注较少。

风味是茶叶重要品质因子之一, 由茶多酚、氨基酸、芳香物质等共同决定。青砖茶的风味品质和抗氧化活性受到很多因素的影响, 如鲜叶生长的气候条件, 采收标准, 加工工艺、储藏时间等, 鲜叶品种也是决定风味品质和抗氧化活性最重要的因素之一。不同茶树品种鲜叶所含化学成分的含量不同, 由其所制的茶叶品质特征也就不同。目前青砖茶缺乏专用品种, 大多采用赤壁群体种, 鲜有针对不同品种青砖茶风味品质、抗氧化活性的比较研究。根据前期的低氟茶树品种的研究结果<sup>[15]</sup>, 选取赤壁群体种、楮叶齐、中茶 108 和丹桂品种青砖茶样品为研究对象, 系统的比较分析它们的挥发性成分、非挥发性成分及抗氧化活性等方面的差异, 对青砖茶品种的选育及加工具有指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

赤壁群体种采自赤壁市赵李桥茶厂基地, 中茶 108、楮叶齐和丹桂采自湖北省农业科学院果树茶叶研究所茶叶资源圃。鲜叶采摘时间为 2012 年 8 月, 4 个品种鲜叶均按一芽五、六叶的标准采摘, 经相同的加工工艺(毛茶初制、渥堆陈化、复制拼配、汽蒸压制、烘房干燥工艺)制成青砖茶。茶样经过粉碎后用铝箔袋低温密封储存。

癸酸乙酯( $\geq 98\%$ )、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、咖啡碱、没食子酸(GA)、没食子儿茶素(GC)、表没食子儿茶素(EGC)、儿茶素(C)、表儿茶素(EC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)和儿茶素没食子酸酯(CG)、草酸、柠檬酸、奎宁酸、苹果酸、琥珀酸等购自 Sigma 公司; 总抗氧化能力测定试剂盒、羟自由基测定试剂盒购自南京建成生物工程研究所; 乙酸、乙腈、甲醇、磷酸二氢钾等试剂为色谱纯; 硫酸亚铁、酒石酸钾钠、三氯化铝、氯化亚锡、茚三酮、二丁基羟基甲苯(BHT)等试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器设备

手动 SPME 进样器和 50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头, 美国 Supelco 公司; 7890 A 气相色谱仪, 5975 C 质谱仪, 美国 Agilent 公司; Waters 2695 高效液相色谱、2998 PDA 检测器, 美国 Waters 公司; HHS 型恒温水浴锅, 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; 岛津 UV-2550 紫外-可见光分光光度计, 日本岛津公司; Milli-RO PLUS 30 纯水机, 法国 Millipore 公司; Waters Symmetry C<sub>18</sub> (150 mm $\times$ 4.6 mm, 5  $\mu\text{m}$ ) 色谱柱; Atlantis T3 C<sub>18</sub> (150 mm $\times$ 4.6 mm, 5  $\mu\text{m}$ ) 色谱柱。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 感官审评评分

根据 GB/T 23776-2009 (茶叶感官审评方法) 中的黑茶与紧压茶审评法, 由 3 名专业人员对样品的外形、汤色、香气、滋味和叶底进行感官审评, 总分=外形 $\times 0.25$ +汤色 $\times 0.10$ +香气 $\times 0.25$ +滋味 $\times 0.30$ +叶底 $\times 0.10$ 。

#### 1.3.2 水浸出物含量测定

参照 GB/T 8305-2013 《茶: 水浸出物测定》恒温干燥法测定。

#### 1.3.3 非挥发性成分测定方法

茶多酚含量测定参照 GB/T 8313-2008 《茶叶中茶多酚和儿茶素含量的检验方法》福林酚法测定; 氨基酸含量测定参照 GB/T 8314-2013 《茶: 游离氨基酸总量的测定》茚三酮比色法测定; 可溶性总糖的测定采用蒽酮-硫酸法<sup>[16]</sup>; 黄酮化合物含量的测定采用三氯化铝法<sup>[16]</sup>; 茶黄素、茶红素和茶褐素的测定采用 Roberts

法<sup>[16]</sup>。

儿茶素、没食子酸及咖啡碱含量的测定采用高效液相色谱法<sup>[17]</sup>,流动相为0.2%乙酸和乙腈,色谱条件:检测波长为278 nm,流速:1 mL/min,柱温:25 ℃,进样量:10 μL,流动相梯度洗脱。

有机酸含量的测定参考高效液相色谱法<sup>[18]</sup>,流动相为0.02 mol/L 磷酸二氢钾(pH 2.8),色谱条件:检测波长为210 nm,流速:0.6 mL/min,柱温:30 ℃,进样量:10 μL,流动相梯度洗脱。

### 1.3.4 挥发性成分分析

采用顶空固相微萃取-气质联用技术测定,以癸酸乙酯作为内标物,具体操作参照文献<sup>[19]</sup>。GC-MS 仪器条件如下:

GC 条件:安捷伦 HB-5MS (30 m×0.32 mm×0.25 μm) 弹性石英毛细管柱。进样口温度为240 ℃、MS 检测器温度为250 ℃;载气为高纯氮气;流速1.0 mL/min。

柱温程序:50 ℃保持5 min,以3 ℃/min 升至180 ℃保持2 min,然后以10 ℃/min 升至250 ℃保持3 min;然后通过质谱进行定性分析。

MS 条件:EI 电离能量为70 eV;质量扫描范围为50~600 u;离子源温度为230 ℃;四极杆温度为150 ℃;质谱传输线温度为280 ℃。

香气成分定量分析:  $C_i = C_{is} \times A_i / A_{is}$  (1)

式中:  $C_i$  为某个组分的质量浓度, μg/L;  $C_{is}$  内标的质量浓度, μg/L;  $A_i$  为某个组分的色谱峰面积;  $A_{is}$  为内标的色谱峰面积。

### 1.3.5 抗氧化活性分析

#### 1.3.5.1 总抗氧化能力

茶汤试液按照 GB/T 8312-2002 中制备方法,稀释一定倍数后进行抗氧化能力的测定,测定方法按试剂盒说明书操作。

#### 1.3.5.2 羟自由基清除能力

茶汤试液按照 GB/T 8312-2002 中制备方法,稀释一定倍数后进行羟自由基清除能力的测定,测定方法按试剂盒说明书操作。

#### 1.3.5.3 DPPH 自由基清除率

茶汤试液按照 GB/T 8312-2002 中制备方法,稀释一定倍数后进行 DPPH 自由基清除率的测定,首先用乙醇配制 0.2 mmol/L DPPH 溶液,避光保存备用。其次取 3.0 mL 提取液与 3.0 mL DPPH 溶液摇匀,避光放置 30 min,于波长 517 nm 处测定吸光度  $A_1$ 。同时将 3.0 mL 乙醇与 3.0 mL DPPH 溶液混合后避光放置 30 min,于波长 517 nm 处测定吸光度  $A_0$ ,同时以乙醇作为空白<sup>[20]</sup>。按公式(2)计算 DPPH 自由基清除率和半数抑制浓度( $IC_{50}$ )。同时以同样的方法测定 BHT (阳性对照品) DPPH 自由基清除率和半数抑制浓度( $IC_{50}$ )。

$$DPPH \text{ 自由基清除率} / \% = (1 - A_1 / A_0) \times 100 \quad (2)$$

### 1.4 数据分析

每组试验数据重复测定三次,采用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析(ANOVA)法进行显著性分析、Pearson 法相关性分析。

表1 不同品种青砖茶的主要化学成分比较 (mg/g)

Table 1 Comparison of chemical components among different varieties of Qingzhuang tea

化学成分	赤壁群体种	中茶 108	橘叶齐	丹桂
水浸出物	281.31±2.25 <sup>c</sup>	339.33±7.21 <sup>a</sup>	298.88±3.28 <sup>bc</sup>	309.95±5.44 <sup>b</sup>
黄酮	17.41±0.62 <sup>b</sup>	20.28±0.78 <sup>a</sup>	18.11±0.33 <sup>b</sup>	16.16±0.30 <sup>c</sup>
可溶性糖	55.95±3.21 <sup>b</sup>	85.58±4.09 <sup>a</sup>	88.42±0.85 <sup>a</sup>	89.78±5.48 <sup>a</sup>
茶多酚	101.70±4.85 <sup>b</sup>	165.59±1.80 <sup>a</sup>	92.19±3.34 <sup>c</sup>	109.15±3.98 <sup>b</sup>
氨基酸	5.19±0.38 <sup>c</sup>	7.59±0.01 <sup>a</sup>	4.91±0.33 <sup>c</sup>	6.03±0.54 <sup>b</sup>
没食子酸	5.70±0.36 <sup>a</sup>	4.85±0.07 <sup>b</sup>	3.41±0.06 <sup>c</sup>	3.37±0.22 <sup>c</sup>
咖啡碱	23.65±0.68 <sup>b</sup>	26.31±0.90 <sup>a</sup>	19.23±0.35 <sup>c</sup>	19.38±0.53 <sup>c</sup>
儿茶素总量	22.80±1.19 <sup>b</sup>	52.74±0.82 <sup>a</sup>	17.37±0.05 <sup>d</sup>	19.07±0.01 <sup>c</sup>
有机酸总量	17.89±0.21 <sup>b</sup>	23.01±2.59 <sup>a</sup>	12.97±1.33 <sup>c</sup>	16.94±1.16 <sup>b</sup>
茶黄素	0.72±0.12 <sup>b</sup>	1.23±0.27 <sup>a</sup>	0.72±0.22 <sup>b</sup>	1.13±0.17 <sup>a</sup>
茶红素	40.38±0.82 <sup>b</sup>	48.67±0.53 <sup>a</sup>	37.1±0.67 <sup>c</sup>	26.97±0.53 <sup>d</sup>
茶褐素	37.31±0.71 <sup>c</sup>	41.92±0.28 <sup>b</sup>	51.46±0.64 <sup>a</sup>	43.11±0.21 <sup>b</sup>

注: 同一行不同字母表示经 Duncan 法检测在 0.05 水平上差异显著。

## 2 结果与分析

## 2.1 不同品种青砖茶主要化学成分分析

不同品种青砖茶的主要化学成分含量如表 1 所示。中茶 108 品种所制青砖茶的水浸出物含量、黄酮、茶多酚、氨基酸、咖啡碱、儿茶素总量和有机酸总量都明显高于其他品种 ( $p<0.05$ )；赤壁群体种所制青砖茶的水浸出物含量、氨基酸含量都明显低于其他品种 ( $p<0.05$ )，而没食子酸含量明显高于其他品种 ( $p<0.05$ )；楮叶齐品种所制青砖茶的可溶性糖和茶褐素含量较高，而茶红素、有机酸总量、茶多酚都明显低于其他品种 ( $p<0.05$ )；丹桂品种所制青砖茶的可溶性糖、茶黄素含量较高，而黄酮和儿茶素总量都明显低于其他品种 ( $p<0.05$ )。可见，不同品种所制青砖茶的化学成分有较大的差异。在相同的加工工艺下，这些化学成分的差异可能是品种差异引起的。

在青砖茶的加工过程中，大部分的多酚类氧化、聚合形成茶褐素，使茶汤的收敛性和苦涩味明显降低，再加上较高的可溶性糖和可溶性水浸出物含量，形成了青砖茶滋味醇厚，汤色红褐的物质基础。李伟等<sup>[8]</sup>对四川黑茶研究表明，茶多酚会对黑茶感官品质产生负面影响，那么茶多酚对青砖茶品质的影响还需要结合加工工艺进一步研究。

## 2.2 不同品种青砖茶儿茶素和有机酸成分分析

析

由表 2 可以看出，四个品种所制青砖茶的儿茶素主要以表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG)、表没食子儿茶素 (EGC)、表儿茶素没食子酸酯 (ECG) 和没食子儿茶素没食子酸酯 (GCG) 为主。其中中茶 108 所制青砖茶的儿茶素成分除 CG 外，均明显高于其他品种 ( $p<0.05$ )；赤壁群体种所制青砖茶的儿茶素成分 C 明显低于其他品种 ( $p<0.05$ )；楮叶齐品种所制青砖茶的儿茶素成分 EGCG 和 ECG 明显低于其他品种 ( $p<0.05$ )；丹桂品种所制青砖茶的儿茶素成分 EGC 和 EC 明显低于其他品种 ( $p<0.05$ )。

四个品种所制青砖茶的有机酸主要以奎宁酸、草酸、柠檬酸、苹果酸和琥珀酸为主，其中群体种的有机酸谱图见图 1。

有机酸成分中奎宁酸含量以中茶 108 品种最高 (1.09%)，楮叶齐品种最低 (0.41%)，且四个品种之间都存在显著差异 ( $p<0.05$ )；柠檬酸含量以中茶 108 品种最高 (0.44%)，其他三个品种无显著性差异 ( $p<0.05$ )；草酸含量在四个品种间无显著性差异 ( $p<0.05$ )；苹果酸和琥珀酸含量均以中茶 108 品种最高 (0.21% 和 0.15%)，楮叶齐品种最低 (0.08% 和 0.05%)，其他两个品种无显著性差异 ( $p<0.05$ )。

表 2 不同品种青砖茶的主要儿茶素和有机酸成分含量 (mg/g)

Table 2 Concentrations of catechins and organic acids among different varieties of Qingzhuana tea

化学成分	赤壁群体种	中茶 108	楮叶齐	丹桂
GC	2.39±0.28 <sup>b</sup>	3.98±0.29 <sup>a</sup>	1.40±0.02 <sup>c</sup>	1.31±0.05 <sup>c</sup>
EGC	5.80±0.22 <sup>b</sup>	10.51±0.18 <sup>a</sup>	5.19±0.31 <sup>b</sup>	2.49±0.06 <sup>c</sup>
C	0.36±0.07 <sup>c</sup>	3.23±0.21 <sup>a</sup>	1.36±0.03 <sup>b</sup>	0.96±0.15 <sup>b</sup>
EC	1.54±0.06 <sup>b</sup>	2.88±0.23 <sup>a</sup>	0.42±0.06 <sup>d</sup>	0.92±0.04 <sup>c</sup>
EGCG	8.23±0.18 <sup>b</sup>	22.43±0.61 <sup>a</sup>	4.56±0.17 <sup>c</sup>	8.76±0.10 <sup>b</sup>
GCG	1.72±0.06 <sup>c</sup>	3.30±0.22 <sup>a</sup>	1.96±0.04 <sup>b</sup>	1.31±0.05 <sup>c</sup>
ECG	2.25±0.42 <sup>b</sup>	5.46±0.24 <sup>a</sup>	1.56±0.09 <sup>c</sup>	2.28±0.15 <sup>b</sup>
CG	0.51±0.10 <sup>b</sup>	0.95±0.06 <sup>a</sup>	0.94±0.09 <sup>a</sup>	1.04±0.03 <sup>a</sup>
草酸	3.51±0.21 <sup>a</sup>	4.12±0.58 <sup>a</sup>	4.23±0.27 <sup>a</sup>	3.92±0.28 <sup>a</sup>
柠檬酸	3.68±0.58 <sup>b</sup>	4.37±0.73 <sup>a</sup>	3.37±0.43 <sup>b</sup>	3.46±0.64 <sup>b</sup>
奎宁酸	8.22±1.28 <sup>b</sup>	10.93±0.57 <sup>a</sup>	4.12±0.28 <sup>d</sup>	7.31±0.59 <sup>c</sup>
苹果酸	1.37±0.17 <sup>b</sup>	2.11±0.49 <sup>a</sup>	0.77±0.23 <sup>c</sup>	1.22±0.12 <sup>b</sup>
琥珀酸	1.11±0.11 <sup>b</sup>	1.48±0.02 <sup>a</sup>	0.48±0.12 <sup>c</sup>	1.03±0.23 <sup>b</sup>

注：同一行不同字母表示经 Duncan 法检测在 0.05 水平上差异显著。

## 2.3 不同品种青砖茶的抗氧化活性分析

不同品种青砖茶的抗氧化活性分析检测结果见表 3。IC<sub>50</sub> 是指对自由基清除率达到 50% 时提取液浓度，

IC<sub>50</sub> 越小，该试样清除自由基的能力越强。阳性对照 BHT 的 DPPH 自由基的 IC<sub>50</sub> 值为 20.61±1.29 μg/mL。中茶 108 所制青砖茶总抗氧化能力 (15.33 U/mg)、抑制羟自由基能力 (136.65 U/mg) 和 DPPH 自由基清除

能力 (14.58 μg/mL) 均明显高于其他品种和 BHT ( $p<0.05$ ); 楮叶齐品种所制青砖茶 DPPH 自由基清除能力 (31.19 μg/mL) 明显低于其他品种和 BHT

( $p<0.05$ ); 赤壁群体种所制青砖茶抑制羟自由基能力 (128.11 U/mg) 低于其他品种 ( $p<0.05$ ), DPPH 自由基清除能力 (22.42 μg/mL) 与 BHT 无显著性差异。

表 3 不同品种青砖茶的抗氧化活性比较

Table 3 Comparison of antioxidant activities among different varieties of Qingzhu tea

抗氧化活性	赤壁群体种	中茶 108	楮叶齐	丹桂
总抗氧化能力/(U/mg)	13.51±0.07 <sup>c</sup>	15.33±0.51 <sup>a</sup>	14.21±0.12 <sup>b</sup>	13.20±0.66 <sup>c</sup>
抑制羟自由基能力/(U/mg)	128.11±1.59 <sup>c</sup>	136.65±1.41 <sup>a</sup>	131.11±1.09 <sup>b</sup>	133.72±0.45 <sup>b</sup>
DPPH 自由基的 IC <sub>50</sub> 值/(μg/mL)	22.42±1.15 <sup>c</sup>	14.58±0.77 <sup>d</sup>	31.19±1.71 <sup>a</sup>	27.55±1.73 <sup>b</sup>

注: 同一行不同字母表示经 Duncan 法检测在 0.05 水平上差异显著。

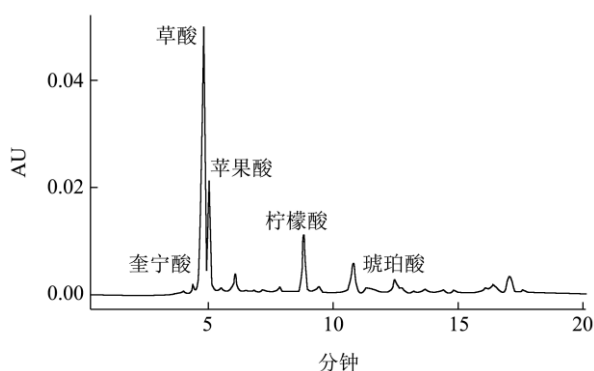


图 1 群体种青砖茶有机酸色谱图

Fig.1 Chromatogram of organic acids in Qingzhu tea processed by chibicommunity cultivars

## 2.4 青砖茶主要化学成分与其抗氧化活性的相关性分析

从表 4 中可以看出, 青砖茶茶汤的抗氧化活性主要与茶多酚、氨基酸、咖啡碱、儿茶素类化合物总量、茶褐素以及有机酸总量具有较大的相关性。其中总抗氧化能力与儿茶素总量相关性最高 (相关系数为 0.815), 抑制羟自由基能力与茶多酚含量相关性最高 (相关系数为 0.715), DPPH 自由基的 IC<sub>50</sub> 值与咖啡

碱含量相关性最高 (相关系数为-0.941)。总体上, 儿茶素类化合物成分中, EGCG 含量与青砖茶茶汤的抗氧化活性的相关性最强, EGCG 含量与总抗氧化能力、抑制羟自由基能力和 DPPH 的 IC<sub>50</sub> 值呈显著相关 (相关系数分别为 0.717、0.665 和-0.910); 而有机酸成分中, 苹果酸与青砖茶茶汤的总抗氧化能力的相关性最强, 苹果酸含量与 DPPH 自由基的 IC<sub>50</sub> 值呈极显著负相关 (相关系数为-0.852), 说明苹果酸有较强的 DPPH 自由基清除能力。

吕海鹏等<sup>[21,22]</sup>研究表明茶叶抗氧化活性与茶多酚、儿茶素总量、有机酸总量和总黄酮显著相关, 尤其是与 EGCG 和奎尼酸的相关性更高。

Lee 等<sup>[23]</sup>研究指出儿茶素的抗氧化活性比其他化学成分要高, 尤其是酯型儿茶素。Carlioni 等<sup>[24]</sup>研究了同一品种原料加工成白茶、绿茶和红茶后的抗氧化活性, 发现绿茶抗氧化活性高于白茶高于红茶, 多酚含量、黄酮含量与抗氧化活性显著正相关。向丽敏等<sup>[25]</sup>研究表明陈年生普散茶的抗氧化能力最强, 且抗氧化活性与其茶多酚和儿茶素总含量呈浓度依赖关系。与上述研究结果相比, 本研究中不同品种青砖茶的抗氧化活性的差异主要与其茶多酚含量、儿茶素总量和有机酸总量等相关。

表 4 青砖茶主要化学成分含量与其抗氧化活性的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of the major chemical components in Qingzhu tea infusion with its antioxidant activity

化学成分	总抗氧化能力	抑制羟自由基能力	DPPH 自由基的 IC <sub>50</sub> 值
茶多酚	0.718**	0.715**	-0.867**
氨基酸	0.556	0.679*	-0.757**
咖啡碱	0.632*	0.267	-0.941**
儿茶素总量	0.815**	0.619*	-0.909**
有机酸总量	0.507	0.464	-0.935**
茶褐素	0.172	0.122	0.621*
EGCG	0.717**	0.665*	-0.910**
奎宁酸	0.372	0.314	-0.878**
苹果酸	0.544	0.383	-0.852**

注: \*显著相关 ( $p<0.05$ ); \*\*极显著相关 ( $p<0.01$ )。

### 2.5 不同品种青砖茶的香气成分分析

四个品种青砖茶中共检测到 74 种香气化合物(表 5), 包括醛类、酮类、醇类、酯类、芳香烃、呋喃类、烯类、内酯类和其他化合物(图 2)。其中含量较高的香气成分为反-香叶基丙酮(15.70~32.55 μg/L)、β-紫罗酮(17.05~20.92 μg/L)、壬醛(4.57~22.98 μg/L)和反,反-2,4-庚二烯醛(9.03~17.24 μg/L)。醛类和酮类是主导香气化合物, 醛类物质含量占总香气含量的比例最高(35.85%~44.87%), 主要包括脂肪醛(己醛、壬醛)、芳香醛(苯甲醛、苯乙醛、藏红花醛)、烯醛(反-2-己烯醛、反,反-2,4-庚二烯醛、2-辛烯-1-醛)等; 其次为酮类物质, 占总香气含量的比例为 21.67%~31.12%, 主要包括反-香叶基丙酮、β-紫罗酮和 α-紫罗酮。

不同品种青砖茶的醛类、酮类和醇类化合物具有明显的差异。丹桂品种所制青砖茶的醛类物质明显高于其他三个品种; 赤壁群体种和丹桂品种所制青砖茶的酮类化合物含量相近, 且均高于其他两个品种; 醇类化合物在中茶 108 品种所制青砖茶中含量最高, 而在丹桂品种所制青砖茶中含量最低。对青砖茶的研究发现, 烯醛类和酮类化合物是其关键呈香成分, 对陈香特征有很大贡献<sup>[19,26]</sup>。本研究中四个品种青砖茶香气成分均以醛类和酮类物质为主, 其中赤壁群体种青

砖茶的烯醛类物质比例最高, 香气纯正; 丹桂品种青砖茶带有品种香、甜香, 可能与其苯乙醛等芳香醛物质含量高有关, 研究证明苯乙醛主要呈现甜香<sup>[27]</sup>。茯砖茶、青砖茶和普洱茶等是黑茶中的重要类别, 现有研究表明棕榈酸、植酮、己醛、香叶基丙酮等是茯砖茶的主要香气成分, 2-己烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛等烯醛类物质对其“菌花香”有重要贡献<sup>[28-30]</sup>, 1,2,3-三甲氧基苯等甲氧基苯类化合物被认为是普洱熟茶陈香的特征香气成分<sup>[31,32]</sup>。不同品种青砖茶的主要香气与茯砖茶特征香气成分有部分一致性, 而与普洱茶明显不同, 原料以及加工工艺的差异形成了青砖茶独特的品质风味。

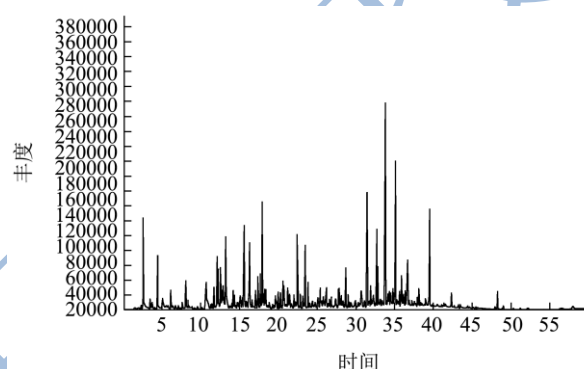


图 2 群体种青砖茶挥发性成分 GC-MS 总离子流图

Fig.2 Total ion chromatogram of Qingzhuang tea processed by Chibicommunity cultivars

表 5 不同品种青砖茶茶汤的主要香气成分含量 (μg/L)

Table 5 Major aroma components of different varieties of Qingzhuang tea infusion

序号	化合物	保留时间	赤壁群体种	中茶 108	湄叶齐	丹桂
1	3-甲基呋喃	1.97	0.18	ND	ND	ND
2	苯	2.37	0.26	ND	0.20	ND
3	1-戊烯-3-醇	2.51	0.26	ND	0.20	ND
4	1-戊烯-3-酮	2.56	0.47	ND	ND	0.83
5	反,反-2,4-己二烯醛	2.73	ND	ND	0.30	0.79
6	反-2-戊烯醛	3.50	1.63	0.71	0.45	1.56
7	顺-2-戊烯醇	4.13	0.17	0.84	0.61	ND
8	己醛	4.45	6.85	7.81	6.47	6.19
9	反-2-己烯醛	6.16	3.82	2.65	4.03	3.92
10	对二甲苯	6.75	0.84	1.55	1.18	1.05
11	2-庚酮	7.67	1.54	1.69	0.46	ND
12	顺-4-庚烯醛	8.01	2.29	1.66	1.71	1.90
13	庚醛	8.09	3.87	3.20	3.36	4.02
14	己酸甲酯	9.20	0.23	0.50	ND	ND
15	1-甲氧基-4-甲基苯	9.59	0.49	ND	ND	0.52
16	反-2-庚烯醛	10.58	2.31	1.23	1.11	2.35
17	苯甲醛	10.70	8.35	10.80	4.66	10.93

转下页

接上页						
18	反-2-癸烯醛	11.49	ND	1.11	0.65	0.67
19	1-辛烯-3-醇	11.74	3.20	4.77	2.30	2.94
20	6-甲基-5-庚烯-2-酮	12.12	7.36	4.05	4.05	5.90
21	2-正戊基呋喃	12.31	6.36	ND	3.63	4.78
22	反-2-(2-戊烯基)呋喃	12.79	1.93	ND	1.24	1.23
23	辛醛	12.88	2.82	1.19	1.39	2.38
24	反,反-2,4-庚二烯醛	13.23	17.24	9.03	12.89	15.76
25	柠檬烯	14.05	0.96	2.08	ND	0.74
26	顺-2-壬烯-3-醇	14.20	2.77	ND	2.42	1.98
27	2,6,6-三甲基环己烷酮	14.34	3.25	5.74	ND	0.92
28	苯乙醛	14.81	1.42	1.66	0.89	5.32
29	1-乙基-2-甲酰吡咯	15.11	2.76	3.18	3.19	4.20
30	2-辛烯-1-醛	15.61	13.81	9.39	9.69	13.96
31	苯乙酮	15.92	2.40	ND	1.82	0.04
32	2-辛烯-1-醇	16.15	ND	ND	0.78	ND
33	顺-氧化芳樟醇	16.30	15.25	15.18	11.60	ND
34	反-氧化芳樟醇	17.13	ND	6.68	ND	ND
35	3,5-辛二烯-2-酮	17.36	6.92	ND	5.78	5.51
36	芳樟醇	17.71	5.40	13.60	2.15	2.92
37	壬醛	17.97	4.57	22.98	10.22	17.47
38	反,反-2,4-辛二烯醛	18.13	1.74	ND	1.40	1.82
39	苯乙醇	18.27	2.52	6.73	0.91	1.18
40	异佛尔酮	18.63	0.60	ND	ND	ND
41	3-壬烯-2-酮	19.67	2.08	0.80	1.29	1.58
42	反,顺-2,6-壬二烯醛	20.29	2.87	1.44	3.40	2.92
43	反-2-壬烯醛	20.61	4.28	3.31	3.63	5.41
44	棕榈油酸	21.24	ND	3.62	ND	ND
45	萘	21.50	2.97	3.60	2.89	3.46
46	$\alpha$ -萜品醇	22.05	1.95	4.22	2.33	1.38
47	水杨酸甲酯	22.20	0.71	0.58	ND	0.53
48	藏红花醛	22.45	10.67	10.22	9.01	9.46
49	癸醛	22.84	2.05	1.86	2.18	2.88
50	反,反-2,4-壬二烯醛	23.18	2.60	ND	1.76	2.15
51	$\beta$ -环柠檬醛	23.45	10.19	10.05	7.46	6.50
52	橙花醇	25.13	2.48	4.07	ND	4.06
53	反-2-癸烯醛	25.42	3.51	1.46	ND	2.07
54	2-甲基萘	26.63	1.96	1.52	1.24	ND
55	1-甲基萘	27.40	2.46	2.45	2.78	2.81
56	香叶酸甲酯	28.26	ND	ND	ND	1.62
57	异长叶醇	29.20	1.25	0.81	ND	1.04
58	1,4,5-三甲基-5,6-二氢萘	29.35	1.55	1.13	ND	1.08
59	桃醛	29.89	1.08	0.55	ND	1.22
60	异戊酸香叶酯	30.53	0.72	1.08	ND	1.23

转下页

接上页

61	喇叭茶醇	31.67	0.97	ND	ND	ND
62	$\alpha$ -雪松烯	31.92	3.68	3.20	5.76	ND
63	雪松烯	32.26	1.97	ND	3.78	ND
64	$\alpha$ -紫罗酮	32.67	11.74	8.45	9.52	13.57
65	反-香叶基丙酮	33.78	32.55	15.70	16.36	32.49
66	2,6-二叔丁基苯醌	34.28	1.71	1.96	1.31	1.43
67	5-甲氧基-6,7-二甲基苯并呋喃	34.30	1.45	ND	1.21	ND
68	$\beta$ -紫罗酮	35.07	20.92	19.49	17.05	19.11
69	2,4-二特丁基苯酚	36.14	1.75	2.49	2.22	2.31
70	二氢猕猴桃内酯	36.68	6.71	7.49	7.08	9.40
71	反-橙花叔醇	38.14	2.77	4.83	29.10	3.16
72	$\alpha$ -雪松醇	39.49	15.36	10.04	4.51	6.23
73	6,10,14-三甲基-十烷-2-酮	48.25	2.54	2.88	1.81	2.77
74	邻苯二甲酸二丁酯	49.02	0.55	2.07	2.28	2.73

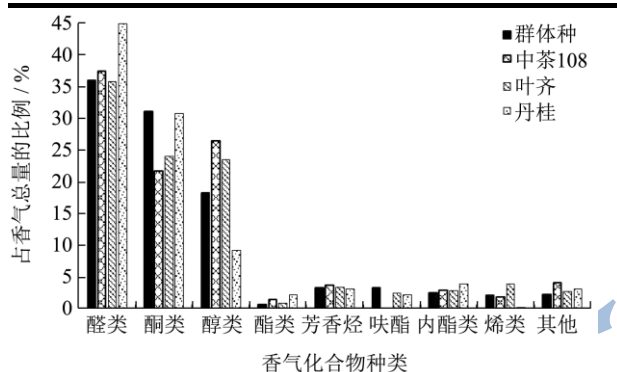


图3 不同品种青砖茶香气化合物种类及比例

Fig.3 Types and proportions of aromas among different varieties of Qingzhuana tea

### 2.6 不同品种青砖茶品质特征感官评价及其与化学成分间相关性分析

四个品种青砖茶的感官审评结果表明，内质中香气以丹桂、楮叶齐和赤壁群体种所制青砖茶较优，其中丹桂品种所制青砖茶有品种香、带甜香；滋味以楮叶齐和赤壁群体种所制青砖茶较优；四个品种青砖茶的感官总分没有显著性差异。杨阳等<sup>[33]</sup>对8个品种的黑茶适制性研究指出，楮叶齐品种黑茶在感官品质、化学成分和安全性方面都优于其他品种，本实验中楮叶齐所制青砖茶品质也较优。

采用 SPSS 软件对青砖茶感官品质总分与化学成分进行了相关性分析，进一步得到了影响青砖茶品质的关键化学成分(表7)。其中可溶性糖、反-2-癸烯醛、壬醛与感官评分的相关性达到极显著水平 ( $p < 0.01$ )，茶褐素与感官评分的相关性达到显著水平 ( $p < 0.05$ )；而没食子酸、3-甲基呋喃、苯乙酮、异佛尔酮、2-甲基萘、5-甲氧基-6,7-二甲基苯并呋喃等与感官评分呈极显著负相关。

表6 不同品种青砖茶的感官审评结果

Table 6 Sensory evaluation of Qingzhuana teas prepared with different varieties

样品	外形		汤色		香气	
	评语	评分	评语	评分	评语	评分
赤壁群体种	砖形周正，青褐	87	浅橙红尚亮	88	香气纯正	90
中茶108	砖形周正平整，黄褐，洒面多梗	90	黄亮	90	香气较纯正	89
楮叶齐	砖形周正，青褐带黄，洒面多梗	88	橙黄尚亮	87	香气纯正	90.5
丹桂	砖形周正，表面光洁，青褐	90	红深稍暗	84	有品种香、略有甜香	90.5
样品	滋味		叶底		总分	
	评语	评分	评语	评分		
赤壁群体种	滋味尚醇厚	90	粗老薄硬、乌褐	85	88.55	
中茶108	滋味醇和	89	粗老，多梗，黄绿尚亮	88	89.25	
楮叶齐	滋味较醇厚	91	稍粗老，多梗，黄绿尚亮	86	89.23	
丹桂	滋味尚醇	90	尚软，带梗，红褐尚亮	89	89.43	



表7 青砖茶主要化学成分含量与感官总分的相关性分析

Table 7 Correlation analysis of the major chemical components in Qingzhuana tea infusion with sensory score

化学成分	相关系数
可溶性糖	0.948**
茶褐素	0.585*
反-2-癸烯醛	0.821**
壬醛	0.761**
没食子酸	-0.765**
3-甲基呋喃	-0.960**
苯乙酮	-0.785**
异佛尔酮	-0.950**
2-甲基茶	-0.764**
5-甲基-6,7-二甲基苯并呋喃	-0.737**

注: \*.显著相关 ( $p < 0.05$ ); \*\*.极显著相关 ( $p < 0.01$ )。

### 3 结论

本研究分析比较了不同品种青砖茶中的主要化学成分、抗氧化活性和感官品质等,发现中茶108品种所制青砖茶的水浸出物含量、黄酮、茶多酚、氨基酸、咖啡碱、儿茶素总量、有机酸总量、儿茶素成分(除CG外)、奎宁酸和醇类化合物等较高;赤壁群体种所制青砖茶的没食子酸、酮类化合物等较高;楮叶齐品种所制青砖茶的可溶性糖、茶红素和醇类化合物等含量较高;丹桂品种所制青砖茶的可溶性糖、茶黄素和茶褐素、醛类和酮类化合物等含量较高;总抗氧化能力、抑制羟自由基能力和DPPH自由基清除率以中茶108所制青砖茶较高;相关性分析表明青砖茶茶汤的抗氧化活性主要与茶多酚、氨基酸、咖啡碱、儿茶素类化合物总量(EGCG等成分)、茶褐素以及有机酸总量(苹果酸等成分)具有较大的相关性;可溶性糖、反-2-癸烯醛、壬醛与感官评分呈极显著正相关,而没食子酸、3-甲基呋喃、苯乙酮和异佛尔酮等与感官评分呈极显著负相关。感官审评结果显示,该四个品种所制青砖茶的品质无显著性差异,均有较好的适制性。不同品种青砖茶在主要品质化学成分相对含量、抗氧化活性能力等方面存在差异,今后还需要建立不同品种青砖茶的全成分、功能、品质等的指纹图谱,对青砖茶品种培育有现实的指导意义。

### 参考文献

[1] 郑鹏程,龚自明,王胜鹏,等.青砖茶加工工艺及展望[J].中国茶叶加工,2017,2:46-49  
ZHENG Peng-cheng, GONG Zi-ming, WANG Sheng-peng, et al. Status and prospect of Qingzhuantea processing

technology [J]. China Tea Processing, 2017, 2: 46-49

[2] 刘淑媛,赵书青,倪德江,等.青砖茶不同超滤组分抑制 $\alpha$ -淀粉酶和脂肪酶活性研究[J].华中农业大学学报,2017,36(6): 99-104  
LIU Shu-yuan, ZHAO Shu-qing, NI De-jiang, et al. Ultra-filtrated liquors from water extract of Qingzhuana tea inhibiting activities of pancreatic  $\alpha$ -amylase and lipase in vitro [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2017, 36(6): 99-104

[3] Liu S, Yu Z, Zhu H, et al. In vitro  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity of isolated fractions from water extract of Qingzhuana dark tea [J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2016, 16(1): 378

[4] Yang X, Huang M, Qin C, et al. Structural characterization and evaluation of the antioxidant activities of polysaccharides extracted from Qingzhuana brick tea [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 101: 768-775

[5] Cheng Q, Cai S, Ni D, et al. In vitro antioxidant and pancreatic  $\alpha$ -amylase inhibitory activity of isolated fractions from water extract of Qingzhuana tea [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(2): 928-935

[6] 吕海鹏,张悦,杨婷,等.普洱茶滋味品质化学成分分析[J].食品与发酵工业,2016,42(2):178-183  
LV Hai-peng, ZHANG Yue, YANG Ting, et al. The main flavor compounds of Pu-erh tea [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(2): 178-183

[7] 吕海鹏,林智,张悦,等.不同等级普洱茶的化学成分及抗氧化活性比较[J].茶叶科学,2013,33(4):386-395  
LV Hai-peng, LIN Zhi, ZHANG Yue, et al. Comparison of chemical constituents and antioxidative activities among different grades of Pu-erh tea [J]. Journal of Tea Science, 2013, 33(4): 386-395

[8] 赵仁亮,胥伟,吴丹,等.不同地域边销茯砖茶感官特征及香气成分比较[J].现代食品科技,2017,33(10):217-224  
ZHAO Ren-liang, XU Wei, WU Dan, et al. Comparative on the sensory characteristics and aroma components of Fubrick tea for sale in border areas from different regions [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(10): 217-224

[9] 李伟,齐桂年,邹瑶,等.四川黑茶渥堆过程中感官品质的变化及影响因子研究[J].华南农业大学学报,2015,36(5):125-129  
LI Wei, QI Gui-nian, ZHOU Yao, et al. Changes and influencing factors of the organoleptic quality of Sichuan brick tea during post-fermentation [J]. Journal of South China Agricultural University, 2015, 36(5): 125-129

- [10] 陈玉琼.青砖茶主要品质成分分析及自由基清除作用研究[A].中国茶叶学会.中国茶叶科技创新与产业发展学术研讨会论文集[C]. 中国茶叶学会,2009: 6  
CHEN Yu-qiong. Study on the main components and capacities of scavenging free radicals of Qingzhuana tea [A]. China Tea Science Society. Chinese tea academic symposium on science and technology innovation and industry development [C]. China Tea Science Society: 2009: 6
- [11] Gao L, Bian M, Mi R, et al. Quality identification and evaluation of Pu-erh teas of different grade levels and various ages through sensory evaluation and instrumental analysis [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2016, 51(6): 1338-1348
- [12] Xu Y Q, Wang C, Li C W, et al. Characterization of aroma-active compounds of pu-erh tea by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) and simultaneous distillation-extraction (SDE) coupled with GC-olfactometry and GC-MS [J]. Food Analytical Methods, 2016, 9(5): 1188-1198
- [13] Lv S, Wu Y, Li C, et al. Comparative analysis of Pu-erh and Fuzhuan teas by fully automatic headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry and chemometric methods [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(8): 1810-1818
- [14] Xu J, Hu F L, Wang W, et al. Investigation on biochemical compositional changes during the microbial fermentation process of Fu brick tea by LC-MS based metabolomics [J]. Food Chemistry, 2015, 186: 176-184
- [15] 龚自明,郑鹏程,李传忠,等.不同低氟品种青砖茶适制性研究初报[J].湖北农业科学,2012,51(24):5690-5692,5712  
GONG Zi-ming, ZHENG Peng-cheng, LI Chuan-zhong, et al. Study on processing property of different low fluoride varieties for green brick tea [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(24): 5690-5692, 5712
- [16] 钟萝.茶叶品质理化分析[M].上海:上海科学技术出版社, 1989  
ZHONG Luo. Tea quality physical and chemical analysis [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1989
- [17] 刘盼盼,高士伟,郑鹏程,等.冲泡条件对恩施玉露绿茶茶汤品质的影响[J].食品工业科技,2016,37(20):138-144  
LIU Pan-pan, GAO Shi-wei, ZHENG Peng-cheng, et al. Effect of brewing conditions on quality of Enshi Yulu green tea infusion [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(20): 138-144
- [18] 刘盼盼,钟小玉,许勇泉,等.茶叶中有机酸及其浸出特性研究[J].茶叶科学,2013,33(5):405-410  
LIU Pan-pan, ZHONG Xiao-yu, XU Yong-quan, et al. Study on organic acids contents in tea leaves and its extracting characteristics [J]. Journal of Tea Science, 2013, 33(5): 405-410
- [19] 刘盼盼,郑鹏程,王胜鹏,等.青砖茶初制、渥堆过程中挥发性风味成分分析[J].食品与发酵工业,2017,12:176-183  
LIU Pan-pan, ZHENG Peng-cheng, WANG Sheng-peng, et al. Analysis of volatile flavor compounds in Qingzhuana tea during primary and pile fermentation process [J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 12: 176-183
- [20] 吴琼,刘奕,吴庆园,等.不同干燥方式对葛根全粉抗氧化性能和香气成分的影响[J].食品科学,2017,38(6):202-208  
WU Qiong, LIU Yi, WU Qing-yuan, et al. Effect of different drying methods on the antioxidant properties and aromatic composition of whole flour from Pueraria lobata roots [J]. Food Science, 2017, 38(6): 202-208
- [21] 吕海鹏,梁名志,张悦,等.特异茶树品种“紫娟”不同茶产品主要化学成分及其抗氧化活性分析[J].食品科学,2016,37(12):122-127  
LV Hai-peng, LIANG Ming-zhi, ZHANG Yue, et al. Major chemical components and antioxidant activity in tea infusion of tea products obtained from the special tea germplasm ‘Zijuan’ using different processing technologies [J]. Food Science, 2016, 37(12): 122-127
- [22] 吕海鹏,张悦,陈兴华,等.不同花色种类白茶的抗氧化活性及其主要品质化学成分分析[J].食品科学,2016,37(20):42-50  
LV Hai-peng, ZHANG Yue, CHEN Xing-hua, et al. Antioxidant activities and major chemical components in tea infusions of different kinds of white tea [J]. Food Science, 2016, 37(20): 42-50
- [23] Lee L S, Kim S H, Kim Y B, et al. Quantitative analysis of major constituents in green tea with different plucking periods and their antioxidant activity [J]. Molecules, 2014, 19(7): 9173-9186
- [24] Carloni P, Tiano L, Padella L, et al. Antioxidant activity of white, green and black tea obtained from the same tea cultivar [J]. Food Research International, 2013, 53(2): 900-908
- [25] 向丽敏,刘雅琼,赖幸菲,等.不同茶类陈年茶的生化成分分析及其抗氧化活性研究[J].现代食品科技,2018,34(4):1-7  
XIANG Li-min, LIU Ya-qiong, LAI Xing-fei, et al. Analysis of the chemical components and the antioxidant activities of different kinds of aged tea [J]. Modern Food Science and

- Technology, 2018, 34(4): 1-7
- [26] 刘盼盼,郑鹏程,龚自明,等.青砖茶的香气成分分析[J].食品科学,2017,38(8):164-170  
LIU Pan-pan, ZHENG Peng-cheng, GONG Zi-ming, et al. Analysis of aroma components in Qingzhuang dark tea [J]. Food Science, 2017, 38(8): 164-170
- [27] Xu Y Q, Liu P P, Shi J, et al. Quality development and main chemical components of Tieguanyin Oolong teas processed from different parts of fresh shoots [J]. Food Chemistry, 2018, 249: 176-183
- [28] XU Xiangqun, MO Haizhen, YAN Mingchao, et al. Analysis of characteristic aroma of fungal fermented Fuzhuan brick-tea by gas chromatography/mass spectrophotometry [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2007, 87(8): 1502-1504
- [29] 陆英,陈金华,钟晓红,等.不同年份茯砖茶的挥发性成分差异[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2016,42(2):186-192  
LU Ying, CHEN Jin-hua, ZHONG Xiao-hong, et al. Difference of volatile constituents of fuzhuan tea produced in different years [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2016, 42(2): 186-192
- [30] 颜鸿飞,王美玲,白秀芝,等.湖南茯砖茶香气成分的 SPME-GC-TOF-MS 分析[J].食品科学,2014,35(22):176-180  
YAN Hong-fei, WANG Mei-ling, BAI Xiu-zhi, et al. Analysis of aroma composition in Hunan Fuzhuan tea by solid-phase microextraction combined with gas chromatography-time of flight-mass spectrometry [J]. Food Science, 2014, 35(22): 176-180
- [31] LV Haipeng, ZHONG Qiusheng, LIN Zhi, et al. Aroma characterisation of Pu-erh tea using headspace-solid phase microextraction combined with GC/MS and GC-olfactometry [J]. Food Chemistry, 2012, 130(4): 1074-1081
- [32] DU Liping, WANG Chao, LI Jianxun, et al. Optimization of headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry for detecting methoxyphenolic compounds in Pu-erh tea [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(3): 561-568
- [33] 杨阳,刘振,杨培迪,等.8 个茶树品种的黑茶适制性研究[J].茶叶学报,2015,56(1):39-44  
YANG Yang, LIU Zhen, YANG Pei-di, et al. Studies on suitability of eight tea cultivars for dark tea manufacture [J]. Acta Tea Sinica, 2015, 56(1): 39-44