# 不同等级新九曲红梅茶的风味化学特征

郭　丽[1]，彭群华[1]，赵　锋[1]，卢红渭[2]，包兴伟[2]，林　智[1,*]
（1.中国农业科学院茶叶研究所，浙江 杭州　310008；2.杭州九曲红梅茶业有限公司，浙江 杭州　310021）

**摘　要：**新工艺九曲红梅茶的风味品质优于传统制法，但其风味化学特征尚未明晰。本研究以不同等级新九曲红梅茶和传统九曲红梅茶为材料，采用国标法评定茶样感官品质，测定其水浸出物、茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱、茶黄素、茶红素和茶褐素等非挥发性成分的含量，利用气相色谱-质谱法分析茶样中挥发性成分的构成及含量。结果表明，新九曲红梅茶滋味甘醇，香气高鲜、较甜，游离氨基酸和咖啡碱含量较传统九曲红梅茶低，游离氨基酸、茶黄素、茶红素与茶褐素是滋味产生等级差异的关键化合物。九曲红梅茶鉴定到39 种挥发性化合物，含量较高的主要有香叶醇、芳樟醇、苯乙醇、苯甲醇、苯甲醛、苯乙醛、反,反-2,4-庚二烯醛、β-紫罗酮、水杨酸甲酯、顺-己酸-3-己烯酯和香叶酸，新九曲红梅茶等级下降，香叶醇、橙花醇、苯乙醛、壬醛、3,5-辛二烯-2-酮、3-辛烯-2-酮和反-β-罗勒烯等相对含量随之减少，而苯甲醇、顺-橙花叔醇、脱氢芳樟醇、反-氧化芳樟醇IV、β-环柠檬醛、癸醛、反-2-己烯醛、顺-茉莉酮、二氢猕猴桃内酯等相对含量随之增加。因此，利用通氧发酵技术加工新九曲红梅茶，还要做到因料制茶。

**关键词：**红茶；九曲红梅茶；感官品质；香气；滋味；气相色谱-质谱

## Flavor Chemistry Characteristics of New Jiuqu Hongmei Tea of Different Grade Levels

GUO Li[1], PENG Qunhua[1], ZHAO Feng[1], LU Hongwei, BAO Xingwei[2], LIN Zhi[1,*]
(1. Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou　310008, China;
2. Hangzhou Jiuqu Hongmei Tea Co. Ltd., Hangzhou　310021, China)

**Abstract:** The flavor quality of Jiuqu Hongmei tea processed by a new technology has been demonstrated to be better than that of the one processed by the traditional procedure, but the flavor chemistry characteristics of the new product are not clear yet. In this study, new Jiuqu Hongmei tea samples of different quality grades and traditional Jiuqu Hongmei tea samples were prepared for sensory evaluation following the national standard of China and for measurement of the contents of non-volatile compounds such as water extract, tea polyphenols, free amino acids, caffeine, theaflavins, thearubigins and theabrownins. Also, we analyzed the volatile composition by gas chromatography and mass spectrometry (GC-MS). The results showed that the new tea had a sweet and mellow taste and a high and fresh aroma and it contained less free amino acids and caffeine than the traditional one. Free amino acids, theaflavins, thearubigins and theabrownins were found to be the key taste compounds to differentiate different grades of Jiuqu Hongmei tea. A total of 39 volatile compounds were identified from Jiuqu Hongmei tea, among which dominant were geraniol, linalool, phenylethyl alcohol, benzyl alcohol, benzene acetaldehyde, benzaldehyde, *trans*,*trans*-2,4-heptadienal, β-ionone, methyl salicylate, *cis*-hexanoic acid, 3-hexenyl ester and geranic acid. As the quality grade of new Jiuqu Hongmei tea dropped, the contents of geraniol, nerol, benzene acetaldehyde, nonanal, 3,5-octadien-2-one, 3-octen-2-one and *trans*-β-ocimene were decreased while the contents of benzyl alcohol, nerolidol, hotrienol, *trans*-linalol oxide IV, β-cyclocitral, decanal, *trans*-2-hexenal, *cis*-jasmone and dihydro actinidiolide were increased. Therefore, Jiuqu Hongmei tea of different quality grades should be manufactured by the new technology of oxygen-supply fermentation according to the characteristics of raw materials.

**Keywords:** black tea; Jiuqu Hongmei tea; sensory quality; aroma; taste; gas chromatography-mass spectrometry
DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200210-073
中图分类号：TS571.1　　文献标志码：A　　文章编号：1002-6630（2021）04-0215-06

收稿日期：2020-02-10
基金项目：现代农业（茶叶）产业技术体系建设专项（CARS-19）；
中国农业科学院科技创新工程项目（CAAS-ASTIP-2014-TRICAAS）

第一作者简介：郭丽（1981—）（ORCID: 0000-0003-4591-110X），女，高级农艺师，硕士，主要从事茶叶加工与品质控制研究。E-mail: guoli@tricaas.com
*通信作者简介：林智（1965—）（ORCID: 0000-0001-5976-1806），男，研究员，博士，主要从事茶叶加工、茶叶化学与茶叶新产品研究。E-mail: linz@tricaas.com

引文格式：
郭丽, 彭群华, 赵锋, 等. 不同等级新九曲红梅茶的风味化学特征[J]. 食品科学, 2021, 42(4): 215-220. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200210-073. http://www.spkx.net.cn
GUO Li, PENG Qunhua, ZHAO Feng, et al. Flavor chemistry characteristics of new Jiuqu Hongmei tea of different grade levels[J]. Food Science, 2021, 42(4): 215-220. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200210-073. http://www.spkx.net.cn

九曲红梅茶，又名九曲乌龙、九曲红、红梅茶，属工夫红茶类。产自杭州市西湖风景区，被誉为浙江传统名茶中的“一点红”[1-2]。“日晒气”是九曲红梅传统制作过程中时常出现的一种令人不悦的气味[3]，不符合目前市场对红茶品质特征的要求，为此，中国农业科学院茶叶研究所组织相关人员对九曲红梅茶的加工工艺进行了系统改进[4]。与国内名优红茶相比，九曲红梅茶不但具有较优的感官品质，而且还富含芳樟醇和橙花醇[5]，从这个角度可与福建、广西产区的红茶归为一类。九曲红梅茶中的黄酮醇及其苷类化合物的组成及含量却与坦洋工夫、桂红工夫相似[6]。茶树品种、产地、加工工艺等都会影响红茶质量水平[7-10]，并且等级不同的红茶，风味品质的差异较大[11-12]。

目前，茶叶市场销售的九曲红梅茶主要有传统九曲红梅茶（红茶）、新九曲红梅茶（红茶）以及由桂花窨制而成的九曲红梅茶（花茶）等，其中传统九曲红梅茶与新九曲红梅茶的加工工艺差别在于发酵技术：前者采用少氧或厌氧方式发酵，后者采用通氧方式发酵，因而二者的感官品质有所不同。至今有关九曲红梅茶的呈香呈味特征研究鲜有报道，带有花香的新九曲红梅茶的风味化学特征研究也尚鲜见报道。本研究以具有代表性的新九曲红梅茶和传统工艺九曲红梅茶（对照）为实验材料，分析茶样的感官品质和风味组分，研究九曲红梅茶的风味化学特征及其等级差异，探析滋味和香气成分与其感官品质的关联性，以期为建立九曲红梅茶的智能化评价体系提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

制备特级九曲红梅茶、一级九曲红梅茶和二级九曲红梅茶以及传统九曲红梅茶样。所用鲜叶按一芽一叶标准和一芽一二叶标准采摘鸠坑种的茶树新梢（浙江省杭州市西湖区），其中特级九曲红梅茶和传统九曲红梅茶的原料为一芽一叶，一级九曲红梅茶和二级九曲红梅茶的原料均为一芽一二叶。特级、一级、二级的新九曲红梅茶按相同工艺加工成茶，所用工艺：鲜叶-萎凋-揉捻-发酵（在发酵筐中自然发酵，2 次翻拌）-干燥；传统九曲红梅茶的加工工艺：鲜叶-萎凋-揉捻-发酵（密封塑料袋中发酵，不翻拌）-干燥，制备好的茶样在−20 ℃贮存、待测。

### 1.2 仪器与设备

7890A-5975C气相色谱-质谱仪 美国Agilent公司；DB-5MS色谱柱（30 m×0.25 mm，0.25 μm）、50/30 μm DVB/CAR/PDMS涂层纤维 美国Supelco公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 茶叶感官审评

参考GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》评定茶叶品质，即5 名高级评茶员（2 女，3 男）采用评语和评分相结合的方式对茶样进行感官品质评定，总分为100 分，其中外形、汤色、香气、滋味与叶底得分分别占25%、10%、25%、30%和10%。

#### 1.3.2 茶叶滋味成分分析

茶叶中滋味成分委托农业农村部茶叶质量监督检验测试中心检测，其中水浸出物、茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱等分别按GB/T 8305—2013《茶 水浸出物测定》、GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》、GB/T 8314—2013《茶 游离氨基酸总量的测定》和GB/T 8312—2013《茶 咖啡碱测定》测试，茶黄素、茶红素和茶褐素采用茶黄素、茶红素和茶褐素的系统分析法分析[13]。

#### 1.3.3 茶叶香气成分分析

香气成分的提取：采用顶空-固相微萃取富集香气成分[14]，略作改动。将1 g样品置于250 mL顶空萃取瓶，加入10.0 mL沸水冲泡，60 ℃水浴平衡5.0 min，然后插入装有DVB/CAR/PDMS萃取头（采样前在气相色谱-质谱进样口250 ℃老化30 min）的手动固相微萃取手柄，60 ℃水浴萃取60 min后立即插入气相色谱-质谱进样口进行解吸附。

气相色谱条件：DB-5MS色谱柱（30 m×0.25 mm，0.25 μm）；进样口及传输线温度280 ℃和270 ℃；载气：氦气；不分流进样。升温程序：60 ℃保持3.0 min，以4.0 ℃/min升至280 ℃，保持2.5 min；分析时间60.5 min。

质谱条件：电子电离源；电离能量70 eV；质量扫描范围33～600 u；离子源温度220 ℃。

定性定量分析：根据NIST数据库提供的化合物鉴定信息和相关文献报道，先对茶样中的挥发性成分进行定性，再采用面积归一法对各香气组分进行定量。

1.4 数据处理

采用Excel软件进行数据处理，每个品质成分含量以平均值表示（3 次重复）；采用软件SPSS 21.0对滋味成分进行统计分析，利用软件MEV4.9绘制热图，以比较风味成分差异。

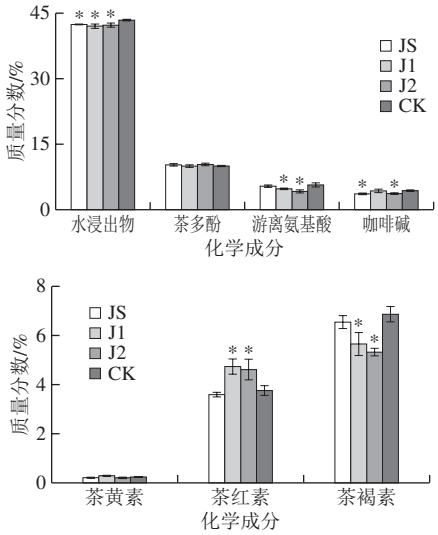
## 2 结果与分析

2.1 九曲红梅茶的感官品质分析

新工艺九曲红梅茶（以下简称新九曲红梅茶）的感官品质未出现“日晒味”，但与传统工艺九曲红梅茶（以下简称传统九曲红梅茶）有所不同，且存在着等级间差异（表1）。从外形上看，紧结、卷曲是九曲红梅茶的典型外貌特征，级别越高，条索越细越紧，匀整度越好，外形得分越高。但仅特级九曲红梅茶的外形品质超过对照；新九曲红梅茶的汤色明亮、呈橙红色，级别间的差异不明显，但汤色质量均高于对照；新九曲红梅茶的香气整体表现为高鲜带甜的特征，其中一级和二级的九曲红梅茶样带有花香，而传统九曲红梅茶香气中有轻微酵气；滋味表现为鲜爽甘醇，口感顺滑，但浓度均高于对照；叶底红亮、细嫩，呈现级别越高，嫩度越高的趋势。一级和二级九曲红梅茶的总分接近，说明二者的综合品质相当，可归为同一档次。特级九曲红梅茶的综合品质最佳，优于传统九曲红梅茶。由此可见，新九曲红梅茶感官品质的等级分类依据主要是原料嫩度不同。

2.2 九曲红梅茶的主要滋味成分分析

如图1所示，水浸出物、游离氨基酸、咖啡碱在二级新九曲红梅茶与传统九曲红梅茶间的差异均达到显著水平（$P<0.05$）。与传统九曲红梅茶比较，新九曲红梅茶中游离氨基酸和咖啡碱含量明显降低，最大降幅分别达到26.8%和13.5%；而茶多酚含量略高，因而新九曲红梅茶的酚氨比值较高。新九曲红梅中茶褐素质量分数均值为5.8%，较传统九曲红梅茶低了15.5%。不同等级新九曲红梅茶的水浸出物和茶多酚含量相近，游离氨基酸和茶褐素含量随等级降低而减少，而咖啡碱、茶黄素和茶红素含量较为丰富的是一级九曲红梅茶。新九曲红梅茶中茶红素与茶黄素比值在15.7～23.0，且随茶叶等级的下降而增大。由此可知，致使新九曲红梅茶滋味产生等级差异的主要成分为游离氨基酸、茶黄素、茶红素与茶褐素。




*.与CK差异显著（$P<0.05$）。

**图1 九曲红梅茶中的滋味化学成分**

**Fig. 1 Flavor components of Jiuqu Hongmei tea**

2.3 九曲红梅茶的香气成分分析

2.3.1 九曲红梅茶的香气组分构成及含量

九曲红梅茶中鉴定出39 个挥发性成分（表2），包括12 个醇类、12 个醛类、8 个酮类、5 个酯类、1 个烃类和1 个酸类化合物。由表2、图2可知，新九曲红梅茶中醇类化合物的数量与醛类化合物相同，但占比较高，是醛类等其他化合物的2～100 倍；醛类化合物含量较酯类化合物高10%，且其与酮类化合物的比值略高于传统九曲红梅茶；酮类化合物相对含量在9.5%～10.0%，均值比酯类化合物低40%；碳氢类、酸类化合物的含量较低，不及挥发性组分总量的5%。新九曲红梅茶中醇类化合物相对含量比传统九曲红梅茶高3.2%，而酯类化合物相对含量却较其低5.4%。并且传统九曲红梅茶的酯类化合物相对含量较醛类化合物高35.5%。据此可见新九曲红梅茶的香气组分与传统九曲红梅茶存在明显差异。

**表1 不同等级九曲红梅茶的感官品质**

**Table 1 Sensory qualities of Jiuqu Hongmei tea of different grades**

| 样品 | 外形 | | 汤色 | | 香气 | | 滋味 | | 叶底 | | 总分 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 评语 | 评分 | 评语 | 评分 | 评语 | 评分 | 评语 | 评分 | 评语 | 评分 | |
| JS | 细紧、略卷曲、显锋苗、略有金毫、尚乌润 | 91 | 橙红、明亮 | 90 | 较高鲜、甜 | 92 | 甘醇、鲜爽 | 93 | 细嫩多芽、匀齐、红艳明亮 | 92 | 91.9 |
| J1 | 紧结、微卷曲、较匀齐、较乌 | 88 | 橙红、明亮 | 91 | 较高鲜、较甜、微有花香 | 91 | 较甘醇、尚鲜 | 92 | 嫩、较匀齐、较红亮 | 90 | 90.4 |
| J2 | 较紧结、微卷曲、尚匀齐、较乌稍泛红棕 | 85 | 橙红、明亮 | 91 | 较高鲜、较甜、有花香 | 92 | 尚甘醇、尚鲜 | 90 | 较嫩匀、尚红 | 88 | 89.1 |
| CK | 紧结、勾曲、有锋苗、微有毫、乌润 | 89 | 较红、明亮 | 90 | 较高甜、有发酵气 | 88 | 平和 | 88 | 嫩、尚匀齐、尚红稍暗 | 87 | 88.4 |

注：JS、J1、J2和CK分别指特级九曲红梅茶、一级九曲红梅茶、二级九曲红梅茶和传统九曲红梅茶，下同。

表 2　不同等级茶样中的挥发性成分

Table 2　Contents of volatile compounds in Jiuqu Hongmei tea

| 种类 | 挥发性成分 | 分子式 | 相对含量/% | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | JS | J1 | J2 | CK |
| 醇类 | 香叶醇 | $C_{10}H_{18}O$ | 28.77 | 24.34 | 21.44 | 21.64 |
| | 芳樟醇 | $C_{10}H_{18}O$ | 5.57 | 7.27 | 5.33 | 6.65 |
| | 苯乙醇 | $C_8H_{10}O$ | 4.22 | 4.00 | 4.17 | 4.41 |
| | 苯甲醇 | $C_7H_8O$ | 2.22 | 3.27 | 3.35 | 4.39 |
| | 橙花醇 | $C_{10}H_{18}O$ | 0.74 | 0.70 | 0.65 | 0.89 |
| | 1-辛烯-3-醇 | $C_8H_{16}O$ | 0.48 | 0.47 | 0.50 | 0.57 |
| | 顺-橙花叔醇 | $C_{15}H_{26}O$ | 1.67 | 2.05 | 3.08 | 2.46 |
| | 顺-氧化芳樟醇II | $C_{10}H_{18}O_2$ | 1.67 | 2.19 | 2.07 | 3.84 |
| | 脱氢芳樟醇 | $C_{10}H_{16}O$ | 1.24 | 1.83 | 2.96 | 1.35 |
| | 反-氧化芳樟醇IV | $C_{10}H_{18}O_2$ | 0.72 | 1.36 | 1.50 | 1.83 |
| | 3-己烯-1-醇 | $C_6H_{12}O$ | 0.57 | 0.80 | 0.74 | 0.71 |
| | 反-氧化芳樟醇I | $C_{10}H_{18}O_2$ | 0.42 | 0.72 | 0.63 | 1.12 |
| 醛类 | 苯乙醛 | $C_8H_8O$ | 2.95 | 2.40 | 2.26 | 3.52 |
| | 苯甲醛 | $C_7H_6O$ | 4.25 | 3.54 | 4.53 | 5.90 |
| | 顺-柠檬醛 | $C_{10}H_{16}O$ | 0.47 | 0.39 | 0.55 | 0.63 |
| | β-环柠檬醛 | $C_{10}H_{16}O$ | 0.53 | 0.75 | 0.81 | 0.81 |
| | 壬醛 | $C_9H_{18}O$ | 0.77 | 0.62 | 0.60 | 0.62 |
| | 正己醛 | $C_6H_{12}O$ | 1.16 | 1.05 | 1.17 | 1.00 |
| | 反,反-2,4-庚二烯醛 | $C_7H_{10}O$ | 2.51 | 2.20 | 2.41 | 1.68 |
| | 癸醛 | $C_{10}H_{20}O$ | 0.50 | 0.52 | 0.54 | 0.55 |
| | 反-2-辛烯醛 | $C_8H_{14}O$ | 0.67 | 0.64 | 0.76 | 0.47 |
| | 反-柠檬醛 | $C_{10}H_{16}O$ | 1.84 | 1.52 | 1.65 | 1.80 |
| | 反-2-己烯醛 | $C_6H_{10}O$ | 1.06 | 1.15 | 1.50 | 1.83 |
| | 2-甲基丁醛 | $C_5H_{10}O$ | 0.73 | 0.56 | 0.56 | 0.63 |
| 酮类 | β-紫罗酮 | $C_{13}H_{20}O$ | 2.67 | 2.49 | 2.71 | 3.31 |
| | 顺-茉莉酮 | $C_{11}H_{16}O$ | 1.21 | 1.89 | 2.01 | 1.23 |
| | 2,3-环氧-β-紫罗酮 | $C_{13}H_{20}O_2$ | 0.63 | 0.59 | 0.64 | 0.69 |
| | 3,5-辛二烯-2-酮 | $C_8H_{12}O$ | 1.96 | 1.82 | 1.46 | 1.27 |
| | 香叶基丙酮 | $C_{13}H_{22}O$ | 1.19 | 0.97 | 1.14 | 1.39 |
| | 3-辛烯-2-酮 | $C_8H_{14}O$ | 1.07 | 0.49 | 0.41 | 0.32 |
| | 6-甲基-5-庚烯-2-酮 | $C_8H_{14}O$ | 0.75 | 0.75 | 0.70 | 0.83 |
| | α-紫罗酮 | $C_{13}H_{20}O$ | 0.52 | 0.48 | 0.70 | 0.83 |
| 酯类 | 水杨酸甲酯 | $C_8H_8O_3$ | 15.40 | 17.50 | 17.39 | 13.70 |
| | 二氢猕猴桃内酯 | $C_{11}H_{16}O_2$ | 0.62 | 0.64 | 0.71 | 0.99 |
| | 顺-己酸-3-己烯酯 | $C_{12}H_{22}O_2$ | 2.29 | 2.26 | 3.22 | 1.51 |
| | 顺-3-己烯异戊酸酯 | $C_{11}H_{20}O_2$ | 1.49 | 1.65 | 1.19 | 0.78 |
| | 反-己酸-2-己烯酯 | $C_{12}H_{22}O_2$ | 0.71 | 0.63 | 0.99 | 0.57 |
| 烃类 | 反-β-罗勒烯 | $C_{10}H_{16}$ | 0.80 | 0.74 | 0.35 | 0.47 |
| 酸类 | 香叶酸 | $C_{10}H_{16}O_2$ | 2.12 | 1.68 | 1.68 | 2.20 |
| 其他 | | — | 0.84 | 1.08 | 0.94 | 0.43 |

注：—.未检出。

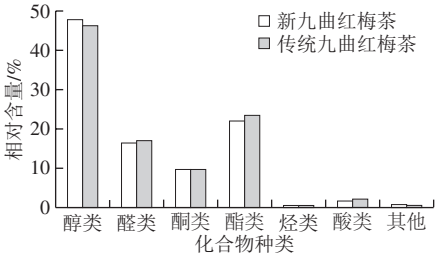



图 2　九曲红梅茶的主要香气组分

Fig. 2　Main classes of volatile components in Jiuqu Hongmei teas manufactured by the new and traditional processes

2.3.2　不同等级九曲红梅茶的香气成分比较

醇类化合物主要为萜类化合物、苯丙氨酸和脂肪酸代谢产物，其中相对含量较高的醇类化合物有香叶醇、芳樟醇、苯乙醇、苯甲醇、顺-橙花叔醇、顺-氧化芳樟醇II、脱氢芳樟醇等（表2）。香叶醇和脱氢芳樟醇在新九曲红梅茶中的相对含量较高，分别比传统九曲红梅茶高14.9%和48.9%，而其他醇类化合物的含量则以传统九曲红梅茶为高。对比新九曲红梅茶与传统九曲红梅茶中醇类化合物含量差异，不难发现苯甲醇和顺-氧化芳樟醇II是差异较明显的组分。从图3可以看出，九曲红梅特级茶样中只有香叶醇、苯乙醇和橙花醇含量高于一级和二级茶样，而一级茶样中香叶醇、芳樟醇、橙花醇、顺-氧化芳樟醇II、3-己烯-1-醇和反-氧化芳樟醇I的含量均高于二级茶样。

醛类化合物主要源自苯丙氨酸、脂肪酸、氨基酸等代谢途径，其中含量较高的是苯乙醛和苯甲醛，其次是反,反-2,4-庚二烯醛，最低的是癸醛；新九曲红梅茶中壬醛、正己醛、反,反-2,4-庚二烯醛、癸醛、反-2-辛烯醛、反-2-己烯醛等脂肪酸代谢产物含量占醛类化合物总量的40.0%，与苯丙氨酸的代谢产物相近；其中壬醛、正己醛、反,反-2,4-庚二烯醛、反-2-辛烯醛含量较传统九曲红梅茶高6.5%～31.9%。顺-柠檬醛和β-环柠檬醛相对含量低于0.1%（表2）。从图3可看出，苯乙醛、壬醛和2-甲基丁醛含量随等级下降而降低，β-环柠檬醛、癸醛和反-2-己烯醛含量随等级下降而上升，其他醛类含量在一级九曲红梅茶中较低。

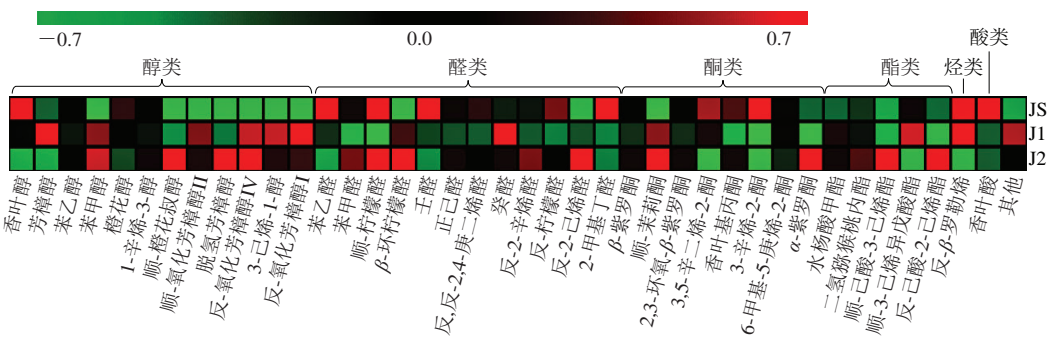



图 3　不同等级九曲红梅茶的香气成分

Fig. 3　Comparison of volatile compounds in Jiuqu Hongmei teas of different quality grades

酮类化合物以类胡萝卜素降解产物最多，如α-紫罗酮、β-紫罗酮和2,3-环氧-β-紫罗酮，其中β-紫罗酮是相对含量最高的酮类化合物，而α-紫罗酮和2,3-环氧-β-紫罗酮相对含量均低于1%；顺-茉莉酮、3-辛烯-2-酮和3,5-辛二烯-2-酮源自脂肪酸代谢途径，其中顺-茉莉酮、3,5-辛二烯-2-酮是含量较高的酮类化合物，3,5-辛二烯-2-酮相对含量以新九曲红梅茶较高（表2）。从图3可以看出，顺-茉莉酮含量随等级下降而增加，3-辛烯-2-酮、3,5-辛二烯-2-酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮含量随等级下降呈减少的趋势；α-紫罗酮、β-紫罗酮和2,3-环氧-β-紫罗酮含量在一级九曲红梅茶中较低。

酯类化合物占香气组分总量的17.6%～22.7%，所含组分除水杨酸甲酯和二氢猕猴桃内酯外，其他均是脂肪酸的代谢产物，且含量较高的是顺-己酸-3-己烯酯。比较发现，新九曲红梅茶中顺-己酸-3-己烯酯、顺-3-己烯异戊酸酯和反-己酸-2-己烯酯的相对含量高于传统九曲红梅茶。水杨酸甲酯具有明显的冬青油香气，是新九曲红梅茶含量最多的酯类化合物，相对含量在15.40%～17.50%，占酯类化合物总量的75.4%。图3显示二级九曲红梅茶的酯类化合物含量较高，如水杨酸甲酯、二氢猕猴桃内酯、顺-己酸-3-己烯酯和反-己酸-2-己烯酯等。

九曲红梅茶中检测到烃类和酸类化合物各有1 种，分别为反-β-罗勒烯和香叶酸。反-β-罗勒烯的相对含量低于1%，在新九曲红梅茶中的相对含量均值略高于传统九曲红梅茶；九曲红梅茶中香叶酸相对含量为1.68%～2.20%，但新九曲红梅茶中香叶酸均值较传统九曲红梅茶低20.0%。从图3可以看出特级九曲红梅茶的反-β-罗勒烯和香叶酸含量明显高于一级九曲红梅茶，但香叶酸在一级和二级九曲红梅茶中的含量相近。

## 3 讨 论

### 3.1 九曲红梅茶的风味品质特征

九曲红梅茶是由中小叶种茶树鲜叶制成的工夫红茶，条索纤细而紧结，甜香显或有花香，味甘醇爽，这与其行业标准的品质要求基本一致[2]，但汤色与工夫红茶的国家标准不同[15]，即其茶汤呈橙红色，而不是红色。不同等级的九曲红梅茶品质虽有差异，但一级茶与特级茶、二级茶的总分差值均小于2 分，说明此红茶等级的划分不是以综合品质为主要评定依据，而是取决于原料嫩度。从茶叶品质评价角度看，这种茶叶质量的分类方法更直接，消费者也更容易辨识质量优劣。特级九曲红梅茶的香气较鲜甜，花香却不突出；一级和二级九曲红梅茶的香气都带有花香，但花香在茶汤滋味中体现不明显。相较而言，传统九曲红梅茶的香气带有酵气，且茶汤浓度欠佳，由此可见，新九曲红梅茶与传统九曲红梅茶风味品质差异主要是由制茶工艺不同引起的[4]，主要在发酵工序。红茶加工中通氧可提高发酵叶温度，加快发酵进程，并且成茶品质与自然发酵的相当[16-17]。鉴于此，建议加工九曲红梅茶时采用自然发酵或通氧方式发酵，而不用缺氧或贫氧方式进行发酵，进而避免产生不良风味品质。

### 3.2 九曲红梅茶的呈味成分特征

工夫红茶品质的形成与茶树品种、茶树栽培管理、采摘季节、芽叶嫩度、制茶工艺等密切相关[18-20]。新九曲红梅茶水浸出物含量略低于传统九曲红梅茶，与仇方方等[19]的研究结果趋于一致；茶多酚的保留量在9.9%～10.3%，与游离氨基酸的比值均高于传统九曲红梅茶，因而新九曲红梅茶的茶汤浓度较高，不会出现滋味平淡或平和等现象。相比传统的广西工夫红茶，采用新工艺制成的九曲红梅茶中茶黄素、茶红素和茶褐素含量较低[9]，汤色与福建工夫红茶相近[21]，表现为明亮的橙红色或琥珀色，可达到中小叶种红茶汤色品质的优良水平。

### 3.3 九曲红梅茶的呈香成分特征

九曲红梅茶的香气特征以甜香为主，不带异常气味（表1）。其呈香组分中醇类化合物最丰富，包含芳樟醇和橙花醇。按红茶的分类方法[5,22]，新九曲红梅茶也归属第2 种类型（含有芳樟醇和橙花醇）。本研究从九曲红梅茶中发现3 种构型氧化芳樟醇：反-氧化芳樟醇IV、反-氧化芳樟醇I和顺-氧化芳樟醇III。但Zhu Yin等[23]发现了4 种构型的氧化芳樟醇，主因所用的色谱柱不同[24]。香叶醇与芳樟醇互为异构体，同为工夫红茶的关键呈香成分[25]，也是九曲红梅茶中含量最高的挥发性成分，这与伊鹏等[26]的研究结果一致。

醛类化合物是中小叶种工夫红茶中重要的挥发性组分，苯甲醛和苯乙醛是九曲红梅茶含量较高的醛类。苯乙醛含量随其等级的下降而减少，这与任洪涛等[27]的研究结果相反，可能是茶树品种等的差异引起的。具有似玫瑰香气的壬醛在新九曲红梅茶中的含量较高，从而有助于花香品质的形成。反,反-2,4-庚二烯醛是脂肪酸氧化降解产物，具有油脂气味、脂肪香，含量随滇红等级的上升而下降[27-28]；新九曲红梅茶中的反,反-2,4-庚二烯醛含量较传统九曲红梅茶高，说明其含量可能受加工工艺的影响。反-2-己烯醛呈浓郁的新鲜水果香气，与反,反-2,4-庚二烯醛均为工夫红茶的关键香气物质[29]，因而对九曲红梅茶花香、甜香的形成起着重要作用。

九曲红梅茶与花香红茶的酮类化合物种类相似[30]，均以β-紫罗酮含量最高，但九曲红梅茶中未检测到β-大马司酮，可能与其所用茶鲜叶原料有关。水杨酸甲酯又名冬青油，具有冬青味、薄荷香，是大吉岭红茶、祁门红

茶、阿萨姆红茶和锡兰红茶等的主要呈香成分[31]，也是九曲红梅茶的主要香气成分，含量仅次于香叶醇，但其对香气特征的贡献力有待进一步探讨。

## 4 结 论

采用通氧发酵技术加工新九曲红梅茶，呈现出鲜醇、香甜的风味特征，与传统九曲红梅茶的滋味差异主要源于游离氨基酸、茶黄素、茶红素和茶褐素含量及配比不同。九曲红梅茶中的主要挥发性成分为香叶醇、芳樟醇、苯乙醇、苯甲醇、苯甲醛、苯乙醛、反,反-2,4-庚二烯醛、β-紫罗酮、水杨酸甲酯、顺-己酸-3-己烯酯和香叶酸等。并且不同挥发性成分的含量与茶叶等级有关，如香叶醇、橙花醇、苯乙醛、壬醛、3,5-辛二烯-2-酮、3-辛烯-2-酮和反-β-罗勒烯等随新九曲红梅茶等级下降相对含量减少，而苯甲醇、顺-橙花叔醇、脱氢芳樟醇、反-氧化芳樟醇IV、β-环柠檬醛、癸醛、反-2-己烯醛、顺-茉莉酮、二氢猕猴桃内酯等则随其等级下降相对含量增加。

## 参考文献：


[1] 尹军峰, 官少辉. 九曲红梅茶产业调研[J]. 中国茶叶, 2016(3): 6-8. DOI:10.3969/j.issn.1000-3150.2016.03.002.

[2] 全国茶叶标准化技术委员会. 九曲红梅茶: GH/T 1116—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 1-7.

[3] MAO S H, LU C Q, LI M F, et al. Identification of key aromatic compounds in Congou black tea by partial least-square regression with variable importance of projection scores and gas chromatography-mass spectrometry/gas chromatography-olfactometry[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(14): 5278-5286. DOI:10.1002/jsfa.9066.

[4] 彭群华, 郭丽, 林智, 等. 加工工艺对九曲红梅茶品质的影响研究[J]. 中国茶叶, 2015(2): 14-15. DOI:10.3969/j.issn.1000-3150.2015.02.006.

[5] 王秋霜, 陈栋, 许勇泉, 等. 中国名优红茶香气成分的比较研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(1): 195-200. DOI:10.16429/j.1009-7848.2013.01.030.

[6] 叶小辉, 赵峰, 何丽梅, 等. 红茶主要多酚类化合物的HPLC分析[J]. 福建茶叶, 2014, 36(6): 18-23. DOI:10.3969/j.issn.1005-2291.2014.06.007.

[7] 王燕, 邱岚. 不同茶树品种制云南工夫红茶品质特点比较分析[J]. 现代农业科技, 2017(22): 242; 250. DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2017.22.135.

[8] 易晓芹, 周原也, 贺麟, 等. 不同产地红茶主要品质成分分析[J]. 茶叶通讯, 2017, 44(2): 30-33. DOI:10.3969/j.issn.1009-525X.2017.02.006.

[9] 李永菊. 不同工艺对红茶品质的影响[J]. 茶叶科学技术, 2009(3): 20-22. DOI:10.3969/j.issn.1673-0658.2017.05.015.

[10] 王伟伟, 施莉婷, 苏威, 等. 不同嫩度鲜叶加工工夫红茶对品质和内含成分的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(9): 133-138. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2018.09.023.

[11] 潘玉成, 叶乃兴, 潘玉华, 等. 人工神经网络在坦洋工夫红茶感官品质评定中的应用研究[J]. 茶叶科学, 2015, 35(5): 465-472. DOI:10.3969/j.issn.1000-369X.2015.05.013.

[12] ALASALVAR C, TOPAL B, SERPEN A, et al. Flavor characteristics of seven grades of black tea produced in Turkey[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(25): 6323-6332. DOI:10.1021/jf301498p.

[13] 程启坤. 红茶色素的系统分析法[J]. 中国茶叶, 1981(1): 17.

[14] SHI J, WANG L, MA C Y, et al. Aroma changes of black tea prepared from methyl jasmonate treated tea plants[J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2014, 15(4): 313-321. DOI:10.1631/jzus.B1300238.

[15] 全国茶叶标准化技术委员会. 红茶 第2部分: 工夫红茶: GB/T 13738.2—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-5.

[16] 潘科, 沈强, 申东, 等. 红茶通氧发酵过程中发酵叶相变化分析[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 198-201. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201415040.

[17] 潘科, 冯林, 陈娟, 等. HS-SPME-GC-MS联用法分析不同通氧发酵加工工艺红茶香气成分[J]. 食品科学, 2015, 36(8): 181-186. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201508033.

[18] OWUOR P O, OBANDA M, NYIRENDA H E, et al. Influence of region of production on clonal black tea chemical characteristics[J]. Food Chemistry, 2008, 108(1): 263-271. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.09.017.

[19] 仇方方, 曾维超, 曲凤凤, 等. 提香方式对工夫红茶品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(11): 82-87. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180515-211.

[20] YENER S, SÁNCHEZ-LÓPEZ J A, GRANITTO P M, et al. Rapid and direct volatile compound profiling of black and green teas (*Camellia sinensis*) from different countries with PTR-ToF-MS[J]. Talanta, 2016, 152: 45-53. DOI:10.1016/j.talanta.2016.01.050.

[21] 李晓静, 游芳宁, 李磊磊, 等. 不同工艺不同品种坦洋工夫红茶品质的比较[J]. 食品工业科技, 2018, 39(19): 27-33. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.19.005.

[22] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学简报, 1986(2): 35-37.

[23] ZHU Y, SHAO C Y, LV H P, et al. Enantiomeric and quantitative analysis of volatile terpenoids in different teas (*Camellia sinensis*)[J]. Journal of Chromatography A, 2017, 1490: 177-190. DOI:10.1016/j.chroma.2017.02.013.

[24] 乔阳, 杜丽平, 肖冬光. 不同极性色谱柱在滇红香气成分分析中的对比研究[J]. 茶叶科学, 2016, 6(1): 38-44. DOI:10.13305/j.cnki.jts.2016.01.005.

[25] 肖作兵, 王红玲, 牛云蔚, 等. 基于OAV和AEDA对工夫红茶的PLSR分析[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 242-249. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201810037.

[26] 尹鹏, 王子浩, 刘盼盼, 等. 信阳红茶香气成分分析[J]. 食品工业, 2019, 40(3): 287-291.

[27] 任洪涛, 周斌, 夏凯国, 等. 不同级别云南工夫红茶香气成分比较分析[J]. 南方农业学报, 2012, 43(4): 489-492. DOI:10.3969/j:issn.2095-1191.2012.04.489.

[28] PANG X L, QIN Z H, ZHAO L, et al. Development of regression model to differentiate quality of black tea (Dianhong): correlate aroma properties with instrumental data using multiple linear regression analysis[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2012, 47(11): 2372-2379. DOI:10.1111/j.1365-2621.2012.03112.x.

[29] WANG L F, LEE J Y, CHUNG J O, et al. Discrimination of teas with different degrees of fermentation by SPME-GC analysis of the characteristic volatile flavour compounds[J]. Food Chemistry, 2008, 109(1): 196-206. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.12.054.

[30] 梅双, 陈维, 马成英, 等. 广东花香型红茶与单丛茶挥发性成分比较分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(1): 242-252. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.1.034.

[31] KANG S Y, YAN H, ZHU Y, et al. Identification and quantification of key odorants in the world's four most famous black teas[J]. Food Research International, 2019, 121: 73-83. DOI:10.1016/j.foodres.2019.03.009.