

# 红紫芽熟茶适制性及渥堆发酵过程品质变化研究

赵苗苗<sup>1,2</sup>, 严亮<sup>1,2</sup>, 张文杰<sup>1,2</sup>, 赵明<sup>3,4</sup>, 李若愚<sup>3</sup>, 张正勇<sup>5</sup>, 刘学云<sup>5</sup>,  
郑婷婷<sup>1,2</sup>, 杨瑞娟<sup>3</sup>, 刘聪<sup>1,2</sup>, 刘丽<sup>1,2</sup>, 彭文书<sup>1,2</sup>, 吕才有<sup>4\*</sup>

(1. 滇西应用技术大学普洱茶学院, 普洱 665000; 2. 普洱茶研究院, 普洱 665000; 3. 云南农业大学食品科学技术学院, 昆明 650201; 4. 云南农业大学茶学院, 昆明 650201; 5. 云南景谷白龙茶业股份有限公司, 普洱 665000)

**摘要:** **目的** 研究大叶种特异性品种红紫芽熟茶适制性及渥堆发酵过程中品质变化规律。**方法** 以红紫芽晒青茶为原料, 分别以气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、电子鼻、色差分析结合感官审评方法研究红紫芽熟茶适制性及渥堆发酵过程中品质变化。**结果** 红紫芽晒青茶共鉴定6大类28种香气物质, 红紫芽出堆样共鉴定出9大类46种香气物质, Loading结果表明, 10个传感器中就有5个传感器(R8、R6、R10、R7和R9)对茶叶香气的响应明显, 对区分贡献率最大, 香气分析结果表明红紫芽叶制成熟茶香气物质丰富。随着翻堆序数增加,  $L^*$ 和 $\Delta L$ 值总体呈下降趋势,  $a^*$ 和 $\Delta a$ 值总体呈增加趋势,  $b^*$ 及 $\Delta b$ 值随着翻堆序数增加呈先增加后下降趋势, 表明随着发酵进行, 茶汤明亮度降低, 茶汤变红变深, 这与感官评价结果一致。随着渥堆序数增加, 总儿茶素、茶多酚及氨基酸含量呈递减趋势, 出堆样氨基酸、茶多酚含量低于晒青原料( $P<0.05$ ), 水浸出物含量高于晒青原料( $P<0.05$ ), 每一次翻堆样咖啡碱的含量变化幅度也不大( $P>0.05$ )。感官审评结果表明, 红紫芽出堆样汤色棕红明亮, 香气为陈香、木香带甜香, 滋味甜醇尚滑。**结论** 红紫芽普洱茶熟茶香气丰富, 品质特征变化符合普洱茶国家标准, 即红紫芽茶适制普洱茶。

**关键词:** 红紫芽; 普洱茶; 渥堆发酵; 气相色谱-质谱法; 电子鼻

## Study on the suitability of purple bud post-fermented Pu-erh tea and quality changes during the fermentation process

ZHAO Miao-Miao<sup>1,2</sup>, YAN Liang<sup>1,2</sup>, ZHANG Wen-Jie<sup>1,2</sup>, ZHAO Ming<sup>3,4</sup>, LI Ruo-Yu<sup>3</sup>, ZHANG Zheng-Yong<sup>5</sup>, LIU Xue-Yun<sup>5</sup>, ZHENG Ting-Ting<sup>1,2</sup>, YANG Rui-Juan<sup>3</sup>, LIU Cong<sup>1,2</sup>,  
LIU Li<sup>1,2</sup>, PENG Wen-Shu<sup>1,2</sup>, LV Cai-You<sup>4\*</sup>

[1. College of Tea (Pu'er), West Yunnan University of Applied Sciences, Pu'er 665000, China; 2. Pu'er Institute of Pu-erh Tea, Pu'er 665000, China; 3. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 4. College of Tea Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 5. Yunnan Jinggu Bailong Tea Industry Co., Ltd., Pu'er 665000, China]

**ABSTRACT: Objective** To study the suitability of purple bud post-fermented Pu-erh tea of large-leaved specific varieties and the pattern of quality changes during the fermentation process. **Methods** Using purple bud sun-dried

**基金项目:** 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-19)、云南省重点项目云南绿色食品国际合作研究中心项目(2019ZG00909-02)、滇西应用技术大学茶产品创新与资源综合利用科技创新团队项目

**Fund:** Supported by the China Agriculture Research System of the Ministry of Commerce of the People's Republic of China and MARA (CARS-19), the Yunnan Provincial Key Project Yunnan Green Food International Cooperation Research Center Project (2019ZG00909-02), and the Tea Product Innovation and Comprehensive Resource Utilization Technology Innovation Team of West Yunnan University of Applied Sciences

\*通信作者: 吕才有, 博士, 教授, 主要研究方向为普洱茶加工。E-mail: 2495846526@qq.com

\*Corresponding author: LV Cai-You, Ph.D, Professor, College of Tea Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China. E-mail: 2495846526@qq.com

green tea as raw material, the quality changes in the pile-fermentation process of purple bud post-fermented Pu-erh tea were studied by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), electronic nose, color difference analysis combined with the sensory evaluation method. **Results** A total of 28 aroma substances in 6 categories were identified in the purple bud sun-dried green tea and 46 kinds of aroma substances in 9 categories were identified in the out-of-pile samples of purple buds, and the Loading analysis showed that 5 out of 10 sensors (R8, R6, R10, R7 and R9) responded significantly to the aroma of tea leaves and contributed the most to the differentiation, indicating that the aroma substances in post-fermented Pu-erh tea made from purple buds were abundant. With the increase of the fermentation sequence, the values of  $L^*$  and  $\Delta L$  showed an overall decreasing trend,  $a^*$  and  $\Delta a$  showed an overall increasing trend,  $b^*$  and  $\Delta b$  increased and then decreased with the increase of the fermentation sequence, indicating that as the fermentation progresses, the brightness of the tea soup decreased and the tea soup became redder and darker, which was consistent with the sensory evaluation. The content of total catechins, tea polyphenols and amino acids tended to decrease with the process of pile-fermentation and the content of amino acids and tea polyphenols in the out-of-pile samples was lower than that of sun-dried raw materials ( $P < 0.05$ ), while the content of water extract was higher than that of sun-dried raw materials ( $P < 0.05$ ), and the variation in caffeine content of each turned sample was also not significant ( $P > 0.05$ ). The results of the sensory evaluation showed that the soup color of the purple buds from the pile was brown-red and bright, the aroma was aging, woody and sweet, and the taste was sweet mellow and smooth. **Conclusion** The aroma of the purple bud post-fermented Pu-erh tea is rich and the quality characteristics conforms to the national standard for Pu-erh tea, that is, the purple bud tea was suitable for post-fermented Pu-erh tea.

**KEY WORDS:** purple bud ; Pu-erh tea; pile-fermentation; gas chromatography-mass spectrometry; electronic nose

## 0 引言

芽叶红紫化是茶树中的常见现象,在地方有性群体品种中,各生长季节红紫色芽叶占比较高<sup>[1-3]</sup>。云南红紫化芽叶一般可分为两种类型:一是阶段性紫红芽叶,茶树受高温、强光等外界环境因素影响,茶树新梢约有 2~4 片叶为红紫色,随着叶片的成熟,叶片紫红色变为绿色<sup>[4]</sup>;二是云南省茶叶研究所选育的遗传特性稳定的具有紫芽、紫叶、紫茎特征的“紫娟”茶树品种,新梢常年呈红紫色<sup>[5]</sup>。红紫芽茶树芽叶的色泽及其花青素含量同时受外界环境和遗传因子的控制<sup>[6-8]</sup>。茶树芽叶颜色深浅与花青素含量成正相关性<sup>[9-12]</sup>,阶段性红紫色芽叶中花青素含量是同等级绿色芽叶的 5~8 倍,紫娟茶中花青素含量是同等级红紫色芽叶的 3~5 倍<sup>[2]</sup>。花青素是一类重要的多酚类物质,是一种天然的抗氧化剂,具有调节血脂、抗癌、降压等作用<sup>[13]</sup>,红紫芽茶叶中花青素含量较丰富,因此红紫芽茶产品开发受到消费者的青睐。红紫芽茶的茶汤具有独特的颜色、香气与滋味。相较于绿茶,红紫芽茶更适合制作红茶和白茶<sup>[14]</sup>,制成红茶汤色和滋味均明显优于对照组<sup>[15]</sup>。普洱茶是云南特有的地理标志产品,常见的普洱熟茶产品是由常规绿叶云南大叶种群体种晒青毛茶在渥堆发酵过程中经微生物、酶、湿热、氧化等综合作用加工制成,而利用阶段性红紫芽叶制成普洱熟茶的研究鲜有报道。普洱茶渥堆发酵以传

统渥堆发酵(自然渥堆发酵)为主,包括选料、潮水、渥堆发酵、翻堆解块及开沟摊晾等工序<sup>[16]</sup>。随着熟茶品饮价值越来越受人们的认可,加上红紫芽茶花青素含量高,所以特色红紫芽茶树品种的熟茶产品开发具有重要的研究意义。云南省普洱市景谷县民乐镇有连片的阶段性红紫芽基地共计 260 亩,本研究以该基地的红紫芽制成晒青茶为原料,以气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、色差分析、电子鼻结合感官审评方法对红紫芽(熟茶)传统渥堆发酵不同发酵阶段茶样的品质变化进行分析,探究其品质成分的变化规律,综合评价红紫芽熟茶的适制性,为红紫芽茶加工普洱茶提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

云南省普洱市景谷县民乐镇的云南大叶有性群体种红紫芽三级晒青毛茶。

甲醇、乙腈(色谱纯,美国 Sigma 公司);磷酸、硫酸亚铁、酒石酸钾钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾(分析纯,西陇化工股份有限公司);茚三酮、三氯化铝、氢氧化钠(分析纯,广东光华科技股份有限公司);乙酸乙酯、正丁醇、乙醇、碳酸钠、草酸(分析纯,天津市分船化学试剂科技有限公司);咖啡碱(caffeine, CA, 0.109 mg/mL)、没食子酸(gallic acid, GA, 0.05 mg/mL)、儿茶素(catechins, C, 0.101 mg/mL)、

表儿茶素(epicatechin, EC, 0.103 mg/mL)、表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC, 0.116 mg/mL)、表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG, 0.108 mg/mL)、表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG, 1.08 mg/mL) 对照品(分析纯, 德国 Dr.Ehrenstorfer 公司)。

## 1.2 实验仪器

101A-2 型电热鼓风恒温干燥箱(宁波新芝生物科技有限公司); 756CRT 紫外可见分光光度计(上海元析仪器有限公司); 7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪、1200 型高速液相色谱系统、HP-5MS 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国安捷伦公司); SB-120D 型超声波清洗机、瑞士 BUCHI R-3 旋转蒸发仪(瑞士步琦有限公司); SDE 同时蒸馏萃取设备(云南省科仪化玻有限公司); PEN3 便携式电子鼻(德国 Airsens 公司); CP313 电子分析天平[0.001 g, 奥豪斯仪器(上海)有限公司]; CS-2000 型高速多功能粉碎机(武汉海纳电器有限公司); Smart-Q30 实验室纯水系统(上海和泰仪器有限公司); 0.45 μm 有机膜(天津市津腾设备有限公司); 3nh 高精度台式色差仪 YS6002(深圳市三恩时科技有限公司)。

## 1.3 实验方法

### 1.3.1 红紫芽晒青茶渥堆发酵

在景谷白龙有限公司发酵室进行渥堆发酵, 渥堆发酵晒青毛茶 10.23 t, 潮水量 42%, 堆成梯形的茶堆, 堆高 1.5 m, 堆长 11.4 m, 覆盖湿麻布发酵, 整个发酵过程共进行 6 次翻堆, 隔 6 d 翻一次堆, 渥堆发酵时间共 57 d。采集原料入堆(0 d)到渥堆发酵结束(57 d)的红紫芽(熟茶)加工阶段样, 分别为: ZY 晒青: 红紫芽晒青(发酵 0 d); ZY1: 第 1 翻(发酵 7 d); ZY2: 第 2 翻(发酵 14 d); ZY3: 第 3 翻(发酵 21 d); ZY4: 第 4 翻(发酵 28 d); ZY5: 第 5 翻(发酵 35 d); ZY6: 第 6 翻(发酵 42 d); ZY 出堆: 开沟摊晾、自然晾干 15 d。每次翻堆时取样, 阴干, 装袋待测。

### 1.3.2 GC-MS 分析

准确称取茶样 50.0 g, 将供试茶样置于同时蒸馏萃取设备内, 用 30 mL 二氯甲烷提取 3 h。萃取液浓缩至 1.0 mL, 供 GC-MS 检测。GC-MS 条件设置参照文献[17]。由 GC-MS 分析得到的质谱数据经计算机在 NIST 2011 标准谱库的检索, 结合保留指数(retention index, RI)和保留时间对挥发性成分进行定性分析, 按照峰面积归一法测得各挥发性成分的相对含量

### 1.3.3 电子鼻分析

测定时间 60 s, 传感器归零时间 10 s; 样品准备时间 5 s; 进样流量 300 mL/min; 清洗通道 200 s, 平衡 45 s, 运用电子鼻自带软件 Win Muster, 取  $T=55\sim 57$  s 的响应值, 采用线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)、传感器区别贡献率分析法>Loading)进行模式识别分析。干茶、茶汤及叶底香气采集方法及电子鼻各传感器性能描述参照文献[17]。

### 1.3.4 理化检测

参照 GB/T 8305—2013《茶水浸出物测定》检测水浸出物含量, 参照 GB/T 8313—2008《茶叶中茶多酚和儿茶素含量的检测方法》检测茶多酚含量, 参照 GB/T 8314—2013《茶游离氨基酸总量的测定》检测游离氨基酸含量, 参照实验室前期建立的方法测定儿茶素、没食子酸及咖啡碱含量<sup>[16]</sup>。

### 1.3.5 茶汤色差的测定

准确称取 3 g 茶样放入审评的白色瓷杯中, 加入沸水 150 mL 冲泡 5 min, 取其茶汤, 采用色差仪对茶汤进行色差测定。 $L^*$ 代表明度;  $a^*$ 代表红绿色度, 在正值时表示红色程度, 在负值时表示绿色程度;  $b^*$ 代表黄蓝色度, 在正值时表示黄色程度, 在负值时表示蓝色程度<sup>[18]</sup>。 $\Delta L$ 、 $\Delta a$ 、 $\Delta b$ 均表示色差值,  $\Delta E$ 表示总色差值,  $\Delta L$ 大表示偏白,  $\Delta L$ 小表示偏黑;  $\Delta a$ 大表示偏红,  $\Delta a$ 小表示偏绿;  $\Delta b$ 大表示偏黄,  $\Delta b$ 小表示偏蓝<sup>[19]</sup>。

### 1.3.6 感官审评

由 8 位云南农业大学茶学院的茶叶科学专家根据 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》黑茶(散茶)的规定进行感官审评, 同时计算不同茶样审评得分, 审评总分按照公式(1)计算:

$$Y=A\times 20\%+B\times 15\%+C\times 25\%+D\times 30\%+E\times 10\% \quad (1)$$

式中:  $Y$  为茶叶审评总得分;  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$  分别为外形、汤色、香气、滋味和叶底品质因子的审评得分。

### 1.3.7 数据分析

用 SPSS 22 进单因素方差分析, 使用 Duncan 多重比较分析差异的显著性( $P<0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 红紫芽熟茶发酵阶段挥发性成分变化

由表 1 可知, ZY 晒青茶共检出 6 类 28 种挥发性成分, 其中, 醛类 4 种、醇类 13 种、酮类 3 种、酯类 6 种、碳氢类 1 种、含氮化合物 1 种, 相对含量 87.07%。ZY1~ZY6 和 ZY 出堆分别检测出 7 类 46 种(93.14%)、7 类 33 种(91.83%)、8 类 31 种(93.57%)、8 类 42 种(93.29%)、9 类 43 种(90.79%)、8 类 42 种(90.81%)、9 类 46 种(90.07%), 翻堆样检测出来的香气物质种类均高于 ZY 晒青, 在自然渥堆发酵过程中, 晒青毛茶经微生物、酶、湿热、氧化等综合作用后, 挥发性香气组分会发生复杂的变化, 香气物质种类逐渐丰富。

由表 1 可知, 渥堆发酵过程中, 8 个茶样中所检测出的香气种类及相对含量有所差异, 其中醇类成分剧烈减少, 而杂氧化合物大幅度增加。研究显示, 陈香普洱茶香气成分以杂氧化合物和醇类为主<sup>[20]</sup>, 甲氧基苯的陈腐味分别与甜味、花香和青味存在相互掩蔽作用<sup>[21]</sup>。红紫芽渥堆发酵过程中, 从第 4 翻开始, 香气物质以醇类及杂氧类为主,

而红紫芽晒青原料中检测出芳樟醇含量为 18.48%, 没有检测出杂氧类化合物, 出堆样检测出的芳樟醇含量为 2.26%, 与原料相比下降了 88.2%, 检测出 6 种杂氧类化合物, 其中 1,2,3-三甲氧基苯(14.61%)、1,2-二甲氧基苯(4.87%)、1,2,4-三甲氧基苯(2.88%)、1,2,3,4-四甲氧基苯(0.73%), 这与

PANG 等<sup>[22]</sup>研究结果中芳樟醇、1,2,4-三甲氧基苯、1,2,3,4-四甲氧基苯和 1,2,3-三甲氧基苯在熟茶发酵过程中发生的变化一致。杂氧类化合物中, 1,2,3-三甲氧基苯含量是最高的, 且每一次翻堆样中都能检测出, 其次是 1,2-二甲氧基苯, 这与赵苗苗等<sup>[16]</sup>研究结果一致。

表 1 红紫芽晒青茶渥堆发酵过程中香气成分相对含量(%)  
Table 1 Relative content of aroma components of purple bud sundried green tea during the pile-fermentation (%)

香气成分	相对含量							
	ZY 晒青	ZY1	ZY2	ZY3	ZY4	ZY5	ZY6	ZY 出堆
反式-2-己烯醛	-	0.39	-	-	-	-	-	-
苯甲醛	-	0.83	0.3	1.08	1.02	0.97	1.21	1.39
正己醛	0.6	1.38	0.72	1.27	0.42	0.58	0.58	0.77
苯乙醛	-	2.59	3.8	6.09	4.58	4.54	4.81	5.19
壬醛	-	-	-	-	0.34	0.62	0.62	-
醛类 β-环柠檬醛	0.45	0.36	0.19	0.21	-	-	0.41	0.55
庚醛	0.28	-	-	-	-	-	-	-
庚二烯醛	-	-	-	-	-	-	-	0.82
藏花醛	0.69	0.77	0.39	0.29	0.3	0.29	0.37	0.73
2-己烯醛	-	-	-	0.33	-	0.4	0.24	0.51
糠醛	-	0.29	-	0.91	0.81	3.36	1.5	1.35
异植醇	0.6	-	0.65	-	1.57	1.45	1.08	1.22
脱氢芳樟醇	-	-	0.89	-	-	-	-	-
苯甲醇	-	-	-	-	1.22	-	-	-
芳樟醇氧化物 I	1.2	0.75	1.8	3.44	1.48	1.65	2.32	1.82
芳樟醇氧化物 II	2.04	1.87	2.68	3.48	2.23	2.68	3.98	3.45
芳樟醇	18.48	15.78	13.64	9.94	1.68	2.92	2.03	2.26
2,6-二甲基环己醇	1.52	0.8	-	1.39	-	-	0.32	-
芳樟醇氧化物 III	0.85	0.43	1.69	1.41	1.12	1.44	2.18	1.76
芳樟醇氧化物 IV	1.97	1.31	3.33	3.15	3.27	4.15	6.9	6.11
醇类 苯乙醇	7.79	0.57	14.89	16.92	16.92	14.65	17.31	6.69
橙花醇	0.24	0.77	0.18	0.15	-	-	0.12	-
橙花叔醇	-	0.14	-	-	-	-	-	-
α-松油醇	4.99	4.07	4.61	3.72	2.6	3.1	4.03	3.93
1-辛烯-3-醇	-	0.32	-	-	-	-	-	-
香叶醇	0.18	2.1	0.12	-	-	0.12	0.12	0.45
合金欢醇	0.43	-	-	-	-	-	-	-
柏木脑	-	0.88	-	-	-	-	-	0.2
植醇	28.78	38.63	20.94	13.62	10.26	8.17	3.89	4.67
2,2,6-三甲基环己酮	0.21	0.21	0.14	-	-	-	-	-
茶香酮	-	0.11	-	-	0.47	0.7	0.78	0.43
酮类 4-羟基-6-甲基-2-吡喃酮	-	0.48	-	-	-	-	-	-
α-紫罗酮	-	0.23	-	-	-	0.11	0.17	0.24
β-紫罗酮	1.96	2.01	0.89	1.1	0.72	0.99	1.32	1.32
香芹烯酮	-	0.61	-	-	0.7	1.16	1.25	1.6
金合欢基丙酮	-	0.35	-	-	-	-	-	-
乙基环戊烯醇酮	-	0.27	-	-	-	-	-	1.08
甲基己基甲酮	-	-	-	-	0.35	-	-	-
酮类 2-甲基-3-羟基-4-吡喃酮	-	-	-	-	0.62	-	-	-
大马土酮	-	0.29	-	-	-	-	-	-
法尼基丙酮	-	-	0.09	-	1.02	0.39	0.27	0.31
植酮	2.32	1.94	1.88	1.65	1.35	1.5	1	0.87

表 1(续)

香气成分	相对含量									
	ZY 晒青	ZY1	ZY2	ZY3	ZY4	ZY5	ZY6	ZY 出堆		
酯类	甲基硫代磺酸甲酯	-	-	-	-	0.25	-	-	0.28	
	二氢猕猴桃内酯	3.75	3.52	2.61	2.46	2.48	4.27	3.24	4.43	
	棕榈酸甲酯	1.05	0.41	1.98	2.58	2.05	1.06	0.45	0.25	
	邻苯二甲酸二丁酯	0.38	0.38	0.33	0.27	0.4	0.44	0.3	1.29	
	邻苯二甲酸二异丁酯	0.22	1.32	-	-	-	-	-	1.36	
	邻苯二甲酸二辛酯	-	-	-	-	-	0.2	-	-	
	亚油酸甲酯	0.9	0.13	1.72	1.34	2.24	1.29	0.5	1.1	
	亚麻酸甲酯	4.34	0.51	8.62	9.12	9.16	5.52	1.89	-	
	亚麻酸乙酯	-	-	0.75	-	-	-	-	0.47	
	右旋萜二烯	-	-	-	0.3	-	-	-	-	
	(+)-柠檬烯	0.39	0.34	0.31	0.13	-	0.17	0.14	0.2	
	(+)-香橙烯	-	-	0.55	-	-	-	-	-	
碳氢类	古芸烯	-	-	-	-	-	0.28	-	-	
	3-萜烯	-	-	-	-	-	-	0.17	-	
	玟烯	-	0.36	-	-	-	-	-	-	
	$\alpha$ -蒎烯	-	-	-	-	-	-	-	0.35	
	牛儿烯	-	-	-	-	-	-	0.31	-	
	十一烷	-	-	-	0.26	-	-	-	-	
	十七烷	-	-	0.17	-	0.11	0.15	-	-	
	二十烷	-	1.01	-	-	-	0.47	-	-	
	十六烷	-	-	-	-	-	-	-	-	
	十八烷	-	0.37	-	-	0.14	-	-	-	
	萘	-	-	-	-	-	-	-	0.23	
	酚醚类	2,6-二甲氧基苯酚	-	-	-	-	-	-	-	0.63
苜甲醚		-	-	-	4.6	-	-	-	-	
2-氟苯甲醚		-	-	-	-	-	0.62	-	-	
1,2,3-三甲氧基苯		-	0.34	0.76	1.91	5.39	5.78	11.58	14.61	
1,2,4-三甲氧基苯		-	-	-	-	1.31	1.66	2.32	2.88	
1,2,3,4-四甲氧基苯		-	-	-	-	0.15	0.22	0.41	0.73	
杂氧类	1,2-二甲氧基苯	-	-	-	-	2.67	2.45	5.49	4.87	
	2-正戊基呋喃	-	0.33	0.21	-	-	-	-	-	
	2-戊基呋喃	-	-	-	0.26	-	-	-	-	
	1,2-二甲氧基-4-乙基-苯	-	-	-	-	0.42	0.29	0.91	1.1	
	3,4,5-三甲氧基甲苯	-	0.17	-	-	0.28	0.3	0.44	0.6	
	N-乙基琥珀酰亚胺	-	0.35	-	-	1.68	1.92	-	0.59	
含氮化合物	咖啡碱	0.46	2.07	0.32	0.19	5.03	7.64	3.34	3.94	
	十四酸	-	-	-	-	3.71	-	-	-	
	十八酸	-	-	-	-	0.34	-	-	-	
	酸类	顺式十八碳-9-烯酸	-	-	-	-	-	-	0.51	-
		棕榈酸	-	-	-	-	0.43	0.81	-	0.44
		种类	28	46	33	31	42	43	42	46
合计	含量/%	87.07	93.14	91.83	93.57	93.29	90.79	90.81	90.07	

注: -表示未检出。

## 2.2 红紫芽熟茶发酵阶段香气电子鼻分析

对干茶法、茶汤法、叶底法 3 种不同香气采集法检测的 3 次平行数据中分别选出 1 次数据进行 PCA 分析(选取 55~57 s 的 4 个检测信号),与茶汤法和叶底法相比,干茶法能更好地将各茶样区分开,因此选用干茶法检测不同发酵阶段茶样的香气。干茶法采集的电子鼻各个传感器在

$T=55\sim 57$  s 的响应值用 SPSS 22 软件计算平均值与标准偏差,分别在各茶样的 3 组平行数据中筛选出更具有代表性的数据进行香气质量分析,结果见表 2。

红紫芽熟茶发酵阶段中,与其他传感器的  $G/G_0$  值相比, R6 的  $G/G_0$  最低, R10 的  $G/G_0$  最高。对常规绿色芽叶制成的熟茶的研究中,罗美玲等<sup>[23]</sup>及何鲁南等<sup>[24]</sup>等研究表明,传感

器的  $G/G_0$  值最大的是 R7(硫化物类), 其次是 R9(芳香类、有机硫化物)、R6(甲基类), 陈婷婷<sup>[25]</sup>研究表明 R7(硫化物类)传感器的  $G/G_0$  值最大, 其次是 R2(氮氧化合物)、R9(芳香类、有机硫化物), 由表 2 可知, 本研究红紫芽晒青不同发酵阶段各传感器的  $G/G_0$  值最大的传感器是 R10(长链烷烃)、其次是 R1(芳香成分、苯类), 这表明红紫芽熟茶的香气成分与常规绿叶群体种制成的熟茶相比, 香气比较特殊。

从图 1 还可以看出, 红紫芽熟茶发酵阶段的 Loading 分析中 10 个传感器中有 5 个传感器(R8、R6、R10、R7 和 R9)对茶叶香气的响应明显, 区分贡献率最大, 其中对

第一主成分贡献率最大的传感器是 R7 和 R9, 对第二主成分贡献率最大的传感器 R6、R8 和 R10, 而陈婷婷<sup>[25]</sup>对 9 个具有典型代表的不同年份的熟茶的分析结果显示, 有 3 个传感器(R7、R2 和 R9)的区分贡献率最大, 而罗美玲等<sup>[23]</sup>对 10 个不同贮藏年份的普洱熟茶七子饼标准样的分析结果显示, 有 4 个传感器(R6、R8、R9 和 R7)的区分贡献最大, 何鲁南等<sup>[24]</sup>对贮藏在 18 个不同地的 50 个普洱茶茶样的分析结果显示, 有 2 个传感器(R6、R7)的区分贡献率最大, 这说明与常规绿叶制成的普洱熟茶相比, 用红紫芽晒青毛茶为原料渥堆发酵成红紫芽普洱熟茶香气丰富。

表 2 不同渥堆发酵阶段各传感器电导率  $G/G_0$  值  
Table 2 Conductivity  $G/G_0$  values of each sensor in different pile-fermentation stages

茶样	ZY 晒青	ZY1	ZY2	ZY3	ZY4	ZY5	ZY6	ZY 出堆
R1	1.11±0.13 <sup>ab</sup>	1.13±0.01 <sup>a</sup>	1.09±0.04 <sup>b</sup>	1.12±0.01 <sup>a</sup>	1.13±0.00 <sup>a</sup>	1.10±0.00 <sup>ab</sup>	1.09±0.00 <sup>b</sup>	1.11±0.01 <sup>ab</sup>
R2	0.86±0.04 <sup>d</sup>	0.88±0.03 <sup>d</sup>	0.97±0.09 <sup>ab</sup>	0.96±0.00 <sup>abc</sup>	0.92±0.03 <sup>bcd</sup>	1.00±0.02 <sup>a</sup>	0.98±0.01 <sup>ab</sup>	0.89±0.01 <sup>cd</sup>
R3	1.07±0.01 <sup>a</sup>	1.06±0.00 <sup>a</sup>	1.02±0.02 <sup>cd</sup>	1.02±0.01 <sup>cd</sup>	1.03±0.01 <sup>bc</sup>	1.01±0.00 <sup>d</sup>	1.01±0.00 <sup>d</sup>	1.05±0.01 <sup>ab</sup>
R4	1.02±0.02 <sup>b</sup>	1.01±0.01 <sup>bc</sup>	0.98±0.03 <sup>cd</sup>	0.97±0.01 <sup>d</sup>	0.99±0.00 <sup>cd</sup>	1.05±0.02 <sup>a</sup>	0.98±0.01 <sup>cd</sup>	1.01±0.01 <sup>bc</sup>
R5	1.03±0.01 <sup>ab</sup>	1.04±0.00 <sup>a</sup>	1.03±0.01 <sup>b</sup>	1.04±0.00 <sup>ab</sup>	1.04±0.00 <sup>ab</sup>	1.03±0.00 <sup>b</sup>	1.03±0.00 <sup>b</sup>	1.03±0.00 <sup>b</sup>
R6	0.39±0.04 <sup>b</sup>	0.40±0.02 <sup>b</sup>	0.52±0.14 <sup>a</sup>	0.40±0.03 <sup>b</sup>	0.39±0.01 <sup>ab</sup>	0.46±0.02 <sup>b</sup>	0.52±0.00 <sup>a</sup>	0.43±0.03 <sup>ab</sup>
R7	0.76±0.05 <sup>d</sup>	0.79±0.06 <sup>cd</sup>	1.10±0.11 <sup>ab</sup>	1.21±0.12 <sup>a</sup>	1.03±0.04 <sup>b</sup>	1.12±0.07 <sup>ab</sup>	1.23±0.04 <sup>a</sup>	0.89±0.01 <sup>c</sup>
R8	0.64±0.05 <sup>a</sup>	0.61±0.02 <sup>a</sup>	0.71±0.14 <sup>a</sup>	0.62±0.03 <sup>a</sup>	0.61±0.01 <sup>a</sup>	0.69±0.01 <sup>a</sup>	0.69±0.00 <sup>a</sup>	0.65±0.03 <sup>a</sup>
R9	0.73±0.03 <sup>d</sup>	0.76±0.02 <sup>cd</sup>	0.92±0.06 <sup>ab</sup>	0.94±0.04 <sup>a</sup>	0.88±0.01 <sup>b</sup>	0.91±0.03 <sup>ab</sup>	0.96±0.01 <sup>a</sup>	0.80±0.01 <sup>c</sup>
R10	1.17±0.08 <sup>ab</sup>	1.13±0.02 <sup>b</sup>	1.17±0.10 <sup>ab</sup>	1.13±0.05 <sup>b</sup>	1.13±0.00 <sup>b</sup>	1.25±0.01 <sup>a</sup>	1.17±0.01 <sup>ab</sup>	1.16±0.03 <sup>ab</sup>

注: 数据以平均值±标准偏差表示, 下同。

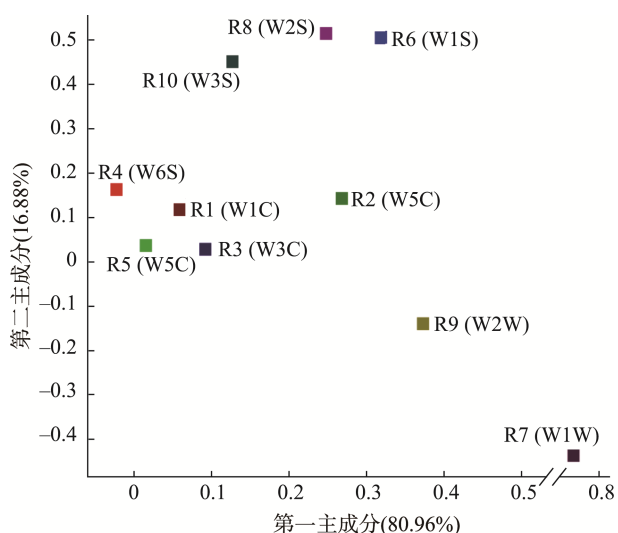


图 1 茶样 Loading 分析

Fig.1 Loading analysis of tea samples

### 2.3 红紫芽熟茶发酵阶段理化成分分析

由表 3 可知, 红紫芽晒青渥堆发酵熟茶随着翻堆序数

增加, 总儿茶素、茶多酚及氨基酸含量呈递减趋势, 水浸出物含量呈波动式变化, ZY 出堆的氨基酸、茶多酚含量与 ZY 晒青相比分别下降了 70.6%、58.8% ( $P<0.05$ ), 水浸出物含量增加了 12.5% ( $P<0.05$ )。红紫芽晒青毛茶儿茶素总含量为 4.41%, 从第 5 次翻堆起, 除了能检测出儿茶素 EGCG 外, 其余儿茶素(C、EGC、EC、ECG)已检测不出, ZY 已检测不出儿茶素含量。出堆样 ZY 中 GA 含量显著高于原料 ZY 晒青, 不同翻堆样咖啡碱差异不显著( $P>0.05$ )。红紫芽晒青毛茶渥堆发酵过程中理化成分的变化规律与常规绿叶云南大叶种群体种晒青茶在渥堆发酵制成熟茶的变化规律一致<sup>[16]</sup>。茶多酚含量的降低主要与儿茶素的逐步氧化有关<sup>[26]</sup>, 氨基酸总量明显下降与渥堆发酵过程中微生物将氨基酸作为氮源或碳源满足自身的生长繁殖有关<sup>[27]</sup>, 与酶的催化作用下氨基酸转化为挥发性或者非挥发性芳香物质有关<sup>[28]</sup>, 也与在渥堆发酵过程中氨基酸与其他酚类物质发生反应生成褐色色素有关<sup>[29]</sup>。GA 含量的增加主要源于 EGCG 和 ECG 等少部分酯型儿茶素在热处理、氧化作用下的水解反应<sup>[30-31]</sup>, 而咖啡碱属于杂环含氮化合物, 环状结构比较稳定, 在普洱茶渥堆发酵过程中不易被分解, 微生物对咖啡碱的利用能力低, 故在发酵过程中其变化并不显著。

表 3 普洱茶渥堆发酵过程中的化学成分含量( $n=4$ , %)  
Table 3 Chemical constituent content of Pu-erh tea during pile-fermentation ( $n=4$ , %)

化学成分	茶样							
	ZY 晒青	ZY1	ZY2	ZY3	ZY4	ZY5	ZY6	ZY 出堆
氨基酸	4.83±0.04 <sup>a</sup>	4.09±0.10 <sup>b</sup>	3.45±0.21 <sup>c</sup>	2.99±0.05 <sup>d</sup>	2.12±0.10 <sup>e</sup>	1.57±0.01 <sup>f</sup>	1.50±0.01 <sup>f</sup>	1.42±0.13 <sup>f</sup>
茶多酚	26.60±0.72 <sup>a</sup>	25.87±0.41 <sup>a</sup>	22.01±0.67 <sup>b</sup>	19.70±0.66 <sup>c</sup>	16.80±0.27 <sup>d</sup>	11.63±0.35 <sup>e</sup>	10.89±0.34 <sup>e</sup>	10.96±0.53 <sup>e</sup>
水浸出物	30.00±1.28 <sup>d</sup>	41.48±3.39 <sup>a</sup>	33.86±2.02 <sup>c</sup>	39.35±1.13 <sup>a</sup>	40.31±0.38 <sup>a</sup>	36.61±0.52 <sup>b</sup>	33.94±0.74 <sup>c</sup>	33.75±0.41 <sup>c</sup>
咖啡碱	1.22±0.08 <sup>a</sup>	1.39±0.11 <sup>a</sup>	1.45±0.13 <sup>a</sup>	1.44±0.11 <sup>a</sup>	1.38±0.11 <sup>a</sup>	1.20±0.03 <sup>a</sup>	1.42±0.08 <sup>a</sup>	1.26±0.07 <sup>a</sup>
GA	0.08±0.00 <sup>e</sup>	0.93±0.05 <sup>b</sup>	1.09±0.05 <sup>a</sup>	0.97±0.06 <sup>b</sup>	0.83±0.03 <sup>c</sup>	0.61±0.01 <sup>d</sup>	0.46±0.03 <sup>e</sup>	0.33±0.05 <sup>f</sup>
EGC	0.78±0.07 <sup>a</sup>	0.79±0.06 <sup>a</sup>	0.56±0.05 <sup>b</sup>	0.21±0.02 <sup>c</sup>	0.06±0.01 <sup>d</sup>	-	-	-
C	0.07±0.01 <sup>a</sup>	0.05±0.00 <sup>b</sup>	0.06±0.00 <sup>b</sup>	0.03±0.00 <sup>c</sup>	0.02±0.00 <sup>d</sup>	-	-	-
EC	0.41±0.05 <sup>b</sup>	0.44±0.03 <sup>a</sup>	0.32±0.02 <sup>c</sup>	0.15±0.01 <sup>d</sup>	0.05±0.00 <sup>e</sup>	-	-	-
EGCG	2.29±0.34 <sup>a</sup>	1.05±0.16 <sup>b</sup>	0.51±0.03 <sup>c</sup>	0.22±0.03 <sup>d</sup>	0.09±0.01 <sup>de</sup>	0.04±0.00 <sup>de</sup>	0.01±0.01 <sup>e</sup>	-
ECG	0.86±0.14 <sup>a</sup>	0.39±0.06 <sup>b</sup>	0.22±0.02 <sup>c</sup>	0.07±0.02 <sup>d</sup>	0.04±0.02 <sup>d</sup>	-	-	-
总儿茶素	4.41±0.59 <sup>a</sup>	2.73±0.30 <sup>b</sup>	1.66±0.07 <sup>c</sup>	0.69±0.08 <sup>d</sup>	0.26±0.03 <sup>e</sup>	0.04±0.00 <sup>e</sup>	0.01±0.01 <sup>e</sup>	-

注: -表示未检测出。

## 2.4 红紫芽熟茶发酵阶段茶汤色泽的分析

由表 4 可知,随着红紫芽晒青毛茶渥堆发酵的进行, $L^*$ 及 $\Delta L$ 值总体呈下降趋势, $a^*$ 和 $\Delta a$ 值总体呈增加趋势, $b^*$ 及 $\Delta b$ 值随着翻堆序数增加呈先增加后下降趋势,表明随着翻堆序数增加,茶汤明亮度降低,茶汤变红变深,这是由于在微生物、酶、湿热、氧化等综合作用下,多酚类物质发生酶促氧化、聚合形茶黄素、茶红素和茶褐素<sup>[27]</sup>,且随着翻堆次数增加,茶黄素和茶红素的含量大幅度下降,茶褐素的含量大幅度增加<sup>[32]</sup>,使茶汤颜色逐渐加深由橙黄明亮变为褐红明亮,这与感官呈现的汤色由橙黄明较亮到棕红明亮一致。研究表明,不同发酵阶段感官与茶汤色泽变化存在对应关系,随着渥堆发酵进行,茶汤亮度降低,茶汤变红变深,可以通过色度值反映普洱茶品质的变化,进而辅助确定渥堆发酵结束的终点。

## 2.5 红紫芽熟茶发酵阶段感官审评结果

根据表 5,红紫芽晒青毛茶经渥堆发酵制成熟茶,干茶色泽由灰褐变为红褐,汤色由橙黄明亮变为棕红明亮,香气由清香浓郁转变为陈香、木香带甜香,滋味由醇厚甘爽转变为甜醇尚滑,随着渥堆发酵的进行,茶叶品质稳定的朝着熟茶品质标准变化。红紫芽制成晒青毛茶清香浓郁,滋味醇厚甘爽,感官审评评分为 88,ZY 出堆样汤色棕红明亮,香气呈现陈香、木香带甜香,滋味甜醇尚滑,感官审评评分为 89。ZY 出堆样品质特征符合 GB/T 22111—2008《地理标志产品 普洱茶》中普洱熟茶香气陈香浓纯、滋味醇厚回甘、汤色红浓明亮的品质要求,即红紫芽适制普洱熟茶。常规绿色芽叶晒青茶加工成普洱熟茶的渥堆发酵过程中,渥堆发酵适度的出堆样香气为陈香,滋味醇厚<sup>[16]</sup>,本研究中,红紫芽晒青茶加工成普洱熟茶香气陈香、木香带甜香,滋味甜醇尚滑,表明红紫芽叶可以制成品质优的普洱熟茶。

## 3 讨论与结论

本研究对红紫芽熟茶的适制性及渥堆发酵过程中的品质变化规律进行研究,GC-MS 定性定量分析结果表明,每一次翻堆样检测出的香气种类均高于原料 ZY 晒青;利用电子鼻对挥发性成分整体信息进行分析,结果显示,10 个传感器中有 5 个传感对茶叶香气的响应明显,对区分贡献率大,香气分析结果表明用红紫芽叶制成熟茶香气丰富。红紫芽熟茶传感器 R10 的  $G/G_0$  最高,常规绿色芽叶制成的熟茶传感器 R7 的  $G/G_0$  值最高<sup>[23-25]</sup>,这表明红紫芽熟茶的香气成分与常规绿叶群体种制成的熟茶相比,香气比较特殊。感官审评结果显示,ZY 出堆样呈陈香、木香带甜香,滋味甜醇尚滑,品质特征符合普 GB/T 22111—2008 要求。另外,不同发酵阶段感官与茶汤色泽变化存在对应关系,随着渥堆发酵进行,茶汤亮度降低,茶汤变红变深,这与感官呈现的汤色由橙黄明较亮到棕红明亮一致,可以通过色度值反映普洱茶品质的变化,发酵阶段的量化分析可以作为普洱熟茶渥堆发酵过程中的品质评价重要指标,进而辅助确定渥堆发酵结束的终点。

云南省紫化茶在普洱茶主产区临沧市(邦东乡)、普洱市(景谷县)及西双版纳州(勐海县)均有分布<sup>[33]</sup>,目前遗传特性稳定、品种性状纯一、无变异的特异性红紫芽茶树品种少,所以不同产区、不同季节及不同品种红紫芽茶在成分上会有差异,由于这些差异对红紫化茶内在成分的影响值得进一步研究。pH、温度、光照、金属离子及一些食品添加剂都会对花青素稳定性产生影响<sup>[11]</sup>,渥堆发酵是较高温湿度条件下通过微生物作用发酵制成,渥堆发酵过程中可能会造成花青素含量降低,如何优化加工工艺降低渥堆发酵过程中花青素的分解需进一步研究。本研究可为红紫芽茶加工普洱茶提供理论依据,也为更好地开展红紫芽茶树资源的创新利用和产品开发奠定基础。

表 4 普洱茶渥堆发酵过程中的茶汤色泽分析( $n=3$ )  
Table 4 Color analysis of Pu-erh tea soup during pile-fermentation ( $n=3$ )

样品编号	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
ZY 晒青	86.63±0.03 <sup>c</sup>	1.28±0.02 <sup>e</sup>	27.74±0.02 <sup>h</sup>	-5.54±0.04 <sup>c</sup>	2.72±0.02 <sup>e</sup>	13.22±0.02 <sup>h</sup>	14.59±0.03 <sup>h</sup>
ZY1	87.51±0.01 <sup>a</sup>	1.24±0.01 <sup>h</sup>	28.65±0.01 <sup>e</sup>	-4.67±0.01 <sup>a</sup>	2.68±0.01 <sup>h</sup>	14.13±0.01 <sup>e</sup>	15.12±0.01 <sup>e</sup>
ZY2	86.79±0.02 <sup>b</sup>	1.98±0.00 <sup>f</sup>	29.76±0.02 <sup>f</sup>	-5.39±0.02 <sup>b</sup>	3.42±0.00 <sup>f</sup>	15.23±0.01 <sup>f</sup>	16.51±0.01 <sup>f</sup>
ZY3	81.55±0.03 <sup>c</sup>	6.66±0.00 <sup>d</sup>	44.62±0.03 <sup>a</sup>	-10.63±0.02 <sup>f</sup>	8.10±0.00 <sup>d</sup>	30.10±0.02 <sup>a</sup>	32.93±0.01 <sup>a</sup>
ZY4	80.56±0.01 <sup>h</sup>	7.53±0.00 <sup>a</sup>	43.76±0.01 <sup>b</sup>	-11.61±0.01 <sup>c</sup>	8.97±0.00 <sup>a</sup>	29.23±0.01 <sup>b</sup>	32.71±0.01 <sup>b</sup>
ZY5	81.88±0.01 <sup>d</sup>	6.04±0.01 <sup>c</sup>	37.60±0.01 <sup>c</sup>	-10.29±0.01 <sup>d</sup>	7.48±0.01 <sup>c</sup>	23.07±0.01 <sup>c</sup>	26.35±0.01 <sup>c</sup>
ZY6	80.95±0.01 <sup>e</sup>	6.68±0.01 <sup>c</sup>	39.68±0.02 <sup>c</sup>	-11.22±0.01 <sup>b</sup>	8.12±0.01 <sup>c</sup>	25.16±0.02 <sup>c</sup>	28.72±0.02 <sup>c</sup>
ZY 出堆	81.16±0.00 <sup>f</sup>	6.94±0.01 <sup>b</sup>	38.38±0.01 <sup>d</sup>	-11.01±0.01 <sup>e</sup>	8.39±0.01 <sup>b</sup>	23.85±0.01 <sup>d</sup>	27.58±0.01 <sup>d</sup>

注: 数据用平均值±标准偏差表示。

表 5 晒青茶不同渥堆发酵阶段的感官审评结果  
Table 5 Sensory evaluation results of sundried green tea in the different pile-fermentation stage

茶样	外形/分	汤色/分	香气/分	滋味/分	叶底/分	总分/分
晒青	青褐, 亮	橙黄明亮	清香浓郁	醇厚甘爽	褐色	88
ZY1	灰褐(70)	橙黄明亮(50)	略酸(53)	稍酸(53)	褐色匀亮(80)	58.7
ZY2	灰褐(70)	橙黄明亮(50)	略酸(53)	酸(53)	褐色匀亮(80)	58.7
ZY3	灰褐(70)	橙黄明较亮(50)	酸味(54)	酸(55)	褐色匀亮(80)	59.5
ZY4	红褐, 稍灰(84)	橙红明较亮(70)	陈香、略酸(62)	醇和、略酸(62)	红褐匀亮(88)	70.2
ZY5	红褐, 稍灰(84)	橙红明较亮(74)	陈香(80)	甜醇(84)	红褐匀亮(88)	81.9
ZY6	红褐, 稍灰(84)	橙红明较亮(80)	陈香、有甜香(85)	甜醇(88)	红褐匀亮(88)	85.3
ZY 出堆	红褐, 稍灰(86)	棕红明较亮(86)	陈香、木香带甜香(90)	甜醇尚滑(92)	红褐匀亮(88)	89

## 参考文献

- 唐秀华, 孙威江, 唐琴. 紫化茶树生理生化及其花青素调控机理研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2017, 29(6): 1077-1083.  
TANG XH, SUN WJ, TANG Q. Advances in physiology biochemistry and regulation mechanism of anthocyanin in purple shoots of tea plant (*Camellia sinensis*) [J]. Nat Prod Res Dev, 2017, 29(6): 1077-1083.
- 王子浩. 云南勐海群体种红紫色芽叶与紫娟茶春梢生化成分分析[J]. 食品科技, 2016, 41(6): 51-55.  
WANG ZH. Analysis on biochemical components of fuchsia tea leaves in Yunnan Menghai and spring shoots of Zijuan tea [J]. Food Sci Technol, 2016, 41(6): 51-55.
- 向奕, 刘林峰, 刘安, 等. 茶树紫芽花青素研究进展[J]. 茶叶通讯, 2017, 44(1): 11-14.  
XIANG Y, LIU LF, LIU AN, et al. Research progress of purple bud tea anthocyanin [J]. J Tea Commun, 2017, 44(1): 11-14.
- 吴华玲, 何玉媚, 李家贤, 等. 11 个红紫芽茶树新品系的芽叶特性和生化成分研究[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(1): 42-47.  
WU HL, HE YM, LI JX, et al. Shoot traits and biological compositions among eleven new tea germplasm with reddishviolet shoots [J]. J Plant Genet Resour, 2012, 13(1): 42-47.
- 潘亚燕, 吴华玲, 李家贤, 等. 红紫芽茶利用研究进展[J]. 广东农业科学, 2015, 42(1): 8-12.  
PAN YY, WU HL, LI JX, et al. Advances in research and utilization of purple tea [J]. Guangdong Agric Sci, 2015, 42(1): 8-12.
- 王丽莺, 赵容波, 成浩, 等. 叶色特异茶树品种选育现状[J]. 中国茶叶, 2020, 42(1): 15-19.  
WANG LY, ZHAO RB, CHENG H, et al. Current situation on breeding of tea cultivars with special leaf colors [J]. China Tea, 2020, 42(1): 15-19.
- 刘霞, 李芳, 宋勤飞, 等. 大厂茶紫芽品系 P113 不同季节花青素调控相关基因表达分析[J]. 茶叶科学, 2021, 41(6): 789-801.  
LIU X, LI F, SONG QF, et al. Analysis of gene expression related to anthocyanin regulation of 'P113' purple strain of *Camellia tachangensis* F. C. Zhang in different seasons [J]. J Tea Sci, 2021, 41(6): 789-801.
- 吴华玲, 乔小燕, 李家贤, 等. “红紫芽”茶树新品系的生物学特性研究[J]. 热带作物学报, 2011, 32(6): 1009-1015.  
WU HL, QIAO XY, LI JX, et al. Biological characters of new tea germplasm with reddish violet shoots [J]. Chin J Trop Crop, 2011, 32(6): 1009-1015.
- 刘林峰, 向奕, 刘安, 等. 茶叶花青素的研究进展[J]. 茶叶通讯, 2018, 45(1): 3-8.  
LIU LF, XIANG Y, LIU AN, et al. Research progress of tea anthocyanin [J]. J Tea Commun, 2018, 45(1): 3-8.
- 许燕, 玉香甩, 陈洪云, 等. 紫娟茶与勐海地区紫芽茶生化成分含量分析[J]. 湖南农业科学, 2014, (17): 16-17.  
XU Y, YU XS, CHEN HY, et al. Biochemical component content analysis of a tea variety Zijuan and purple bud tea in Menghai [J]. Hunan Agric Sci, 2014, (17): 16-17.
- 谢晓娜, 杨郑州, 王建晖, 等. 紫芽茶花青素研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(11): 204-211.  
XIE XN, ZHENG YZ, WANG JH, et al. Research progress on anthocyanins in purple bud tea [J]. Food Res Dev, 2021, 42(11): 204-211.
- 念波, 段双梅, 石兴云, 等. 6 个红紫芽茶 14 种化学成分含量测定比较[J]. 食品工业, 2020, 41(2): 189-193.  
NIAN B, DUAN SM, SHI XY, et al. Determination of the contents of 14 components in 6 purple tea shoots [J]. Food Ind, 2020, 41(2): 189-193.
- 庞丹丹, 张芬, 张亚真, 等. 茶叶花青素合成、调控及功能的研究进展[J]. 茶叶科学, 2018, 38(6): 606-614.  
PANG DD, ZHANG F, ZHANG YZ, et al. Research advance on biosynthesis, regulation and function of anthocyanins in tea plant [J]. J Tea



- Sci, 2018, 38(6): 606–614.
- [14] 王秋霜, 曹冰冰, 王青, 等. 红紫芽品种的茶类适制性研究[J]. 食品工业科技, 2022. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110049  
WANG QS, CAO BB, WANG Q, *et al.* Research on the suitability of teas made from fresh tea leaves of purple tea [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2022. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110049
- [15] 王家金, 谢春生, 陈继伟. 新产品“紫云红”茶制作工艺及品质成分分析[J]. 云南农业科技, 2012, (5): 27–29.  
WANG JJ, XIE CS, CHEN JW. Analysis of the production process and quality components of the new product “Ziyunhong” tea [J]. *Yunnan Agric Sci Technol*, 2012, (5): 27–29.
- [16] 赵苗苗, 严亮, 张文杰, 等. 不同渥堆发酵方法对普洱茶品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(8): 2640–2648.  
ZHAO MM, YAN L, ZHANG WJ, *et al.* Effects of different pile-fermentation methods on the quality of Pu-erh tea [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(8): 2640–2648.
- [17] 赵苗苗, 何鲁南, 李果, 等. 普洱茶机械化生产及数控发酵的品质研究[J]. 茶叶科学, 2020, 40(5): 676–688.  
ZHAO MM, HE LN, LI G, *et al.* Study on quality of mechanical production and numerical control fermentation of Pu-er tea [J]. *J Tea Sci*, 2020, 40(5): 676–688.
- [18] 陆建良, 梁月荣, 龚淑英, 等. 茶汤色差与茶叶感官品质相关性研究[J]. 茶叶科学, 2002, (1): 57–61.  
LU JL, LIANG YR, GONG SY, *et al.* Studies on relationship between liquor chromaticity and organoleptic quality of tea [J]. *Tea Sci*, 2002, (1): 57–61.
- [19] 王秋萍, 龚加顺, 邹莎莎. 普洱茶发酵阶段色泽的变化及其与品质的关系[J]. 农业工程学报, 2010, 26(S1): 394–399.  
WANG QP, GONG JS, ZOU SS. Relationship between color change and quality of Pu-erh tea during fermentation [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2010, 26(S1): 394–399.
- [20] XU YQ, WANG C, LI CW, *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 Anal Methods*, 2016, 9(5): 1188–1198.
- [21] ZHANG T, NI H, QIU XJ, *et al.* Suppressive interaction approach for masking stale note of instant ripened Pu-erh tea products [J]. *Molecules*, 2019, 24(24): 4473.
- [22] PANG X, YU W, CAO C, *et al.* Comparison of potent odorants in raw and ripened Pu-erh tea infusions based on odor activity value calculation and multivariate analysis: Understanding the role of pile fermentation [J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67(47): 13139–13149.
- [23] 罗美玲, 田洪敏, 杨雪梅, 等. 电子鼻技术对普洱熟茶香气判别的研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(8): 16–24.  
LUO ML, TINA HM, YANG XM, *et al.* Discriminant research for identifying aromas of post-fermentation Pu-erh tea from different storage years using an electronic nose [J]. *J Southwest Univ (Nat Sci Ed)*, 2018, 40(8): 16–24.
- [24] 何鲁南, 赵苗苗, 蔡昌敏, 等. 电子鼻技术对不同贮藏地的普洱茶香气分析[J]. 西南农业学报, 2018, 31(4): 717–724.  
HE LN, ZHAO MM, CAI CM, *et al.* Analysis of Pu-er tea aroma in different storage areas based on electronic nose technique [J]. *Southwest China J Agric Sci*, 2018, 31(4): 717–724.
- [25] 陈婷, 蒋明忠, 彭文, 等. 基于电子鼻技术对云南普洱熟茶的香气品质判别[J]. 西南农业学报, 2017, 30(2): 339–344.  
CHEN T, JIANG MZ, PENG W, *et al.* Aroma quality discriminatin of Yunnan Pu'er ripe tea based on electronic nose [J]. *Southwest China J Agric Sci*, 2017, 30(2): 339–344.
- [26] 宁静, 李健权, 刘本英, 等. 云南大叶种晒青茶发花前后主要风味成分的变化研究[J]. 茶叶科学, 2021, 41(2): 213–227.  
NING J, LI JQ, LIU BY, *et al.* Study on the changes of main flavor components of Yunnan large leaf sun-dried green tea before and after fungal fermentation [J]. *J Tea Sci*, 2021, 41(2): 213–227.
- [27] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.  
WAN XC. *Tea biochemistry* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016.
- [28] 张锐. 散茶发花工艺研究及其主要功效成分分析[D]. 西安: 陕西科技大学, 2016.  
ZHANG R. Study on process and major functional components analysis of Fungi growing on loose tea [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2016.
- [29] 陈琳琳, 邱树毅, 罗小叶, 等. 夏秋茶发花工艺及发花过程中主要物质成分变化[J]. 食品工业, 2017, 38(9): 71–75.  
CHEN LL, QIU SY, LUO XY, *et al.* The fungus grow processing of summer-autumn tea and the changes of main components during the fungus growing [J]. *Food Ind*, 2017, 38(9): 71–75.
- [30] QIN JH, LI N, TU PF, *et al.* Change in tea polyphenol and purine alkaloid composition during solid-state fungal fermentation of post-fermented tea [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(5): 1213–1217.
- [31] TANAKA T, UMEKI H, NAGAI S, *et al.* Transformation of tea catechins and flavonoid glycosides by treatment with Japanese post-fermented tea acetone powder [J]. *Food Chem*, 2012, 134(1): 276–281.
- [32] 张新富, 龚加顺, 周红杰, 等. 云南普洱茶中多酚类物质与品质的关系研究[J]. 食品科学, 2008, (4): 230–233.  
ZHANG XF, GONG JS, ZHOU HJ, *et al.* Study on relationship between polyphenols and quality of Yunnan Pu-erh tea [J]. *Food Sci*, 2008, (4): 230–233.
- [33] 李明超. 紫娟茶化学成分及其活性研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2020.  
LI MC. Study on chemical composition and activity of Zijuan tea [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2020.

(责任编辑: 郑丽 张晓寒)

## 作者简介

赵苗苗, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为普洱茶加工。  
E-mail: 408925409@qq.com

吕才有, 博士, 教授, 主要研究方向为普洱茶加工。  
E-mail: 2495846526@qq.com