

# 杀青方式对秋季黄金芽绿茶品质的影响

叶禹彤<sup>1,2</sup>, 艾仄宜<sup>1</sup>, 李荣林<sup>1</sup>, 穆兵<sup>1</sup>, 田洋<sup>2</sup>, 杨亦扬<sup>1\*</sup>

(1. 江苏省农业科学院休闲农业研究所, 江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏南京 210014)

(2. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南昆明 650201)

**摘要:** 该研究以秋季黄金芽鲜叶为原料加工绿茶, 比较滚筒、蒸汽和微波三种不同杀青方式对其品质的影响。感官评估结合品质成分分析表明, 三种杀青方式所制秋季黄金芽绿茶均品质优异, 但不同杀青方式处理的茶叶色泽、香气、滋味存在较大差异。滚筒杀青处理的干茶色泽最绿, 香气最优, 栗香明显, 氨基酸含量比蒸汽和微波杀青分别高 11.01%和 5.20%, 茶多酚含量低 3.54%和 3.94%, 滋味醇和鲜爽; 蒸汽杀青处理后滋味得分最高, 拥有最高的茶氨酸 (7.69 mg/g) 和最低的咖啡碱 (27.91 mg/g), 同时电子舌结果表明, 其鲜味值、丰度均最大, 苦味值最小; 电子舌滋味属性与化学成分相关性分析表明, 秋季黄金芽绿茶茶汤鲜味值与茶氨酸含量有显著正相关 ( $p<0.05$ ), 相关系数为 0.99; 苦味值与苦味儿茶素含量有显著正相关性 ( $p<0.05$ ), 相关系数为 0.99; 此外, 不同杀青方式的黄金芽绿茶对不同自由基的清除能力不同, 总抗氧化能力依次为微波杀青 (0.83) > 蒸汽杀青 (0.80) > 滚筒杀青 (0.66)。综上所述, 滚筒杀青滋味醇和, 香气高长; 蒸汽杀青滋味醇厚, 色泽黄绿。虽有所侧重, 但所制秋季黄金芽绿茶均体现了其良好的品种优势。

**关键词:** 黄金芽; 绿茶; 杀青方式; 滋味; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2022)09-245-253

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.9.1162

## Effects of Fixation Methods on the Quality of Huangjinya Green Tea Produced in Autumn

YE Yutong<sup>1,2</sup>, AI Zeyi<sup>1</sup>, LI Ronglin<sup>1</sup>, MU Bing<sup>1</sup>, TIAN Yang<sup>2</sup>, YANG Yiyang<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Leisure Agriculture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

(2. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** In this study, the fresh leaves of Huangjinya green tea obtained in Autumn were used as the raw materials to process green tea, and the effects of three different fixation methods, drum rolling, steaming and microwaving, on the quality of Huangjinya green tea products were studied. The sensory evaluation combined with quality analysis revealed that the Huangjinya green tea products produced with the three different fixation methods were all of excellent quality, but there were great differences in tea color, aroma and taste. The dry tea fixed by drum rolling had the greenest color and best aroma with an obvious chestnut aroma. Compared with those fixed by steaming and microwaving, the tea fixed by drum rolling had a higher amino acid content (increased by 11.01% and 5.20%, respectively) and lower content of tea polyphenols (decreased by 3.54% and 3.94%, respectively), making the green tea taste mellow and fresh. The tea fixed by steaming had the highest taste score with the highest theanine content (7.69 mg/g) and the lowest caffeine content (27.91 mg/g), and exhibited the highest umami taste and abundance but lowest bitterness in the electronic tongue analysis. The correlation analysis of taste attributes detected by the electronic tongue

引文格式:

叶禹彤, 艾仄宜, 李荣林, 等. 杀青方式对秋季黄金芽绿茶品质的影响[J]. 现代食品科技, 2022, 38(9): 245-253

YE Yutong, AI Zeyi, LI Ronglin, et al. Effects of fixation methods on the quality of Huangjinya green tea produced in autumn [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(9): 245-253

收稿日期: 2021-10-18

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目 (CX(20)3116); 江苏省现代农业产业技术体系 (JATS[2021]273); 江苏省农业重大技术协同推广计划试点项目 (2020-SJ-047-02-1)

作者简介: 叶禹彤 (1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 茶叶加工与品质形成, E-mail: yeyutong413@163.com; 共同第一作者: 艾仄宜 (1987-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 茶叶加工与品质形成, E-mail: aizeyi@jaas.ac.cn

通讯作者: 杨亦扬 (1983-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 茶树生理与营养, E-mail: yangyiyang\_yyy@126.com

and chemical composition showed that the umami value of the Autumn Huangjinya green tea was significantly and positively correlated with the theanine content ( $p < 0.05$ ), with the correlation coefficient as 0.99. There was a significant positive correlation between the bitterness value and the bitter-tasting catechin content ( $p < 0.05$ ), with the correlation coefficient as 0.99; In addition, the Huangjinya green tea fixed with different methods had different abilities to scavenge different free radicals, with the total antioxidant capacity decreased in the order of microwaving (0.83) > steaming (0.80) > drum rolling (0.66). In summary, the tea fixed by drum rolling tastes mellow with a strong and long aroma; the tea fixed by steaming had a mellow and thick taste and yellow-green color. Although there are some distinct favorable attributes, the Huangjinya green teas all show variety advantages.

**Key words:** Huangjinya; green tea; method of fixation; taste; antioxidant activity

黄金芽为光照敏感型、黄色系白化茶新品种,春、夏、秋三季新梢均呈黄色,所制茶品质特点明显,色泽突出“三黄”,即干茶亮黄、汤色嫩黄、叶底明黄<sup>[1]</sup>,观赏价值高,栽种面积逐年增长。目前生产多采用春季细嫩茶青进行名优绿茶的加工,单产偏低,春季后期及夏、秋季鲜叶资源被大量浪费<sup>[2]</sup>。同时关于黄金芽加工方式精准研究较少,目前仅有针对受热后叶片进行闷黄工序来保留黄金芽鲜叶嫩黄的外观色泽的研究,因此有必要针对其品种特性,开展不同加工方式对提升黄金芽茶品质的相关研究,促进黄金芽鲜叶的有效利用。

杀青是绿茶加工中品质形成最关键的工序<sup>[3]</sup>。祁丹丹等<sup>[4]</sup>研究表明滚筒杀青夏季绿茶苦味较强,但具有高长的栗香。吴雅丽<sup>[5]</sup>研究发现蒸汽杀青方式穿透力强,叶绿素损失较少,有利于突出滋味和色泽的特点,一定程度上能提高秋季茶品质。朱德文等<sup>[6]</sup>研究表明微波杀青绿茶外形色泽紧实翠绿,叶底嫩绿明亮,对茶叶内含物具有较高的保留特性,但滋味不如蒸汽杀青。目前,关于不同杀青方式对黄金芽这种特异品种的秋茶品质影响的研究还未见报道。黄金芽秋季仍能保持高氨低酚的特点,在制作绿茶上明显优于其他茶树品种。本研究通过感官审评,结合高效液相色谱、三重四级杆质谱技术对所制得的秋季黄金芽绿茶进行品质评价,并采用体外模拟方法测定其抗氧化活性,探讨不同杀青方式对秋季黄金芽绿茶品质和抗氧化活性的影响,以期对秋季黄金芽绿茶的综合利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

鲜叶原料:选用江苏现代农业(茶叶)产业技术体系仪征推广示范基地(经度 119.06, 纬度 32.34)黄金芽品种一芽二叶为主要原料,采制时间为 2020 年 9 月。

实验试剂:没食子酸(GA)、儿茶素(C)、表儿茶素(EC)、没食子儿茶素(GC)、表没食子儿茶素(EGC)、儿茶素没食子酸酯(CG)、表儿茶素

没食子酸酯(ECG)、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)及咖啡碱标准品购于上海源叶生物科技有限公司;乙腈、甲醇、甲酸铵、甲酸(HPLC 级)购于美国默克公司;氨基酸标准样品购于麦克林试剂有限公司;抗氧化能力(T-AOC)购于南京建成生物科技有限公司;1,1-二苯基-2-苦基肼(DPPH)、甲酸、甲醇、丙酮、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、磷酸、硫酸、蒽酮、福林酚、碳酸钠、水合茚三酮、氯化亚锡等均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

茶叶加工设备:上洋 6CST-50 滚筒杀青机、上洋 6CH-20 茶叶烘干机、上洋 6CHT-6.0 提香机、美的(Midea) M1-L213B 微波炉、北京永光明 FW-100 高速万能粉碎机。

品质分析仪器:赛多利斯 BSA124S-电子天平、上海光棱 756s-紫外可见分光光度计、柯尼卡美能达 CM-23D 分光测色仪、Agilent-1260 液相色谱仪、BIOTEK-Cytation5 酶标仪、INSENT 味觉分析系统-SA402B 电子舌、Agilent-1290UPLC 系统、ABSciex 4500 三重四级杆质谱检测器、艾本德 5418R 台式高速离心机、Analyst 工作站、屈臣氏蒸馏水购买于当地大润发超市。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 样品制备

茶鲜叶(一芽二叶)采摘后混匀,在室内进行摊放,摊放厚度为 3 cm,摊放时间为 3 h,每小时进行一次翻叶。对试验样品分别同时进行滚筒、蒸汽、微波杀青处理。

滚筒杀青处理:滚筒杀青(90 s)→毛火(120 ℃, 15 min)→足火(90 ℃, 30 min)

蒸汽杀青处理:蒸汽杀青(90 s)→毛火(120 ℃, 15 min)→足火(90 ℃, 30 min)

微波杀青处理:微波杀青(中高火 90 s)→毛火(120 ℃, 15 min)→足火(90 ℃, 30 min)

以上三种方式获得的干茶用高速万能粉碎机粉碎,用于后续化学成分分析。

### 1.3.2 感官品质分析

参照国家标准 GB/T 23776-2018 对不同杀青处理的绿茶进行感官审评<sup>[7]</sup>。单项审评满分为 100,加权评分按照外形 25%、汤色 10%、香气 25%、滋味 30%、叶底 10%计算品质总分。

### 1.3.3 干茶色泽测定

采用  $L^*a^*b^*$  表色系统,色差计法直接测定干茶色泽。使用前先用白板校正,每次手持分光测色仪任取 3 个点测定即时色差,每个点重复 3 次取平均值用于统计分析。其中  $L^*$  代表亮度;  $a^*$  代表红绿色度,正值表示红色,负值表示绿色;  $b^*$  表示黄蓝色度,正值表示黄色,负值表示蓝色。 $a^*$  及  $b^*$  决定其色彩度,  $b^*/a^*$  决定其色相。

### 1.3.4 茶汤味觉值测定

采用电子舌采集茶汤的传感器响应值。取上述感官审评茶汤制备液约 40 mL/份,共 3 份,倒入专用量杯中,将其放入电子舌自动进样器上,数据采集序列为校准溶液和待测茶汤交替进行,重复测量 3 次,求其 3 次的平均值作为各传感器响应值的原始数据,然后进行味觉值转换得到相应味觉值。

### 1.3.5 品质成分测定

水浸出物含量根据 GB/T 8305-2013 中的减压抽滤法测定<sup>[8]</sup>。可溶性糖含量采用蒽酮-硫酸比色法测定<sup>[8]</sup>。叶绿素含量采用混合液法测定<sup>[9]</sup>,取 0.2 g 过 40 目筛的茶粉,浸泡于乙醇:丙酮:水=4.5:4.5:1 (V/V/V) 的浸提液中,黑暗提取 24 h。过滤后滤液在 663 nm 和 645 nm 波长下比色。利用 Arnon 公式计算茶叶所含叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素的含量。茶多酚含量根据 GB/T 8313-2018 中的福林酚法测定<sup>[10]</sup>,以没食子酸作校正标准定量茶多酚。游离氨基酸含量根据 GB/T 8314-2013 中的茚三酮比色法测定<sup>[11]</sup>。

儿茶素组分和咖啡碱含量的测定采用高效液相色谱法<sup>[10]</sup>。色谱柱为 Agilent TC-C18; 流量 0.8 mL/min,柱温 35 °C,进样量 5  $\mu$ L,检测波长 278 nm; 流动相: A 相为超纯水(含 0.1%甲酸), B 相为甲醇; 洗脱梯度: 0~2 min: 80% A; 2~6 min: 75% A; 6~10 min: 70% A; 10~13 min: 75% A; 13~23 min: 70% A; 23~25 min: 75% A; 25~30 min: 80% A。

氨基酸组分测定的测定采用液质联用色谱法<sup>[12]</sup>。色谱柱为 Waters T3 色谱柱; 流量 0.3 mL/min,柱温 40 °C,进样量 1  $\mu$ L; 流动相: A 相为 0.1%甲酸, B 相为乙腈(含 0.1%甲酸); 洗脱梯度: 0~3 min: 1% B; 3~6 min: 1%~4% B; 6~7.5 min: 4%~90% B;

7.5~9.3 min: 90% B; 9.3~9.4 min: 90% B~1% B; 9.4~12 min: 1% B。质谱条件: 离子化模式 ESI<sup>+</sup>, 检测方式多反应检测(MRM), 气帘气: 35 psi; 喷雾电压: 5.5 kV; 离子化温度: 450 °C; Gas1: 40 °C; Gas2: 40 °C。

### 1.3.6 抗氧化能力测定

羟自由基( $\cdot$ OH)清除能力的测定: 参考 Halliwell 等<sup>[13]</sup>描述的方法,将水杨酸用体积分数 20%的无水乙醇溶解后配成 6 mmol/L 备用,其余试剂用水稀释。硫酸亚铁铵溶液为 6 mmol/L,过氧化氢溶液为 8 mmol/L。依次加入反应液后混合,室温静置 30 min,测定 510 nm 处的吸光度,每组重复 3 次。羟自由基( $\cdot$ OH)清除能力测定时分别将茶汤样品稀释至 12、10、5、1、0.1 mg/mL。自由清除率计算:

$$F_1 = \left( 1 - \frac{A_x - A_{x0}}{A_0} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

- $F_1$ ——羟基自由基清除率, %;
- $A_0$ ——试剂本底吸收值;
- $A_{x0}$ ——茶汤背景吸收值;
- $A_x$ ——自由基反应体系吸光度。

DPPH 自由基(DPPH $\cdot$ )清除能力的测定: 参考 Brand 等<sup>[14]</sup>方法加以改进。将 DPPH 用体积分数 95%乙醇稀释成 40 mg/L 的溶液,再以乙醇调整其浓度,使溶液在 517 nm 处的吸光度保持在 0.600~0.700。测定 517 nm 处吸光度,每组重复 3 次。DPPH 自由基(DPPH $\cdot$ )清除能力测定时分别将茶汤样品稀释至 100、50、25、10、5  $\mu$ g/mL。自由基清除率计算:

$$F_2 = \left( 1 - \frac{A_x}{A_{control}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

- $F_2$ ——DPPH 自由基清除率, %;
- $A_x$ ——样品管的吸收值;
- $A_{control}$ ——对照管的吸收值。

总抗氧化能力(T-AOC)测定: 依照测定试剂盒说明书规定方法进行。Trolox 是一种 VE 的类似物,具有和 VE 相近的抗氧化能力。Trolox 的总抗氧化能力为 1,相同浓度情况下,其他物质的抗氧化能力用其抗氧化能力和 Trolox 相比的倍数来表示。

## 1.4 数据处理

试验所得的数据使用 Excel 2016 和 SPSS 22.0 软件分别进行数据计算和显著性分析( $p < 0.05$ )。每个样本重复三次,数据以平均值 $\pm$ 标准差表示。

表 1 不同杀青处理对绿茶感官品质差异

**Table 1 Sensory quality of green tea produced by different fixation ways**

杀青方式	外形	汤色	香气	滋味	叶底	总分
	评语得分	评语得分	评语得分	评语得分	评语得分	
滚筒杀青	色泽翠绿 88	黄绿明亮 88	栗香 90	醇和 86	黄绿 88	87.90
蒸汽杀青	色泽黄绿 86	黄绿明亮 88	清香闷气 86	醇厚 88	绿黄 86	86.80
微波杀青	色泽绿 88	黄绿明亮 87	栗香 87	鲜甘 85	绿黄 86	86.55

## 2 结果与讨论

### 2.1 龙井 43、白叶 1 号、黄金芽所制秋季绿茶

的品质成分测定

对滚筒杀青所制龙井 43、白叶 1 号、黄金芽秋季绿茶进行品质成分分析, 结果表明(图 1), 秋季绿茶水浸出物含量普遍很高, 均大于 40%。而茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱的含量因品种而差异显著, 其中龙井 43 茶多酚含量最高为 26.87%, 且拥有最高的咖啡碱含量, 滋味较苦涩; 黄金芽秋季绿茶的氨基酸含量显著高于龙井 43 和白叶 1 号, 且含有最低的茶多酚含量(17.23%)和最低的咖啡碱含量(2.25%), 干茶滋味更醇和鲜爽。因此相较于普通常绿茶树资源, 黄金芽即便在秋季, 仍具有较高的氨基酸和较低的茶多酚, 是良好的秋季茶树资源。

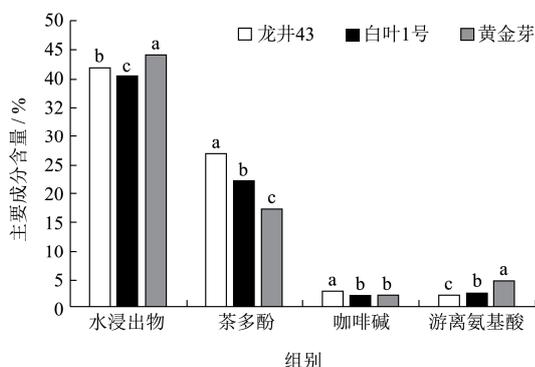


图 1 不同品种绿茶主要品质成分含量

Fig.1 Contents of main quality components of different varieties green tea

### 2.2 不同杀青处理对黄金芽绿茶感官品质影响

黄金芽绿茶感官审评结果如表 1 所示, 三种杀青方式所制黄金芽秋季绿茶均品质优异。不同杀青方式对外形、香气、滋味、叶底得分影响较大, 而汤色得分差别不大。滚筒杀青总体得分高于微波杀青和蒸汽杀青。香气上, 滚筒杀青和微波杀青均呈栗香。滚筒杀青机的排湿风机可使桶内水蒸气顺势排出, 防止水闷气的产生, 更利于形成高长的栗香。微波杀青则由

于叶温升温过快, 抑制了茶叶内含物质的转化, 过早固定了茶叶品质, 致使香气未能充分发挥<sup>[6]</sup>, 因此香气不如滚筒杀青。蒸汽杀青是将一定温度和压力的水蒸气直接作用于鲜叶, 在湿热作用下将蛋白质水解成氨基酸<sup>[15]</sup>, 所以香气类型有所不同, 属清香型。但由于水汽不能及时排走, 使得闷气明显, 香气品质较差; 滋味评分上, 蒸汽杀青滋味醇厚, 得分最高(88), 其次依次为滚筒杀青、微波杀青; 参考国家标准对黄金芽绿茶进行外形审评, 滚筒杀青和微波杀青处理后的干茶色泽较绿, 蒸汽杀青较好的保留了黄金芽的品种特性而色泽黄绿, 外形得分较低。针对黄金芽的黄化特性, 进一步通过  $L^*a^*b^*$  表色系统对黄金芽干茶色泽进行分析, 来综合全面评价黄金芽绿茶的色泽品质。

### 2.3 不同杀青处理对黄金芽绿茶色泽品质的影响

表 2 不同杀青处理对绿茶色泽品质差异

**Table 2 Color index of green tea produced by different fixation ways**

杀青方式	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$b^*/a^*$
滚筒杀青	34.21±1.00 <sup>b</sup>	-2.22±0.02 <sup>c</sup>	29.44±0.13 <sup>b</sup>	-13.26±0.06 <sup>b</sup>
蒸汽杀青	30.12±1.47 <sup>c</sup>	2.68±0.20 <sup>a</sup>	28.50±0.84 <sup>b</sup>	10.69±1.07 <sup>a</sup>
微波杀青	37.28±0.49 <sup>a</sup>	-1.56±0.13 <sup>b</sup>	35.52±1.01 <sup>a</sup>	-22.85±1.39 <sup>c</sup>

注: 同列右肩不同的小写字母表示具有显著差异 ( $p < 0.05$ )。表 4 同。

$L^*a^*b^*$  表色系统颜色均匀, 与人类视觉相一致, 广泛用于茶叶色泽测定。不同杀青处理对茶叶热作用的方式不同, 对叶绿素的破坏和折损程度也不一样, 色泽品质(表 2)的结果显示, 不同杀青方式对干茶  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*/a^*$  值影响显著。微波杀青绿茶的干茶色泽  $L^*$  值最高, 色泽鲜亮, 可能是由于水分散失方向与热传递方向一致, 内外失水均匀, 因此叶质柔软, 叶色绿<sup>[16]</sup>; 蒸汽杀青处理的  $a^*$  和  $b^*/a^*$  均为正值, 表明干茶色泽由红色调和黄色调搭配而成, 色泽偏黄, 更好的突出了黄金芽色泽优势。但由于有红色调占比, 干茶色泽稍暗沉, 这可能是由于杀青过程中水蒸气直接与鲜叶接触, 在湿热作用下更多的叶绿素 a/b 被降解

(叶绿素 a 含量为 1.29 mg/g, 叶绿素 b 含量为 1.65 mg/g), 导致绿色素与黄色素含量比值显著降低, 色泽黄绿, 与感官审评结果相符; 滚筒杀青处理的干茶色泽  $a^*$  值最低,  $b^*/a^*$  为负且绝对值最低, 表明干茶色泽由黄绿色调搭配而成, 绿色度最高。

## 2.4 不同杀青处理下黄金芽绿茶电子舌检测

通过电子舌进行滋味分析, 可以看出黄金芽绿茶

表 3 不同杀青处理对绿茶电子舌检测的差异

Table 3 Electronic tongue detection of green tea produced by different fixation ways

杀青方式	甜味	鲜味	丰度	苦味	涩味	回味-涩味	回味-苦味	咸味	酸味
滚筒杀青	20.66±0.00 <sup>b</sup>	11.66±0.00 <sup>b</sup>	2.87±0.00 <sup>b</sup>	13.30±0.00 <sup>a</sup>	21.36±0.0 <sup>b</sup>	8.74±0.00 <sup>b</sup>	<0	<-10	<-30
蒸汽杀青	20.58±0.06 <sup>b</sup>	12.09±0.04 <sup>a</sup>	3.24±0.04 <sup>a</sup>	12.81±0.21 <sup>b</sup>	21.96±0.06 <sup>a</sup>	9.43±0.08 <sup>a</sup>	<0	<-10	<-30
微波杀青	21.62±0.10 <sup>a</sup>	11.04±0.06 <sup>c</sup>	2.24±0.01 <sup>c</sup>	13.48±0.15 <sup>a</sup>	19.80±0.08 <sup>c</sup>	7.38±0.12 <sup>c</sup>	<0	<-10	<-30

## 2.5 不同杀青处理对黄金芽绿茶主要品质成分影响

水浸出物含量能表明内含物质的丰富度, 氨基酸、茶多酚、咖啡碱和可溶性糖是茶叶滋味的呈味物质。如表 4 所示, 不同杀青方式对黄金芽绿茶的咖啡碱、氨基酸、可溶性糖和叶绿素含量均有显著性影响, 对水浸出物、茶多酚和没食子酸含量影响较小。

表 4 不同杀青处理下绿茶主要品质成分含量

Table 4 Contents of main quality components of green tea produced by different fixation ways

品质成分	滚筒杀青	蒸汽杀青	微波杀青
水浸出物/%	43.99±4.89 <sup>a</sup>	44.59±5.80 <sup>a</sup>	40.33±4.94 <sup>b</sup>
咖啡碱/(mg/g)	30.08±0.03 <sup>b</sup>	27.91±0.00 <sup>c</sup>	31.53±0.05 <sup>a</sup>
氨基酸/(mg/g)	47.32±1.28 <sup>a</sup>	42.11±0.90 <sup>b</sup>	44.86±1.88 <sup>ab</sup>
茶多酚/(mg/g)	172.28±0.14 <sup>b</sup>	178.60±0.19 <sup>a</sup>	179.34±0.28 <sup>a</sup>
可溶性糖/(mg/g)	20.58±0.05 <sup>b</sup>	19.80±0.11 <sup>b</sup>	23.24±0.10 <sup>a</sup>
叶绿素 a/(mg/g)	1.84±0.76 <sup>a</sup>	1.29±0.74 <sup>c</sup>	1.57±0.89 <sup>b</sup>
叶绿素 b/(mg/g)	1.94±0.51 <sup>a</sup>	1.65±0.77 <sup>b</sup>	1.93±0.33 <sup>a</sup>
叶绿素 a+b/(mg/g)	3.77±0.13 <sup>a</sup>	2.75±0.27 <sup>b</sup>	3.50±0.56 <sup>a</sup>
黄酮/(mg/g)	11.64±0.02 <sup>a</sup>	11.63±0.02 <sup>a</sup>	10.64±0.04 <sup>b</sup>
没食子酸/(mg/g)	1.53±0.02 <sup>a</sup>	1.68±0.02 <sup>a</sup>	1.54±0.00 <sup>a</sup>

其中水浸出物含量在 40.33%至 44.59%之间, 咖啡碱含量在 27.91 至 31.53 mg/g 之间。滚筒杀青的氨基酸含量最高达到 47.32 mg/g, 分别比蒸汽杀青和微波杀青高 11.01%和 5.20%, 这可能是由于滚筒杀青鲜叶升温由表及里相对缓慢<sup>[17]</sup>, 蛋白质水解更加充分。茶多酚含量最低为 172.28 mg/g, 分别比蒸汽杀青和微波杀青低 3.54%和 3.94%。微波杀青的可溶性糖含量为 23.24 mg/g, 显著高于滚筒杀青和蒸汽杀青, 但滚

在不同杀青方式下的涩味、回味-涩味、鲜味、丰度差异性较大, 甜味、苦味差异较小, 其中酸味、咸味、回味-苦味的味觉值低于人体的味觉阈值, 饮用时不能感受到差异。蒸汽杀青的鲜味值和丰度最大, 苦味值最小, 与感官审评滋味得分最高相吻合。微波杀青的甜味值和苦味值最大, 涩味值与鲜味值最小。涩味的回味与涩味保持一致(表 3)。

筒杀青和蒸汽杀青差别不大。滚筒杀青的叶绿素含量显著高于蒸汽杀青和微波杀青。滚筒杀青的叶绿素 a 含量比蒸汽杀青和微波杀青高 42.33%和 17.09%, 叶绿素 b 含量比蒸汽杀青高 17.27%。

表 5 不同杀青处理下绿茶儿茶素组分含量

Table 5 Contents of catechin component of green tea produced by different fixation ways

儿茶素组/(mg/g)	滚筒杀青	蒸汽杀青	微波杀青
GC	0.64±0.00 <sup>b</sup>	0.73±0.01 <sup>a</sup>	0.67±0.00 <sup>ab</sup>
EGC	18.20±0.02 <sup>a</sup>	16.46±0.03 <sup>b</sup>	18.03±0.04 <sup>a</sup>
C	0.67±0.01 <sup>a</sup>	0.78±0.00 <sup>a</sup>	0.74±0.00 <sup>a</sup>
EC	12.50±0.01 <sup>a</sup>	13.41±0.00 <sup>a</sup>	12.65±0.04 <sup>a</sup>
EGCG	49.01±0.09 <sup>c</sup>	49.97±0.03 <sup>b</sup>	50.85±0.01 <sup>a</sup>
ECG	35.83±0.03 <sup>b</sup>	33.53±0.06 <sup>c</sup>	36.81±0.02 <sup>a</sup>
GCG	-	1.42±0.01	-
CG	-	2.52±0.01	-
儿茶素总量	116.85±1.83 <sup>b</sup>	118.82±0.06 <sup>a</sup>	119.75±0.10 <sup>a</sup>

注:“-”表示低于检出限。

儿茶素是茶叶多酚类的主体, 约占茶多酚总量的 70%~80%, 是构成茶叶涩味的主要成分<sup>[18]</sup>。分为酯型儿茶素(EGCG、ECG、GCG、CG)和非酯型儿茶素(GC、EGC、C、EC), 酯型儿茶素是茶叶涩味的主体, 含量一定时, 对绿茶品质形成更为有利<sup>[19]</sup>。从表 5 中可以看出不同杀青处理的黄金芽绿茶的 EC 和 C 含量无显著差异, 而 ECG 和 EGCG 含量在不同处理间差异最为显著。而 ECG 和 EGCG 含量又以微波杀青处理为最高, ECG 含量分别高于滚筒杀青和蒸汽杀青 2.66%和 8.91%。EGCG 含量显著高于滚筒杀青和蒸汽杀青处理 3.62%和 1.73%。同时微波杀青的茶多酚(179.34 mg/g)和儿茶素总量也较高, 可能是因为杀青时鲜叶内部和表面同时升温, 能迅速钝化酶活,

阻止多酚类的氧化,同时形成茶叶必要品质特征的湿热作用没有充分进行<sup>[20]</sup>,所以滋味要稍差一些。Susanne 等<sup>[21]</sup>研究表明 EGCG 活度值下限大于 3,而 EGC、ECG、EC、GCG 4 种儿茶素的阈值上限大于 1,因此主要贡献茶汤苦味强度。使得苦味儿茶素含量微波杀青最高(67.49 mg/g),蒸汽杀青最低(64.82 mg/g)。GCG 和 CG 只在蒸汽杀青处理中有检出,其他两种处理均未检出。

表 6 不同杀青处理下绿茶氨基酸组分含量(mg/g)

Table 6 Contents of amino acid component of green tea

produced by different fixation ways (mg/g)			
氨基酸组分	滚筒杀青	蒸汽杀青	微波杀青
茶氨酸	7.55	7.69	7.20
谷氨酸	2.59	2.38	2.54
天冬氨酸	2.01	2.02	2.18
谷氨酰胺	0.18	0.16	0.18
丝氨酸	0.70	0.65	0.75
苏氨酸	0.33	0.35	0.34
脯氨酸	0.12	0.14	0.12
丙氨酸	0.18	0.18	0.18
精氨酸	1.32	1.18	1.23
赖氨酸	0.15	0.15	0.14
缬氨酸	0.09	0.10	0.09
$\gamma$ -氨基丁酸	0.08	0.05	0.07
异亮氨酸	0.07	0.07	0.06
天冬酰胺	0.17	0.16	0.15
瓜氨酸	0.02	0.02	0.02
酪氨酸	0.20	0.23	0.23
鸟氨酸	0.00	0.01	0.00
苯丙氨酸	0.13	0.17	0.13
组氨酸	0.06	0.05	0.05
甘氨酸	0.07	0.10	0.06
亮氨酸	0.10	0.10	0.10
色氨酸	0.18	0.19	0.19
氨基酸总量	16.30	16.13	16.00

可溶性氨基酸含量是构成茶叶品质的关键及评价茶叶品质的重要指标,同时也是影响茶汤滋味的重要因素<sup>[22]</sup>。氨基酸根据滋味可归为滋味相关类、鲜爽类、甜味类、芳香类、苦味类,各类之间氨基酸种类有所交叉,可在一定程度上解释氨基酸对茶汤滋味的贡献<sup>[23]</sup>。茶氨酸是茶树中特有的氨基酸,也是含量最高的游离氨基酸,其含量占茶树中氨基酸总量的 40%~60%,是茶叶鲜爽味的主要来源<sup>[24]</sup>。从表 6 中可以看出,不同杀青方式影响黄金芽绿茶中氨基酸组分含量。蒸汽杀青处理的黄金芽绿茶茶氨酸含量最高达

到 7.69 mg/g,占游离氨基酸总量的 47.66%。谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸和茶氨酸均属于鲜爽味氨基酸,可协同增强茶叶的鲜爽味<sup>[25]</sup>。丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸和脯氨酸属于甜味氨基酸<sup>[26]</sup>。组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸、精氨酸、苯丙氨酸属于苦味氨基酸<sup>[27]</sup>。不同处理的苦味氨基酸占游离氨基酸总量的 10.26%至 10.86%。蒸汽杀青的茶氨酸、丝氨酸、苏氨酸、脯氨酸、缬氨酸、瓜氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸含量均比其他处理的含量高,因此丰富度强,滋味醇厚,结果均与感官审评和电子舌检测得分相一致。

## 2.6 相关性分析

品质成分的差异是引起成茶感官品质的关键,因此对不同杀青方式黄金芽绿茶的感官审评和品质成分、电子舌滋味属性强度和滋味化学成分含量分别进行相关性分析,结果如表 7。黄金芽秋季绿茶的感官审评总得分与茶多酚和酯型儿茶素含量均为显著负相关( $p < 0.05$ ),表明秋季黄金芽绿茶的茶多酚和酯型儿茶素含量越高,感官审评总分越低,苦涩味则相对较强。没食子酸和茶氨酸与滋味则表现出正相关,相关系数为 0.92 和 0.90,但相关性不显著( $p > 0.05$ )。

表 7 相关性分析

Table 7 Correlation analysis

项目	相关系数	显著性
感官审评滋味得分和茶氨酸含量	0.90	0.14
感官审评滋味得分和鲜味氨基酸含量	0.72	0.24
感官审评滋味得分和没食子酸含量	0.92	0.13
感官审评滋味得分和酯型儿茶素含量	0.19	0.44
感官审评总得分和茶氨酸含量	0.42	0.36
感官审评总得分和鲜味氨基酸总量	0.68	0.26
感官审评总得分和茶多酚总量	-0.97*	0.03
感官审评总得分和酯型儿茶素含量	-0.98*	0.05
电子舌鲜味值和茶氨酸含量	0.99*	0.05
电子舌鲜味值和鲜爽味氨基酸含量	0.89	0.15
电子舌甜味值和可溶性糖含量	0.99*	0.05
电子舌甜味值和甜味氨基酸含量	0.97	0.09
电子舌苦味值和咖啡碱含量	0.99*	0.05
电子舌苦味值和苦味儿茶素含量	0.99*	0.03
电子舌涩味值和酯型儿茶素含量	-0.25	0.42
电子舌涩味值和儿茶素总量	-0.79	0.21

根据电子舌滋味属性进一步研究发现,黄金芽绿茶的鲜味值与茶氨酸和鲜味氨基酸含量均表现为正相关,与茶氨酸含量相关性显著( $p < 0.05$ ),表明茶氨酸含量越高,鲜味得分越高,但与鲜味氨基酸相关性不显著。可能是因为人的味觉神经对于不同呈味物质

的敏感程度不同<sup>[28]</sup>,因而呈味氨基酸的含量越高,对滋味的贡献不一定越大。同时多滋味属性的氨基酸存在互作,可表现为协同、加和、抑制效应<sup>[29]</sup>。例如低于呈味阈值的苦味氨基酸可增强其他氨基酸的鲜味和甜味<sup>[30]</sup>;苯丙氨酸、酪氨酸、精氨酸能增加呈味的复杂性和辅助提升鲜度<sup>[31]</sup>;咖啡碱能够增强茶氨酸的鲜味,少量降低茶氨酸的甜味,而茶氨酸却少量降低咖啡碱的苦味<sup>[32]</sup>。因此呈味氨基酸的呈味特性有时不够显著;EGCG和ECG是儿茶素中苦味阈值较低的酯型儿茶素<sup>[33]</sup>,加上较高含量的咖啡碱,使得微波杀青苦味较重。通过相关性分析发现黄金芽绿茶的苦味值与咖啡碱和苦味儿茶素含量有显著正相关性( $p < 0.05$ )。通常儿茶素含量即可较好地对应茶汤苦味进行量化,即茶汤苦味强度主要由儿茶素含量决定;而茶汤涩味的呈现较为复杂,需综合考虑儿茶素、咖啡碱、没食子酸、黄酮醇苷、氨基酸等组分才可对其涩

味有较好的量化,即儿茶素涩味并非完全由儿茶素含量决定<sup>[34]</sup>。

## 2.7 不同杀青处理下黄金芽绿茶的抗氧化能力

抗氧化能力是体现茶叶保健功效的重要指标,茶多酚、氨基酸、黄酮等是主要的功效因子,可有效清除自由基,抑制活性氧的形成<sup>[35]</sup>。由表8可知,杀青方式对黄金芽绿茶总抗氧化能力有显著影响,对清除羟自由基和DPPH自由基的能力影响不显著。茶汤浓度为400  $\mu\text{g/mL}$ 时,总抗氧化能力由强至弱依次为微波杀青>蒸汽杀青>滚筒杀青>对照,这与不同杀青处理的绿茶儿茶素含量存在显著正相关( $p=0.05$ ),相关系数为0.99。说明茶叶提取物的抗氧化活性与茶多酚含量呈现良好的量效关系,茶多酚含量越高,抗氧化活性越强<sup>[36]</sup>。滚筒杀青、蒸汽杀青和微波杀青的黄金芽绿茶清除 $\cdot\text{OH}$ 的 $\text{IC}_{50}$ 值无显著差异。

表8 不同杀青处理下绿茶清除自由基的能力

Table 8 Free radical scavenging ability of green tea produced by different fixation ways

半抑制浓度( $\text{IC}_{50}$ )	滚筒杀青	蒸汽杀青	微波杀青
$\cdot\text{OH}/(\text{mg/mL})$	11.28±1.16 <sup>a</sup>	10.21±1.09 <sup>a</sup>	11.71±0.30 <sup>a</sup>
DPPH/ $(\mu\text{g/mL})$	41.34±1.10 <sup>b</sup>	52.48±0.43 <sup>a</sup>	51.54±0.67 <sup>a</sup>
总抗氧化能力/(400 $\mu\text{g/mL}$ )	0.66±0.01 <sup>b</sup>	0.80±0.01 <sup>a</sup>	0.83±0.00 <sup>a</sup>

蒸汽杀青和微波杀青的黄金芽绿茶清除DPPH的 $\text{IC}_{50}$ 值无显著差异,但显著高于滚筒杀青,表明滚筒杀青对DPPH的清除能力高于蒸汽杀青和微波杀青。但总抗氧化力与自由基清除力之间并没有直接对应关系,说明茶叶中除儿茶素外还有更多具有自由基清除力的成分,且对于不同的自由基,不同的成分作用不同<sup>[37,38]</sup>。

## 3 结论

不同杀青方式由于热量传递介质不同,瞬时热量传递的速度和温度都将影响到茶叶内含物质的转化,从而影响到茶叶的色泽、滋味和香气。本研究发现,三种杀青方式所制黄金芽秋季绿茶均品质优异,这是由于相较于普通常绿茶树资源黄金芽即便在秋季,仍具有较高的氨基酸和较低的茶多酚,有助于收敛性降低、鲜爽度增加。但经过滚筒和微波处理后的黄金芽鲜叶,外观颜色由黄转绿,蒸汽杀青则更好的突出了黄金芽色泽优势。不同杀青方式的秋季黄金芽绿茶香气特征有所不同。滚筒杀青和微波杀青呈栗香,且滚筒杀青优于微波杀青,而蒸汽杀青则有水闷气,香气品质较差。

利用黄金芽秋季原料试制绿茶,结果表明绿茶品质优异,为秋季茶树资源利用提供了新思路。滚筒杀

青的黄金芽绿茶香气高长,滋味醇和,且滚筒杀青机操作简单、功效高,是大部分茶叶生产企业已经配备的杀青设备,故采用滚筒杀青是加工传统黄金芽绿茶较为经济的选择。采用蒸汽杀青则可使黄金芽绿茶滋味更加醇厚,且充分利用了黄金芽芽叶金黄的竞争优势,如能进行精深加工,创制符合消费者需求的新产品,则能产生更好的经济效益。

## 参考文献

- [1] 王开荣,李明,梁月荣,等.茶树新品种黄金芽选育研究[J].中国茶叶,2008,4:21-23  
WANG Kairong, LI Ming, LIANG Yuerong, et al. Study on golden bud breeding of new tea varieties [J]. China Tea, 2008, 4: 21-23
- [2] 姜友雪,殷婷.江苏茶叶生产成本、规模及问题分析[J].江苏商论,2020,2:21-24  
JIANG Youxue, YIN Ting. Jiangsu tea production cost, scale and problem analysis [J]. Jiangsu Business Theory, 2020, 2: 21-24
- [3] 方世辉.名优茶机的使用技术[J].中国茶叶加工,1998,4:21-23  
FANG Shihui. Application technology of famous tea machine [J]. China Tea Processing, 1998, 4: 21-23

- [4] 祁丹丹,戴伟东,谭俊峰,等.杀青方式对夏季绿茶化学成分及滋味品质的影响[J].茶叶科学,2016,6(1):18-26  
QI Dandan, DAI Weidong, TAN Junfeng, et al. Effect of finishing method on chemical composition and flavor quality of summer green tea [J]. Journal of Tea Science, 2016, 6(1): 18-26
- [5] 吴雅丽.利用杀青技术改善夏秋茶品质探析[J].南方农业, 2017,11(8):124-126  
WU Yali. Analysis on improving the quality of summer and autumn tea by closing green technology [J]. South China Agriculture, 2017, 11(8): 124-126
- [6] 朱德文,岳鹏翔,袁弟顺.不同杀青方法对绿茶品质的影响[J].农业工程学报,2009,25(8):275-279  
ZHU Dewen, YUE Pengxiang, YUAN Dishun. Effects of different methods on green tea quality [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(8): 275-279
- [7] GB/T 23776-2018,中华全国供销合作总社.茶叶感官审评方法[S]  
GB/T 23776-2018, China National Supply and Marketing Cooperative Association. Sensory evaluation method of tea [S]
- [8] 刘丹,周跃斌,周宇.不同品种茶树花内含成分分析[J].茶叶通讯,2019,46(1):17-23  
LIU Dan, ZHOU Yuebin, ZHOU Yu. Analysis of components in flowers of different tea plants [J]. Journal of Tea Communication, 2019, 46(1): 17-23
- [9] 向芬,李维,刘红艳,等.茶树叶绿素测定方法的比较研究[J].茶叶通讯,2016,43(4):37-40  
XIANG Fen, LI Wei, LIU Hongyan, et al. Comparative study on determination methods of chlorophyll in tea plant [J]. Journal of Tea Communication, 2016, 43(4): 37-40
- [10] Draženka Komes, Dunja Horžić, Ana Belščak, et al. Green tea preparation and its influence on the content of bioactive compounds [J]. Food Research International, 2010, 43(1): 167-176
- [11] GB/T 8314-2013,中华全国供销合作总社.茶游离氨基酸总量的测定[S]  
GB/T 8314-2013, China Supply and Marketing Cooperative Association. Determination of total free amino acids in tea [S]
- [12] CHEN Wei, GONG Liang, Guo Zilong, et al. A novel integrated method for large-scale detection, identification, and quantification of widely targeted metabolites: application in the study of rice metabolomics [J]. Molecular Plant, 2013, 6: 1769-1780
- [13] Halliwell B, Gutteridge J M C. Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease [J]. Biochem J, 1984, 219: 1-14
- [14] Brand-Williams W, Cuvelier M E, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity [J]. LWT - Food Sci Technol, 1995, 28: 25-30
- [15] 欧丽兰.重庆地区蒸青绿茶加工中的关键工艺研究[D].重庆:西南大学,2006  
OU Lilan. Research on key technology of steaming green tea processing in Chongqing area [D]. Chongqing: Southwest University, 2006
- [16] 曹青青,陈根生,许勇泉,等.黄金芽茶鲜叶加工过程中色泽变化及内在原因分析[J].中国食品学报,2020,20(4):125-133  
CAO Qingqing, CHEN Gensheng, XU Yongquan, et al. Analysis of color changes and internal reasons of fresh leaves of golden bud tea during processing [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(4): 125-133
- [17] 周天山,余有本,李冬花,等.微波杀青对绿茶品质的影响[J].中国茶叶,2010,32(2):20-21  
ZHOU Tianshan, YU Youben, LI Donghua, et al. Effect of microwave fixation on green tea quality [J]. China Tea, 2010, 32(2): 20-21
- [18] 采文.普洱茶渥堆发酵的化学成分变化[A].上海市茶叶学会.上海市茶叶学会 2007-2008 年度论文集[C]\上海市茶叶学会,2008:2  
CAI Wen. Changes of chemical constituents of Pu-erh tea by heap fermentation [A]. Shanghai Tea Association. Shanghai Tea Association 2007-2008 Annual Proceedings [C]\ Shanghai Tea Association, 2008: 2
- [19] 黄亮,唐茜,李慧,等.高氨基酸茶树新品种川茶 2 号主要生化成分及绿茶适制性研究[J].西南农业学报,2017,30(3): 559-564  
HUANG Liang, TANG Qian, LI Hui, et al. Study on main biochemical components and green tea suitability of a new tea plant variety Chuancha 2 with high amino acid content [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(3): 559-564
- [20] 张鹰,祖峰,周才琼.提高秋名茶品质的生产工艺流程初探[J].茶叶通讯,2005,32(2):27-29  
ZHANG Ying, ZU Feng, ZHOU Caiqiong. Preliminary study on the production process of improving the quality of autumn famous tea [J]. Journal of Tea Communication, 2005, 32(2): 27-29

- [21] Susanne S, Thomas H. Molecular definition of black tea taste by means of quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(13): 5377-5384
- [22] 徐奕鼎,丁勇,黄建琴,等.不同杀青与揉捻工艺对名优绿茶品质的影响[J].*农学学报*,2014,4(4):86-90  
XU Yiding, DING Yong, HUANG Jianqin, et al. Effect of different finishing and rolling techniques on the quality of famous quality green tea. [J]. *Journal of Agriculture*, 2014, 4(4): 86-90
- [23] 范培珍,薄晓培,王梦馨,等.4个等级内山六安瓜片茶叶氨基酸的组成及差异[J].*安徽农业大学学报*,2017,44(1):14-21  
FAN Peizhen, BO Xiaopei, WANG Mengxin, et al. Composition and differences of amino acids in four grades of Shanlu an melon slices [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2017, 44(1): 14-21
- [24] 郭颖,陈琦,黄峻榕,等.茶叶滋味与其品质成分的关系[J].*茶叶通讯*,2015,42(3):13-15  
GUO Ying, CHEN Qi, HUANG Junrong, et al. The relationship between tea flavor and quality components [J]. *Tea Communication*, 2015, 42(3): 13-15
- [25] 姜仲茂,乌云塔娜,王森,等.不同产地野生长柄扁桃仁氨基酸组成及营养价值评价[J].*食品科学*,2016,37(4):77-82  
JIANG Zhongmao, WU YUN Tana, WANG Sen, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of wild almond kernel from different habitats [J]. *Food Science*, 2016, 37(4): 77-82
- [26] 蒲晓亚,袁毅君,王廷璞,等.茶叶的主要呈味物质综述[J].*天水师范学院学报*,2011,31(2):40-44  
PU Xiaoya, YUAN Yijun, WANG Tingpu, et al. A review of the main flavoring substances of tea [J]. *Journal of Tianshui Normal University*, 2011, 31(2): 40-44
- [27] Narukawa M, Tsujitani T, Ueno Y, et al. Evaluation of the suppressive effect on bitter taste of gluconate [J]. *Biosci Biotech Biochem*, 2014, 76: 2282-2288
- [28] Kaneko S, Kumazawa K, Masuda H, et al. Molecular and sensory studies on the umami taste of Japanese green tea [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2006, 54(7): 2688-2694
- [29] 毛世红.基于风味组学的工夫红茶品质分析与控制研究[D].重庆:西南大学,2018  
MAO Shihong. Research on quality analysis and control of Gongfu black tea based on flavor omics [D]. Chongqing: Southwest University, 2018
- [30] Lioe H N, Apriyantono A, Takara K, et al. Umami taste enhancement of MSG/NaCl mixtures by subthreshold L- $\alpha$ -aromatic amino acids [J]. *Journal of Food Science*, 2006, 70(7): s401-s405
- [31] 刘伟,张群,李志坚,等.不同品种黄花菜游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J].*食品科学*,2019,40(10):243-250  
LIU Wei, ZHANG Qun, LI Zhijian, et al. Principal component analysis and cluster analysis of free amino acid composition in different varieties of daylily [J]. *Food Science*, 2019, 40(10): 243-250
- [32] Ishwarya S P, Anandharamakrishnan C. Spray-freeze-drying approach for soluble coffee processing and its effect on quality characteristics [J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 149(mar.): 171-180
- [33] 张英娜.绿茶茶汤主要儿茶素呈味特性研究[D].北京:中国农业科学院,2016  
ZHANG Yingna. Study on flavor characteristics of main catechins in green tea soup [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016
- [34] Scharbert S, Holzmann N, Hofmann T. Identification of the astringent taste compounds in black tea infusions by combining instrumental analysis and human bioresponse [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2004, 52(11): 3498-3508
- [35] 常泽睿,刘盼盼,郑鹏程,等.冲泡条件对橘红茶化学成分及抗氧化活性的影响[J].*食品研究与开发*,2021,42(4):8-15  
CHANG Zerui, LIU Panpan, ZHENG Pengcheng, et al. Effects of brewing conditions on chemical constituents and antioxidant activity of tangerine red tea [J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(4): 8-15
- [36] 王万方,张怀令,陈丽,等.不同加工形式茶叶茶多酚含量及抗氧化活性比较研究[J].*大理学院学报*,2014,13(10):18-21  
WANG Wanfang, ZHANG Huailing, CHEN Li, et al. Comparative study on the content and antioxidant activity of tea polyphenols in different processing forms of tea [J]. *Journal of Dalian University*, 2014, 13(10): 18-21
- [37] SUN Yanfei, YANG Xingbin, LU Xingshan, et al. Protective effects of Keemun black tea polysaccharides on acute carbon tetrachloride-caused oxidative hepatotoxicity in mice [J]. *Food & Chemical Toxicology*, 2013, 58: 184-192
- [38] LIU Yan, LUO Liyong, LIAO Chenxi, et al. Effects of brewing conditions on the phytochemical composition, sensory qualities and antioxidant activity of green tea infusion: A study using response surface methodology [J]. *Food Chemistry*, 2018, 269: 24-34