

马佳丽, 张厅, 赵文慧, 等. 不同杀青方式对多花黄精嫩芽茶品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(12): 275–284. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100030

MA Jiali, ZHANG Ting, ZHAO Wenhui, et al. Effects of Different Fixation Methods on the Quality of *Polygonatum cyrtonema* Tender Bud Tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(12): 275–284. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100030

· 分析检测 ·

不同杀青方式对多花黄精嫩芽茶品质的影响

马佳丽^{1,2}, 张厅^{3,*}, 赵文慧⁴, 刘运腾¹, 张一弛⁴, 马泽强³, 王成⁵, 王剑波^{1,2,*}

(1.成都大学食品与生物工程学院, 四川成都 610106;

2.四川省中医药转化医学中心, 四川省中医药科学院, 国家中医药管理局中药质量生物评价重点实验室, 中医药转化医学四川省重点实验室, 四川省道地药材系统开发工程技术研究中心, 四川省道地药材

形成原理与品质评价工程研究中心, 四川成都 610041;

3.四川省农业科学院茶叶研究所, 四川成都 610066;

4.西藏大学医学院, 西藏拉萨 850000;

5.四川省筠连县中医药发展中心四川省中医药科学院乌蒙山产业技术分院, 四川宜宾 645250)

摘要:以多花黄精嫩芽为研究对象, 采用扁形绿茶加工工艺制备黄精嫩芽茶, 分别利用微波、锅炒、蒸汽三种杀青方式进行杀青, 并通过理化成分、茶汤色泽、挥发性香气成分及感官评价分析, 探究不同杀青方式对黄精嫩芽茶品质的影响。结果表明: 利用微波杀青工艺所制黄精嫩芽茶不仅具有较好的感官品质, 且水浸出物、可溶性糖、茶多酚及总黄酮含量均最高, 分别为 48.04%、14.49%、1.32%、1.66%。三种杀青方式所制黄精嫩芽茶中共检测出 84 种有嗅感的挥发性成分, 以醛类 (12 种)、酮类 (11 种)、烯炔类 (10 种)、醇类 (8 种) 及酯类 (8 种) 等化合物为主; 微波、锅炒、蒸汽杀青分别有 10、12、7 种关键香气成分, 其中丁酸乙酯为微波杀青工艺特有的关键香气成分, 庚醛、戊醛、己醛、1-戊醇为锅炒杀青工艺特有的关键香气成分。不同杀青方式制作的黄精嫩芽茶品质存在差异性, 其中微波杀青更适合黄精嫩芽茶的制备。

关键词:多花黄精, 嫩芽, 杀青, 代用茶, 挥发性成分

中图分类号: TS272.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)12-0275-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100030

本文网刊:



Effects of Different Fixation Methods on the Quality of *Polygonatum cyrtonema* Tender Bud Tea

MA Jiali^{1,2}, ZHANG Ting^{3,*}, ZHAO Wenhui⁴, LIU Yunteng¹, ZHANG Yichi⁴, MA Zeqiang³,
WANG Cheng⁵, WANG Jianbo^{1,2,*}

(1.College of Food and Biological Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China;

2.Sichuan Institute for Translational Chinese Medicine, Sichuan Academy of Chinese Medicine Sciences, Key Laboratory of Biological Evaluation of Quality of Traditional Chinese Medicine, National Administration of Traditional Chinese Medicine, Key Laboratory of TCM Translational Medicine of Sichuan Province, Sichuan Daodi Medicine System Development Engineering Technology Research Center, Sichuan Engineering Research Center of Formation Principle and Quality Evaluation of Daodi Medicine, Chengdu 610041, China;

3.Tea Research Institute, Sichuan Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China;

4.Department of Medicine, Tibet University, Lhasa 850000, China;

5.Wumengshan Industrial Technology Branch of Sichuan Academy of Chinese Medical Sciences, Sichuan Junlian County

收稿日期: 2023-10-09

基金项目: 四川省科技厅重点研发项目 (2021YFN0093); 四川中医药省级发展专项资金 (川中医药办发 [2020]39 号)。

作者简介: 马佳丽 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 1838249431@qq.com。

* 通信作者: 张厅 (1986-), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向: 茶叶加工与品质检验, E-mail: 441077871@qq.com。

王剑波 (1965-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 中药新药及大健康产品研发, E-mail: yyswbj@fmmu.edu.cn。

Traditional Chinese Medicine Development Center, Yibin 645250, China)

Abstract: With *Polygonatum cyrtoneura* tender buds as subjects, *Polygonatum cyrtoneura* tender bud tea was prepared using the technology for processing flat green tea after fixation by microwave, pan frying and steaming, respectively. The effects of different fixation methods on the quality of *Polygonatum cyrtoneura* tender bud tea was then explored through physicochemical composition, color and gloss of tea broth, volatile aroma component analysis and organoleptic evaluation. The results showed that the *Polygonatum cyrtoneura* tender bud tea prepared by microwave fixation not only presented good organoleptic properties, but also had the highest contents of water extract, soluble sugar, tea polyphenols and total flavonoids, 48.04%, 14.49%, 1.32% and 1.66%, respectively. A total of 84 volatile olfactory compounds were detected in *Polygonatum cyrtoneura* tender bud tea prepared by the three different fixation methods, mainly consisting of aldehydes (12 types), ketones (11 types), olefins (10 types), alcohols (8 types) and esters (8 types). There were 10, 12 and 7 key aroma components in *Polygonatum cyrtoneura* tender bud tea with microwave, pan frying and steaming fixation, respectively. Among them, ethyl butyrate was a unique key aroma component to microwave fixation, while heptanal, pentanal, hexanal and 1-pentanol were the key aroma components unique to pan frying fixation. Overall, there are differences in the quality of *Polygonatum cyrtoneura* tender bud tea prepared by different fixation methods, among which microwave fixation is more suitable for the preparation of *Polygonatum cyrtoneura* tender bud tea.

Key words: *Polygonatum cyrtoneura*; tender bud; fixation; substitute tea; volatile components

多花黄精(*Polygonatum cyrtoneura*)为百合科黄精属植物,收录于 2020 版《中国药典》(一部),其味甘,平,归脾、肺、肾经^[1],是传统的药食同源植物,含有丰富的多糖、皂苷类、黄酮类、氨基酸等化学成分,药理研究表明其功效主要有抗疲劳、抗衰老、抗肿瘤、降血糖、抗菌、抗炎和抗病毒等^[2]。随着黄精人工栽培面积的快速增长,“叶、花、实”的产量大幅度增加,然而多花黄精的研究主要集中在药用部位干燥根茎上,其“叶、花、实”等非药用部位未能得到有效利用而造成大量浪费^[3]。目前,有学者发现^[4-6]多花黄精花、叶、茎等均具有较好的生物活性及抗氧化能力。多花黄精嫩芽及幼嫩叶片与常见蔬菜相比,其多糖、蛋白质、总酚、氨基酸、植物甾醇等含量明显更高^[7-8],是一种非常优质的野菜,具有开发功能食品的潜力。

代用茶是指选用可食用植物的叶、花、果(实)、根茎等,采用类似茶叶的饮用方式(通过泡、煮等方式来饮用)的一类产品的俗称,当前在市场上较为流行的植物代用茶主要有苦丁茶、杜仲茶、柿叶茶、桑叶茶、人参叶茶等,以多花黄精嫩芽为原料的代用茶及加工工艺研究未见报道。杀青是制茶技术的关键工序之一,杀青过程与制茶品质的差异关系极大,尤其是对茶叶汤色、滋味及香气的发展起重要作用,按导热介质不同可分为炒热杀青、蒸汽杀青、微波杀青等^[9]。本研究以多花黄精嫩芽为原料,采用扁形绿茶加工工艺,分别按照微波杀青(WB)、锅炒杀青(GC)、蒸汽杀青(ZQ)三种不同杀青方式制成多花黄精嫩芽茶,比较其感官品质、理化成分含量、茶汤色泽及挥发性香气成分,综合分析,筛选出适宜生产黄精嫩芽茶的最佳杀青方式,以期丰富代用茶种类,为多花黄精非药用部位资源的开发利用提供理论和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

多花黄精嫩芽 于 2022 年 7 月采自四川省筠连县黄精种植基地;芦丁、L-茶氨酸、没食子酸、D-无水葡萄糖对照品 色谱纯,成都埃法生物科技有限公司;所有分离用有机溶剂 均为国产分析纯,成都金山化学试剂有限公司。

101-2AB 型鼓风干燥箱 美国 Millipore 公司;UV-1800PC 型紫外可见分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司;BSM-420.3 型电子分析天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;MZ-ZGE2522T70 型电蒸锅、M1-L213B 型微波炉 广东美的厨房电器制造有限公司;JJX 型茶叶电炒锅 湖南聚鑫农机械科技有限公司;6CLZ60/8 型振动理条机 浙江上洋机械有限公司;DT-C-1F 型热风循环烘箱 成都天宇试验设备有限责任公司;CM5 型分光色差计 日本柯尼卡美能达公司;7890B-5977B 气相色谱-质谱联用仪 美国 Agilent 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 多花黄精嫩芽茶加工工艺

1.2.1.1 工艺流程 嫩芽采摘→摊放→杀青→摊凉失水→理条→理条做形→干燥定型→烘干提香→扁形茶。

1.2.1.2 操作要点 嫩芽采摘:摘取展叶初期的黄精嫩芽,采摘长度为 5~7 cm。

摊放:室内自然摊放,时间 20~25 h,摊放至嫩芽有韧性不易折断为适度。

杀青:取 300 g 经摊放后的黄精嫩芽原料,微波杀青,微波炉火力为中高火,杀青时间 6 min;锅炒杀青,电炒锅锅温设置为 180 ℃,杀青时间 11 min;蒸汽杀青,在蒸汽锅上进行,杀青时间 7 min。杀青以杀匀、杀透,青草味明显消失,芳香味显露为止。

理条: 振动理条机振动槽预热至 100~115 ℃, 进行理条, 槽波往返频率为中速, 理条过程中制品表面温度保持 70~80 ℃, 中途调节往返频率至高速, 保持 30~50 s, 而后转回中速继续理条, 时间 55 min。

理条做形: 待茶叶条索进一步紧直, 边缘散开的叶子触手时加入轻型压力棒, 加棒时调节往返频率至低速, 条索呈现扁直状态, 边缘散开的叶子已脱落时取出轻型压力棒, 加棒时间 4 min。

干燥定型: 振动槽温度预热至 100~115 ℃, 槽波往返频率为中速, 干燥过程制品表面温度保持在 70~80 ℃, 时间 45 min。

烘干提香: 烘箱预热至 100 ℃ 放入茶叶, 100 ℃ 初干 10 min, 摊凉至室温, 80 ℃ 烘至足干, 时间 1 h, 茶叶水分含量为 6%~7%。

1.2.2 理化成分测定 水浸出物含量测定参照 GB/T 8305-2013《茶 水浸出物测定》; 游离氨基酸含量测定参照 GB/T 8314-2013《茶 游离氨基酸总量的测定》; 茶多酚含量测定参照 GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》; 总黄酮含量测定参照亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠显色法测定^[10], 精密称取芦丁标准品, 以吸光度(y)和芦丁标准品溶液浓度(x, mg/mL)制作标准曲线。得出线性回归方程: $y=1.6453x-0.0083$, $R^2=0.9977$ 。可溶性糖含量测定参照蒽酮-硫酸比色法测定^[11], 精密称取 D-无水葡萄糖标准品, 以吸光度(y)和 D-无水葡萄糖标准品溶液浓度(x, mg/mL)制作标准曲线。得出线性回归方程: $y=7.31x-0.0351$, $R^2=0.9945$ 。

1.2.3 茶汤色泽测定 各称取 3.0 g 茶样, 加入 250 mL 沸水, 冲泡 5 min, 滤纸过滤后放置室温, 使用分光色差仪测量茶汤 L^* (亮度)、 a^* (红绿色度)、 b^* (黄蓝色度)。

1.2.4 挥发性香气成分分析

1.2.4.1 SPME 条件 测定参考文献 [12] 的方法略作修改, 不同样品(WB、GC、ZQ)经高速粉碎机粉碎成干粉后过 40 目筛备用。精确称量 1.0 g 样品于 20 mL 顶空瓶中加盖密封。设备为: CTC 三位一体自动进样器, 萃取头为: 50/30 μm DVB/CARon-PDMS; 萃取温度及时间为: 50 ℃、振荡 15 min(振荡速度: 250 r/min)、萃取 30 min; 解析时间: 5 min; GC 循环时间: 50 min。

1.2.4.2 色谱条件 色谱柱为 DB-wax(30 m×0.25 mm×0.25 μm); 载气为氦气(纯度>99.99%), 流量 1 mL/min, 进样模式为无分流进样, 进样温度 260 ℃, 柱温 40 ℃, 保持 5 min, 以 5 ℃/min 升至 220 ℃, 20 ℃/min 升至 250 ℃, 保持 2.5 min, 接口温度 260 ℃。

1.2.4.3 质谱条件 离子源温度 230 ℃; 四级杆温度 150 ℃; 电离方式为 EI^+ , 70 eV; 离子扫描范围 m/z 为 20~400, 全扫描方式。

不同样品挥发性成分通过 NIST 2014 谱库进行比对, 选择相似度大于 800 的物质, 并用峰面积归一化法, 计算黄精嫩芽茶中各成分相对含量。

1.2.5 香气成分评价方法 参考文献 [13–14] 的方法, 采用相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)评价各化合物对样品总体香气的贡献, 计算公式为:

$$ROAV_i \approx \frac{C_i}{C_{\max}} \times \frac{T_{\max}}{T_i} \times 100$$

式中: C_i 和 T_i 为某组分的相对百分含量和阈值; $C_{\max}$ 和 $T_{\max}$ 为对样品总体香气贡献最大组分的相对百分含量和阈值。

1.2.6 感官评价 由 8 名具有高级评茶员及以上资质的人员组成感官评价小组(5 男 3 女, 年龄范围 35~57 岁), 参考 GB/T 23776-2018《茶叶感官审评方法》并进行适当调整。所有样品均称取 3 g, 250 mL 沸水冲泡 5 min 进行评审, 评审人员在不同的样本之间使用漱口液漱口, 记录评语, 从外形、汤色、香气、滋味、叶底等进行评分, 评分标准见表 1。

表 1 黄精嫩芽茶感官评分标准
Table 1 Sensory evaluation standards of *Polygonatum cyrtonema* tender bud tea (PCTBT)

因子	级别	品质特征	分数	评分系数 (%)
外形 (a)	甲	造型扁平挺直, 色泽嫩绿或翠绿或深绿或鲜绿, 油润, 匀整, 净度好	90~99	30
	乙	造型较扁平挺直, 色泽墨绿或黄绿或青绿, 较油润, 尚匀整, 净度较好	80~89	
	丙	造型扁平挺直不明显, 色泽暗褐或陈灰或灰绿或偏黄, 较匀整, 净度尚好	70~79	
汤色 (b)	甲	嫩绿明亮或绿明亮	90~99	10
	乙	尚绿明亮或黄绿明亮	80~89	
	丙	深黄或黄绿欠亮或浑浊	70~79	
香气 (c)	甲	高爽有栗香或有嫩香或带花香	90~99	25
	乙	清香, 尚高爽, 火工香	80~89	
	丙	尚纯, 熟闷, 老火	70~79	
滋味 (d)	甲	甘鲜或鲜醇, 醇厚鲜爽, 浓醇鲜爽	90~99	25
	乙	清爽, 浓尚醇, 尚醇厚	80~89	
	丙	尚醇, 浓涩, 青涩	70~79	
叶底 (e)	甲	黄绿明亮, 完整	90~99	10
	乙	黄绿明亮, 较完整	80~89	
	丙	黄绿明亮, 欠完整	70~79	

1.3 数据处理

每组试验平行测定 3 次, 实验结果以平均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 采用 Origin 2022 软件做图, 通过 Excel 2016 和 SPSS 26 软件对数据进行极差分析、方差分析、显著性检验, 显著性水平设置为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同杀青方式对黄精嫩芽茶理化成分的影响

由表 2 可知, 不同杀青方式显著影响黄精嫩芽茶理化成分含量, 成品茶中水浸出物含量、氨基酸含量根据杀青方式不同而呈现显著差异($P<0.05$)。水

浸出物是指茶叶在冲泡过程中溶解于茶汤的水溶性物质,其含量的高低能够判别茶汤的厚薄和茶汤滋味的浓强,所以一定程度上它也能够反映出茶叶的品质^[15]。本研究中水浸出物含量分别为:微波杀青(48.04%)>锅炒杀青(46.39%)>蒸汽杀青(45.23%),原因是微波杀青茶叶受热时间短,杀青效率高,茶叶内含物质在湿热条件下降解得少而得到较多的保留^[16],而蒸汽杀青时产生了冷凝水,水溶性物质损失较多,导致样品水浸出物含量低于其他两种杀青方式^[17]。

表2 不同杀青方式黄精嫩芽茶理化成分含量(%)
Table 2 Content of physical and chemical components of PCTBT with different fixation methods (%)

样品	水浸出物	氨基酸	可溶性糖	茶多酚	总黄酮
WB	48.04±0.26 ^a	6.14±0.43 ^b	14.49±1.15 ^a	1.32±0.07 ^a	1.66±0.07 ^a
GC	46.39±0.56 ^b	5.48±0.03 ^c	12.01±0.85 ^b	1.10±0.06 ^b	1.51±0.03 ^b
ZQ	45.23±0.64 ^c	6.77±0.24 ^a	12.78±0.48 ^{ab}	1.06±0.05 ^b	1.45±0.05 ^b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),表3同。

氨基酸是茶叶中重要的组成成分,也是影响茶汤颜色、鲜醇度及香气的重要因素^[18],本研究中氨基酸含量分别为:蒸汽杀青(6.77%)>微波杀青(6.14%)>锅炒杀青(5.48%)。可能是蒸汽杀青时嫩芽升温由表及里相对缓慢,蛋白质充分水解为氨基酸所致^[19];锅炒杀青为接触式传热方式,原料受热不均,杀青时间较长,氨基酸参与反应生成香气物质等,导致氨基酸含量损失较多^[17]。

可溶性糖是茶口感甘甜的重要因素,本研究中可溶性糖含量分别为:微波杀青(14.49%)>蒸汽杀青(12.78%)>锅炒杀青(12.01%),且锅炒杀青显著($P<0.05$)低于微波杀青。锅炒杀青时黄精嫩芽在炒锅内壁长时间加热下局部温度过高,发生了美拉德或焦糖化反应^[20],使可溶性糖含量降低,而微波杀青相较于其他两种杀青方式属于非接触式干热杀青,因此可溶性糖含量损失较少。

多酚类和黄酮类物质是黄精嫩芽茶中主要的功能成分,本研究中两者含量均为微波杀青(1.32%, 1.66%)>锅炒杀青(1.10%, 1.51%)>蒸汽杀青(1.06%, 1.45%)。微波杀青与其他两种杀青方式呈现显著差异($P<0.05$),是保留黄精嫩芽茶中多酚和黄酮含量的有效方法,其中蒸汽杀青含量最低。原因可能是蒸汽杀青过程中水溶性酚酸及一部分黄酮苷与水蒸汽接触造成损耗,而微波杀青能短时高效的破坏酶活性,减少了酚类 and 黄酮类物质的酶促氧化^[21]。

2.2 不同杀青方式对黄精嫩芽茶茶汤色泽的影响

如表3所示,其中 L^* 值代表明亮度,其值越大代表茶汤越明亮, L^* 值大小为微波杀青>蒸汽杀青>锅炒杀青,表明微波杀青的茶汤颜色明亮度最高,这是由于微波杀青能迅速提高杀青叶的温度,杀青迅速、均匀,且用时短,能使多酚氧化酶瞬间失活,有利于叶

绿素的固定与保留,则茶汤明亮;而锅炒杀青不仅时间长,且酶不能瞬间失活,叶绿素也遭到较大程度的破坏,故汤色明亮度最低^[22]。 a^* 值代表红绿度,正值代表红色,负值代表绿色, a^* 值大小为锅炒杀青>微波杀青>蒸汽杀青,表明蒸汽杀青的茶汤颜色最绿,微波杀青及锅炒杀青的绿色稍浅,这是由于蒸汽杀青属于湿热杀青,其穿透力强,叶绿素损失较少,破碎率低,汤色色泽绿^[23]。 b^* 值代表黄蓝度,正值代表黄色,负值代表蓝色, b^* 值大小为锅炒杀青>蒸汽杀青>微波杀青,表明锅炒杀青的茶汤颜色最黄,微波杀青的黄色较浅,这是由于锅炒杀青时原料与锅壁直接接触,叶片受热不均,导致叶片边缘容易变焦^[24],汤色较其他两种杀青方式更黄。由此可得,不同杀青方式所制黄精嫩芽茶茶汤色泽具有显著性差异,微波杀青明亮度最高,蒸汽杀青茶汤颜色偏绿,锅炒杀青茶汤颜色偏黄。

表3 不同杀青方式黄精嫩芽茶茶汤色泽的比较
Table 3 Comparison of the color of PCTBT tea soup with different fixation methods

样品	L^*	a^*	b^*
WB	95.15±0.31 ^a	-3.09±0.39 ^b	10.06±0.76 ^c
GC	94.23±0.93 ^c	-2.91±0.84 ^a	13.43±1.03 ^a
ZQ	94.73±0.11 ^b	-3.25±0.46 ^c	11.39±0.61 ^b

2.3 不同杀青方式对黄精嫩芽茶挥发性香气成分的影响

微波杀青、锅炒杀青、蒸汽杀青共检测到188、195、198种挥发性化合物,包括醇类、酯类、醛类、酮类、吡嗪类、酸类、烷类、苯类、烯烃类等。根据检索爱化学库、Chemical Book平台及查阅相关文献[25-28],三种杀青方式所制黄精嫩芽茶中共检测出84种有嗅感的挥发性成分,主要为醇类8种、酯类8种、醛类12种、酮类11种、吡嗪类7种、酸类2种、烯烃类10种、苯类7种、烷类6种,其他类13种(见表4)。其中,微波杀青、锅炒杀青、蒸汽杀青分别有70、71、68种具有嗅感的化合物,分别占总峰面积的71.32%、68.36%、70.88%(见表5),具体来看,微波杀青及蒸汽杀青所制成品茶均以苯类、醛类、烯烃类化合物为主,相对含量分别为20.42%、11.53%、7.75%和20.15%、11.18%、9.88%;炒锅杀青以醛类、苯类、吡嗪类、烯烃类化合物为主,相对含量分别为13.49%、12.41%、9.34%、8.24%。

由表4可知,三种杀青方式中有67种共有挥发性香气成分,除丁醛、1,2,4-三甲基苯、二甲基硫、2-甲基庚烷、3-甲基吡啶、2-甲基吡啶、二甲基硫表现为有窒息性醛味、塑料味、汽油味等不愉快气味,其余香气特征均是以花果香、烘烤香、可可香、清香、甜香等气味的60种物质共同组成,这些特征香气为黄精嫩芽茶独特的香气风味。此外微波杀青有糠醇、丁酸乙酯、3-甲基-2-丁酮、 β -水芹烯、1,2-二甲苯、

表 4 不同杀青方式黄精嫩芽茶挥发性香气成分及香型统计

Table 4 Statistics of volatile aroma components and aroma types of PCTBT with different fixation methods

香气组分	保留时间(min)	CAS	相对含量(%)			阈值 (μg/kg) ^[29-30]	香气描述 ^[25-27,29]
			WB	GC	ZQ		
醇类							
1-戊醇	14.004	00071-41-0	1.93	1.54	1.96	20	有谷香、果香气味
1-辛烯-3-醇	19.6147	03391-86-4	1.50	1.45	1.58	1	有蘑菇、泥土、蔬菜、肉汤气味
桉叶油醇	12.4309	00470-82-6	0.32	0.47	0.46	/	有桉树、草药、樟脑气味
正丁醇	10.6665	00071-36-3	0.19	0.18	0.20	78	有发酵的气味
乙醇	4.33863	00064-17-5	0.19	0.16	0.16	10000	有点甜味和特殊的气味
1-辛醇	22.3877	00111-87-5	—	0.08	0.11	110	有柠檬气味
糠醇	24.7559	00098-00-0	0.02	—	—	4500.5	有焦糖、面包、咖啡气味
反式-3-己烯-1-醇	17.8504	00928-97-2	—	0.09	—	/	有皮质、花瓣、泥土气味
酯类							
丁酸丁酯	12.8699	00109-21-7	0.65	0.61	0.66	100	有香蕉、菠萝、樱桃水果气味
乙酸甲酯	2.7954	00079-20-9	0.65	0.55	0.49	/	有辛辣、芳香气味
丙酸丁酯	10.3794	00590-01-2	0.43	0.34	0.46	25	有苹果、玫瑰香味
丙烯酸正丁酯	11.5050	00141-32-2	0.31	0.27	0.40	/	有水果香
异丁酸丁酯	10.5882	00097-87-0	—	0.18	0.31	30	有强烈的新鲜苹果和菠萝的水果香味
乙酸丁酯	8.1195	00123-86-4	0.14	0.10	0.15	66	有刺激性、生梨香
二氢猕猴桃内酯	38.3376	17092-92-1	0.09	0.11	0.13	/	有香豆素、麝香气味
丁酸乙酯	10.5879	00105-54-4	0.31	—	—	0.76	有水果香、香蕉香、菠萝香
醛类							
2-甲基丁醛	3.8104	00096-17-3	3.18	3.18	2.93	1	有咖啡和可可的气味
异丁醛	2.6544	00078-84-2	2.83	2.59	2.50	/	有刺激性气味
异戊醛	3.8886	00590-86-3	2.00	1.98	1.74	4	有苹果、桃和其他水果气味
苯甲醛	21.3162	00100-52-7	0.50	0.48	0.59	350	有杏仁、甜香、樱桃香气味
己醛	8.33897	00066-25-1	0.42	0.48	0.50	5	有青草香、脂肪香
N-甲基-2-吡咯甲醛	23.752	01192-58-1	0.21	0.21	0.32	/	有烤坚果的香气
庚醛	11.7354	00111-71-7	0.25	0.32	0.27	3	有水果的香气
5-甲基呋喃醛	22.5831	00620-02-0	—	0.11	0.04	/	有香料、焦糖香气
戊醛	5.24697	00110-62-3	—	1.24	—	12	有水果发酵、坚果的香气
可可醛	17.0069	35158-25-9	0.08	0.40	0.07	/	有木质、薰衣草、薄荷、鼠尾草的香气
丁醛	3.2782	00123-72-8	0.08	0.07	0.06	9	有窒息性醛味
(E)-2-庚烯醛	15.9552	18829-55-5	1.98	2.43	2.16	13	有辛辣、蔬菜气味
酮类							
丙酮	2.6828	00067-64-1	2.83	2.59	2.48	500000	辛辣香气味
2-庚酮	11.6615	00110-43-0	1.05	1.51	1.29	140	有陈香、菌香气味
2-丁酮	3.6128	00078-93-3	0.78	0.66	0.63	50000	有药香气味
仲辛酮	14.8687	00111-13-7	0.35	0.37	0.39	/	有霉味、牛奶、奶酪和蘑菇气味
2-羟基-3-戊酮	16.9852	05704-20-1	0.43	0.40	0.37	/	有块菌、泥土、坚果气味
4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)呋喃酮	32.7048	03658-77-3	0.23	0.30	0.22	0.04	有甜棉花糖、焦糖、草莓糖气味
2,3-戊二酮	7.7112	00600-14-6	0.18	0.23	0.20	/	有辛辣、黄油、奶油、焦糖、坚果、奶酪气味
β-紫罗兰酮	30.784	14901-07-6	0.10	—	0.14	0.007	有木香、紫罗兰香
2-壬酮	17.8635	00821-55-6	—	—	0.14	32	有水果、花、油脂和药草香气
3-甲基-2-丁酮	4.12314	00563-80-4	0.25	—	—	/	有焦甜香气味
β-紫罗酮	30.7883	00079-77-6	—	0.14	—	/	有柏木、覆盆子等香型香气
吡嗪类							
2,5-二甲基吡嗪	15.9815	00123-32-0	1.98	2.43	2.16	800	有炒花香、巧克力、奶油气味
2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	19.4431	13360-65-1	1.74	2.69	1.72	1	有烘烤、坚果的气味
3,5-二乙基-2-甲基-吡嗪	20.7099	18138-05-1	0.98	1.14	1.07	1	有坚果、蔬菜的气味
2,3,5-三甲基吡嗪	18.3218	14667-55-1	0.70	1.05	0.68	9000	有坚果香, 蔬菜香, 可可香, 烤香, 泥土味, 巧克力味, 咖啡香
2-乙基-6-甲基吡嗪	17.7939	13925-03-6	0.30	0.58	0.25	/	有烤土豆的气味
2-甲基吡嗪	14.2822	00109-08-0	0.16	0.25	0.19	60	有肉类、巧克力、花生和爆玉米花气味
2-乙基-5-甲基吡嗪	17.9631	13360-64-0	1.02	1.20	—	100	食品用香料

续表 4

香气组分	保留时间(min)	CAS	相对含量(%)			阈值 (μg/kg) ^[29-30]	香气描述 ^[25-27,29]
			WB	GC	ZQ		
酸类							
乙酸	19.5104	00064-19-7	1.28	1.19	0.96	/	有辛辣、酸味,熟透的水果味
2-甲基丁酸	25.5733	00116-53-0	0.28	0.04	—	/	有辛辣、干酪、果香气味
烯烃类							
苯乙烯	13.9388	00100-42-5	6.48	5.77	7.10	730	有花的甜香气味
3-蒎烯	6.3809	13466-78-9	0.35	—	0.34	/	有柑橘、柏树,木质香味
萜品油烯	14.7383	00586-62-9	0.22	—	0.29	/	有新鲜木质、果香气味
右旋萜二烯	12.0657	05989-27-5	0.22	0.25	0.26	/	有柑橘、橙子的鲜甜气味
A-姜黄烯	27.2507	00644-30-4	0.04	0.44	0.25	/	药草香味
1-十四烯	13.6174	01120-36-1	—	—	0.21	/	有轻微烃类气味
枯烯	11.2813	00098-82-8	0.15	0.13	0.13	/	有强烈的芳香味
α-蒎烯	6.3813	07785-70-8	—	0.28	—	41	有芳香、薄荷香气味
β-水芹烯	12.3393	00555-10-2	0.29	—	—	/	有薄荷香气
姜烯	26.0771	00495-60-3	—	1.37	1.30	/	有香料、糖果气味
苯类							
甲苯	6.9719	00108-88-3	15.08	9.05	15.70	200	有香甜的气味
间二甲苯	10.1797	00108-38-3	0.86	1.06	1.36	/	有强烈芳香气味
乙基苯	9.7167	00100-41-4	1.01	0.83	1.18	6.5	有芳香气味
对二甲苯	10.1752	00106-42-3	1.78	0.78	1.12	/	有芳香气味
1,2,4,5-四甲苯	19.0282	00095-93-2	0.23	0.44	0.52	/	有酸败、香甜的气味
1,2-二甲苯	11.5918	00095-47-6	1.28	—	—	/	有类似苯的独特香气
1,2,4-三甲基苯	13.5044	00095-63-6	0.18	0.25	0.27	/	有塑料味
烷类							
2-甲基庚烷	2.31736	00592-27-8	1.37	1.82	1.46	/	有汽油气味
二十一烷	19.3455	629-94-7	—	0.17	—	/	有类似蜡质的气味
十五烷	15.3011	00629-62-9	0.28	1.14	1.00	/	有蜡质气味
十二烷	8.46303	00112-40-3	1.11	0.91	0.96	/	有烷烃气味
3-甲基庚烷	2.38292	00589-81-1	—	—	0.48	/	存在于烟气中
正戊烷	1.79385	00109-66-0	0.83	0.41	0.44	/	有微弱的薄荷香味
其他							
2-乙酰基呋喃	20.8881	01192-62-7	0.16	0.24	0.16	10000	有香甜、可可、焦糖、咖啡的香气
吡啶	11.6917	00110-86-1	1.05	1.51	1.29	2000	有辛辣味
3-甲基吡啶	15.1318	00108-99-6	0.33	0.43	0.33	/	不愉快的气味
2-甲基吡啶	12.8545	00109-06-8	—	0.61	—	/	不愉快气味
2-乙基吡啶	20.2751	00100-71-0	—	0.21	—	/	有青草气味
吡咯	21.1925	00109-97-7	0.37	0.43	0.40	49600	有香甜、坚果的香气
2-乙酰基吡咯	31.427	01072-83-9	0.17	0.20	0.19	170000	有坚果、黑樱桃、香豆素、甘草、核桃气味
N-甲基吡咯	10.2054	00096-54-8	1.78	—	—	/	有烟熏、草木香味
二甲基硫	2.28733	00075-18-3	1.38	1.82	1.46	/	不愉快的气味
吡嗪	24.2867	00496-15-1	0.29	0.48	0.26	/	有芳香性气味
萘	26.4706	00091-20-3	0.16	0.16	0.17	6	有樟脑丸的气味
丙二醇甲醚	9.9971	00107-98-2	0.86	0.78	1.11	/	有甜甜的类似乙醚的气味
4-叔丁基苯酚	21.7941	00098-54-4	0.11	—	—	/	有皮革的气味

注: “—”表示未检测到该组分; “/”表示未查阅到该化合物的阈值。

N-甲基吡咯、4-叔丁基苯酚 7 种特有香气物质,除 4-叔丁基苯酚呈现皮革气味外,均为焦甜香、咖啡香、水果香、薄荷香等特有香气;锅炒杀青有反式-3-己烯-1-醇、戊醛、β-紫罗酮、α-蒎烯、二十一烷、2-甲基吡啶、2-乙基吡啶 7 种特有香气物质,除二十一烷、2-甲基吡啶、2-乙基吡啶呈现类似蜡质气味、青草气味等不愉快气味,余下 4 种主要呈现花瓣香、水果发酵香、覆盆子香、芳香等特有香气;蒸汽杀青有 2-壬

酮、1-十四烯、3-甲基庚烷 3 种特有香气物质,分别呈现水果香、油脂香、轻微烃类气味和存在于烟气中等特有香气。

从单个香气组分来看,微波杀青工艺所制成品茶香气成分相对含量较高的是甲苯、苯乙烯、2-甲基丁醛、异丁醛、丙酮,相对含量分别为 15.08%、6.48%、3.18%、2.83%、2.83%;锅炒杀青相对含量较高的是甲苯、苯乙烯、2-甲基丁醛、2-乙基-3,6-二甲

表 5 不同类型挥发性香气成分统计
Table 5 Statistics of different types of volatile aroma components

成分	WB(%) / 种类	GC(%) / 种类	ZQ(%) / 种类
醇类	4.15/6	3.97/7	4.47/6
酯类	2.58/7	2.52/7	2.89/7
醛类	11.53/10	13.49/12	11.18/11
酮类	6.2/9	6.2/8	5.86/9
吡嗪类	6.88/7	9.34/7	6.07/6
酸类	1.56/2	1.23/2	0.96/1
烯炔类	7.75/7	8.24/6	9.88/8
苯类	20.42/7	12.41/6	20.15/6
烷类	3.59/4	4.45/5	4.34/5
其他	6.66/11	6.87/11	5.37/9
总计	71.32/70	68.36/71	70.88/68

基吡嗪、异丁醛、丙酮, 相对含量分别为 9.05%、5.77%、3.18%、2.69%、2.59%、2.59%; 蒸汽杀青相对含量较高的是甲苯、苯乙烯、2-甲基丁醛、异丁醛, 相对含量分别为 15.7%、7.1%、2.93%、2.5%。其中甲苯、苯乙烯、2-甲基丁醛、异丁醛为三种不同杀青方式共有组分, 除异丁醛有刺激性气味, 其他香气成分均为甜香、可可香、咖啡香、花香等令人愉悦的气味。

2.4 不同杀青方式黄精嫩芽茶关键香气成分分析

挥发性化合物对样品香气的贡献由其含量和感官阈值共同决定^[31], 对能查到阈值的 40 种香气成分 ROAV 值进行计算, 本研究设置总体香气贡献最大组分 ROAV 值为 100, ROAV 值越大的组分对成品茶整体风味的贡献越大, ROAV ≥ 1 的物质为关键香

气成分, 0.1 ≤ ROAV < 1 的物质为修饰香气成分^[13]。

如表 6 所示, 三种不同杀青方式所制黄精嫩芽茶有 6 种共同关键香气成分, 分别为 4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)呋喃酮、2-甲基丁醛、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、1-辛烯-3-醇、3,5-二乙基-2-甲基-吡嗪、异戊醛; 乙基苯、(E)-2-庚烯醛为微波杀青和锅炒杀青方式共有的关键香气成分, β-紫罗兰酮为微波杀青和蒸汽杀青工艺共有的关键香气成分; 丁酸乙酯为微波杀青工艺特有的关键香气成分, 庚醛、戊醛、己醛、1-戊醇为锅炒杀青工艺特有的关键香气成分。

在关键香气成分中, β-紫罗兰酮是构成茶叶特征性香气物质的重要组分, 是类胡萝卜素类化合物氧化降解后的主要产物之一^[32]; 吡嗪类化合物则生成于杀青、干燥高温过程中的美拉德等反应中, 因此带有烘烤香, 为绿茶栗香的主要特征成分^[33]; 1-辛烯-3-醇、(E)-2-庚烯醛、庚醛、己醛具有共同的香气前体物质, 通常由不饱和脂肪酸, 如亚油酸、α-亚麻酸等氧化降解产生^[34]; 醛类化合物大多具有果香、清香, 它们是茶叶中少量油脂的脂肪酸受热分解的产物, 鲜叶中的氨基酸在加工时 Strecker 降解也会产生醛类化合物^[35]; 具清甜香和水果香气的酯类成分, 由脂质降解后产生的脂肪酸和醇的酯化反应生成^[36]。

除以上关键香气成分影响黄精嫩芽茶的香气品质外, 修饰性香气成分也会对品质产生影响, 微波杀青、锅炒杀青、蒸汽杀青工艺所制成品茶分别含有 6、7、7 种修饰香气成分, 如甲苯、苯乙烯、2,5-二甲基吡嗪、2-庚酮、2-乙基-5-甲基吡嗪等, 其中甲苯在三种杀青工艺所制成品茶中相对含量最高, ROAV 值却均小于 1, 是仅起到修饰风味作用的化合物。由

表 6 不同杀青方式黄精嫩芽茶关键香气成分统计
Table 6 Statistics of key aroma components of PCTBT with different fixation methods

类别	WB		GC		ZQ	
	组分	ROAV	组分	ROAV	组分	ROAV
关键香气成分	β-紫罗兰酮	100	4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)呋喃酮	100	β-紫罗兰酮	100
	4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)呋喃酮	40.25	2-甲基丁醛	42.40	4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)呋喃酮	27.50
	2-甲基丁醛	22.26	2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	35.87	2-甲基丁醛	14.65
	2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	12.18	1-辛烯-3-醇	19.33	2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	8.60
	1-辛烯-3-醇	10.50	3,5-二乙基-2-甲基-吡嗪	15.20	1-辛烯-3-醇	7.90
	3,5-二乙基-2-甲基-吡嗪	6.86	异戊醛	6.60	3,5-二乙基-2-甲基-吡嗪	5.35
	异戊醛	3.50	(E)-2-庚烯醛	2.49	异戊醛	2.18
	丁酸乙酯	2.86	乙基苯	1.70		
	乙基苯	1.09	庚醛	1.42		
	(E)-2-庚烯醛	1.07	戊醛	1.38		
			己醛	1.28		
			1-戊醇	1.03		
	1-戊醇	0.68	甲苯	0.60	乙基苯	0.91
	己醛	0.59	萘	0.36	(E)-2-庚烯醛	0.83
修饰香气成分	庚醛	0.58	丙酸丁酯	0.18	己醛	0.50
	甲苯	0.53	2-乙基-5-甲基吡嗪	0.16	1-戊醇	0.49
	萘	0.19	2-庚酮	0.14	庚醛	0.45
	丙酸丁酯	0.12	苯乙烯	0.11	甲苯	0.39
			丁醛	0.10	萘	0.14

由此可见,黄精嫩芽茶独特的风味不是某一类物质单独作用的结果,其风味品质的形成机理十分复杂,单一化合物难以评价茶叶的香气特征,化合物的简单加和也不能呈现其整体的香气品质^[37],更与挥发性成分之间,非挥发性成分与挥发性成分之间的协同作用、消减作用等密切相关^[38]。因此,黄精嫩芽茶关键呈香物质间的相互作用与其最终呈现的整体香气品质之间的关系等问题,还需要进一步深入研究和探讨。

2.5 不同杀青方式黄精嫩芽茶感官评价

三种杀青方式所制黄精嫩芽茶感官评价得分结果如图1所示。微波杀青处理感官评价总分及外形、汤色、滋味、叶底得分均最高,分别为:95.28、96.63、95.25、92.88、95.63、96.38分。其外形、汤色及叶底方面是因为微波杀青升温快速、杀青时间短,黄精嫩芽在杀青后外形维持较好,有利于后期理条做型,且杀青时热量从叶片内部产生,内外无法形成温度梯度,没有热量传递过程,所以黄精嫩芽叶绿素变化少、色泽翠绿和干燥均匀^[39],因此成品茶造型扁平挺直、色泽翠绿,茶汤嫩绿明亮,叶底黄绿明亮、完整。滋味方面从理化成分分析可知微波杀青后的黄精嫩芽茶中可溶性糖、氨基酸含量损失较少,茶汤滋味甘鲜。也正是因为微波杀青升温迅速,阻止了茶叶物质的转化,抑制了茶叶香气的挥发,香气评分为92.88分,不及锅炒杀青但优于蒸汽杀青,评语为:高爽有栗香、嫩香、带花香,这与挥发性香气成分所呈现出的紫罗兰香、玫瑰花香、水果香、坚果香等香气特征结果一致。

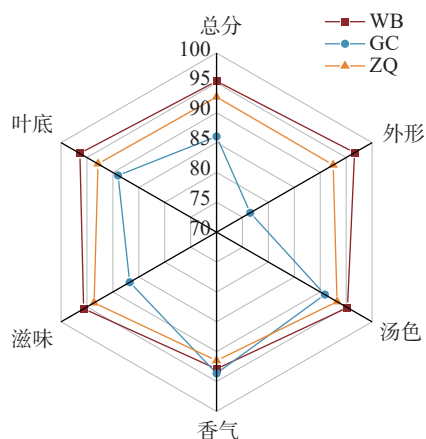


图1 不同杀青方式黄精嫩芽茶感官评价的比较

Fig.1 Comparison of PCTBT sensory evaluation of different fixation methods

蒸汽杀青处理所制的黄精嫩芽茶各方面感官品质都不及前者,感官评价总分及外形、汤色、香气、滋味、叶底得分依次为:92.64、92.5、93.25、91.50、93.63、92.88分。叶底、外形方面可能是杀青过程中黄精嫩芽与蒸汽直接接触,因人工操作不当易产生黄焖现象,存在杀青不均匀、时间长等弊端,致使叶底欠匀^[24],造型扁平挺直度欠佳。在香气与滋味方面,成品茶青气较重,茶汤口感鲜醇,不如微波杀青滋味

甘鲜,这与理化成分中氨基酸含量最高,茶多酚、总黄酮含量较低结果相关,原因可能是蒸汽杀青时水溶性物质损耗,且杀青过程中黄精嫩芽叶片处于湿热的环境下,青草腥气味不能有效散发,而香气前体物质也不能充分转化,过早地固定了成品茶的香气及滋味所致^[40],这也是导致蒸汽杀青挥发性香气成分及关键香气成分种类最少的重要原因。汤色方面与茶汤色泽比较分析相同,相较于锅炒杀青,蒸汽杀青时不会引起局部受热,能够较好地保持黄精嫩芽的绿色,茶汤颜色较锅炒杀青偏绿,但明亮度不及微波杀青。

锅炒杀青所制成品茶在外形、汤色、滋味、叶底方面比前两者差,而香气感官评价最好。外形、滋味及叶底感官评价得分为:76.50、86.75、89.00分,这是由于黄精嫩芽本身有一定厚度,在电炒锅中采用接触受热的形式进行杀青,杀青叶内外受热不均,导致黄精嫩芽外部叶片焦糊、掉落,不利于后期的理条做形,导致成品茶造型扁平挺直不明显,叶底稍欠完整,且理化成分损失较多,茶汤口感欠佳,滋味清爽欠浓。汤色、香气方面得分为:90.88、93.63分,分析原因是锅炒杀青用时较长,氨基酸、可溶性糖等物质高浓度凝练并发生反应,生成一些具有焦香气味的物质^[41],因此香气浓厚,高爽有栗香、带花香,感官评分最高,这也是锅炒杀青挥发性香气成分与关键香气成分种类最多、并呈现出水果香、焦甜香、花香等令人愉快的香气特征的主要原因,但是由于杀青过程中炒锅升温较慢,导致黄精嫩芽受热不均,叶绿素被破坏^[41],影响成茶色泽,因此茶汤颜色偏黄、明亮度较差,与茶汤色泽的比较结果一致。

由以上分析可以发现,不同的杀青方式制成的黄精嫩芽茶其外形、汤色、香气、滋味和叶底均有一定程度的差异,感官评价总分得分顺序为:微波杀青>蒸汽杀青>锅炒杀青;外形、汤色、滋味、叶底得分顺序为:微波杀青>蒸汽杀青>锅炒杀青;香气得分顺序为:锅炒杀青>微波杀青>蒸汽杀青。总体来看,微波杀青处理后的成品茶感官评分总分最高,其造型扁平挺直、色泽翠绿,茶汤嫩绿明亮,叶底黄绿明亮、完整,滋味甘鲜,香气高爽有栗香、嫩香、带花香,且理化成分保留较好,因此,微波杀青更适合黄精嫩芽茶的制备。

3 结论

本研究以多花黄精嫩芽为原料,按照扁形绿茶加工工艺,创新开发黄精嫩芽代用茶。采用三种不同杀青方式对黄精嫩芽进行加工,通过理化指标、茶汤色泽、挥发性香气成分及感官评价的分析,结果表明,微波杀青工艺所制黄精嫩芽茶的综合品质最佳,该方式处理所得成品茶感官评价得分最高,其造型扁平挺直,茶汤嫩绿明亮,滋味甘鲜,且能较好的保留水浸出物、可溶性糖、茶多酚、总黄酮等理化成分。在挥发性香气成分方面,三种杀青方式所制成品茶主要呈香物质相似但含量有所不同,均以苯类、醛类、

吡嗪类、烯炔类化合物为主, 分析了三者的关键香气物质, 发现不同挥发性化合物对黄精嫩芽茶风味的贡献率有所差异, 但关键呈香物质间的相互作用与其最终呈现的整体香气品质之间的关系, 以及在茶叶品质形成过程中, 各理化成分之间存在复杂的相互作用等问题, 还需要进一步深入研究和探讨。本研究初步阐明了不同杀青方式下的黄精嫩芽茶品质特性的差异, 为多花黄精非药用部位资源的综合开发与利用提供了参考。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中国药典: 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 319-320. [National Pharmacopoeia Committee. China Pharmacopoeia; I[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 319-320.]
- [2] 范佐旺, 柯晓燕, 陈靓雯, 等. 多花黄精的化学成分及药理研究进展[J]. 中医药信息, 2020, 37(5): 119-126. [FAN Z W, KE X Y, CHEN L W, et al. Advances in chemical constituents and pharmacological activities of *Polygonatum cyrtoneura* Hua[J]. Information on Traditional Chinese Medicine, 2020, 37(5): 119-126.]
- [3] 苏文田, 刘跃钧, 蒋燕峰, 等. 黄精产业发展现状与可持续发展的建议[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(13): 2831-2835. [SU W T, LIU Y J, JIANG Y F, et al. Status of *Polygonatum* Rhizome industry and suggestion for its sustainable development[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2018, 43(13): 2831-2835.]
- [4] 王天梅, 王华磊, 李丹丹, 等. 多花黄精非药用部位活性成分及抗氧化性比较[J]. 食品与机械, 2022, 38(1): 57-60. [WANG T M, WANG H L, LI D D, et al. Comparison of active components and antioxidant activity of non-medicinal parts of *Polygonatum cyrtoneura*[J]. Food & Machinery, 2022, 38(1): 57-60.]
- [5] 张泽锐, 黄中, 刘京晶, 等. 多花黄精和长梗黄精花主要营养成分[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(6): 1329-1333. [ZHANG Z R, HUANG S, LIU J J, et al. Main nutrients and functional ingredients in flowers of *Polygonatum cyrtoneura* and *P. filipes*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2020, 45(6): 1329-1333.]
- [6] 赵海洋, 罗禹, 邓小宽, 等. 多花黄精的主要化学成分及抗氧化活性[J]. 安徽农业大学学报, 2020, 47(5): 793-797. [ZHAO H Y, LUO Y, DENG X K, et al. The main chemical constituents and antioxidant activities of *Polygonatum cyrtoneura* Hua[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2020, 47(5): 793-797.]
- [7] 黄中, 刘京晶, 张新风, 等. 多花黄精嫩芽主要营养与功效成分研究[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(5): 1053-1058. [HUANG S, LIU J J, ZHANG X F, et al. Main nutrients and functional ingredients in shoots of *Polygonatum cyrtoneura*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2020, 45(5): 1053-1058.]
- [8] 王春晓, 朱凯丽, 史光密, 等. 多花黄精嫩芽关键营养组分评价与利用[J]. 河北农机, 2021(12): 106-108. [WANG C X, ZHU K L, SHI G M, et al. Evaluation and utilization of key nutritional components in tender leaves of *Polygonatum cyrtoneura*[J]. Hebei Agricultural Machinery, 2021(12): 106-108.]
- [9] 赵小娜. 枇杷叶茶加工技术研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021. [ZHAO X N. Study on processing technology of loquat leaf tea[D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2021.]
- [10] XUE X F, LI D K, GONG G H, et al. Analysis of flavonoids content and antioxidant capacity in different Chinese jujube types[J]. Acta Horticulturae, 2020: 321-327.
- [11] 徐美蓉, 李晓蓉, 李婷. 响应面分析优化蒽酮硫酸法测定葡萄叶片中可溶性糖的含量[J]. 甘肃农业科技, 2017(11): 25-29. [XU M R, LI X R, LI T. Determination of soluble sugar from grape leaves by optimizing of anthrone-sulfuric acid method by response surface methodology[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2017(11): 25-29.]
- [12] YAO L M, ZHANG Y, QIAO Y, et al. A comparative evaluation of nutritional characteristics, physical properties, and volatile profiles of sweet corn subjected to different drying methods[J]. Cereal Chemistry, 2021, 99(2): 405-420.
- [13] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 370-374. [LIU D Y, ZHOU G H, XU X L. ROAV method: A new method for determining key odor compounds of rugao ham[J]. Food Science, 2008, 29(7): 370-374.]
- [14] 张强, 辛秀兰, 杨富民, 等. 主成分分析法评价红树莓果醋的相对气味活度值[J]. 现代食品科技, 2015, 31(11): 332-338. [ZHANG Q, XIN X L, YANG F M, et al. Evaluation of the relative odor activity value in red raspberry fruit vinegar by principal component analysis[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(11): 332-338.]
- [15] FUNG K F, ZHAN Z Q, WONG J W C, et al. Aluminium and fluoride concentrations of three tea varieties growing at Lantau Island, Hong Kong[J]. Environmental Geochemistry & Health, 2003, 25(2): 219-32.
- [16] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2003. [WAN X C. Tea Biochemistry [M]. Third Edition. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2003.]
- [17] 闫玉淦. 树莓叶茶加工工艺及其品质形成研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013. [YAN Y H. Study on processing technology and quality formation of raspberry leaf tea[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.]
- [18] YU Z M, YANG Z Y. Understanding different regulatory mechanisms of proteinaceous and non-proteinaceous amino acid formation in tea (*Camellia sinensis*) provides new insights into the safe and effective alteration of tea flavor and function[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(5): 844-858.
- [19] 杨清平, 胡楠. 夏秋季绿茶加工工艺改良研究[J]. 福建林业科技, 2014, 41(3): 111-114. [YANG Q P, HU N. The studying of fall green tea process improving[J]. Jour of Fujian Forestry Sci and Tech, 2014, 41(3): 111-114.]
- [20] 孟映霞, 马朝阳, 王洪新, 等. 不同干燥工艺对金钗石斛叶品质的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(15): 26-30. [MENG Y X, MA C Y, WANG H X, et al. Effect of different drying methods on product quality of *Dendrobium nobile* leaves[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2017, 23(15): 26-30.]
- [21] 唐文文, 夏俊丽, 陈垣. 不同杀青方式对铁皮石斛叶茶的活性成分及抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(10): 74-82.
- [22] TANG W W, XIA J L, CHEN J. Effects of different de-enzyme techniques on functional components and antioxidant activity of *Dendrobium officinale* leaf tea[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(10): 74-82.]
- [22] 吴咏芳, 谢关华, 俞素琴, 等. 不同杀青方式对婺源绿茶品质的影响[J]. 蚕桑茶叶通讯, 2018(1): 18-21. [WU Y F, XIE G H, YU S Q, et al. Effects of different fixation methods on the quality of

- Wuyuan green tea[J]. Newsletter of Sericulture and Tea, 2018(1): 18-21.]
- [23] 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 Y L. Analysis on improving the quality of summer and autumn tea by deenzyming technology[J]. South China Agriculture, 2017, 11(8): 124-126.]
- [24] 李宏娅, 杨军成, 汪艳霞, 等. 不同加工方式对甜茶有效成分影响研究[J]. 特产研究, 2021, 43(3): 75-82, 92. [LI H Y, YANG J C, WANG Y X, et al. Effects of different processing methods on active ingredients in the sweet tea[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2021, 43(3): 75-82, 92.]
- [25] 刘威, 张永瑞, 鲁静, 等. 不同加工工艺刺槐花代用茶香气成分分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 250-256. [LIU W, ZHANG Y R, LU J, et al. Analysis of aroma components of alternative tea for acacia *Robinia pseudoacacia* flowers in different processing techniques[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 250-256.]
- [26] MA W J, ZHU Y, SHI J, et al. Insight into the volatile profiles of four types of dark teas obtained from the same dark raw tea material[J]. Food Chemistry, 2021, 346: 128906.
- [27] 张怡, 柳洪入, 姚连谋, 等. 不同加工工艺对蒲公英叶茶品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 68-76. [ZHANG Y, LIU H R, YAO L M, et al. Effects of different processing techniques on the quality and antioxidant capacity of dandelion leaf tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 68-76.]
- [28] PENG X L, YU W S, CAO C D, 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]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(13): 139-149.
- [29] 孙宝国, 陈海涛主编. 食品调香术[M]. 第三版. 北京: 化学工业出版社, 2017: 32-40. [SUN B G, CHEN H T. Food flavoring[M]. Third Edition. Beijing: Chemical Industry Press, 2017: 32-40.]
- [30] ZHU J C, WANG L Y, XIAO Z B, et al. Characterization of the key aroma compounds in mulberry fruits by application of gas chromatography-olfactometry (GC-O), odor activity value (OAV), gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and flame photometric detection (FPD)[J]. Food Chemistry, 2018: 775-785.
- [31] 刘纯友, 江素珍, 冯笑, 等. HS-SPME-GC-MS 测定三种类型百香果果实挥发性风味成分[J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 255-262. [LIU C Y, JIANG S Z, FENG X, et al. Study on volatile flavor compounds from three types of passion fruit using headspace solid phase micro-extraction gas chromatography mass spectrometry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(11): 255-262.]
- [32] HO C T, ZHENG X, LI S. Tea aroma formation[J]. Food Science and Human Wellness, 2015, 4(1): 9-27.
- [33] 王梦琪, 朱荫, 张悦, 等. 茶叶挥发性成分中关键呈香成分研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(23): 341-349. [WANG M Q, ZHU Y, ZHANG Y, et al. Review of recent research on key aroma compounds in tea[J]. Food Science, 2019, 40(23): 341-349.]
- [34] 马超龙, 李小娜, 岳翠男, 等. 茶叶中脂肪酸及其对香气的影响研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(4): 220-224. [MA C L, LI X Y, YUE C N, et al. Progress on fatty acids in tea and their influences on tea aroma[J]. Food Research and Development, 2017, 38(4): 220-224.]
- [35] 夏益民, 王近近, 袁海波. 后发酵工艺对夏秋红茶品质形成的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(13): 180-189. [XIA Y M, WANG J J, YUAN H B. Effect of post-fermentation process on the quality of summer-autumn black tea[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(13): 180-189.]
- [36] HOLLAND R, LIU S Q, CROW V L, et al. Esterases of lactic acid bacteria and cheese flavour: Milk fat hydrolysis, alcoholysis and esterification[J]. International Dairy Journal, 2005, 15(6-9): 711-718.
- [37] JUMTEE K, KOMURA H, BAMBA T, et al. Predication of Japanese green tea (Sen-cha) ranking by volatile profiling using gas chromatography mass spectrometry and multivariate analysis[J]. Journal of Bioscience & Bioengineering, 2011, 112(3): 252-255.
- [38] SNCHEZ P E, GARCA C E G, GALLEGO M N G, et al. The aroma of rojal red wines from La Mancha region determination of key odorants. Gas chromatography in plant science, wine technology, toxicology and some specific applications[M]. Intech Open, 2012: 147-170.
- [39] 黄金枝, 王军文, 杜贤明, 等. 不同杀青方式对荷叶茶品质的影响[J]. 食品科技, 2023, 48(5): 64-70. [HUANG J Z, WANG J W, DU X M, et al. Effect of different fixation methods on the quality of lotus leaf tea[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(5): 64-70.]
- [40] 刘春杏, 李坤, 朱传合. 不同杀青工艺对山楂叶茶品质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2017, 35(2): 70-79. [LIU C X, LI K, ZHU C H. Effects of different fixation methods on quality of hawthorn leaves tea[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 35(2): 70-79.]
- [41] 李钰莹, 杨志青, 蒋奇伸, 等. 胡枝子茶杀青工艺研究及品质分析[J]. 草学, 2021(4): 38-44. [LI Y Y, YANG Z Q, JIANG Q S, et al. The study of fixing craft and quality analysis of *Lespedeza bicolor* tea[J]. Journal of Grassland and Forage Science, 2021(4): 38-44.]