

灵芝菌对贵州 3 个茶树品种后发酵夏秋黑毛茶滋味特征的影响

刘亚兵¹, 罗学尹¹, 戴宇樵¹, 王敏¹, 冉乾松², 蒲璐璐¹, 潘科^{1*}

(1. 贵州省农业科学院茶叶研究所, 贵阳 550025; 2. 贵州农业职业学院, 贵阳 551400)

摘要: **目的** 探究灵芝菌对贵州 3 个茶树品种后发酵夏秋黑毛茶滋味特征的影响。**方法** 以贵州黔茶 1 号、黔湄 419、黔湄 502 夏秋茶所制黑毛茶为原料, 灵芝菌为发酵接种菌株, 经感官审评、化学组分检测, 并结合化学计量学分析方法分析灵芝菌后发酵处理黑毛茶前后滋味成分变化, 探究不同茶树品种经灵芝菌发酵处理后滋味品质差异。**结果** 灵芝菌处理夏秋茶会降低茶叶中苦涩味成分含量, 增加部分氨基酸组分含量。黔茶 1 号、黔湄 419 和黔湄 502 的茶多酚含量下降率依次为 63.76%、14.65%和 34.81%; 黔茶 1 号、黔湄 419 和黔湄 502 的游离氨基酸含量下降率为 53.73%、57.96%和 68.40%; 黔茶 1 号、黔湄 419 和黔湄 502 的鲜味氨基酸含量下降率为 74.32%、77.95%和 84.25%; 黔茶 1 号、黔湄 419 和黔湄 502 的甘氨酸含量增加 217.22%、192.60%和 119.53%; 黔茶 1 号、黔湄 419 和黔湄 502 的苦味氨基酸含量下降率为 34.94%、19.04%和 20.07%。3 个品种夏秋黑毛茶发酵后感官评分均有所提高, 且能显著提高黔茶 1 号黑毛茶质量。**结论** 灵芝菌后发酵处理能提高夏秋茶滋味品质, 黔茶 1 号比黔湄 419 和黔湄 502 更有利于加工高品质灵芝菌茶。

关键词: 夏秋茶; 灵芝菌; 茶树品种; 滋味特征

Effects of *Ganoderma lucidum* on the taste characteristics of 3 varieties of summer and autumn raw dark green tea after fermentation in Guizhou Province

LIU Ya-Bing¹, LUO Xue-Yin¹, DAI Yu-Qiao¹, WANG Min¹, RAN Qian-Song², PU Lu-Lu¹, PAN Ke^{1*}

(1. Tea Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550025, China;
2. Guizhou Vocational College of Agriculture, Guiyang 551400, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effects of *Ganoderma lucidum* on the taste characteristics of 3 varieties of summer and autumn raw dark green tea after fermentation in Guizhou Province. **Methods** Raw dark green teas made from Guizhou Qiancha No.1, Qianmei 419 and Qianmei 502 summer and autumn tea were used as raw materials, and *Ganoderma lucidum* was used as fermentation inoculatory strain. Through sensory evaluation,

基金项目: 贵州省农业科学院科技创新项目(黔农科科技创新[2023]12号)、贵州省基础研究计划项目(黔科合基础-ZK[2023]一般166)、贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2020]1Y009号)、贵州省科技厅科技计划项目(黔科合支撑[2022]一般144)

Fund: Supported by the Science and Technology Innovation Project of Guizhou Academy of Agricultural Sciences (Guizhou Agricultural Science and Technology Innovation [2023]12), the Guizhou Basic Research Program Project (Guizhou Science and Technology Cooperation Foundation-ZK [2023] General 166), the Guizhou Science and Technology Support Program Project (Guizhou Science and Technology Cooperation Support [2020]1Y009), and the Guizhou Science and Technology Department Science and Technology Support Project (Guizhou Science and Technology Cooperation Support [2022] General 144)

*通信作者: 潘科, 博士, 研究员, 主要研究方向为茶叶精深加工。E-mail: 148450502@qq.com

*Corresponding author: PAN Ke, Ph.D, Professor, Tea Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550025, China. E-mail: 148450502@qq.com

chemical component detection and chemometrics analysis, the changes of taste components of black hair tea before and after *Ganoderma lucidum* post-fermentation treatment were analyzed, and the difference of taste quality of different tea varieties after *Ganoderma lucidum* fermentation treatment was explored. **Results** The treatment of summer and autumn tea with *Ganoderma lucidum* could decrease the content of bitter taste and increase the content of some amino acids. The decreasing rates of tea polyphenol content in Qiancha No.1, Qianmei 419 and Qianmei 502 were 63.76%, 14.65% and 34.81%, respectively. The decreasing rates of free amino acid content of Qiancha No.1, Qianmei 419 and Qianmei 502 were 53.73%, 57.96% and 68.40%. The decreasing rates of amino acid content in Qiancha No.1, Qianmei 419 and Qianmei 502 were 74.32%, 77.95% and 84.25%. The glycine content of Qiancha No.1, Qianmei 419 and Qianmei 502 increased by 217.22%, 192.60% and 119.53%; the decreasing rates of bitter amino acid content in Qiancha No.1, Qianmei 419 and Qianmei 502 were 34.94%, 19.04% and 20.07%. The sensory scores of 3 varieties of summer and autumn raw dark green tea were improved after fermentation, and the quality of Qiancha No.1 black tea was significantly improved. **Conclusion** *Ganoderma lucidum* post-fermentation treatment can improve the taste quality of summer and autumn tea, and Qiancha No.1 is more beneficial to processing high-quality *Ganoderma lucidum* tea than Qianmei 419 and Qianmei 502.

KEY WORDS: summer and autumn tea; *Ganoderma lucidum*; tea cultivars; taste characteristics

0 引言

夏秋茶一般是指 6~9 月份的茶树鲜叶,夏秋季温度高、光照强,茶树碳代谢强、氮代谢弱,多酚类物质含量高,氨基酸、营养成分等含量低,导致苦涩味重、鲜爽度不足、滋味淡薄、综合利用率低。后发酵是黑茶滋味品质特征形成的关键工艺^[1]。微生物在繁殖代谢过程中,产生各种胞外酶和热量,改变茶叶温度和含水量,促进糖代谢、大分子物质转化和粗纤维软化,分解大分子糖类、单宁类等物质,转化有机物质,降低茶的苦涩味,形成黑茶固有滋味和香气^[2-4]。为了提高夏秋茶滋味品质,后发酵菌种的筛选一直是研究热点。比如接种冠突散囊菌^[5]、乳酸菌^[6]、红曲菌^[7],优化发酵过程中温度、pH、含水量、时间等参数^[8]。尽管这一系列措施和工艺改进在一定程度上改善了夏秋茶滋味品质,但并没有改变其本质上粗老而苦涩的感官风味。灵芝菌(*Ganoderma lucidum*)在发酵培养时分泌出高活力的纤维素酶、漆酶、超氧化物歧化酶等多种胞外酶系^[9-10],能够分解转化蛋白质、纤维素、木质素和酚类等物质^[11-12],并在一定程度上对茶中氨基酸和儿茶素含量具有调控作用^[13]。因此,在夏秋茶后发酵过程中接种灵芝菌,已成为改变夏秋茶品质的重要手段,可高效利用夏秋茶鲜叶原料,丰富茶制品种类与数量。

灵芝菌(*Ganoderma lucidum*)是药食两用真菌,含有灵芝三萜和灵芝多糖等生物活性成分,对增强机体免疫、抗肿瘤以及清除自由基等有药用功效^[14]。茶叶中富含氨基酸、维生素、茶多糖、微量元素等多种营养成分,可作用于灵芝生长基质,促进灵芝多糖合成^[15]。此外,茶叶接种灵芝菌后,灵芝菌在发酵过程中会代谢产生氨基酸和多酚氧化酶,分解茶叶中多酚类物质,提高氨基酸含量,积累更多胞外代谢产物^[16],丰富和改变茶叶中呈味物质含量及组成比例,使滋味

更协调^[17]。刘良琴^[18]通过灵芝提取物与茶叶进行调配烘干制得灵芝菌茶,其感官品质既有灵芝甜香也有红茶的甜香;戴宇樵等^[19]将灵芝菌接种夏秋白芽奇兰红茶发现,与夏秋白芽奇兰红茶相比,白芽奇兰灵芝菌茶儿茶素类、咖啡碱类苦涩味物质及部分氨基酸类物质含量显著下降。其苦味、鲜味降低,甜味增加;田广文等^[20]利用富硒灵芝浸提物和茶叶浸提物在红茶菌为培养基条件下,制得富硒灵芝茶饮料。

利用灵芝菌接种茶叶降低其苦涩味增加甜味这一特性,用于接种夏秋茶,使夏秋茶与灵芝混合发酵的活性代谢产物有机结合,使茶汤中呈味物质含量及组成比例更加协调,提升夏秋茶滋味品质。所选不同原料发酵加工后最终产品品质也不同,林戎斌等^[21]分别以低档乌龙茶、珠茶和茶鲜叶为生长基质,接种灵芝菌进行固态发酵制得灵芝菌茶,指出茶鲜叶中氨基酸、可溶性糖及茶多酚较高,是茶鲜叶制得灵芝茶优于干茶制得灵芝茶的主要因素。茶叶加工需要根据原料(品种)不同,采用适宜加工工艺,黔茶 1 号、黔湄 419、黔湄 602 是贵州自主繁育的茶树品种^[22-24]。目前关于灵芝菌后发酵对不同品种夏秋茶主要滋味成分含量变化规律的研究尚未有报道,因此本研究以贵州不同品种夏秋茶为原料,以灵芝菌作为发酵菌种,研究夏秋茶经灵芝菌发酵前后主要呈味物质含量的变化规律和感官品质特性,明确主栽品种灵芝菌后发酵变化规律,为提高夏秋茶功能成分深加工、综合开发利用和后期开发高附加值灵芝茶产品提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材 料

2021 年 7 月采自于贵州省湄潭县黔茶 1 号、黔湄 419、黔湄 502 一芽二、三叶鲜叶;灵芝菌(*Ganoderma lucidum*):贵州省科学院生物技术研究所。

1.1.2 试剂

咖啡碱(caffeine, CAF)、表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、没食子儿茶素(gallocatechin, GC)、表儿茶素(epicatechin, EC)、儿茶素(catechin, C)、表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)、儿茶素没食子酸酯(catechin gallate, CG)、表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)、没食子儿茶素没食子酸酯(gallocatechin gallate, GCG)、没食子酸(gallic acid, GA)(纯度>98%, 美国 Sigma Aldrich 公司); 四氢呋喃、乙腈、甲醇、乙酸(色谱纯, 长沙隆和化玻实验用品有限公司); 无水乙醇、乙腈、乙酸(分析纯)、马铃薯葡萄糖琼脂(potato glucose agar, PDA)、PDA 培养基(贵州源叶生物科技有限公司)。

1.2 设备与仪器

SHZ-III 型真空抽滤装置(天津市恒奥公司); LC-2030C 型高效液相色谱仪[谱质分析检测技术(上海)有限公司]; SW-CJ-1FD 型超净工作台(苏州安泰空气技术有限公司); WGL-230B 型电热鼓风干燥箱、DK-98-II型电热恒温水浴锅(天津市泰斯特仪器有限公司); YXQ-LS-30S II 立式压力蒸汽灭菌器、BSD-150 震荡培养箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂); 5424R 型离心机(德国 Eppendorf 公司); FBS-750A 型快速水分测定仪(厦门弗布斯检测设备有限公司); PL203 型电子分析天平(精确度为万分之一, 瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 菌-黑毛茶的制备

黑毛茶制备: 夏秋茶鲜叶→杀青(230℃)→揉捻→渥堆(18 h)→干燥(80℃, 3 h)→黑毛茶(备用)。

灵芝菌制备: 取 0.5 m²灵芝菌饼→PDA 培养基活化(3 次)→驯化培养(含茶汤培养基)→清洗除去培养基质→灵芝菌种子液备用。

灵芝菌接种黑毛茶: 黑毛茶在立式压力蒸汽灭菌器中, 经过 121℃灭菌 20 min, 并于超净工作台中以 100 mL/kg 的用量将灵芝菌种子液接种至黑毛茶, 在湿度为 60%~70%、温度为 25℃条件下发酵培养 10 d, 置于 70℃的电热鼓风干燥箱中烘干水分至 3%~4%即可, 获得接种灵芝菌的菌-黑毛茶样品, 用于理化分析(表 1)。

表 1 灵芝菌处理不同茶树品种编号
Table 1 Number of different tea tree species treated with *Ganoderma lucidum*

黑毛茶	编号	灵芝菌接种黑毛茶	编号
黔茶 1 号	QC1	灵芝菌接种黔茶 1 号	HQC1
黔湄 419	QM419	灵芝菌接种黔湄 419	HQM419
黔湄 502	QM502	灵芝菌接种黔湄 502	HQM502

1.3.2 感官评审

参照 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》, 由茶叶专业评审人员(男女各半)对茶样进行感官评价。准确称取 3 g 茶样, 加入 150 mL 沸水冲泡 5 min 后, 按冲泡次序依次将茶汤等速沥入审评碗, 对茶汤进行滋味品评, 评分采取百分制, 评分细则如表 2。

表 2 茶样感官评价标准
Table 2 Standard for sensory evaluation of tea samples

因子	档次	品质特征	得分/分
滋味	1	醇厚, 回味好	90~99
	2	较醇厚	80~89
	3	尚醇	70~79

1.3.3 高效液相色谱法检测儿茶素组分、咖啡碱、酚酸

C、CAF、酚酸测定按照 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》执行。

1.3.4 茶多酚含量检测

茶多酚检测参照 GB/T 8313—2018 执行。

1.3.5 高效液相色谱法检测 18 种游离氨基酸组分

参考冉乾松等^[25]检测方法, 略作修改: 采用邻苯二甲醛(ortho-phthalaldehyde, OPA)和 9-氯甲酸茚甲酯(9-fluorenylmethyl chloroformate, FMOC)衍生方法进行检测, 吸取 10 μL 备用茶液至进样瓶, 并添加 70 μL Buffer 以及 20 μL 氨基酸衍生试剂, 涡旋使得添加物聚集于瓶底, 置于 55℃烘箱衍生 10 min 后用于高效液相色谱仪的检测。

1.4 数据分析

采用 Excel 2019、IBM SPSS Statistics 19.0 进行数据处理分析, Origin 9.8.0 软件进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 茶样感官品质分析结果

利用人工感官对黑毛茶和灵芝菌黑毛茶样品进行感官审评, 本研究主要探讨灵芝菌处理黑毛茶对呈味特性的影响, 只针对感官滋味进行评分(表 3)。QC1 所制的黑毛茶经过灵芝菌后发酵后(HQC1)滋味评分显著高于黑毛茶(QC1) ($P<0.05$), 表明用灵芝菌对黑毛茶(QC1)进行后发酵处理能显著提高其感官品质; QM419、QM502 所制的黑毛茶经过灵芝菌后发酵后(HQM419、HQM502)滋味评分均高于黑毛茶滋味评分, 但差异不显著, 说明灵芝菌后发酵夏秋黑毛茶一定程度上能改善其滋味品质, 且灵芝菌后发酵 QC1 比 QM419、QM502 更有利于茶叶品质的形成。

滋味是评价茶叶品质的重要组成因子, 茶汤滋味是多种呈味物质共同表征特征的结果, 因组成、含量及其比例不同, 而呈现不同滋味特征^[26]。茶汤中滋味是多种滋味物质综合反映的结果, 各滋味物质间存在交互效应^[27]。茶叶后发酵实质是基于微生物的活动, 通过胞外酶、湿热环

表 3 黑毛茶后发酵前后感官评分变化结果
Table 3 Changes results of sensory score of raw dark green before and after fermentation

编号	感官评语	滋味评分	编号	感官评语	滋味评分
QC1	醇厚	89.0±2.2 ^b	HQC1	甜醇	91.0±2.9 ^a
QM419	醇和	87.0±3.4 ^a	HQM419	尚醇厚	88.5±1.8 ^a
QM502	尚醇厚	88.5±3.4 ^a	HQM502	醇厚	90.0±2.5 ^a

注: 同行不同小写字母表示存在显著差异($P<0.05$)。

境以及微生物自身物质代谢的协同作用, 使茶叶内含物发生极为复杂的变化塑造了黑茶特征性的品质风味^[28]。夏秋茶原料成熟, 纤维素含量高, 在渥堆过程中纤维素能够被微生物分泌的纤维素酶催化水解成可溶性糖, 可溶性糖的相对含量有所增加, 降低了茶叶粗老气^[29]。同时后发酵过程使多糖和蛋白质分解为水溶性糖及氨基酸, 酯型儿茶素被分解转化为简单儿茶素, 增加了茶叶甘甜味和厚度。降低夏秋茶粗老苦涩味, 使汤色滋味更醇和^[30], 3 个茶树品种黑毛茶通过灵芝菌后发酵, 均增加了茶汤滋味醇厚。黔茶 1 号茶树品种中呈味物质组成比可能相对较协调, 多酚类物质含量较少, 使最终产品滋味更加甜醇。

2.2 主要苦涩味成分含量分析结果

对 3 个黑毛茶的呈味化学组分进行定量分析(表 4、5)。所测黑毛茶茶多酚含量为 11.06%~26.35%, 以 QM502 茶样最高, 显著高于其他茶样($P<0.05$), QC1 茶样最低仅为

11.06%, 显著低于其他茶样($P<0.05$); 3 个黑毛茶的酚氨比均较低, 其中 QC1 茶样最低(0.66), 显著低于 QM419、QM502 茶样($P<0.05$); CAF 含量为 3.55%~4.22%, 以 QM419 茶样最高, 显著高于其他茶样($P<0.05$); 3 个黑毛茶均检测出了 8 种主要儿茶素组分; 儿茶素以 EGCG 为主, EGCG 含量在 QM502 茶样中最高, 显著高于其他茶样($P<0.05$), 在 QC1 茶样中最低, 显著低于其他茶样($P<0.05$)。儿茶素大致可分为两类: 一类是酯型儿茶素(EGCG+ECG+GCG+CG)为 3.70%~10.82%, 另一类非酯型儿茶素(GC+C+EC+EGC)为 5.16%~6.24%; 没食子酸含量为 0.10%~0.13%。

3 个灵芝菌后发酵黑毛茶的茶多酚含量为 4.00%~21.60%(表 6、7), 以 HQM419 茶样最高, 显著高于其他茶样($P<0.05$)。QC1 茶样的酚氨比略微下降为 0.52, 而 QM419 和 QM502 明显上升, 分别为 9.56 和 9.68; CAF 含量为 3.39%~4.43%, 以 QM419 茶样最高, 显著高于其他茶样($P<0.05$); 3 个黑毛茶均检测出了 8 种主要儿茶素组分; 儿茶

表 4 3 个黑毛茶主要苦涩味成分含量(一)(%)
Table 4 Content of main bitter and astringent ingredients of 3 raw dark green tea (one) (%)

编号	C	酚氨比	CAF	CG	EC	ECG	EGC
QC1	0.18±0.01 ^c	0.66±0.11 ^b	3.78±0.35 ^b	0.04±0.00 ^b	0.10±0.00 ^c	0.24±0.01 ^c	2.92±0.04 ^b
QM419	0.29±0.00 ^b	2.52±0.22 ^a	4.22±0.05 ^a	0.06±0.00 ^a	1.16±0.01 ^b	2.05±0.02 ^b	2.11±0.01 ^c
QM502	0.42±0.01 ^a	2.79±0.48 ^a	3.55±0.12 ^b	0.02±0.00 ^c	1.33±0.03 ^a	4.44±0.13 ^a	2.39±0.06 ^a

注: 同列不同小写字母表示存在显著差异($P<0.05$), 下同。

表 5 3 个黑毛茶主要苦涩味成分含量(二)(%)
Table 5 Content of main bitter and astringent ingredients of 3 raw dark green tea (two) (%)

编号	EGCG	没食子酸	GC	GCG	酯型儿茶素	非酯型儿茶素	茶多酚
QC1	3.32±0.04 ^c	0.11±0.00 ^c	1.95±0.04 ^c	0.09±0.00 ^c	3.70±0.05 ^c	5.16±0.08 ^b	11.06±2.27 ^c
QM419	5.72±0.06 ^b	0.10±0.00 ^b	2.56±0.02 ^a	0.41±0.00 ^a	8.25±0.08 ^b	6.13±0.05 ^a	25.31±0.86 ^b
QM502	6.00±0.15 ^a	0.13±0.00 ^a	2.09±0.04 ^b	0.35±0.01 ^b	10.82±0.28 ^a	6.24±0.16 ^a	26.35±1.67 ^a

表 6 3 个灵芝菌后发酵茶主要苦涩味成分含量(一)(%)

Table 6 Content of main bitter and astringent ingredients of 3 post-fermented teas after treating with *Ganoderma lucidum* (one) (%)

编号	C	酚氨比	CAF	CG	EC	ECG	EGC
HQC1	0.06±0.00 ^a	0.52±0.02 ^b	3.39±0.10 ^c	0.02±0.00 ^b	0.02±0.00 ^a	0.05±0.00 ^a	0.18±0.00 ^c
HQM419	0.04±0.00 ^b	9.56±1.12 ^a	4.43±0.05 ^a	0.02±0.00 ^b	0.02±0.01 ^a	0.01±0.00 ^b	0.31±0.01 ^a
HQM502	0.03±0.00 ^c	9.68±0.81 ^a	3.62±0.01 ^b	0.05±0.00 ^a	0.02±0.00 ^a	0.00±0.00 ^c	0.27±0.01 ^b

表 7 3 个灵芝菌后发酵茶主要苦涩味成分含量(二)(%)

Table 7 Content of main bitter and astringent ingredients of 3 post-fermented teas after treating with *Ganoderma lucidum* (two) (%)

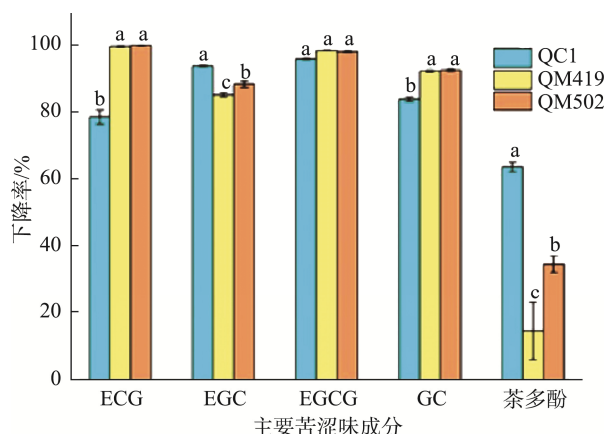
编号	EGCG	没食子酸	GC	GCG	酯型儿茶素	非酯型儿茶素	茶多酚
HQC1	0.13±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.31±0.00 ^a	0.08±0.00 ^a	0.29±0.00 ^a	0.58±0.01 ^a	4.00±0.40 ^c
HQM419	0.09±0.00 ^c	0.01±0.00 ^a	0.19±0.00 ^b	0.08±0.00 ^a	0.21±0.00 ^c	0.58±0.03 ^a	21.60±0.06 ^a
HQM502	0.11±0.01 ^b	0.01±0.00 ^a	0.15±0.00 ^c	0.08±0.00 ^a	0.25±0.00 ^b	0.49±0.04 ^b	17.17±0.10 ^b

素以 EGC 为主, EGC 含量在 HQM419 茶样中最高(0.31%), 在 HQC1 茶样中最低(0.18%); 酯型儿茶素(EGCG+ECG+GCG+CG)为 0.21%~0.29%, 非酯型儿茶素(GC+C+EC+EGC)为 0.49%~0.58%。

由表 6、7 可以看出不同茶树品种所制黑毛茶经过灵芝菌后发酵处理后, 茶多酚、儿 C 和酚酸类含量均下降, CAF 有增有降, 差异不明显, 说明灵芝菌后发酵对 CAF 影响不显著。结合表 4、5 分别对 QC1、QM419 和 QM5023 个黑毛茶, 经灵芝菌后发酵处理后主要苦涩味成分茶多酚、EGCG、EGC、ECG、GC 的下降率分析, 结果见图 1。QC1 茶样的茶多酚下降率显著($P<0.05$)高于 QM419 和 QM502, QM419 下降率最低, 黔茶 1 号、黔湄 419 和黔湄 502 的茶多酚含量下降率依次为 63.76%、14.65%和 34.81%; EGCG 3 个黑毛茶下降率差异均不显著; ECG 下降率在 QM419 和 QM502 之间差异不显著, 但显著($P<0.05$)高于 QC1; QC1 的 EGC 下降率显著($P<0.05$)高于 QM419 和 QM502, 其中 QM419 下降率最低; GC 下降率与 ECG 下降率趋势相似。

酯型儿茶素和酚酸类是茶汤苦涩味形成的主要来源^[31], 在微生物、分泌的胞外酶和湿热环境共同参与下, 转化为简单儿茶素及其他呈味物质^[32-33], 降低茶汤苦涩味, 提升茶叶品质。3 个黑毛茶在经过灵芝菌后发酵处理后茶多酚、C 和酚酸含量均明显降低, 且发酵后非酯型儿茶素含量高于酯型儿茶素, 感官评分均高于发酵前样品。说明灵芝菌发酵过程中对多酚类物质具有分解转化作用, 进而导致黑毛茶在接种灵芝菌后多酚类物质含量降低^[34]。CAF 化学性质相对稳定不易被氧化^[35], 茶叶在微生物及其胞外酶和湿热环境的共同作用下, 仅产生部分生物碱类代谢产物, 因此 CAF 含量在整个发酵过程中变化不大^[36]。3 个黑毛茶在

发酵前后 CAF 含量变化均不明显。由此可见, 灵芝菌处理不同茶树品种黑毛茶的 C 等滋味代谢途径差异较大, 导致其成分含量呈现显著差异。



注: 不同小写字母表示存在显著差异($P<0.05$), 下同。

图 1 3 个黑毛茶主要苦涩味成分下降率

Fig.1 Reduction rates of main bitter and astringent ingredients in 3 raw dark green tea

2.3 主要鲜甜味成分含量分析结果

氨基酸是茶叶清新爽口的重要物质, 调节茶汤整体滋味^[27]。利用高效液相色谱法对 6 个茶样的游离氨基酸组分进行定性定量分析, 结果见表 8~13。由表 8~13 可知, 6 个茶样中均检出 17 种氨基酸组分, 3 个黑毛茶的游离氨基酸总量在 9.63~16.90 mg/g 之间, 其中 QC1 茶样的游离氨基酸总量最高, 显著高于其他茶样($P<0.05$), 说明 QC1 茶样鲜爽味明显高于其他茶样, 而 QM502 茶样最低。茶氨酸是茶叶中特征性氨基酸, 3 个黑毛茶的茶氨酸含量为 6.11~7.63 mg/g, 以 QC1 茶样含量最高, QM502 茶样含量最

表 8 3 个黑毛茶中氨基酸组分含量(一)(mg/g)

Table 8 Content of amino acid components in 3 raw dark green tea (one) (mg/g)

编号	丙氨酸	脯氨酸	苏氨酸	茶氨酸	天冬氨酸	丝氨酸	谷氨酸
QC1	0.73±0.11 ^a	0.28±0.03 ^a	0.34±0.05 ^a	7.63±1.38 ^a	0.30±0.03 ^a	1.33±0.19 ^a	0.77±0.13 ^b
QM419	0.07±0.00 ^b	0.11±0.02 ^b	0.06±0.00 ^b	6.81±0.56 ^a	0.21±0.01 ^b	0.08±0.01 ^b	1.17±0.10 ^a
QM502	0.10±0.02 ^b	0.11±0.01 ^b	0.09±0.03 ^b	6.11±1.06 ^a	0.24±0.04 ^{ab}	0.14±0.03 ^b	0.98±0.19 ^{ab}

表 9 3 个黑毛茶中氨基酸组分含量(二)(mg/g)

Table 9 Content of amino acid components in 3 raw dark green tea (two) (mg/g)

编号	酪氨酸	缬氨酸	甲硫氨酸	赖氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	苯丙氨酸
QC1	0.53±0.09 ^a	0.46±0.07 ^a	0.16±0.03 ^b	0.39±0.08 ^a	0.34±0.04 ^a	0.39±0.05 ^a	0.41±0.03 ^a
QM419	0.04±0.03 ^b	0.09±0.00 ^b	0.79±0.04 ^a	0.03±0.00 ^b	0.04±0.00 ^b	0.08±0.00 ^b	0.04±0.01 ^b
QM502	0.11±0.01 ^b	0.07±0.01 ^b	0.97±0.33 ^a	0.10±0.03 ^b	0.05±0.01 ^b	0.10±0.01 ^b	0.01±0.00 ^b

表 10 3 个黑毛茶中氨基酸组分含量(三)(mg/g)

Table 10 Content of amino acid components in 3 raw dark green tea (three) (mg/g)

编号	游离氨基酸总量	鲜味氨基酸	甜味氨基酸	苦味氨基酸	精氨酸	甘氨酸	组氨酸
QC1	16.90±2.27 ^a	8.71±1.48 ^a	2.88±1.48 ^a	4.65±0.47 ^a	1.52±0.52 ^a	0.18±0.07 ^a	0.80±0.21 ^a
QM419	10.06±0.86 ^b	8.20±0.67 ^a	0.41±0.67 ^b	1.21±0.01 ^b	0.01±0.00 ^b	0.07±0.06 ^{ab}	0.08±0.01 ^b
QM502	9.63±1.67 ^b	7.34±1.30 ^a	0.51±1.30 ^b	1.41±0.07 ^b	0.01±0.01 ^b	0.04±0.03 ^b	0.06±0.01 ^b

表 11 3 个灵芝菌后发酵茶氨基酸组分含量(一)(mg/g)

Table 11 Content of amino acid components in 3 post-fermented teas after treating with *Ganoderma lucidum* (one) (mg/g)

编号	丙氨酸	脯氨酸	苏氨酸	茶氨酸	天冬氨酸	丝氨酸	谷氨酸
HQC1	0.46±0.03 ^a	0.18±0.01 ^a	0.21±0.00 ^a	1.27±0.06 ^a	0.32±0.01 ^a	0.56±0.02 ^a	0.58±0.03 ^a
HQM419	0.05±0.01 ^b	0.00±0.00 ^c	0.02±0.00 ^c	0.50±0.03 ^b	0.09±0.00 ^b	0.01±0.02 ^b	0.10±0.01 ^b
HQM502	0.07±0.00 ^b	0.02±0.00 ^b	0.03±0.00 ^b	0.53±0.00 ^b	0.09±0.00 ^b	0.05±0.00 ^b	0.11±0.00 ^b

表 12 3 个灵芝菌后发酵茶氨基酸组分含量(二)(mg/g)

Table 12 Content of amino acid components in 3 post-fermented teas after treating with *Ganoderma lucidum* (two) (mg/g)

编号	酪氨酸	缬氨酸	甲硫氨酸	赖氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	苯丙氨酸
HQC1	0.18±0.04 ^a	0.24±0.00 ^a	1.61±0.16 ^a	0.18±0.00 ^a	0.18±0.00 ^a	0.21±0.01 ^a	0.12±0.00 ^b
HQM419	0.10±0.00 ^b	0.02±0.00 ^c	0.71±0.06 ^b	0.02±0.02 ^c	0.00±0.00 ^b	0.03±0.01 ^c	0.14±0.00 ^a
HQM502	0.04±0.00 ^c	0.04±0.00 ^b	0.11±0.00 ^c	0.05±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.07±0.00 ^b	0.12±0.00 ^b

表 13 3 个灵芝菌后发酵茶氨基酸组分含量(三)(mg/g)

Table 13 Content of amino acid components in 3 post-fermented teas after treating with *Ganoderma lucidum* (three) (mg/g)

编号	游离氨基酸总量	鲜味氨基酸	甜味氨基酸	苦味氨基酸	精氨酸	甘氨酸	组氨酸
HQC1	7.70±0.40 ^a	2.18±0.11 ^a	2.13±0.11 ^a	2.97±0.11 ^a	0.30±0.01 ^a	0.70±0.03 ^a	0.10±0.00 ^b
HQM419	2.26±0.06 ^b	0.70±0.01 ^b	0.25±0.01 ^b	1.07±0.00 ^b	0.01±0.01 ^c	0.15±0.04 ^b	0.02±0.01 ^a
HQM502	1.77±0.10 ^c	0.74±0.00 ^b	0.32±0.00 ^b	0.48±0.01 ^c	0.05±0.00 ^b	0.13±0.01 ^b	0.01±0.00 ^b

低。由表 8~10 可得, 鲜味氨基酸天冬氨酸和谷氨酸含量分别为 0.21~0.30 mg/g、0.77~1.17 mg/g, 含量较其他氨基酸组分高。甜味氨基酸(丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸、苏氨酸)总量为 0.41~2.88 mg/g, 甜味氨基酸以丝氨酸、脯氨酸和丙氨酸为主, 含量分别为 0.08~1.33、0.11~0.28 和 0.07~0.73 mg/g; 苦味氨基酸含量为 1.21~4.65 mg/g。

由表 11~13 可以直观观察出, 不同茶树品种所制黑毛茶经过灵芝菌后发酵处理后, 大部分氨基酸类含量下降, 结合表 6 分别对 QC1、QM419 和 QM502 3 个黑毛茶, 经灵芝菌后发酵处理后主要游离氨基酸总量、鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸、茶氨酸、谷氨酸、丙氨酸、天冬氨酸、甘氨酸的下降率分析(图 2), QC1 的天冬氨酸下降率显著低于 QM419, 且呈现负数, 说明 QC1 黑毛茶经过灵芝菌后发酵处理后, 天冬氨酸略呈上升趋势, QM502 下降率最高; QM419 和 QM502 的谷氨酸、茶氨酸、游离氨基酸总量和鲜味氨基酸的下降率均显著高于 QC1, 其中, 黔茶 1 号、黔湄 419 和黔湄 502 的游离氨基酸含量下降率为 53.73%、57.96%和 68.40%, 黔茶 1 号、黔湄 419 和黔湄 502 的鲜味氨基酸含量下降率为 74.32%、77.95%和 84.25%; 甜味氨基酸总量和丙氨酸的下降率在 3 个黑毛茶中差异均不显著, 甘氨酸的下降率均呈负数, 且 QC1 和 QM419 下降率差异不显著, 均显著低于 QM502, 黔茶 1 号、黔湄 419 和黔湄 502 的甘氨酸含量增加 217.22%、192.60%和 119.53%; 而 QC1 的苦味氨基酸总量下降率显著高于 QM419 和 QM502, 黔茶 1 号、黔湄 419 和黔湄 502 的苦味氨基酸含量下降率为 34.94%、19.04%和 20.07%, 由此可见, 灵芝菌处理不同茶树品种黑毛茶的氨基酸类滋味物质含量、下降率差异较大, 呈现出滋味特征差异。

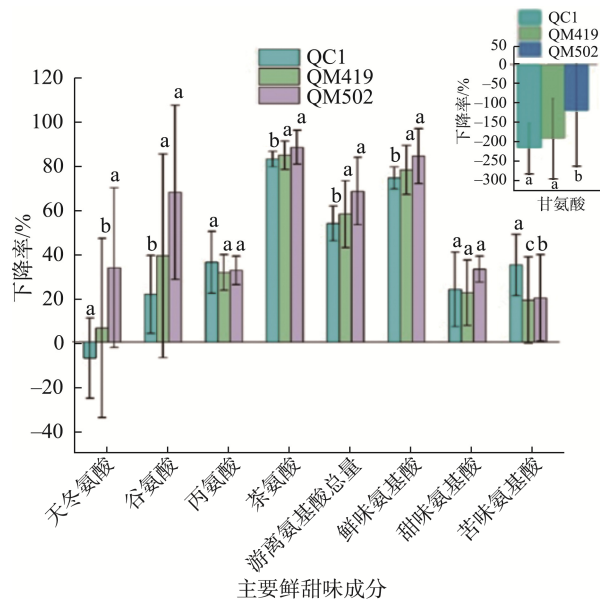


图 2 3 个黑毛茶主要鲜甜味成分下降率

Fig.2 Reduction rates of the main fresh and sweet components in 3 raw dark green tea

在微生物、分泌的胞外酶和湿热环境共同参与下, 茶叶中蛋白质降解成氨基酸, 氨基酸含量增加, 氨基酸为微生物生长提供碳源物质被消耗, 转换为香气物质使得其含量降低^[37]。3 个黑毛茶在灵芝菌发酵后游离氨基酸总量、鲜味氨基酸及甜味氨基酸均下降, QC1 茶样的天冬氨酸含量上升, 甘氨酸在 3 个茶样中均呈上升趋势, 这表明氨基酸在微生物发酵过程中产生一定代谢。茶叶发酵过程中底物浓度、胞内酶和微生物产生的胞外酶是影响发酵的关键因素^[38], 不同条件下后发酵所产生的代谢途径不同。

3 结 论

本研究探究了经灵芝菌后发酵处理的 3 个不同茶树品种夏秋黑毛茶主要活性成分的变化情况, 并分析灵芝菌接种夏秋黑毛茶前后感官品质、氨基酸组分含量、茶多酚、酚氨比以及各儿茶素组分含量的差异, 分析灵芝菌后发酵处理不同品种夏秋黑毛茶品质差异, 为后续利用灵芝菌提升夏秋茶品质及标准化生产提供理论依据。经分析发现, 与发酵前黑毛茶相比, 接种灵芝菌黑毛茶综合感官品质提升, 部分氨基酸含量增加, 茶多酚及 C 含量降低, 这些成分含量的变化与感官结果较一致, 进一步分析灵芝菌后发酵处理的 3 个不同茶树品种夏秋黑毛茶品质特点, 黔茶 1 号茶样发酵后茶多酚下降率显著高于黔湄 419 和黔湄 502; 游离氨基酸总量下降率显著低于黔湄 419 和黔湄 502, 感官评分高于黔湄 419 和黔湄 502 发酵茶样, 得到灵芝菌后发酵黔茶 1 号黑毛茶品质最优。本研究为后续深入研究夏秋茶综合利用及深入开发具有保健功能的灵芝菌茶提供了数据支持。

参考文献

- [1] XU S, ZENG X, WU H, *et al.* Characterizing volatile metabolites in raw Pu'er tea stored in wet-hot or dry-cold environments by performing metabolomic analysis and using the molecular sensory science approach [J]. *Food Chem*, 2021, 350: 129186.
- [2] KOHL KD, STENGEL A, DEARING MD. Inoculation of tannin-degrading bacteria into novel hosts increases performance on tannin-rich diets [J]. *Environ Microbiol*, 2016, 18(6): 1720–1729.
- [3] 郑梦霞, 李会娟, 陈淑娜, 等. 冠突散囊菌发酵对茶汤香气成分的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(18): 223–228.
ZHENG MX, LI HJ, CHEN SN, *et al.* Effect of *Rhizoma coronatum* fermentation on aroma components of tea soup [J]. *Food Sci*, 2019, 40(18): 223–228.
- [4] 王亚丽, 秦俊哲, 黄亚亚, 等. 冠突散囊菌对茯砖茶品质形成的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(4): 194–197.
WANG YL, QIN JZ, HUANG YY, *et al.* Effect of *Corystis corystis* on quality formation of Fuzhuan tea [J]. *Food Ferment Ind*, 2018, 44(4): 194–197.
- [5] 魏宗游, 陆莹霞, 杨军成, 等. 冠突散囊菌对贵州夏秋茶发花中真菌多样性及品质的影响[J]. *生命的化学*, 2021, 41(6): 1189–1195.
WEI ZY, LU YX, YANG JC, *et al.* Effects of *Rhizoma coronatum* on the diversity and quality of fungi in summer and autumn tea in Guizhou [J]. *Chem Life*, 2021, 41(6): 1189–1195.
- [6] 刘忠英, 崔继来, 周洁, 等. 夏季绿茶发酵产品研制及其品质评价[J]. *食品科技*, 2021, 46(3): 54–61.
LIU ZY, CUI JL, ZHOU J, *et al.* Preparation and quality evaluation of green tea fermentation products in summer [J]. *Food Sci Technol*, 2021, 46(3): 54–61.
- [7] 宋诗颖, 林雨蝶, 周罗娜, 等. 红曲发酵夏秋茶菌种筛选及基质适生性研究[J]. *食品科技*, 2022, 47(10): 62–69.
SONG SY, LIN YD, ZHOU LN, *et al.* Study on strain selection and substrate suitability of summer and autumn tea during red yeast fermentation [J]. *Food Sci Technol*, 2022, 47(10): 62–69.
- [8] 张六六, 王亚, 吴燕. 冠突散囊菌发酵夏秋茶工艺优化研究[J]. *安徽农业科学*, 2020, 48(9): 174–176, 196.
ZHANG LL, WANG Y, WU Y. Study on optimization of fermentation process of summer and autumn tea by *P. coronarium* [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2020, 48(9): 174–176, 196.
- [9] CUI M, YANG H, HE G. Apoptosis induction of colorectal cancer cells HTL-9 *in vitro* by the transformed products of soybean isoflavones by *Ganoderma lucidum* [J]. *J Zhejiang Univ Sci*, 2017, 18(12): 1101–1112.
- [10] JIA X, DONG J, YU Y, *et al.* Changes of chemical components and anti-tumor activity of total ginsenosides from ginseng stems and leaves transformed by submerged fermentation of *Ganoderma lucidum* [J]. *J Jilin Univ (Med Ed)*, 2017. DOI: 10.13481/j.1671-587x.20170316
- [11] 裴海生, 孙君社, 王民敬, 等. 木质素对灵芝菌丝体生长的影响[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(6): 6–10.
PEI HS, SUN JS, WANG MJ, *et al.* Effect of lignin on mycelium growth of *Ganoderma lucidum* [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2017, 33(6): 6–10.
- [12] 刘凌云, 黄在兴, 邢世和, 等. 灵芝生长过程中培养基料中的碳转化及子实体的 CO₂ 排放[J]. *园艺学报*, 2019, 46(10): 8–9.
LIU LY, HAUNG ZX, XING SH, *et al.* Carbon conversion in culture and CO₂ emissions from fruites during *Ganoderma lucidum* growth [J]. *Chin J Hort*, 2019, 46(10): 8–9.
- [13] 陈志杰, 顾振新, 解春艳. 灵芝发酵过程中营养物质及相关酶活性变化研究[J]. *中国酿造*, 2008, (1): 26–29.
CHEN ZJ, GU ZX, XIE CY. Study on the changes of nutrients and related enzyme activities during the fermentation of *Ganoderma lucidum* [J]. *China Brew*, 2008, (1): 26–29.
- [14] CAI M, XING H, TIAN B, *et al.* Characteristics and antifatigue activity of graded polysaccharides from *Ganoderma lucidum* separated by cascade membrane technology [J]. *Carbohydr Polym*, 2021, 269: 118329.
- [15] 高佳佳, 刘书来, 丁玉庭. 红茶添加对灵芝菌液态发酵产胞外多糖的影响[J]. *浙江农业科学*, 2014, (1): 82–85.
GAO JJ, LIU SL, DING YT. Effect of black tea addition on exoglycans produced by liquid fermentation of *Ganoderma lucidum* [J]. *Zhejiang Agric Sci*, 2014, (1): 82–85.
- [16] 黄友谊. 茶叶微生物产品学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2017.
HUANG YL. *Microbiology of tea* [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2017.
- [17] 殷亚峰, 丁玉庭, 欧阳喆, 等. 茶汁中灵芝菌产多酚氧化酶发酵条件的研究[J]. *浙江工业大学学报*, 2005, (4): 390–394.
YIN YF, DING YT, OUYANG Z, *et al.* Study on fermentation conditions of polyphenol oxidase produced by *Ganoderma lucidum* in tea juice [J]. *J Zhejiang Univ Technol*, 2005, (4): 390–394.
- [18] 刘良琴. 灵芝多糖的提取纯化、结构表征及灵芝茶的质量控制研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2017.
LIU LQ. Study on extraction, purification, structural characterization and quality control of *Ganoderma lucidum* polysaccharide [D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2017.
- [19] 戴宇樵, 罗学尹, 刘亚兵, 等. 基于 GC-MS 和电子舌技术的白芽奇兰灵芝菌茶风味特征研究[J]. *食品科技*, 2022, 47(8): 264–271.
DAI YQ, LUO XY, LIU YB, *et al.* Study on the flavor characteristics of *Ganoderma lucidum* tea based on GC-MS and electronic tongue

- technology [J]. *Food Sci Technol*, 2022, 47(8): 264–271.
- [20] 田广文, 陈德育, 杨祥. 富硒灵芝茶菌保健饮料的研制[J]. *食品研究与开发*, 2009, 30(9): 102–105.
TIAN GW, CHEN DY, YANG X. Development of selenium-rich *Ganoderma lucidum* tea beverage [J]. *Food Res Dev*, 2009, 30(9): 102–105.
- [21] 林戎斌, 陈济琛, 郑永标, 等. 三种药用菌发酵茶的最适培养基[J]. *食用菌学报*, 2004, (3): 38–42.
LIN RB, CHEN JC, ZHENG YB, *et al.* Optimum tea medium for fermented tea with three kinds of medicinal bacteria [J]. *Chin J Edible Bacteriol*, 2004, (3): 38–42.
- [22] YANG C, CHEN J, GUO Y, *et al.* A new high-yield and high-quality tea cultivar ‘Qiancha 1’ [J]. *Acta Horticult Sin*, 2019, 46(S2): 2929–2930.
- [23] 赵华富, 高秀兵, 刘晓霞, 等. 贵州高茶多酚茶树品种多酚品质分析评价[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(16): 149–154.
ZHAO HF, GAO XB, LIU XX, *et al.* Polyphenol quality analysis and evaluation of high tea polyphenol tea cultivars in Guizhou [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2016, 32(16): 149–154.
- [24] 龚雪, 周顺珍, 陈娟, 等. 不同茶树品种(品系)绿茶与红茶咖啡碱含量的比较分析[J]. *茶叶通讯*, 2018, 45(1): 34–37.
GONG X, ZHOU SZ, CHEN J, *et al.* Comparative analysis of caffeine content in green tea and black tea of different tea varieties (strains) [J]. *Tea Commun*, 2018, 45(1): 34–37.
- [25] 冉乾松, 刘忠英, 尹杰, 等. 贵州绿茶滋味分属性二次多项回归模型构建[J]. *南方农业学报*, 2022, 53(4): 1131–1142.
RAN QS, LIU ZY, YIN J, *et al.* Construction of quadratic multinomial regression model for the flavor characteristics of green tea in Guizhou [J]. *J Southern Agric Sci*, 2022, 53(4): 1131–1142.
- [26] ZHANG L, CAO QQ, GRANATO D, *et al.* Association between chemistry and taste of tea: A review [J]. *Trend Food Sci Technol*, 2020, 101: 139–149.
- [27] 冉乾松, 刘忠英, 方仕茂, 等. 贵州 5 个代表性绿茶滋味特征与其呈味化合物相关性分析[J]. *浙江农业学报*, 2022, 34(11): 2451–2461.
RAN QS, LIU ZY, FANG SM, *et al.* Analysis on the correlation between the taste characteristics of five representative green teas in Guizhou and their flavor compounds [J]. *Acta Agric Zhejiang*, 2022, 34(11): 2451–2461.
- [28] 龚意成. 安化黑茶区域性黑毛茶品质特性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
GONG YC. Study on quality characteristics of Anhua black tea [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2022.
- [29] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
WAN XC. *Biochemistry of tea* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008.
- [30] 吕海鹏, 王梦琪, 张悦, 等. 普洱茶后发酵过程中多酚类成分生物转化的研究进展[J]. *食品科学*, 2018, 39(23): 306–312.
LV HP, WANG MQ, ZHANG Y, *et al.* Research progress on biotransformation of polyphenols in post-fermentation of Pu’er tea [J]. *Food Sci*, 2018, 39(23): 306–312.
- [31] XU YQ, ZHANG YN, CHEN JX, *et al.* Quantitative analyses of the bitterness and astringency of catechins from green tea [J]. *Food Chem*, 2018, 258: 16–24.
- [32] 罗龙新, 吴小崇, 邓余良, 等. 云南普洱茶渥堆过程中生化成分的变化及其与品质形成的关系[J]. *茶叶科学*, 1998, (1): 53–60.
LUO LX, WU XS, ZHEN YL, *et al.* Changes of biochemical components and their relationship with quality formation of Yunnan Pu’er tea during stacking [J]. *Tea Sci*, 1998, (1): 53–60.
- [33] 王增盛, 谭湖伟, 施玲. 黑茶初制中主要含氮化合物的变化[J]. *茶叶科学*, 1991, (S1): 29–33.
WANG ZS, TAN HW, SHI L. Changes of main nitrogen compounds in black tea preparation [J]. *Tea Sci*, 1991, (S1): 29–33.
- [34] 罗欣. 微生物降解落叶松单宁为儿茶素的研究[D]. 成都: 四川大学, 2007.
LUO X. Study on the degradation of tannins from larch to catechins by microorganisms [D]. Chengdu: Sichuan University, 2007.
- [35] 吴丹. 黑毛茶新工艺研究及对夏秋茶品质形成的作用[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.
WU D. Study on new technology of black hair tea and its effect on quality formation of summer and autumn tea [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017.
- [36] 郑城钦, 马存强, 张正艳, 等. 茶叶微生物固态发酵中咖啡碱降解途径初探[J]. *茶叶科学*, 2020, 40(3): 386–396
ZHENG CX, MA CQ, ZHANG ZY, *et al.* Study on the degradation pathway of caffeine in microbial solid fermentation of tea [J]. *Tea Sci*, 2020, 40(3): 386–396.
- [37] XU N, CHU J, WANG M, *et al.* Large yellow tea attenuates macrophage-related chronic inflammation and metabolic syndrome in high-fat diet treated mice [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(15): 3823–3832.
- [38] 杨小平, 赵晓, 罗跃新, 等. 黑茶陈化工艺研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(12): 309–318.
YANG XP, ZHAO X, LUO YX, *et al.* Research progress on the aging process of black tea [J]. *Food Ferment Ind*, 2023, 49(12): 309–318.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介

刘亚兵, 硕士, 主要研究方向为茶叶加工。
E-mail: lybgz628@163.com

潘科, 博士, 研究员, 主要研究方向为茶叶精深加工。
E-mail: 148450502@qq.com