

不同烘焙条件下成品滇红茶香气及化学成分的变化

杨彩霞¹, 王瑶^{1,2}, 汪艳蛟¹, 殷建忠¹, 王松梅¹, 潘红梅¹, 吴志霜¹, 冯月梅¹, 吴少雄^{1*}

(1. 昆明医科大学公共卫生学院, 云南昆明 650500) (2. 曲靖市第二人民医院临床营养科, 云南曲靖 655000)

摘要: 为提高滇红茶品质, 本试验设置不同的烘焙温度和时间对成品滇红茶进行处理, 采用同时蒸馏萃取-气相色谱质谱联用(SDE-GC/MS)法检测滇红茶香气成分, 并用高效液相色谱法(HPLC)测定部分功能成分, 研究不同烘焙条件下滇红茶主要香气成分和功能成分的变化规律。结果表明: 滇红茶经过烘焙处理, 共检测出65种挥发性物质。苯甲醇、香叶醇等主要香气成分在70℃、90℃烘焙1~4h时含量明显增加。吲哚和吡啶物质在110℃烘焙4h下含量达到最高, 吡嗪物质在130℃烘焙条件下, 随烘焙时间延长含量迅速增高; 茶多酚(TP)含量随烘焙温度和时间的延长而减少, 没食子酸(GA)在不同温度下, 随烘焙时间延长含量逐渐增多。儿茶素(C)在130℃烘焙2.5h儿茶素含量达峰值。表没食子酸儿茶素没食子酸酯(EGCG)等四种物质在70℃、90℃烘1~2.5h含量增多。综上, 在经过70℃、90℃烘焙成品红茶1~2.5h后, 可以提升茶叶香气; 同时能够促使茶多酚转化成没食子酸(GA)和儿茶素类物质, 进一步提高成品滇红茶的保健功能效力。

关键词: 滇红茶; 烘焙; 香气; 功能成分

文章编号: 1673-9078(2021)09-242-251

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.9.1145

Changes in Aromatic and Functional Components of Finished Yunnan Black Tea Roasted under Different Conditions

YANG Cai-xia¹, WANG Yao^{1,2}, WANG Yan-jiao¹, YIN Jian-zhong¹, WANG Song-mei¹, PAN Hong-mei¹,
WU Zhi-shuang¹, FENG Yue-mei¹, WU Shao-xiong^{1*}

(1. School of Public Health, Kunming Medical University, Kunming 650500, China)

(2. Clinical Nutriology Department, Qujing Second People's Hospital, Qujing 655000, China)

Abstract: To improve Yunnan black tea quality, finished Yunnan black tea was roasted at different temperatures for varying durations. The aromatic components of the Yunnan black tea were detected using simultaneous steam distillation extraction-gas chromatography-mass spectrometry, whereas other functional components were determined using high-performance liquid chromatography. Changes in the primary aromatic and functional components of the Yunnan black tea roasted under different conditions were also studied. A total of 65 kinds of volatile substances were detected in the roasted Yunnan black tea. The contents of the primary aromatic components benzyl alcohol and geraniol increased significantly when the tea was roasted at 70 °C and 90 °C for 1~4 h. Similarly, the contents of indole and pyridine reached their maxima when the tea was roasted at 110 °C for 4 h. The content of pyrazine increased rapidly with time at 130 °C. In contrast, tea polyphenol content decreased as the roasting temperature and time increased. Regardless of the roasting temperature, the gallic acid content increased gradually with time. The content of catechin peaked when the tea was roasted at 130 °C for 2.5 h. Furthermore, the contents of epigallocatechin gallate and three other substances increased after the tea was roasted at 70 °C and 90 °C for 1~2.5 h. In summary, roasting at 70 °C and 90 °C for 1~2.5 h enhanced the aroma of the finished tea and induced conversion of tea polyphenol to gallic acid and catechin. This method can enhance

引文格式:

杨彩霞,王瑶,汪艳蛟,等.不同烘焙条件下成品滇红茶香气及化学成分的变化[J].现代食品科技,2021,37(9):242-251

YANG Cai-xia, WANG Yao, WANG Yan-jiao, et al. Changes in aromatic and functional components of finished Yunnan black tea roasted under different conditions [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(9): 242-251

收稿日期: 2020-12-09

基金项目: 云南省高校重点实验室建设项目(YNHEKL201608)

作者简介: 杨彩霞(1994-),女,在读硕士研究生,研究方向:营养与食品卫生学,E-mail: 1372013045@qq.com;共同第一作者:王瑶(1991-),女,硕士,研究方向:营养与食品科学,E-mail: 2834909655@qq.com

通讯作者: 吴少雄(1965-),男,博士,教授,研究方向:营养与食品科学,E-mail: sxwcn@sina.com

the effectiveness of Yunnan black tea as a health product.

Key words: Yunnan black tea; roasting; aroma; functional components

滇红茶又称为云南红茶,是1938年以云南大叶种鲜叶为原料,经过萎凋、揉捻、发酵、干燥四大工艺而制成的高香类红茶,因其具有“形美、色艳、香高、味浓”的特点^[1]而受到消费者的亲睐。香气是决定茶叶性状和品质的关键影响因素。香气成分及其影响因素的研究,伴随着酶学^[2-4]、代谢组学^[5]、分子化学^[6]及分子生物学^[7]等相关学科^[8,9]的发展及分析检测技术的不断升级而取得了较大进展。影响茶叶香气的因素较多,如茶树品种、种植环境、农艺措施、加工工艺、贮藏方式等^[10,11]。加工过程是茶叶香气物质形成的关键步骤。随着生产工艺的优化,红茶的香气品质及其功能成分也发生了相应的变化。

烘焙(俗称“火候”)作为茶叶重要后期处理工艺之一,烘焙处理使茶叶内产生生理化学变化,茶叶的内含物质发生熟化、异构化、氧化、后熟作用等^[12],使茶叶的品质发生变化,影响着茶叶的外形色泽、叶底汤色、茶叶冲泡长短等品质。最佳的烘焙工艺是将温度、时间、烘焙次数及热空气供量等多个影响因素协调统一。目前研究主要以感官为主要评价指标,参数设计略有缺乏^[13],综合探讨烘焙温度和时间对红茶香气和功能成分影响的系统研究不足。烘焙提香技术在绿茶、乌龙茶、武夷红茶和祁门红茶中研究比较多,大多数是针对鲜茶进行研究,而对于成品茶相关研究比较少。近年来,红茶产销量一直处于行业领先地位,但每年库存量很大,因此运用烘焙提香技术改善成品茶叶品质及香气成分具有重要意义。故本研究主要通过不同的烘焙温度和时间相组合,探讨其对成品滇红茶的香气和功能成分的影响,以期改善成品滇红茶品质,进一步为厂家解决了库存成品茶在后期如何处理这一问题提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 原料与试剂

成品滇红茶,产自云南龙马江茶叶有限公司,购自云南昆明鑫源超市。

二氯甲烷、茶、无水硫酸钠、无水乙醇、乙腈、甲醇、乙酸、碳酸钠、福林酚、乙二胺四乙酸(均为分析纯试剂),购自南京建成公司。

1.2 主要仪器设备

LE203E/02 电子天平,梅特勒-托利多仪器公司;

CT410 旋风式样品磨,瑞典福斯;烘箱,天津泰斯特仪器公司;恒温恒湿箱,科正仪器公司;气相色谱/质谱联用仪,美国 Agilent 公司;同时蒸馏萃取装置、LC-20A 高效液相色谱仪,日本岛津公司;分光光度计,日本岛津。

1.3 试验方法

1.3.1 成品滇红茶烘焙处理

将成品滇红茶叶进行烘焙加工处理,分别称取 100 g 茶叶盛装于干燥盒中均匀铺放,设置 70 °C、90 °C、110 °C、130 °C 四个温度,分别烘焙 1.0 h、2.5 h、4.0 h,烘焙完成,冷却后,将样品保存于密封袋中待测。

1.3.2 成品茶叶样品前处理

称取烘焙处理茶叶样品各 30 g,使用旋风磨粉碎过 60 目筛,取粉碎过筛后的样品 26 g,放入事先折好的纸盒内,在恒温恒湿箱中(平衡条件温度 22 °C、湿度 60%)平衡 12~24 h 后待检。

1.3.3 香气组分样品萃取

采用同时蒸馏萃取法(SDE)萃取样品,将 26 g 样品加入 350 mL 蒸馏水,取 30 mL 二氯甲烷萃取溶剂,萃取时间 2 h,水浴温度 60 °C。

1.3.4 香气组分样品浓缩

萃取液干燥过夜后,从冷冻柜取出,平衡至室温后样品导入浓缩瓶。每个样品准确定量 1 mL 后,装入样品瓶中,进行 GC/MS 仪器分析检测。

1.3.5 香气组分检测分析

GC 测定条件:弹性熔融石英毛细管柱(30 mm×0.25 mm×0.25 μm),固定相(5%苯基)一甲基聚硅氧烷升;温程序:初始温度 50 °C,保持 1 min,以 8 °C/min 速率升温到 160 °C,保持 2 min,再以 8 °C/min 速率升温至 260 °C 保持 15 min;进样口温度:250 °C;进样量:1 μL;载气:He, 1.0 mL/min;分流比:20:1;溶剂延迟时间:2 min。

MS 分析条件:EI,电离能量:70 eV;离子源温度:230 °C;传输线温度:280 °C;四级杆温度:160 °C;质量范围 35~455 u;使用选择离子和全扫描同时扫描模式;选择的离子:茶 128。

定性定量方法:采用质谱法定性分析,通过测定的质谱图与计算机谱库(05 版 Wiley 和 NIST 库)进行比对后定性,选择茶为内标,通过内标法进行定量分析。

1.3.6 功能成分测定

运用高效液相色谱法测定烘焙处理滇红茶样品中儿茶素类成分,分光光度计测定茶多酚,参照国标茶叶中茶多酚、儿茶素类含量的检测方法“GB/T 8313-2008”^[14]。

1.3.7 实验数据处理及分析

数据采用 EXCEL 2010、SPSS 22.0 进行分析处理。

2 结果与讨论

2.1 不同处理对成品茶样的香气成分的影响

运用同时蒸馏萃取法提取茶叶挥发性成分,并用气相色谱-质谱联用法(GC/MS)对其挥发性成分进行分析鉴定。从表 1 可看出,茶叶挥发性成分共 65 种,其中醛类 11 种、醇类 20 种、酮类 9 种、酯类 9 种、酸类 4 种、烯类 2 种、酚类 2 种和杂环类化合物 8 种,检测出含量较高的香气物质有 3-甲基丁醛、2-甲基丁醛、苯乙醛、糠醇、苯甲醇、 α -甲基- α -[4-甲基-3-戊烯基]环氧乙烷甲醇、顺- α , α -5-三甲基-5-乙炔基四氢吡喃-2-甲醇、芳樟醇、苯乙醇、2,2,6-三甲基-6-乙炔基四氢-2H-吡喃-3-醇 A、2,2,6-三甲基-6-乙炔基四氢-2H-吡喃-3-醇 B、香叶醇、橙花叔醇、植醇、水杨酸甲酯、棕榈酸乙酯、亚油酸甲酯、亚麻酸甲酯、亚油酸乙酯等成分。随着烘焙处理温度和时间的主要呈香挥发性物质含量也随之改变。吕世懂等^[15]研究鉴定出滇红茶香气成分 76 种,主要以醇类、酮类和酯类化合物为主,醇类化合物的占比最高,主要包括芳樟醇、芳樟醇氧化物、香叶醇和橙花叔醇等萜烯醇类物质。任洪涛等^[16]研究中,共检测出 97 类挥发性物质,包括醇、醛、酸、酮、酯、内酯、含氮和烃类物质,醇类含量最高,其次为醛类物质。从这些结果可分析出新鲜茶叶烘焙可能较成品茶叶产生的挥发性成分多。

2.2 不同烘焙条件滇红茶香气成分分析

香气测定分析选取样品中主要呈香挥发性物质进行香气分析。孙庆娜^[17]研究表明,山东红茶在 70 °C 左右处理 1.0~1.5 h 的感官品质较好;此外,烘焙时间对工夫红茶各生化成分的影响不同,但对品质有利的生化成分以烘焙 1.0 h 的茶样含量最高;随着烘焙时间延长,工夫红茶香气的种类、含量以及组分比值发生显著变化。张成^[18]研究表明,烘焙能改善浙江红茶的感官品质,各样品感官品质随着烘焙时间的延长,呈现出先增加再降低的趋势,且随着烘焙提香温度的升高,烘焙提香达到最好效果时所需要的时间缩短:

70 °C 烘焙下,处理 6 h 时达到最佳效果;80 °C 烘焙下,处理 6 h 达到最佳效果;90 °C 烘焙下,处理 5 h 达到最佳效果;100 °C 烘焙下,处理 4 h 达到最佳效果;110 °C 烘焙下,处理 1 h 达到最佳效果。朱永兴研究认为处理温度在 110 °C 上将有损红茶品质。张伟等^[19]研究发现,铁观音依次在 100 °C 下烘焙 90 min、在 120 °C 下烘焙 60 min、在 140 °C 下烘焙 30 min 左右待茶叶冷却至室温,此处理条件下所得茶叶感官评价最好。郑月梅等^[20]研究发现,烘焙温度与生化品质成负相关,高温烘焙使茶叶中氨基酸含量显著减少,低温有助于茶氨酸积累。沈强等^[21]研究发现,提香温度控制在 100 °C~120 °C 时,有利于形成贵州珠形绿茶滋味醇正、栗香较显和香气持久的独特品质风味。倪德江等^[22]研究发现在处理温度小于 130 °C 范围内,随着处理时间延长,绿茶由清香变栗香且香气浓度较高。实验借鉴了其它茶类的烘焙提香处理经验,研究成品滇红茶在 70、90、110、130 °C 下分别烘焙 1.0、2.5、4.0 h 样品,研究烘焙温度和烘焙时间对茶叶香气的影响,希望提出红茶烘焙提香处理新的工艺参数,为红茶加工提供一定技术理论支持。主要成分分析见表 2。从表 2 可以看出,在 70 °C、90 °C 烘焙下,呈玫瑰香和花香的苯甲醇、苯乙醇和香叶醇,具有栗香和木香的芳樟醇及芳樟醇氧化物,呈现烤香和焦香味的吡嗪、吡啶和吡咯,呈现甜香的 β -紫罗兰酮和橙花叔醇,松香的 α -松油醇,奶香的水杨酸甲酯随着烘焙时间的延长含量随之增加;110 °C 烘焙下,苯甲醇、苯乙醇、香叶醇、吡嗪、吡啶、吡咯、橙花叔醇、水杨酸甲酯随烘焙时间增加含量升高,芳樟醇及芳樟醇氧化物、 β -紫罗兰酮和 α -松油醇,随时间延长含量降低;130 °C 烘焙下,苯甲醇、苯乙醇、香叶醇、芳樟醇及芳樟醇氧化物、吡啶、吡咯、橙花叔醇、 β -紫罗兰酮和 α -松油醇随烘焙时间增加含量降低,水杨酸甲酯和吡嗪类物质随时间延长含量升高。在相同烘焙时间下,烘焙 1 h 时苯甲醇、苯乙醇、香叶醇、芳樟醇、水杨酸甲酯在 70 °C 时含量最高,吡嗪、吡啶、橙花叔醇和 α -松油醇在 110 °C 以上温度下含量较高;烘焙 2.5 h 时,苯甲醇、苯乙醇、香叶醇、芳樟醇、橙花叔醇、 β -紫罗兰酮和水杨酸甲酯在 70 °C、90 °C 时含量较高,吡嗪、吡啶、吡咯在 130 °C 含量高;烘焙 4 h 时,苯甲醇、苯乙醇、橙花叔醇在 70 °C 含量最高,香叶醇、芳樟醇及其氧化物在 90 °C 含量最高,和水杨酸甲酯在 110 °C 含量最高,吡嗪在 130 °C 含量最高。

表1 滇红茶香气成分及含量

Table 1 Main aroma composition and its content in Yunnan black tea

化合物名称	保留时间/min	化合物含量/($\mu\text{g/g}$)												
		未处理	70 °C 1 h	70 °C 2.5 h	70 °C 4 h	90 °C 1 h	90 °C 2.5 h	90 °C 4 h	110 °C 1 h	110 °C 2.5 h	110 °C 4 h	130 °C 1 h	130 °C 2.5 h	130 °C 4 h
3-甲基丁醛	2.16	2.95	1.05	2.19	1.49	2.26	2.96	3.35	3.12	3.06	3.14	2.74	3.18	2.49
2-甲基丁醛	2.22	1.81	0.79	1.71	1.07	1.65	2.32	2.46	2.40	2.65	3.00	2.61	3.33	2.80
糠醛	3.98	1.59	1.47	1.70	1.67	2.05	1.83	1.70	1.64	1.59	1.84	1.42	1.64	1.58
苯甲醛	6.14	0.70	0.73	0.97	0.90	0.77	0.81	0.64	0.62	0.51	0.66	0.61	0.44	0.62
5-甲基糠醛	6.17	0.10	0.12	0.15	0.16	0.15	0.22	0.20	0.23	0.34	0.44	0.29	0.69	1.06
1H-吡咯-2-甲醛	6.96	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07	0.09	0.06	0.10	0.29	0.10	0.33	0.32
苯乙醛	7.69	12.58	12.57	12.68	12.30	12.39	11.69	9.80	9.43	8.27	8.80	7.86	6.43	5.09
1-乙基-1H-吡咯-2-甲醛	7.80	0.36	0.47	0.41	0.62	0.67	0.66	0.93	0.84	1.22	1.63	1.09	2.34	4.75
1-甲基吡咯-2-甲醛	9.11	0.07	0.05	0.07	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09	0.13	0.33	0.18	0.39	0.42
β -环柠檬醛	10.99	0.27	0.28	0.30	0.28	0.27	0.29	0.26	0.29	0.28	0.32	0.29	0.29	0.32
2-苯基巴豆醛	11.88	0.12	0.16	0.19	0.18	0.22	0.22	0.19	0.18	0.17	0.24	0.17	0.23	0.21
3-戊烯-2-醇	2.35	0.99	0.56	0.81	0.65	0.83	0.82	0.79	0.70	0.62	0.61	0.60	0.50	0.47
糠醇	4.28	6.69	5.44	5.71	5.10	5.68	5.96	4.49	3.67	3.89	5.08	3.45	3.77	2.63
2-庚醇	5.01	0.29	0.25	0.25	0.25	0.27	0.27	0.27	0.20	0.20	0.24	0.18	0.18	0.24
苯甲醇	7.47	2.15	2.59	2.21	2.36	2.58	2.92	2.77	2.11	1.87	2.95	1.97	1.61	1.40
α -甲基- α -[4-甲基-3-戊烯基]环氧乙烷甲醇	8.23	3.71	3.63	4.12	4.28	3.28	3.48	3.47	3.93	4.27	4.43	4.01	5.39	5.29
顺- α,α -5-三甲基-5-乙基四氢吡喃-2-甲醇	8.52	8.58	8.49	9.12	9.37	7.64	7.81	7.73	8.42	8.49	8.52	8.28	8.78	8.21
芳樟醇	8.71	5.86	6.12	5.85	5.86	5.61	6.08	5.67	5.54	5.10	5.12	4.81	3.42	2.76
3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇	8.79	1.55	1.46	1.60	1.56	1.39	1.45	1.32	1.65	1.59	1.49	1.63	1.22	0.70
2,6-二甲基环己醇	8.92	0.38	0.31	0.44	0.27	0.41	0.34	0.39	0.40	0.36	0.34	0.42	0.31	0.28
苯乙醇	8.98	3.71	4.35	3.79	3.87	4.25	4.57	4.28	3.65	3.21	4.69	3.49	3.03	2.81
2,2,6-三甲基-6-乙基四氢-2H-吡喃-3-醇 A	10.02	2.67	2.64	3.02	3.21	2.36	2.50	2.49	2.91	2.82	2.66	2.86	2.56	1.81
2,2,6-三甲基-6-乙基四氢-2H-吡喃-3-醇 B	10.11	9.16	9.12	9.85	10.49	8.11	8.41	8.38	9.43	9.17	8.86	9.09	8.24	6.12

转下页

接上页

α -松油醇	10.43	1.05	0.98	0.94	1.04	0.78	1.01	0.79	1.12	1.13	1.06	1.08	1.11	0.77
橙花醇	11.06	0.29	0.29	0.30	0.30	0.28	0.31	0.30	0.34	0.33	0.37	0.35	0.31	0.28
香叶醇	11.50	1.97	2.19	2.03	2.05	1.99	2.01	1.73	1.78	1.70	1.85	1.76	1.39	1.01
3,7,11-三甲基-1,6,10-十二烷三烯-3-醇	16.91	0.77	0.90	0.82	0.87	0.82	0.89	0.86	0.82	0.84	0.89	0.80	0.71	0.58
α -毕橙茄醇	18.82	0.42	0.42	0.52	0.50	0.40	0.44	0.41	0.47	0.53	0.58	0.52	0.61	0.55
异植物醇	23.31	0.39	0.49	0.65	0.55	0.43	0.51	0.56	0.38	0.55	0.75	0.74	0.64	0.64
橙花叔醇	24.44	2.65	3.23	4.41	3.89	3.84	3.65	2.66	2.95	2.44	3.29	4.36	2.15	1.05
植醇	25.46	18.20	21.44	24.80	21.63	22.39	24.39	26.69	24.63	20.65	23.89	21.00	14.33	8.85
3-羟基-2-丁酮	2.54	0.06	0.08	0.06	0.06	0.08	0.11	0.16	0.11	0.13	0.20	0.15	0.17	0.14
1-(2-咪喃基)-乙酮	5.23	0.15	0.08	0.12	0.09	0.12	0.09	0.16	0.10	0.24	0.23	0.13	0.53	0.81
2-羟基-2-环戊烯-1-酮	5.43	0.18	0.01	0.05	0.01	0.20	0.27	0.03	0.02	0.03	0.04	0.02	0.06	0.01
1-(1H-吡咯-2-基)-乙酮	7.96	0.30	0.15	0.23	0.29	0.39	0.52	0.97	0.60	1.21	2.83	1.24	2.11	1.64
1-乙基-2,5-吡咯烷二酮	9.35	0.21	0.23	0.25	0.25	0.23	0.28	0.23	0.29	0.18	0.31	0.28	0.19	0.16
β -大马酮	13.79	0.20	0.21	0.22	0.22	0.22	0.25	0.21	0.22	0.21	0.25	0.21	0.22	0.21
4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-基)-3-丁烯-2-酮	14.48	0.14	0.14	0.16	0.15	0.14	0.16	0.14	0.15	0.16	0.18	0.16	0.18	0.17
β -紫罗兰酮	15.45	1.09	1.17	1.12	1.12	1.16	1.13	1.07	1.05	1.11	1.21	1.07	1.01	0.82
2-甲基丁酸	4.17	0.51	0.51	0.55	0.49	0.60	0.64	0.55	0.45	0.45	0.37	0.39	0.38	0.31
己酸	6.42	0.61	0.67	0.70	0.71	0.70	0.97	0.78	0.73	0.88	1.17	0.71	0.75	0.51
2-己烯酸	7.08	0.15	0.25	0.22	0.20	0.23	0.16	0.28	0.18	0.21	0.38	0.14	0.25	0.24
庚酸	8.16	0.22	0.27	0.32	0.28	0.29	0.31	0.29	0.30	0.28	0.41	0.30	0.31	0.23
水杨酸甲酯	10.51	1.63	1.89	1.60	1.55	1.85	1.97	1.90	1.36	1.44	2.04	1.33	1.50	1.88
二氢猕猴桃内酯	16.37	0.63	0.59	0.62	0.69	0.59	0.68	0.64	0.67	0.54	0.78	0.67	0.53	0.30
苯甲酸苯甲酯	20.69	0.08	0.04	0.05	0.06	0.07	0.06	0.06	0.05	0.06	0.07	0.05	0.66	0.06
棕榈酸甲酯	23.00	1.47	1.50	1.88	1.76	1.24	1.53	2.02	1.71	2.38	2.20	2.08	2.22	2.84
棕榈酸乙酯	23.93	3.17	2.14	5.62	3.31	4.83	3.80	2.81	2.88	4.44	6.12	3.63	2.75	1.38
亚油酸甲酯	25.22	3.27	4.56	5.26	6.55	4.10	4.36	4.52	5.13	4.28	6.32	4.71	3.93	3.08
亚麻酸甲酯	25.31	3.27	4.75	5.54	5.54	5.92	4.47	5.16	6.02	4.56	7.72	5.30	4.52	3.57
亚油酸乙酯	26.03	3.06	3.57	7.41	6.41	6.91	5.33	4.61	4.89	5.43	5.55	5.50	4.15	3.09
亚麻酸乙酯	26.12	4.74	6.04	13.05	10.72	11.54	10.46	8.89	10.77	10.97	11.22	11.29	6.75	5.05

转下页

接上页

1-乙基-1H-吡咯	3.73	0.05	0.07	0.06	0.02	0.06	0.06	0.05	0.05	0.10	0.17	0.07	0.27	0.27
甲基吡嗪	3.84	0.13	0.08	0.14	0.11	0.14	0.13	0.16	0.16	0.19	0.24	0.17	0.49	0.96
2,5-二甲基吡嗪	5.21	0.23	0.11	0.16	0.13	0.20	0.19	0.09	0.06	0.07	0.08	0.11	0.42	0.65
乙基吡嗪	5.29	0.10	0.07	0.16	0.18	0.05	0.11	0.34	0.26	0.31	0.59	0.33	0.64	0.73
吡嗪	7.22	0.09	0.03	0.04	0.02	0.09	0.13	0.10	0.12	0.08	0.14	0.09	0.17	0.10
3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	8.31	0.05	0.02	0.08	0.06	0.03	0.04	0.06	0.11	0.08	0.06	0.11	0.15	0.57
吡啶	12.24	0.29	0.32	0.31	0.31	0.30	0.37	0.30	0.39	0.40	0.49	0.42	0.46	0.32
植酮	21.84	0.50	0.47	0.54	0.51	0.50	0.50	0.57	0.47	0.58	0.52	0.55	0.57	0.44
吡啶	2.89	0.21	0.27	0.22	0.23	0.21	0.27	0.30	0.26	0.25	0.38	0.25	0.31	0.30
柠檬烯	7.41	0.06	0.05	0.06	0.04	0.08	0.09	0.10	0.07	0.11	0.17	0.09	0.23	0.33
2-茨烯	11.13	0.46	0.46	0.49	0.49	0.40	0.45	0.38	0.49	0.47	0.46	0.46	0.44	0.32
苯酚	6.45	0.21	0.22	0.22	0.24	0.21	0.18	0.20	0.22	0.15	0.22	0.19	0.16	0.14
4-乙基-2-甲氧基苯酚	11.97	0.18	0.33	0.41	0.40	0.33	0.34	0.30	0.38	0.37	0.40	0.19	0.33	0.25

表 2 不同烘焙条件下主要呈香挥发性成分含量变化

Table 2 The mainly volatile components varied under different baking conditions

化合物名称	化合物含量/($\mu\text{g/g}$)													
	未处理	70 °C 1 h	70 °C 2.5 h	70 °C 4 h	90 °C 1 h	90 °C 2.5 h	90 °C 4 h	110 °C 1 h	110 °C 2.5 h	110 °C 4 h	130 °C 1 h	130 °C 2.5 h	130 °C 4 h	
苯甲醇	2.15	2.59	2.21	2.36	2.58	2.92	2.77	2.11	1.87	2.95	1.97	1.61	1.40	
苯乙醇	3.71	4.35	3.79	3.87	4.25	4.57	4.28	3.65	3.21	4.69	3.49	3.03	2.81	
香叶醇	1.97	2.19	2.03	2.05	1.99	2.01	1.73	1.78	1.70	1.85	1.76	1.39	1.01	
芳樟醇	5.86	6.12	5.85	5.86	5.61	6.08	5.67	5.54	5.1	5.12	4.81	3.42	2.76	
2,2,6-三甲基-6-乙基四氢-2H-咪喃-3-醇 A	2.67	2.64	3.02	3.21	2.36	2.5	2.49	2.91	2.82	2.66	2.86	2.56	1.81	
2,2,6-三甲基-6-乙基四氢-2H-咪喃-3-醇 B	9.16	9.12	9.85	10.49	8.11	8.41	8.38	9.43	9.17	8.86	9.09	8.24	6.12	
甲基吡嗪	0.13	0.08	0.14	0.11	0.14	0.13	0.16	0.16	0.19	0.24	0.17	0.49	0.96	
乙基吡嗪	0.10	0.07	0.16	0.18	0.05	0.11	0.34	0.26	0.31	0.59	0.33	0.64	0.73	
吡啶	0.29	0.32	0.31	0.31	0.30	0.37	0.30	0.39	0.40	0.49	0.42	0.46	0.32	
吡啶	0.21	0.27	0.22	0.23	0.21	0.27	0.30	0.26	0.25	0.38	0.25	0.31	0.30	
α -松油醇	1.05	0.98	0.94	1.04	0.78	1.01	0.79	1.12	1.13	1.06	1.08	1.11	0.77	
β -紫罗兰酮	1.09	1.17	1.12	1.12	1.16	1.13	1.07	1.05	1.11	1.21	1.07	1.01	0.82	
橙花叔醇	2.65	3.23	4.41	3.89	3.84	3.65	2.66	2.95	2.44	3.29	4.36	2.15	1.05	
水杨酸甲酯	1.63	1.89	1.60	1.55	1.85	1.97	1.90	1.36	1.44	2.04	1.33	1.50	1.88	

本研究中苯甲醇、苯乙醇、香叶醇、芳樟醇及其氧化物、 β -紫罗兰酮、橙花叔醇和水杨酸甲酯、 α -松油醇、吡嗪、吡啶和吡咯等构成滇红茶主要呈香成分,在挥发性物质主要构成与吕世懂^[15]和任洪涛等^[16]研究结果相似。庞月兰等^[23]用电焙笼在 100~110 °C 烘 6 h 或 120 °C 烘 3 h,有利于提升乌龙成茶香气品种,这可能由于烘焙方式及茶叶品种引起的差异。总体看,提高烘焙温度,延长烘焙时间,成品茶叶香气成分种类并没有随之增多,主要呈香物质含量呈现出不同的变化趋势,70 °C、90 °C 烘焙 1~4 h 时茶叶香气成分含量最多,该条件为提升成品滇红茶香气最佳烘焙条件。

2.3 不同烘焙条件成品滇红茶的功能成分分析

表 3 不同烘焙处理条件下茶多酚 (TP) 含量变化 (%)

Table 3 The tea polyphenol contents at different baking conditions

变量	1 h	2.5 h	4 h
未处理	13.79±0.13	13.79±0.13	13.79±0.13
70 °C	13.24±0.13 [#]	11.71±0.23 ^{*#}	12.36±0.23 ^{*#}
90 °C	13.29±0.21 [#]	13.28±0.10 ^{*#}	12.31±0.19 ^{*#}
110 °C	12.29±0.23 [#]	12.18±0.72 ^{*#}	13.16±0.14 ^{*#}
130 °C	11.53±0.26 [#]	10.99±0.29 ^{*#}	10.87±0.25 ^{*#}

注: *表示相同烘焙温度下,烘焙时间为 2.5 h、4 h 与烘焙 1 h 相比, $p < 0.01$; #表示相同烘焙时间下,烘焙温度为 70 °C、90 °C、110 °C、130 °C 与未烘焙相比, $p < 0.01$ 。下同。

成品滇红茶经过烘焙处理,用高效液相色谱仪测定茶多酚 (TP)、没食子酸 (GA)、表没食子儿茶素 (EGC)、儿茶素 (C)、表儿茶素没食子酸酯 (ECG)、表儿茶素 (EC)、表没食子酸儿茶素没食子酸酯 (EGCG) 含量。从表 3 看出,茶多酚含量经过烘焙处理后含量明显降低 ($p < 0.01$),且在相同处理时间下温度越高,茶多酚降低越明显;王杰等^[24]研究发现红陈茶经过 100、110、120 °C 烘焙 15 min 后茶多酚显著减低,与本研究结论类似;从整体实验情况看,在 110 °C 处理下,茶多酚含量是增加趋势,与其他温度试验结果相反,可能由实验误差造成;也可能是茶多酚的分子结构存在氢键^[25],温度在 110 °C、4 h 烘焙条件下,使分子氢键缔合作用加强,使茶多酚稳定性增加,导致含量呈现增加趋势。茶多酚在高温烘焙条件下,酶促氧化作用停止,非酶促氧化作用增加,茶多酚以游离状态与蛋白质、氨基酸等其他物质形成络合物以高分子物质沉淀下来,使茶多酚的含量减少

^[26]。另一方面:茶多酚的稳定性主要是由其结构所决定的。茶多酚基本为 2-连(或邻)基酚基苯并吡喃衍生物结构,其酚羟基除间位外,多为邻位和连位,而不是单羟基酚。邻、连位羟基的存在,易使分子内产生氢键,连同苯环上的碳原子形成稳定的五元环结构,在一定程度上对易被氧化的-OH 起保护作用^[27]。

从表 4 看出,在烘焙温度相同时,没食子酸含量随烘焙时间延长含量增多 ($p < 0.01$),在烘焙 1~2.5 h 时增加最明显。在烘焙时间一定时,含量随温度升高而增多,130 °C 烘焙 2.5 h 含量最多;从表 5 发现,儿茶素在经过 70 °C、90 °C、110 °C 烘焙处理后总体含量降低,温度达 130 °C 含量增多 ($p < 0.01$),烘焙 1~2.5 h 时含量随温度升高而增加;从表 6 发现,在温度相同并延长烘焙时间时,表没食子儿茶素含量变化没有差异 ($p > 0.05$)。在烘焙 1~2.5 h 时,烘焙 70 °C 和 90 °C 能增加表没食子儿茶素含量,且含量最高温度升高至 110 °C 其含量减少低于未处理样品含量;从表 7 发现,在 70 °C、90 °C 时延长烘焙时间时,表没食子儿茶素含量在 1~2.5 h 时含量增加,在 2.5 h 含量最多,时间继续延长含量降低 ($p < 0.01$)。在时间一定,烘焙 70 °C 和 90 °C 含量增加,温度升高至 110 °C 其含量减少低于未处理样品含量;从表 8 发现,70 °C、90 °C 烘焙 1 h 表儿茶素含量增多,温度继续升高时含量降低 ($p < 0.01$);从表 9 发现,在 1~2.5 h 烘焙时间下,温度在 70 °C、90 °C 时含量逐渐增多,温度继续升高时含量降低 ($p < 0.01$)。没食子酸 (GA) 和儿茶素类单体物质具有抗氧化、降血脂、降血糖和消炎等功能^[28],刘盼盼等^[29]研究发现青砖茶抗氧化性与表没食子酸儿茶素没食子酸酯含量呈正相关。本研究发现,滇红茶在 70 °C、90 °C 温度下烘焙 1~2.5 h 能增加没食子酸 (GA) 和儿茶素类单体物质含量,可推测滇红茶后烘焙处理能提高滇红茶的抗氧化功效,但需进行进一步验证。从总体上看茶多酚随烘焙时间和温度延长含量降低,在烘焙温度在 70-90 °C 之间烘焙 1~2.5 h 时没食子酸和儿茶素类单体物质生成量增多。

表 4 不同烘焙处理条件下没食子酸 (GA) 含量变化 (%)

Table 4 The gallic acid contents at different baking conditions

变量	1 h	2.5 h	4 h
未处理	0.17±0.00	0.17±0.00	0.17±0.00
70 °C	0.18±0.00 [#]	0.23±0.01 ^{*#}	0.22±0.00 ^{*#}
90 °C	0.24±0.01 [#]	0.26±0.01 ^{*#}	0.35±0.00 ^{*#}
110 °C	0.32±0.01 [#]	0.36±0.00 ^{*#}	0.38±0.00 ^{*#}
130 °C	0.41±0.00 [#]	0.51±0.01 ^{*#}	0.47±0.01 ^{*#}

表5 不同烘焙处理条件下儿茶素(C)含量变化(%)

Table 5 The catechin contents at different baking conditions

变量	1 h	2.5 h	4 h
未处理	3.61±0.00	3.61±0.00	3.61±0.00
70 °C	3.16±0.01 [#]	3.55±0.01 ^{*#}	3.29±0.00 ^{*#}
90 °C	3.40±0.03 [#]	3.39±0.00 ^{*#}	3.60±0.00 ^{*#}
110 °C	3.31±0.01 [#]	3.31±0.02 ^{*#}	3.23±0.01 ^{*#}
130 °C	3.56±0.00 [#]	3.86±0.02 ^{*#}	3.44±0.02 ^{*#}

表6 不同烘焙处理条件表没食子儿茶素(EGC)含量变化(%)

Table 6 The epigallocatechin contents at different baking

conditions			
变量	1 h	2.5 h	4 h
未处理	0.10±0.01	0.10±0.01	0.10±0.01
70 °C	0.10±0.00 [#]	0.11±0.00 [#]	0.10±0.00 [#]
90 °C	0.11±0.01 [#]	0.07±0.01 [#]	0.09±0.01 [#]
110 °C	0.07±0.00 [#]	0.07±0.01 [#]	0.08±0.02 [#]
130 °C	0.09±0.01 [#]	0.10±0.01 [#]	0.06±0.00 [#]

表7 不同烘焙处理条件下表儿茶素没食子酸酯(EGC)含量变化(%)

Table 7 The epigallocatechin gallate contents at different

baking conditions			
变量	1 h	2.5 h	4 h
未处理	0.32±0.01	0.32±0.01	0.32±0.01
70 °C	0.35±0.00 [#]	0.39±0.00 ^{*#}	0.34±0.00 [#]
90 °C	0.34±0.01 [#]	0.34±0.01 ^{*#}	0.35±0.00 [#]
110 °C	0.30±0.02 [#]	0.28±0.00 ^{*#}	0.28±0.01 [#]
130 °C	0.31±0.01 [#]	0.29±0.00 ^{*#}	0.26±0.01 [#]

表8 不同烘焙处理条件下表儿茶素(EC)含量变化(%)

Table 8 The epicatechin contents at different baking conditions

变量	1 h	2.5 h	4 h
未处理	0.39±0.01	0.39±0.01	0.39±0.01
70 °C	0.38±0.00 [#]	0.40±0.01 ^{*#}	0.36±0.00 ^{*#}
90 °C	0.39±0.01 [#]	0.38±0.01 ^{*#}	0.35±0.00 ^{*#}
110 °C	0.31±0.01 [#]	0.28±0.00 ^{*#}	0.31±0.06 ^{*#}
130 °C	0.38±0.01 [#]	0.28±0.01 ^{*#}	0.23±0.00 ^{*#}

表9 不同烘焙处理条件下表没食子酸儿茶素没食子酸酯(EGCG)含量变化(%)

Table 9 The epigallocatechin gallate contents at different

baking conditions			
变量	1 h	2.5 h	4 h
未处理	1.58±0.04	1.58±0.04	1.58±0.04
70 °C	1.59±0.02 [#]	1.75±0.02 [#]	1.61±0.01 ^{*#}
90 °C	1.54±0.03 [#]	1.59±0.02 [#]	1.59±0.01 ^{*#}
110 °C	1.43±0.01 [#]	1.35±0.01 [#]	1.28±0.01 ^{*#}
130 °C	1.46±0.01 [#]	1.37±0.01 [#]	1.16±0.01 ^{*#}

3 结论

3.1 烘焙提升成品滇红茶的香味

滇红茶经过烘焙处理,检测出茶叶香气成分共65种,包含醛类11种、醇类20种、酮类9种、酯类9种、酸类4种、烯类2种、酚类2种和杂环类化合物8种。具有玫瑰香、花香、栗香、木香、甜香、奶香的苯甲醇、苯乙醇、香叶醇、芳樟醇及其氧化物、 β -紫罗兰酮、橙花叔醇和水杨酸甲酯等挥发性成分在70 °C、90 °C温度下,烘焙1~4 h是含量较高,呈现的香味愈浓烈。呈现松香、烤香和焦香味的 α -松油醇、吡嗪、吡啶和吡咯等挥发性成分,需在90~110 °C烘焙温度下含量明显增加,温度达130 °C吡嗪物质含量较多。成品滇红茶在加热烘焙时,能够促进芳香族衍生物苯甲醇、苯乙醇和水杨酸甲酯以及萜烯类衍生物香叶醇、橙花叔醇和芳樟醇及其氧化物含量的生成,提高茶叶香气。同时加热茶叶发生美拉德反应生成杂环类化合物吡嗪、吡咯、吡啶和呋喃等物质从而促进芳香物质的改变和形成,进一步提升茶叶香气^[30]。本研究滇红茶在70 °C、90 °C温度下烘焙1~4 h增加其主要呈香挥发性物质芳樟醇及其氧化物、杂环氮氧化合物含量,提升滇红茶香气。

3.2 烘焙改善成品滇红茶的生化功能

没食子酸(GA)和儿茶素类单体物质是由茶多酚发生酶促和非酶促氧化反应生成,成品滇红茶在烘焙处理过程中主要发生非酶促氧化反应,因此在烘焙过程中茶多酚(TP)发生非酶促反应,转化成茶色素、没食子酸和儿茶素单体等物质,其含量减少,没食子酸(GA)随温度和烘焙时间延长含量增多。表没食子儿茶素(EGC)、儿茶素(C)、表儿茶素没食子酸酯(EGC)、表儿茶素(EC)、表没食子酸儿茶素没食子酸酯(EGCG)具有抗氧化、抗肿瘤功能^[31]。在70 °C、90 °C烘焙1~2.5 h含量逐渐增多,当温度继续升高时含量降低。儿茶素单体在高温下会发生异构化和降解^[32],在本研究发现,烘焙温度高于110 °C时儿茶素单体物质含量减少。多酚类、儿茶素类影响茶叶苦涩味,茶叶中多酚类和儿茶素类物质越多苦涩味越重,本研究发现,温度在90 °C烘焙4 h时儿茶素物质含量增多,说明在此温度下茶叶品质可能受到影响。滇红茶在70 °C、90 °C温度下烘焙1~2.5 h能增加没食子酸(GA)和儿茶素类单体物质含量,可推测滇红茶后烘焙处理能提高滇红茶的抗氧化功效。本研究通过不同的温度和时间对成品滇红茶进行后烘焙处理,根

据各阶段茶叶香气和功能成分的变化,筛选出 70 °C、90 °C 温度下烘焙成品滇红茶 1~2.5 h 既能提升香气又能较好维持其抗氧化功能,可在实际生产操作中提供一定的指导意义。

参考文献

- [1] 陆松侯,施兆鹏.茶叶审评与检验[M].北京:中国农业出版社,2005
LU Song-hou, SHI Zhao-peng. Evaluation and Inspection [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2005
- [2] Zhang X B, Du X F. Effects of exogenous enzymatic treatment during processing on the sensory quality of summer Tieguanyin oolong tea from the Chinese Anxi County [J]. Food Technol Biotechnol, 2015, 53(2): 180-189
- [3] Ono E, Handa T, Koeduka T, et al. CYP74B24 is the 13-hydroperoxide lyase involved in biosynthesis of green leaf volatiles in tea (*Camellia sinensis*) [J]. Plant Physiol Biochem, 2016, 98: 112-118
- [4] Yang X, Ma Y, Li L. β -Glucosidase from tartary buckwheat immobilization on bifunctionalized nano-magnetic iron oxide and its application in tea soup for aroma and flavonoid aglycone enhancement [J]. Food Funct, 2019, 10(9): 5461-5472
- [5] Cheng L, Yang Q, Chen Z, et al. Distinct changes of metabolic profile and sensory quality during Qingzhu tea processing revealed by LC-MS-based metabolomics [J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(17): 4955-4965
- [6] Çelik A, Dinçer A, Aydemir T. Characterization of β -glucosidase immobilized on chitosan-multiwalled carbon nanotubes (MWCNTS) and their application on tea extracts for aroma enhancement [J]. Int J Biol Macromol, 2016, 89: 406-414
- [7] Shi J, Ma C, Qi D, et al. Transcriptional responses and flavor volatiles biosynthesis in methyl jasmonate-treated tea leaves [J]. BMC Plant Biol, 2015, 15: 233
- [8] Ochiai N, Sasamoto K, Tsunokawa J, et al. Extension of a dynamic headspace multi-volatile method to milliliter injection volumes with full sample evaporation: Application to green tea [J]. J Chromatogr A, 2015, 1421: 103-113
- [9] Wang S, Zhao F, Wu W, et al. Comparison of volatiles in different jasmine tea grade samples using electronic nose and automatic thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry followed by multivariate statistical analysis [J]. Molecules, 2020, 25(2): 380
- [10] Zheng X Q, Li Q S, Xiang L P, et al. Recent advances in volatiles of teas [J]. Molecules, 2016, 21(3): 338
- [11] Han Z X, Rana M M, Liu G F, et al. Data on green tea flavor determinantes as affected by cultivars and manufacturing processes [J]. Data Brief, 2017, 10: 492-498
- [12] 游小妹,陈常颂.乌龙茶烘焙技术之我见[J].茶叶科学技术, 2007,4:54-55
YOU Xiao-mei, CHEN Chang-song. My opinion on the baking technology of oolong tea [J]. Tea Science and Technology, 2007, 4: 54-55
- [13] 王近近,袁海波,滑金杰,等.足火工艺参数对工夫红茶热风干燥特性和品质的影响[J].农业工程学报,2020,36(10):287-296
WANG Jin-jin, YUAN Hai-bo, HUA Jin-jie, et al. Effects of second-drying process parameters on the hot-air drying characteristics and quality of congou black tea [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(10): 287-296
- [14] 周卫龙,许凌,徐建峰,等.GB/T 8313-2008 第二法 茶叶中茶多酚测定的研究比较[J].中国茶叶加工,2009,1:40-41
ZHOU Wei-long, XU Ling, XU Jian-feng, et al. GB/T 8313-2008 The second method. Study and comparison of the determination of tea polyphenols [J]. China Tea Processing, 2009, 1: 40-41
- [15] 吕世懂,吴远双,王晨,等.云南晒青红茶与烘青红茶香气成分对比[J].食品科学,2016,37(14):62-67
LYU Shi-dong, WU Yuan-shuang, WANG Chen, et al. Comparative study of volatile components in sun-dried and baked black teas in Yunnan province [J]. Food Science, 2016, 37(14): 62-67
- [16] 任洪涛,周斌,方林江,等.云南红茶加工过程中香气成分的变化[J].食品与发酵工业,2013,39(3):187-191
REN Hong-tao, ZHOU Bin, FANG Lin-jiang, et al. Changes of aroma components during the processing of Yunnan black tea [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(3): 187-191
- [17] 孙庆娜.山东优质工夫红茶加工工艺及品质特点研究[D].泰安:山东农业大学,2012
SUN Qing-na. Study on processing technology and quality characteristics of Shandong high quality gongfu black tea [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012
- [18] 张成.烘焙提香处理对红茶品质的影响及预测模型的建立[D].重庆:西南大学,2015
ZHANG Cheng. Effect of baking and aroma extraction on black tea quality and establishment of prediction model [D]. Chongqing: Southwest University, 2015

- [19] 张伟,师大亮.焙火工序对传统铁观音茶品质的影响[J].浙江农业科学,2012,9:1288-1290
ZHANG Wei, SHI Da-liang. Effect of roasting process on the quality of traditional Tieguanyin tea [J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2012, 9: 1288-1290
- [20] 郑月梅,郑德勇,叶乃兴.烘焙工艺对铁观音茶叶内含物变化规律的影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2013,42(6):584-588
ZHENG Yue-mei, ZHENG De-yong, YE Nai-xing. Effect of baking process on the change of contents in Tieguanyin tea [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2013, 42(6): 584-588
- [21] 沈强,牟小秋,郑文佳,等.提香处理对贵州珠形茶品质及香气成分的影响[J].贵州农业科学,2012,40(3):171-175
SHEN Qiang, MOU Xiao-qiu, ZHENG Wen-jia, et al. Effect of titian treatment on quality and aroma components of Guizhou bead tea [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2012, 40(3): 171-175
- [22] 倪德江,陈玉琼,周继荣,等.名优茶增香工艺研究[J].华中农业大学学报,2001,3:289-293
NI De-jiang, CHEN Yu-qiong, ZHOU Ji-rong, et al. Study on aroma-increasing technology of famous and high-quality tea [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2001, 3: 289-293
- [23] 庞月兰,杨春,黎敏,等.不同烘焙处理对颗粒乌龙陈茶品质的影响[J].安徽农业科学,2017,45(5):79-80,95
PANG Yue-lan, YANG Chun, LI Min, et al. Effects of different baking treatments on the quality of granulated oolong chen tea [J]. Anhui Agricultural Science, 2017, 45(5): 79-80, 95
- [24] 王杰,杨娟,钟应富,等.烘焙对红陈茶感官品质及主要生化成分的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(9):240-244
WANG Jie, YANG Juan, ZHONG Ying-fu, et al. Effects of baking on sensory quality and main biochemical components of black aged tea [J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(9): 240-244
- [25] 徐玮,王利华,聂宁.不同温度和时间处理对茶多酚损失率的影响[J].中国农学通报,2009,25(2):6-8
XU Wei, WANG Li-hua, NIE Ning. Effect of different temperature and time treatment on the loss rate of tea polyphenols [J]. China Agricultural Bulletin, 2009, 25(2): 6-8
- [26] 林燕萍,张见明,黄莹蓉,等.温控炭焙对武夷岩茶生化品质的影响[J].宜春学院学报,2014,36(12):107-110
LIN Yan-ping, ZHANG Jian-ming, HUANG Ying-rong, et al. Effect of temperature-controlled carbon roasting on biochemical quality of Wuyi rock tea [J]. Journal of Yichun University, 2014, 36(12): 107-110
- [27] 王梅,李培凡,富光华.茶多酚热稳定性的研究[J].中国茶叶,1997,3:14-15
WANG Mei, LI Pei-fan, FU Guang-hua. Study on the thermal stability of tea polyphenols [J]. Chinese Tea, 1997, 3: 14-15
- [28] 程启坤.茶叶内含成分与人体健康[J].世界农业,2015,5:199-202
CHENG Qi-kun. The content of tea and human health [J]. World Agriculture, 2015, 5: 199-202
- [29] 刘盼盼,郑鹏程,龚自明,等.不同品种青砖茶化学成分与抗氧化活性的比较分析[J].现代食品科技,2018,34(9):77-87
LIU Pan-pan, ZHENG Peng-cheng, GONG Zi-ming, et al. Comparative analysis of chemical constituents and antioxidant activities of different cultivars of qingzhuana tea [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(9): 77-87
- [30] 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 Meng-qi, ZHU Yin, ZHANG Yue, et al. A review of recent research on key aroma compounds in tea [J]. Food Science, 2019, 40(23): 341-349
- [31] Cai Z Y, Li X M, Liang J P, et al. Bioavailability of tea catechins and its improvement [J]. Molecules, 2018, 23(9): 2346
- [32] 谢艳兰,王绍梅,周文吉,等.茶叶儿茶素的稳定性研究进展[J].福建茶叶,2016,38(3):1-4
XIE Yan-lan, WANG Shao-mei, ZHOU Wen-ji, et al. Research progress on the stability of tea catechins [J]. Tea in Fujian, 2016, 38(3): 1-4