

不同干燥方式对黑茶品质的影响

朱珺语^{1,2}, 杨 希¹, 陈玉琼¹, 余 志¹, 倪德江^{1*}, 陈省忠³, 陈学礼⁴

(1. 华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070; 2. 湖北生态工程职业技术学院, 武汉 430200; 3. 腾冲市高黎贡山生态茶业有限责任公司, 腾冲 679100; 4. 鑫鼎生物科技有限公司, 宜昌 443000)

摘 要: **目的** 探讨黑茶加工中采用现代机械干燥替代传统干燥的可行性。**方法** 以云南晒青毛茶渥堆叶为原料, 采用热风烘干、远红外干燥、炒干、微波干燥、光波干燥、微光波混合干燥、晒干、晾干 8 种不同干燥工艺制成黑茶, 分析其感官品质及主要品质成分变化。**结果** 不同干燥方式加工的黑茶干茶外形、汤色和叶底感官品质基本一致, 香气和滋味差别较大。其中热风烘干的黑茶陈香突出, 综合品质最高, 内含成分游离氨基酸含量较高; 远红外干燥的黑茶滋味略带苦味, 陈香较弱, 其咖啡碱、儿茶素总量较低, 滋味的浓度和协调度均不足; 炒干的黑茶条索更紧结, 香气带陈香、较清新, 滋味醇和, 其可溶性糖含量相对较高; 微波干燥的黑茶滋味甜醇, 稍带闷气, 其可溶性糖、茶红素含量较高; 光波干燥的黑茶滋味甜醇, 有特殊香, 其游离氨基酸含量相对较高; 微光波混合干燥的黑茶有甜醇味, 香气略陈, 其游离氨基酸、可溶性糖和咖啡碱的含量均介于微波与光波干燥黑茶之间, 茶多酚的含量高于其他干燥方式黑茶; 晒干的黑茶滋味涩, 香气为日晒气; 晾干的黑茶滋味有涩味, 口感低淡, 两种干燥方式黑茶游离氨基酸、可溶性糖含量相对较低, 茶褐素含量相对较高。**结论** 结合感官品质和理化分析, 黑茶加工中的干燥环节, 热风烘干、炒干、微波干燥、光波干燥、微光波混合干燥等现代设备干燥方式可以取代传统的晒干和晾干方式。

关键词: 黑茶; 干燥方式; 热风烘干; 远红外干燥; 炒干; 微波干燥; 光波干燥; 品质

Effects of different drying methods on quality of dark tea

ZHU Jun-Yu^{1,2}, YANG Xi¹, CHEN Yu-Qiong¹, YU Zhi¹, NI De-Jiang^{1*},
CHEN Sheng-Zhong³, CHEN Xue-Li⁴

(1. College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Hubei Ecology Polytechnic College, Wuhan 430200, China; 3. Tengchong Gaoligongshan Ecological Tea Industry Co., Ltd., Tengchong 679100, China; 4. Xin Ding Biological Technology Co., Ltd., Yichang 443000, China)

ABSTRACT: Objective To explore the feasibility of using modern mechanical drying instead of traditional drying in dark tea processing. **Methods** Dark tea was made from the leaves of Yunnan sun-dried green tea after pile-fermentation by 8 kinds of different of drying methods, including hot air drying, far-infrared drying, stir-frying, microwave drying, light wave drying, microwave light wave mixed drying, sun drying and air drying, the sensory quality and main quality components changes were analyzed. **Results** The appearance of dry tea and tea infusions and brewed leaves of dried dark tea processed by different drying methods were basically the same, but the aroma and

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1000401)、云南省科技人才和平台计划项目(202005AF150075)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2021YFD1000401), and the Science and Technology Talents and Platform Program of Yunnan Province (202005AF150075)

*通信作者: 倪德江, 博士, 教授, 主要研究方向为茶叶加工与功能。E-mail: nidj@mail.hzau.edu.cn

*Corresponding author: NI De-Jiang, Ph.D, Professor, College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China. E-mail: nidj@mail.hzau.edu.cn

taste were different greatly. Among them, the hot air drying dark tea had outstanding aging aroma, the highest comprehensive quality and higher free amino acid content; far-infrared dry dark tea had a slightly bitter taste and weak aging aroma, the total content of caffeine and catechin was low; and the taste concentration and coordination degree were insufficient; stir-dried dark tea had a tighter string, a fresher aroma, a mellow taste and a relatively high soluble sugar content; microwave dried dark tea tasted sweet and mellow, slightly stuffy, with higher soluble sugar and theabrownin content; light wave dried dark tea had sweet and mellow flavor and special aroma, and its free amino acid content was relatively high; microwave-light wave mixed drying dark tea had sweet and mellow taste and slightly old aroma, the content of free amino acids, soluble sugar and caffeine were between microwave and light wave drying dark tea, and the content of tea polyphenols was higher than the dark tea with other drying methods; the sun-dried dark tea tasted astringent and had a sun-dried aroma, while the air-dried dark tea tasted astringent and low in taste, the content of free amino acids and soluble sugar in dark tea under the 2 kinds of drying methods were relatively low, and the content of theabrownin was relatively high. **Conclusion** Combining sensory quality and physicochemical analysis, modern mechanical drying methods such as hot air drying, stir-frying, microwave drying, light wave drying and microwave light wave mixed drying can replace traditional sun drying and air drying methods.

KEY WORDS: dark tea; drying method; hot air drying; far-infrared drying; stir-frying; microwave drying; light wave drying; quality

0 引言

黑茶属于后发酵茶,是以茶树嫩梢为原料,经杀青、揉捻、渥堆、干燥等工艺制成的产品,滋味醇厚、汤色红褐、陈香显著、叶底红褐^[1],具有抗氧化、抗突变、抗菌、缓解或预防高胆固醇血症、高血糖、肥胖、糖尿病、骨质疏松和阿尔茨海默病等保健功能^[2-3]。黑茶传统干燥工艺多采取晒干或晾干等方式,不同产地的黑茶干燥工艺有所差异,晒青毛茶渥堆后,采用室内发酵堆开沟进行通风干燥制得普洱散茶(熟茶)^[4]。湖北老青茶一般在专用的晒场晒干,如遇长期阴雨也采用烘干机“低温多次慢烘”^[5]。四川黑茶的代表南路边茶和西路边茶也常采用晒干工艺^[4]。但是晒干、晾干等传统干燥方式受天气影响较大,且卫生状况不易控制。湖南黑茶传统工艺采用特制的七星灶,松柴明火烘焙^[6],后发展了蒸汽锅炉干燥方式。研究表明,“七星灶”干燥容易产生多种有害物质,严重影响食品安全,而采用电加热烘干机干燥工艺易于控制,茶叶生化品质和感官品质均较好^[7]。蔡宗寿等^[8]研究以蒸汽为热源的一种普洱茶机械干燥设备发现,采用不同温度分阶段干燥可以保证普洱茶特有的品质及后续贮藏过程中进一步“熟化”的效果。为解决传统蒸汽烘房自动化程度低,受环境气候影响等问题,湖南研制了黑茶热泵发花干燥装备,发花干燥时间从传统约 25 d 缩短至 19 d,提升加工效率 20% 以上,并能实现发花干燥过程多工艺分段自动控制,全年全天候生产,无污染物排放^[9]。苏敏等^[10]研究了传统干燥方式和热风烘干方式对六堡茶品质的影响,表明传统干燥茶样具有“槟榔香”香韵,滋味浓醇回甘;热风烘干样香气纯正陈香显露,滋味醇厚,相比于传统

干燥方式,热风烘干样中茶多酚、茶红素含量较高,游离氨基酸、茶褐素和咖啡碱含量较低。近年来,微波干燥、远红外干燥随着科技的快速发展相继应用于茶叶干燥工序中。微波干燥生产出的普洱茶在外观、品味色泽上能保持其原有风格,对普洱茶中茶多酚的含量影响很小,且具有高效可行、清洁、节约能源的优势,作为新型干燥技术而被倡导推广^[11]。

前人的研究采用的黑茶原料不同,经不同干燥方式制得的黑茶品质各异,但目前不同干燥方式对黑茶品质的影响差异尚不清楚。基于近年来出现的干燥新技术,本研究以同一批晒青毛茶渥堆叶为原料,对比分析热风烘干、炒干、远红外干燥、微波干燥、光波干燥、微波光波混合干燥、晾干、晒干 8 种不同干燥方式对黑茶品质的影响,探讨采用现代机械干燥工艺替代传统干燥工艺的可行性,进而减少天气等环境因素对茶叶品质的影响,以期为提高黑茶干燥效率,促进产业发展提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

晒青毛茶为云南省腾冲高黎贡山茶叶有限公司生产的云南大叶种一芽二三叶晒青毛茶。

甲醇(色谱纯,美国 Thermo Fisher Scientific 公司);福林酚(分析纯)、儿茶素标准品(纯度 $\geq 98\%$)(美国 Sigma 公司);碳酸氢钠(分析纯,天津市瑞金特化学品有限公司);茛三酮、蒽酮、磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、氯化亚锡、酒石酸钾钠、福林酚、乙醇、甲醇、正丁醇、乙酸乙酯、草酸、无水硫酸钠[分析纯,中国医药(集团)上海化学试剂公司]。

1.2 仪器与设备

RXZ 型-328A 气候箱(宁波江南仪器厂); 6CHP 热风式整形平台烘焙机、6CCP-60 炒干机(浙江绿峰机械有限公司); 101-3Y 型远红外鼓风恒温干燥箱(余姚市上通温控仪表厂); P70F23P-G5-SO 型微波炉(广东格兰仕集团有限公司); AUY220 型电子分析天平(精度 0.0001 g, 日本 Shimadzu 公司); 722N 型可见光分光光度计(上海菁华科技仪器有限公司); 1260Infinity 型高效液相色谱仪、DB-5MS 毛细柱(30 m×0.25 mm, 0.22 μm)(美国 Agilent 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

取 100 kg 晒青毛茶(含水量 9.5%), 以喷洒方式加入一定量的水, 使其成为含水量 35% 的湿坯。茶叶经过充分吸水回软后放入带孔的发酵框, 置于气候箱中渥堆 32 d(渥堆温度 45℃, 湿度 90%, 每 3 d 翻堆一次)。渥堆结束后, 将渥堆叶充分混匀, 依据不同干燥设备型号取适量渥堆叶, 采用以下 8 种方式进行干燥(足火茶叶含水量控制在 9%~10%)^[12], 每组实验设置 3 次重复。

热风烘干: 在 6CHP 热风式整形平台烘焙机上进行干燥, 第一次烘温度设置为 110℃, 摊叶厚度约 0.5 cm, 时间 10 min, 下机摊凉 1 h; 第二次设置温度 100℃, 时间约 8 min, 烘至足干。

炒干: 在炒干机上进行干燥, 第一次设置 110℃炒 30 min, 下机摊凉 1 h, 第二次设置 100℃炒制 8 min 左右至足干。

远红外干燥: 在远红外鼓风恒温干燥箱内进行, 摊叶厚度约 1 cm, 第一次设置 105℃干燥 10 min, 摊凉 1 h, 第二次设置 95℃干燥 10 min, 至足干。

微波干燥: 在微波炉中进行干燥, 摊叶厚度约 3 cm, 用中高火, 初烘: 3 min-翻叶-2 min, 摊凉 1 h, 复烘: 3 min-翻叶-2 min-翻叶-2 min, 至足干。

光波干燥: 在微波炉中进行干燥, 摊叶厚度约 3 cm, 初烘: 光波 3 min-翻叶-光波 3 min-翻叶-光波 3 min, 摊凉 1 h, 复烘: 光波 5 min-翻叶-光波 3 min-翻叶-光波 3 min, 至足干。

微波光波混合干燥: 在微波炉中进行干燥, 摊叶厚度约 3 cm, 初烘: 中高火微波 3 min-翻叶-光波 3 min, 摊凉 1 h, 复烘: 中高火微波 2 min-翻叶-中高火微波 1 min-翻叶-光波 3 min, 至足干。

晾干: 在直径 1 m 的竹箴上进行干燥, 摊叶厚度约 2 cm, 置于阴凉通风处, 温度 25~30℃, 晾 72 h 至足干。

晒干: 在直径 1 m 的竹箴上进行干燥, 摊叶厚度约 1 cm, 置于太阳下, 室外温度 35~40℃, 晒 4 h, 回潮 1 h, 晒 2 h, 至足干。

1.3.2 分析方法

感官品质审评按照 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》进行; 茶叶水分测定采用 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中(103±2)℃烘干法进

行; 茶叶水浸出物含量测定按照 GB/T 8305—2013《茶水浸出物测定》进行; 游离氨基酸含量测定采用 GB/T 8314—2013《茶 游离氨基酸总量测定》中茚三酮比色法; 茶多酚和儿茶素含量测定按照 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》中相应方法进行; 可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[13]; 茶红素、茶黄素和茶褐素含量的测定采用系统检测法^[14]; 高效液相色谱法测定咖啡碱含量及儿茶素组分^[15]。

1.3.3 数据分析

数据用 3 次重复的平均值±标准偏差表示, SPSS 25.0 软件进行统计分析, 采用最小显著差别(least significant difference, LSD)多重比较, 以 $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方式对黑茶的感官品质影响

不同干燥方式黑茶感官审评结果见表 1, 不同干燥方式所制黑茶的干茶外形、汤色、叶底品质基本一致, 干茶条索尚紧结, 色泽棕褐调和, 汤色红浓略暗, 叶底红褐。其中炒干黑茶条索更紧结, 光泽度好; 热风烘干的黑茶润度好; 远红外干燥的黑茶汤色相对更暗; 微波光波混合干燥黑茶的叶底亮度好。

黑茶的独特香气源于其各个加工环节, 在渥堆、干燥以及后期储存过程中, 其香气成分都在不断发生变化^[16], 其中干燥是影响茶叶香气和滋味的重要环节^[17]。由表 1 可知, 干燥方式对黑茶香气和滋味有较大影响。热风烘干、远红外干燥和炒干的茶香气具有陈香, 其中热风烘干茶陈香较为突出; 晾干茶香气低淡。微波干燥、光波干燥和微波光波混合干燥的黑茶均有甜醇风味; 晒干的黑茶滋味涩、不醇和, 香气为日晒气, 品质较差, 与宛晓春等^[18]研究结果相符。晾干采用室内自然干燥的方式, 由于室内温度低, 干燥时间长, 使成品黑茶香低、味涩, 且占地面积较大, 不利于大生产。热风烘干过程中热量向内传递, 传递方向与茶叶中水分扩散传递的方向相反, 更加利于茶叶中热风与水蒸气的交换, 及时散发水蒸气和渥堆的闷浊气味, 发展茶香, 所以热风烘干的黑茶陈香突出、清新, 滋味醇和, 整体评分最高。光波干燥与传统日光干燥原理类似, 但光波干燥光热强度高, 茶叶干燥也较快, 黑茶品质更优。本研究中光波干燥的茶有特殊的香气, 滋味甜醇, 综合品质较高。光波干燥产生特殊香气可能与茶叶内含物质吸收能量产生化学反应有关, 此现象在绿茶光波杀青^[18]、工夫红茶干燥过程中均有体现^[19]。微波干燥水分由内向外快速散发, 茶叶失水迅速, 茶叶干燥及时, 反而不利于茶叶香气的转化发展, 因此, 成品香气较沉闷。炒干过程, 茶叶吸收热能快速失水的同时, 利用茶叶自身重力和与锅的摩擦力, 使外形条索更紧结, 但炒干的温度不宜过高, 时间不宜过长,

否则易产生苦涩味, 并影响陈香品质^[20]。已有文献报道, 甲氧基苯类物质是黑茶陈香的特征香气物质^[21], 可能为黑茶渥堆、干燥、储藏等过程中儿茶素发生的甲基化反应有关^[22], 本研究理化分析结果也显示了热风、远红外和炒干处理儿茶素总量相对于其他处理降低, 但是否与陈香的形成有关还值得进一步研究。

本研究结果表明, 渥堆后热风烘干、炒干、光波干燥的黑茶品质更好, 陈香相对较高, 滋味更甜醇。晒干和晾干的茶叶香气低淡, 带涩味, 综合品质相对较差。

2.2 不同干燥方式对黑茶的品质成分的影响

茶叶中滋味浓度受水浸出物量影响, 苦涩味主要来源于多酚类、酚酸类、黄酮、咖啡碱等物质, 鲜爽味主要来自于游离氨基酸^[23]。由表 2 可知, 不同干燥方式黑茶水浸出物含量没有显著差异, 而各组之间的游离氨基酸、可溶性糖、茶多酚、咖啡碱含量存在显著差异。光波干燥、

微波干燥、热风烘干的黑茶游离氨基酸含量较高, 微波干燥、炒干相比其他干燥方式游离氨基酸含量较低。微波干燥、炒干、远红外干燥可溶性糖含量较高, 且 3 组之间无显著差异; 光波干燥、热风烘干、晒干、晾干可溶性糖含量较低, 且 4 组之间无显著差异。微波混合干燥、热风烘干黑茶茶多酚含量较高, 晾干、晒干、微波干燥、光波干燥、远红外干燥茶多酚含量无显著差异, 炒干的茶多酚含量最低。微波干燥由于时间短, 酚类物质的氧化降解较少, 含量相对较高^[24]。光波干燥虽然时间短, 但热辐射强度大, 酚类物质转化加剧, 导致其含量较热风烘干和微波混合干燥有所降低。晒干、光波干燥、晾干、微波混合干燥的咖啡碱含量较高, 处理间无显著差异, 远红外干燥的咖啡碱含量最低, 结合表 3 可知, 远红外干燥黑茶的儿茶素总量也较低, 故感官审评结果显示其所制黑茶滋味的浓度和协调度均不足。

表 1 不同干燥方式黑茶感官审评结果
Table 1 Sensory evaluation results of dark tea under different drying methods

干燥方式	外形(分数)	汤色(分数)	香气(分数)	滋味(分数)	叶底(分数)	总分
热风烘干	尚紧结, 棕褐调和, 润(92.5)	红浓(88.0)	陈香较高(92.0)	醇和(88.0)	红褐(91.0)	90.2
远红外干燥	尚紧结, 棕褐调和(92.0)	红浓(87.0)	带陈香(87.0)	略苦(85.0)	红褐(91.0)	87.8
炒干	紧结, 带光泽, 尚棕褐带青, 调和(92.0)	红浓(88.0)	带陈香、较清新(89.0)	醇和(87.5)	红褐(91.0)	89.2
微波干燥	尚紧结, 棕褐调和(92.0)	红浓(88.0)	较沉闷(82.0)	尚甜醇(91.0)	红褐(91.0)	88.5
光波干燥	尚紧结, 棕褐调和(92.0)	红浓(88.0)	特殊香(85.0)	尚甜醇(90.5)	红褐(91.0)	89.1
微波光波混合干燥	尚紧结, 棕褐调和(92.0)	红浓, 尚亮(88.5)	略沉闷(84.0)	尚甜醇(90.5)	红褐, 亮(91.5)	89.0
晒干	尚紧结, 棕褐调和 92.0)	红浓(88.0)	日晒气(82.0)	涩(78.0)	红褐(91.0)	84.6
晾干	尚紧结, 棕褐调和(92.0)	红浓(88.0)	低淡(83.0)	略涩(84.0)	红褐(91.0)	86.7

注: 总分依据各因子评分系数计算(外形 20%、汤色 15%、香气 25%、滋味 30%、叶底 10%)。

表 2 不同干燥方式对黑茶水浸出物及主要品质成分的影响(%)
Table 2 Effects of drying methods on water extract and main components of dark tea (%)

干燥方式	水浸出物	游离氨基酸	可溶性糖	茶多酚	咖啡碱
热风烘干	39.59±0.25 ^a	1.72±0.13 ^{ab}	3.53±0.06 ^c	6.80±1.02 ^a	4.64±0.18 ^{bcd}
远红外干燥	38.66±0.71 ^a	1.67±0.63 ^{bc}	3.73±0.30 ^{ab}	6.61±1.16 ^b	4.55±0.21 ^d
炒干	38.98±0.92 ^a	1.65±0.25 ^c	3.77±0.26 ^a	6.36±0.41 ^c	4.61±0.07 ^{cd}
微波干燥	39.61±0.12 ^a	1.63±0.30 ^c	3.78±0.78 ^a	6.72±0.38 ^{ab}	4.63±0.39 ^{bcd}
光波干燥	39.49±0.67 ^a	1.77±0.37 ^a	3.52±0.07 ^c	6.68±2.04 ^{ab}	4.71±0.27 ^{ab}
微波光波混合干燥	38.70±0.28 ^a	1.73±0.26 ^{ab}	3.67±1.05 ^b	6.85±0.85 ^a	4.68±0.48 ^{abc}
晒干	38.84±0.32 ^a	1.68±0.57 ^{bc}	3.52±0.09 ^c	6.75±1.40 ^{ab}	4.77±0.75 ^a
晾干	39.37±0.23 ^a	1.68±0.20 ^{bc}	3.56±0.36 ^c	6.77±0.71 ^{ab}	4.69±0.54 ^{abc}

注: 同一列不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$, 下同。

儿茶素分为简单儿茶素(simple catechins, TSC)和酯型儿茶素(ester catechins, TETC), TSC 由表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、儿茶素(catechin, C)、没食子儿茶素(gallocatechin, GC)、表儿茶素(epicatechin, EC)等组成, TETC 由表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)、没食子儿茶素没食子酸酯(gallocatechin gallate, GCG)、儿茶素没食子酸酯(catechin gallate, CG)、表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)等组成。EGC、ECG、EC、EGCG 可通过异构化作用生成 C、GC、CG、GCG^[25]。由表 3~4 可知, 不同干燥方式显著影响儿茶素总量及各组分含量。晒干处理 CG 含量显著高于其他干燥处理, 由表 3~4 可知, 不同干燥方式显著影响儿茶素总量及各组分含量。晒干处理 CG 含量显著高于其他干燥处理, 热风烘干与晾干、光波干燥处理间差异不显著。炒干、光波干燥和微光波混合干燥的 EGCG 含量相对较高, 3 组之间无显著性差异。炒干黑茶 GCG 含量最高, 显著高与其他干燥方式所制黑茶, 热风烘干、晒干、晾干处理间无显著差

异。光波干燥、微光波混合干燥的黑茶 GC 含量较高, 两者之间无显著差异, 远红外干燥、微波干燥、晾干、晒干处理之间 GC 含量无显著差异, 热风烘干黑茶 GC 含量最低, 仅有 0.88 mg/g。微光波混合干燥、晒干、晾干、光波干燥的黑茶 C 含量较高, 4 组处理之间无显著差异; 远红外干燥、炒干黑茶 C 含量较低, 处理之间无显著差异。光波干燥、微光波混合干燥的黑茶 ECG 含量较高; 晒干、炒干、微波干燥、远红外干燥黑茶 ECG 含量较低。晒干、晾干的黑茶 EC 含量较高, 处理间没有显著性差异, 热风烘干、远红外干燥、炒干、微波干燥、微光波混合干燥的黑茶 EC 含量较低, 处理间没有显著性差异, 光波干燥的黑茶 EC 含量最低。

此外, 晒干、微光波混合干燥、光波干燥、晾干、热风烘干处理 GA 含量性对较高, 各组之间无显著差异。光波干燥、微光波混合干燥、晒干、晾干的黑茶儿茶素总量较高; 热风烘干、远红外干燥、炒干、微波干燥儿茶素总量较低, 4 组之间无显著差异。

表 3 不同干燥方式对黑茶没食子酸和非酯型儿茶素的影响(mg/g)
Table 3 Effects of different drying methods on gallic acid and non-ester catechins of dark tea (mg/g)

干燥方式	GA	GC	EGC	C	EC	非酯型儿茶素总量
热风烘干	2.34±0.03 ^a	0.88±0.02 ^c	2.03±0.11 ^{cd}	2.62±0.07 ^c	0.44±0.08 ^b	6.24±0.22 ^d
远红外干燥	2.04±0.02 ^b	1.06±0.01 ^{bc}	2.55±0.04 ^{bc}	2.58±0.05 ^d	0.45±0.04 ^b	6.63±0.16 ^{bc}
炒干	2.10±0.02 ^b	1.01±0.03 ^d	2.36±0.04 ^{bcd}	2.57±0.02 ^d	0.49±0.00 ^{ab}	6.43±0.06 ^{cd}
微波干燥	2.16±0.02 ^b	1.02±0.02 ^{cd}	2.29±0.08 ^d	2.70±0.04 ^b	0.45±0.01 ^b	6.46±0.05 ^{cd}
光波干燥	2.37±0.01 ^a	1.11±0.02 ^a	2.56±0.17 ^b	2.94±0.09 ^a	0.33±0.01 ^c	6.93±0.29 ^b
微光波混合干燥	2.39±0.07 ^a	1.08±0.01 ^{ab}	2.24±0.11 ^d	3.05±0.04 ^a	0.45±0.07 ^b	6.81±0.28 ^b
晒干	2.41±0.05 ^a	1.03±0.02 ^{cd}	2.85±0.03 ^a	3.47±0.04 ^a	0.58±0.02 ^a	7.93±0.04 ^a
晾干	2.34±0.01 ^a	1.05±0.02 ^{bcd}	2.19±0.11 ^d	3.01±0.04 ^a	0.56±0.03 ^a	6.81±0.14 ^b

表 4 不同干燥方式对黑茶酯型儿茶素及儿茶素总量的影响(mg/g)
Table 4 Effects of different drying methods on ester catechin and total catechin of black tea (mg/g)

干燥方式	EGCG	ECG	GCG	CG	酯型儿茶素总量	儿茶素总量
热风烘干	0.64±0.02 ^c	7.24±0.06 ^{ab}	0.48±0.03 ^{dc}	0.64±0.03 ^d	8.99±0.05 ^b	17.57±0.17 ^c
远红外干燥	0.75±0.04 ^b	7.06±0.06 ^b	0.51±0.03 ^c	0.69±0.01 ^c	9.02±0.13 ^b	17.69±0.23 ^c
炒干	0.84±0.02 ^a	7.08±0.01 ^b	0.53±0.02 ^a	0.70±0.02 ^c	9.16±0.01 ^b	17.69±0.06 ^c
微波干燥	0.65±0.02 ^c	7.11±0.25 ^b	0.49±0.03 ^c	0.77±0.02 ^b	9.02±0.33 ^b	17.63±0.29 ^c
光波干燥	0.81±0.02 ^a	7.63±0.22 ^a	0.52±0.06 ^b	0.68±0.03 ^{cd}	9.17±0.22 ^b	18.47±0.22 ^b
微光波混合干燥	0.88±0.02 ^a	7.65±0.47 ^a	0.49±0.04 ^d	0.74±0.01 ^b	9.57±0.36 ^a	18.95±0.48 ^a
晒干	0.69±0.03 ^c	7.03±0.02 ^b	0.46±0.02 ^c	0.86±0.03 ^a	9.04±0.05 ^b	19.38±0.03 ^a
晾干	0.64±0.03 ^c	7.38±0.06 ^{ab}	0.47±0.01 ^{dc}	0.68±0.01 ^{cd}	9.16±0.08 ^b	18.31±0.17 ^b

黑茶中多酚氧化产物主要是茶黄素、茶红素和茶褐素,茶褐素是茶红素进一步氧化聚合形成的一类暗褐色的色素,是汤色红褐的物质基础^[26]。由表 5 可知,不同干燥方式对黑茶茶叶色素含量有显著影响。晾干、晒干和微波干燥黑茶的茶黄素含量相对较高,其他处理相对较低,但处理之间无显著差异。微波干燥、光波干燥和微光波混合干燥黑茶的茶红素含量相对较高,其他处理相对较低,尤其是晒干和炒干处理为最低。晾干、晒干、炒干和热风烘干处理茶褐素含量显著高于其他处理组,尤其是微波处理为最低。

表 5 不同干燥方式对黑茶茶黄素、茶红素、茶褐素的影响(mg/g)
Table 5 Effects of drying methods on thearubigins, theabrownin and theaflavins of dark tea (mg/g)

干燥方式	茶黄素	茶红素	茶褐素
热风烘干	0.64±0.10 ^{cd}	6.08±0.54 ^c	47.95±0.42 ^a
远红外干燥	0.67±0.07 ^{cd}	8.41±0.60 ^{bc}	44.53±0.35 ^b
炒干	0.65±0.05 ^{cd}	5.81±0.47 ^c	48.56±0.52 ^a
微波干燥	0.71±0.03 ^{bc}	17.67±0.25 ^a	38.46±1.16 ^c
光波干燥	0.60±0.04 ^d	10.55±2.77 ^b	43.18±2.14 ^b
微光波混合干燥	0.65±0.03 ^{cd}	9.55±1.33 ^b	44.79±0.64 ^b
晒干	0.77±0.00 ^{ab}	5.88±1.24 ^c	48.43±0.70 ^a
晾干	0.81±0.03 ^a	8.04±1.16 ^{bc}	48.20±1.14 ^a

多酚氧化产物的变化与干燥方式密切相关。传统的晾干处理温度低,渥堆过程形成的茶黄素、茶红素和茶褐素转化较少,含量较高^[27]。晒干处理由于在室外阳光下进行,由于热作用以及阳光中不同光质的影响,有可能对茶红素结构有一定破坏,也有可能促进形成茶褐素,但相关机制不清楚,有待进一步探究。微波干燥、光波干燥和微光波混合干燥、远红外干燥、热风烘干及炒干处理过程温度相对较高,促进了茶黄素的进一步氧化聚合,或向其他物质分解转化,导致其含量相对较低。值得注意的是,与传统加热方式相比。微波干燥、光波干燥和微光波混合干燥的

加热方式及物质受热方式发生转变,尤其是微波干燥利用微波能激起物料内部极性分子振荡^[28],可能对茶黄素的结构有影响,促进其转化成茶红素,具体转化机制值得进一步研究。

由表 6 可知,不同干燥方式对黑茶汤色色差有显著影响。从 L^* 值看,炒干处理值最低,这可能与干燥方式有关。炒干是在瓶式滚筒炒干机中进行,茶叶在滚炒过程中受滚筒壁及茶条间相互摩擦力的影响,茶叶破碎程度相对较高,茶汤的亮度降低,这一现象在绿茶加工中也存在^[29]。同时,由于细胞表面破坏程度的加剧,对 a^* 值和 b^* 值也产生相应影响。在绿茶加工中也发现受力作用越大,茶叶 a^* 值和 b^* 值会变小^[30]。除炒干处理外,其他不同处理对 a^* 值影响较小。光波干燥、微光波混合干燥、晒干和晾干处理 b^* 值相对高于其他处理。

3 讨论与结论

干燥是黑茶加工最后一道工序,降低茶叶水分,使其便于储藏。干燥过程中水分散失,一方面巩固已形成的品质特征,另一方面进一步发展和形成黑茶特有的品质风格^[31]。在传统干燥方式中,晒干利用太阳的光能和地面的热能将茶叶中的水分去除,但生产过程占地较大并受天气制约,而且卫生状况不容乐观^[11]。晾干是自然风干的过程,通过与大气中的热量交换达到干燥的目的,但历时相对较长,也受天气影响大,品质变化大,同样卫生条件也难以控制。热风烘干是目前茶叶加工最为常见的干燥方式,通过接触传热和对流换热,能够精准控制温度,有利于黑茶品质的保持^[32]。但在热风烘干温度不宜过高,否则茶叶的苦涩味会加重^[33]。远红外干燥方法通过物质吸收电磁波而产生强烈的共振现象,引起分子震动,因而物料内外的温度迅速均匀上升,加速水分的蒸发^[34],在绿茶和红茶干燥中能提高香气、色泽和滋味品质,并且适合机械化与连续化加工^[35]。同热风烘干一样,在干燥过程温度不宜过高,否则茶叶的苦涩味也会加重。

表 6 不同干燥方式对黑茶汤色色差的影响
Table 6 Effects of drying methods on the color of the dark tea infusion

干燥方式	L^*	a^*	b^*	b^*/a^*
热风烘干	37.14±0.36 ^a	9.95±0.39 ^{ab}	17.53±0.33 ^{dc}	1.77±0.10 ^{bc}
远红外干燥	37.25±0.86 ^a	10.02±0.86 ^{ab}	18.36±0.59 ^{bcd}	1.84±0.11 ^{abc}
炒干	34.29±0.57 ^c	10.97±1.07 ^a	16.67±1.25 ^c	1.53±0.18 ^c
微波干燥	36.09±1.40 ^{ab}	9.99±1.20 ^{ab}	18.05±1.09 ^{cd}	1.82±0.12 ^{abc}
光波干燥	35.69±1.13 ^{bc}	9.41±1.75 ^{ab}	19.12±0.54 ^{abc}	2.08±0.43 ^{ab}
微光波混合干燥	34.86±0.56 ^{bc}	9.73±1.72 ^{ab}	19.74±0.44 ^{ab}	2.08±0.41 ^{ab}
晒干	35.98±0.80 ^{ab}	9.04±1.46 ^{ab}	19.92±0.09 ^a	2.24±0.36 ^{ab}
晾干	36.14±0.06 ^{ab}	8.40±0.63 ^b	19.28±0.88 ^{abc}	2.30±0.09 ^a

注: L^* 表示汤色亮度; a^* 值表示红绿色调, 正值表示红的程度; b^* 值表示黄蓝色调, 正值表示黄的程度, b^*/a^* 表示色相。

本研究中首次将炒干应用于黑茶的干燥, 茶条间及与锅壁的摩擦力有利于改善黑茶的外形品质, 对于形成紧结的品质是有利的。然而, 生产上要掌握好锅温, 不宜超过 100℃, 时间控制在 30 min 左右, 以便获得醇和的品质。如果温度过高、时间长, 茶叶的苦涩味会加重^[36]。微波干燥利用微波能激起物料内部极性分子振荡, 造成分子间剧烈的内摩擦, 从而使物体发热, 水分挥发, 缩短了干燥时间, 提高产品质量, 非常适宜于热敏性物质的干燥。已有研究表明, 相比其他外热式干燥, 微波干燥水分迁移速度快, 茶叶中水分扩散和温度提升较均匀, 有利于普洱茶的后期发酵和醇化^[37]。光波干燥的干燥层首先是在外部形成, 随后由外向里逐渐扩展^[38]。但是相对于微波干燥, 光波干燥耗时较长, 对品质的影响还有待深入研究。微波光波混合干燥综合了微波干燥和光波干燥原理。由于在本研究中是采用家用微波和光波炉进行干燥, 这与大生产是有一定差距的, 如何结合大生产进行干燥实验还有待进一步探讨。

综上所述, 热风烘干、炒干、微波干燥、光波干燥、微波光波混合干燥等现代干燥方式可以取代传统的晒干和晾干方式, 在实际生产中可综合生产成本和规模选择适合的机械干燥方式。

参考文献

- [1] 马静, 罗龙新. 黑茶加工中微生物鉴定研究进展[J]. 中国茶叶, 2001, (2): 12-13.
MA J, LUO LX. Research progress of microbial identification in dark tea processing [J]. China Tea, 2001, (2): 12-13.
- [2] WANG S, QIU Y, GAN RY, *et al.* Chemical constituents and biological properties of Pu-erh tea [J]. Food Res Int, 2022, 154: 110899.
- [3] LIU DM, HUANG JN, LUO Y, *et al.* Fuzhuan brick tea attenuates high-fat diet-induced obesity and associated metabolic disorders by shaping gut microbiota [J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(49): 13589-13604.
- [4] 夏涛. 制茶学(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
XIA T. Manufacture of tea [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014.
- [5] 郑鹏程, 龚自明, 王胜鹏, 等. 青砖茶加工工艺及展望[J]. 中国茶叶加工, 2017, (2): 46-49.
ZHENG PC, GONG ZM, WANG SP, *et al.* Processing technology and prospect of Qingzhuang tea [J]. China Tea Process, 2017, (2): 46-49.
- [6] 柴硕, 黎娜, 李瑾, 等. 安化黑毛茶加工现状与机械化发展趋势[J]. 湖南农业科学, 2015, (3): 79-81.
CHAI S, LI N, LI J, *et al.* Anhua black wool tea processing status and mechanization development trend [J]. Hunan Agric Sci, 2015, (3): 79-81.
- [7] 赵熙, 黄浩, 钟妮, 等. 湖南黑毛茶加工工艺及清洁化生产趋势[J]. 湖南农业科学, 2017, (11): 65-68.
ZHAO X, HUANG H, ZHONG N, *et al.* Hunan Black tea processing technology and clean production trend [J]. Hunan Agric Sci, 2017, (11): 65-68.
- [8] 蔡宗寿, 张霞. 普洱茶干燥工艺的研究[J]. 农产品加工, 2012, (3): 66-67, 69.
CAI ZS, ZHANG X. Study on drying technology of Pu'er tea [J]. Agric Prod Process, 2012, (3): 66-67, 69.
- [9] 刘军, 吴耀森, 李浩权, 等. 黑茶热泵发花干燥技术研究及应用[J]. 现代农业装备, 2019, 40(3): 71-75.
LIU J, WU YS, LI HQ, *et al.* Research and application of heat pump hair drying technology of dark tea [J]. Mod Agric Equip, 2019, 40(3): 71-75.
- [10] 苏敏, 韦柳花, 吴永华, 等. 不同干燥方式对六堡茶品质的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(7): 82-86.
SU M, WEI LH, WU YH, *et al.* Effects of different drying methods on the quality of liubao tea [J]. Guangdong Agric Sci, 2015, 42(7): 82-86.
- [11] 彭增华, 刘丽, 谭蓉, 等. 云南普洱茶微波干燥工艺研究[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2007, (3): 96-98, 103.
PENG ZH, LIU L, TAN R, *et al.* Study on microwave drying technology of Yunnan Pu'er tea [J]. J Kunming Univ Sci Technol (Sci Technol Ed), 2007, (3): 96-98, 103.
- [12] QU FF, QIU FF, ZHU XJ, *et al.* Effect of different drying methods on the sensory quality and chemical components of black tea [J]. LWT-Food Sci Technol, 2019, 99: 112-118.
- [13] 钟萝, 王月根, 施兆鹏. 茶叶品质理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989.
ZHONG L, WANG YG, SHI ZP. Physicochemical analysis of tea quality [M]. Shanghai: Shanghai Sci Technology Press, 1989.
- [14] 施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
SHI ZP. Tea sensory and evaluation [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015.
- [15] WANG JQ, FU YQ, CHEN JX, *et al.* Effects of baking treatment on the sensory quality and physicochemical properties of green tea with different processing methods [J]. Food Chem, 2022, 380: 132217.
- [16] 戴宇樵, 潘科, 李琴, 等. 黑茶品质形成与功效研究进展[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(10): 24-29.
DAI YQ, PAN K, LI Q, *et al.* Research progress on quality formation and efficacy of dark tea [J]. Jiangsu Agric Sci, 2021, 49(10): 24-29.
- [17] 刘盼盼, 郑鹏程, 龚自明, 等. 青砖茶的香气成分分析[J]. 食品科学, 2017, 38(8): 164-170.
LIU PP, ZHENG PC, GONG ZM, *et al.* Analysis of aroma components in Qingzhuang dark tea [J]. J Food Sci Technol, 2017, 38(8): 164-170.
- [18] 宛晓春, 张劲松, 尹莲. 不同干燥方法对绿茶品质的影响[J]. 茶业通报, 1987, (2): 15-18.
WAN XC, ZHANG JS, YIN L. Effects of different drying methods on the quality of green tea [J]. Bull Tea Ind, 1987, (2): 15-18.
- [19] 王文明, 宋志禹, 陈巧敏, 等. 我国茶叶杀青机研究进展分析[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(2): 86-91.
WANG WM, SONG ZY, CHEN QM, *et al.* Analysis on research progress of tea degreen machine in China [J]. Chin J Agric Mech, 2021, 42(2): 86-91.
- [20] 仇方方, 曲凤凤, 余志, 等. 微波和光波提香对工夫红茶品质的影响[J]. 中国茶叶加工, 2018, (4): 48-52.
QIU FF, QU FF, YU Z, *et al.* Effects of microwave and light titian on the quality of Congou black tea [J]. China Tea Process, 2018, (4): 48-52.
- [21] 朱珺语, 陈玉琼, 余志, 等. 炒干时间对宜红茶品质的影响[J]. 福建茶叶, 2020, 42(4): 4-5.
ZHU JY, CHEN YQ, YU Z, *et al.* Effects of frying time on quality of Yi black tea [J]. Fujian tea, 2020, 42(4): 4-5.
- [22] MA WJ, 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 Chem, 2021, 346(4): 128906.
- [23] DU LP, WANG C, LI JX, *et al.* Optimization of headspace solid-phase

- microextraction coupled with GC-MS for detecting methoxy-phenolic compounds in Pu-erh tea [J]. *J Agric Food Chem*, 2021. DOI: 10.1021/jf304470k
- [24] ZHUANG JH, DAI XL, ZHU MQ, *et al.* Evaluation of astringent taste of green tea through mass spectrometry-based targeted metabolic profiling of polyphenols [J]. *Food Chem*, 2020, 305: 125507.
- [25] 晏智, 殷雨心, 焦远方, 等. 青毛茶加工工艺对青砖茶品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(6): 1919–1926.
- YAN Z, YIN YX, JIAO YF, *et al.* Effect of green tea processing technology on quality of green brick tea [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(6): 1919–1926.
- [26] ROSSETTIA D, BONGAERTSA JHH, WANTLING E, *et al.* Astringency of tea catechins: More than an oral lubrication tactile percept [J]. *Food Hydrocoll*, 2009, 23(7): 1984–1992.
- [27] 陈文君, 许文臻, 向晶, 等. 不同发酵方式对青砖茶中茶色素含量的影响[J]. 湖北工业职业技术学院学报, 2020, 33(1): 38–41.
- CHEN WJ, XU WC, XIANG J, *et al.* Effects of different fermentation methods on tea pigment content in green brick tea [J]. *J Hubei Voc Technol Coll Ind*, 2020, 33(1): 38–41.
- [28] 宫连瑾, 薄佳慧, 杜哲儒, 等. 提高中小叶种红茶茶黄素含量研究进展[J]. 茶叶通讯, 2020, 47(3): 375–381.
- GONG LJ, BO JH, DU ZR, *et al.* Advances in improving the content of theaflavins in black tea of medium lobule species [J]. *Tea Commun*, 2020, 47(3): 375–381.
- [29] 王骋, 窦鸿瑄. 微波技术在食品加工中的应用[J]. 食品安全导刊, 2022, (13): 168–170.
- WANG C, DOU HX. Microwave technology and its application in food processing [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2022, (13): 168–170.
- [30] QIU A, WU S, CHEN Y, *et al.* Dynamic changes of color, volatile and non-volatile components during mechanized processing of green tea [J]. *J Food Process Preserv*, 2022. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16797>
- [31] 邱安冬, 武世华, 陈玉琼, 等. 不同做形方式对湖北条形绿茶品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(6): 195–202.
- QIU AND, WU SH, CHEN YQ, *et al.* Effects of different shaping methods on quality of Hubei strip green tea [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2021, 40(6): 195–202.
- [32] 陈泉宾, 王秀萍, 邬龄盛, 等. 干燥技术对茶叶品质影响研究进展[J]. 茶叶科学技术, 2014, (3): 1–5.
- CHEN QB, WANG XP, WU LS, *et al.* Research progress of drying technology on tea quality [J]. *Tea Sci Technol*, 2014, (3): 1–5.
- [33] 周利平. 微波干燥普洱茶工艺研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2007.
- ZHOU LP. Study on microwave drying technology of Pu'er tea [D]. Kunming: Kunming University of Science Technology, 2007.
- [34] 邓余良, 尹军峰, 许勇泉, 等. 恒温远红外提香技术在绿茶加工中的应用研究[J]. 茶叶科学, 2013, 33(4): 336–344.
- DENG YL, YIN JF, XU YQ, *et al.* Application of thermostatic and far-infrared titians in green tea processing [J]. *Tea Sci*, 2013, 33(4): 336–344.
- [35] 周小芬, 周为, 刘飞. 不同干燥工艺对红茶品质影响的研究—以青心乌龙品种为例[J]. 中国茶叶加工, 2020, (3): 58–64.
- ZHOU XF, ZHOU W, LIU F. Effects of different drying processes on the quality of black tea-A case study of Qingxin Oolong [J]. *China Tea Process*, 2020, (3): 58–64.
- [36] HARSH R, VERMA D, TUCKLEY K. Proceedings of international conference on food security and environmental sustainability [C]. Air Assisted Radio Radio Frequency Drying Technology for Final Drying of Tea, 2009.
- [37] 魏巍. 不同干燥技术对绿茶品质影响的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- WEI W. Effects of different drying techniques on the quality of green tea [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012.
- [38] 侯伟华. 茶叶烘干机理与烘干机的节能改进[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- HOU WH. Tea drying mechanism and energy saving improvement of dryer [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009.

(责任编辑: 郑丽 韩晓红)

作者简介



朱珺语, 博士研究生, 主要研究方向为茶叶加工与品质调控。
E-mail: 316832705@qq.com



倪德江, 博士, 教授, 主要研究方向为茶叶加工与功能。
E-mail: nidj@mail.hzau.edu.cn