

初制茶色泽形成的影响因素研究现状

张海峰*, 陈梅春, 陈 峥

(福建省农业科学院农业生物资源研究所, 福建 350003)

摘 要: 色泽是茶叶品质的重要评价指标, 在一定程度上反映了茶叶综合品质的优劣。茶叶色泽是干茶色泽、汤色、叶底颜色总称, 是叶绿素、类胡萝卜素、花青素、多酚类氧化物等多种色素的综合反映结果。影响茶叶色泽的因素有很多, 如茶树品种、栽培条件、加工工艺、储藏方式等, 本文综述了茶树品种、栽培条件和不同茶类加工工艺对茶叶色泽的影响, 对于提高茶叶色泽品质和促进茶叶消费市场发展具有重要意义。

关键词: 茶叶色泽; 茶树品种; 栽培条件; 加工工艺

Research progress in influencing factors of crude tea color

ZHANG Hai-Feng*, CHEN Mei-Chun, CHEN Zheng

(Agricultural Bioresources Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fujian 350003, China)

ABSTRACT: Color is one of the important factors to evaluate the quality of tea. The tea color includes the dry tea color, soup color and leaf color, and its chemical compositions are consisted of chlorophyll, carotenoids, anthocyanins, polyphenols and other pigments. The color in tea is affected by varieties of tea, cultivation conditions, processing technology and storage methods. In this article, the effects of tea varieties, cultivation conditions and processing technology on tea color were introduced. It provided useful information for improving the tea color quality and promoting the development of tea consumption market.

KEY WORDS: tea color; tea varieties; cultivation conditions; processing technology

1 引 言

茶叶色泽是干茶色泽、汤色、叶底颜色的总称。茶叶根据其制作方法和发酵程度(未发酵至全发酵)分为六大茶类: 绿茶、白茶、黄茶、青茶(乌龙茶)、黑茶和红茶, 其干茶和茶汤色泽从绿到黄绿、黄、青褐、红褐色渐变^[1]。干茶色泽是多种色素的综合反映结果, 包括叶绿素、类胡萝卜素、茶多酚氧化产物等。茶汤色泽物质主要包括黄酮醇及其苷类、叶绿素、及儿茶素氧化产物, 以及少量类胡萝卜素和花青素^[2-4]。

色泽是茶叶品质的重要评价指标, 研究者常用分光光度法、色卡法、计算机视觉和色差计等方法探究茶叶色

泽与品质的关系^[4-8], 如陆建良等^[5]测定了绿茶、红茶和乌龙茶的茶汤色差, 发现茶汤色差在一定程度上能综合反映茶叶品质等级; 岳翠男等^[6]建立了可靠的黄茶干茶色泽与汤色综合色泽评价模型, 为制作“黄汤黄叶”的黄茶提供科学数据。已有研究表明茶叶色泽受茶树品种特性、种植生态环境、栽培措施、加工工艺、贮存等多因素调控, 本文对影响茶叶色泽的因素进行综述, 对于提高茶叶综合品质, 促进茶叶消费市场发展具有重要意义。

2 茶树品种

茶树品种不同, 鲜叶的叶绿素、多酚等物质的含量不同, 使芽叶呈现出深绿色、黄绿色、紫色等不同颜色。深

基金项目: 福建省省属公益项目(2016R1017-3)、福州市农业局项目

Fund: Supported by Fujian Provincial Public Welfare Project (2016R1017-3) and the Fund of Fuzhou Agricultural Bureau

*通讯作者: 张海峰, 研究员, 主要从事科研管理。E-mail: haifeng616@126.com

*Corresponding author: ZHANG Hai-Feng, Researcher, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fujian 350003, China. E-mail: haifeng616@126.com

绿色品种的芽叶茶多酚和儿茶素含量低,氨基酸含量高,适制绿茶;黄绿色品种的芽叶茶多酚含量高,叶绿素含量低,适制红茶;紫色芽叶的花青素含量高,其茶多酚、儿茶素总量高于绿色芽叶,氨基酸和咖啡因低于绿色芽叶,不适合制作绿茶,适制红茶^[9,10]。刘晓军等^[11]研究表明高山茶的叶绿素含量低,福鼎大白茶和南江大叶茶的叶绿素含量高。不同品种茶树,制作的茶叶色泽品质不同,杨娟等^[12]将不同的茶树品种采用同一工艺制备工夫红茶,发现“蜀永一号”和“巴渝特早”品种的茶黄素、茶红素及茶褐素类物质含量高于其他8个品种,其色泽感官审评得分较高。杨兴荣等^[13]发现以稀有茶树品种“紫娟”制作茶叶,干茶色泽紫黑色、汤色紫色,其花青素含量约为一般红芽茶的3倍。郑红发等^[10]研究发现“尖波黄”的芽叶偏黄易变黄、且叶绿素含量相对较低,适宜于制备色泽品质优良的黄茶。

3 栽培条件

栽培条件如土壤、光照、水分、温度等因素影响着茶树的生长和芽叶内含化学成分^[14]。土壤肥力状况和理化性质不同,栽培出来的芽叶品质存在差异。研究表明,茶树土壤湿度和空气湿度比较高时,光合作用不易形成纤维素,有利于提高茶叶的持嫩性,所制备的干茶色泽好^[15]。光照强度一定时,漫射光较多时,能够提高芽叶含氮化合物的含量,特别是叶绿素和氨基酸。温度对芽叶色素含量影响很大,当温度较低时,黄酮类物质含量高,制备的春茶呈现出黄绿明亮的汤色;当温度较高时,不利于氮的供给,影响叶绿素的含量。因此,纬度低的茶区,温度高、日照强,能够促进碳水及多酚类化合物的合成;纬度高的茶区,气温较低,鲜叶中叶绿素和蛋白质含量高,而多酚类含量较低^[16]。

4 初制工艺

4.1 绿茶

绿茶色泽特征为叶绿汤清,其色泽物质由叶绿素、胡萝卜素类、叶黄素类、花青素及多酚类氧化物等组成^[17,18]。绿茶初制过程中,鲜叶经过杀青、干燥、揉捻后,其叶绿素含量下降明显,其中叶绿素 a 仅保留7%~8%,叶绿素 b 仅保留30%左右^[19]。叶绿素发生的变化主要是脱镁、脱植基以及氧化降解作用,其他如叶绿素吡啉环的侧链、叶绿素 a 的甲基和叶绿素 b 的醛基等也会发生变化^[20]。在杀青和揉捻后做形前期阶段,叶绿素被大量破坏转化形成脱镁叶绿素,转化率为40%左右时,茶叶色泽好;当转化率超过70%后,茶叶色泽明显褐变。绿茶加工过程中,类胡萝卜素的含量减少非常明显,特别是杀青和干燥后,减少幅度高达52%和67%^[21],而黄酮类化合物在水热作用条件下

容易发生自动氧化反应,形成橙黄至棕黄的色泽物质。因此,绿茶加工过程中要控制温度、时间和水分,减少湿热环境对色泽物质的破坏,防止茶叶色泽黄变^[19]。

绿茶传统加工工序包括摊放、杀青、揉捻、干燥,沈培和^[22]研究发现鲜叶经适当摊放后再进行杀青,由于茶叶水分减少,韧性提高,制备的成品茶色泽嫩绿。杀青是形成绿茶“清汤绿叶”色泽品质的关键工序,钟应富等^[23]研究表明,绿茶加工过程采用微波杀青和汽热杀青,茶叶色泽保留较好;胡云铃等^[24]研究也表明汽热杀青能够提高绿茶叶绿素的保留率,所制备绿茶的干茶色泽、汤色、叶底色泽优于滚筒杀青和热风杀青。揉捻对绿茶色泽品质形成影响不可忽视,钟应富等^[25]研究发现在茶叶含水量较低时进行揉捻有利于毛茶色泽的保持,提高揉捻压力和次数会增加叶绿素的破坏率,因此采用短时、轻揉捻方法能够提高绿茶色泽及其综合品质。干燥方式对绿茶色泽品质的形成具有重要影响,张坚强等^[26]研究发现采用复水干燥方法可以明显提高绿茶干茶色泽,优于其他干燥方式。

4.2 白茶

白茶属于轻微发酵茶,具有满披白毫、汤色浅淡的色泽特征。白茶色泽物质为鲜叶经加工后保留的叶绿素及其水解、脱镁产物、类胡萝卜素、氨基酸与儿茶素的邻醌结合物及多酚类氧化产物^[1,2]。

白茶加工工艺简单,仅有萎凋和干燥两道工序,其中萎凋是形成白茶色泽品质的关键工序。影响白茶萎凋色泽品质的因子包括萎凋时间、环境温湿度、空气流通情况、摊叶的厚度和摊叶匀度。研究表明,萎凋时间最好控制在36~72 h,萎凋时间短,叶绿素转化与分解少,叶绿素保留多,叶色呈鲜绿色;萎凋时间太长,会导致叶色发黑;温度要求在18~25℃,相对湿度控制在65%~80%,温度过高使得多酚类物质过度氧化,会导致茶叶红变;温度低、湿度大会导致茶叶呈青绿色;萎凋过程中要求氧气充足,若空气不流通,会导致茶叶变成燥绿或褐色^[27]。王春燕^[28]研究发现,白茶萎凋中后期,茶多酚的氧化缩合,多酚含量大量减少,使得汤色呈杏黄色。袁弟顺等^[29]研究表明萎凋过程中氨基酸与儿茶素的邻醌结合形成有色化合物,对白茶汤色起到良好的影响。干燥工序对白茶色泽的形成密不可分,研究表明白茶中氨基酸在高温作用下参与非酶性褐色反应,促进茶叶乌润色泽的形成。

4.3 黄茶

黄茶具有干茶金黄、汤色杏黄、叶底嫩黄的“三黄”品质特征,该色泽特征是黄茶与绿茶等其他茶类明显区分的评判标准。黄茶色泽物质主要包括鲜叶保留的叶绿素类物质及“闷黄”过程中叶绿素发生水解形成的叶绿酸和植醇、脱镁反应形成的脱镁叶绿素、类胡萝卜素降解生成紫罗酮等香气物质、多酚类的非酶性自动氧化和异构化作用产物

(简单儿茶素、茶黄素、茶红素和茶褐素等)^[30]。

黄茶是经过杀青、闷黄、(揉捻)和干燥工序形成的,其中闷黄是形成黄茶“三黄”的关键工序。黄茶各加工工艺参数,如杀青温度、闷黄温度、闷黄湿度、闷黄时间、干燥方式等均影响了黄茶“三黄”品质,人们不断探索优化黄茶加工条件,周继荣等^[31]利用色差计法探究了传统名茶鹿苑黄茶加工过程中色泽动态变化,发现温度是破坏叶绿素的主要因素,叶绿素含量经高温杀青急剧减少,并且该茶最佳闷黄时间控制在4~7 h,加工的黄茶色泽品质最佳;陈玲等^[32]研究发现黄茶干茶色泽随着闷黄时间延长,绿色消减,呈现黄色,闷黄5 h后,汤色从黄绿变成浅黄明亮,其叶绿素杀青和闷黄阶段降解损失较大,当闷黄含水量60%、温度50℃、时间9 h处理的黄茶叶绿素含量最低;刘晓慧等^[33]对研究发现山东黄茶最优工艺为摊放、蒸青、轻揉、闷黄(48 h)、全烘或烘炒烘至足干,若在加工过程中未经摊放处理则黄变不充分,经摊放后黄色色泽好,采用蒸青有利于茶叶黄变;李伟等^[34]对蒙顶黄芽加工过程中色素变化进行研究,发现叶绿素*a*和叶绿素*b*含量在加工进程中逐渐减少,其中叶绿素*a*和叶绿素*b*含量降幅较大,分别为52.00%和44.44%;茶色素含量逐渐增加,其中茶红素和茶黄素含量增幅较大,分别为56.52%和54.55%;李丹等^[35]研究表明,采用“酶促闷黄”工序,能够增加茶黄素和茶红素的含量(分别是50%和10%),使得黄茶色泽更加黄亮。因此,综合调控黄茶制备过程各加工参数对于黄茶独特“三黄”色泽品质的形成至关重要。

4.4 青茶(乌龙茶)

乌龙茶是一种半发酵茶,其色泽特征为绿叶红镶边、汤色橙黄或金黄。乌龙茶特殊色泽的形成决定于叶绿素残留率和脱镁类叶绿素降解率、茶黄素、茶红素和茶褐素形成率的综合作用。

乌龙茶制法包括萎凋、做青、炒青、揉捻和干燥等工序。已有研究表明,乌龙茶制造过程中,叶绿素酶促降解反应剧烈,叶缘叶绿素被充分降解,叶心部位保留的叶绿素多,形成了乌龙茶特有的绿叶红镶边外形色泽特征^[36,37]。做青是决定乌龙茶品质的关键工艺,“做青”发酵程度对于外形色泽的形成至关重要。一般认为,做青不够,叶绿素破坏量小、多酚类氧化程度低,制备的乌龙茶色泽青绿;做青过度,使得叶绿素的破坏量和多酚类的氧化量过多,导致干茶色泽桔红。赖幸菲等^[38]研究发现,对岭头单丛茶进行轻、重做青的茶红素含量高于重做青,而两者茶黄素、茶褐素的含量相差不大;岭头单丛茶焙火后,茶黄素和茶红素含量均有所减少,而茶褐素含量增加较多。

4.5 黑茶

黑茶是后发酵茶,具有外形黄褐、汤色橙黄明亮的色

泽特征,品种包括普洱茶、茯砖茶、青砖、康砖、六堡茶等^[39]。黑茶色泽物质是鲜叶经过杀青、揉捻、渥堆和干燥、储存等工序形成的,干茶和叶底色泽物质主要为叶绿素和类胡萝卜素(胡萝卜素和叶黄素)及其降解产物,汤色泽物质包括叶绿素转化形成的水溶性物质(叶绿酸和叶绿醇)和多酚类氧化产物(茶黄素、茶红素、茶褐素等)^[40]。

黑茶加工过程中,不同色泽物质含量变化不一样,鲜叶的叶绿素被大量降解形成褐色的脱镁叶绿素和脱镁叶绿酸酯,保留率很低; β -胡萝卜素和叶黄素虽然也被降解了,但保留率相对叶绿素比较高;茶黄素和茶红素的含量在渥堆前24 h逐渐上升而后下降,茶褐素的含量在整个加工过程中呈上升趋势^[41,42]。

4.6 红茶

红茶的叶绿素含量仅为鲜叶叶绿素含量的30%~50%,叶绿素在红茶加工过程中发生显著变化,其中萎凋时叶绿素发生脱植基反应生成叶绿素酸酯;揉捻、发酵和干燥过程中,低pH值和高温促进了叶绿素的脱镁反应,形成大量的脱镁叶绿素,同时叶绿素酸酯也可经脱镁作用形成脱酶叶绿素酸酯。红茶的多酚类物质在发酵阶段,经酶促氧化反应形成茶黄素、茶红素、茶褐素等色素,形成红茶“色艳、叶红、汤红”的品质特征^[43,44]。

目前生产上常用萎凋槽法进行茶叶萎凋,为了提高茶黄素、茶红素的含量,改善红茶色泽,研究人员探索了冷冻萎凋、广谱电磁波辐射萎凋、萎凋叶增加处理等方法,发现这些方法均能有效提高茶叶汤色品质^[45]。发酵过程中的温度、湿度和时间是影响红茶“红汤红叶”品质的重要参数,方世辉等^[46]研究了发酵温度对红茶茶黄素和茶红素含量的影响,发现茶黄素的含量随发酵时间增加是先上升后下降;采用先高温后低温的变温发酵方法能够增加茶黄素的含量,进而提高红茶的品质^[47]。在发酵或揉捻过程中,添加微生物多酚氧化酶,亦能增加红茶的茶黄素和茶红素的含量,改善茶汤的色泽^[48]。陈义^[49]采用不同工艺加工信阳红茶,发现采用工艺C(萎凋-揉捻-发酵-过锅)得到的干茶品质最佳,汤色明亮稍红,其茶黄素、茶红素和茶褐素的含量分别是0.33%、5.05%和6.70%。

5 结论

茶叶色泽是区分茶类的主要依据,也是评价茶叶品质优劣的重要因子。茶叶色泽的形成与茶树品种、栽培条件、加工工艺、储藏方式等密不可分。茶树内含化学成分是茶叶色泽形成的基础,随茶树品种不同存在很大的差异,茶树品种的适制性也制约着成茶色泽品质;茶树栽培条件调控着鲜叶内含成分的形成;茶叶色泽的形成极大的受到加工工艺及参数的控制。因此,在制茶时,要得到良好的茶叶色泽品质,应综合考虑茶叶的品种、当地的

气候条件,选择合适的工艺条件,以使茶叶的色泽品质达到最佳状态。

茶叶色泽物质形成机制研究已取得较大进展,为人们控制茶叶色泽品质奠定基础。但茶叶色泽物质组成复杂,物质之间相互影响,茶汤的色泽变化存在互作效应,如儿茶素会使黄酮醇糖苷的色泽发生改变^[50,51],各物质互作机制尚不清楚,需要进一步研究他们之间的相关性,有利于人们探索提高茶叶色泽品质的方法。

参考文献

- [1] 陈键,王丽丽,宋振硕.茶叶色素研究进展[J].茶叶科学技术,2013,(4):13-16.
Chen J, Wang LL, Song ZS. Advances in the reaseach on tea pigments [J]. Tea Sci Technol, 2013, (4): 13-16.
- [2] Scharbert S, Holzmann N, Hofmann T. Identification of the astringent taste compounds in black tea infusions by combining instrumental analysis and human bioresponse [J]. J Agric Food Chem, 2004, 52(11): 3498-3508.
- [3] Scharbert S, Hofmann T. Molecular definition of black tea taste by means of quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(13): 5377-5384.
- [4] 岳翠男,王治会,毛世红,等.茶叶主要滋味物质研究进展[J].食品研究与开发,2017,38(1):219-224.
Yue CN, Wang ZH, Mao SH, *et al.* The main taste substances in tea research progress [J]. Food Res Dev, 2017, 38(1): 219-224.
- [5] 陆建良,梁月荣,龚淑英,等.茶汤色差与茶叶感官品质相关性研究[J].茶叶科学,2002,1:57-61.
Lu JL, Liang YR, Gong SY, *et al.* Studies on relationship between liquor chromaticity and organoleptic quality of tea [J]. J Tea Sci, 2002, 1: 57-61.
- [6] 岳翠男,王治会,毛世红,等.不同闷黄时间的黄茶干茶色泽与汤色综合评价模型构建[J].食品工业科技,2016,37(21):130-134,298.
Yue CN, Wang ZH, Mao SH, *et al.* Modeling for the dry tea and soup color comprehensive evaluation of yellow tea at the different Yellowing time [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(21): 130-134, 298.
- [7] 何媛媛,王璟,杨悦,等.EGCG与杨梅素相互作用对茶汤色泽呈现的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(2):161-168.
He YY, Wang J, Yang Y, *et al.* Effect of EGCG and myricetin interaction on tea color [J]. J. Northwest Agric Univ (Nat Sci Ed), 2017, 45(2): 161-168.
- [8] 罗孟.计算机图像在茶鲜叶色泽及萎凋程度测定中的应用[J].福建茶叶,2017,(3):24-25.
Luo M. The application of computer image in the determination of color and withering of tea leaves [J]. Fujian Tea, 2017, (3): 24-25.
- [9] 程启坤.茶叶品种适制性的生化指标—酚氨比[J].中国茶叶,1983,(2):38.
Cheng QK. Phenolic Ammonia of variety of biochemical indices [J]. China Tea, 1983, (2): 38.
- [10] 郑红发,粟本文,王淮,等.高档黄茶适制品种筛选研究[J].茶叶通讯,2011,38(4):26-28.
Zheng HF, Li BW, Wang H, *et al.* Study on screening suitable varieties for high-grade Yellow tea [J]. Tea Commun, 2011, 38(4): 26-28.
- [11] 刘晓军,唐晓波,李春华.不同绿茶品种秋季叶绿素与光合效率比较及相关性研究[J].西南农业学报,2008,21(4):975-978.
Liu XJ, Tang XB, Li CH. Comparative and correlation study on chlorophyll and photosynthesis efficiency of the different green tea [J]. Southwest China J Agric Sci, 2008, 21(4): 975-978.
- [12] 杨娟,袁林颖,钟应富,等.工夫红茶色泽与品质相关性研究[J].西南农业学报,2014,27(6):2605-2610.
Yang J, Yuan LY, Zhong YF, *et al.* Study on correlations between color and quality of congou made of different varieties of tea [J]. Southwest China J Agric Sci, 2014, 27(6): 2605-2610.
- [13] 杨兴荣,包云秀,黄玫.云南稀有茶树品种“紫娟”的植物学特性和品质特征[J].茶叶,2009,(1):17-18.
Yang XR, Bao YX, Huang M. The botanical and quality charateristics of the tea cultivar “Zi-Juan” in Yunnan province [J]. J Tea, 2009, (1): 17-18.
- [14] Chen G, Yang C, Lee S, *et al.* Catechin content and the degree of its galloylation in oolong tea are inversely correlated with cultivation altitude [J]. J Food Drug Anal, 2014, 22(3): 303-309.
- [15] 程孝.茶园遮荫栽培与茶叶品质相关性机理的研究[D].长沙:湖南农业大学,2008.
Cheng X. Study on the relationship between shade cultivation and tea quality in tea garden [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2008.
- [16] 吴洵.北方地区茶树栽培技术要点[J].中国茶叶,2009,31(10):26-27.
Wu X. Key technical points of tea cultivation in North China [J]. China Tea, 2009, 31(10): 26-27.
- [17] Wang LF, Park SC, Chung JO, *et al.* The compounds contributing to the greenness of green tea [J]. J Food Sci, 2004, 69(8): 301-305.
- [18] Chen Z, Zhu QY, Tsang D, *et al.* Degradation of green tea catechins in tea drinks [J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(1): 477-482.
- [19] 王润龙,粟本文,陈江涛.提高名优绿茶色泽的加工技术措施[J].茶叶通讯,2007,34(2):35-36.
Wang RL, Li BW, Chen JT. Methods to improve the processing technology of famous green tea [J]. Tea Commun, 2007, 34(2): 35-36.
- [20] 倪德江,陈玉琼,袁芳亭,等.名优绿茶杀青工艺研究[J].华中农业大学学报,2000,19(6):592-594.
Ni DJ, Chen YQ, Yuan FT, *et al.* Study on the greening technology of famous green tea [J]. J Huazhong Agric Univ, 2000, 19(6): 592-594.
- [21] Suzuki Y, Shioi Y. Identification of chlorophylls and carotenoids in major teas by high-performance liquid chromatography with photodiode array detection [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(18): 5307-5314.
- [22] 沈培和.改善名优绿茶色香味的措施[J].中国茶叶,2001,(2):15-16.
Shen PH. Methods to improve the flavor of the famous green tea [J]. China Tea, 2001, (2): 15-16.
- [23] 钟应富,李中林,袁林颖,等.杀青方式对秋季绿茶品质的影响[J].西南农业学报,2008,21(5):1385-1387.
Zhong YF, Li ZL, Yuan LY, *et al.* Effects of de-enzyme ways on the quality of autumn's famous green tea [J]. Sournthwest China J Agric Sci, 2008, 21(5): 1385-1387.
- [24] 胡云铃,黄建安,施兆鹏.不同杀青方式对绿茶品质的影响[J].茶叶,2008,34(1):24-28.
Hu YL, Huang JA, Shi ZP. The effect of different fixation methods on quality of green tea [J]. J Tea, 2008, 34 (1): 24-28.
- [25] 钟应富,李中林,袁林颖,等.条形绿茶揉捻技术对其色泽品质的影响[J].西南园艺,2005,33(4):12-13.
Zhong YF, Li ZL, Yuan LL, *et al.* The effect on rolling technology for the colour and lustre of straight famous green tea [J]. Southwest Hortic, 2005, 33(4): 12-13.
- [26] 张坚强,叶阳,朱宏凯,等.基于复水干燥的绿茶干茶色泽提升工艺研究[J].中国农机化学报,2016,37(7):70-74.
Zhang JQ, Ye Y, Zhu HK, *et al.* Research on promotion of green tea

- related to dry color based on rehydration and drying [J]. *J Chin Agric Mech*, 2016, 37(7): 70–74.
- [27] 王世斌. 安吉白茶叶绿素含量的规律性研究[J]. *浙江农业科学*, 2011, (6): 1269–1272.
- Wang SB. Regularity of chlorophyll content in Anji white tea [J]. *J Zhejiang Agric Sci*, 2011, (6): 1269–1272.
- [28] 王春燕. 白茶的风味及抗氧化性的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- Wang CY. Study on the flavor and antioxidant activity of White Tea [D]. Chongqing: Southwest University, 2010.
- [29] 袁弟顺, 郑金贵. 白茶的研究进展[J]. *福建茶叶*, 2007, (2): 2–4.
- Yuan DS, Zheng JG. Research progress of White Tea [J]. *Fujian Tea*, 2007, (2): 2–4.
- [30] 滑金杰, 江用文, 袁海波, 等. 闷黄过程中黄茶生化成分变化及其影响因素研究进展[J]. *茶叶科学*, 2015, 35(3): 203–208.
- Hua JJ, Jiang YW, Yuan HB, *et al.* Review on the changes of biochemical components and the influencing factors in piling process of Yellow Tea [J]. *J Tea Sci*, 2015, 35(3): 203–208.
- [31] 周继荣, 倪德江, 陈玉琼, 等. 黄茶加工过程品质变化的研究[J]. *湖北农业科学*, 2004, (1): 93–95.
- Zhou JR, Ni DJ, Chen YQ, *et al.* Study on quality variation during the yellow tea processing [J]. *HuBei Agric Sci*, 2004, (1): 93–95.
- [32] 陈玲. 黄茶闷黄工序及适制品种筛选研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- Chen L. Studies on the Yellowing with piling process and choosing suitable varieties for making Yellow tea [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2012.
- [33] 刘晓慧, 王日为, 张丽霞, 等. 山东黄茶加工工艺的研究[J]. *中国茶叶加工*, 2010, (2): 27–30.
- Liu XH, Wang RW, Zhang LX, *et al.* Technology study on process of yellow tea in Shandong province [J]. *China Tea Process*, 2010, (2): 27–30.
- [34] 李伟, 齐桂年, 刘晓, 等. 蒙顶黄芽加工过程感官品质及化学成分变化的研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(16): 95–99.
- Li W, Qi GN, Liu X, *et al.* Changes in organoleptic quality and chemical composition of Mengdinghuangya during processing [J]. *Food Sci Technol*, 2015, 36(16): 95–99.
- [35] 李丹, 杜晓, 边金霖, 等. 蒙顶山黄茶“酶促闷黄”加工品质的审评及成分分析[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2016, 38(3): 477–486.
- Li D, Du X, Bian JL, *et al.* Analysis of sensory evaluation and quality composition on “enzymatic overbrewing” treatment of Mengding Yellow Tea [J]. *J Yunnan Univ (Nat Sci Ed)*, 2016, 38(3): 477–486.
- [36] 张杰, 朱先明, 施兆鹏. 乌龙茶色泽形成机理研究[J]. *福建茶叶*, 1989, (3): 23–38.
- Zhang J, Zhu XM, Shi ZP. Study on the formation mechanism of Oolong Tea [J]. *Fujian Tea*, 1989, (3): 23–38.
- [37] 刘仲华, 黄孝原, 施兆鹏. 红茶和乌龙茶色素与干茶色泽的关系[J]. *茶叶科学*, 1990, 10(1): 59–64.
- Liu ZH, Huang XY, Shi ZP. The relationship between black tea and oolong tea pigment and dry tea color [J]. *J Tea Sci*, 1990, 10(1): 59–64.
- [38] 赖幸菲, 黄亚辉, 赖裕辉, 等. 做青和烘焙对单丛茶品质及生化成分的影响[J]. *食品科学*, 2013, 35(2): 91–95.
- Lai XF, Huang YH, Lai RH, *et al.* Effects of shaking and baking on quality and biochemical components of Dancong Oolong [J]. *Food Sci*, 2013, 35(2): 91–95.
- [39] 张亚, 黄亚亚, 梁艳, 等. 黑茶渥堆工艺研究进展[J]. *食品与机械*, 2017, 33(3): 216–220.
- Zhang Y, Huang YY, Liang Y, *et al.* Research progress in pile-fermentation of dark tea including the essence of pile-fermentation [J]. *Food Mach*, 2017, 33(3): 216–220.
- [40] Wang Q, Gong J, Chisti Y, *et al.* Fungal isolates from a Pu-Erh type tea fermentation and their ability to convert tea polyphenols to theabrownins [J]. *J Food Sci*, 2015, 80(4): M809–M817.
- [41] 刘仲华, 王增盛, 黄建安, 等. 黑茶初制中主要色素物质的变化与色泽品质的形成[J]. *茶叶科学*, 1991(S1): 37–44.
- Liu ZH, Wang ZS, Huang JA, *et al.* Changes of main pigment substance and formation of color quality in black tea [J]. *J Tea Sci*, 1991(S1): 37–44.
- [42] 萧力争. 黑茶加工过程中色泽的形成机理[J]. *中国茶叶*, 1994, 1(1): 2–3.
- Xiao LZ. The formation mechanism of color in the processing of black tea [J]. *China Tea*, 1994, 1(1): 2–3.
- [43] Scharbert S, Jezussek M, Hofmann T. Evaluation of the taste contribution of theaflavins in black tea infusions using the taste activity concept [J]. *Eur Food Res Technol*, 2004, 218(5): 442–447.
- [44] Weerawatanakorn M, Lee Y, Tsai C, *et al.* Protective effect of theaflavin-enriched black tea extracts against dimethylnitrosamine-induced liver fibrosis in rats [J]. *Food Funct*, 2015, 6(6): 1832–1840.
- [45] Muthumani T, Kumur RS. Studies on freeze-withering in black tea manufacturing [J]. *Food Chem*, 2007, 101: 103–106.
- [46] 方世辉, 王先峰, 汪惜生. 不同发酵温度和程度对工夫红茶品质的影响[J]. *中国茶叶加工*, 2004, (2): 19–24.
- Fang SH, Wang XF, Wang XS. Effects of different fermentation temperature and degree on quality of black tea [J]. *China Tea Process*, 2004, (2): 19–24.
- [47] Muthumani T, Senthil KRS. Influence of fermentation time on the development of compounds responsible for quality in black tea [J]. *Food Chem*, 2007, (1): 98–102.
- [48] 周昀. 酶法提高红茶茶汤中红茶色素的研究进展[J]. *武夷学院学报*, 2010, (2): 35–37.
- Zhou Y. Advances in enzymatic improvement of pigment in black tea [J]. *J Wuyi Univ*, 2010, (2): 35–37.
- [49] 陈义. 不同加工工艺对信阳红茶品质影响初探[J]. *河南农业*, 2016, (1): 51–52.
- Chen Y. Preliminary study on the effect of different processing technology on quality of Xinyang Black Tea [J]. *Henan Agric*, 2016, (1): 51–52.
- [50] Ujihara T, Hayashi N. Hypochromic effect of an aqueous monoglucosyl rutin solution caused by green tea catechin [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2009, 73(12): 2773–2776.
- [51] 何媛媛, 王璟, 杨悦, 等. EGCG与杨梅素相互作用对茶汤色泽呈现的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2017, 45(2): 161–168.
- He YY, Wang J, Yang R, *et al.* Effect of EGCG and myricetin interaction on tea color [J]. *J Northwest A&F Univ (Nat Sci Ed)*, 2017, 45(2): 161–168.

(责任编辑: 姜 姗)

作者简介



张海峰, 研究员, 主要从事科研管理工作。

E-mail: haifeng616@126.com