

闽南乌龙茶烘焙的研究进展

黄艳^{1,2}, 孙威江^{1,2*}

(1. 福建农林大学安溪茶学院, 福州 350002; 2. 福建农林大学园艺学院, 福州 350002)

摘要: 激烈市场环境下, 闽南清香型乌龙茶销售陷入困境, 浓香型乌龙茶开始回归, “清转浓”正如火如荼地进行。烘焙是形成浓香型乌龙茶风味的关键工艺, 具有提升茶叶品质的重要作用。烘焙型茶叶通过褐化反应形成乌润色泽; 烘烤香由褐化反应产生, 焙火前已形成的花果香在烘焙中得以保留和提升; 多酚类物质异构化减少茶汤苦涩味, 糖类物质通过分解、参与褐化反应的方式增加甜醇滋味。本文对焙火提高乌龙茶色、香、味等方面品质的研究进行了综述, 总结了已发现的呈香、呈味物质, 为探索烘焙对茶叶品质形成的化学机制提供理论依据和参考。

关键词: 焙火; 浓香型乌龙茶; 美拉德反应; 茶叶品质化学

The research advance of baking process in Minnan Oolong tea

HUANG Yan^{1,2}, SUN Wei-Jiang^{1,2*}

(1. Anxi College of Tea Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;
2. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

ABSTRACT: With fierce competition, the sale of Fen-flavor Oolong tea ran to difficulty. The manufacturing of high-aroma Oolong tea becomes popular in Minnan district. The roasting process plays a critical role in shaping of flavor and improvements of tea quality. The black brown color of leaves developed from browning reactions during roasting process; baking odors came from browning reactions while the flower and fruit smell preserved and promoted in baking process; isomerizations of tea polyphenol compounds reduced the bitter and astringency taste, sugars added the sweet taste by means of decomposition and participation of browning reactions. The study on improvements of the leaf color, smell and taste of Oolong tea were reviewed in this paper, aroma and flavor substances were summarized, with the anticipation of the possible contribution to prove its chemical mechanism and provide theoretical basis and reference for further studies.

KEY WORDS: baking; roasting Oolong tea; the Maillard reaction; quality chemistry of tea

1 引言

我国茶叶花色繁多且风味各具特色。根据多酚类化合物氧化程度和加工工艺的不同, 我国将茶叶分为绿茶、黄

茶、白茶、青茶、红茶、黑茶六大类。其中青茶又称为乌龙茶, 其多酚类化合物的氧化程度介于全发酵和不发酵之间, 因此被称为半发酵茶。在乌龙茶的主产区福建、广东、台湾等地, 人们以不同品种的鲜叶为原料, 通过加工中

基金项目: 质检公益性行业科研专项(K4714004A)、福建农林大学安溪茶学院青年骨干培养基金(K1515047A)

Fund: Supported by the Project of Quality Inspection Industry of Public Welfare (K4714004A) and the Youth Training Fund of Anxi College of Tea Science in Fujian Agriculture and Forestry University (K1515047A)

*通讯作者: 孙威江, 教授, 主要研究方向为茶叶资源育种与标准化。E-mail: swj8103@126.com

*Corresponding author: SUN Wei-Jiang, Professor, No.15 Shangxiadian Road, Cangshan District, Anxi College of Tea Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China. E-mail: swj8103@126.com

制半发酵程度的差异创造出了种类丰富、品质各异的乌龙茶,深受海内外消费者喜爱。其中福建乌龙茶按产地又可分为以安溪为中心的闽南乌龙茶和以武夷山为中心的闽北乌龙茶,所生产的“安溪铁观音”和“武夷岩茶”分别于2006年和2002年被国家质检总局规定为地理标志产品。福建乌龙茶在全国乃至世界茶叶产业链上有着举足轻重的地位。

2 闽南乌龙茶概况

2.1 闽南乌龙茶的种类及特征

闽南乌龙茶可分为清香型、传统型和浓香型三类。清香型乌龙茶的生产起源于20世纪90年代,台湾乌龙茶的加工技术和设备大量引入福建^[1]。闽台茶人以空调做青技术为基础,探索出了轻发酵乌龙茶新工艺,并成功研发出了清香型乌龙茶^[2]。清香型乌龙茶品质特征表现为汤色清黄明亮,香气清高显花香,滋味醇和鲜爽,叶底叶缘残缺、少红边。根据做青工艺和品质风味的不同,清香型乌龙茶又可以分为消青、拖(脱)酸、消正等。传统型乌龙茶又称为正味(炒)乌龙茶,其发酵程度介于清香型和浓香型之间,汤色金黄明亮、香气浓郁显花果香、滋味醇厚、叶底完整显红边^[3]。虽然传统型乌龙茶与清香型乌龙茶在风味和做青程度方面更为接近,但清香型乌龙茶在做青过程中需要摇去茶青叶片边缘的红变部位,而传统乌龙茶叶底的显著特征为“绿叶红镶边”。在精制工序中,可以通过烘焙工艺将传统型乌龙茶改造和升华为品质风味截然不同的浓香型乌龙茶。因此浓香型乌龙茶是以传统型乌龙茶为原料,经过85~120℃的温度烘焙数小时,促进茶叶香气的形成,并使得滋味更加醇厚^[4]。“茶为君,火为臣”,浓香型乌龙茶正是依靠温火慢烘的工艺,形成了甜香兼具焦糖香、汤色金黄、滋味醇厚、音韵明显的品质特征^[5]。

2.2 烘焙推动闽南乌龙茶产业发展

焙火对于提升闽南乌龙茶的品质和提高市场竞争力的重要性不容小视。尤其近几年来,在各类茶竞争白热化、消费整体下滑的形势下,闽南乌龙茶的市场行情更是不大不如前。消费者对茶叶需求日趋多元化,曾经红遍大江南北、畅销海内外的闽南乌龙茶受到了来自黑茶、红茶、白茶等其他类茶叶的极大挤压,饱受着前所未有的压力。质量安全的舆论战、过量饮用清香型乌龙茶对肠胃刺激性作用等不利于闽南乌龙茶的言论更是不绝于耳。在这种严峻形势之下,闽南乌龙茶如何突破重围,重新焕发出生命力,这是值得各方关注的问题。

通过多次实地考察和调查研究,发现闽南乌龙茶的生产开始回归传统,无论是企业、农民专业合作社还是家庭小作坊,都开始重视偏重发酵的传统型乌龙茶生产,并通过烘焙工艺,将传统型乌龙茶改造成为浓香型乌龙茶。浓香型乌龙茶性质温和,历来被誉为养胃佳茗,弥补了清

香型乌龙茶性质偏寒凉的不足,提高了茶叶保健功效。因此闽南地区通过焙火提升茶叶品质、提高茶叶健康功效的积极措施能够适应当前形势的发展,增强闽南乌龙茶的市场竞争力,助其重获生机。

然而闽南乌龙茶的烘焙技法需经验丰富的制茶师傅才能应用的得心应手。经验不足的师傅烘焙的乌龙茶风味欠佳,不仅无助于升华品质,其烘焙后的成品表现为过于浓重的烘烤香(火香),深黄偏暗淡的汤色,完全散失了乌龙茶特有的花果香和韵味,入口后有明显的锁喉感。

生产实践已证明科学烘焙工艺对提升茶叶品质的作用,但是烘焙过程中如何实现对温度、时间、时机的精准掌控,还没有成熟的理论和试验依据,茶叶烘焙中品质化学成分变化、热化学反应类型和深度、热化学对品质影响等研究尚处于起步阶段,茶叶烘焙的品质化学机制尚未明确。因此本文将从品质化学的角度总结国内外关于乌龙茶烘焙的研究进展,为此问题提供理论依据,以期为今后研究茶叶烘焙的品质化学机制提供参考。

3 烘焙对乌龙茶品质的影响

茶叶的烘焙工艺最早起源于闽北,是闽北乌龙茶初制中的最后一道工序,低温慢焙可固定其香味^[6-8]。然而焙火在闽南地区是浓香型乌龙茶品质形成的关键工序,属于精加工流程。目前主要关注烘焙过程中挥发性化合物(醛、醇、酯、酮等)、非挥发性化合物(茶多酚及其氧化物、糖类物质、生物碱类、氨基酸)所发生的一系列复杂而深刻的变化。

3.1 烘焙对茶叶色泽的影响

烘焙过程中,随着时间的延长,干茶外形色泽从乌间黄绿到乌褐、叶底色泽从黄绿到黑色^[9]。茶叶烘焙过程中糖类、氨基酸、果胶等物质经过美拉德反应、焦糖化反应为主的褐化反应生成吡嗪、吡咯类和呋喃类等化合物,使得闽南乌龙茶由绿色转变为乌褐色,彻底改变茶叶色泽。褐化反应对茶叶的烘炒香和乌润的色泽有重要意义,所生成的挥发性化合物是焙火类乌龙茶品质风味形成的关键因子。食品中美拉德反应的产物类黑素、还原酮及挥发性杂环化合物是烘焙类食品的色泽和风味的主要来源,并且有抗氧化的作用^[10],但未见烘焙乌龙茶的类黑素分离和鉴定的研究。外源添加茶多酚类物质对食品中美拉德反应色泽形成有一定抑制作用^[11]。乌龙茶属于半发酵茶,茶多酚类化合物在加工中部分氧化,茶叶残留的多酚类物质对烘焙过程中褐化反应的作用尚未见报道。

3.2 烘焙对茶叶香气的影响

乌龙茶素以花(果)香浓郁持久著称,成品茶的香气主要是在初制过程中形成,而精制工艺中的焙火起到提升香气的作用。从茶叶加工与感官评价的角度来看,在焙火的

干热作用(热物理化学作用)下,茶叶细胞结构疏松,芳香物质从茶叶的内层扩散到表层,促进低沸点芳香物质的挥发和品种香、烘烤香的形成,充分透发香气,使其更为清纯。烘焙过程中美拉德反应、焦糖化反应产生大量以吡嗪类、吡咯类和呋喃类等为代表的具有焙炒香的化合物^[12]。焙炒香常被称为火功香(火香),不同程度的火功香能满足不同地区消费者对乌龙茶火候的要求。加工工艺和贮存所引起的茶叶劣变气味,包括青浊味、水闷味、闷黄味、陈味、烟味等可以通过烘焙工艺减弱或消除,烘焙后茶叶滋味爽口醇厚^[13]。

烘焙的热力使带青气的低沸点物质大部分挥发散失,儿茶素、醛类、醇类氧化分解并通过与氨基酸类物质结合,产生了新的香气化合物^[14]。茶叶在加热过程中香气成分发生变化,糖类、氨基酸、果胶等物质经过美拉德反应、焦糖化反应大量的吡嗪类、吡咯类和呋喃类等具焙炒香味的挥发性物质,其含量与火功香成正比,含量越高火功香越强^[15];而过多的火功香能够降低茶叶香气品质^[16]。这两种褐化反应均存在质变与量变的关系。烘焙过程中的轻微褐化,能产生愉快的焦糖香或火功香,而失水过度的焦糖化(炭化),会产生焦糊味与苦味,使茶叶发生劣变,使得焦糖化作用成为乌龙茶非酶性褐变的主导^[9]。随着烘焙温度升高,具有清新花香的挥发性成分降低,而碳氢化合物与含氮化合物大量增加^[17]。2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃是焙烤中焦糖香的主要呈香物质^[18,19],在茶叶^[14,20]、橡木^[21]、橘子粉^[22]的加热以及米糕^[23]等需烘焙处理的食物中均能发现其踪迹。美拉德模拟试验^[24-26]均收集到了2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃。一般来说,乌龙茶中的2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃是由2-甲基-3,5-二羟基-6-甲基-4H吡喃酮形成。

有研究表明乌龙茶老茶中的香气所具有的焙烤香主要是以N-乙基琥珀酰亚胺为代表的含氮杂环化合物所构成^[27],这需要进一步的试验验证。N-乙基琥珀酰亚胺为代表的含氮杂环化合物被认为是在新鲜乌龙茶向陈年乌龙茶转化的过程中形成的标志性化合物^[28]。1-乙基-吡咯-2-醛仅存在于焙火程度最重的乌龙茶中,且相对含量随着焙火程度的增加而增大^[29]。

2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃、1-乙基-吡咯-2-醛是否能够作为衡量乌龙茶烘焙适度的品质化学指标,还需要深入的研究来验证。茶叶烘焙工艺中以美拉德反应和焦糖化反应为代表的褐化反应产物中的其他呈香物质的香型、含量与比例如何,需要结合气相闻嗅(gas chromatography-olfactometry, GC-O)试验进一步寻找与验证。

3.3 烘焙对茶叶滋味的影响

焙火对乌龙茶滋味的发展具有重要作用。热物理化学的同分异构作用下,多酚类化合物发生转化,茶汤中的苦涩味减少^[30],糖类物质分解以及发生焦糖化和美拉德反应,

使茶叶带有甜味^[30,31]。焙火能够增加茶叶的熟感,使得茶性温和^[32],不似清香型茶性偏寒凉、青涩,可减少不适当饮用乌龙茶对肠胃的刺激。

茶叶中的咖啡碱、糖类物质、氨基酸等在烘焙过程中均发生不同程度的变化。广东乌龙茶经长时间烘焙,茶多酚和黄酮类的含量无明显变化,可溶性糖、氨基酸、茶黄素、茶红素的含量下降,茶褐素和水浸出物含量增加^[28]。咖啡碱在乌龙茶烘焙过程中亦会显著下降^[29]。有研究表明,闽北茶区鲜叶、毛茶的咖啡碱含量高于闽南茶区,经过烘焙工序后,两地区茶叶的咖啡碱含量差异减少^[33]。这是因为闽北乌龙茶的烘焙时间要长于闽南的,而咖啡碱对温度极为敏感,长时间的烘焙促进其升华。Wang等^[34]以轻度发酵-中度发酵-高度发酵的三种乌龙茶(铁观音、凤凰单丛、大红袍)为材料研究乌龙茶发酵度与茶多糖类物质的联系,随着发酵程度的增加,茶叶中蛋白质、中性糖醛酸含量随之增加,同时具有高抗氧化活性和 α -葡萄糖苷酶抑制活性的蛋白质结合杂多糖的含量也随着增加,这些多糖类物质被认为有治疗糖尿病的作用。乌龙茶作为治疗糖尿病的偏方,在中国、日本的民间十分盛行。Wang选用的这三种乌龙茶加工工艺的差异是构成它们发酵度不同的最主要原因,其所选铁观音为轻发酵不烘焙、凤凰单丛为中度发酵轻度烘焙、大红袍为重度发酵长时烘焙,是否烘焙会对乌龙茶中具有治疗糖尿病效果的蛋白质结合杂多糖具有积累的作用,相关的专题研究尚未见报。乌龙茶在烘焙过程中产生了一系列物理化学变化,一些产物对人体健康具有积极作用,民间认为适度饮用烘焙适度的“熟”乌龙茶有良好的保健功效^[35],然而尚未见相关的临床试验论证。

焙火促进化合物的异构化、降解,改进茶叶原有的风味。台湾乌龙茶烘焙过程中,具涩味和苦味的没食子酸(gallic acid, GA)和没食子儿茶素没食子酸酯(gallocatechin gallate, GCG)发生分解和异构化,表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)的含量增加,且在长年的后熟过程中保持稳定,而鲜叶中所含有的大量挥发性化合物则在烘焙过程中稳定存在,随着长年的后熟作用而分解^[36]。烘焙阶段绿茶中的赤霉素会快速降解^[37]。茶氨酸是仅存在于茶树及少量山茶科植物中的非蛋白质氨基酸,成品茶中游离茶氨酸占干重的1%~2%,天然的茶氨酸是L型,在加工中可异构化形成D-茶氨酸,茶氨酸及其对映体在烘焙过程也会发生变化。有研究认为清香型铁观音的L-茶氨酸含量显著高于浓香铁观音,并将原因归结为焙火过程中温度与时间的差异^[38]。茶氨酸占茶叶中游离氨基酸总量的50%以上,未见有力的直接证据表明其是否会随着烘焙温度上升而与还原糖类物质发生大规模的美拉德反应。

3.4 烘焙对其他方面的影响

焙火可以降低乌龙茶水分含量,从而提高内质;同时长时间的高温加热有助于降低农药残留。茶叶的含水率过

高会导致微生物生长,使得内部发生剧烈的化学反应,引起品质劣变,而烘焙使茶叶含水率降至3%左右并以分子层的结合水状态存在,使得茶叶能够长期保存^[39]。烘焙前后乌龙茶水分含量适度减少,使得茶叶得到适度干燥、陈化速度减缓。焙火可以消除多余水分,利于贮藏。此外,烘焙能适度杀菌、降低农残。焙火过程中的160℃高温作用可以杀死部分霉菌^[40],并使得一些热敏型农残降解挥发^[41]。

4 结论与展望

虽然烘焙过程中火候处理是整个工艺的关键性技术,但长久以来仍是依靠制茶师傅的经验来掌握温度及烘烤时间,受人为因素和气候影响较大,缺乏科学理论依据。同时鲜叶属生物来源材料,不同批次间的品质差异性较大,需“看茶做茶”,容易导致茶叶质量不稳定,不利于标准化烘焙。目前食品工业、茶叶机械常用的烘焙机(焙茶机)控制系统的执行部件采用加热器原理^[42],一旦温度超过给定值,只能关闭加热元件,使烘焙机自然降温,系统调节时间大大增加,温度超调较大,难以满足对温度精准控制的要求^[43],因此烘焙上等茶叶,除了技术还需随机运气。

目前茶叶烘焙的研究主要涉及化学成分的含量与结构的变化,尚未描画出反应历程图。部分研究面临着取样科学性的问题,一些样品简单地从市面上收集,没有考虑到不同地区的加工工艺、焙火程度、茶树品种、季节、生态环境等因素对茶叶中化学成分的影响,因此不足以说明这些内质的变化是烘焙工艺引起的。简言之,研究乌龙茶焙火的品质化学机制,必须选取相同原料的鲜叶,按照不焙火、不同程度焙火的工艺分别付制样品,这是科学研究的物质基础和保障。

烘焙过程中的化学成分变化规律、香气转化模型的研究还处于起步阶段,焙火的品质化学机制的研究将是制约茶叶烘焙技术发展以及智能化烘焙机械研发的关键点和理论依据。只有探明烘焙过程中的茶叶中挥发性化合物、不挥发性化合物的反应机制,才能够应用于生产实践的指导。

参考文献

- [1] 冯廷俊. “清香型”乌龙茶与“浓香型”乌龙茶之比较[J]. 中国茶叶, 2005, (05): 18-19.
Feng TQ. The comparison of light fermentation Oolong tea and roasting Oolong tea [J]. China Tea, 2005, (05): 18-19.
- [2] 金心怡, 孙云, 孙威江, 等. 清香型乌龙茶生产加工新技术专题(一) 清香型乌龙茶品质特征与发展现状[J]. 中国茶叶, 2007, (01): 12-13.
Jin XY, Sun Y, Sun WJ, *et al.* New technology in production and processing of light fermentation Oolong tea I: The flavor characteristics and development status of it [J]. China Tea, 2007, (01): 12-13.
- [3] 焦杨, 王登良. 乌龙茶传统做青与现代做青新工艺[J]. 广东茶业, 2010, (05): 23-26.
Jiao Y, Wang DL. The traditional and new modern bruising process of Oolong tea [J]. Guangdong Tea Ind, 2010, (05): 23-26.
- [4] 陈加勇. 浓香型安溪铁观音精制加工应注意的技术要点[J]. 福建茶叶, 2012, (03): 20-21.
Chen JY. The key points of added processing of roasting Anxi Tieguanyin [J]. Tea Fujian, 2012, (03): 20-21.
- [5] 刘秋彬. 铁观音烘焙技术的探讨[J]. 福建茶叶, 2014, (03): 23-25.
Liu QB. The discussion of roasting technology of Tieguanyin [J]. Tea Fujian, 2014, (03): 23-25.
- [6] 陈宗懋, 杨亚军. 中国茶经[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
Chen ZM, Yang YJ. Chinese classic of tea [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2011.
- [7] 刘宝顺, 潘玉华. 武夷岩茶烘焙技术[J]. 福建茶叶, 2014, (01): 29-31.
Liu BS, Pan YH. The baking technology of Wuyi rock tea [J]. Tea Fujian, 2014, (01): 29-31.
- [8] 谢善锦. 武夷岩茶手工初制与烘焙技术探讨[J]. 福建茶叶, 2014, (05): 27-29.
Xie SJ. The discussion of hand-made Wuyi rock tea and its baking technology [J]. Tea Fujian, 2014, (05): 27-29.
- [9] 陈泉宾, 邹龄盛, 王振康. 烘焙工艺对乌龙茶美拉德反应产物的影响[J]. 茶叶科学技术, 2014, (04): 29-31.
Chen QB, Wu LS, Wang ZK. Effect of baking on the products by Maillard reaction: a study on Oolong tea [J]. Tea Sci Technol, 2014, (04): 29-31.
- [10] Moon G, Lee M, Lee Y, *et al.* Main component of soy sauce representing antioxidative activity [J]. Int Congress Series, 2002, 1245: 509-510.
- [11] 黄梅桂. 大豆肽美拉德反应体系中色泽抑制及其机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
Huang MG. Study on the color inhibition and its mechanism in soybean peptide Maillard reaction system [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [12] 虞健. 不同烘焙程度咖啡感官特征及主要化学成分分析[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
Yu J. Sensory evaluation of coffee in different roasting degrees and analysis of the main effecting chemicals [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [13] 苏兴茂. 烘焙技术在闽南乌龙茶中的应用与探索[J]. 福建茶叶, 2012(3): 27-29.
Su XM. The exploration and application of baking technology in Minnan Oolong tea [J]. Tea Fujian, 2012(3): 27-29.
- [14] Hodge JE. Dehydrated foods, chemistry of browning reactions in model systems [J]. J Agric Food Chem, 1953, 1(15): 928-943.
- [15] 顾谦, 陆锦时, 叶宝存. 茶叶化学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2002.
Gu Q, Lu JS, Ye BC. Tea chemistry [M]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2002.
- [16] 朱作春, 汤一, 潘蓉, 等. 升温速率对龙井茶烘焙提香品质效果的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2013, (04): 435-443.
Zhu ZC, Tang Y, Pan R, *et al.* Effect of heating rate on the quality of Longjing tea during baking and aroma-improving process [J]. J Zhejiang Univ (Agric Life Sci), 2013, (04): 435-443.
- [17] 钟秋生, 林郑和, 陈常颂, 等. 烘焙温度对九龙袍品种乌龙茶生化品质的影响[J]. 茶叶科学, 2014, 34(01): 9-20.
Zhong QS, Lin ZH, Chen CS, *et al.* Effects of baking temperature on quality and chemical components of Jiulongpao Oolong tea [J]. J Tea Sci, 2014, 34(01): 9-20.
- [18] An Adams, Kourousch Abbaspour Tehrani, Milda Keršienė, *et al.*

- Detailed investigation of the production of the bread flavor component 6-acetyl-1,2,3,4-tetrahydropyridine in proline 1,3-dihydroxyacetone model systems [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52(18): 5685–5693.
- [19] Kim MO, Baltes W. Study on the role of 2,3-Dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4(H)-pyran-4-one in the Maillard reaction [J]. *J Agric Food Chem*, 1996, 44: 282–289.
- [20] 项雷文, 陈文韬. 美拉德反应对乌龙茶品质形成的影响[J]. *化学工程与装备*, 2012, (07): 002.
Xiang LW, Chen WT. Effect of Maillard reaction on the quality of Oolong tea [J]. *Chem Eng Equip*, 2012, (07): 002.
- [21] Isabelle Cutzach, Pascal Chatonnet, Robert Henry, *et al.* Identifying new volatile compounds in toasted oak [J]. *J Agric Food Chem*, 1999, (47): 1663–1667.
- [22] Gu JM. Identification of 2-acetylpyridine in Xiangjing-8618 rice and in Yahankaoluo leaves [J]. *Food Chem*, 2002, 78(2): 163–166.
- [23] Ron GB, William JO, Gary R, *et al.* Volatile flavor components of rice cake [J]. *J Agric Food Chem*, 1999, 47(10): 4353–4356.
- [24] Ames JM. Applications of the Maillard reaction in the food industry [J]. *Food Chem*, 1998, 62(4): 431–439.
- [25] 宋焕禄. 食品风味化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
Song HL. Food flavoring chemistry [M]. Beijing: Chemical Industrial Press, 2008.
- [26] 周雪芳. 焙火对乌龙茶挥发性化合物的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
Zhou XF. Effect of baking on the volatile compounds of Oolong tea [D]. Chongqing: Southwest University, 2013.
- [27] Kuo PC, Lai YY, Chen YJ, *et al.* Changes in volatile compounds upon aging and drying in Oolong tea production [J]. *Sci Food Agric*, 2011, 62(4): 293–301.
- [28] 赖幸菲, 黄亚辉, 赖榕辉, 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*, 2014, 35(2): 91–95.
Lai XF, Huang YH, Lai RH, *et al.* Effects of shaking and baking on quality and biochemical components of Dancong tea [J]. *Food Sci*, 2014, 35(2): 91–95.
- [29] 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(06): 584–588.
Zhen YM, Zhen DY, Ye NX. Small-ov[J]. *J Fujian Agric Forest Univ (Nat Sci Edit)*, 2013, 42(06): 584–588.
- [30] Chen YJ, Kuo PC, Yang ML, *et al.* Effects of baking and aging on the changes of phenolic and volatile compounds in the preparation of old Tieguanyin Oolong teas [J]. *Food Res Int*, 2013, 53(2): 732–743.
- [31] 王秀英. 福建乌龙茶咖啡碱含量分析及烘焙工艺研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.
Wang XY. Analyses of caffeine contents and baking technology of Fujian Oolong tea [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009.
- [32] 抱拙. 焙茶拾趣[J]. *普洱*, 2013, (01): 76–78.
Bao Z. The appreciation of baking tea [J]. *Pu-er*, 2013, (01): 76–78.
- [33] 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 YP, Zhang JM, Huang YR, *et al.* The effect of temperature control charcoal baking on the quality of Wuyi rock tea [J]. *J Yichun College*, 2014, 36(12): 107–110.
- [34] Wang Y, Shao S, Xu P, *et al.* Fermentation process enhanced production and bioactivities of Oolong tea polysaccharides [J]. *Food Res Int*, 2012, 46(1): 158–166.
- [35] 王伟伟, 张铁, 张维, 等. 烘焙型铁观音与市售黑乌龙茶品质的差异性研究[J]. *中国茶叶加工*, 2014, (4): 33–37.
Wang WW, Zhang T, Zhang W, *et al.* Study on quality difference between baked Tieguanyin and commercially dark Oolong tea [J]. *Chin Tea Proc*, 2014, (4): 33–37.
- [36] Chen HP, Liu X, Yang D, *et al.* Degradation pattern of gibberellic acid during the whole process of tea production [J]. *Food Chem*, 2013, 138(2–3): 976–981.
- [37] Bhumiratana N, Adhikari K. Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brewed coffee [J]. *Food Sci Technol*, 2011, 44(10): 2185–2192.
- [38] 董皓. 绿茶贮藏、乌龙茶及其烘焙过程中茶氨酸对映体的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
Dong H. Analyses of theanine in green tea, Oolong tea and baking technology [D]. Chongqing: Southwest University, 2012.
- [39] 金心怡. 茶叶加工工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
Jing XY. Tea processing engineering [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2014.
- [40] 曾国渊. 精制乌龙茶烘焙作用的原理与要求[J]. *福建茶叶*, 2014, (1): 33–34.
Zeng GY. The baking principle and requirement of refined Oolong tea [J]. *Tea Fujian*, 2014, (1): 33–34.
- [41] 李玲琴. 茶叶中农药残留动态及降解技术[D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
Li LQ. The research on degradation technique of pesticide residues in tea [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2007.
- [42] 魏诗琴, 金心怡, 黄家春. 烘干机温度 PID 控制系统及大红袍烘焙效果试验[J]. *茶叶科学*, 2014, 34(06): 557–564.
Wei SQ, Jin XY, Huang JC. The temperature PID control system of dryer and its application on Dahongpao baking [J]. *J Tea Sci*, 2014, 34(06): 557–564.
- [43] 林荣川, 林清娇, 林河通. 铁观音茶烘焙机温度小超调模糊-PID 控制[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2011, (05): 474–478.
Lin RC, Lin QJ, Lin HT. Small-overshoot control of temperature system based on fuzzy-PID for Tieguanyin tea roaster [J]. *J Fujian Agric Forest Univ (Nat Sci Edit)*, 2011, (05): 474–478.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



黄艳, 在读博士研究生, 助教, 主要研究方向为茶叶品质化学与标准化。
E-mail: panpanhuiyi@163.com



孙威江, 博士, 教授, 主要研究方向为茶叶资源育种与标准化。
E-mail: swj8103@126.com