

工夫红茶加工新工艺研究进展

常笑君, 周子维, 朱晨, 王仲, 赵姗姗, 郭玉琼* (福建农林大学园艺学院, 福建福州 350002)

摘要 工夫红茶加工工艺不断创新, 品质不断提高, 给消费者带来更多风味品质的选择。就工夫红茶的加工工艺及其对品质的影响展开归纳和探讨, 并阐述了工夫红茶生产上的新兴技术手段, 旨在为工夫红茶工艺进展和品质研究提供理论依据和参考。

关键词 工夫红茶; 加工工艺; 新技术; 进展

中图分类号 S571.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)24-066-03

Research Advances of Processing Technology of Congou Black Tea

CHANG Xiao-jun, ZHOU Zi-wei, ZHU Chen, GUO Yu-qiong* et al (College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002)

Abstract With the continuous innovation of processing technology of Congou black tea, the quality of Congou black tea has been improved, which gives more flavor choices for consumers. In this research, we summarized and discussed the process crafts and their impacts on the quality of Congou black tea, and described the emerging on the production means of Congou black tea. This article aimed to providing a theoretical basis and reference for technology advances and researches on quality of Congou black tea.

Key words Congou black tea; Process craft; New technologies; Advance

我国作为世界上最早加工和饮用红茶的国家, 早在明代初期就有关于红茶加工的记载, 如“兰膏红茶”、“酥签红茶”等关于红茶生产的记录就被记载于刘基的《多能鄙事》一书中^[1]。近年来, 红茶可有效平衡肠道菌群^[2]、降脂、抗氧化和抗癌^[3]等功效逐渐明晰, 随着人们保健意识的增强, 工夫红茶以独特的品质风味和保健功效受到越来越多消费者的青睐。工夫红茶亦称“红条茶”, 为红茶种类之一, 是我国特有的红茶花色品种, 且生产历史悠久、产区分布广泛, 作为我国的传统出口茶叶种类之一, 在国际市场上具有一定的市场竞争力^[4]。

工夫红茶的加工过程包括鲜叶采摘、萎凋、揉捻、发酵和干燥, 在一定的温度、湿度、pH、氧气等环境条件下, 发生以多酚类酶促氧化为核心的一系列生物化学反应, 逐步形成色泽乌润、香气高爽、汤色红亮、滋味甘醇、叶底红亮的工夫红茶品质特点^[5]。

1 工夫红茶品种适制性的研究

茶树品种是茶叶生产最基本、最重要的生产资料, 是茶产业可持续发展和产业化的基础, 也是影响茶叶优质高产的主要因子之一^[6]。茶树品种是形成茶叶独特品质的基础, 研究表明, 鲜叶中儿茶素含量、多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)活性及其与儿茶素氧化还原电位的亲和力和极大地影响红茶的茶黄素(TFs)和茶红素(TRs)的组成和含量, 从而形成了不同品质的红茶^[7-8]。品种不同, 鲜叶的生化成分含量存在差异, 所制成的茶叶品质也不同, 李家贤等^[9]通过研究不同茶树品种的鲜叶化学组分与红茶品质特征指标, 结果表明, 鲜叶生化物质含量丰富, 茶多酚、儿茶素、水浸出物

等含量高, 酚氨比及酯型儿茶素占比高是构成优质红茶的主要因子。

香气作为工夫红茶重要的品质因子之一与茶树品种、鲜叶老嫩度有密切关系, 品种不同, 鲜叶内脂肪酸含量、糖苷类香气前体物质及内含水解酶特性明显不同, 茶叶的香型就不同^[10]。如适制高香型工夫红茶的主要品种铁观音、黄旦、茗科1号、茗科2号、金牡丹、紫牡丹、春兰、丹桂、梅占等, 品种适制性强, 丰富的内质为花香型工夫红茶品质的形成提供了良好的基础^[11-12]。

2 工夫红茶加工工艺的研究

2.1 萎凋工艺的研究

2.1.1 萎凋过程主要化学变化的研究。萎凋是工夫红茶加工的第一道工序, 也是形成红茶品质的基础工序。在萎凋过程中, 鲜叶一方面发生缓慢失水、叶质变软等物理变化; 另一方面随着水分散失, 酶活性增加, 多酚类化合物不断氧化, TFs和TRs含量增加, 糖类、蛋白质发生水解, 氨基酸和可溶性糖含量增加, 低沸点的芳香物质大量挥发, 高沸点的芳香物质增加^[13]。

2.1.2 萎凋技术的研究进展。萎凋技术直接影响萎凋叶质量, 从而影响红茶品质。研究表明, 在控温控湿的基础上设置辅助光源是提高萎凋效率和红茶品质的重要途径之一, 可弥补无日光条件下红茶香气的不足, 在一定程度上提高工夫红茶的香气^[14]。周颖等^[15]研究认为, 具有强穿透性的紫外光可以破坏叶肉细胞, 使细胞质内的各种酶与其底物充分接触, 促进叶片细胞内各种生化反应, 从而增强了物质转化能力, 可有效提高工夫红茶的各项主要品质成分; 项丽慧^[16]等通过采用LED黄光萎凋工夫红茶, 使其花香高显; 黄藩^[17]通过感官品质和理化品质分析, 得出采用红光(610~630 nm, 2 000 lux)光照萎凋, 并且12 h光照萎凋过程中采用前3 h无光、后9 h红光的光补偿萎凋技术工艺对工夫红茶品质提升最好。

萎凋和乌龙茶做青技术相结合也是提高红茶品质的重

基金项目 农业部“福建省茶产业重大农技推广项目”(KNJ151000); 福建省自然科学基金项目(2013J01085); 福建省重大科技专项项目(2015NZ0002-1); 福建省教育厅项目(JA15143)。

作者简介 常笑君(1992-), 女, 河南濮阳人, 硕士研究生, 研究方向: 茶树种质资源创新与利用。*通讯作者, 副教授, 博士, 从事茶树生物技术与茶叶生物化学研究。

收稿日期 2016-07-08

要措施之一。张静等^[18]研究认为,经中度摇青和重度摇青处理茶叶中茶黄素、茶红素的含量均比自然萎凋高,茶褐素从多到少依次为:重度摇青、中度摇青、自然萎凋、轻度摇青,并且经摇青处理制成的干茶香气要明显优于对照,冲泡后的香气更浓郁持久。这是因为摇青工艺可促进己烯酯类、倍半萜烯类、茉莉内酯等香气物质的合成,同时加大了细胞的机械损伤程度,有利于水解生成高沸点香气物质。周颖等^[15]研究认为,将乌龙茶摇青工艺引入工夫红茶工艺中,使制成的工夫红茶有了浓郁的栀子花香。陈凤月等^[19]研究认为,做青工艺是一个通过控制物理变化、促进化学变化,进而形成高香型坦洋工夫红茶品质的关键工序。虞昕磊等^[20]研究认为,在萎凋中采用日光萎凋和做青技术结合可以明显促进夏秋红茶的香气品质形成,制品的滋味更加甘醇;所制作的夏秋红茶具有条索紧细、挺直,香气浓郁,滋味醇和,汤色红明,叶底红褐、匀整的品质特征,克服了一般夏秋红茶口感苦涩、香气差的缺点。从前人的研究还可以看出,通过工艺的创新,将乌龙茶做青工艺与红茶萎凋工艺相结合,可明显丰富红茶香气组分,提升红茶品质。

2.2 揉捻工艺的研究

2.2.1 揉捻过程主要化学变化的研究。揉捻是工夫红茶塑造外形和形成内质的重要工序,通过外力作用使叶片迅速紧卷形成茶条,破损叶细胞组织,使叶片中的多酚类化合物、蛋白质、氨基酸等物质溢聚叶表皮,与多酚氧化酶、氧气等充分接触,促进生化变化、发挥香气,为下一步的发酵形成工夫红茶独特的品质做好准备^[21]。

2.2.2 揉捻技术的研究进展。工夫红茶揉捻通常分为手工揉捻和机械揉捻,揉捻设备分为单机式揉捻机和自动化揉捻机组^[14]。机械揉捻可以有规律地加减压,从而均衡加大细胞破损率及成条率,使后续发酵工序更充分,条索更为细紧,从而相较手工揉捻更能有效地提高红茶的品质^[22]。单机式揉捻机适用于处理在制叶量较少,且揉捻须通过压力变化,耗费一定时间才可完成的情况,自动化揉捻机组更适用于生产线的大量连续化生产^[14]。

2.3 发酵工艺的研究

2.3.1 发酵过程主要化学变化的研究。发酵是形成工夫红茶独特品质特征的关键工序,其实质是在特定温湿度和供氧条件下,以多酚类酶促氧化生成茶黄素(TFs)、茶红素(TRs)、茶褐素(TBs)等高聚物为核心的一系列生物化学变化,同时芳香物质、糖类、蛋白质等品质成分发生剧烈变化^[23]。

2.3.2 发酵技术的研究进展。实践表明,发酵过程中的湿度、温度、通氧量和发酵时间等是影响红茶发酵质量的主要因子。保持一定的空气相对湿度可以维持叶内水分,使发酵过程顺利进行,相对湿度达95%以上可有效降低发酵叶的花青暗条比例,对发酵最有利。由于温湿度极其有利于霉菌生长,发酵工序中极易发生菌落总数和霉菌的污染,因此发酵程序的卫生条件要严格控制^[24]。陈以义等^[25]通过变温发酵试验指出,高温有利于茶黄素合成,低温有利于其积累,因此

得出发酵过程中先高温后低温有利于形成较多茶黄素和提高红茶品质。张雁飞等^[26]研究认为,冷冻虽然会降低多酚氧化酶活性,但可增加细胞膜透性,有利于多酚类物质的酶促氧化,从而缩短发酵时间,减少茶黄素的消耗,使茶黄素、茶红素含量明显增加,能明显提高汤色和滋味品质。但冷冻处理也会降低糖苷酶的活性,不利于红茶香气的形成。段红星等^[27]研究认为,发酵程度应适度偏轻,宁轻勿重,这将有利于形成较高含量的茶黄素,并减缓茶黄素和茶红素形成以后向茶褐素转变,从而降低茶褐素的含量。邬龄盛^[28]在茗科1号的加工对策中提出发酵趋轻是该品种红茶加工的新亮点,其经偏轻发酵加工而成的成品茶香高、味醇、汤亮,能够满足消费者对于清醇型茶叶风格的需求。潘一斌等^[29]研究认为,轻发酵使工夫红茶具有萜烯醇类花果香,成品茶中茶褐素和茶多酚中的酯型儿茶素含量明显降低,苦涩感降低,游离氨基酸含量增加,茶汤滋味更加鲜爽。

2.4 干燥工艺的研究

2.4.1 干燥过程主要化学变化的研究。干燥是工夫红茶加工的最后道工序,也是决定品质形成的重要环节^[30]。干燥过程不仅能迅速地钝化各种酶的活性、稳固成茶外形,还能通过高温热作用来激化高沸点的芳香物质,使内含成分发生微妙变化,从而形成红茶特有的品质特征^[31]。

2.4.2 干燥技术的研究进展。不同的干燥方法对工夫红茶品质有不同的影响。崔文锐等^[32]探讨了锅炒、烘干和微波3种不同干燥方式对工夫红茶品质的影响,结果表明,锅炒干燥制成的成茶品质最好,然后是烘干,微波干燥制成的成茶由于外形疏松、香气不足等品质表现最差。锅炒红茶不易炒至足干,且制率较低、茶汤浑浊,因此生产上多以烘干为主。实践应用发现,微波干燥与其他干燥方式配合使用效果较好,林国轩等^[33]应用微波-热风联合干燥制成的工夫红茶香气甜香浓郁,滋味醇厚,优于单独微波干燥、热风干燥的品质。罗勇等^[34]研究表明,相较于烘-烘-烘、烘-炒-炒的干燥方式,烘-炒-烘的干燥方式对于结合摇青工艺加工制作的工夫红茶品质最优,可有效稳固红茶的外形和内质。

3 新技术在工夫红茶加工中的应用

3.1 外源物质添加技术 在发酵过程中添加外源物质等方式近年来被国内外学者用于提高红茶品质。如日本将适量多酚氧化酶加入自然萎凋后的中低档鲜叶中,然后经揉捻发酵,结果发现可以有效地缩短发酵时间并明显提高了茶叶的品质^[35]。黄建琴^[36]研究指出,在红茶加工中添加适量糖氮化合物可有效提高红茶中茶黄素、氨基酸和水浸出物含量,有利于提升香气和滋味。周颖等^[15]研究表明,鲜叶经萎凋处理后添加外源茶汁发酵,可明显提高干茶中茶黄素和多糖的含量。

3.2 通氧发酵技术 作为多酚类酶促氧化反应的底物,氧气是影响红茶中茶三素等色素物质形成的最关键的影响因子。红茶发酵过程需要消耗大量的氧气,如果供氧不足则会导致多酚氧化酶活性中心呈脱氧状态,不利于多酚类物质的氧化和茶黄素的合成,促使茶红素合成。通氧发酵可以有效

促使多酚氧化酶的含 Cu 活性中心由脱氧态向氧合态转化,有利于提高多酚氧化酶的活性并且促进茶色素的合成。相较于红茶的传统发酵,通氧发酵不仅可加速发酵叶面的红变、形成红茶特征香气以及缩短发酵时间,而且还能使汤色更加红艳明亮^[23]。冯林^[37]研究指出,随着通氧时间的增长,茶叶中的茶多酚含量明显下降,萜烯类衍生物等香气组分逐渐增多,茶黄素和茶红素含量先增多后减少,茶褐素则是缓慢增多。董春旺等^[38]基于红茶发酵原理和工艺技术特点设计了一种红茶可视化富氧发酵机,该设备整机采用可视化透明发酵筒、搅拌均匀质和隧道加热技术相结合,有效解决了红茶传统发酵设备供氧不足、难翻拌、发酵不均和作业状况难观察等不利因素。

3.3 电子监测技术 电子监测设备的开发与利用为监测红茶发酵程度提供了新的研究方法,如电子鼻、电子舌等。Prolay 等^[39]提出使用由 8 个石英晶体微量天平(QCM)传感器构成的电子鼻实时监控红茶最佳发酵时间的方法,并确定了 12 个红茶样品的最佳发酵时间,结果显示与紫外分光光度计法的检测结果具有较好的一致性。Arunangshu 等^[40]提出使用具有 5 个惰性金属电极的电子舌来监测红碎茶发酵进程并检测最佳发酵时间的方法,适当的大振幅伏安波形被用于探测发酵过程中茶叶样品的化学变化,结果显示,在不同发酵阶段电子舌的反应与主成分分析(PCA)之间的相关性良好,并基于偏最小二乘回归技术发明了实时显示发酵水平的模型。周颖等^[41]运用电子鼻技术对各样品茶进行分析,发现 P40/1、T70/2、PA/2、P30/1 4 种传感器对茶叶香气测定的贡献率较大,判别因子分析方法比主成分分析方法更能有效区分小同工夫红茶样品,结果得出选用电子鼻小同传感器及相应的统计分析方法,可以对工夫红茶加工小同阶段产生的香气进行归类并加以区分。

4 小结与讨论

红茶作为国际市场的主销茶类,在全球茶叶销量中占比 80% 左右。工夫红茶作为我国特有红茶种类,在国际市场上具有一定的竞争力。2007 年以来,我国红茶内销量大幅度提升,2015 年全国红茶产量增长幅度达到 10% 以上,超过乌龙茶(4.70%)的增幅,红茶产量为 25.3 万 t,在干毛茶产量中占比有所上升^[42]。因此,研究工夫红茶加工新工艺,开发具有特色的工夫红茶产品具有重要意义。

从研究现状综合来看,工夫红茶加工过程中新工艺的研究具有一定的成果,对于实际生产具有积极指导作用。如在萎凋工艺方面,与乌龙茶加工工艺相结合加工花果香型工夫红茶已应用于生产实践,得到了消费市场的好评;外源光辅助萎凋技术体现出了其优越性,但应用于生产实践还有待进一步的研究。在发酵工艺方面,轻发酵型工夫红茶在生产实践中已有应用,受到消费者的认可,可视化富氧发酵机的研制使通氧发酵投入实践应用,可以进行稳定连续的名优红茶发酵,对于工夫红茶具有很好的推广应用价值;变温发酵和添加外源物质发酵技术还主要停留在试验阶段;电子监测设备的应用为工夫红茶发酵工程采用电脑监控以及实现自动

化生产提供了可能,但是该技术仍处于研究阶段,有待进一步的发展。

参考文献

- [1] 巩志. 中国红茶[M]. 杭州:浙江摄影出版社,2005.
- [2] 许靖逸,崔修丹,陈昌辉,等. 六大茶类对部分肠道致病菌抑菌效果的研究[J]. 食品工业科技,2013,34(16):140-142.
- [3] 董丽华,朱旭,姜仕柱,等. 茶多酚对人结肠癌细胞株 Caco-2 凋亡及 RhoA 蛋白活性的影响[J]. 实用临床医药杂志,2014(7):7-10.
- [4] 陈宗懋. 中国茶叶大辞典[M]. 北京:中国轻工业出版社,2011.
- [5] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京:中国农业出版社,2007.
- [6] 杨亚军. 茶树育种品质早期化学鉴定:I. 鲜叶的主要生化组分与红茶品质的关系[J]. 茶叶科学,1990(2):59-63.
- [7] LIANG Y R, LU J L, ZHANG L Y, et al. Estimation of black tea quality by analysis of chemical composition and colour difference of tea infusions[J]. Food chemistry, 2003, 80(2):283-290.
- [8] OWUOR P O, OBANDA M. The use of green tea (*Camellia sinensis*) leaf flavan-3-ol composition in predicting plain black tea quality potential[J]. Food chemistry, 2007, 100(3):873-884.
- [9] 李家贤, 黄华林, 何玉娟. 高茶黄素品种鲜叶化学成分与红茶品质特征指标研究[J]. 广东农业科学, 2008(8):105-106, 111.
- [10] 廖书娟. 不同茶树品种脂肪酸和糖苷类香气前体物质的研究[D]. 重庆:西南大学, 2006.
- [11] 王振康, 郭龄盛, 郭少平, 等. 高香型工夫红茶初制加工技术[J]. 福建茶叶, 2010(10):50-53.
- [12] 叶乃兴, 杨如兴, 郭吉春, 等. 福建茶树遗传资源的多样性和品种创新[J]. 福建农林大学学报, 2004, 33(2):174-177.
- [13] TOMBS K I, MASHINGAIDZE A. Influence of withering, including leaf handling, on the manufacturing and quality of black teas; a review[J]. Food chemistry, 1997, 60(4):573-580.
- [14] 李鑫磊, 林宏政, 俞少娟, 等. 工夫红茶加工技术与设备研究进展[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(6):338-344.
- [15] 周颖, 谭婷, 罗勇, 等. 不同加工处理对工夫红茶呈味成分的影响[J]. 茶叶通讯, 2015, 42(2):29-34.
- [16] 项丽慧, 林藜茗, 孙威江, 等. LED 黄光对工夫红茶萎凋过程香气相关酶基因表达及活性影响[J]. 茶叶科学, 2015(6):559-566.
- [17] 黄蓓. 工夫红茶光补偿萎凋技术工艺研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2015.
- [18] 张静, 徐仲溪. 摇青工艺在工夫红茶加工过程中的应用研究[J]. 湖南农业科学, 2013(10):30-31.
- [19] 陈凤月, 潘玉华, 黄先洲. 花香型坦洋工夫红茶萎凋技术[J]. 农产品加工(创新版), 2012(9):68-70, 74.
- [20] 虞昕磊, 姚燕妮, 朱雯, 等. 夏秋鲜叶加工红茶的萎凋技术研究[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(2):424-427.
- [21] 江用文. 中国茶产品加工[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2011.
- [22] 韩余, 肖宏儒, 秦广明, 等. 红茶加工工艺及机械设备研究进展[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(2):20-25.
- [23] 俞露婷, 袁海波, 王伟伟, 等. 红茶发酵过程生理生化变化及调控技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(22):263-269.
- [24] 黄建琴, 丁勇, 王宏树, 等. 工夫红茶加工中微生物和重金属污染研究[J]. 福建茶叶, 2008(3):25-26.
- [25] 陈以义, 江光辉. 红茶变温发酵的理论探讨[J]. 茶叶科学, 1993, 13(2):81-86.
- [26] 张雁飞, 李立祥, 张小福, 等. 冷冻对红茶品质的影响[J]. 茶叶科学, 2013, 33(4):370-376.
- [27] 段红星, 邵宛芳. 红茶加工中物质变化与品质形成的关系[J]. 福建茶叶, 2004(2):13-14.
- [28] 郭龄盛. 金观音红茶品质特征与加工工艺对策[J]. 福建茶叶, 2011(2):27-28.
- [29] 潘一斌, 孙云. 花果香型工夫红茶品质形成的研究进展[J]. 茶叶科学技术, 2014(1):1-6.
- [30] 陈椽. 制茶学[M]. 北京:中国农业出版社, 1979:321.
- [31] 宛晓春. 红、绿茶干燥过程的热化学变化[J]. 茶叶科学, 1988, 8(2):47-52.
- [32] 崔文锐, 杨绪旺. 三种干燥方式对工夫红茶品质的影响[J]. 福建茶叶, 2005(2):9-10.
- [33] 林国轩, 罗小梅, 邓丽洪, 等. 微波-热风联合干燥技术对工夫红茶品质的影响[J]. 中国茶叶, 2014(7):20-21.
- [34] 罗勇, 陈创, 陈慧, 等. 不同干燥方式对运用摇青工艺制作的工夫红茶品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2015(8):87-89.

但是相关文献研究以卷烟纸、助燃剂的裂解行为为主,但这些文献主要用于不同温度裂解行为研究,而不是用于模拟裂解评价,采用的裂解温度、气氛均有较大差异。建立热裂解试验方法的标准规范,获得科学一致的试验数据,是开展这部分烟用材料物质安全性评估工作的前提。当前,烟草行业无法规范化地对卷烟纸中的物质进行安全性评估程序。目前,烟草行业对烟用材料的热裂解研究主要用于不同裂解条件下的裂解行为研究,尚无参与燃烧烟用材料的热裂解试验条件方面的规程,研究工作还不系统,这将是今后需要努力的方向。

随着新技术、新材料的不断应用,在烟用材料安全性评估领域,许多改变使用量或用途的物质可能被应用到烟用材料中,需要对这些物质进行科学、规范的安全性评估。因此,建立烟用材料新物质的安全性评估程序,为全面开展烟用材料新物质的安全性评估工作奠定了基础。采用模拟裂解对参与燃烧的烟用物质进行评价是一种方便有效的方法。卷烟纸在卷烟燃吸时高温裂解,会产生新的物质。采用裂解技术模拟卷烟燃吸时的环境,根据裂解产物对这些物质进行安全性评价具有一定的科学性和便捷性。

参考文献

- [1] 谢剑平. 烟草与烟气化学成分[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
- [2] 于川芳,罗登山,王芳,等. 卷烟“三纸一棒”对烟气特征及感官质量的影响(一)[J]. 中国烟草学报,2001,7(2):1-7.
- [3] 张宏宇,刘春波,王晋,等. 烟草燃烧行为的研究进展[J]. 现代科学仪器,2014(4):23-28.
- [4] 胡永华,徐迎波. 卷烟烟气化学成分的在线和实时分析研究进展[J]. 中国烟草学报,2010,16(2):78.
- [5] 李巧灵,陈晓东,李军,等. 卷烟燃烧模型研究进展[J]. 中国烟草学报,2013(2):115-122.
- [6] MARTIN S B. Gas chromatography: Application to the study of rapid degradative reactions in solids[J]. Journal of chromatography A, 1959,2(3):272-283.
- [7] IRWIN W J. Analytical pyrolysis: An overview[J]. Journal of analytical & applied pyrolysis, 1979,1(2):89-122.
- [8] SCHEIJEN M A, BOON J J. Micro-analytical investigations on lignin in enzyme-digested tobacco lamina and midrib using pyrolysis-mass spectrometry and Curie-point pyrolysis-gas chromatography / mass spectrometry[J]. Journal of analytical & applied pyrolysis, 1991,19(7):153-173.
- [9] SCHMELTZ I, SCHLOTZHAUER W S. Benzo(a)pyrene, phenols and other products from pyrolysis of the cigarette additive, (d,1)-menthol[J]. Nature, 1968,219(5152):370-371.
- [10] MITSUI K, DAVID F, DUMONT E, et al. LC fractionation followed by pyrolysis GC-MS for the in-depth study of aroma compounds formed during tobacco combustion[J]. Journal of analytical & applied pyrolysis, 2015,

116:68-74.

- [11] LEE J G, LEE C G, KWAG J J, et al. Fast analysis of nicotine in tobacco using double-shot pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of agricultural & food chemistry, 2007,55(4):1097-1102.
- [12] HALKET J M, SCHULTEN H R. Rapid characterization of tobacco by combined direct pyrolysis-field ionization mass spectrometry and pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of analytical & applied pyrolysis, 1985,8(1/2/3/4):547-560.
- [13] 黎军,陈纪文,陈满英,等. 热裂解-气相色谱-质谱联用法鉴定水性涂料中表面活性剂[J]. 理化检验(化学分册),2014,50(6):665-669.
- [14] 李明静,王勇,赵东保,等. 怀山药成分的热解气相色谱-质谱分析[J]. 化学研究,2008,19(1):77-79.
- [15] 续大义,程光荣,曹淑兰,等. 居里点裂解-气相色谱-质谱鉴别热固性树脂研究[J]. 高分子材料科学与工程,1988(2):28-32.
- [16] 潘永红,王万卷,余巧玲,等. 基于热重分析和热裂解气相色谱-质谱联用法的液晶聚合物热裂解成分检测[J]. 塑料科技,2016,44(1):90-93.
- [17] 蔡波,周博,冯斌,等. 猕猴桃提取物的制备、表征及其在卷烟加香中的应用[J]. 食品工业,2016(1):153-157.
- [18] 孔浩辉,郭璇华,沈光林. 卷烟烟丝热裂解产物香味成分分析[J]. 烟草科技,2009(5):38-43.
- [19] 董宁宁. 不同温度条件下卷烟的热裂解 GC/MS 研究[J]. 质谱学报,2003,24(1):283-286.
- [20] 卢岚,严新龙,李新生,等. 不同涂布率再造烟叶热裂解产物比较分析[J]. 安徽农业科学,2014,42(33):11875-11878.
- [21] 王晔,姚伟,王维生,等. 卷烟纸的热失重与热裂解[J]. 烟草科技,2008(11):19-22.
- [22] 丁丽婷,王笛,张瑞,等. 低引燃倾向(LIP)卷烟纸热失重和热裂解产物的研究[J]. 应用化工,2010,39(12):1857-1859.
- [23] 孙川,桂永发,缪明明. 麻浆卷烟纸热裂解产物的气相色谱/质谱分析[J]. 应用化学,2008,25(12):1478-1483.
- [24] 杨卫花. 卷烟粘合剂中的挥发性有机化合物的测定及搭口胶热裂解产物研究[D]. 昆明:云南大学,2009.
- [25] 李国政,邱建华,张峻松,等. 气质联用法测定烟用搭口胶热裂解产物中的苯系物[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版),2014(5):44-46.
- [26] 黄海群,杨绍文,李庚,等. 五种卷烟纸助剂热裂解产物分析[J]. 应用化工,2009,38(2):300-301.
- [27] 刘静,侯英,杨蕾,等. 烟草中多酚热裂解产物研究[J]. 化学研究与应用,2011,23(1):63-65.
- [28] 郑宏伟,刘新建,崔伟,等. 天门冬氨酸热裂解行为对卷烟烟气成分的影响[J]. 湖北农业科学,2014(9):2149-2152.
- [29] 李石头,李山,王莹莹,等. 3-羟基-β-二氢大马酮的合成及在线热裂解研究[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版),2013,28(2):64-68.
- [30] 李有桂,卢梦梦,朱成峰,等. 甲基环戊烯醇酮-β-D-吡喃葡萄糖苷的合成及其热裂解[J]. 烟草科技,2015,48(6):45-51.
- [31] 秦云华,向能军,缪明明. Py-GC/MS 分析烟用添加剂黄芩浸膏的热裂解产物[J]. 化学研究与应用,2010,22(4):420-425.
- [32] 赵瑞峰,程侠,叶荣飞,等. β-紫罗兰酮热裂解行为的初步探讨[J]. 中山大学学报(自然科学版),2014,53(2):88-93.
- [33] 杨燕,曹秋娥,徐济仓,等. 烟用香料无花果提取物的热裂解产物研究[J]. 光谱实验室,2006,23(6):1288-1291.

(上接第68页)

- [35] 徐明珠. 工夫红茶加工新工艺的研究[D]. 武汉:华中农业大学,2011.
- [36] 黄建琴. 糖氮化合物优化红茶品质研究[J]. 茶叶科学技术,1998(1):7-10.
- [37] 冯林. 工夫红茶通气氧发酵技术及其化学成分变化研究[D]. 重庆:西南大学,2012.
- [38] 董春旺,叶阳,江用文,等. 工夫红茶可视化富氧发酵机设计及试验研究[J]. 茶叶科学,2015,35(4):370-376.
- [39] SHARMA P, GHOSH A, TUDU B, et al. Monitoring the fermentation process of black tea using QCM sensor based electronic nose[J]. Sensors

and actuators B:Chemical,2015,219:146-157.

- [40] GHOSH A, BAG A K, SHARMA P, et al. Monitoring the fermentation process and detection of optimum fermentation time of black tea using an electronic tongue[J]. IEEE sensors journal, 2015,15(11):6255-6262.
- [41] 周颖,刘任,谭婷,等. 电子鼻对不同加工处理工夫红茶香气聚类的方法评价[J]. 食品安全质量检测学报,2015,6(5):1611-1618.
- [42] 国家茶叶产业技术体系产业经济研究所. 2015年我国茶叶产销形势通报[EB/OL]. [2016-06-05]. <http://www.chinatsss.cn/index.php?a=show&c=index&catid=49&id=729&m=content>.