

绿茶“三绿”特征成分的研究进展

郭丽^{1,2}, 赖凌凌², 屈艳勤², 林智^{1*}, 郭雅玲^{2*}

1(中国农业科学院茶叶研究所, 浙江 杭州, 310008) 2(福建农林大学园艺学院, 福建 福州, 350002)

摘要 绿茶色素是“三绿”特征呈现的物质基础,但呈色组分在干茶、茶汤和叶底中的表征能力存在明显差异。文中介绍了脂溶性色素和水溶性色素的构成、含量以及各组分在加工中的变化规律,明确指出杀青和干燥是绿茶护绿的关键工序;阐述了分光光度计法、薄层色谱法、高效液相色谱法等不同分析方法在测定绿茶呈色物质中的优缺点,指出超高效液相色谱法的分析效果更佳;分析了传统感官审评法在色泽评价的不足,综述了现代感官评价法在茶叶色泽判定中的应用现状。综上所述,绿茶呈色物质的发掘必需采用先进的科学仪器,建立高效的、分离度高的分析方法,以期尽早鉴定出未知呈色成分,查明显色成分的互作效应,完善绿茶色泽品质的化学评价体系。

关键词 绿茶;色泽;脂溶性色素;水溶性色素;感官审评

绿叶绿汤的绿茶为茶之精品,长期以来颇受消费者的喜爱。众人皆知绿茶有个“绿色法宝”——三绿(外形绿、汤色绿、叶底绿)。这个“绿”的呈色物质一直以来都是绿茶色素化学研究的热点,认为水溶性色素是茶汤的主要呈色物质,脂溶性色素是次要的^[1],但是色素成分间的互作特性尚未明确,并且决定干茶色泽质量的主要成分是脂溶性色素,尤其是叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量及配比等。因而在开展干茶色泽的相关研究时,理应重点研究脂溶性色素的形成机理。目前,由于尚未查明所有茶叶色素对干茶和叶底色泽的表征作用,难以从化学角度来评价固态茶叶色泽,也不能有针对性地指导绿茶加工。因此,本文着重介绍了绿茶的关键呈色成分及其分析方法研究进展,阐述了绿茶色泽评价的研究现状,期望更多的专家学者投身茶叶色素化学研究,进一步深度挖掘与利用茶叶色素,早日实现绿茶色泽品质的定向加工与调控,研发具有保健功效的茶食品、茶纺织品等终端产品,拓展茶叶的应用新领域,以延长茶产业链。

1 绿茶的“三绿”特征成分

绿茶色泽的典型特征就是“三绿”,呈绿特征的

化学物质基础主要是茶叶色素。这些色素依其溶解性的不同,可分为脂溶性色素和水溶性色素。

1.1 脂溶性色素及其在绿茶加工的变化

茶叶中脂溶性色素主要有叶绿素类化合物和类胡萝卜素化合物,其中叶绿素类化合物中含量较高的是叶绿素 a (chlorophyll a, Chla) 和叶绿素 b (chlorophyll b, Chlb),约占干茶重的 0.3% ~ 0.8%,对绿茶的绿色调起主导作用;类胡萝卜素化合物包括胡萝卜素(carotenem, Car)和叶黄素(xanthophylls, Xan),约占干茶重的 14.4% ~ 29.2%^[2],决定着绿茶的黄色度。

大量的研究表明,绿茶加工中脂溶性色素在酶和热力作用下发生降解反应,生成一系列叶绿素和胡萝卜素的衍生物。杀青工序和做形工序是叶绿素降解形成脱镁叶绿素的主要工序,Chla 和 Chlb 在加工中呈下降趋势,脱镁叶绿素 a (pheophytin a, Pya) 与脱镁叶绿素 b (pheophytin b, Pyb) 呈上升趋势,叶绿酸酯 a (chlorophyllide a, Cda) 和叶绿酸酯 b (chlorophyllide b, Cdb) 变化较小^[3]。类胡萝卜素在加工中呈下降趋势,滚二青时下降更为突出,其中 β -胡萝卜素和叶黄素分别下降了 15.95% 和 22.59%^[4];绿茶的干燥方式对脂溶性色素的形成也有影响,冷冻真空干燥绿茶的叶绿素含量最高,比热风干燥高出 50.4%,并且冷冻与热风联合干燥的比热风干燥高出 20%^[5]。LEE 等^[6]认为,冷冻干燥能最大程度地保留叶绿素、芦丁和 β -胡萝卜素等脂溶性色素,其次是微波干燥。因而就绿茶护绿而言,预测冷冻干燥和微波将来有望成

第一作者:硕士,助理研究员(林智,郭雅玲为通讯作者,E-mail:linz@tricaas.com;E-mail:yaling7819@126.com)。

基金项目:国家茶叶产业技术体系项目(CARS-23);浙江省科技计划项目(2013C32098);中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-2014-TRICAAS);福建省技能大师工作室建设项目([2012]398号)

收稿日期:2015-11-24,改回日期:2016-01-13

为主要干燥方法。

1.2 水溶性色素及其在绿茶加工的变化

水溶性色素也是绿茶的主要呈色物质,主要是黄酮醇及黄酮苷、花青素、儿茶素氧化产物等多酚类化合物。这些物质的种类、含量及配比对绿茶的色泽品质有影响,尤其是汤色的色度 a 值和色度 b 值^[7-10]。但这些呈色物质很不稳定,部分会发生化学变化,致使茶汤色泽劣变。现有研究表明,绿茶汤色的劣变主要是儿茶素与黄酮醇单糖苷共同作用的结果,主要表现为儿茶素的自动氧化和脱没食子化反应,杨梅素苷的降解反应。并且杨梅素苷与汤绿色度、黄度的相关性显著^[11-12]。由此可见,水溶性色素在绿茶汤色劣变中扮演极其重要的角色,很值得进一步深入研究,尤其是其形成机理。

普通绿茶中花青素和儿茶素氧化物的含量较低,除了紫芽叶绿茶外。王秋萍等^[13]发现,紫娟晒青茶的原花青素、花青素与茶褐素分别比对照高 2.47%、1.16% 和 0.85%。这类茶的主要呈色成分是 14 种花色苷、24 种黄酮、8 种酚类以及 3 种生物碱,花色苷类物质主要有天竺葵素-3-葡萄糖苷或天竺葵素-3-半乳糖苷、天竺葵素-3-(6-香豆酰基)-葡萄糖苷、飞燕草素-3-葡萄糖苷、飞燕草素-3-芸香糖苷、飞燕草素-3-O-(6-香豆酰基)-葡萄糖苷、原翠雀定-2(或 4)3'-O-没食子基(prodelphinidin B-2(or 4)3'-O-gallate)、原花青素 B-2(或 4)3'-O-没食子基(procyanidin B-2(or 4)3'-O-gallate)、牵牛花色苷-3-4 乙烯基表儿茶素(petunidin-3-glc-4-vinylphenol)和锦葵色素-3-4 乙基表儿茶素(malvidin-3-glc-4-vinylepicatechin)等^[14]。而以紫娟种鲜叶加工成烘青绿茶,花色苷类物质的组成略有不同,主要是天竺葵素-3,5-二葡萄糖苷(pelargonidin-3,5-diglucoside)、矢车菊-3-O-半乳糖苷(cyanidin-3-O-galactoside)、天竺葵色素(pelargonidin)和锦葵色素(malvidin),含量依次是 83.5、227.0、46.3 和 70.5 $\mu\text{g/g}$ ^[15]。由此可见,加工工艺影响绿茶呈色物质的形成。

水溶性色素还是发酵茶(红茶、黑茶)中的重要色素成分,特别是儿茶素氧化产生的茶黄素类、茶红素类、茶褐素类等。这类物质与汤色色度 a 值和 b 值的相关性显著,还是关键呈味成分,因而倍受国内外专家学者的关注^[16-18]。这类物质还具有一定的保健功效,如有明显的抗氧化作用,能提高脂类物质代谢关键酶 HL 和 HSL 活性,增加 HSL 在肝脏组织与脂肪组织的 mRNA 表达量,还具有良好的自由基清除

能力^[19-21]。茶色素染色棉织品具有抗菌功效,上染的丝织品还具有抗紫外线作用^[22-23]。上述研究表明,红茶与黑茶色素成分的化学结构已基本查明,并且其在印染与医学上的应用研究正处于进行时。但是绿茶色素的应用多见于食品领域,因而亟待开展绿茶色素的基础化学研究,为将来拓展应用领域奠定坚实的基础。

多酚类物质既是绿茶的关键呈味成分,也是重要的呈色成分。研究表明,鲜叶摊放过程中呈先下降后上升的趋势^[24],而郭丽等^[25]发现鲜叶摊放后茶多酚含量略有上升,可能是原料不同所致。但是,经 UV 处理鲜叶摊放中茶多酚和总黄酮总体却呈递增趋势,后期略有下降^[26];杀青工序钝化了酶的活性,严重削弱了呈色物质形成的酶促作用。后续加工中呈色物质的转化主要是靠热力作用。对比热风干燥、冷冻干燥对绿茶多酚类物质的形成影响,刘玉芳等^[5]发现冷冻干燥对茶多酚的保留更为有效。

2 绿茶“三绿”特征成分的分析方法

2.1 脂溶性色素的分析方法

脂溶性色素通常采用有机试剂提取,较为常用的是丙酮、石油醚等。分析测定时,可选用分光光度计法、薄层色谱法和液相色谱法等。李名君等^[27]采用分光光度计法能分析出叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素酸酯 a、叶绿素酸酯 b、脱镁叶绿素 a、脱镁叶绿素 b、脱镁叶绿素酸酯 a、脱镁叶绿素酸酯 b 等 8 种脂溶性色素。相对而言,薄层色谱分析法的分离速度更快、鉴定的组分更多,还鉴定出了 β -胡萝卜素、 γ -胡萝卜素、玉米黄素、紫黄质和叶黄素等 5 种脂溶性色素^[28]。但是,薄层色谱分析法也存在着不足之处,鉴定的色素组分不一定是单一化合物,有可能是混合物^[29],因此需要进一步的验证、解析。绿茶中的脂溶性色素成分很多,SUZUKI 等^[30]鉴定出 41 种叶绿素和 38 种胡萝卜素。LEE 等^[6]又采用高效液相色谱(HPLC)法分析绿茶中的脂溶性色素,但是此法的分离效果不够理想,可测定色素种类较少。相比之下,超高效液相色谱(UHPLC)法具有明显的优势,不仅分析时间缩短了,色素的分离效果也明显提升了^[31]。以上研究表明,绿茶中脂溶性色素研究取得较好的进展,若引入先进的 UHPLC 分析技术,可能会发现新的脂溶性化合物。

2.2 水溶性色素的分析方法

黄酮类化合物在水溶性色素体系中所占的比重

较大,已为茶叶化学研究的热点之一。为了准确地测定总黄酮,何书美等^[32]比较了 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3$ 法和 AlCl_3 法的优缺点,认为多酚类含量较高的茶叶更适宜采用 AlCl_3 法。但仅知黄酮总量,尚不能明确影响汤色的是黄酮醇苷,还是黄酮醇。基于此,朱博等^[33]优化出绿茶茶汤的酸解条件:5 mL 茶汤中加 15 mL 纯甲醇、5 mL 的 6 mol/L HCl,在 75 °C 下水解时间 2 h,并建立了 3 种黄酮苷类的 HPLC 分析方法。然而由于实验条件的限制,仍只能测出 3 种黄酮苷的总量。随着研究的不断深入,吴春燕等^[34]在探讨不同茶树品种的黄酮苷含量差异时,建成了 12 种黄酮苷类化合物的液相色谱与质谱联用的分析方法。刘阳等^[35]又在此基础上建立了山柰酚-3-O-芸香糖苷(Kae-rut)、山柰酚-3-O-葡萄糖苷(Kae-glu)、山柰酚-3-O-半乳糖苷(Kae-gala)、槲皮素-3-O-葡萄糖苷(Que-glu)、槲皮素-3-O-半乳糖苷(Que-gala)、杨梅素-3-O-鼠李糖苷(My-rha)、杨梅素-3-O-半乳糖苷(My-gala)、牡荆素-2"-O-鼠李糖苷(Vit-rha)和牡荆素(Vit)、杨梅素(My)、槲皮素(Que)、山柰酚(Kae)、槲皮素-3-O-芸香糖苷(Que-rut)和槲皮素-3-O-鼠李糖苷(Que-rha)等 14 种化合物的 HPLC 分析方法,为进一步研究黄酮苷类化合物在茶叶色泽品质形成中的作用奠定了坚实基础。

3 绿茶“三绿”特征的评价方法

3.1 传统感官评价法

色泽是食品质量的重要指标,也是茶叶的重要品质因子。传统的检测方法有目视法和目视比色法^[36]。针对茶叶而言,通常是采用目视比色法,现行通用的色泽评价方法即评语与评分相结合的感官审评法,执行的最新国家标准为 GB/T 14487—2008《茶叶感官审评术语》、GB/T 23776—2009《茶叶感官审评方法》和 GB/T 18797—2012《茶叶感官审评室基本条件》。在茶叶生产与评比中,描述绿茶干茶色泽的术语主要有嫩绿、翠绿、深绿、墨绿、黄绿、嫩黄、灰绿、银白、暗绿、青褐和暗褐等,表征汤色的术语有嫩黄、黄亮、黄绿、绿亮、泛红、红汤等,评定叶底时常用绿明、红梗红叶、青暗、青褐、花青、靛青、黄熟等^[37]。然而此法对评审人员和评审环境的要求较高,即便是在达到国际标准的食品感官审评室中,评审人员也必须是拥有敏锐的感觉器官并掌握系统的专业知识的专业评茶员。从此角度来看,该法的判定结果易受人为因素的影响,并且费时费力,因而亟需研发

新的更为客观的感官评价方法。

3.2 现代感官评价法

为弥补目视比色法的不足,提高茶叶色泽评价的效率和评价结果的精确度,国内外专家学者先后开展了相关研究。研究证实,采用测色仪分析茶叶色泽是可行的^[38-40], $L^*a^*b^*$ 表色系比 Yxy 表色系和孟塞尔颜色系统更适用色泽的测定^[41],并且色度值的稳定性与重现性良好。陈慧春^[42]分析绿茶、红茶、青茶、黑茶及黄茶的干茶、茶汤和叶底色泽,发现它们与茶类的相关系数为 0.97,说明茶叶色泽可作为茶叶分类的参考依据,能快速地评价茶叶品质^[43]。但是测色仪分析干茶色泽时,样品需进行磨碎处理,因此会影响测试结果的准确性。

随着计算机视觉技术的发展,茶叶色泽的识别研究取得很大进展。王文杰等^[44]利用 S 处理法图片,建成了一套电脑测定茶叶色泽 Lab 参数的方法,并比较了茶样颗粒与图像分辨率对测色结果的影响^[45],但是茶样磨碎前后的色泽是有差异的。而陈全胜等^[46]设计的图像采集光源系统,能实现色泽的无损检测,即先利用计算机视觉技术定量描述碧螺春、龙井茶和祁红的颜色特征,基于 HIS 颜色系统建立了相应的识别模型,并进行验证分析。实验结果表明,利用计算机视觉技术识别茶叶的色泽类型是可行的,汪建等^[47]的研究结果也是如此。因此王校常等^[48]研究并开发扁条类茶及芽茶色形品质指标分析软件(2011SR069586),建成大佛龙井专用的外形识别模型,为其它名优绿茶的外形品质评价提供了参考依据。

绿茶干茶色泽的“第一印象”很重要,汤色的优劣直接影响“印象分”的升降,而且汤色品质在感官评价中的重要性也很突出。陆建良等^[8]茶汤色差与茶叶感官品质相关性,发现绿茶汤色评分、滋味评分及总分与汤色明亮度(L 值)呈显著正相关,而与红绿度(a 值)及黄蓝度(b 值)呈显著负相关;并且汤色色度与黄酮类物质、多酚类物质和叶绿素含量的相关性达到极显著水平^[10]。因此吴瑞敏等^[49]基于主成分分析法提取茶汤的特征变量构建了绿茶汤色品质评价的 BP-ANN 模型,并进行了模型验证分析,实现了利用色度值对绿茶汤色品质感官评分的有效预测。GUO^[50]等还以色度值、黄酮类化合物含量、叶绿素含量为指标,采用主成分分析法初步实现了对 3 种外形名优绿茶的区分。

4 讨论

4.1 绿茶“三绿特征”的形成机理亟待探究查明

当前,进行绿茶的呈色成分研究备受分析手段技术的限制,研究进展较为缓慢。改变这一现状,必需利用先进的科学仪器,建立新的分析方法,精准地检测绿茶的呈色组分,鉴定更多对色泽品质有贡献的成分,进一步探讨呈色作用较强组分的形成与转化规律,为绿茶及绿茶饮料色泽品质的调控提供理论参考,进而更好地指导绿茶生产。

4.2 绿茶未知呈色成分的鉴定亟需开发新的分析方法

主体呈色物质决定着茶叶色泽的色调,但是部分少量或者微量呈色物质的作用也不可忽视,最为典型的就是叶绿素类化合物和黄酮类化合物。茶汤中的溶有极少量的叶绿素,但它却影响汤色的呈绿特征转换^[51];茶汤贮藏中 EGCG、EC、C、GCG、ECG 与汤色泽劣变呈显著相关,黄酮醇类化合物如杨梅素半乳糖糖苷和杨梅素葡萄糖苷与汤色色度的相关显著^[52]。然而目前绿茶色素成分的分析方法缺乏更新,薄层色谱法分析的组分很可能是混合物,因而只能将其当作辅助手段;高效液相色谱法可以鉴定 10 余种组分,但是解析未知成分的能力欠佳,因此亟需为未知色素的鉴定研发新的分析方法。

4.3 绿茶色香味品质的化学评价体系尚待进一步完善

色、香、味是绿茶质量的关键控制因子,也是绿茶品质化学研究的核心内容。近 10 年来,茶叶风味化学评价研究取得较好的进展。现有研究表明,香气成分可用来评估绿茶、红茶质量^[53-54],基于多元统计法的白茶和乌龙茶香气质量评价模型的评判结果与感官审评一致^[55-56]。同样,滋味成分也可用来评判茶叶质量^[57],基于电子舌提取的特征值构建滋味品质评价的 BP-ANN 模型的可靠性更高^[58]。但是,目前评价绿茶色泽品质的技术相对落后,还只是人工目测和计算机视觉,鲜见采用呈色成分来评价汤色品质的相关报道,有关干茶与叶底色泽的这方面研究更是难觅,缺乏基于绿茶呈色成分的色泽评价体系,亟待开展相关研究工作。

参 考 文 献

[1] 宛晓春 主编. 茶叶生物化学[M]. 北京:中国农业出版社,2008.

- [2] RAVICHANDRAN R. Carotenoid composition, distribution and degradation to flavour volatiles during black tea manufacture and the effect of carotenoid supplementation on tea quality and aroma[J]. *Food Chemistry*, 2002, 78(1):23-28.
- [3] 倪德江,陈玉琼. 加工工艺对名优绿茶叶绿素变化的影响[J]. *食品科学*, 1997, 18(12):14-18.
- [4] 徐步城. 绿茶脂溶性色素分析与新型高桥银峰外形色泽形成机理研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2007:44-51.
- [5] 刘玉芳,刘晓东,林国轩,等. 绿茶低温真空与热风联合干燥新工艺研究[J]. *茶叶科学*, 2013, 33(4):345-350.
- [6] LEE J, HWANG Y S, KANG I K, et al. Lipophilic pigments differentially respond to drying methods in tea (*Camellia sinensis* L) leaves [J]. *LWT Food Science and Technology*, 2015, 61(1):201-208.
- [7] 龚加顺,隋华嵩,彭春秀,等. “紫娟”晒青绿茶色素的 HPLC-ESI-MS 分离鉴定及其稳定性研究[J]. *茶叶科学*, 2012, 32(2):179-188.
- [8] 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, 22(1):57-61.
- [9] 李立祥,梅玉,常珊,等. 绿茶汤色分析[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(10):123-126.
- [10] 赖凌凌,郭雅玲. 福建绿茶色度值与茶汤呈色物质的相关性分析[J]. *热带作物学报*, 2012, 33(1):157-161.
- [11] 朱博,夏涛,高丽萍,等. 绿茶茶汤中黄酮醇及其苷类的测定方法以及对茶汤色度的影响[J]. 2009, 35(2):146-150.
- [12] 李云飞. 绿茶主要化学物质与汤色劣变的相关性研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2012:37-42.
- [13] 王秋萍,龚加顺,张蕙. 云南“紫娟”晒青绿茶和大叶晒青绿茶的化学成分比较研究[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(1):213-220.
- [14] 龚加顺,隋华嵩,彭春秀,等. “紫娟”晒青绿茶色素的 HPLC-ESI-MS 分离鉴定及其稳定性研究[J]. *茶叶科学*, 2012, 32(2):179-188.
- [15] 吕海鹏,费旭元,梁名志,等. 茶树特异品种“紫娟”中的花青素组分分析[J]. *食品科学*, 2012, 33(22):203-206.
- [16] YANG C, LI D, WAN X, et al. Combination of HSCCC and sephadex LH-20 methods an approach to isolation and purification of the main individual theaflavins from black tea[J]. *Journal of Chromatography B-Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 2008, 861(1):140-144.

- [17] MATSUO Y, HAYASHI T, SAITO Y, et al. Structures of enzymatic oxidation products of epigallocatechin [J]. *Tetrahedron*, 2013, 69: 8 952 - 8 958.
- [18] 谭超, 郭刚军, 李宝才, 等. 普洱茶茶褐素理化性质与光谱学性质研究 [J]. *林产化学与工业*, 2010 (4): 53 - 58.
- [19] WANG Q P, PENG C X, GONGJ S, et al. Antioxidative effect of large molecular polymeric pigments extracted from Zijuan Pu-erh tea in vitro and in vivo [J]. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 2013, 47(5): 739 - 747.
- [20] WANG Q P, PENG C X, GAO B, et al. Influence of large molecular polymeric pigments isolated from fermented Zijuan tea on the activity of key enzymes involved in lipid metabolism in rat [J]. *Experimental Gerontology*, 2012, 47(9): 672 - 679.
- [21] FAN J P, FAN C, DONG W M, et al. Free radical scavenging and anti-oxidative activities of an ethanol-soluble pigment extract prepared from fermented Zijuan Pu-erh tea [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2013, 59(9): 527 - 533.
- [22] MOIZ A, AHMED A, KAUSAR N, et al. Study the effect of metal ion on wool fabric dyeing with tea as natural dye [J]. *Journal of Saudi Chemical Society*, 2010, 14(1): 69 - 76.
- [23] 李凤艳, 刘丽华. 媒染剂对茶色素染色棉纤维性能的影响 [J]. *纺织学报*, 2011, 32(8): 62 - 66.
- [24] 尹军峰, 闵航, 许勇泉, 等. 摊放环境对名优绿茶鲜叶茶多酚及儿茶素组成的影响 [J]. *茶叶科学*, 2008, 28(1): 22 - 27.
- [25] 郭丽, 林智, 谭俊峰, 等. 龙井茶品质化学成分在炒制中的变化研究 [J]. *浙江农业科学*, 2007, 3: 288 - 290.
- [26] 李腊. UV-B 辐照绿茶摊放叶对绿茶品质的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2013: 11 - 15.
- [27] 李名君, 朱珩. 茶叶中叶绿素组分的系统测定 [J]. *中国茶叶*, 1984, (2): 33 - 35.
- [28] 徐步城, 程孝, 宁静, 等. HPTLC 法测定绿茶脂溶性色素 [J]. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2007, 33(4): 463 - 465.
- [29] 于萍, 沈发伟, 许嘉怡, 等. 凤眼莲天然色素组分鉴定 [J]. *草业科学*, 2014, 31(5): 971 - 976.
- [30] SUZUKI Y, SHIOI Y. Identification of chlorophylls and carotenoids in major teas by High-Performance Liquid Chromatography with photodiode array detection [J]. *Agriculture and Food Chemistry*, 2003, 51(18): 5 307 - 5 314.
- [31] Bohoyo-Gil D, Dominguez-Valhondo D, Garcí'a-Parra J, et al. UHPLC as a suitable methodology for the analysis of carotenoids in food matrix [J]. *Eur Food Res Technol*, 2012, 235(6): 1 055 - 1 061.
- [32] 何书美, 刘敬兰. 茶叶中总黄酮含量测定方法的研究 [J]. *分析化学*, 2007, 35(9): 1365 - 1368.
- [33] 朱博, 夏涛, 高丽萍, 等. 绿茶茶汤中黄酮醇及其苷类的测定方法以及对茶汤色度的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2009, 35(2): 145 - 150.
- [34] 吴春燕, 须海荣, HÉRITIER J, 等. 不同茶树品种中黄酮苷含量的测定 [J]. *茶叶科学*, 2012, 32(2): 122 - 128.
- [35] 刘阳, 陈根生, 许勇泉, 等. 冲泡过程中西湖龙井茶黄酮苷类浸出特性及滋味贡献分析 [J]. *茶叶科学*, 2015, 35(3): 217 - 224.
- [36] 孙凤霞, 周展明. 粮油、食品中色泽的测量及其发展 [J]. *郑州粮食学院学报*, 2000, 21(1): 67 - 69.
- [37] 杨亚军 主编. 评茶员培训教材 [M]. 北京: 金盾出版社, 2011.
- [38] 林瑞勋, 宋培荣. 茉莉花茶和白茶色泽测定研究初报 [J]. *福建茶叶*, 1985(2): 5 - 11.
- [39] 林刚, 松久次雄. 以测色评定日本绿茶品质的研究 [J]. *中国茶叶*, 1987(1): 6 - 7.
- [40] 林刚. 绿茶的色鉴别等级研究初报 [J]. *食品科学*, 1988(8): 1 - 5.
- [41] 严俊, 林刚. 测色技术在茶叶色泽及品质评价中的应用研究 [J]. *茶业通报*, 1995, 17(1): 7 - 9.
- [42] 陈慧春. 茶叶测色研究报告 [J]. *茶业通报*, 1987(1): 27 - 30.
- [43] 严俊, 林刚. 测色技术在炒青绿茶品质评价中的应用研究 [J]. *食品科学*, 1996, 17(7): 21 - 24.
- [44] 王文杰. 电脑读取茶叶色泽参数的方法研究 [J]. *中国茶叶加工*, 2003(4): 36 - 41.
- [45] 王文杰, 罗守进, 黄建琴, 等. 电脑测定茶叶色泽的方法研究. *茶叶科学*, 2005, 25(1): 37 - 42.
- [46] 陈全胜, 赵杰文, 张海东, 等. 利用计算机视觉识别茶叶的色泽类型 [J]. *江苏大学学报: 自然科学版*, 2005, 26(6): 462 - 465.
- [47] 汪建, 杜世平. 基于颜色和形状的茶叶计算机识别研究. *茶叶科学*, 2008, 28(6): 420 - 424.
- [48] 俞辉. 扁形茶外形指标分析软件设计及大佛龙井外形品质识别模型构建 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 34 - 36.
- [49] 吴瑞梅, 赵杰文, 陈全胜, 等. 绿茶汤色品质感官评价的色差表征方法研究 [J]. *河南农业科学*, 2014, 43(1): 149 - 153.
- [50] GUO Y L, LAI L L. Analysis on quality indicators of taste and infusion color and discrimination of famous and superior green tea with different appearances in Fujian

- Province, PR China[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015,19(3):181-185.
- [51] 戴前颖,夏涛,朱博,等. 绿茶提取液中脂溶性色素对汤色的影响[J]. *安徽农业大学学报*,2010, 37(3):459-464.
- [52] 李云飞,戴前颖,夏涛,等. 绿茶汤中主要化学物质与色泽劣变的相关性研究[J]. *茶业通报*,2013, 35(1):10-17.
- [53] WANG K, RUAN J. Analysis of chemical components in green tea in relation with perceived quality, a case study with Longjing teas [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2009, 44(12): 2 476-2 484.
- [54] 赵常锐. 祁红香气特征成分研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2010;36-41.
- [55] 郭丽,蔡良绥,林智. 基于主成分分析法的白茶香气质量评价模型构建[J]. *热带作物学报*, 2010, 31(9): 1 606-1 610.
- [56] 王春燕. 白茶的风味及抗氧化性研究[D]. 重庆:西南大学,2010;26-34.
- [57] 陈美丽,唐德松,龚淑英,等. 绿茶滋味品质的定量分析及其相关性评价[J]. *浙江大学学报:农业与生命科学版*,2014, 40(6):670-678.
- [58] 吴瑞梅,赵杰文,陈全胜,等. 化学仪器与电子舌表征绿茶滋味感官品质的比较[J]. *江苏大学学报:自然科学版*,2013, 34(2):161-165.
- [54] 赵常锐. 祁红香气特征成分研究[D]. 合肥:安徽农业

Research advance on “three green” characteristics of green tea

GUO Li^{1,2}, LAI Ling-ling², QU Yan-qin², LIN Zhi^{1*}, GUO Ya-ling^{2*}

1(Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China)

2(College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

ABSTRACT Pigments are the basis of "Three Green" characteristics of green tea, but their components in dry tea, tee liquor and leaf bottom are quite different. This paper introduces the composition, content of fat-soluble pigments and water-soluble pigments and their changes in the processing, and pointed out that fixation and drying is the key processes in protecting the color; different analytical method such as Spectrophotometer, Thin Layer Chromatography method (TLC), and High Performance Liquid Chromatography (HPLC) in determining the pigment of green tea are compared. The results show that Ultra Performance Liquid Chromatography (UPLC) is better. Traditional sensory evaluation has some deficiencies on color evaluation, and modern method on tea color judgements were summarized. The conclusion is that pigments study in green tea should use advanced scientific instruments and a high separation of tea component analysis method should be established in order to identify the unknown and their interaction effects to improve the chemical evaluation system in green tea color evaluation.

Key words green tea; color; lipid solubility pigments; water solubility pigments; sensory evaluation