

# 中国白茶的香气成分研究进展

郭丽<sup>1</sup>, 郭雅玲<sup>2</sup>, 廖泽明<sup>2</sup>, 林智<sup>1\*</sup>

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

**摘要:** 白茶主产于福建, 为我国特有的茶类。因其不炒不揉, 外形浑然天成, 毫香显露。而且赋予这种高雅香气的挥发性物质有很多种, 对于创制白茶新产品具有重要的研究意义。本文比较了同时蒸馏萃取法与顶空-固相微萃取法对白茶香气成分含量的影响, 阐述了白茶香气活性成分鉴定的研究现状, 探讨了白茶香气成分在加工中的变化规律, 以及相关酶类如糖苷酶、脂氧合酶和多酚氧化酶等活性的变化趋势, 分析了利用香气活性成分构建不同香型白茶的香气质量评价模型的可行性。综上所述, 白茶香气化学的研究进程亟需加快, 尤其是开展香气活性成分的鉴定及其代谢组学分析, 研制新香型白茶, 有助于丰富茶叶风味化学的理论研究内容和提升白茶产业在农业经济中的地位。

**关键词:** 白茶; 香气成分; 气相色谱-质谱技术; 气相色谱-吸闻技术

## Research advance in aroma components of white tea

GUO Li<sup>1</sup>, GUO Ya-Ling<sup>2</sup>, LIAO Ze-Ming<sup>2</sup>, LIN Zhi<sup>1\*</sup>

(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:** White tea is mainly produced in Fujian province and is the special tea in China. Because there is no panning and rolling during the processing, its shape is totally natural and pekoe flavor is high. The elegant aroma of white tea is endowed by numerous volatile substances, and has the fatal research significance to create new white tea. This paper compared the effect of the simultaneous distillation extraction method and the head space-solid phase micro-extraction on the content of aroma components in white tea, expounded the research status of identification of its aroma active components, explored the change rule of aroma components and the variation trend of the enzyme activity, such as glycosidase, lipoxygenase and polyphenol oxidase in the processing, and then investigated the feasibility of constructing different fragrance quality evaluation models for white tea by using the aroma active ingredients. To sum up, the research process of aroma chemical for white tea needs to be accelerated, especially the research of aroma active ingredients identification and metabolism analysis, for the development of new scent white tea, so it is helpful to enrich the theory of tea flavor chemistry research and improve the status of white tea in the agricultural economy.

**KEY WORDS:** white tea; aroma component; gas chromatography-mass spectrometry; gas chromatography-olfactometry

基金项目: 现代农业产业技术体系专项(CARS-23-09B)、福建省科学技术厅重点项目(2013S0030)、福建省人力资源和社会保障厅项目([2012]398号)

**Fund:** Supported by the Special Project of China Agriculture Research System(CARS-23-09B), the Major Project of Fujian Province Science and Technology Department (2013S0030) and the Project of Fujian Province Human Resources and Social Security Department ([2012]398)

\*通讯作者: 林智, 研究员, 主要研究方向为茶叶加工和茶叶化学。E-mail: linz@caas.cn

\*Corresponding author: LIN Zhi, Professor, Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, No.9, Meiling South Road, Xihu District, Hangzhou 310008, China. E-mail: linz@caas.cn

## 1 引言

近年来,挥发性物质的分析与鉴定技术日趋成熟,茶叶香气化学的研究取得很大进展。香气品质是茶叶感官评价的重要指标,其水平的高低是由多种香气成分共同决定的,尤其是具有香气活性的成分即香气特征成分。目前,茶叶香气活性成分的研究已发展成为香气化学研究领域的重点方向,不少茶类如绿茶、黑茶(普洱茶)和乌龙茶等的相关研究成果也已见报<sup>[1-3]</sup>,拓展了茶叶品质的提升空间。

六大茶类之一的白茶,加工工艺最精简,成茶白毫显露,富含多种活性成分,具有提神、利尿、抗突变、抗肿瘤、降血脂、抗炎痰、抗过敏反应等生理功能<sup>[4]</sup>。香气也是白茶感官品质的重要组成部分,“毫香”就是白茶典型的香气特征。毫香的产生与茶树芽叶上的表皮毛(俗称茸毛、茶毛)密切相关,尤其是其形态结构与内含物<sup>[5-9]</sup>。还有研究表明,不同等级、不同年份白茶的香气成分含量、配比及其在加工中的变化也不同<sup>[10-13]</sup>,而且分析方法不同,得出的结果也有差异。

## 2 提取方法对白茶香气成分的影响

茶叶中挥发性成分的萃取方法主要有同时蒸馏萃取法(simultaneous distillation extraction, SDE)、顶空-固相微萃取法(head space-solid phase micro-extraction, HS-SPME)、减压蒸馏萃取法(vacuum distillation extraction, VDE)等,其中 SDE 法和 HS-SPME 法较为常用。SDE 法和 HS-SPME 法萃取白茶的香气成分存在明显差异,尤其是香气成分数量和含量较高的成分。SDE 法鉴定的香气成分比 HS-SPME 法少 21 个,醛类物质和醇类物质含量较高,却未能检测出  $\beta$ -芳樟醇; HS-SPME 法萃取的醇类物质虽较多,但未能检测出芳樟醇和己醛<sup>[10,11]</sup>;采用 SDE 法和 HS-SPME 法提取绿茶香气成分,检测结果差异也很大。比较得知 HS-SPME 法能提取较多风味组分,更能真实反映茶叶本身的香气特征,认定它是一种较好的香气提取方法<sup>[14]</sup>。进一步优化提取工艺,得知沸水冲泡时,适宜茶水比为 10 g:100 mL,在 50 °C 下提取茶汤上空的香气,能较为全面、稳定,并可避免香气成分的损失和转化<sup>[15]</sup>。目前采用 HS-SPME-GC-MS 法分析茶叶香气成分,仅可对其定性,不能准确定量。从这个角度来看, SDE-GC-MS 法有优势,可精确定性定量。但是, SDE 法也有存在不足,如其对热敏性的挥发性成分影响较大。尤其是不饱和脂肪酸氧化降解生成一些脂肪族醇、醛物质,糖苷类化合物水解释放出芳樟醇、香叶醇,以及  $\beta$ -胡萝卜素热降解生成  $\beta$ -紫罗酮等物质<sup>[16,17]</sup>。

## 3 白茶的香气活性成分的鉴定

茶叶的香气成分有数百种,并不是每种成分对整体

香味都有贡献,仅有少数成分能被感受到,对整体香味起重要作用,这部分物质即是茶叶的香气活性成分。目前,食品香气研究中应用较多的风味分析技术主要有气相色谱-吸闻技术(gas chromatography-olfactometry, GC-O)、香气提取物稀释分析(aroma extract dilution analysis, AEDA)、溶剂辅助风味蒸发(solvent assisted flavor evaporation, SAFE)等<sup>[18,19]</sup>,其中气相色谱-吸闻技术在茶叶香气研究时应用较为广泛。检析绿茶、普洱茶和乌龙茶的香气特征成分,发现茶叶中的香气活性成分很多,因茶类和香型的不同而各异<sup>[1-3]</sup>。普洱茶的陈香特征是由 5 个酚性甲氧基类化合物来体现,木香的特征成分为  $\alpha$ -紫罗酮、 $\beta$ -紫罗酮、 $\alpha$ -雪松醇等;不同香型的乌龙茶都含有芳樟醇、芳樟醇氧化物 I、水杨酸甲酯和香叶醇等特征成分,但各有自己的主体香,如蜜香的主体香为芳樟醇和芳樟醇氧化物 I,奶香的为吲哚,花香的是芳樟醇、水杨酸甲酯、己酸-顺-3-己烯酯和  $\alpha$ -法尼烯;已明确的绿茶香气特征成分有叶醇、2-乙基己醇、苧醇等。

研究表明,香叶醇、芳樟醇及其氧化物 II 和 IV 是白茶显“毫香”的特征成分,苯甲醛、苯乙醛、苯甲醇和苯乙醇则代表“清醇”特征,而己醛、(E)-2-己烯醛、(Z)-3-己烯醇和 1-戊烯-3-醇是嫩香的特征成分<sup>[5]</sup>。但是,目前很多种挥发性成分的阈值尚未鉴定,因而难以确定香气活性值(odor activity value, OAV)是否大于 1。并且 HS-SPME 法检测出白茶香气组分中含量最高的不是己醛,而是  $\beta$ -芳樟醇<sup>[10,21]</sup>。由于  $\beta$ -芳樟醇的香气阈值(6 ng/g)很低,很可能是白茶的香气特征成分<sup>[20]</sup>。而含量次之的香叶醇、苯乙醇等均作为糖苷类化合物的降解产物<sup>[21]</sup>,尚不能确定是否是白茶的香气特征成分。

## 4 香气活性成分在白茶加工中的变化

茶叶香气特征的形成是由加工工艺促成的。香气物质除少数为鲜叶本身固有的物质外,主要是由香气前体在加工中经酶促作用和热化学反应转化而来的。具体地说,主要由糖苷类化合物的降解、脂肪酸的过氧化及降解、类胡萝卜素的氧化降解、氨基酸的脱氨脱羧及 Maillard 反应等途径生成。其中,糖苷类化合物对茶叶香气特征的形成贡献较大,因而这方面的研究较为深入。目前,已在茶叶中发现的糖苷酶有: $\beta$ -葡萄糖苷酶、 $\beta$ -半乳糖苷酶和  $\beta$ -樱草糖苷酶<sup>[22-24]</sup>,糖苷类化合物的苷元主要有:顺-3-己烯醇、芳樟醇及其氧化物(I、II)、香叶醇、水杨酸甲酯、苯甲醇和 2-苯乙醇等<sup>[25]</sup>,在鲜叶中多以双糖苷(C5-C6)形式存在<sup>[26-35]</sup>,这些苷元的组成及含量季节性差别较大,在加工绿茶时的利用率低于 30%,而加工红茶时的利用率则超过 90%。张正竹等<sup>[33,36]</sup>还发现鲜叶摊放 2 h 后,糖苷类香气前体总量增加,杀青等后续加工阶段逐步降低。日本清香绿茶中的香豆素苷,因延长蒸青时间和升高干燥温度而明显

下降<sup>[37]</sup>。 $\beta$ -葡萄糖苷酶在绿茶鲜叶摊放 2 h 后活性达到最高,而在红茶鲜叶萎凋过程中逐步增强,其活性变化明显受环境温湿度的影响<sup>[33,38-40]</sup>;乌龙茶做青期间酶活性呈双峰变化趋势,结束前约 2 h 达到最大值,且重做青比轻做青的酶活性高<sup>[41,42]</sup>。

茶鲜叶与成茶中的脂肪酸组分相同,大多数都是不饱和脂肪酸,主要有月桂酸、豆蔻酸、棕榈酸、亚油酸及亚麻酸等,其中亚麻酸含量最高,品种间的差异很明显<sup>[35,43]</sup>。红茶发酵会使这些脂肪酸氧化降解生成 6 个碳的醇和醛类香气化合物,亚麻酸降解生成青叶醇;类胡萝卜素的氧化降解生成  $\beta$ -紫罗酮等酮类物质,实际上就是多酚氧化酶催化儿茶素形成氧化型儿茶素,这种氧化型儿茶素再与其他儿茶素缩合,产生茶黄素及进一步形成茶红素。同时,也与  $\beta$ -胡萝卜素反应,使其降解生成  $\beta$ -紫罗酮。与其他结构的胡萝卜素作用,便产生相应的酮类香气化合物;茶叶中的氨基酸发生 Streck 反应时降解生成醛类、醇类化合物等,在与糖类化合物发生 Maillard 反应时生成吡嗪类化合物,不过反应过程中会受到水分和温度的影响<sup>[44]</sup>。由此可见,以上研究多集中于红茶、绿茶和乌龙茶等茶类,涉及到白茶香气化学的研究甚少。

白茶加工工艺虽不及红茶、绿茶复杂,仅萎凋和干燥两个关键加工工序。但是,白茶的长时萎凋是一项非常有特色的工艺,既不同于红茶的萎凋,也有别于绿茶的摊放,对白茶品质的形成有很强的影响力。鲜叶萎凋时,多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)活性上升幅度比过氧化物酶(peroxidase, POD)快,随萎凋时间延长呈“升-降-升-降”的

趋势,即出现了两次高峰;过氧化物酶活性的变化趋势为先升后降,且在萎凋 12 h 时达到峰值<sup>[45]</sup>;谷氨酸脱羧酶(glutamic acid decarboxylase, GAD)活性的变化为先增后减,与过氧化物酶相似<sup>[46]</sup>。酶活化时,香气物质也在转化。有研究发现,萎凋可促使白茶香气组分增加,尤其是大分子香气物质如苯甲酸己酯、 $\alpha$ -紫罗酮、 $\beta$ -紫罗酮、顺-茉莉酯等<sup>[47]</sup>。以上研究阐明了萎凋时酶活性的变化及香气物质的变化,初步明确了白茶香气成分在加工中的变化规律。

### 5 白茶香气质量评价模型的构建

茶叶香气品质的评定通常采用感官审评法,此法属于技能型评审,需要较长时间训练,受审评人员体质、喜好等人为因素的影响也较大,因而专家学者正在寻找一种快速的仪器评价法。目前,电子鼻在食品风味评价中的应用较为普遍,在茶叶上的应用也有不少。利用由金属氧化物作为传感器的电子鼻(electric nose, E-Nose)来嗅闻茶叶香气物质,辨别出 5 种不同工艺加工的茶叶<sup>[48]</sup>,与感官审评的关联性很好<sup>[49]</sup>;等级不同的绿茶和红茶也可采用电子鼻来区分<sup>[50-52]</sup>,结合使用电子舌(electric tongue, E-Tongue)判定结果的准确率更高<sup>[53]</sup>。但是,电子鼻同人鼻一样不能析出香气成分的含量、组成、比例等,因此香气物质的定性定量分析仍需借助气相色谱仪与质谱仪。

香气特征成分已成为当前茶叶风味化学研究的热点,可用来评估绿茶、红茶质量<sup>[54,55]</sup>。并且运用多元统计法分析茶叶香气指纹图谱,以期构建白茶和乌龙茶的香气质量评价模型<sup>[56,57]</sup>,评判结果与感官审评法一致,作了实例验证。

表 1 萃取法对白茶香气成分的影响<sup>[10,13]</sup>  
Table 1 Effect of the extraction method on aroma components in white tea

萃取方法	香气成分数量(个)	主要香气成分				
		己醛	芳樟醇	香叶醇	$\beta$ -芳樟醇	苯乙醇
SDE	31	20.35%	14.52%	12.65%	-	5.21%
HS-SPME	52	-	-	23.47%	31.20%	7.06%

表 2 茶叶香气形成中的前体与酶<sup>[33,35,38-42,44]</sup>  
Table 2 Precursors and enzymes during the formation of tea aroma

香气前体	关键酶	香气物质
糖苷类化合物-	$\beta$ -葡萄糖苷酶、 $\beta$ -半乳糖苷酶、 $\beta$ -樱草糖苷酶	顺-3-己烯醇、芳樟醇及其氧化物(I、II)、香叶醇、水杨酸甲酯、苯甲醇和 2-苯乙醇等
脂肪酸-	脂氧合酶等	醇和醛类化合物,如青叶醇等
类胡萝卜素-	多酚氧化酶等	$\beta$ -紫罗酮等酮类化合物
氨基酸-	/	醛类、醇类、吡嗪类化合物

## 6 总结与讨论

### 6.1 提取白茶的香气成分宜采用 HS-SPME 法

白茶不仅是福建特有的茶类,也是中国独有的茶类。白茶制作中的关键技术就是萎凋和干燥,且整个加工过程不炒不揉,利于保持芽叶上茸毛的完整性<sup>[59]</sup>。传统制法为:鲜叶置弱日光或通风荫处,晾晒至八、九成干,再用焙笼以30~40℃文火焙至足干<sup>[60]</sup>。由此看来,白茶香气很可能是由较多低沸点物质组成,因而白茶香气成分的萃取选择HS-SPME法更佳。这是因为HS-SPME法萃取时不需要溶剂,对环境友好,并且不需长时高温浸提,能真实地反映白茶香气特征。

### 6.2 按香型鉴定白茶的香气特征成分更为科学

近几年,白茶除了众人熟知的白毫银针、白牡丹、贡眉、寿眉和新工艺白茶外,白茶家族又添新成员“老白茶”,它是经过陈化的白茶。白茶陈化两年后,香气物质总量减少近半,且存放时间越长,香气的散失量也就越大<sup>[10,12]</sup>,为此鉴定白茶的香气特征成分,需剔除除香物质。还要除去名带“白茶”而实为绿茶的“安吉白茶”及产地云南的“月光白茶”<sup>[61,62]</sup>。另外,白茶香型除了毫香外,还有其他香型如清香、嫩香、花香、青香等。清香和青香的出现主要受加工工艺影响,嫩香受控于原料品级,毫香白茶大多是采用多茸毛的茶树品种如福鼎大毫,而花香白茶是采用新茶树良种如丹霞1号、丹霞9号和桂热2号等研制而成的高香茶产品<sup>[63-66]</sup>。但是,茶叶香气特征成分会因香型不同而相异<sup>[3]</sup>,因此按香型鉴定白茶的香气特征成分,显然直观、便于审评和体验及市场发展。

### 6.3 构建白茶香气评价模型宜选用香气特征成分

白茶萎凋以室内自然萎凋的品质为佳<sup>[60]</sup>。萎凋时,芽叶并非全程静置,而是中间有翻拌、并筛过。按摊叶厚度可将萎凋分成单叶期(并筛前)、双叶期(第一次并筛至第二次并筛)、四叶期(第二次并筛至萎凋结束)。据考察,单叶期水分含量较高,芽叶静置以避免芽叶红变;双叶期水分散失过半,并筛以调整芽叶中内含物转化速率;四叶期水分降至八成,二次并筛,进一步调整芽叶中内含物转化速率。因而,掌控这三个时期的转折点,才能获得最佳萎凋程度,有助于明晰白茶香气成分的形成规律,探清白茶香气特征成分的衍变轨迹。今后,也可借助代谢组学方法分析其形成机制,为白茶香气品质的调控提供参考依据。

白茶的香气质量评价模型通过了感官审评法的验证<sup>[56]</sup>。同样,乌龙茶(铁观音)的香气质量评价模型也通过了检验<sup>[58]</sup>。但是香气模型初建,尚存在不足,比如样本量少、茶样代表性等,因此评价模型需进一步修正、完善。模型

评价基于感官审评和指纹图谱数据,确认采集数据为茶叶的香气特征成分,且按香型来修订模型,以建成一套完整的白茶香气模型评价体系。

### 参考文献

- [1] 龚宏亮,李春美,顾海峰,等.采用HS-SPME/GC-MS/GC-Olfactometry/RI对绿茶和绿茶鲜汁饮料香气的比较分析[J].茶叶科学,2007,27(1):51-60.  
Dou HL, Li CM, Gu HF, *et al.* Comparative analysis on aromatic components of green tea and fresh green tea beverage using HS-SPME/GC-MS/GC-Olfactometry/RI methods [J]. J Tea Sci, 2007, 27(1): 51-60.
- [2] 钟秋生.普洱茶的香气特征成分研究[D].北京:中国农业科学院,2009.  
Zhong QS. Study on the characteristic aroma components of Pu-erh tea [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009.
- [3] 苗爱清,吕海鹏,孙世利,等.乌龙茶香气的HS-SPME-GC-MS/GC-O研究[J].茶叶科学,2010,30(增刊1):583-587.  
Miao AQ, LV HP, Sun SL, *et al.* Aroma components of Oolong tea by HS-SPME-GC-MS and GC-O [J]. J Tea Sci, 2010, 30(Suppl 1): 583-587.
- [4] 袁弟顺.中国白茶[M].厦门:厦门大学出版社,2006.  
Yuan DS. White tea in China [M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2006.
- [5] 周巨根,刘祖生,洪健,等.茶树芽叶茸毛的研究——III.茸毛性状的遗传与变异[J].茶叶,1990,(4):13-17.  
Zhou JG, Liu ZS, Hong J, *et al.* Study on the fuzz of bud and leaf from tea plant- Heredity and variation of the fuzzy character [J]. J Tea, 1990, (4): 13-17.
- [6] 肖扬书,王镇恒.茶叶茸毛形态结构及形态发生的研究[J].茶叶通报,1990,(4):9-14.  
Xiao YS, Wang ZH. Study on the morphological structure and morphogenesis of tea leaf fuzz [J]. J Tea Bus, 1990, (4): 9-14.
- [7] 肖扬书,王镇恒.茶叶茸毛与品质关系的研究[J].安徽农学院学报,1991,18(1):39-44.  
Xiao YS, Wang ZH. Study on the relation of tea leaf fuzz with the quality [J]. J Anhui Agric Coll, 1991, 18(1): 39-44.
- [8] 叶乃兴,刘金英,郑德勇,等.白茶品种茸毛的生化特性[J].福建农林大学学报(自然科学版),2010,39(4):356-360.  
Ye NX, Liu JY, Zheng DY, *et al.* The biochemical property of white tea fuzz [J]. J Fujian Agric Forestry Univ (Nat Sci Ed), 2010, 39(4): 356-360.
- [9] 郭桂义,孙慕芳,陈义,等.茶叶茸毛的化学成分测定[J].食品科学,2011,32(8):244-247.  
Guo GY, Sun MF, Chen Y, *et al.* Analysis of chemical composition of tea hair [J]. Food Sci, 2011, 32(8): 244-247.
- [10] 郭雯飞,孟小环,罗永此,等.白牡丹与白毫银针香气成分的研究[J].茶叶,2007,33(2):78-81.  
Guo WF, Meng XH, Luo YC, *et al.* Analysis of the volatile constituents in the baimudan tea and baihaoyinzen tea [J]. J Tea, 2007, 33 (2): 78-81.
- [11] 侯冬岩,刁全平,吴艳艳,等.白茶挥发性成分的固相微萃取-气相色谱-质谱分析[J].鞍山师范学院学报,2013,15(6):15-17.  
Hou DY, Diao QP, Wu YY, *et al.* Analysis of volatile components in white tea by solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry

- [J]. J Anshan Norm Univ, 2013, 15(6): 15–17.
- [12] 刘琳燕, 周子维, 邓慧莉, 等. 不同年份白茶的香气成分[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2015, 44(1): 27–33.
- Liu LY, Zhou ZW, Deng HL, *et al.* Analysis of the aromatic components in white tea produced in different years [J]. J Fujian Agric Forestry Univ (Nat Sci Ed), 2015, 44(1): 27–33.
- [13] 王力, 蔡良绥, 林智, 等. 顶空固相微萃取-气质联用法分析白茶的香气成分[J]. 茶叶科学, 2010, 30(2): 115–123.
- Wang L, Cai LS, Lin Z, *et al.* Analysis of aroma compounds in white tea using headspace solid-phase micro-extraction and GC-MS [J]. J Tea Sci, 2010, 30(2): 115–123.
- [14] 李春美, 奚宏亮, 党美珠, 等. 绿茶茶汤香气成分提取方法的比较研究[J]. 食品科技, 2009, 34(10): 99–103.
- Li CM, Dou HL, Dang MZ, *et al.* Comparative studies on the extracting methods of aroma compounds from green tea liquid [J]. Food Sci Technol, 2009, 34(10): 99–103.
- [15] 叶国注, 江用文, 尹军峰, 等. 绿茶香气 HS-SPME 提取方法研究[J]. 中国茶叶, 2009, (10): 16–19.
- Ye GZ, Jiang YW, Yin JF, *et al.* Study on the HS-SPME method of green tea aroma[J]. China Tea, 2009, (10): 16–19.
- [16] Mosandl A, Capillary gas chromatography in quality assessment of flavors and fragrances [J]. Chromatography A, 1992, 624(1-2): 267–292.
- [17] Mitsuya S, Hiroko S, Hideki S, *et al.* Comparison of volatile compounds among different grades of green tea and their relations to odor attributes [J]. Agric Food Chem, 1995, 43(6): 1621–1625.
- [18] 朱旗, 施兆鹏, 任春梅. 绿茶香气不同提取方法的研究[J]. 茶叶科学, 2001, 21(1): 38–43.
- Zhu Q, Shi ZP, Ren CM. Studies on the different aroma making methods of green tea aroma [J]. J Tea Sci, 2001, 21(1): 38–43.
- [19] 宋焕禄. 食品风味分析技术研究进展[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2006, 24(1): 1–4.
- Song HL. Development in food flavor analytical techniques [J]. J Beijing Technol Bus Univ (Nat Sci Ed), 2006, 24(1): 1–4.
- [20] Wang K, Liu F, Liu ZH, *et al.* Comparison of catechins and volatile compounds among different types of tea using high performance liquid chromatograph and gas chromatograph mass spectrometer [J]. Int J Food Sci Technol, 2011, 46: 1406–1412.
- [21] Chen MX, Chen XS, Wang XG, *et al.* Comparison of heads pace solid-phase micro extraction with simultaneous steam distillation extraction for the analysis of the volatile constituents in Chinese apricot[J]. Agric Sci China, 2006, 5(11): 879–884.
- [22] Takeo T. Variation in amounts of linalol and geraniol produced in tea shoots by mechanical injury [J]. Phytochemistry, 1981, 20(9): 2149–2151.
- [23] Guo W, Yamauchi K, Watanabe N, *et al.* A primeverosidase as a main glycosidase concerned with the alcoholic aroma formation in tea leaves [J]. Biosci Biotechnol Biochem 1995, 59: 962–964.
- [24] Ogawa K, Ljima Y, Guo W. Purification of a  $\beta$ -primeverosidase concerned with alcoholic aroma Formation in tea leaves (Cv. Shuixian) to be processed to Oolong tea [J]. Agric Food Chem, 1997, 45 (3): 877–882.
- [25] 张正竹, 宛晓春, 施兆鹏, 等. 茶鲜叶在不同季节及绿茶加工贮藏过程中糖苷类香气前体含量变化研究[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(3): 1–4.
- Zhang ZZ, Wan XC, Shi ZP, *et al.* Studies on the content of glycosidic tea aroma precursors in leaves of Zhuye during different seasons, green tea processing and storage [J]. Food Ferment Ind, 2003, 29(3): 1–4.
- [26] Nishikitani M, Kubota K, Kobayashi A, *et al.* Geranyl 6-O- $\alpha$ -L-arabinopyranosyl- $\beta$ -D-glucopyranoside isolated as an aroma precursor from leaves of a green tea cultivar [J]. Biosci Biotech Biochem, 1996, 60: 929–931.
- [27] NK Jain, Eds. Gloval advances in tea science [M]. Aravali Books International: New Delhi, 1999.
- [28] TH Parliament, C Ho, and P Schieberie, Eds. Caffeinated Beverages, Health Benefits, Physiological Effects, and Chemistry [M]. American Chemical Society, Washington, DC, 2000.
- [29] Ma S J, Watanabe N, Yagi A, *et al.* The (3R, 9R )-3-hydroxy-7, 8-dihydro- $\beta$ -ionol disaccharide glycoside is an aroma precursor in tea leaves[J]. Phytochemistry, 2001, 56: 819–825.
- [30] Yano M, Joki Y, Mutoh H, *et al.* Benzyl glucoside from tea leaves [J]. Agric Biol Chem, 1991, 55(4): 1205–1206.
- [31] Kobayashi A, Kubota K, Joki Y, *et al.* (Z)-3-Hexenyl- $\beta$ -D-glucopyranoside in fresh tea leaves as a precursor of green odor [J]. Biosci Biotech Biochem, 1994, 58(3): 592–593.
- [32] Guo W, Sasaki N, Fukuda M, *et al.* Isolation of an aroma precursor of benzyldehyde from tea leaves (*Camellia sinensis* var. *sinensis* cv. *Yabukita*) [J]. Biosci Biotech Biochem, 1998, 62(10): 2052–2054.
- [33] 张正竹, 宛晓春, 施兆鹏, 等. 鲜茶叶摊放过程中呼吸速率、葡萄糖苷酶活性、游离态香气和糖苷类香气前体含量的变化[J]. 植物生理学通讯, 2003, 39(2): 134–136.
- Zhang ZZ, Wan XC, Shi ZP, *et al.* Variations of respiration rate, glucosidase activity, volatiles, and glycosidic aroma precursors during spreading fresh tea leaves [J]. Plant Physiol Commun, 2003, 39(2): 134–136.
- [34] 张正竹, 宛晓春, 陶冠军. 茶鲜叶中糖苷类香气前体的液质联用分析[J]. 茶叶科学, 2005, 25(4): 275–281.
- Zhang ZZ, Wan XC, Tao GJ, *et al.* Analysis of glycosidic aroma precursors in fresh tea leaves (*Camellia sinensis* var. *sinensis* cv. *Zhuye*) by the combination of liquid chromatography with mass spectrometry [J]. J Tea Sci, 2005, 25(4): 275–281.
- [35] 廖书娟, 童华荣. 不同茶树品种种脂肪酸和糖苷类香气前体分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2008, 30(8): 62–66.
- Liao SJ, Tong HR. Studies on the fatty acid and glycoside aroma precursors of different tea varieties [J]. J Southwest Univ (Nat Sci Ed), 2008, 30(8): 62–66.
- [36] 魏志文, 李大祥, 张华艳, 等. 红绿茶加工工艺对茶鲜叶香气和糖苷类香气前体的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(11): 109–112.
- Wei ZW, Li DX, Zhang HY, *et al.* Effects of processing techniques on aroma and glycosidic aroma precursors in fresh tea leaves [J]. Chin Agric Sci Bull, 2008, 30(8): 62–66.
- [37] Yang. Z, Kinoshita T, Sayama H, *et al.* Analysis of coumarin and its glycosidically bound precursor in Japanese green tea having sweet-herbaceous odour [J]. Food Chem, 2009, 114(1): 289–294.
- [38] 屠幼英, 童启庆, 骆耀平, 等. 茶叶香气释放机理研究: 龙井茶炒制过程中  $\beta$ -葡萄糖苷酶和醇系香气的关系[J]. 茶叶, 1999, 25(1): 20–21.
- Tu YY, Tong QQ, Luo YP, *et al.* The release mechanism of tea aroma- The relationship of  $\beta$ -glucosidase activity and alcoholic among Longjing tea processing [J]. J Tea, 1999, 25(1): 20–21.

- [39] 骆耀平, 童启庆, 屠幼英, 等. 龙井茶摊放过程中 $\beta$ -葡萄糖苷酶活性变化[J]. 茶叶科学, 1999, 19 (2): 136–138.  
Luo YP, Tong QQ, Tu YY, *et al.* Variation of  $\beta$ -glucosidase activity during the withering process of Longjing tea manufacture [J]. J Tea Sci, 1999, 19 (2): 136–138.
- [40] 夏涛, 童启庆, 董尚胜, 等. 红茶萎凋发酵中 $\beta$ -葡萄糖苷酶的活性变化[J]. 茶叶科学, 1996, 16(1): 63–66.  
Xia T, Tong QQ, Dong SS, *et al.* Studies on the change of  $\beta$ -glucosidase activity during the withering and fermentation of black tea [J]. J Tea Sci, 1996, 16(1): 63–66.
- [41] 张秀云, 方世辉, 夏涛. 乌龙茶萎凋做青中 $\beta$ -葡萄糖苷酶活性变化研究[J]. 安徽农业大学学报, 2000, 27(2): 164–166.  
Zhang XY, Fang SH, Xia T. Study on variation of  $\beta$ -glucosidase activity during withering and shaking of Oolong tea [J]. J Anhui Agric Univ, 2000, 27(2): 164–166.
- [42] 杨锐.  $\beta$ -葡萄糖苷酶对暑秋季新工艺乌龙茶品质影响研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2007.  
Yang R. Influence of  $\beta$ -glucosidase on quality of Oolong tea new techniques in summer and autumn [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2007.
- [43] 柳荣祥, 夏春华. 茶叶脂肪酸组成的研究[J]. 中国茶叶, 1990, (3): 18–19.  
Liu YX, Xia CH. The composition of fatty acids in the tea [J]. China Tea, 1990, (3): 18–19.
- [44] 倪德江, 胡建程. 辉锅温度对炒青绿茶香气的影响[J]. 茶叶, 1996, 22(1): 33–34.  
Ni DJ, Hu JC. The effect of final-panning temperature on the aroma of pan-fired tea [J]. J Tea, 1996, 22(1): 33–34.
- [45] 程柱生. 略谈白茶在制过程中酶的催化作用[J]. 茶叶科学简报, 1984, (3): 9–10.  
Cheng ZS. The catalyst action of some enzyme during the processing for the white tea [J]. Tea Sci Brief, 1984, (3): 9–10.
- [46] 王芳, 郑德勇, 杨江帆. 白茶萎凋过程中GAD和GABA形成的相关性研究[J]. 食品工业, 2011, (8): 81–83.  
Wang F, Zheng DY, Yang JF. Study on correlation between GAD and GABA during Withering of white tea [J]. Food Ind, 2011, (8): 81–83.
- [47] 王贵芳. 丹桂在四茶类加工中主要生化成分的变化研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.  
Wang GF. Studies on variations of the main biochemistry components in the four kinds of tea technological process of Dangui [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2008.
- [48] Dutta R, Kashwan K R, Bhuyan M, *et al.* Electronic nose based tea quality standardization [J]. Neural Networks, 2003, 16 (5–6): 847–853.
- [49] Bhattacharyya N, Bandyopadhyay R, Bhuyan M, *et al.* Electronic nose for black tea classification and correlation of measurements with “Tea Tastermarks” [J]. IEEE Transact Meas Instrum, 2008, 57 (7): 1313–1321.
- [50] Yu H, Wang J, Zhang H, *et al.* Quality grade identification of green tea using E-nose by CA and ANN [J]. LWT-Food Sci Technol, 2008, 41(7): 1268–1273.
- [51] 陈哲, 赵杰文. 基于电子鼻技术的碧螺春茶叶品质等级检测研究[J]. 农机化研究, 2012, (11): 133–137.  
Chen Z, Zhao JW. Detection of Biluochun green tea quality grade by electronic nose [J]. J Agric Mech Res, 2012, (11): 133–137.
- [52] Qin Z, Pang X, Chen D, *et al.* Evaluation of Chinese tea by the electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry: Correlation with sensory properties and classification according to grade level [J]. Food Res Int, 2013; 53 (2): 864.
- [53] Banerjee(Roy) R, Tudu B, Shaw L, *et al.* Instrumental testing of tea by combining the responses of electronic nose and tongue [J]. J Food Eng, 2012, 110: 356–363.
- [54] 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): 2476–2484.
- [55] 赵常锐. 祁红香气特征成分研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2010.  
Zhao CR. Studies on the characteristic aroma components of Qimen black tea [D]. Hefei: Anhui Agriculture University, 2010.
- [56] 郭丽, 蔡良媛, 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): 1606–1610.  
Guo L, Cai LS, Lin Z, *et al.* Modeling of aroma quality evaluation in white tea based on principal component analysis [J]. Chin J Trop Crops, 2010, 31(9): 1606–1610.
- [57] 王春燕. 白茶的风味及抗氧化性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.  
Wang CY. Researches on white's flavor and antioxidant capacity[D]. Chongqing: Southwest University, 2010.
- [58] 张雪波, 肖世青, 杜先锋, 等. 基于主成分分析法的安溪铁观音香气质量评价模型构建[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 225–230.  
Zhang XB, Xiao SQ, Du XF, *et al.* Modeling for aroma quality evaluation of Anxi Tieguanyin tea based on principal component analysis [J]. Food Sci, 2012, 33(22): 225–230.
- [59] Liang YR, Pan GS, Qing X. Effect of Maofeng tea processing on leaf trichomes of tea (*Camellia sinensis* L.) [J]. J Sci Food Agric, 1993, 62(1): 35–39.
- [60] 陈宗懋, 杨亚军. 中国茶经——2011 修订版[M]. 上海: 上海文化出版社, 2011.  
Chen ZM, Yang YJ. The classics of tea in China-revised edition in 2011 [M]. Shanghai: Shanghai Culture Press, 2011.
- [61] 姜玉芳, 吕世懂, 吴远双, 等. 顶空固相微萃取法分析安吉白茶香气成分[J]. 光谱实验室, 2013, 30(5): 2078–2083.  
Jiang YF, Lv SD, Wu YS, *et al.* Analysis of aroma constituent s in Anjibaicha by HS-SPME [J]. Chin J Spectr Lab, 2013, 30(5): 2078–2083.
- [62] 张晓珊, 吕世懂, 刘伦, 等. 顶空固相微萃取与气相色谱-质谱法分析月光白茶香气成分[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2014, 36(5): 740–749.  
Zhang XS, LV SD, Liu L, *et al.* Analysis of aroma components in Yueguangbai tea using head space solid - phase micro extraction coupled with GC-MS [J]. J Yunnan Univ (Nat Sci Ed), 2014, 36(5): 740–749.
- [63] 陈栋, 王金焕, 吴华玲, 等. 高香型红(白)茶兼用新品种丹霞 1 号的选育[J]. 广东农业科学, 2010, (11): 39–45.  
Chen D, Wang JH, Wu HL, *et al.* Breeding of new variety Danxia 1 for processing black tea and white tea with rich aroma [J]. Guangdong Agric Sci, 2010, (11): 39–45.
- [64] 陈栋, 李家贤, 卓敏, 等. 高香型红(白)茶兼用新品种丹霞 2 号的选育[J]. 广东农业科学, 2010, (11): 46–56.  
Chen D, Li JX, Zhuo M, *et al.* Breeding of new variety Danxia 2 for processing black tea and white tea with rich aroma [J]. Guangdong Agric

Sci, 2010, (11): 46–56.

- [65] 罗莲凤, 梁光志, 蓝庆江, 等. 茶树新品种桂热 2 号适制性研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(5): 239–241.

Luo LF, Liang GZ, Lan QJ, *et al.* Suitability for processing tea of Guire 2 [J]. Jangsu Agric Sci, 2012, 40(5): 239–241.

- [66] 卓敏, 乔小燕, 操君喜, 等. 丹霞系列白毛茶新品种(系)加工白茶的感官品质比较[J]. 广东农业科学, 2013, (16): 98–100.

Zhuo M, Qiao XY, Cao JX, *et al.* Comparative study of sensory qualities of new Danxia series white-hair tea species(families) processed white tea [J]. Guangdong Agric Sci, 2013, (16): 98–100.

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



郭 丽, 助理研究员, 主要研究方向为茶叶加工与茶叶化学。

E-mail: guoli@tricaas.com



林 智, 研究员, 主要研究方向为茶叶加工和茶叶化学。

E-mail: linz@tricaas.com

## “食品安全监管”专题征稿

随着经济的全球化, 食品安全日益成为备受关注的热门话题。近年来, 世界上一些国家和地区食品安全的恶性事件不断发生, 随着食品加工过程中化学品和新技术的广泛使用, 新的食品安全问题不断涌现。尽管现代科技已发展到了相当水平, 但食源性疾病的在发达国家还是发展中国家, 都没有得到有效的控制, 仍然严重地危害着人民的健康, 成为当今世界各国最关注的卫生问题之一。随着我国经济的不断发展, 食品种类越来越丰富, 产品数量供给充足有余, 在满足食品需求供给平衡的同时, 食品质量安全问题越来越突出。假冒伪劣食品频频被曝光, 危害消费者身体健康和生命安全的群发性事件时有发生, 食品安全问题已成为全国消费者关注的焦点。

鉴于此, 本刊特别策划了“食品安全监管”专题, 由北京出入境检验检疫局 刘环 研究员 担任专题主编, 主要围绕 食品标准与法律法规、食品工业企业的安全监管、食品安全风险评估、食品安全追溯系统建设、食品安全控制理论、进出口食品及国内生产食品的监控 等或您认为本领域有意义的问题进行论述, 计划在 2015 年 12 月出版。

本刊编辑部及 刘环 研究员 特邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。

感谢您的参与和支持!

投稿方式:

网站: [www.chinafoodj.com](http://www.chinafoodj.com)

E-mail: [jfoodsqq@126.com](mailto:jfoodsqq@126.com)

《食品安全质量检测学报》编辑部