

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2019.01.010

文章编号:2095-6002(2019)01-0062-10

引用格式:孙灵湘,董明辉,顾俊荣,等.典型名优绿茶香气化学研究进展[J].食品科学技术学报,2019,37(1):62-71.



SUN Lingxiang, DONG Minghui, GU Junrong, et al. Research progress in flavor chemistry of famous green teas[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019,37(1):62-71.

## 典型名优绿茶香气化学研究进展

孙灵湘<sup>1</sup>, 董明辉<sup>1,\*</sup>, 顾俊荣<sup>1</sup>, 杨代凤<sup>1</sup>, 王梅馨<sup>2</sup>

(1. 江苏太湖地区农业科学研究所, 江苏 苏州 215155;

2. 扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏 扬州 225009)

**摘要:**优越的茶香品质是名优绿茶的突出特征之一,它们的香气总体相似又各具特色。选取了洞庭碧螺春、西湖龙井、信阳毛尖、黄山毛峰4种典型名优绿茶,结合绿茶的成分与加工特点,分析了名优绿茶中的香气物质的来源及其理化性质,并对比其感官品质和香气组成。茶树的品种和生长环境、茶叶制作工艺以及贮藏条件等因素都对不同种类的名优绿茶在香气品质表现上的差异有着复杂的影响,今后,对上述名优绿茶香气影响因子的作用机理与调控方法的进一步深入研究仍将是名优绿茶香气化学的重要发展方向。

**关键词:**名优绿茶;香气;感官品质;形成机理;特征香型

**中图分类号:**TS272.5

**文献标志码:**A

绿茶,作为世界上产量和消费量最大的茶叶品种,其消费市场分布全球160余个国家和地区<sup>[1]</sup>。绿茶一般又可分为大宗绿茶和名优绿茶,其中的名优绿茶以手工加工为主,产量较小,品质优异,且具有一定知名度。在近20年里,我国各地生产的名优绿茶总体实现了产量翻番和产值多倍增长,并且其作为一种高附加值的产品,仍有着巨大的发展空间<sup>[2]</sup>。名优绿茶的种类繁多,目前公认的中国十大名茶中,绿茶占6位,包括西湖龙井、洞庭碧螺春、庐山云雾、六安瓜片、黄山毛峰、信阳毛尖<sup>[3]</sup>,这些名优绿茶在世界范围内深受消费者喜爱。

名优绿茶以其独特的造型、翠绿的色泽、透亮的汤色、幽雅的清香、醇鲜的滋味等特点闻名于世,其中,香气是评判其品质的重要特征。芳香组分在茶叶中的绝对含量仅为0.02%~0.05%(干物质质量分数),但感官评审表明,香气对感官品质的贡献率达到25%~30%,因此茶叶香气一直

以来都是茶叶研究中的热点。名优绿茶的香气是其所含的挥发性芳香化合物呈现出的综合感官品质,目前,已鉴定分离出的茶中挥发性化合物有600多种,随着研究工作的深入,还有新的芳香组分被不断鉴定出来<sup>[4-5]</sup>。这些挥发性化合物的结构、性质、含量各不相同,以一定的比例混合起来,表现出名优绿茶特有的香气。对名优绿茶的香气化学方面的深入研究,对于进一步优化我国名优绿茶的香气品质和提升名优绿茶附加价值具有重要意义。

### 1 名优绿茶香气物质的形成和特性

#### 1.1 名优绿茶香气形成机理

名优绿茶中的香气成分的来源主要为两部分,其一是茶叶中的各类物质在加工过程中,经过一系列酶促作用或热作用转化而来,其二是绿茶鲜叶中所固有并在加工后保留下来的部分香气物质。通过

收稿日期:2017-12-21

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(14)2102);苏州市农业科学院结对服务农业园区项目(8311702)。

第一作者:孙灵湘,女,硕士,主要从事农产品质量安全与检测研究。

\*通信作者:董明辉,男,研究员,博士,主要从事茶树营养生理与标准化生产方面的研究。

总结相关报道,得到名优绿茶的香气物质形成的示意图,如图1<sup>[6-8]</sup>。

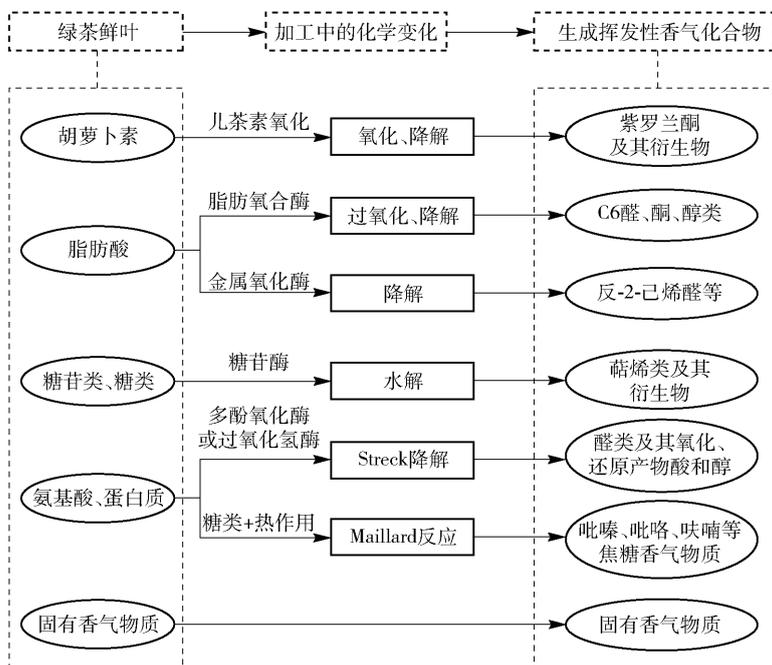


图1 名优绿茶特征香气形成

Fig. 1 Schematic diagram to flavor formation of famous green teas

这些挥发性的香气物质一经形成,吸附在干茶的细胞空隙和茶叶表面上,在贮藏时通过缓慢的解吸附表现出干茶香气,而加热水冲泡后,高温会加速香气物质从茶叶和茶汤中的挥发,表现出更明显的绿茶香气。

## 1.2 香气物质的理化特性

香气物质的化学结构不同,风味表现各异。从结构分类来看,萜烯类物质一般表现出花香或果香,比如芳樟醇(玉兰花香、百合花香)、香叶醇(青草香)、 $\beta$ -紫罗兰酮(柏木香、覆盆子香)、顺-茉莉酮(茉莉花香);醛类、酯类化合物的风味表现较为复杂,比如己醛(青草香)、壬醛(花香、柑橘味)、反,反-2,4-庚二烯醛(油脂味);芳香族类物质的苯甲醇(玫瑰花香)、苯乙醇(苹果香);吡啶、吡嗪、吡咯、呋喃类物质也被称为焦糖香气物质,通常具有焦糖样香气、栗香或清新香气。

一般而言,这些香气成分物质沸点在70~300℃,常温常压下易挥发,易溶于甲醇、乙醇等有机溶剂,虽然在水中溶解度小,但是仍能使水具有其特殊香气<sup>[9]</sup>。这类香气化合物中一般含有碳碳不饱和键或其他活性基团,这些活性基团并不十分稳定,对光、热、氧气等条件较为敏感,容易发生氧化、还原、缩合、降解等化学反应<sup>[10]</sup>,导致香味被破坏丢失。因此,茶叶深加工过程中的护香问题及相关护香技

术的研究也在近年愈来愈受到关注<sup>[11-12]</sup>。

绿茶中的香气物质不仅能带来感官上的愉悦,有研究学者还认为,绿茶中部分香气化合物具有一定的生物活性。比如,Kubo等<sup>[13-14]</sup>研究了绿茶中含量最高的10种挥发性物质的抗菌性,发现部分具有抑菌作用,橙花叔醇的抑菌效果最好。Takahashi等<sup>[15]</sup>以日本绿茶为研究对象发现其香气提取物对于预防阿尔茨海默病具有积极作用。目前,对于名优绿茶中茶多酚、咖啡因、氨基酸等功能性成分的研究已经较为常见,但是,相比之下,将香气物质作为功能性成分进行深入研究较为缺乏,这可能是由于绿茶中香气物质种类多、分离难度较大等原因。而我国的名优绿茶以香气品质突出,香气成分丰富为其突出特征之一,研究名优绿茶中的香气成分在生物活性方面的表现,对于打造我国名优绿茶的品牌效应具有积极意义。

## 2 典型名优绿茶的香气品质

名优绿茶感官品质突出,深受市场欢迎,其香气品质一直是相关研究的热点。其中,又以洞庭碧螺春、西湖龙井、信阳毛尖、黄山毛峰的香气品质报道最为广泛,原因在于,六安瓜片与西湖龙井同为扁形茶,庐山云雾和信阳毛尖同为直形茶,在对不同品种

名优绿茶香气品质差异的对比性研究中,多数选取西湖龙井与信阳毛尖分别为扁形茶和直形茶的代表进行对比分析,此外,庐山云雾和六安瓜片的知名度稍逊,对于其香气等感官品质方面的研究相对较少。综上,选取在香气化学领域研究最为深入和多见的洞庭碧螺春、西湖龙井、信阳毛尖、黄山毛峰这4种典型名优绿茶为代表,来论述名优绿茶的香气品质。

## 2.1 4种典型名优绿茶的感官品质

一般而言,对名优绿茶感官品质的评价指标包括外观、香气、滋味、汤色、叶底等方面<sup>[16-20]</sup>。表1<sup>[16-19, 21]</sup>中整理了这4种典型名优绿茶的感官品质特征。可以看出,这4种名优绿茶因产地、品种、加工工艺等方面的不同,呈现出各自的感官特征,它们

在形状、外观上的差异最明显,在香气、汤色、滋味、叶底上的表现也各具特色。

在各项感官品质特征中,香气特征是区分不同种类名优绿茶的重要依据,是茶叶品质的重要影响因素,甚至同一种类仅等级不同的名优绿茶,香气表现也存在差异,一般等级越高香气越优。4种名优绿茶的香气表现各具特色,有许多人尝试描述它们复杂的香气特征,总的来说,西湖龙井“嫩香、带有栗香”<sup>[16]</sup>,碧螺春香气“嫩鲜、清高”<sup>[18]</sup>,信阳毛尖“清香、略有栗香”<sup>[17]</sup>,黄山毛峰“嫩香、带白兰香”<sup>[19]</sup>,这些香气特征成为区分不同种类名优绿茶的重要依据。

表1 典型名优绿茶感官品质特征

Tab. 1 Sensory quality of representative famous green teas

评价指标	洞庭碧螺春	西湖龙井	信阳毛尖	黄山毛峰
形状	卷曲形	扁形	直条形	朵形
外观	条索纤细、卷曲成螺、色泽银绿、披复茸毛	扁平光滑、尖削挺直、色泽嫩绿	色泽翠绿、白毫显露	芽头肥壮、色泽嫩绿泛象牙色、有黄金片、匀齐毫显
香气	嫩鲜、清高	嫩香、带栗香	清香、略有栗香	嫩香、带白兰香
汤色	较嫩绿、毫浑	嫩绿清澈	嫩绿明亮	嫩黄清澈
滋味	甘醇鲜爽、略涩	回甘厚滑	鲜爽醇厚	鲜醇爽、回甘
叶底	幼嫩匀齐、嫩绿鲜亮	嫩匀成朵、嫩绿明亮	细嫩明亮	嫩黄明亮

## 2.2 典型名优绿茶的香气物质组成

绿茶香气品质上的感官差异,是由于名优绿茶中的香气物质成分在种类、含量、比例上各有不同。目前,通过气相色谱、气质联用、红外光谱、质谱、紫外光谱等检测技术分离、鉴定出的茶叶挥发性风味化合物多达600余种<sup>[22]</sup>,其中对绿茶香气贡献率较大的有50多种,均属于低沸点芳香物质<sup>[23-24]</sup>。

4种典型名优绿茶在挥发性风味物质组成上存在较大差异,综合文献报道,在图2中按照香气物质的官能团特征来分类,列举了洞庭碧螺春、西湖龙井、信阳毛尖、黄山毛峰4种典型名优绿茶的不同种类香气物质的组成<sup>[25-26]</sup>。

由图2可知,4种名优绿茶中的醇类、醛类、酯类、酮类、萜烯类等挥发性物质的组成比例各异,洞庭碧螺春、信阳毛尖和黄山毛峰中含量较高的挥发性物质种类是醇类,而西湖龙井中含量较高的挥发性物质种类是酯类。

4种典型名优绿茶中所含不同种类的主要香气组分物质名称见表2<sup>[25, 27-29]</sup>。它们包含的主要芳香

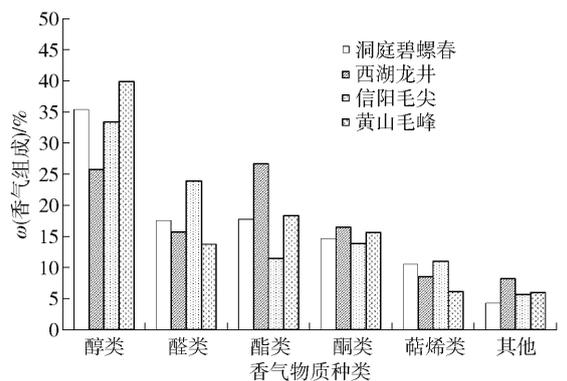


图2 4种名优绿茶香气组成种类的比例  
Fig. 2 Proportions of different aroma components of four kinds of famous green teas

物质按照产生来源和结构特点可以分为4类。1) 萜烯类及其衍生物;2) 脂肪类衍生物,包括脂肪族醇类、醛类、酮类、酸类、酯类、环状脂肪族衍生物等;3) 芳香族化合物;4) 其他,包括呋喃、吡啶、吡嗪等。这些成分都对绿茶的最终香气表现存在贡献,不同的香气物质以一定组成比例混合起来,形成各种类型名优绿茶复杂而独特的香气品质,正是由于这些香

表2 典型名优绿茶的特征香气成分种类

Tab.2 Characteristic aroma components in different green teas

化合物种类	洞庭碧螺春	西湖龙井	信阳毛尖	黄山毛峰
萜烯类及其衍生物	芳樟醇、香叶醇、长叶烯、杜松醇、雪松醇、橙花叔醇	香叶醇、柏木脑、橙花叔醇、 $\delta$ -葑橙茄烯、芳樟醇、 $\beta$ -环柠檬醛、柏木烯、 $\alpha$ -葑橙茄油烯	香叶醇、芳樟醇、 $\delta$ -葑橙茄烯、橙花叔醇、长叶烯、	芳樟醇、 $\delta$ -葑橙茄烯、香叶醇、香叶醇、橙花叔醇
脂肪类衍生物	壬醛、己醛、庚醛、己酸、6,10,14-三甲基-2-十五酮、(Z)-己酸-3-己烯酯	(Z)-己酸-3-己烯酯、 $\beta$ -紫罗兰酮、壬醛、癸醛、茉莉酮、4-己烯己酸酯、反式2-己烯基己酸、(Z)-丁酸-3-己烯酯、反-2,4-庚二烯醛、正辛醇、3-己烯基酯	壬醛、癸醛、 $\beta$ -紫罗兰酮、(Z)-己酸-3-己烯酯、茉莉酮	壬醛、(Z)-己酸-3-己烯酯、茉莉酮、 $\beta$ -紫罗兰酮、3-己烯基酯、苯乙醛
芳香族衍生物	苯甲醇、苯并噻唑	2,6-二叔丁基对甲酚、水杨酸甲酯、甲酸环己酯、邻苯二甲酸二异丁酯	邻苯二甲酸二异丁酯	己酸环己酯、水杨酸甲酯
其他类(呋喃、吡啶、吡嗪类等)	糠醛、喹啉、吡啶、2,5-二甲基吡啶、3-乙基-2,5-二甲基吡啶、2,3-二氢苯并呋喃	2-正戊基呋喃、吡啶、咖啡因	苯并二氢呋喃	2-正戊基呋喃、顺- $\alpha$ , $\alpha$ -5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇
主要香气成分	壬醛、芳樟醇、香叶醇、己醛、6,10,14-三甲基-2-十五酮、2,3-二氢苯并呋喃	(Z)-己酸-3-己烯酯、 $\beta$ -紫罗兰酮、香叶醇、柏木脑、壬醛、癸醛	香叶醇、壬醛、芳樟醇、 $\delta$ -葑橙茄烯、癸醛、橙花叔醇	芳樟醇、壬醛、(Z)-己酸-3-己烯酯、茉莉酮、橙花叔醇、香叶醇

气物质种类和组成含量上的差异,决定了各类名优绿茶的香气表现区别明显并各具特色。

绿茶中的特征香型对应的主要成分见表3<sup>[30]</sup>。西湖龙井中相对含量最高的组分是(Z)-己酸-3-己烯酯,为花果香型的主要相关成分,呈强烈弥散性梨香;信阳毛尖中相对含量最高的组分是香叶醇,为清香型的主要相关成分<sup>[31]</sup>,稀释后具有玫瑰花香;洞庭碧螺春中相对含量最高的组分是壬醛,为花果香型的主要相关成分,具有柑橘香;黄山毛峰中相对含量最高的组分是芳樟醇,为花果香型的主要相关成分,具有柑橘香。值得注意的是,相对含量较少的物质未必对香气的贡献就少<sup>[25]</sup>,因为除了绿茶中香气成分的种类和组成比例外,香气物质的阈值也对茶叶的香气特征有着重要影响。绿茶中的 $\beta$ -紫罗兰酮、橙花叔醇和植醇等对板栗香特征的贡献最大<sup>[25]</sup>,而西湖龙井和信阳毛尖中 $\beta$ -紫罗兰酮和橙花叔醇相对含量较高,使得二者不同程度的带有熟板栗的香气特征;黄山毛峰中特有的苯乙醛和脱氢芳樟醇这两种香气成分,分别具有风信子香味和花香草,这些成分可能与黄山毛峰的兰花香有关<sup>[32]</sup>;洞庭碧螺春中壬醛和己醛的相对含量明显高于其他3种绿茶,壬醛在稀释时呈现柑橘样的香气,己醛具有青草样的气味,这些组分可能与其呈现的嫩鲜香气特征有关。此外,即使针对同种名优绿茶,不同研究

者的香气成分检测结果也会存在较大差异,比如任健等<sup>[33]</sup>和韩孝坤等<sup>[26]</sup>对碧螺春中壬醛和己醛含量的检测结果差别比较明显,刘建军等<sup>[32]</sup>和张新亭等<sup>[28]</sup>对西湖龙井中棕榈酸含量的研究结果并不一致,这是原材料所在地的环境、加工工艺及新鲜度等因素共同作用的结果。

表3 绿茶中特征香型的主要相关组分

Tab.3 Relevant main components of characteristic odor type of green teas

香型	主要相关成分
花果香	芳樟醇、壬醛、(Z)-己酸-3-己烯酯
清香	香叶醇、顺-3-己烯醇
甜香	$\beta$ -紫罗兰酮
烘炒香	吡嗪,吡咯
爽快的绿茶香气	癸醛

### 3 名优绿茶香气成分的影响因素

名优绿茶中的氨基酸及蛋白质、糖苷类及糖类、脂肪酸等组分含量以及多酚氧化酶、脂肪氧合酶等各种酶类的活性<sup>[33]</sup>等组分与其挥发性物质的形成密切相关,而茶树品种和生长环境决定了其所制的名优绿茶中的相关组分含量,从而对名优绿茶的香气成分产生影响。同时,加工过程中的温度和水分

的控制为上述组分反应并产生香气物质营造了条件,而贮藏过程中香气物质的挥发以及上述组分的进一步反应变化则会导致香气品质的下降,因此,加工工艺和贮藏条件也将对香气成分的形成和变化产生重要影响。综上,茶树品种、生长环境、加工工艺和贮藏条件是各地所产的名优绿茶香气成分的重要影响因子。

### 3.1 茶树品种

茶树的种植品种会对其所加工而成的名优绿茶香气产生一定影响,Oyaizu等<sup>[34]</sup>和Zhou等<sup>[35]</sup>报道了绿茶嫩芽生长过程中的挥发性香气物质含量的变化,发现茶树和芽叶的生长期差异会导致所加工成的绿茶香气不同<sup>[36]</sup>。并且,即使是同一品种的茶树,由于生长环境不同,也会导致茶叶组分差异进而影响其香气表现,如张新亭等<sup>[28]</sup>以龙井43品种为研究对象,在确保采摘时间、原料标准和加工工艺相同的前提下,SDE-GC/MS测定发现西湖、钱塘、越州3个产区龙井茶香气物质组成差异较明显,西湖产区龙井茶的香气组分种类最多、含量最高。

### 3.2 茶树生长环境

名优绿茶的优良品质与其独特的地理气候、环境条件有着非常密切的关系,不同生长环境下所产的名优绿茶在包括香气在内的各方面品质上均存在一定差异。因此,我国近年来对部分名优绿茶实施地理标志保护政策,这种保护方式正是由于优质名优绿茶生长区域的地域垄断性,说明了生长环境对茶品质有着重要影响。茶树生长环境的影响因子包括季节、海拔、土壤以及栽培措施等多方面。

季节和海拔因素是由于光照、雨水、温度等气候状况不同,导致所生长茶叶的香气差异。大量研究表明,春茶的香气最佳,而高山茶的香气比低山茶更好。Renu等<sup>[37]</sup>发现春、秋茶的香气物质含量低于夏茶,但春茶的主要香气物质为对茶香起主导性作用的酯类和醇类,而秋茶和夏茶中主要为烷烃类化合物及其他化合物,因而春茶品质更佳。吴道良<sup>[38]</sup>研究了红河州茶区的云南大叶种茶叶,发现随海拔提高茶叶香气品质逐步提升,主要表现为萜烯类物质逐渐增加,并且芳香族和杂环类芳香物质只在高海拔茶中出现。

栽培过程需要依据茶树的需肥特点和土壤状况,合理进行施肥,才能保证生产出的茶叶品质<sup>[39]</sup>,提高茶叶香气。如尤雪琴等<sup>[40]</sup>以龙井43品种为研究对象,发现不同园龄的茶树对N、P、K养分的需求

存在较大差异,因此需要结合茶园树龄状况合理调整施肥量。我国广东、福建等地区土壤的有效K、Mg含量较低,因此需要结合地方土壤特性,合理增施K、Mg肥来保证产茶品质。

土壤是茶树生长的基础,土壤的物理性质、酸度及养分状况等对茶叶的香气品质影响明显<sup>[41]</sup>。Wang等<sup>[39]</sup>研究发现,沙质土壤比黏质土壤更有利于茶叶中香气物质和氨基酸积累。邓西海等<sup>[42]</sup>研究认为,茶园土壤中K的富集有利于提高茶叶的香气成分含量,对茶叶品质有利。董迹芬等<sup>[43]</sup>研究还发现,随着土壤中K的增加,绿茶中香气物质的比例发生变化,壬醛、芳樟醇及其氧化物、芳香族醇类显著增加,青叶醇、戊醇下降。K是糖苷水解和芳香族化合物合成所需 $\beta$ -葡萄糖苷酶和苯丙氨酸脱氨酶的激活剂<sup>[44-45]</sup>,这可能是造成芳樟醇及其氧化物、芳香族醇类增加的原因。董迹芬等<sup>[43]</sup>还发现,土壤中P、Mg含量的提高也能促使茶叶中部分芳香物质的变化,阮建云等<sup>[46]</sup>的研究也证实了这一点。虽然研究表明土壤中某些养分与绿茶的香气品质有关,但是这些营养元素分别与各类香气化合物的相关性却并不明确,二者之间的作用机理也尚不能确认,有待更加深入的研究。

同时,有研究发现栽种方式的不同也可能对绿茶香气品质造成影响。比如,纯种茶园和茶果间作茶园所产的绿茶品质也会存在一定差异,如苏州洞庭碧螺春即存在典型的茶果间作茶园,有研究证实<sup>[47]</sup>不同茶园栽种模式会对碧螺春的某些品质指标产生影响,但是这种栽种方式差异对香气物质的影响,目前尚不明确。

### 3.3 加工工艺

名优绿茶以手工制造为主,各地生产的名优绿茶在具体加工工艺上各具特色,但总体流程基本可统一为:鲜叶、摊放、杀青、揉捻、干燥,这些加工步骤会对绿茶香气的形成起到重要作用,影响显著。加工时的加工方式、操作时间以及温度和水分控制都成为影响名优绿茶香气品质的关键因素<sup>[48-49]</sup>。

首先,随摊放程度加深,绿茶叶含水率降低,并从香气不明显到清香明显转向花香到香气减弱,说明摊放时间不宜过长或过短<sup>[50-51]</sup>。但是,针对茶叶摊放的最佳时长并不统一,比如,林兴锦等<sup>[50]</sup>认为摊放时间3~6h、含水率(71±2)%为宜,但郑鹏程等<sup>[52]</sup>认为摊放6~12h有利于茶叶香气的形成,而摊放时间少于6h或多于12h均不利于茶香的形

成。这种结果上差异是由于茶叶原料以及摊放地点温度和湿度的差异造成的,因此名优绿茶的摊放需要根据具体情况加以确定。

名优绿茶的杀青工序的高温条件很大程度上影响了茶叶中的香气前体物质和多酚氧化酶等酶活性<sup>[53-54]</sup>,因而对茶叶香气影响很大。目前茶叶加工中常用的杀青方式有锅炒杀青、蒸汽杀青、微波杀青、热风杀青以及滚筒杀青等。袁林颖等<sup>[55]</sup>对比了锅炒杀青和蒸汽杀青对茶叶香气的影响,发现蒸汽杀青的茶叶保留了较多醇类、醛类和酮类,是具有清香嫩爽的茶叶香型,而锅炒杀青后低沸点的青叶醇较少,使茶叶具有花果香型。

揉捻是名优绿茶做形的关键工序,但是却可能对茶叶香气产生不利影响。倪德江等<sup>[53]</sup>发现,未经揉捻加工而成的名优绿茶的香气更佳,这是因为揉捻会在一定程度上减少和破坏茶叶中的生化成分,从而影响茶叶香气的形成。

干燥作为名优绿茶加工的最后道工序,用于进一步去除水分和做形,并且具有提香的作用<sup>[56]</sup>。吴金华<sup>[57]</sup>认为干燥的温度是最主要的影响因素,并提出在杀青过程中的二青温度 115 ℃,炒青温度先高后低,回锅温度保持 40 ~ 50 ℃,茶叶的香气最佳。易昶寺<sup>[58]</sup>研究发现,控制干燥条件,能够得到清香型、栗香型、焦香味等不同香型,并且清香型的挥发性物质含量和种类低于其他香型的绿茶。

值得关注的是,我国名优绿茶多以传统手工工艺加工而成,具有小规模分散经营的特点,这就造成所生产的名优绿茶在香气等品质上参差不齐,影响其品牌价值。名优绿茶作为一种高附加值的产品,不断提高名优绿茶的香气等各方面品质是当前和今后绿茶产业发展的方向。结合各品类名优绿茶的加工特点,分别实现不同名优绿茶制茶工艺的标准化,对茶农和茶叶加工者的生产过程进行规范和提高,将有助于实现香气等品质持续稳定,打造名优绿茶品牌效应。

### 3.4 贮藏条件

一般认为,绿茶在贮藏过程中会出现品质下降,其中就包括香气物质的减少,并且会随着绿茶中脂肪酸的氧化、裂解等变化,出现异味,名优绿茶的贮藏香气变化也符合这一特征。

贮藏过程中的温度、湿度、氧气、光照等因素会通过影响脂肪酸氧化过程以及其他酶的活性,影响茶叶的香气品质。郭建华<sup>[59]</sup>研究表明,绿茶在室温

条件下存放,前 2 个月其香气变化不明显,但 60 d 后会出现甜瓜醛、环柠檬醛、正丁醛等小分子醛类,并且绿茶存放环境的温度和湿度对绿茶的香气影响明显,高温高湿处理会导致醇类香气物质减少,烷烃类物质增多。杨京等<sup>[60]</sup>研究信阳毛尖在 1 年的贮藏过程中香气成分的变化,发现少数香气物质如邻苯二甲酸辛酯丁酯、N-苯基-1-萘胺等的含量增大,多数芳香物质的含量随时间延长逐渐减少,如橙花叔醇、顺-3-己烯基己酸酯、顺-茉莉酮等茶香主导性成分明显减少,导致信阳毛尖香气品质变差。Katsuno 等<sup>[61]</sup>利用 GC/MS-O 对比低温(15 ℃)和常温(25 ℃)保存绿茶的香气成分,发现低温保存的绿茶香气物质总体含量更高,值得注意的低温贮藏过程中,吲哚的含量变化较为特殊,表现出先增加,然后逐步减小的趋势,吲哚的前期增加可能是由氨基苯甲酸转化而来,而后期减少可能是由于吲哚发生结构转换。

## 4 结语与展望

随着技术的进步,近年来针对名优绿茶香气的研究不断拓展和深入,包括各茶型名优绿茶的香气特征;不同结构和种类香气化合物的茶香型表现和产生途径;不同的茶树品种和栽培方式、加工工艺和贮藏条件对茶叶香气的影响程度和作用原理等方面。这些报道中既有针对某一品种名优绿茶的深入研究,也有将不同种类名优绿茶的对比研究,名优绿茶的香气化学研究不断进步。但是目前仍有不明确之处需要进一步研究,主要集中在以下 3 方面:1) 目前,土壤中重要营养元素分别与各类香气化合物的相关性并不完全明确,二者之间的作用机理也尚不能确认,有待更加深入的研究。并且,某些土壤中特殊元素可能对提升绿茶的香气物质形成有突出作用,如果通过研究加以发掘,可能对提升名优绿茶香气品质有重要的正面意义。此外,茶果间作和纯种茶园等不同栽种模式下所产的绿茶在香气物质上的差异性还有待进一步明确。2) 绿茶香气成分的保健功能。名优绿茶包含了众多特殊香气物质,虽然研究已经证实部分绿茶香气成分具有某些保健功效,但是目前将其作为功能性成分进行的深入研究仍较为缺乏。进行此类研究,将有助于进一步开发我国名优绿茶的保健功能。3) 建立标准化的制茶工艺。名优绿茶作为一种高附加值的产品,不断提

高名优绿茶的香气等各方面品质是当前和今后绿茶产业发展的方向,因此,结合各品类名优绿茶的加工特点,分别实现不同名优绿茶制茶工艺的标准化,将有助于实现香气等品质持续稳定,提升名优绿茶产业综合竞争力。

影响名优绿茶香气品质的因素复杂多样,进一步发掘和明确名优绿茶香气的相关影响因子及其作用机理将仍是今后名优绿茶的香气化学的重要研究方向,这对于名优绿茶生产加工中香气品质的优化调控具有重要的积极作用。此外,从目前我国绿茶产业的发展现状来看,研究绿茶香气成分的保健功能以及推动建立标准化的制茶工艺,对于打造我国名优绿茶的优质品牌也具有重要的现实意义。

#### 参考文献:

- [1] KIM Y, GOODNER K L, PARK J D, et al. Changes in antioxidant phytochemicals and volatile composition of *Camellia sinensis*, by oxidation during tea fermentation[J]. Food Chemistry, 2011, 129(4):1331-1342.
- [2] 李晓钟, 李清光. 中国绿茶国际市场势力实证分析[J]. 国际贸易问题, 2011(8):24-31.  
LI X Z, LI Q G. Chinese green tea's global market power: an empirical analysis[J]. Journal of International Trade, 2011(8):24-31.
- [3] 尧水根. 中国十大名茶渊源考略[J]. 农业考古, 2011(5):306-320.
- [4] NAEF R, JAQUIER A, VELLUZ A, et al. New constituents related to 3-methyl-2, 4-nonanedione identified in green tea[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(24):9201.
- [5] YANG Z, BALDERMANN S, WATANABE N. Recent studies of the volatile compounds in tea [J]. Food Research International, 2013, 53(2):585-599.
- [6] WANG K, RUAN J Y. Analysis of chemical components in green tea in relation with perceived quality, a case study with Longjing teas [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 44(12):2476-2484.
- [7] JUNG M Y. Effects of green tea catechin on the lipid oxidation, volatile compound formation, and losses of retinol and  $\alpha$ -tocopherol in whole milk during light illumination as compared with ascorbic acid [J]. Food Science and Biotechnology, 2011, 20(5):1425.
- [8] 程焕, 贺玮, 赵镭, 等. 红茶与绿茶感官品质与其化学组分的相关性[J]. 农业工程学报, 2012, 28(s):375-380.
- CHENG H, HE W, ZHAO L, et al. Correlation between sensory attributes and chemical components of black and green tea[J]. Transactions of the Chinese Society of Agriculture Engineering, 2012, 28(s):375-380.
- [9] 何华锋, 朱宏凯, 董春旺, 等. 黑茶香气化学研究进展[J]. 茶叶科学, 2015(2):121-129.  
HE H F, ZHU H K, DONG C W, et al. Research progress in flavor chemistry of Chinese dark tea[J]. Journal of Tea Science, 2015(2):121-129.
- [10] HASEGAWA T, FUJITA T, TSUKUMO Y, et al. Investigation of the aroma profile of green tea leaves using organic synthesis and conventional analytical techniques [J]. Journal of Food Science and Engineering, 2014, 52(1):10-20.
- [11] DHARMESH M K, BHAURAO P N, PADMA B, et al. Recovery of valuable tea aroma components by pervaporation [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2003, 42(26):6924-6932.
- [12] 张啟, 罗龙新, 程其春, 等. 茶香气成分研究进展及护香的探讨[J]. 农产品加工, 2014(2):45-47.  
ZHANG Q, LUO L X, CHENG Q C, et al. Discussion of tea fragrance components and protecting the tea fragrance [J]. Farm Products Processing, 2014(2):45-47.
- [13] KUBO I, MUROI H, HIMEJIMA M. Antibacterial activity against streptococcus mutans of mate tea flavor components[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1993, 41(1):107-111.
- [14] KUBO I, MUROI H, HIMEJIMA M. Antimicrobial activity of green tea flavor components and their combination effects [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(2):245-248.
- [15] TAKAHASHI A, WATANABE T, FUJITA T, et al. Green tea aroma fraction reduces  $\beta$ -amyloid peptide-induced toxicity in *Caenorhabditis elegans* transfected with human  $\beta$ -amyloid minigene [J]. Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan (Bioscience Biotechnology and Biochemistry), 2014, 78(7):1206-1211.
- [16] 沈红. 不同加工方式对高档西湖龙井茶品质的影响[J]. 中国茶叶加工, 2010(3):33-35.
- [17] 郭桂义, 和红河, 赵文净, 等. 冲泡水温、时间和茶水比对信阳毛尖茶感官品质的影响[J]. 食品科技, 2010(7):120-123.  
GUO G Y, HE H Z, ZHAO W J, et al. Influence on organoleptic evaluation of Xinyang Maojian tea of brew-

- ing temperature, brewing time and ratio of tea and water [J]. *Food Science and Technology*, 2010(7):120 - 123.
- [18] 张颖彬, 刘新, 鲁成银, 等. 洞庭(山)碧螺春感官品质现状分析[J]. *中国茶叶*, 2015(8):20 - 22.
- [19] 中国茶叶流通协会茶叶感官审评室. 中国茶叶流通协会茶叶感官审评报告:黄山毛峰茶[J]. *茶世界*, 2010(12):40 - 42.
- [20] 曹学丽, 宋沙沙, 龙立梅. 绿茶品质及其审评方法的研究进展[J]. *食品科学技术学报*, 2014,32(1):47 - 52.
- CAO X L, SONG S S, LONG L M. Research process on quality assessment methods of green tea [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2014,32(1):47 - 52.
- [21] 霍权恭, 杨京, 刘钟栋, 等. 信阳毛尖茶叶挥发性成分 GC/MS 分析[J]. *中国农学通报*, 2005,21(2):108 - 110.
- HUO Q G, YANG J, LIU Z D, et al. Analysis of volatile components from Xinyang Maojian Tea by GC/MS [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005,21(2):108 - 110.
- [22] ZHU M, LI E, HE H. Determination of volatile chemical constituents in tea by simultaneous distillation extraction, vacuum hydrodistillation and thermal desorption [J]. *Chromatographia*, 2008,68(7/8):603 - 610.
- [23] 周春明, 袁海波, 秦志荣, 等. 花香绿茶的香气成分分析[J]. *现代食品科技*, 2004,20(2):101 - 104.
- ZHOU C M, YUAN H B, QIN Z R, et al. Analysis on aromatic constituents of fragrant green teas[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2004,20(2):101 - 104.
- [24] 窦宏亮, 李春美, 乔宇, 等. 炒青绿茶香气成分的 GC - MS 分析[J]. *食品科学*, 2007,28(5):258 - 261.
- DOU H L, LI C M, QIAO Y, et al. Study on aromatic components analysis of roasted green tea by GC - MS [J]. *Food Science*, 2007,28(5):258 - 261.
- [25] 龙立梅, 宋沙沙, 李奈, 等. 3 种名优绿茶特征香气成分的比较及种类判别分析[J]. *食品科学*, 2015,36(2):114 - 119.
- LONG L M, SONG S S, LI N, et al. Comparisons of characteristic aroma components and cultivar discriminant analysis of three varieties of famous green tea[J]. *Food Science*, 2015,36(2):114 - 119.
- [26] 韩孝坤, 郭雯飞, 吕毅. 原产地域保护绿茶洞庭碧螺春的香气成分[J]. *茶叶*, 2006,32(3):150 - 154.
- HAN X K, GUO W F, LV Y. Studies on the aroma constituents of Biluochun green tea[J]. *Journal of Tea*, 2006,32(3):150 - 154.
- [27] LIN J, DAI Y, GUO Y N, et al. Volatile profile analysis and quality prediction of Longjing tea (*Camellia sinensis*) by HS - SPME/GC - MS[J]. *Journal of Zhejiang University: Science B (Biomedicine and Biotechnology)*, 2012, 13(12):972 - 980.
- [28] 张新亭, 王梦馨, 韩宝瑜. 3 个不同地域龙井茶香气组成异同的解析[J]. *茶叶科学*, 2014(4):344 - 354.
- ZHANG X T, WANG M X, HAN B Y. Analysis on similarities and differences of aromatic composition in Longjing teas from three producing regions[J]. *Journal of Tea Science*, 2014(4):344 - 354.
- [29] 陈美丽, 唐德松, 张颖彬, 等. GC - MS 结合化学计量学对茶叶品质的判别研究[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2013,39(1):84 - 91.
- CHEN M L, TANG D S, ZHANG Y B, et al. Study on the tea quality using GC - MS coupling chemometrics [J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Science)*, 2013,39(1):84 - 91.
- [30] 刘盼盼. 主要水质因子对清香型绿茶茶汤呈香特性及其稳定性影响研究[D]. 杭州:中国农业科学院茶叶研究所, 2014.
- [31] 何郁菲, 曹冰冰, 梁敏敏, 等. 花香绿茶加工过程中的香气变化研究[J]. *中国茶叶加工*, 2016(2):51 - 56.
- HE Y F, CAO B B, LIANG M M, et al. Research on the changes of aroma constituents in fragrant green tea during processing[J]. *China Tea Processing*, 2016(2):51 - 56.
- [32] 刘建军, 黄建安, 李美凤, 等. 信阳毛尖与黄山毛峰及西湖龙井的香气成分分析[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2016(6):658 - 662.
- LIU J J, HUANG J A, LI M F, et al. Analysis on aroma components of Xinyangmaojian tea and Huangshanmaofeng tea and Xihulongjing tea[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2016(6):658 - 662.
- [33] 任健, 杨志宏, 杨晓文. 四种传统名茶风味成分的比较研究[J]. *齐齐哈尔大学学报(自然科学版)*, 2004,20(1):1 - 4.
- REN J, YANG Z H, YANG X W. Comparative studies on the aroma components of the four traditional top teas [J]. *Journal of Qiqihar University (Natural Sciences)*, 2004,20(1):1 - 4.
- [34] OYAIZU T, SHIMODA M, MATSUMOTO K, et al. Quantitative changes in volatile components of green tea

- during development of tea shoots. [J]. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 2002, 49(5):327-334.
- [35] ZHOU J S, LV S D, LIAN M, et al. Comparison of the volatile compounds among different production regions of green tea using simultaneous distillation extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2015, 7(8):607-613.
- [36] SHIMODA M, SHIGEMATSU H, SHIRATSUCHI H, et al. Comparison of volatile compounds among different grades of green tea and their relations to odor attributes. [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1995, 43(6):1621-1625.
- [37] RENU R, ASHU G. Seasonal and clonal variations in some major glycosidic bound volatiles in Kangra tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) [J]. *European Food Research and Technology*, 2008, 226(6):1241-1249.
- [38] 吴道良. 红河州不同海拔高度茶树主要品质成分与生理学特性的变化 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [39] WANG X J, HU X F, CHEN H Z. Preliminary study on relationship between soil parent materials and tea quality [J]. *Pedosphere*, 1997(4):361-366.
- [40] 尤雪琴, 杨亚军, 阮建云. 田间条件下不同园龄茶树氮、磷、钾养分需求规律的研究 [J]. *茶叶科学*, 2008, 28(3):207-213.
- YOU X Q, YANG Y J, RUAN J Y, et al. Requirement on nitrogen, phosphorus and potassium by tea plants with different ages under field conditions [J]. *Journal of Tea Science*, 2008, 28(3):207-213.
- [41] VENKATESAN S, GANAPATHY M N K. Impact of nitrogen and potassium fertiliser application on quality of CTC teas [J]. *Food Chemistry*, 2004, 84(3):325-328.
- [42] 邓西海, 蒋其鳌, 周凌云. 世界主要优质红茶化学成分与产地环境研究 [J]. *土壤*, 2008, 40(4):672-675.
- DENG X H, JIANG Q A, ZHOU L Y. Habitat environment and chemical composition of major high quality black teas in the world [J]. *Soils*, 2008, 40(4):672-675.
- [43] 董迹芬, 边金霖, 朱全武, 等. 茶叶香气与产地土壤条件的关系 [J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2013(3):309-317.
- DONG J F, BIAN J L, ZHU Q W, et al. Relationship between tea aroma and soil conditions [J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Science)*, 2013(3):309-317.
- [44] 贾晓娟, 郭丽芸, 刘毅, 等. 苯丙氨酸脱氨酶发酵工艺及其酶学性质研究 [J]. *精细化工*, 2005, 22(11):827-830.
- JIA X J, GUO L Y, LIU Y, et al. Study of fermentation and properties of phenylalanine deaminase [J]. *Fine Chemicals*, 2005, 22(11):827-830.
- [45] 余志, 黄海波, 张芸, 等. 茶叶中  $\beta$ -D-半乳糖苷酶活性分析条件的优化及其在不同季节、嫩度和品种间的差异分析 [J]. *食品科学*, 2007, 28(10):384-388.
- YU Z, HUANG H B, ZHANG Y, et al. Study on assay conditions for tea  $\beta$ -D-galactosidase activity and its diversities in various tea species, season and leaf tenderness [J]. *Food Science*, 2007, 28(10):384-388.
- [46] 阮建云, 吴洵. 钾、镁营养供应对茶叶品质和产量的影响 [J]. *茶叶科学*, 2003, 23(s1):21-26.
- RUAN J Y, WU X. Productivity and quality response of tea to balanced nutrient management including K and Mg [J]. *Journal of Tea Science*, 2003, 23(s1):21-26.
- [47] 刘腾飞, 董明辉, 张丽, 等. 不同间作模式对茶园土壤和茶叶营养品质的影响 [J]. *食品科学技术学报*, 2017, 35(6):67-76.
- LIU T F, DONG M H, ZHANG L, et al. Effects of different intercropping patterns on tea planted soil and tea nutritional quality [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, 35(6):67-76.
- [48] LIMA J, MAZZAFERA P, MORAES W, et al. Tea: aspects related to the quality and prospects [J]. *Ciência Rural*, 2009, 39(4):1258-1266.
- [49] 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 Z Z, WAN X C, SHI Z P, et al. Studies on the content of glycosidic aroma precursors in leaves of Zhuye during different seasons, green tea processing and storage [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2003, 29(3):1-4.
- [50] 林兴锦, 雷荣华, 雷建文, 等. 不同摊放程度对花香型绿茶品质的影响研究 [J]. *现代农业科技*, 2014(24):281.
- [51] 尹军峰, 许勇泉, 袁海波, 等. 名优绿茶鲜叶摊放过程中主要生化成分的动态变化 [J]. *茶叶科学*, 2009, 29(2):102-110.
- YIN J F, XU Y Q, YUAN H B, et al. Dynamic change of main biochemical components of premium green tea

- fresh leaves during spreading [J]. *Journal of Tea Science*, 2009, 29(2): 102–110.
- [52] 郑鹏程, 叶飞, 高士伟, 等. 摊放时间对茶鲜叶香气组分影响初报 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27(4): 334–338.
- ZHENG P C, YE F, GAO S W, et al. Effect of spreading time on aroma components in fresh tea leaves [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(4): 334–338.
- [53] 倪德江, 陈玉琼. 制茶工艺对名优绿茶香气品质的影响 [J]. *茶叶科学*, 1997(1): 67–70.
- NI D J, CHEN Y Q. Agricultural science bulletin effect of processing technology on the aroma of Chinese famous green teas [J]. *Journal of Tea Science*, 1997(1): 67–70.
- [54] 朱德文, 岳鹏翔, 袁弟顺. 不同杀青方法对绿茶品质的影响 [J]. *农业工程学报*, 2009, 25(8): 275–279.
- ZHU D W, YUE P X, YUAN D S. Effects of different fixation methods on the quality of green tea [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(8): 275–279.
- [55] 袁林颖, 周正科, 胡增旬. 不同杀青方式云芽名茶品质与香气特征 [J]. *西南园艺*, 2000, 28(2): 48.
- [56] LANGAT N, THORUWA T, WANYOKO J, et al. Models and experiments for energy consumption and quality of green tea drying [J]. *Energy Science and Engineering*, 2015, 3(1): 43–50.
- [57] 吴金华. 炒青绿茶干燥技术及设备研究进展 [J]. *蚕桑茶叶通讯*, 1996(1): 31–32.
- [58] 易昶寺. 不同干燥条件对茶叶香气的影响 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2014.
- [59] 郭建华. 绿茶贮藏过程中挥发性物质变化规律的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [60] 杨京, 刘钟栋, 陈肇铤, 等. 信阳毛尖储藏期间茶香气的变化 [J]. *郑州工程学院学报*, 2002, 23(2): 1–4.
- YANG J, LIU Z D, CHEN Z T, et al. Changes of the aroma constituents of Xinyang Maojian tea in storage [J]. *Journal of Zhengzhou Institute of Technology*, 2002, 23(2): 1–4.
- [61] KATSUNO T, KASUGA H, KUSANO Y, et al. Characterisation of odorant compounds and their biochemical formation in green tea with a low temperature storage process [J]. *Food Chemistry*, 2014, 148: 388–395.

## Research Progress in Flavor Chemistry of Famous Green Teas

SUN Lingxiang<sup>1</sup>, DONG Minghui<sup>1,\*</sup>, GU Junrong<sup>1</sup>, YANG Daifeng<sup>1</sup>, WANG Meixin<sup>2</sup>

(1. *Jiangsu Taihu Area Institute of Agriculture Sciences, Suzhou 215155, China*

2. *School of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China*)

**Abstract:** The premium green teas are normally characterized by their superior quality and desirable aromas, of which their chemical profiles are similar but also distinctive. Four kinds of famous green teas, including Dongting Biluochun Tea, Xihu Longjing Tea, Xinyang Maojian Tea, and Huangshan Maofeng Tea, were studied in terms of the formation mechanisms of their aromas, their physical and chemical properties, as well as their sensory properties. Some factors, including the tea varieties, growth environment, processing technology and storage conditions, have been found to have significant impact on the tea quality, which will be the research focus of the flavor chemistry of green teas in the future.

**Keywords:** famous green tea; aroma; sensory quality; formation mechanism; characteristic odor type

(责任编辑: 李 宁)