

# 做青工艺对乌龙茶特征香气成分影响的研究进展

王 赞, 郭雅玲\*

(福建农林大学园艺学院茶学系, 福州 350002)

**摘 要:** 做青是乌龙茶加工过程中的关键工序, 是形成乌龙茶品质的保证, 是形成乌龙茶特有的天然花果香的基础。同时香气品质在乌龙茶毛茶品质中所占比例较大, 因此就乌龙茶做青对香气品质影响的分析具有实际生产意义。乌龙茶特征香气组分主要以醇类、酮类、醛类、酯类为主, 如橙花叔醇、芳樟醇、香叶醇、 $\beta$ -紫罗酮、法呢烯、苯乙醛、茉莉内酯、茉莉酸甲酯。与乌龙茶特征香气组分形成有重要关系的一类内源酶: $\beta$ -糖苷酶的研究也逐渐深入, 其与糖苷类前体物质的水解反应释放了大量的香气成分。本文对乌龙茶特征香气组分、香气形成机制以及做青工艺对香气形成的影响进行综述, 特别是将做青工艺和香气化学机制有机结合, 旨在更好地为指导乌龙茶做青和提高品质提供依据和参考。

**关键词:** 乌龙茶; 做青; 特征香气成分

## Research progress on influence of green-making process on characteristic aroma components of Oolong tea

WANG Zan, GUO Ya-Ling\*

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

**ABSTRACT:** Green-making is the key procedure of Oolong tea processing and is the assurance to form Oolong tea's quality. It is also the foundation of unique natural flowers' and fruits' aroma in Oolong tea. At the same time, the quality of aroma takes up larger proportion in the quality of Oolong tea. It is practical to analyze the influence of green-making on aroma quality in Oolong tea. The mainly characteristic aroma components of Oolong tea are alcohols, ketones, aldehydes and esters, such as nerolidol, linalool, geraniol,  $\beta$ -ionone, farnesene, phenylacetaldehyde, jasmine lactone and jasmonic acid methyl ester.  $\beta$ -glucosidase, a kind of endogenous enzyme, has been studied in depth, which has important relationship with the formation of aroma components in Oolong tea. Hydrolysis reaction of  $\beta$ -glucosidase and precursor substance of glycosides releases a lot of aromatic components. This paper reviewed characteristic aroma components of Oolong tea, mechanism of forming aroma and influence of green-making procedure on aroma formation, it also combined green-making procedure with aroma chemical mechanism organically, so as to provide theoretical basis and reference to guide green-making skill and improve tea quality.

**KEY WORDS:** Oolong tea; green-making; characteristic aroma component

基金项目: 福建省科技厅重点项目(2010N3013)、现代农业产业技术体系资助项目(CARS-23/2016)、福建农林大学 2016 年度科技创新专项基金项目(CXZX2016102)、福建省人力资源和社会保障厅项目([2012]398)

**Fund:** Supported by Key Project of Science and Technology Department, Fujian Province (2010N3013), Modern Agricultural Industry Technology System (CARS-23/2016); Special Fund for Science and Technology Innovation of Fujian Agriculture and Forestry University in 2016 (CXZX2016102) and Department of Human Resources and Social Security of Fujian Province Supporting Project ([2012]398)

\*通讯作者: 郭雅玲, 教授, 研究方向为茶叶加工与品质评价。E-mail: yaling7819@126.com

\*Corresponding author: GUO Ya-Ling, Professor, College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China. E-mail: yaling7819@126.com

## 1 引言

乌龙茶又名青茶,是六大茶类之一,属于半发酵茶,具有特殊的绿叶红镶边的品质特征。作为一类中国独有的茶叶,主要生产于福建、广东、台湾3省,近些年在江苏、四川和陕西等省份有适制乌龙茶品种茶树种植和进行乌龙茶加工<sup>[1-5]</sup>。其中以福建为乌龙茶主要产区,占乌龙茶产量的75%左右<sup>[6]</sup>。乌龙茶品种众多,花色纷杂,不同产区有自己独特的品质风格,尤其注重滋味与香气<sup>[7]</sup>,总的来说体现了馥郁芬芳,具花果香的香气品质。乌龙茶令人愉悦的天然花果香气,受到市场和广大消费者的喜爱,这也推动了关于乌龙茶香气品质化学的科学研究,包括香气组分、香气形成机制和香气检测技术。

乌龙茶香气形成依赖于做青工序,多酚类物质在多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)和过氧化物酶(peroxidase, POD)的催化作用下氧化缩合为氧化缩合产物,是导致儿茶素含量降低的主要原因<sup>[8]</sup>。在香气组分方面,陈林等<sup>[9]</sup>试验发现,随着做青进程, $\alpha$ -法呢烯、苯乙醛、香叶醇、3-己烯-1-醇和(Z)-己酸-3-己烯酯含量逐渐增多,而叶绿醇、吲哚、2,6-二叔丁基对甲酚和乙基苯等成分含量则呈减少趋势,特别是吲哚、反式-橙花叔醇和苯乙醛这些

带有花果香型的组分形成对乌龙茶香气改善十分有利。

## 2 乌龙茶特征香气组分研究进展

### 2.1 乌龙茶特征香气组分

目前,已经从茶叶中分离并鉴定出来700多种芳香物质,其中乌龙茶香气成分达到了300多种<sup>[10-13]</sup>,在各大茶类中最为丰富,多以醇类、醛类、酮类、酯类为主<sup>[14]</sup>。其中乌龙茶特征香气成分的研究较为深入,众多学者提出了自己的观点。已经从乌龙茶中分离鉴定出的特征芳香物质主要有:橙花叔醇、芳樟醇及其氧化物和香叶醇、顺式-茉莉酮、 $\beta$ -紫罗酮、茉莉内酯、茉莉酸甲酯、吲哚等<sup>[15]</sup>。

乌龙茶不同产地和品种所表现的特征香气组分存在差异<sup>[16,17]</sup>。通过气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析了14个乌龙茶品种(品系)的鲜叶香气组分,发现所含醇类含量最多,脂肪酸类、醛类、酮类、脂类、杂氧化合物类依次递减,含量最高的是香叶醇,金萱中香叶醇含量最高,水仙中具有泥土气息用来做定香剂的棕榈酸和甜香味的植醇含量最高,梅占中芳樟醇含量最高, $\alpha$ -甲基- $\alpha$ -[4-甲基-3-戊烯基]环氧乙烷甲醇毛蟹中含量最高<sup>[18]</sup>。

表1 乌龙茶主要特征香气组分的比较  
Table 1 Comparison of main aromatic constituents of Oolong tea

作者	年份	品种	香气组分(%)							
			芳樟醇	香叶醇	苯乙醇	橙花叔醇	吲哚	$\alpha$ -法呢烯	$\beta$ -紫罗酮	茉莉酮
苗爱清等 <sup>[19,20]</sup>	2010	黄金桂	3.01	2.12	3.39	6.74	7.96	8.48	0.52	1.67
	2010	金萱	5.41	1.27	0.89	6.21	21.81	3.27	0.37	1.41
	2010	铁观音	9.05	1.62	2.44	9.85	9.54	8.45	-	0.75
张雪波等 <sup>[24]</sup>	2010	白叶单枞	34.84	1.44	-	0.97	0.81	0.98	2.27	0.56
	2012	铁观音	1.65	0.52	2.14	44.32	11.15	13.05	-	0.54
吕事懂等 <sup>[16]</sup>	2014	铁观音	0.97	0.79	0.72	28.12	5.83	23.50	0.66	0.66
	2014	黄金桂	2.26	1.35	0.64	14.71	2.23	2.43	17.70	0.43
	2014	冻顶乌龙	1.54	2.89	0.61	13.18	10.67	8.05	2.59	1.52
赖幸菲等 <sup>[23]</sup>	2014	大红袍	0.32	0.53	0.69	4.16	0.28	0.39	3.94	0.45
	2014	凤凰单枞	1.19	1.56	0.27	1.68	0.73	0.35	3.42	2.26
	2014	翠玉春季	4.18	-	-	16.77	25.41	3.33	4.50	0.38
张献忠等 <sup>[22]</sup>	2014	翠玉秋季	4.06	-	-	19.00	35.08	3.82	0.49	0.36
	2015	黄枝单枞	20.20	8.85	-	-	0.34	-	1.4	2.18
陈贤明等 <sup>[24]</sup>	2015	清香铁观音	2.15	-	-	19.43	9.02	7.28	0.54	2.09
	2015	焙火铁观音	2.74	-	-	18.65	7.81	4.71	0.92	2.49

注:“-”表示未检出。

表 1 总结了近年一些已发表的关于乌龙茶特征香气组分含量的研究成果。就产区而言, 对福建、广东和台湾 3 个产区的 5 种乌龙茶香气进行分析<sup>[16]</sup>, 醇类化合物橙花叔醇、芳樟醇及其氧化物、香叶醇、苯乙醇等中, 以橙花叔醇在铁观音中含量最高, 在凤凰单枞中最低, 分别为 28.12% 和 1.68%, 而芳樟醇则差异不明显。苗爱清等<sup>[19,20]</sup>、严赞开等<sup>[21]</sup>、张献忠等<sup>[22]</sup>研究发现, 广东单枞乌龙茶主导特征香气成分是柠檬烯、吲哚、3-己烯醇苯酯、芳樟醇、香叶醇、二氢芳樟醇、脱氢芳樟醇, 5-正丁基- $\delta$ -戊内酯, 福建黄金桂则是以 6-甲基-5-庚烯-2-酮、顺-己酸-3-己烯酯、顺-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯、法呢烯、橙花叔醇。台湾翠玉特征香气成分是法呢烯, 金萱的征香气物质是 1-庚醇、芳樟醇氧化物 III。

相同产地不同单枞乌龙茶香气比较来看, 凤凰单枞、黄枝单枞和白叶单枞在乌龙茶特征香气成分橙花叔醇含量上差别巨大, 黄枝单枞最高。主要赋香物质芳樟醇在白叶单枞中含量高达 34.84%, 是凤凰单枞的几十倍<sup>[16,19,22]</sup>。

对于不同季节翠玉乌龙茶香气成分来看, 春、秋季检出香气成分数量一致均为 47 种, 以醇类和吡嗪类为主, 较春茶而言, 秋茶的香气更高、持久, 可能是因为含有较多的橙花叔醇和吲哚<sup>[23]</sup>。

对于清香型、烘焙型 2 种闽南铁观音特征香气通过固相萃取-气相色谱-质谱法 (solid phase extraction-gas chromatography-mass spectrometry, SPE-GC-MS) 检测<sup>[24,25]</sup>, 认为橙花叔醇、 $\alpha$ -法呢烯、吲哚、脱氢芳樟醇、苯乙酸香叶酯、反- $\beta$ -罗勒烯、顺式茉莉酮、茉莉内酯、苯乙腈、苯乙醛柠檬烯、苯乙醛、苯乙醇等组分是清香型铁观音特征香气组分。烘焙后铁观音中 2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、1-甲基-1-H-吡咯、2-乙酞基吡咯、2-正戊基吡喃等杂环类化合物具有烘烤香和火功香的物质出现<sup>[26]</sup>。

## 2.2 特征香气组分形成机制

乌龙茶特征香气物质的形成和发展主要取决于酶促反应的适度进行和一系列热作用下的化学和生物化学转化<sup>[27]</sup>, 比如: 萜类化合物代谢途径、莽草酸代谢途径, 脂肪酸和类胡萝卜素的氧化代谢途径等多种生物化学代谢途径<sup>[28]</sup>。

对于乌龙茶特征香气组分形成机制的研究还未十分透彻, 部分研究者在前人研究的基础上进行了总结和归类, 提出主要有以下几种类型<sup>[29]</sup>: ①类胡萝卜素、胡萝卜素及其氧化衍生物, 如  $\beta$ -胡萝卜素由儿茶素类氧化引起的降解生成  $\beta$ -紫罗酮及其衍生气化化合物<sup>[30,31]</sup>; ②脂肪酸和不饱和脂肪酸, 如亚麻酸、亚油酸的氧化降解生成醇、醛类化合物等六碳化合物, 如青叶醇、己烯醇、青叶醛等; ③氨基酸的脱羧和氧化脱氨产生香气前体物质醛类化合物; ④在湿热和干热的作用下, 氨基酸、糖和儿茶素类物质通过

Maillard 反应产生的香气化合物。⑤果香酯类化合物, 通过内部低级有机酸与醇类的酯化反应而形成。⑥乌龙茶特有的天然花果香气特征组分一部分是由有机酸和醇类酯化产生, 另一部分是通过糖苷类物质, 如萜烯醇在  $\beta$ -糖苷酶水解作用下产生的游离芳香物质成分形成<sup>[32-37]</sup>。

## 3 做青工艺对乌龙茶特征香气成分影响

特征香气化学组分的含量以及各组分的比例, 直接或者间接反映了乌龙茶香气的香型、香气的高低和持久度<sup>[25]</sup>, 也间接或直接影响着乌龙茶的香气感官品质。因此, 乌龙茶初制加工, 特别是做青工艺就是为了把这些提高品质的香气成分尽可能的转化保留并提高其成分含量。

### 3.1 做青方式对乌龙茶特征香气成分影响

目前对做青方式的探讨较多集中于手工做青和机械做青的研究<sup>[38,39]</sup>。不同做青方式在温度、湿度和做青机械力做青使得乌龙茶特征香气在丰度和组分上有较大差异。

表 2 做青方式对桂花香型乌龙茶香气影响<sup>[38,39]</sup>

Table 2 Effects of green-making mode on aromatic constituents of Oolong cv. Guihua

香气组分(%)	做青方式	
	手工做青	机械做青
芳樟醇及其氧化物	7.72	4.01
3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇	3.16	1.59
苯甲醛	1.74	0.98
顺-3-己烯酯	1.52	2.81
水杨酸甲酯	1.62	0.75
$\alpha$ -紫罗酮	1.01	0.42
香叶醇	1.76	2.65
顺式青叶醇	0.67	-
吲哚	3.41	5.71
橙花叔醇	12.07	17.36

注: “-”表示未检出。

手工做青和机械做青 2 种做青方式对做青叶受力原理一致, 但机械做青加剧做青叶酶促氧化速度和程度, 使内含物质过分解和氧化还原, 特征香气组分比例失调, 香气表现不如手工做青。但其降低劳动强度, 减少劳动力成本, 具有规模化、洁净化生产的巨大前景, 在福建茶区普遍使用。如表 2 所示, 由于做青方式的不同, 主要特征香气组分含量差异较大, 值得注意的是, 顺式青叶醇在机械做青的凤凰单枞中未被检出<sup>[38]</sup>。王尔茂等<sup>[39]</sup>在分析了凤凰单枞不同做青方式后也得出了同样结论, 认为手工做青更适合凤凰单枞乌龙茶加工。

在手工和机械做青方式结合的试验中,肉桂岩茶经过前期手工和后期机械做青,在五摇时独特的花果香开始显现,前期稳定品质,后期节省劳力,既形成了良好香气又提高生产效率<sup>[40]</sup>。

乌龙茶做青品质与外界环境中的温度、湿度关系密切,手工做青和机械做青 2 种做青方式的外界环境很难保持一致,在实际加工中需要根据不同品种的叶组织生理特性和适制性,选择不同做青方式,来协调香气组分含量和比例。

### 3.2 做青温度对乌龙茶特征香气成分影响

温度对于乌龙茶做青品质十分关键,通过影响酶活性从而影响呼吸作用和酶促反应的进行。目前来看乌龙茶做青最适宜温度为 18~23 °C,比较接近乌龙茶传统加工上所说的“北风天”气温,对于乌龙特征香气形成和发展是有利的。

丹桂以闽南乌龙茶做法在不同温度条件下做青,其香气品质差异明显,虽然均以橙花叔醇和  $\beta$ -芳樟醇为主要香气组分,但在高温条件下做青(21.0~27.5 °C)香气组分较少,共检出 46 种,在低温条件下(16.0~21.0 °C)检出 53 种并且香气品质较优,主要是因为具有花果香味的萜烯类和醇类香气物质含量较高<sup>[41]</sup>。

铁观音在不同做青温度下表现为高温做青(22.0~23.0 °C)香气品质优于低温(17.0~18.0 °C)<sup>[42]</sup>,虽然主要特征香气成分一致,但总量差距较大,特别是乙醇、橙花叔醇、 $\beta$ -紫罗酮在高温做青中含量高。同时应看到,低温做青使得低沸点的香气组分得以保留,如低沸点的醇、

酸类化合物。高温做青表现出花果香的高沸点香气组分,如、酯、酮类化合物。

对于闽南乌龙茶铁观音,在 22.0~23.0 °C 条件下做青,不但最适于多酚类氧化反应进行,也使得呼吸作用保留更多地糖类物质,共同促进乌龙茶特征香气的形成,其香气总量远高于 17.0~18.0 °C 条件下做青<sup>[43]</sup>,同时也有利于节约能耗和成本,提高效率。采取温度控制设备,在做青过程中保持低温,可以取得良好的香气品质效果,尤其是在发展乌龙茶特有的花果香方面具有较大作用。

### 3.3 做青湿度对乌龙茶特征香气成分影响

陈林等<sup>[9]</sup>在相对湿度(71±4)%条件下做青的清香、闽南和闽北乌龙茶特征香气组分进行了主成分分析,结果表明,有 3 类主成分对于香气组成方差贡献率达到了 63.21%,其中主要与吲哚、反式橙花叔醇、苯乙醛和法呢烯有关,这些香气成分可作为判别香气品质的化学指标。

保持相同温度,不同湿度并按闽南乌龙茶方式做青,黄旦品种在相对湿度 75% 的条件下,橙花叔醇、香叶醇、 $\beta$ -紫罗酮、顺茉莉酮等提高香气品质的组分含量较高,毛茶香气浓爽持久,花香明显。虽然不同湿度条件下的主要香气成分在性质上差别不大,但含量上却有不同,均以橙花叔醇为最高香气物质,但低湿度(55%)做青乌龙茶香气花果甜香与持久性低于高湿度(75%)做青<sup>[44]</sup>。

做青湿度主要是环境空气中水汽压通过对做青叶“走水”调控来影响水分散失和叶内水分分布,控制化学反应进行和内含物质转化。乌龙茶局部发酵的特点与湿度和水分有着密切的关系,对香气品质有着重要作用。

表 3 乌龙茶不同温度做青特征香气组分比较<sup>[41,42]</sup>

Table 3 Comparison of aromatic constituents in Oolong tea by green-making of different temperatures

香气组分(%)	铁观音做青温度		香气组分(%)	丹桂做青温度	
	高温 22.0~23.0 °C	低温 17.0~18.0 °C		高温 21.0~27.5 °C	低温 16.0~21.0 °C
芳樟醇及其氧化物	0.72	0.49	$\beta$ -芳樟醇及其氧化物	5.41	5.62
橙花叔醇	17.6	5.42	橙花叔醇	38.66	43.51
$\beta$ -紫罗酮	0.30	0.35	苯甲醛	1.79	1.08
苯乙醇	6.16	3.3	苯乙醛	8.34	15.1
$\alpha$ -法呢烯	1.44	0.86	$\alpha$ -法呢烯	13.85	5.14
乙醇	5.91	1.42	吲哚	0.42	2.39
乙酸乙酯	2.23	-	香叶醇	-	0.23
1-戊烯	0.08	-	环氧芳樟醇	-	0.44
6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.37	-	3, 4-二甲基环己醇	1.64	1.27
叶醇	0.20	-	苯乙腈	1.48	2.29

注:“-”表示未检出。

表4 不同做青程度香气分析结果  
Table 4 Analysis results of aromatic components by different degrees of green-making

香气组分(%)	做青程度 <sup>[45]</sup>			香气组分(%)	玉琼做青强度 <sup>[46]</sup>		肉桂做青强度 <sup>[47]</sup>		
	轻 文山包种	中 冻顶乌龙	重 东方美人		轻	重	轻	中	重
橙花叔醇	21.35	17.4	6.05	橙花叔醇	30.31	39.4	64.3	71.4	68.3
芳樟醇及其氧化物	1.26	1.45	12.15	芳樟醇	3.24	6.56	2.06	4.00	3.5
3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇	0.72	0.60	2.12	顺-芳樟醇氧化物	0.74	1.28	-	-	-
$\alpha$ -杜松醇	-	0.90	1.27	香叶醇	3.43	5.1	1.06	1.53	2.16
顺式青叶醇	-	-	0.18	香叶醛	0.32	0.41	-	-	-
橙花醇	-	-	0.75	己酸己酯	1.26	0.99	0.57	0.95	1.64
$\alpha$ -法呢烯	14.29	19.3	1	吲哚	12.62	13.02	2.95	0.62	0.93
苯甲酸苄酯	0.26	0.32	-	$\alpha$ -法呢烯	12.19	13.44	5.12	3.64	5.34
茉莉酮酸甲酯	2.02	1.92	-	$\beta$ -紫罗酮	1.03	0.13	1.34	0.98	1.37

注:“-”表示未检出。

### 3.4 做青强度对乌龙茶特征香气成分影响

不同做青程度的台湾乌龙茶实验表明<sup>[45]</sup>, 轻度(发酵程度约20%)和中度(发酵程度约40%)做青的文山包种和东方美人在特征香气成分上较为接近, 但和重度做青(发酵程度约60%)的在特征香气成分上差异较大。对特征香气组分比较发现, 轻度和中度做青乌龙茶中检测出较多的吲哚、 $\alpha$ -法呢烯和茉莉内脂, 而在重度做青乌龙茶中检出较多的酯、酮和醛类化合物。乌龙茶特征的橙花叔醇含量很低, 而红茶中高活性的香气成分含量较高, 特别是出现了大吉岭红茶的特征香气成分, 因此猜测东方美人香气品质更接近红茶。同时发现, 在相同品种和工艺条件下, 虽然轻、中度做青的程度不同, 但香气组分相似。

林郑和等<sup>[46]</sup>按闽北乌龙茶制法, 设计了不同做青程度实验, 结果显示, 一些特征香气组分含量, 如橙花叔醇39.40%、 $\alpha$ -法呢烯13.44%、吲哚13.02%、香叶醇5.10%、芳樟醇6.56%, 在重度做青乌龙茶中含量大。

对肉桂进行3种不同程度的闽北做青处理<sup>[47]</sup>, 发现在一定程度内, 香精油含量随做青程度增加而增加, 在出现的肉桂特征香气组分中, 认为橙花叔醇是肉桂特征香气成分, 并且做青程度较强含量也比较高, 分别为64.3%、71.4%和68.3%。

做青强度主要表现在做青发酵程度上, 不同做青强度对做青叶的细胞破坏程度不同, 通过影响细胞内酶促反应的进程从而对乌龙茶特征香气物质产生进行调控。但也有研究表示做青次数对于乌龙茶香气成分无明显影响, 而主导因素是做鲜叶减重率即萎凋程度<sup>[9]</sup>。

## 4 结 论

香气成分作为乌龙茶品质很重要的一部分, 特征香气成分的研究历来被茶叶科研工作者和生产者所重视。虽然已经通过先进的香气检测技术对乌龙茶特征香气成分有了定性和定量的分析比较, 但如何与实际生产相结合依然需要时间去探索。

做青工艺与乌龙茶香气品质的关系十分密切, 其加工方式和外部自然环境对香气物质的成分和含量的影响是复杂的。香气物质在不同做青条件下的出现、在丰度与含量上、各组分比例上等细微的差别就可以较大的影响乌龙茶毛茶香气的感官品质。

在今后的研究中, 研究者要借助先进的分子生物学技术, 进一步发现乌龙茶做青过程中特征香气在分子水平上的表达机制; 在现有理论基础进一步开发实时香气检测技术装备, 与智能化乌龙茶加工设备相配套, 从而早日解决乌龙茶加工的品质难以控制的难题。

### 参考文献

- [1] 许群峰, 许铭. 乌龙茶新品种在宜兴茶区引种试验报告[J]. 中国茶叶, 2013, 35(6): 20-22.  
Xu QF, Xu C. Oolong tea varieties in yixing tea area introduction test report [J]. China Tea, 2013, 35(6): 20-22.
- [2] 江苏溧阳天目湖白茶一号成功试制乌龙茶[J]. 农村百事通, 2015, 7: 15.  
White tea No1 has successfully trial-produced Oolong tea in Tianmu lake of Jiangsu province Liyang [J]. Rur Know Pers, 2015, 7: 15.
- [3] 林正奎, 华映芳, 谷豫红. 四川乌龙茶香气化学成分的剖析[J]. 有机

- 化学, 1984, 4(1): 21-24.
- Lin ZK, Hua YF, Gu YH. Analysis of the aroma of Sichuan Oolong tea [J]. *Chin J Org Chem*, 1984, 4(1): 21-24.
- [4] 王飞权. 陕西乌龙茶加工工艺研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2009.
- Wang FQ. A survey of the processing techniques of Shaanxi Oolong tea [D]. Xi'an: Northwest A&F University, 2009.
- [5] 王自琴. 四川引进茶树品种茗科 1 号、铁观音和黄桫加工红茶与绿茶的品质比较[D]. 成都: 四川农业大学, 2015.
- Wang ZQ. Compared the quality of black tea and green tea made by Mingkel, Tie guan-yin and Huangyan introduced to Sichuan province. [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2015.
- [6] 陈宗懋. 中国茶经[M]. 上海: 上海文化出版社, 1991.
- Chen ZM. The classic of Chinese tea [M]. Shanghai: Shanghai Culture Publishing House, 1991.
- [7] 张方舟, 张应根, 陈林. 乌龙茶的感官审评[J]. *中国茶叶*, 2003, 25(5): 14-15.
- Zhang FZ, Zhang YG, Chen L. Sensory evaluation for Oolong tea [J]. *China Tea*, 2003, 25(5): 14-15.
- [8] 吴颖, 戴永峰, 张凌云. 做青工艺对乌龙茶品质影响研究进展[J]. *广东茶业*, 2013, (5): 8-11.
- Wu Y, Dai YF, Zhang LY. A review on research of effects of leaf-bruising process on quality of Oolong tea [J]. *Guangdong Tea*, 2013, (5): 8-11.
- [9] 陈林, 陈键, 陈泉宾, 等. 做青工艺对乌龙茶香气组成化学模式的影响[J]. *茶叶科学*, 2014, (04): 387-395.
- Chen L, Chen J, Chen BQ, *et al.* Effects of green-making technique on aroma pattern of Oolong tea [J]. *J Tea Sci*, 2014, (04): 387-395.
- [10] 陈美霞, 陈学森, 周杰. 蒸馏萃取法与溶剂萃取法萃取杏果实香气成分的比较[J]. *分析实验室*, 2005, 24(3): 65-70.
- Chen MX, Chen XS, Zhou J. The comparison of aroma components in fruit of apricot by steam distillation-extraction and solvent extraction [J]. *Chin J Anal Lab*, 2005, 24(3): 65-70.
- [11] Eds Wilson KC, Clifford MN. Tea cultivation to consumption [M]. London: Chapman & Hall, 1992.
- [12] Schuh C, Schiahaarla P. Characterization of the aroma compounds in beverage prepared from darjeeling black tea: quantitative difference between tea leaves and infusion [J]. *J Agric Food Chem*, 2006, 54(3), 916-924.
- [13] 王欢, 张振民. 影响茶叶香气的几种因素[J]. *福建茶叶*, 1997 (3): 40-42.
- Wang H, Zhang ZM. The several factors that affect the tea aroma [J]. *Tea Fujian*, 1997, (3): 40-42.
- [14] 王秀萍, 陈常颂. 乌龙茶香气成分代谢机制研究进展[J]. *茶叶科学技术*, 2002, (2): 9-10.
- Wang XP, Chen CS. A review on research of Oolong tea aroma composition metabolic mechanism [J]. *Tea Sci Technol*, 2002, (2): 9-10.
- [15] 乔如颖, 郑新强, 李清声, 等. 茶叶挥发性香气化合物研究进展[J]. *茶叶*, 2016, 42(3): 135-142.
- Qiao RY, Zheng XQ, Li QS, *et al.* Research advances in aromatic volatiles of various teas [J]. *J Tea*, 2016, 42(3): 135-142.
- [16] 吕世懂, 吴远双, 姜玉芳, 等. 不同产区乌龙茶香气特征及差异分析[J]. *食品科学*, 2014, 35(2): 146-153.
- Lv SD, Wu YS, Jiang Y, *et al.* Comparative analysis of aroma characteristics of Oolong tea from different geographical regions [J]. *Food Sci*, 2014, 35(2): 146-153.
- [17] 苏兴茂. 中国乌龙茶[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2010.
- Su XM. Chinese Oolong tea [M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2010.
- [18] 黄旦益, 齐冬晴, 沈程文, 等. 不同乌龙茶品种(品系)鲜叶香气组分的初步研究[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(10): 189-199.
- Huang DY, Xu DQ, Shen CW, *et al.* The preliminary study of fresh leaves aroma components of different Oolong tea varieties [J]. *Chin Agric Bull*, 2016, 32(10): 189-199.
- [19] 苗爱清, 伍锡岳, 庞式, 等. 岭头单丛茶晒青香气变化研究[J]. *广东茶叶*, 2001, 4: 3538.
- Miao AQ, Wu YX, Pang S, *et al.* Changes in aroma of Lingtou Dancong Oolong tea during sun-dried [J]. *Guangdong Tea*, 2001, 4: 3538.
- [20] 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(S1): 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(S1): 583-587.
- [21] 严赞开, 李跃林, 庄东红, 等. 凤凰单枞香气成分的分析[J]. *食品研究与开发*, 2015, (10): 78-81.
- Yan ZK, Li YL, Zhuang DH, *et al.* Analysis on aromatic constituents of Fenghuang Dancong Tea cultivar [J]. *Food Res Dev*, 2015, (10): 78-81.
- [22] 张献忠, 叶田, 高飞鹭, 等. 黄枝香凤凰单枞茶叶挥发性香气组分分析[J]. *农产品加工*, 2015, (19): 51-53, 57.
- Zhang XZ, Ye T, Gao FL, *et al.* Analysis of volatile compounds of Huangzhi aromatic camellia sinensis cv. Fenghuang Dancong Tea [J]. *Farm Prod Process*, 2015, (19): 51-53, 57.
- [23] 赖幸菲, 庞式, 李裕南, 等. 不同季节翠玉品种茶叶香气组分的 GC-MS 分析[J]. *现代食品科技*, 2014, (12): 287-293.
- Lai XF, Pang S, Li YN, *et al.* Aroma-producing components of Cuiyu Tea leaves during different seasons by GC-MS [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2014, (12): 287-293.
- [24] 陈贤明, 冯林, 罗赛, 等. HS-SPME-GC/MS 法分析焙火对铁观音品质及挥发性香气组分的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(20): 53-58.
- Chen XM, Feng L, Luo S, *et al.* Analysis of volatile aroma compounds in baking Tieguanyin Oolong tea by head space-solid phase micro-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(20): 53-58.
- [25] 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的构建[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.
- [26] 刘伟. 不同造型工艺铁观音香气品质的比较分析[C]. 贵阳: 科技创新与茶产业发展论坛论文集, 2013.
- Liu W. Comparative analysis of the aroma quality of Tie Guanyin Tea processed by different modeling methods [C]. Guiyang: The forum of Proceedings of the Technology Innovation and Development of Tea Industry Development, 2013.
- [27] 康受婷. 不同茶树品种、生产季节和加工方法对茶叶挥发性化合物的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- Kang SL. Effects of cultivar, growing season and processing method on volatiles of tea leaves [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.

- [28] Yang Z, Baldermann S, Watanabe N. Recent studies of the volatile compounds in tea [J]. *Food Res Int*, 2013, 53: 585–599.
- [29] 张翠香. 乌龙茶加工过程香气成分变化及形成机理的研究进展[J]. *福建茶叶*, 2006, 1: 7–8.  
Zhang CX. Research advances in Oolong tea processing process and formation mechanism of aroma composition change [J]. *Tea Fujian*, 2006, 1: 7–8.
- [30] 张凤霞, 陈忠正, 李斌. 广东凤凰单枞乌龙茶挥发性组分分析[C]. 北京: 中国科学技术协会, 2010.  
Zhang FX, Chen ZZ, Li B. Analysis of volatile compounds of Guangdong Fenghuangdancong Tea [C]. Beijing: China Association for Science and Technology, 2010.
- [31] 林杰. 茶叶香气的图谱分析及在茶叶品质真实性鉴定中的应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.  
Lin J. Analysis of aromatic profile and application on product quality authentication of tea (*Camellia sinensis*) [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [32] 李凤凤. 茶叶的香气化学和加工工艺[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.  
Li FF. The aroma and processing of tea [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [33] 张冬桃, 孙君, 叶乃兴, 等. 茶树萜烯类香气物质合成相关酶研究进展[J]. *茶叶学报*, 2015, 56(2): 68–79.  
Zhang DT, Sun J, Ye NX, *et al.* Research progress of enzymes associated with terpene synthesis in *camellia sinensis* [J]. *Acta Tea Sin*, 2015, 56(2): 68–79.
- [34] 沈力飞, 刘更生, 张聪, 等. 茶叶香气的形成及检测研究进展[J]. *农产品加工*, 2014, (21): 58–61.  
Shen LF, Liu GS, Zhang C, *et al.* Research of from ation mechanism and detection technology on aroma in tea [J]. *Farm Prod Process*, 2014, (21): 58–61.
- [35] 刘洋, 胡军, 李海民, 等. 乌龙茶香气成分研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(33): 16333–16336.  
Liu Y, Hu J, Li HM, *et al.* Research progress on the aromatic componens in Oolong tea [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2009, 37(33): 16333–16336.
- [36] 杨意成, 梁月荣. 乌龙茶花香形成机理的研究[J]. *茶叶*, 2008, 34(01): 10–14.  
Yang YC, Liang YR. Mechanisms of aromatic volatiles formation in Oolong tea [J]. *J Tea*, 2008, 34(1): 10–14.
- [37] 邹兴, 陈勇, 高林燕, 等. 乌龙茶花香形成机理的研究[J]. *中国农资*, 2014, (16): 117–118  
Zou X, Chen Y, Gao LY, *et al.* Mechanisms of aromatic volatiles formation in Oolong tea [J]. *China Agric-pro*, 2014, (16): 117–118
- [38] 苏新国. 做青工艺对凤凰单枞乌龙茶呈香物质的影响[C]. 广州: 广东省食品学会, 2008.  
Su XG. Effect of leaf-bruising technology on the aroma compounds of Fenghuangdancong Oolong tea [C]. Giangzhou: Guangdong institute of food science and technology, 2008.
- [39] 王尔茂, 阮志燕, 孙颖, 等. 轻重做青对凤凰单枞乌龙茶呈香物质的影响[J]. *食品与机械*, 2009, (3): 23–26.  
Wang EM, Ruan ZY, Sun Y, *et al.* Effect of leaf-bruising technology on the aroma compounds of Fenghuangdancong Oolong tea [J]. *Food Mach*, 2009, (3): 23–26.
- [40] 刘安兴. 武夷岩茶手工与机械结合做青优势分析[J]. *中国茶叶*, 2017, (3): 25–26.  
Liu AX. Analysis of the advantage of manual and mechanical leaf-bruising integration in Wuyi Rock tea [J]. *China Tea*, 2017, (3): 25–26.
- [41] 钟秋生, 陈常颂, 游小妹, 等. 不同做青环境对丹桂秋季乌龙茶香气品质的影响[J]. *福建农业学报*, 2010, 25(4): 468–474.  
Zhong QS, Chen CS, You XM, *et al.* Effect of processing conditions on flavor of Dangui Oolong tea [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2010, 25(4): 468–474.
- [42] 孙云, 金心怡, 苏益平, 等. 乌龙茶不同温度冷做青工艺试验及机理探讨[J]. *福建农业大学学报(自然科学版)*, 2005, 34(3): 309–312.  
Sun Y, Jin XY, Su YP, *et al.* Discussion of mechanism and experimentation of Oolong tea cold finemanipulation at different temperature [J]. *J Fujian Agric Univ (Nat Sci Ed)*, 2005, 34(3): 309–312.
- [43] 曾小燕, 袁弟顺, 肖永芹, 等. 乌龙茶做青过程香气形成的影响因素[J]. *福建茶叶*, 2010, 32(12): 27–30.  
Zeng XY, Yuan DS, Xiao YQ, *et al.* The influence factors of aroma formation during the Oolong tea green-making process [J]. *Tea Fuajin*, 2010, 32(12): 27–30.
- [44] 张方舟, 陈荣冰. 不同湿度做青环境对乌龙茶香气的影响[J]. *福建农业学报*, 1999, 14 (4): 34–37.  
Zhang FZ, Chen RB. Effects of different green-making humidity on aromatic constituents in Oolong tea [J]. *Fujian J Agric Sci*, 1999, 14(4): 34–37.
- [45] 廉明, 吕世懂, 吴远双, 等. 三种不同发酵程度的台湾乌龙茶香气成分对比研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(3): 297–302.  
Lian M, Lv SD, Wu SY, *et al.* Comparative analysis of aroma characteristics of three kinds of Taiwan Oolong tea from different fermentation degree [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(3): 297–302.
- [46] 林郑和, 钟秋生, 陈常颂, 等. 不同晒青和摇青程度对茶树新品系玉琼茶(606)制茶品质的影响[J]. *中国茶叶*, 2015, (11): 17–19.  
Lin ZH, Zhong QS, Chen CS, *et al.* Effects of different sun-dried and leaf-bruising degree on quality of tea of new strain of tea tree 606 [J]. *China Tea*, 2015, (11): 17–19.
- [47] 黄福平, 陈荣冰, 陈伟, 等. 做青强度对乌龙茶品质及其香气组成的影响[J]. *福建农业学报*, 2001, 16(3): 28–34.  
Huang FP, Chen RB, Chen W, *et al.* Effects of intensity of Zuoqing procedure on quality and aroma composition in Oolong tea manufacture [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2001, 16(3): 28–34.

(责任编辑: 姜姗)

## 作者简介



王 赞, 硕士研究生, 主要研究方向为茶叶加工与品质评价研究。  
E-mail: 974370944@qq.com



郭雅玲, 教授, 福建农林大学茶叶研究所副所长, 主要研究方向为茶叶加工与品质评价研究。  
E-mail: yaling7819@126.com