

不同做青温度对乌龙茶滋味与香气品质的影响

邓慧莉^{1,2}, 李鑫磊³, 毛贻帆¹, 柳镇章¹, 倪子鑫¹, 郑玉成¹, 孙云^{1*}

(1. 福建农林大学园艺学院, 福州 350002; 2. 闽江师范高等专科学校公共基础部, 福州 350108;
3. 福建省农业科学院茶叶研究所, 福州 350012)

摘要: **目的** 探究做青温度对乌龙茶滋味及香气品质的影响。**方法** 以铁观音品种鲜叶为供试材料, 采用低温(DW, 15 °C)、常温(CW, 25 °C)和高温(GW, 35 °C) 3种不同做青温度加工毛茶, 测定分析铁观音毛茶的儿茶素、氨基酸以及香气组分。**结果** DW和CW处理儿茶素组分总量之间无显著差异, 但显著高于GW处理。蛋白质氨基酸组分在GW处理中显著提高, 天冬酰胺或为GW处理的标志物。DW条件下, 橙花叔醇、吲哚、芳樟醇和芳樟醇氧化物等多种香气成分含量大幅增加, 而GW条件下仅法呢烯相对含量大幅积累。**结论** 高温加速儿茶素组分的转化, 大部分氨基酸随着做青温度升高而显著增加, 影响滋味与香气品质。不同做青温度对铁观音乌龙茶的香气类型影响较大。

关键词: 温度; 乌龙茶; 做青; 品质; 香气

Effect of different turning-over temperatures on the taste and aroma quality of Oolong tea

DENG Hui-Li^{1,2}, LI Xin-Lei³, MAO Yi-Fan¹, LIU Zhen-Zhang¹, NI Zi-Xin¹,
ZHENG Yu-Cheng¹, SUN Yun^{1*}

(1. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Public Basic Department, Minjiang Teachers College, Fuzhou 350108, China; 3. Tea Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350012, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effect of turning-over temperature on the taste and aroma quality of Oolong tea. **Methods** The fresh leaves of Tieguanyin tea were used as the test material, and the raw tea was processed at low temperature (DW, 15 °C), normal temperature (CW, 25 °C) and high temperature (GW, 35 °C), and the catechins, amino acids and aroma components in Tieguanyin raw tea were determined. **Results** There was no significant difference in the total catechin components between the DW and CW treatments, but they were significantly higher than those under the GW treatment. The protein amino acid component was significantly increased in the GW treatment and asparagine was either a marker for GW treatment. Under DW condition, the content of various aroma components such as nerolidol, indole, linalool and linalool oxide were increased

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-19)、福建农林大学科技创新专项: 茶叶萎凋新技术的研究应用与集成示范(CXZX2018076)、福建农林大学茶产业链科技创新与服务体系建设项目(K1520005A06)

Fund: Supported by the China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-19), Science and Technology Innovation Project of Fujian Agriculture and Forestry University: Research Application and Integration Demonstration of New Technology of Tea Withering (CXZX2018076), and Fujian Agriculture and Forestry University Tea Industry Chain Science and Technology Innovation and Service System Construction Project (K1520005A06)

*通信作者: 孙云, 博士, 教授, 主要研究方向为茶叶加工与生物技术。E-mail: sunyun1125@126.com

*Corresponding author: SUN Yun, Ph.D, Professor, College of Horticulture Fujian Agriculture and Forestry University Technical, Shang Xia Dian Road No.15, Fuzhou 350002, China. E-mail: sunyun1125@126.com

significantly, while the relative content of farnesene was only accumulated significantly under GW condition.

Conclusion High temperature accelerates the transformation of catechins, and most amino acids increase significantly with the increase of turning-over temperature, which affects the taste and aroma quality. Different turning-over temperature has great influence on the aroma types of Tieguanyin Oolong tea.

KEY WORDS: temperature; Oolong tea; turning-over; quality; aroma

0 引言

铁观音以馥郁花果香、醇厚甘鲜的优异品质广受国内外消费者青睐,其加工流程经历萎凋,并依次进行多次摇青、晾青、高温杀青、包揉、干燥等工序^[1]。目前许多研究关注加工工艺对乌龙茶香气与代谢组分的影响^[2-3],研究表明采后加工过程中对各种胁迫的响应对乌龙茶香气形成起重要作用^[4-5]。做青是乌龙茶滋味与香气形成的关键工序,而摇青是做青的关键技术环节,摇青使叶缘组织适度损伤,并促使茶多酚适当地进行酶促氧化,从而形成乌龙茶特有的品质。做青过程中叶片受到机械损伤影响,与香气形成相关的酶在水解、氧化等生化作用下释放出特征香气。

温度是做青工艺的主要影响因子。做青温度过高,加速呼吸作用及酶促氧化,易导致茶多酚、氨基酸、可溶性糖与蛋白质等高分子物质消耗过多,不利于茶叶香气和滋味的形成^[6];低温可减少可溶性内含物质的消耗,能保持茶青持续的生机活力,促进“发酵”^[7-8]。长期以来,空调在闽南乌龙茶特别是铁观音做青过程中广泛应用,形成了其花香高显、色泽翠润等品质特征^[9]。近年来,研究人员发现,低温胁迫与做青过程中的机械胁迫相结合进一步促进乌龙茶主要花香组分含量提高,如橙花叔醇、吲哚和茉莉内酯等^[10-13]。因此,为了探讨生产过程中不同做青温度对乌龙茶品质的影响,本研究以铁观音品种鲜叶为研究对象,研究了低温、常温和高温做青下铁观音毛茶在儿茶素组分、氨基酸组分和香气组分的含量差异,并使用主成分分析法对不同做青温度条件下铁观音毛茶香气进行综合评判,以期为实际生产和进一步深入研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选用无病虫害的一芽三四叶铁观音品种鲜叶,材料于 2019 年 10 月采自福州市晋安区弥高仙茶场。

表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)、表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、儿茶素(catechin, C)、表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)、表儿茶素(epicatechin, EC)、

没食子儿茶素(gallocatechin, GC)、儿茶素没食子酸酯(catechin gallate, CG)、没食子儿茶素没食子酸酯(gallocatechin gallate, GCG)、天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、天冬酰胺、谷氨酸、谷氨酰胺、茶氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、半胱氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、 γ -氨基丁酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸(纯度 $\geq 95\%$)、乙腈、甲酸(质谱级)、甲醇(色谱级)(美国 Sigma 公司)。

1.2 仪器与设备

Agilent 6890N-5975B 气相色谱-质谱联用仪(美国安捷伦科技有限公司); L-8900 日立全自动氨基酸分析仪(日立高新技术公司); Waters 2695-2998 高效液相色谱仪(美国 Waters 公司); 5430R 型台式高速冷冻离心机(德国 Eppendorf 公司)。

1.3 方法

1.3.1 实验设计

将铁观音鲜叶分为 3 份,按照清香型铁观音加工工艺流程制成毛茶,工艺流程为:鲜叶 \rightarrow 萎凋(23~28 °C, 5 h) \rightarrow 做青(3 次摇青后摊晾) \rightarrow 杀青(260 °C, 5 min) \rightarrow 包揉(15 min) \rightarrow 烘干(80 °C) \rightarrow 毛茶。每份铁观音鲜叶在不同温度条件下进行做青,分别为:低温(15 °C, DW)、常温(25 °C, CW)和高温(35 °C, GW),每个温度处理进行生物学重复 3 次,将制得的铁观音毛茶冻干后存于-20 °C 冰箱,待测。

1.3.2 儿茶素组分、氨基酸组分含量测定

儿茶素组分分析采用 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》方法;氨基酸组分采用 GB/T 30987—2014《植物中游离氨基酸的测定》方法。

1.3.3 气相色谱-质谱测定香气成分

将茶叶碾碎过 40 目筛,称取 5.00 g 碾碎茶样于 20 mL 顶空瓶,压盖进样。

顶空条件:顶空平衡温度 80 °C,顶空平衡时间 45 min,进样体积 1 μ L,加压压力 20 psi,加压时间 0.2 min,充气时间 0.2 min,进样时间 1 min。

GC 条件:进样口温度 230 °C,色谱柱 DB-624UI (60 m \times 0.25 mm, 1.40 μ m);升温程序:40 °C 保持 5 min,以 5 °C/min 速率升到 230 °C,保持 5 min,载气:高纯氮气,分流比:10:1。MS 条件:离子源温度 230 °C,扫描范围 45~300 u。

2 结果与分析

2.1 不同做青温度对铁观音毛茶儿茶素和氨基酸的影响

儿茶素是茶叶中最主要的次级代谢产物,占茶树鲜叶干物质量的 12%~25%^[14],EGCG、ECG、EGC 和 EC 为茶叶中主要的儿茶素组分。儿茶素类物质是茶汤苦涩味的重要组成部分之一,但不同儿茶素的滋味特征有所差异。从表 1 中可以看出,DW 和 CW 处理之间儿茶素组分总量无显著差异,但均极显著高于 GW 处理,DW 儿茶素组分高于 GW 处理 15.71%,CW 儿茶素组分高于 GW 处理 11.62%。EGCG、ECG 和 EC 组分变化规律与总量相似,DW 和 CW 处理之间无显著差异但均极显著高于 GW。EGC 组分表现为 DW 显著高于 GW,CW 与 DW、GW 之间均无显著差异。不同温度做青处理对 GCG 和 CG 组分含量影响不大。GC 仅在 CW 处理检测出、C 仅在 DW 处理检测出。酯型、表型儿茶素是茶汤的重要致苦或致涩物,而非表型儿茶素,尤其是非酯非表型儿茶素浓度的上调往往有助于降低茶汤苦涩味。研究表明,做青温度主要影响表型及酯型儿茶素的含量,高温加速儿茶素组分的转化,茶汤涩味降低、回甘强度得以提升。

表 1 不同温度做青下铁观音毛茶儿茶素组分含量

Table 1 Effect of turning-over temperature on the content of catechins in Tieguanyin raw tea

名称	DW/(mg/g)	CW/(mg/g)	GW/(mg/g)
EGCG	78.47±2.33 ^{Aa}	75.45±0.36 ^{Aa}	68.75±2.23 ^{Bb}
EGC	23.12±1.48 ^{Aa}	21.7±0.93 ^{Ab}	19.91±0.62 ^{Ab}
ECG	20.02±0.37 ^{Aa}	19.74±0.28 ^{Aa}	17.27±0.61 ^{Bb}
EC	9.03±0.1 ^{Aa}	8.6±0.15 ^{Ab}	7.96±0.2 ^{Bc}
GCG	1.68±0.37 ^{Aa}	1.42±0.17 ^{Aa}	1.39±0.23 ^{Aa}
CG	1.91±0.11 ^{Aa}	2.03±0.05 ^{Aa}	1.79±0.14 ^{Aa}
GC	ND	1.73±0.06	ND
C	1.23±0.21	ND	ND
总计	135.45±3.57 ^{Aa}	130.66±1.65 ^{Aa}	117.06±3.42 ^{Bb}

注:表中同一行不同小写字母表示不同温度下的含量存在显著差异($P<0.05$),大写字母表示不同温度下的含量存在极显著差异($P<0.01$);“ND”表示该成分未检出,下同。

茶叶中富含多种氨基酸,目前,茶叶中共鉴定出的氨基酸类型有 26 种,其中 20 种为蛋白质氨基酸,6 种为非蛋白质氨基酸^[15]。氨基酸是茶叶滋味主要呈味物质,不同组分及含量呈现不同风味特点,同时氨基酸与儿茶素在热化作用下,可转化为增加茶汤鲜浓味的醇类、内酯类及醛类等化合物,减少茶汤的苦涩味。从表 2 中可以看出,氨基酸总量分布规律与儿茶素组分总量相反,DW 和 CW 之间无显著差异,但极显著低于 GW,GW 处理氨基酸组分高于

DW 处理 32.58%,GW 处理氨基酸组分高于 CW 处理 33.42%,说明总体上 GW 处理促进茶叶中蛋白质水解导致氨基酸组分含量增加。

茶氨酸是茶叶中含量最高的游离氨基酸组分,滋味鲜爽带甜,GW 处理茶氨酸含量增加,但与 DW 和 CW 处理之间无显著差异,说明做青温度对茶氨酸含量影响不大。大量氨基酸组分随着做青温度升高而显著增加,其中鲜味氨基酸谷氨酸、天冬氨酸可以抑制咖啡碱和儿茶素引起的苦涩味,鲜味氨基酸的含量与茶叶品质呈正相关,直接影响到茶汤的鲜爽滋味和口感质量;甜味氨基酸谷氨酰胺、苏氨酸、丝氨酸增加茶汤甜味,可协调茶汤滋味;苦味氨基酸丙氨酸、亮氨酸、组氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸、 γ -氨基丁酸随着做青温度升高显著积累,这些氨基酸对茶汤的收敛性涩味有贡献;芳香类氨基酸酪氨酸、赖氨酸显著增加,说明做青温度升高促进部分氨基酸转化为芳香类物质,形成乌龙茶特征香气。甘氨酸在各处理之间差异不显著,说明其含量不易受温度影响。

综合分析不同做青温度铁观音毛茶的儿茶素、氨基酸组分及感官品质审评结果发现,DW 儿茶素及氨基酸组分含量均较高,铁观音毛茶滋味鲜爽醇和,CW 儿茶素含量较高但氨基酸含量低,故滋味表现为甘爽醇厚,而 GW 处理的铁观音毛茶儿茶素含量低但氨基酸含量高,滋味鲜爽纯和。

表 2 不同温度做青下铁观音毛茶氨基酸组分含量

Table 2 Content of amino acids in Tieguanyin raw tea under different turning-over temperature

名称	DW/(mg/g)	CW/(mg/g)	GW/(mg/g)
茶氨酸	4.64±0.03 ^{Aa}	4.41±0.09 ^{Aa}	4.85±0.31 ^{Aa}
谷氨酸	0.84±0.03 ^{Bb}	0.68±0.02 ^{Cc}	1.05±0.04 ^{Aa}
谷氨酰胺	0.26±0.02 ^{Bc}	0.31±0.03 ^{Bb}	0.60±0.01 ^{Aa}
天冬氨酸	0.67±0.01 ^{Bb}	0.58±0.01 ^{Cc}	0.91±0.04 ^{Aa}
天冬酰胺	ND	ND	0.25±0.05
苏氨酸	0.15±0.01 ^{Cc}	0.21±0.01 ^{Bb}	0.23±0.01 ^{Aa}
丝氨酸	0.43±0.02 ^{Cc}	0.51±0.02 ^{Bb}	0.65±0.02 ^{Aa}
甘氨酸	0.07±0.02 ^{Aa}	0.06±0.01 ^{Aa}	0.06±0.01 ^{Aa}
丙氨酸	0.13±0.01 ^{Cc}	0.15±0.01 ^{Bb}	0.23±0.01 ^{Aa}
缬氨酸	0.12±0.02 ^{Bb}	0.18±0.01 ^{Bb}	0.31±0.04 ^{Aa}
异亮氨酸	0.05±0.02 ^{Bb}	0.05±0.01 ^{Bb}	0.14±0.02 ^{Aa}
亮氨酸	0.10±0.04 ^{Bb}	0.12±0.01 ^{ABb}	0.22±0.03 ^{Aa}
酪氨酸	0.14±0.02 ^{Bb}	0.18±0.01 ^{Bb}	0.33±0.03 ^{Aa}
苯丙氨酸	0.11±0.02 ^{Cc}	0.18±0.02 ^{Bb}	0.33±0.01 ^{Aa}
γ -氨基丁酸	0.12±0.01 ^{Bb}	0.11±0.01 ^{Bb}	0.16±0.01 ^{Aa}
赖氨酸	0.09±0.02 ^{Bc}	0.13±0.01 ^{Bb}	0.20±0.02 ^{Aa}
组氨酸	0.06±0.02 ^{Aa}	0.08±0.01 ^{Aa}	0.07±0.02 ^{Aa}
总计	7.98±0.07 ^{Bb}	7.93±0.05 ^{Bb}	10.58±0.1 ^{Aa}

2.2 不同温度做青铁观音毛茶的香气组分分析

茶叶芳香物质是由含量微少、性质不同的众多挥发性物质以不同浓度和比例组合而成^[16-19]。同时,以花果香为特征气味的橙花叔醇、 α -法呢烯等倍半萜类化合物是铁观音中检测到的主要香气组分,并且香味阈值低,易于辨别^[20-23]。根据香气组分测定结果,结合国内外关于铁观音毛茶主要香气组分的报道,筛选出 15 个铁观音毛茶主要香气组分^[20]。从表 3 中可以看出,随着做青温度增加,法呢烯和甲基庚烯酮相对含量不断提高,GW 处理法呢烯相对含量较 DW 处理增加 7.5%,为 DW 的 2.3 倍。在低温条件下,橙花叔醇、吡啶、芳樟醇、芳樟醇氧化物、己酸叶醇酯、罗勒烯、丁酸叶醇酯等香气组分含量较高。

表 3 不同温度做青铁观音毛茶主要香气组分相对含量
Table 3 Content of main volatiles in Tieguanyin raw tea under different turning-over temperature

名称	DW/%	CW/%	GW/%
法呢烯	5.78	7.84	13.28
橙花叔醇	0.69	0.73	0.52
吡啶	0.32	0.21	0
芳樟醇	10.27	9.11	9.3
氧化芳樟醇	3.38	2.45	2.15
己酸叶醇酯	4.41	3.98	3.14
罗勒烯	3.44	4.64	3.65
丁酸叶醇酯	2.36	1.66	0.82
甲基庚烯酮	1.11	1.47	2.12
正己醛	8.43	7.05	9.86
正戊醛	7.59	3.76	4.77
2-己烯醛	3.41	3.82	2.78
1-戊醇	1.92	0.42	0.43
正庚醛	3.26	2.53	2.7
3-甲基丁醛	3.1	5.62	7.19

2.3 不同温度做青铁观音毛茶香气组分的主成分分析

为综合评价不同做青温度处理对铁观音香气品质的影响,对表 3 铁观音中主要香气组分进行主成分分析。分别为:法呢烯(X_1)、橙花叔醇(X_2)、吡啶(X_3)、芳樟醇(X_4)、氧化芳樟醇(X_5)、己酸叶醇酯(X_6)、罗勒烯(X_7)、丁酸叶醇酯(X_8)、甲基庚烯酮(X_9)、正己醛(X_{10})、正戊醛(X_{11})、2-己烯醛(X_{12})、1-戊醇(X_{13})、正庚醛(X_{14})、3-甲基丁醛(X_{15})。经

标准化处理后可得出各主成分的特征值(eigenvalue)、方差贡献率(variance contributionrate)以及累计贡献率(cumulative contribution)。从表 4 中可以看出第一主成分(F_1)与第二主成分(F_2)的特征值 $\lambda > 1.0$, 方差贡献率分别为 69.19%和 30.8%,二者累计贡献率达 99.99%,说明 F_1 和 F_2 包含铁观音样本绝大部分香气组分含量信息。

表 4 铁观音毛茶香气主成分特征值与累计贡献率
Table 4 Characteristic value and cumulative contribution rate on principal component of volatiles of Tieguanyin raw tea

	特征值(λ)	方差贡献率/%	累计贡献率/%
F_1	10.38	69.19	69.19
F_2	4.6	30.80	99.99

15 个香气组分经指标变量处理后形成 2 个主要成分,根据主成分对应的载荷矩阵得出表 5 的主成分线性组合方程。第一主成分(F_1)的方差贡献率为 69.19%,占一半以上,其中橙花叔醇、吡啶、芳樟醇、氧化芳樟醇、己酸叶醇酯、丁酸叶醇酯、正戊醛、2-己烯醛、1-戊醇和正庚醛与 F_1 呈正相关,吡啶、氧化芳樟醇和己酸叶醇酯的相关性均大于 0.9。法呢烯、甲基庚烯酮和正己醛与 F_1 呈负相关,其中法呢烯和甲基庚烯酮相关性均低于-0.9。

表 5 铁观音毛茶香气主成分对应的载荷矩阵
Table 5 Load matrix on principal component of volatiles of Tieguanyin raw tea

	F_1	F_2	F_1	F_2	
X_1	-0.96	0.30	X_9	-0.98	0.21
X_2	0.73	-0.68	X_{10}	-0.47	0.88
X_3	0.98	-0.22	X_{11}	0.74	0.67
X_4	0.81	0.59	X_{12}	0.56	-0.83
X_5	0.97	0.24	X_{13}	0.89	0.47
X_6	0.97	-0.23	X_{14}	0.76	0.65
X_7	-0.21	-0.98	X_{15}	-0.99	-0.087
X_8	0.99	-0.10			

通过计算各主成分方程载荷系数及其对应香气组分的相对含量,获得各处理的 F_1 与 F_2 得分,并进一步以不同特征值的方差贡献率作 F_1 和 F_2 的加权系数,建立铁观音香气质量综合评价模型: $F=0.69F_1+0.31F_2$ 。从表 6 中可以看出,不同做青温度处理的 F_1 得分以 DW 为最高, CW 和 GW 依次降低,而 F_2 得分不同做青温度处理之间差异不大。香气质量综合评价总分从高到低为 DW、CW 和 GW。因此可以看出,不同温度做青处理后铁观音香气类型发生较大改变,且这种改变随着温度增加而增大。

表 6 铁观音毛茶香气质量综合评价
Table 6 Comprehensive evaluation on volatile quality of Tieguanyin raw tea

	F_1	F_2	F	排名
DW	16.41	16.11	16.32	1
CW	4.45	16.58	8.18	2
GW	-5.91	16.58	1.02	3

不同温度做青处理主要影响 F_1 中香气组分, 在低温下吲哚、橙花叔醇、芳樟醇、氧化芳樟醇、己酸叶醇酯等香气组分相对含量较高。其中, 吲哚低浓度呈橙子和茉莉花香, 橙花叔醇具有明显花香, 芳樟醇有百合花或玉兰花香, 氧化芳樟醇有鲜花和草本的芳香, 己酸叶醇酯具有清果香, 说明低温可以促进花香型香气组分的形成。

而随着做青温度增加法呢烯和甲基庚烯酮等香气组分相对含量增加, 其中法呢烯有果香、草香、木香, 甲基庚烯酮具有水果香气和新鲜清香气, 说明做青温度升高果香型香气组分含量会增加。

3 结论与讨论

本研究显示, 低温和常温做青处理儿茶素组分和总含量接近, 而显著高于高温做青。TENG 等^[24]研究表明, 茶树鲜叶采后在低温(4 °C)、常温(25 °C)和高温(38 °C)条件下其内基因与酶的表达存在较大差异, 在高温条件下, 茶叶中茶尔酮异构酶、黄烷酮 3 羟化酶和花青素还原酶等儿茶素合成酶被抑制, 儿茶素组分与常温和低温相比明显降低。在乌龙茶加工过程, 儿茶素组分降低与乌龙茶香气形成具有相关性, 如苯乙醇和己烯醛等^[25]。高温条件下, 儿茶素组分显著降低, 其转化形成的组分有待进一步探明。本研究显示, 低温和常温做青处理氨基酸组分和总含量接近, 但显著低于高温做青。茶氨酸是茶叶中最主要的氨基酸组分, 为非蛋白质氨基酸^[26]。不同做青温度下其含量变化不大, 说明高温做青可能引起蛋白质水解造成蛋白质类氨基酸组分增加。天冬酰胺是植物在干旱或其他应激条件下形成的氨基酸组分^[26], 本研究中, 低温和常温做青的铁观音毛茶均无天冬酰胺检出, 而高温做青中存在一定含量富集, 因此天冬酰胺或可作为高温做青的判定指标。分析不同做青温度对乌龙茶儿茶素和氨基酸组分的影响发现, 高温加速儿茶素组分的转化, 茶汤涩味降低、回甘增加, 大部分鲜味、甜味、苦味、芳香类氨基酸随着做青温度升高而显著增加, 影响茶汤的鲜爽滋味并促进香气物质转化。

ZHOU 等^[10-12]研究发现在机械力和低温胁迫共同引起乌龙茶在制叶吲哚、橙花叔醇和茉莉内酯等乌龙茶特征香气组分积累, 且香气积累过程也受到激素胁迫的影

响^[27]。孙云等^[9]使用不同温度做青也发现提高做青温度可增加毛茶法呢烯相对含量。本研究结果表明, 吲哚、橙花叔醇、芳樟醇和氧化芳樟醇相对含量在低温做青条件下含量增加, 但在高温条件下, 法呢烯相对含量大幅增加。另外, 随着摇青温度增加, 铁观音毛茶香气综合评价指数明显降低, 表明做青温度对铁观音毛茶的香气类型产生较大影响。低温做青综合香气以吲哚、橙花叔醇、芳樟醇、氧化芳樟醇、己酸叶醇酯等花香型香气为主, 香气组分更为丰富, 而高温做青以法呢烯和甲基庚烯酮等果香型香气为主, 其他香气组分相对含量低于低温和常温。综上所述, 做青温度对铁观音毛茶的滋味及香气类型产生较大影响, 对于闽南乌龙茶加工生产提供了理论支撑。

参考文献

- [1] 宛晓春, 李大祥, 张正竹, 等. 茶叶生物化学研究进展[J]. 茶叶科学, 2015, 35(1): 1-10.
WAN XC, LI DX, ZHANG ZZ, *et al.* Research progress in tea biochemistry [J]. Tea Sci, 2015, 35(1): 1-10.
- [2] 李鑫磊, 俞晓敏, 龚智宏, 等. 绿茶、红茶、乌龙茶和白茶中主要代谢产物的差异[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2019, 48(5): 559-566.
LI XL, YU XM, GONG ZH, *et al.* Difference in main metabolites contents in green tea, black tea, Oolong tea and white tea [J]. J Fujian Agric Forest Univ (Nat Sci Ed), 2019, 48(5): 559-566.
- [3] 李鑫磊, 俞晓敏, 林军, 等. 基于非靶向代谢组学的白茶与绿茶、乌龙茶和红茶代谢产物特征比较[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 197-203.
LI XL, YU XM, LIN J, *et al.* Comparative metabolite characteristics of white tea with green tea, Oolong tea and black tea based on non-targeted metabolomics approach [J]. Food Sci, 2020, 41(12): 197-203.
- [4] ZENG LT, ZHOU XC, SU XG, *et al.* Chinese Oolong tea: An aromatic beverage produced under multiple stresses [J]. Trends Food Sci Technol, 2020, 106: 242-253.
- [5] DENG HL, CHEN S, ZHOU ZW, *et al.* Transcriptome analysis reveals the effect of short-term sunlight on aroma metabolism in postharvest leaves of Oolong tea (*Camellia sinensis*) [J]. Food Res Int, 2020, 137: 109347.
- [6] 温立香, 郭雅玲, 黄寿辉. 乌龙茶做青技术的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(24): 215-217.
WENG LX, GUO YL, HUANG SH. Research progress for green-made technology of Oolong tea [J]. J Anhui Agric Sci, 2015, 43(24): 215-217.
- [7] 杨振福, 张木树. 乌龙茶空调做青环境的设计与控制[J]. 茶叶科学技术, 2009, (2): 23-25, 17.
YANG ZF, ZHANG MS. Design and control of green environment for Oolong tea air conditioning [J]. Acta Tea Sin, 2009, (2): 23-25, 17.
- [8] 邹龄盛. 关于乌龙茶做青理念的思考[J]. 茶叶科学技术, 2007, (3): 28-29.
WU LS. Thoughts on the idea of making Oolong tea green [J]. Acta Tea Sin, 2007, (3): 28-29.
- [9] 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, 2005, 34(3): 309-312.
SUN Y, JIN XY, SU YP, *et al.* Discussion of mechanism and experimentation of Oolong tea cold fine manipulation at different temperature [J]. J Fujian Agric Forest Univ, 2005, 34(3): 309-312.

- [10] ZHOU Y, ZENG L, HOU X, *et al.* Low temperature synergistically promotes wounding-induced indole accumulation by inducer of cbf expression-mediated alterations of jasmonic acid signaling in *Camellia sinensis* [J]. *J Exp Bot*, 2020, 71(6): 2172–2185.
- [11] ZHOU Y, ZENG LT, LIU XY, *et al.* Formation of (E)-nerolidol in tea (*Camellia sinensis*) leaves exposed to multiple stresses during tea manufacturing [J]. *Food Chem*, 2017, 231: 78–86.
- [12] ZENG LT, ZHOU Y, FU XM, *et al.* Biosynthesis of jasmine lactone in tea (*Camellia sinensis*) leaves and its formation in response to multiple stresses [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(15): 3899–3909.
- [13] WANG XW, ZENG LT, LIAO YY, *et al.* Formation of a-farnesene in tea (*Camellia sinensis*) leaves induced by herbivore-derived wounding and its effect on neighboring tea plants [J]. *Int J Mol Sci*, 2019, 20(17). DOI: 10.3390/ijms20174151
- [14] 陈林, 陈键, 张应根, 等. 清香型乌龙茶品质形成过程中儿茶素类和嘌呤呤碱指纹图谱变化规律[J]. *茶叶科学*, 2011, 31(6): 493–503.
CHEN L, CHEN J, ZHANG YG, *et al.* Variation of catechins and purine alkaloids fingerprints during the formation of fresh scent-flavor Oolong tea [J]. *Tea Sci*, 2011, 31(6): 493–503.
- [15] YU ZM, YANG ZY, SILVA J, *et al.* Influence of low temperature on physiology and bioactivity of postharvest *Dendrobium officinale* stems [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2019, 148: 97–106.
- [16] ZHENG XQ, LI QS, XIANG LP, *et al.* Recent advances in volatiles of teas [J]. *Molecules*, 2016, 21(3): 338.
- [17] YANG ZY, BALDERMANN S, WATANABE N. Recent studies of the volatile compounds in tea [J]. *Food Res Int*, 2013, 53(2): 585–599.
- [18] 孔滢, 孙明, 潘会堂, 等. 花香代谢与调控研究进展[J]. *北京林业大学学报*, 2012, 34(2): 146–154.
KONG Y, SUN M, PAN HT, *et al.* Advances in metabolism and regulation of floral scent [J]. *J Beijing Forest Univ*, 2012, 34(2): 146–154.
- [19] 王力, 林智, 吕海鹏, 等. 茶叶香气影响因子的研究进展[J]. *食品科学*, 2010, 31(15): 293–298.
WANG L, LIN Z, LV HP, *et al.* Research progress in affecting factors of tea aroma [J]. *Food Sci*, 2010, 31(15): 293–298.
- [20] 陈寿松, 林宏政, 孙云, 等. 乌龙茶萜类物质及其代谢调控研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2016, 18(5): 72–80.
CHEN SS, LIN HZ, SUN Y, *et al.* Research progress on terpenoids and metabolic regulation in Oolong tea [J]. *J Agric Sci Technol*, 2016, 18(5): 72–80.
- [21] ZHU JC, CHEN F, WANG LY, *et al.* Comparison of aroma-active volatiles in Oolong tea infusions using GC-olfactometry, GC-FPD, and GC-MS [J]. *J Agric Food Chem*, 2015, 63(34): 7499–7510.
- [22] 陈泉宾, 张应根, 陈林, 等. 不同类型乌龙茶香气差异分析[J]. *茶叶科学技术*, 2013, (4): 25–30.
CHEN QB, ZHANG YG, CHEN L, *et al.* Aroma difference analysis in different Oolong tea [J]. *Acta Tea Sin*, 2013, (4): 25–30.
- [23] 钟秋生, 吕海鹏, 林智, 等. 东方美人茶和铁观音香气成分的比较研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(8): 182–186.
ZHONG QS, LV HP, LIN Z, *et al.* Comparison of aroma constituents between oriental beauty tea and Tieguanyin tea [J]. *Food Sci*, 2009, 30(8): 182–186.
- [24] TENG RM, WU ZJ, MA HY, *et al.* Differentially expressed protein are involved in dynamic changes of catechins contents in postharvest tea leaves under different temperatures [J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67(26): 7547–7560.
- [25] LIN SY, LO LC, CHEN IZ, *et al.* Effect of shaking process on correlations between catechins and volatiles in Oolong tea [J]. *J Food Drug Anal*, 2016, 24(3): 500–507.
- [26] ZENG LT, WATANABE N, YANG ZY. Understanding the biosyntheses and stress response mechanisms of aroma compounds in tea (*Camellia sinensis*) to safely and effectively improve tea aroma [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2019, 59(14): 2321–2334.
- [27] ZENG LT, WANG XW, LIAO YY, *et al.* Formation of and changes in phytohormone levels in response to stress during the manufacturing process of Oolong tea (*Camellia sinensis*) [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2019, 157: 110974.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



邓慧莉, 博士研究生, 主要研究方向为茶叶加工与品质。
E-mail: anny901224@163.com

孙 云, 博士, 教授, 主要研究方向为茶叶加工与生物技术。
E-mail: sunyun1125@126.com