

张龙雪, 亓俊然, 陈新颖, 等. 鲜叶低温处理对黄茶品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(17): 122-131. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120320

ZHANG Longxue, QI Junran, CHEN Xinying, et al. Effect of Low Temperature Treatment of Fresh Tea Leaves on the Quality of Yellow Tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(17): 122-131. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120320

· 研究与探讨 ·

鲜叶低温处理对黄茶品质的影响

张龙雪, 亓俊然, 陈新颖, 王思蕊, 张丽霞*

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东泰安 271018)

摘要:为探讨低温处理对黄茶品质的影响, 本研究以“金萱”一芽一叶为原料, 以室温(25℃)摊放处理为对照, 设置3个低温处理温度(10、5、0℃)和5个处理时长(8、16、24、32、40h), 对鲜叶样品进行外观特征观察及相对电导率、脂溶性色素和挥发性成分含量的测定, 再对加工后的黄茶进行感官品质评价和主要品质成分分析。结果表明:与对照组相比, 鲜叶低温处理会大幅提升叶片的相对电导率, 有效降低叶绿素含量, 并明显改变鲜叶挥发物的香气特征;与对照黄茶相比, 低温处理可有效提高黄茶黄变程度;经10、5、0℃处理8h后茶叶的水浸出物和可溶性糖含量增加明显, 5℃和0℃处理组中游离氨基酸含量增幅明显。同时, 干茶香气中具有花果香的挥发性物质比例增加。综上, 鲜叶低温处理有助于提升金萱黄茶品质, 提高其滋味醇厚度和香气馥郁度, 且以处理温度5~10℃, 时长16~24h为最佳。

关键词:黄茶, 鲜叶低温处理, 金萱, 品质

中图分类号:S571.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2022)17-0122-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120320



本文网刊:

Effect of Low Temperature Treatment of Fresh Tea Leaves on the Quality of Yellow Tea

ZHANG Longxue, QI Junran, CHEN Xinying, WANG Sirui, ZHANG Lixia*

(College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: In order to explore the effect of low temperature treatment on the quality of yellow tea, this study took fresh leaves of 'Jinxuan' tea variety with one bud and one leaves as raw materials, taking natural lying at room temperature (25℃) as control, set 3 low temperature (10, 5, 0℃) and 5 treatment durations (8, 16, 24, 32, 40 h). The appearance characteristics of fresh leaves were observed and the relative conductivity, fat-soluble pigment and volatile components were determined. The sensory quality of processed yellow tea was evaluated and the main quality components were analyzed. The results showed that compared with the control group, the low temperature treatment of fresh leaves significantly increased the relative electrical conductivity, effectively reduced the chlorophyll content, and the aroma characteristics of volatiles in fresh leaves were significantly changed. Compared with the control yellow tea, low temperature treatment could effectively improve the yellow tea yellowing degree; After being treated at 10, 5 and 0℃ for 8 h, the contents of water extract and soluble sugar of tea increased significantly, while the contents of free amino acids in 5℃ and 0℃ treatment groups increased significantly. At the same time, the proportion of volatile substances with flower and fruit flavor in dry tea aroma increased. In conclusion, low temperature treatment of fresh leaves is helpful to improve the quality of 'Jinxuan' yellow tea, improve its taste mellow and aroma fragrance, and the best treatment temperature is 5~10℃ and duration is 16~24 h.

Key words: yellow tea; low temperature of fresh leaves; Jinxuan; quality

收稿日期: 2021-12-30

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系创新团队茶叶加工与机械岗位(SDAIT-19-05); 山东省农业重大应用技术创新项目“台湾金萱品种的规模化引种及优质产品开发研究”。

作者简介: 张龙雪(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 茶叶加工与品质化学, E-mail: 247941961@qq.com。

* 通信作者: 张丽霞(1965-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 茶叶生物化学, E-mail: lxzhang@sdau.edu.cn。

黄茶是中国独有的茶类,经摊放、杀青、闷黄和干燥工序加工而成,其中,“闷黄”是其“黄汤黄叶”品质特征形成的关键工序^[1]。与绿茶加工相比,黄茶因在“闷黄”过程中发生叶绿素降解和部分茶多酚氧化,从而产生区别于绿茶的“三黄”品质特征^[2]。目前黄茶加工中广泛采用高温、高湿的“加温闷黄”方式^[3],不仅能源消耗大^[4]且黄化效率低,严重制约黄茶加工规模的扩大和产量的增加^[5],导致目前黄茶产量仅占茶叶总产量的 0.6%^[6]。因此,探寻保证黄茶品质的同时提高黄化效率的新技术是黄茶加工工艺创新的关键。

传统闷黄工艺采用湿热作用促进叶绿素降解,从而形成“三黄”特征,但如何实现黄茶加工中叶绿素高效降解的相关研究较少。与闷黄的高湿热环境相似,低温对叶片也能产生相同影响。研究显示在零上低温环境中,叶绿素合成受抑制、分解速度加快^[7],因此低温条件可以降低叶绿素的含量。另外,低温会导致细胞膜受损^[8],可以促进定位于叶绿体类囊体膜上多酚氧化酶^[9]与细胞液中多酚的氧化反应。基于上述研究,引发以下思考:能否在黄茶加工中引入低温处理以加快叶绿素降解,从而实现黄茶加工效率的提高,有效促进黄茶产业的发展?在茶叶加工过程中,更多的是冷冻技术在红茶的“萎凋”过程^[10]以及茶叶干燥过程^[11]中的应用研究。零上低温技术较少地被用于茶鲜叶的采后摊放过程,有研究发现,经过低温贮藏后的离体鲜叶加工的绿茶,具有更佳的品质:Maritim 等^[12]研究发现,不同温度的鲜叶摊放环境会间接导致叶片形态、内质及营养成分等的改变;张应根等^[13]研究报道,相较于自然摊放,在低温环境下会降低儿茶素、氨基酸等生化成分的氧化水解;Katsuno 等^[14]研究发现以经过低温贮藏的茶芽加工而成的绿茶香气更高、滋味更浓;虞昕磊^[15]对比不同摊放方式的绿茶后发现,低温摊放可以正向调控非挥发性成分的代谢及挥发性物质的合成,进而提升绿茶的滋味和香气品质。

目前,将低温技术运用于黄茶加工的相关研究较少,为探讨鲜叶低温处理在黄茶加工中的可行性以及对黄茶品质的影响,本文以深绿叶色茶树“金萱”鲜叶为原料,设置不同处理温度(0~10℃)和处理时长(8~40 h),对鲜叶进行组合处理,分析鲜叶低温处理前后理化差异和低温对黄茶品质的影响,在此基础上,探讨适宜黄茶加工的鲜叶低温处理技术。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

茶叶原料 于 2021 年 9 月采摘泰安市那一叶茶叶有限公司茶园的金萱 1 芽 1 叶新梢;硫酸亚铁、酒石酸钾钠、茚三酮、萘酚、丙酮 分析纯,天津市凯通化学试剂有限公司。

6CLZ-80 茶叶理条机 浙江上洋机械股份有限公司;6CHM-901 型电热式碧螺春烘干机、6CHT-

18 型烘焙提香机 浙江富阳茶叶机械总厂;DDBJ-350 便携式电导率仪 上海雷磁仪器有限公司;CM-5 分光测色仪 日本柯尼卡美能达公司;PEN3 型便携式仿生电子鼻 德国 Airsense;UV-2450 型紫外分光光度计、GC-MSQP 2010Plus 气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 鲜叶低温处理 试验参数设置参考田野^[16]的方法(表 1)。设置温度(10、5、0℃)、处理时长(8、16、24、32、40 h)为变量,共 15 个处理组。以自然温度(25℃)下,鲜叶(摊放 0、8、16、24、32、40 h)为对照。

表 1 鲜叶处理方案
Table 1 Fresh leaf treatment scheme

温度(℃)	时长(h)					
	0	8	16	24	32	40
10	-	A1	A2	A3	A4	A5
5	-	B1	B2	B3	B4	B5
0	-	C1	C2	C3	C4	C5
25	CK0	CK1	CK2	CK3	CK4	CK5

1.2.2 黄茶加工流程 黄茶加工流程参考文献 [17-18],并结合预实验结果确定黄茶加工流程及参数:

加工流程:摊放→杀青→闷黄→干燥。

摊放:为保证后续黄茶加工过程的一致性,降低加工难度,将低温叶取出后,于室温(25℃)中摊放 20~40 min,以散失叶片表面水分;对照组鲜叶以 0.6 cm 厚度摊放 0、8、16、24、32、40 h。室内环境湿度为 75%±5%,温度为 25℃。

杀青:设置理条机温度 280℃,投放鲜叶 350 g,杀青 6 min。

闷黄:将杀青叶堆放于竹匾上,叶片厚度 1.5 cm,室温闷黄 16 h。

干燥:设置提香机参数为初烘温度 120℃,时长 10 min。复烘温度 80℃,时长 3 h。

1.2.3 鲜叶脂溶性色素含量的测定 参考罗秀芹等^[19]的实验方法。采用紫外分光光度计测定色素含量,将样品磨碎后置于 20 mL 离心管中,加入 15 mL 乙醇丙酮萃取液(1:1, V/V),避光萃取 24 h,直至材料完全失绿。以乙醇丙酮萃取液为对照,在 474、642、649、665 nm 波长下测定吸光度,按以下公式计算:

$$\text{叶绿素 a(mg/L)}=9.99A_{665}-0.0867A_{642};$$

$$\text{叶绿素 b(mg/L)}=17.7A_{642}-3.04A_{665};$$

$$\text{总叶绿素含量(mg/L)}=27.9A_{649};$$

$$\text{总类胡萝卜素含量(mg/L)}=4.92A_{474}-0.0255a-0.225b。$$

式中:a、b 代表叶绿素 a、叶绿素 b 的含量,mg/L;A 代表吸光度,A 值下标代表所测波长。

1.2.4 鲜叶相对电导率的测定 参照李合生^[20]的方法。用打孔器截取完整鲜叶相同大小的 10 片叶片,

放入 50 mL 离心管中,加入 20 mL 去离子水浸泡后用 电导率仪测定初电导率,再将其置于沸水浴 25 min, 冷却后测定电导率,计算公式为:

$$\text{相对电导率}(\%)=100 \times (S_1 - S_0) / (S_2 - S_0)$$

式中: S_0 代表蒸馏水电导率,%; S_1 代表煮沸前 电导率,%; S_2 代表煮沸后电导率,%。

1.2.5 鲜叶挥发物成分分析 使用 PEN3 型电子鼻 对鲜叶挥发物进行测定。10 种半导体传感器功能见 表 2。取鲜叶 5.0 g 置顶空瓶中,静置 10 min 后检测。 检测参数为:传感器清洗 100 s,自动调零 10 s,样品 准备 5 s,测定间隔 1 s,进样流量 300 L/min,数据采 集 100 s。取传感器第 80~82 s 的信号进行分析^[21]。

表 2 PEN3 型电子鼻传感器性能
Table 2 Sensor sensitivities of the PEN3 e-nose

传感器 名称	性能描述	传感器 名称	性能描述
S1	对芳香成分灵敏	S6	对甲烷灵敏
S2	对氮氧化物灵敏	S7	对硫化成分灵敏
S3	对氨水和苯等芳香 成分灵敏	S8	对醇类、醛类、酮类灵敏
S4	对氢气有选择性	S9	对芳香成分和有机 硫化物灵敏
S5	对烷烃和芳香 成分灵敏	S10	对烷烃灵敏

1.2.6 茶样感官审评 参考 GB/T 23776-2018《茶叶 感官审评方法》,采用加权评分法计分。

1.2.7 茶汤色差的测定 参考王家勤等^[22]的实验方 法。采用 CM-5 分光测色仪测定茶汤颜色,并记录 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值。 L^* 值代表明暗度, a^* 值代表由红色 (+)到绿色(-)的变化, b^* 值代表由黄色(+)到蓝色(-)

的变化。

1.2.8 主要生化成分的测定 水浸出物含量:参照 GB/T 8305—2013《茶水浸出物测定》;茶多酚测定:参 照 GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量 的检测方法》;游离氨基酸测定:参照 GB/T 8314- 2013《茶游离氨基酸总量的测定》;可溶性糖测定:采 用蒽酮比色法^[23]。

1.2.9 茶叶香气成分的测定 顶空固相微萃取法 (HS-SPME)萃取香气,GC-MS 进行成分测定^[24]。

色谱条件:Rtx-5MS 石英毛细管柱(60.0 m× 0.25 mm×0.25 μm);载气为 He(99.999%),柱流量 1.27 mL/min,柱前压 5.9 psi,分流比 5:1,进样口温 度 250 $^{\circ}\text{C}$ 。柱温升温程序:初始 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 2 min, 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 230 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min。

质谱条件:接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$, 电离方式 EI,电子能量 70 eV,全扫描模式,扫描范 围 30~450 u。

根据 GC/MS 总离子色谱图,与 NIST 14 和 NIST 14s 数据库进行比较,分析匹配度大于 80% 的成分, 采用峰面积归一法得到各物质成分的相对含量。

1.3 数据处理

每次试验做 3 个平行,重复 3 次,用平均值 \pm 标准 差的形式表示。采用 Microsoft Excel 2019 进行数 据处理,采用 SPSS 25.0 软件进行方差及显著性分析 ($P<0.05$),采用 Origin2019、Photoshop 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 低温处理对茶鲜叶采后理化性状的影响

2.1.1 低温处理后茶鲜叶外观及色素含量变化 低 温处理后茶鲜叶外观变化如图 1。刚采摘的鲜叶色



图 1 不同处理的鲜叶外观

Fig.1 Appearance of fresh leaves with different treatments

泽鲜绿, 叶质硬挺; 不同处理组鲜叶随着时间的延长发生以下变化: 叶色从边缘开始由绿→黄, 叶质由硬挺→柔软, 叶片上表面逐渐凸起后因萎焉而消失。摊放结束后, 对照组叶边缘出现明显向内卷曲的萎焉状; 经低温摊放处理的鲜叶边缘无明显卷曲, 芽叶由边缘向主脉发展的黄化程度更大, 低温处理鲜叶较对照组舒展、新鲜度高, 这说明低温摊放能延缓鲜叶的萎凋, 增长鲜叶的保鲜时间。同时, 鲜叶经前期低温处理会导致“金萱”叶色发生黄变。

以上表观的色泽变化与其内含的色素成分变化密切相关^[25]。决定茶叶主要色泽品质的因素是脂溶性色素及其产物含量, 脂溶性色素主要包括叶绿素和类胡萝卜素^[26]。低温摊放处理组鲜叶叶绿素及类胡萝卜素含量变化见图 2。随处理时间的延长, 叶绿素含量均呈下降趋势, 低温摊放处理后叶绿素含量显著低于对照组($P<0.05$)。不同温度处理间叶绿素含量降幅存在差异; 低温摊放 16 h 时, 叶绿素降幅(A2, 22.5%; B2, 22.6%; C2, 29.7%)达到或超过对照组 40 h 处理的降幅(22.7%)。不同温度处理组间比较显示: 低温摊放处理 8 h, 3 个处理组之间差异不显著($P>0.05$); 处理 16 h 时, 5 °C 和 10 °C 处理差异不显著($P>0.05$), 但两者叶绿素含量显著($P<0.05$)高于 0 °C 处理组; 当处理时长超过 24 h 时, 不同温度处理鲜叶叶绿素含量呈显著性差异($P<0.05$)。类胡萝卜素的变化趋势与叶绿素一致, 随摊放时间的延长, 类胡萝卜素含量均呈下降趋势。不同温度处理组间比较显示: 5、10 °C 处理 24 h 的类胡萝卜素含量无显著差

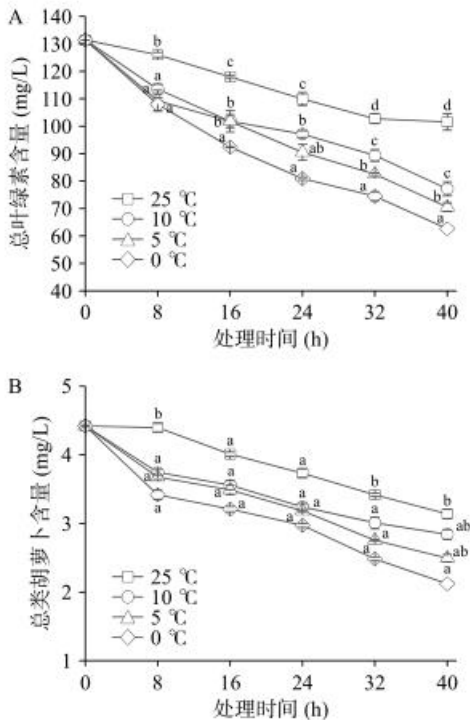


图 2 不同处理对鲜叶中色素含量的影响

Fig.2 Effects of different treatments on pigment content in leaves

注: 同一处理时长下不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)。

异($P>0.05$); 低温摊放 24 h 时, 类胡萝卜素降幅(A3, 26.6%; B3, 28.0%; C3, 32.8%)达到对照组的最大降幅(29.0%); 在低温处理超过 32 h 后, 处理组类胡萝卜素含量显著低于对照组($P<0.05$)。整体分析显示随处理温度的下降和摊放时间的延长, 鲜叶叶绿素和类胡萝卜素含量越低。同时, 低温可降低叶绿素、类胡萝卜素的含量, 从而影响摊放后鲜叶的外观色泽。

2.1.2 低温处理后茶鲜叶相对电导率的变化 由图 3 可知, 茶鲜叶样品的相对电导率与处理温度呈负相关, 与处理时长呈正相关, 即处理温度低、处理时间长, 处理后鲜叶的相对电导率越高。进一步分析显示, 0 °C 处理组叶片的相对电导率整体变化幅度最大(16.91%~60.43%), 其次为 5 °C 处理组(12.78%~48.11%)、10 °C 处理组(11.01%~30.51%), 而对对照组的变幅最小(10.04%~21.11%), 这说明低温处理对叶片相对电导率提升作用明显。此外, 低温处理组 A4、B3 和 C2 与对照 CK5 的鲜叶相对电导率相近。由此表明, 鲜叶低温处理后可在较短时间内达到长时室温摊放的细胞损伤度。

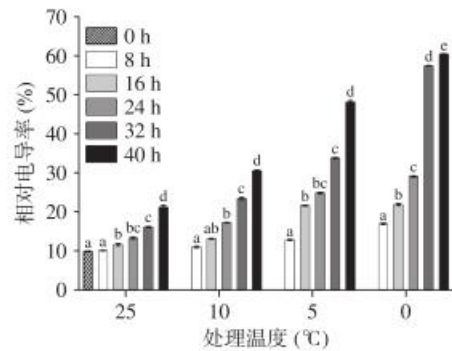


图 3 不同处理对叶片相对电导率的影响

Fig.3 Effects of different treatments on relative electrical conductivity of leaves

注: 图中同一处理温度下不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)。

2.1.3 低温处理后茶鲜叶挥发性成分分析 电子鼻传感器的信号强度可以反映不同类型挥发性物质浓度的差异, 响应数值顶点距离雷达图中心越近^[27], 挥发物浓度越低, 对香气贡献越小^[28]。不同处理鲜叶挥发物的电子鼻传感器响应雷达图见图 4。

根据雷达图形状特征, 可将其鲜叶样品分为两类:

第一类鲜叶的挥发性物质雷达图为 S2-S7 单长轴型。即 S2、S7 传感器响应值最大, 其次为 S6、S8、S9、S1、S3、S4、S5、S10 号传感器, 具有这类挥发特征的鲜叶样品有: CK0~CK5、A1、A3、B5 和 C5。结合传感器吸附性能, 上述 10 组鲜叶中氮氧类、甲烷、硫化物类、醛酮醇类以及芳香类挥发性风味物质对香气贡献较大。

第二类鲜叶雷达图在 S2-S7 长轴型的基础上, 增加了 S5-S10 长轴, 形成“双长轴”雷达图。同时 S3、S4 以及 S1 传感器响应值增加, 而 S6 传感器响

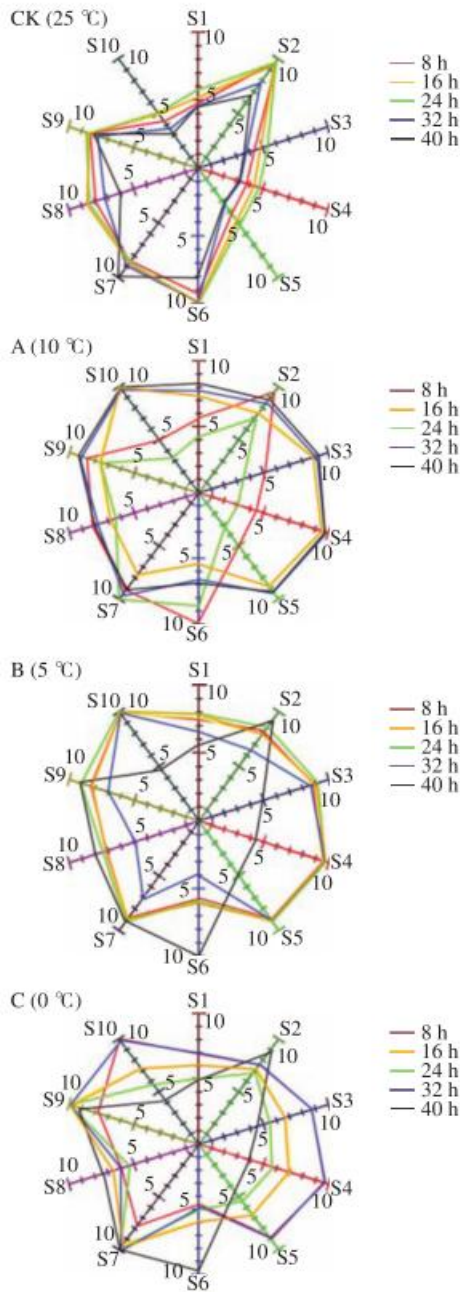


图4 电子鼻传感器的响应雷达图

Fig.4 Response radar chart of electronic nose sensor

数值减少。具有这类挥发特征的鲜叶处理有: A2、A4、A5、B1~B4、C1~C4。依据传感器吸附性能,上述 11 个茶样的挥发性成分与第一类茶样相比,芳香成分、苯类、氢气和烷烃类挥发性总量增加,对香气的贡献值增大,而甲烷类在挥发性成分中的含量降低。同时,结合感官嗅闻发现此类鲜叶处理样花香更为浓郁。

2.2 低温处理对黄茶品质的影响

2.2.1 低温处理的黄茶感官审评分析 不同低温处理的黄茶感官审评结果(表 3)显示:处理组茶样总得分高于对照组的有 10 个,为 A1~A4、B1~B4、C2~C3;低于对照组最高分(89.15)的为 A5、B5、C1、C4、C5;B3(92.20)、A3(91.85)和 C3(91.35)总分排名为前三,其中,在低温处理 24 h 黄茶品质最优。这说明

适度低温处理(10 °C、5 °C: 8~32 h; 0 °C: 16~24 h)有利于黄茶总体品质的提升,相较于自然摊放,适度低温能提升黄茶品质。

不同低温处理茶样在干茶、汤色和叶底色泽上差异明显;CK0 和 CK1 黄化程度偏低;低温处理(A1~A4、B1~B3、C1~C3)的茶样符合“黄汤黄叶”的品质要求;过长的低温处理则出现红梗红叶、汤色泛红。以上结果表明,适度的低温处理(8~24 h)有利于黄茶色泽品质的形成,过长时间的低温或摊放处理会导致红梗^[29],不利于形成黄茶品质;低温处理可以增加茶汤醇厚度,且随温度的降低、时间的增长,茶汤醇厚度增加。另外,低温处理茶样花香幽雅浓郁,以处理 16~32 h 的茶样得分较高。摊放时间过短的茶样(CK0、CK1)为清花香型,低温处理过长的茶样(C5)会出现甜花香,与黄茶的香型特征不符。以上结果表明,适宜花香型黄茶的低温处理时长为 16~32 h。

2.2.2 低温处理的黄茶茶汤色差分析 不同处理茶样的茶汤色差结果见图 5。由图可知:与 CK 相比,适度的低温处理(A1~A5、B1~B3、C1~C2)能有效促进“黄汤”的形成,但不同处理间茶汤亮度存在差异,其中,以 10 °C 处理组的茶汤亮度最高。摊放处理过长的茶样(B4~B5、C3~C5、CK4~CK5)其 a^* 、 b^* 值均明显增大,感官审评的茶汤色泽为橙黄或泛红,不符合黄茶汤色要求;摊放处理过短的茶样(CK0、CK1) a^* 、 b^* 值偏小,汤色为黄绿,也不符合黄茶汤色要求。以上结果表明有利于茶汤形成的黄茶适宜低温处理时长为 10、5 °C: 8~32 h; 0 °C: 8~24 h。

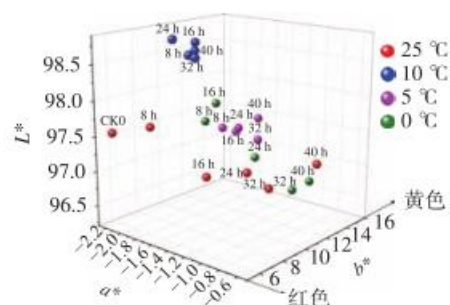


图5 不同处理对黄茶茶汤色差的影响

Fig.5 Effects of different treatments on the color of yellow tea soup

2.2.3 低温处理的黄茶生化成分分析 低温处理的黄茶水浸出物含量随时间变化情况见图 6A。与对照组相比,随摊放时间的延长,茶叶水浸出物含量呈增加趋势,16 h 后增幅明显提高,其总增幅随温度变化依次为: 7.34%(25 °C)、11.44%(10 °C)、15.89%(5 °C)、33.42%(0 °C)。以上结果显示,水浸出物含量与处理温度呈负相关性,低温处理鲜叶能明显提高茶叶水浸出物含量,这也与低温处理后鲜叶的相对电导率变化趋势一致。推测原因可能是低温环境使叶片遭受胁迫,促进叶片细胞膜的损坏和电解质的外渗,进而提高茶汤中水浸出物的含量^[10, 30]。

表 3 不同处理黄茶审评结果

Table 3 Evaluation results of yellow tea with different treatments

编号	外形(25%)		汤色(10%)		香气(25%)		滋味(30%)		叶底(10%)		总分
	评语	评分	评语	评分	评语	评分	评语	评分	评语	评分	
CK0	绿黄较鲜活	87	浅绿亮	85	清花香高较持久	88	鲜醇清爽	86	黄绿亮	89	86.95
CK1	黄褐	85	绿黄亮	90	清花香高	90	鲜醇带清花香	91	绿黄亮	91	89.15
CK2	黄褐带红梗	82	绿黄亮	90	清花香高	91	鲜醇带清花香	91	绿黄亮	91	88.65
CK3	黄褐有红梗	81	绿黄亮	89	花香馥郁	95	浓厚有花香	92	绿黄较亮有红梗	82	89
CK4	黄褐带红梗红叶	80	橙黄较亮	85	花香浓	92	浓厚有花香	92	绿黄有红叶	80	87.1
CK5	叶色花杂	79	橙黄较亮	82	花香高	90	浓厚带花香	91	绿黄红叶较多	75	85.25
A1	绿黄较鲜活	87	黄较亮	86	清花香高	90	鲜醇带花香	92	绿黄明亮	93	89.7
A2	黄褐较亮	86	黄亮	92	花香浓郁	94	滑爽花香浓	94	绿黄较亮	89	91.25
A3	黄较鲜活	88	黄亮	90	花香馥郁	95	滑爽花香浓	94	绿黄较亮	89	91.85
A4	黄褐稍暗	84	黄亮	88	花香浓	93.5	绵滑甘鲜韵味显	98	黄亮有红梗	84	90.98
A5	黄褐带红梗红叶	80	浇橙黄较亮	85	花香高	90	滑爽花香浓	94	绿黄有红叶	80	87.2
B1	绿黄较鲜活	87	金黄亮	93	花香浓	91.5	鲜醇带花香	92	绿黄明亮	93	90.83
B2	黄褐较亮	86	黄亮	91	花香浓	92	醇厚有花香	93	绿黄亮	92	90.7
B3	黄褐	85	黄亮	93	花香浓郁	94	绵滑韵味显	96	绿黄亮	91	92.2
B4	黄褐稍暗	84	黄亮	89	花香浓	92	滑爽花香浓	94	黄亮、带红	85	89.6
B5	叶色花杂	79	橙黄较亮	82	花香高	90	醇厚有花香	93	绿黄有红叶	80	86.35
C1	黄褐较亮	86	黄亮	88	清花香高	90	醇厚带清花香	90	绿黄亮	90	88.8
C2	黄褐较亮	86	黄亮	89	花香高	91	鲜醇有花香	92.5	绿黄亮	91	90
C3	黄褐	85	金黄亮	94	花香浓郁	94	滑爽花香浓	94	绿黄亮	90	91.35
C4	黄褐带红梗	82	黄亮泛红	87	花香浓郁	94	浓厚	90	绿黄较亮带红叶	88	88.5
C5	黄褐带红梗红叶	80	橙黄	86	甜花香高	89	浓厚	89	黄较亮带红叶	87	86.25

由图 6B 可知,随摊放时间的延长,对照组的可溶性糖含量变化不明显,而低温处理茶低温处理 8 h,可溶性糖含量达到最高值,后期趋于平稳。同时,10 ℃ 处理组黄茶的可溶性糖含量始终高于其他处理组,因此不同低温处理可溶性糖含量表现为:10 ℃ 处理组>0 ℃ 处理组>5 ℃ 处理组>对照组,表明低温摊放处理可以有效提高茶叶可溶性糖的含量。茶多酚和游离氨基酸含量变化见图 6C 和 D,结果显示:10 ℃ 处理会降低茶多酚和游离氨基酸的含量;5 ℃ 和 0 ℃ 处理下游离氨基酸含量明显高于对照组。推测不同处理后游离氨基酸含量变化不同的原因是受蛋白水解酶活性的影响,在处理过程中肽酶活性呈现先下降后上升的趋势^[14],肽酶活性可能在 10 ℃ 环境中更受抑制;同时,在该温度可能更容易触发色氨酸的降解^[31],因此表现为 10 ℃ 处理黄茶游离氨基酸含量的下降。综合来看,5、0 ℃ 低温处理对黄茶茶多酚含量无明显影响,反而可以提高可溶性糖和游离氨基酸的含量,有益于黄茶品质的形成。

2.2.4 低温处理的黄茶干茶香气组分分析 按照挥发性组分对黄茶挥发性成分进行分类,并将相对含量归一化处理后绘制雷达图,结果显示(图 7):低温处理黄茶与对照组的香气特征存在较大差异,且同一处理随时间变化,其香气特征差异也较大。与对照相比,低温处理茶样中的杂环类、醛类、酮类、酯类以及不饱和烃类的比例均有一定的升高,而醚类、酸类、饱和烃类物质的比例发生不同程度的下降。10 ℃ 处理的香气组分中不饱和烃类增幅最大,其次

为酮类,而杂环类、醛类和酯类随时长变化幅度不同,其中,16 h 处理的杂环类和酯类增幅较大,24 h 处理的醇类和酮类增幅较大;5 ℃ 处理的挥发性组分中杂环类、醛类、酮类增幅较大,且变化幅度均与处理时长相关,其中,16、24 h 处理增幅较大;0 ℃ 处理组香气组分中醛类增幅最大,其次为酮类,酯类、不饱和烃变化幅度与处理时长相关。以上结果表明,前期鲜叶低温处理可显著改变茶叶挥发性物质组分的比例,从而影响茶叶的香型。

在挥发性成分中包含带有特殊气味的成分,如 2-正戊基呋喃^[32]、芳樟醇、 β -紫罗酮、苯甲醛^[33]等。根据感官审评及总挥发性成分结果,选择对照组 CK1 以及各温度处理的 16、24 h 处理时长样品(A2、A3、B2、B3、C2、C3)香气组分的相对含量作图分析(见图 8),共检测出 43 种香气物质,在 CK1、A2、A3、B2、B3、C2、C3 中分别检出 23、30、30、29、32、29 和 26 种。以上结果表明,与对照相比,前期低温处理能增加黄茶香气成分种类,其中,香气种类数量最多的为 B3(5 ℃, 24 h)。同时,处理茶样的挥发性物质与 CK1 相比存在较大差异,CK1 中特有成分为薄荷醇。低温处理的黄茶相较于 CK1 共新增月桂醇、茉莉内酯、 α -紫罗酮等 16 种具有花果香的成分,并且通过低温处理使茶样均包含十二醛、庚醛、蓝桉醇和茉莉内酯成分,其中茉莉内酯的相对含量变化最为明显。同时,B3、C2 组中检出的差异香气成分最多,各包含 11 种差异物质。此外,与 CK1 相比,低温处理的黄茶中具有花果香的香气组分如苯

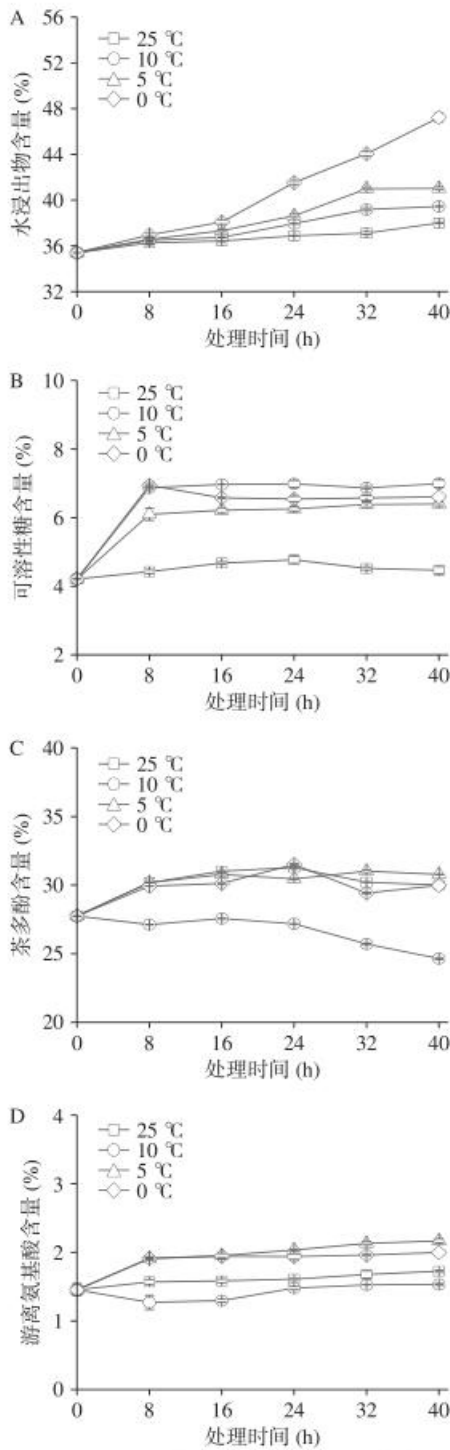


图6 不同处理对黄茶水浸出物及生化成分的影响

Fig.6 Effects of different treatments on the water extract and main biochemical constituents of yellow tea

甲醇、苯乙醇、β-紫罗兰酮、β-紫罗酮、2-正戊基呋喃、2-甲基丁醛和苯乙醛等的相对含量上升。

3 讨论与结论

本研究以室温(25 °C)堆放为对照,对不同温度(10、5、0 °C)和时长(8、16、24、32、40 h)组合处理的鲜叶进行生理生化指标测定分析,结果表明:与对照相比,低温处理(10 °C: 16~32 h; 5、0 °C: 8~32 h)能显著提高叶片的相对电导率($P < 0.05$),加工后黄茶水浸出物和可溶性糖含量也均明显提高。张娇等^[34]探

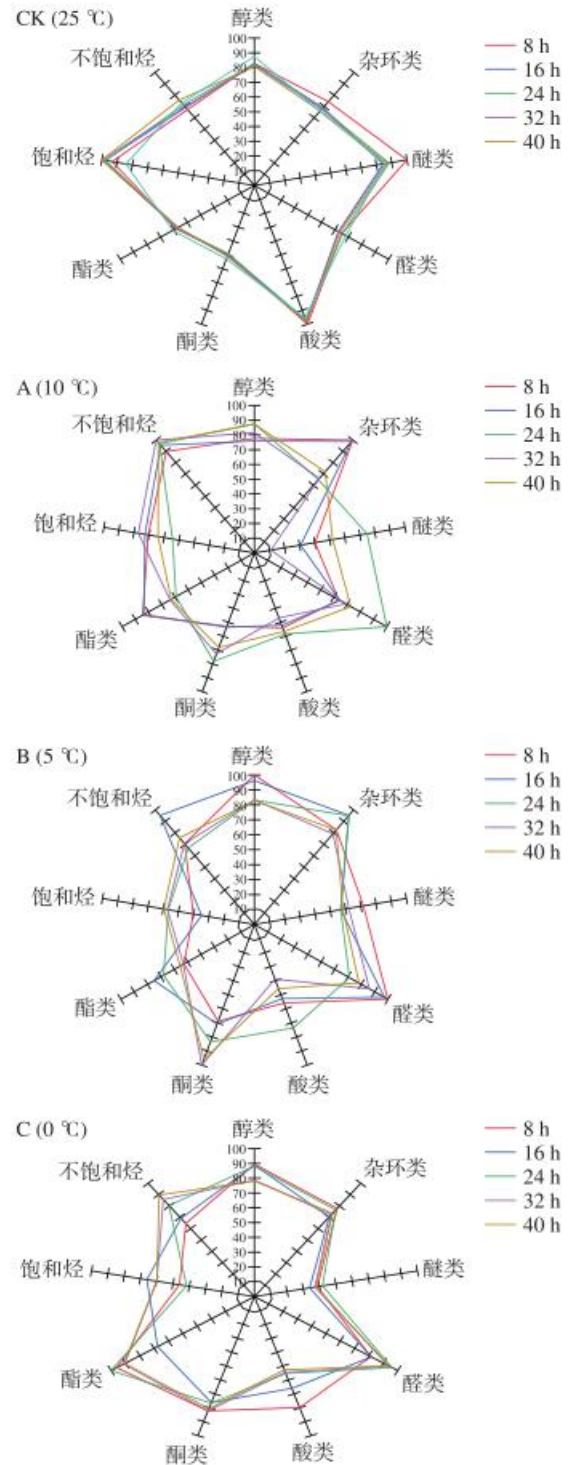


图7 不同处理黄茶香气组分比例分布

Fig.7 Distribution of aroma components of yellow tea under different treatments

究堆放时长对黄茶品质的影响发现,随堆放时长的增加,叶片细胞液相对浓度的提高导致氨基酸、水浸出物及可溶性糖含量的变化,进而有效提升黄茶的茶汤滋味。感官审评结果也证实低温处理可以增加茶汤醇厚度,且随温度的降低、时间的增长,茶汤的醇厚度增加。猜测原因可能是低温堆放处理为叶片提供了逆境条件,该过程加速了叶片细胞膜的损坏和电解质的外渗、蛋白质和多糖的降解,进而提高茶叶的水浸出物含量^[9]。

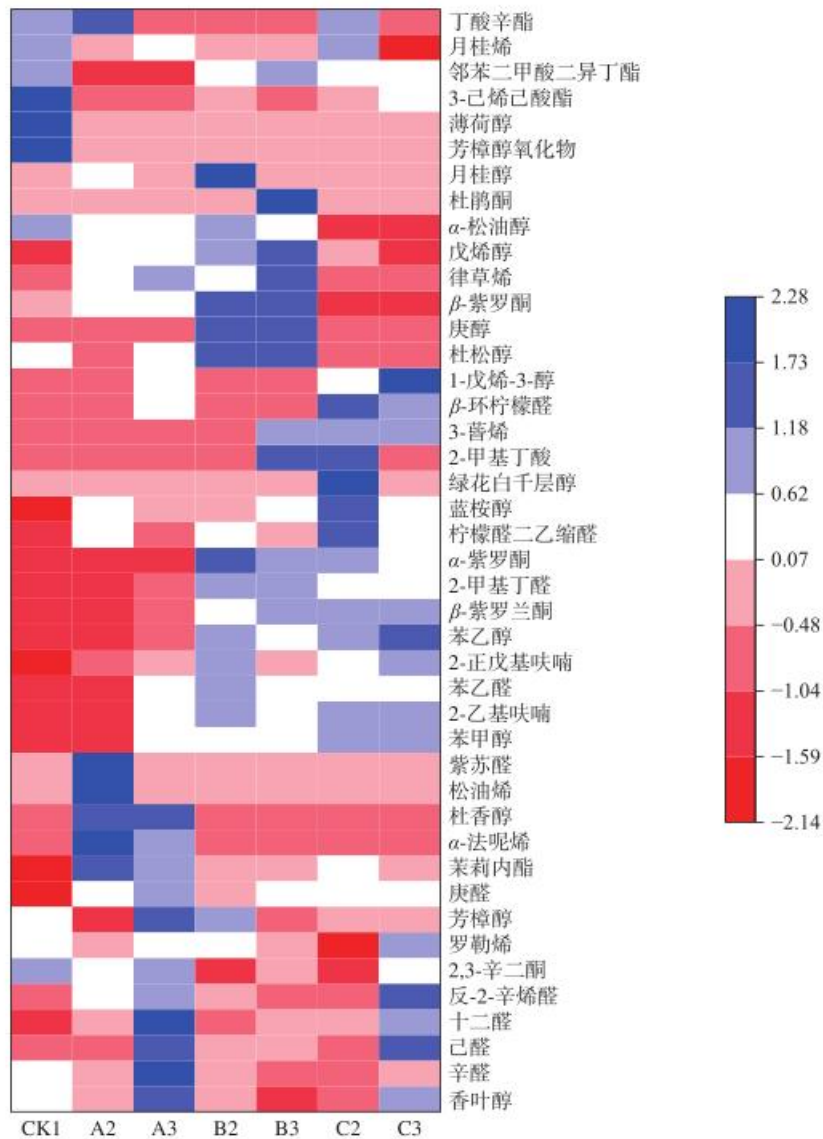


图 8 不同处理黄茶的香气组分热图

Fig.8 Heat map of volatile compounds in yellow tea with different treatments

另外,低温摊放过程(10、5、0 ℃; 8~32 h)中的茶鲜叶观察显示低温处理会促进“金萱”叶色黄变,进一步的色素含量分析显示随着处理温度的下降和摊放时间的延长,叶绿素含量显著降低。这与 Yang 等^[35]的研究结果相似,低温加快色素成分的消耗过程、抑制其积累^[36],进而表现出脂溶性色素的含量下降。这说明低温摊放处理可降低叶绿素的含量,从而促进黄茶“三黄”品质的形成。

茶鲜叶挥发性成分存在差异可能是由于低温导致类胡萝卜素、糖苷等香气前体物质降解或释放,促进香气物质的形成^[37]。同时,结合感官嗅闻发现此类鲜叶花香更为浓郁,田野^[16]研究证实零上低温处理可以有效增加茶样的香气馥郁丰富度。感官审评结果也显示低温摊放处理(10、5 ℃; 8~32 h; 0 ℃; 16~24 h)茶样花香幽雅浓郁。进一步的黄茶香气组分分析显示鲜叶低温摊放处理可显著改变茶叶挥发性物质组分的比例,从而影响茶叶的香型。Zen 等^[38]研究发现在低温等外力胁迫下会引起茶内茉莉内酯、橙花

叔醇等特征香气组分的积累。邓慧莉等^[39]探究乌龙茶做青温度对香气的影响时发现低温做青条件下更有利于茶青花香的散发。Kutsuno 等^[14]也研究证明了鲜叶通过低温摊放后制成的绿茶具有更加甜醇的花香。本研究结果表明,鲜叶低温摊放处理后能有效促进花香型挥发物质的合成,其综合香气以苯甲醇、苯乙醇、 β -紫罗兰酮、茉莉内酯等花香型香气为主,香气组分更加丰富。

综上所述,鲜叶低温摊放处理(温度为 5~10 ℃,时长为 16~24 h)可以提高黄茶水浸出物、可溶性糖的含量,具有花果香的挥发性物质成分比例升高,使其滋味更加清爽、甜醇,香气更加馥郁。

参考文献

[1] 周坤,陈婵薇,韩新征. 黄小茶的历史、产销现状及感官品质[J]. 茶业通报, 2015, 39(4): 168-170. [ZHOU K, CHEN C W, HAN X Z. History, production and marketing status and sensory quality of yellow tea[J]. Tea Industry Report, 2015, 39(4): 168-170.]

[2] GUO X Y, HO C T, WILFRIED S, et al. Aroma compositions

- of large-leaf yellow tea and potential effect of theanine on volatile formation in tea[J]. *Food Chemistry*, 2018: 73–82.
- [3] XU J Y, WANG M, ZHAO J P, et al. Yellow tea (*Camellia sinensis* L.), a promising Chinese tea: Processing, chemical constituents and health benefits[J]. *Food Research International*, 2018, 107: 567–577.
- [4] 张进华. 从鹿苑茶生产发展谈黄茶振兴[J]. *茶叶通讯*, 2011, 38(3): 45–47. [ZHANG J H. Discussion on the revitalization of yellow tea from the production and development of Luyuan Tea[J]. *Journal of Tea Communication*, 2011, 38(3): 45–47.]
- [5] 朱小元, 宁井铭. 黄茶加工技术研究进展[J]. *茶业通报*, 2016, 38(2): 74–79. [ZHU X Y, NING J M. Research progress of yellow tea processing technology[J]. *Tea Industry Report*, 2016, 38(2): 74–79.]
- [6] 翁蔚. 2020年及2021年上半年中国茶叶市场概况[J]. *中国茶叶*, 2021, 43(9): 74–76. [WENG W. Overview of the Chinese tea market in 2020 and the first half of 2021[J]. *Chinese Tea*, 2021, 43(9): 74–76.]
- [7] MURCHIE E H, YANG J, STELLA H, et al. Are there associations between grain filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(378): 2217–2224.
- [8] YADAV S K. Cold stress tolerance mechanisms in plants: A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2010, 30(3): 515–527.
- [9] LAN T T, TAYLOR J S, CONSTABEL C P. The polyphenol oxidase gene family in land plants: Lineage-specific duplication and expansion[J]. *Bmc Genomics*, 2012, 13(1): 395.
- [10] 侯炳豪, 陈佳豪, 黄浩, 等. 冷冻处理对茶鲜叶与萎凋叶细胞破损率及红茶茶黄素含量影响研究[J]. *茶叶通讯*, 2020, 47(3): 421–426. [HOU B H, CHEN J H, HUANG H, et al. Effect of freezing treatments on the cell breakage rate of fresh and withered tea leaves and the content of theaflavins in black tea[J]. *Tea Communication*, 2020, 47(3): 421–426.]
- [11] 张恒, 郑悄然, 何靖柳, 等. 速溶藏茶制备工艺优化、功能性成分及抗氧化性分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(11): 147–155. [ZHANG H, ZHENG Q R, HE J L, et al. Optimization of preparation technology of instant Tibetan tea and analysis of its functional components and antioxidant activity[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(11): 147–155.]
- [12] MARITIM T K, KAMUNYA S M, MIREJI P, et al. Physiological and biochemical response of tea (*Camellia sinensis* L. O. Kuntze) to water-deficit stress[J]. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2015, 90(4): 395–400.
- [13] 张应根, 王振康, 陈林, 等. 环境温度调控对茶鲜叶萎凋失水及白茶品质的影响[J]. *福建农业学报*, 2012(11): 1205–1210. [ZHANG Y G, WANG Z K, CHEN L, et al. Effects of environmental temperature and humidity regulation on water loss of fresh tea leaves and white tea quality[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University*, 2012(11): 1205–1210.]
- [14] 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.
- [15] 虞昕磊. 鲜叶摊放方式对绿茶色、香、味品质成分代谢的影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020. [YU X L. Effects of different withering methods on components metabolism related to color, aroma and taste quality in green tea[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020.]
- [16] 田野. 低温对茶叶品质及其理化成分的影响[D]. 杭州: 中国计量学院, 2015. [TIAN Y. Effect on tea quality and chemical compositions at low temperature[D]. Hangzhou: China Jiliang University, 2015.]
- [17] 夏涛. 制茶学[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2016. [XIA T. Tea making[M]. 3rd Edition. Beijing: China Agriculture Press, 2016.]
- [18] 华夏, 李晓梅, 李丽泓, 等. 黄茶闷黄过程中电化学变化与品质的关系[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(22): 84–91. [HUA X, LI X M, LI L H, et al. Study on the relationship between electrochemical changes and quality of yellow tea in the process of yellowing[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(22): 84–91.]
- [19] 罗秀芹, 韦卓文, 杨龙, 等. 木薯组培苗中叶绿素和类胡萝卜素含量分析[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(4): 136–140. [LUO X Q, WEI Z W, YANG L, et al. Analysis of carotenoids chlorophyll and in cassava tissue culture seedlings[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(4): 136–140.]
- [20] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 82–85. [LI H S. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 82–85.]
- [21] 傅嘉敏, 耿琦, 王梦荷, 等. 基于电子鼻和分光测色仪技术的茶树叶片氮营养诊断[J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(8): 1413–1421. [FU J M, GENG Q, WANG M H, et al. Diagnosis of nitrogen nutrition in fresh tea leaves with electronic nose and spectrophotometer[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2019, 25(8): 1413–1421.]
- [22] 王家勤, 姚月凤, 袁海波, 等. 基于色差系统的工夫红茶茶汤亮度的量化评价方法研究[J]. *茶叶科学*, 2020, 40(2): 259–268. [WANG J Q, YAO Y F, YUAN H B, et al. Study on quantitative evaluation method of brightness of Gongfu black tea soup based on chromatic aberration system[J]. *Tea Science*, 2020, 40(2): 259–268.]
- [23] 宛晓春, 黄继轶, 沈生荣. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 427–451. [WAN X C, HUANG J Z, SHEN S R. Tea biochemistry[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003: 427–451.]
- [24] 刘晓慧, 张丽霞, 王日为, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析黄茶香气成分[J]. *食品科学*, 2010, 31(16): 239–243. [LIU X H, ZHANG L X, WANG R W, et al. Analysis of aroma components of yellow tea by headspace solid phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Science*, 2010, 31(16): 239–243.]
- [25] SUZUKI Y, SHIOI Y. Identification of chlorophylls and carotenoids in major teas by high-performance liquid chromatography with photodiode array detection[J]. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 2003, 51: 5307–5314.

- [26] 张海峰,陈梅春,陈峥.初制茶色泽形成的影响因素研究现状[J].食品安全质量检测学报,2017,8(7):2687-2691. [ZHANG H F, CHEN C M, CHEN Z. Research progress in influencing factors of crude tea color[J]. *Journal of Food Safety and Quality Inspection*, 2017, 8(7): 2687-2691.]
- [27] 邓威,孙晓楠,张润泽,等.寒葱精油挥发性成分及抗氧化活性研究[J].中国调味品,2021,46(10):59-64. [DENG W, SUN X N, ZHANG R Z, et al. Study on the volatile components and antioxidant activity of essential oil from *Allium victorialis*[J]. *Chinese Condiment*, 2021, 46(10): 59-64.]
- [28] ZHANG W T, LIU T P, MAIKEN U, et al. Design of an efficient electronic nose system for odour analysis and assessment[J]. *Measurement*, 2020, 165(prepublish): 108089.
- [29] CHEN Q C, SHI J, BING Z M, et al. Metabolomics combined with proteomics provides a novel interpretation of the changes in nonvolatile compounds during white tea processing[J]. *Food Chemistry*, 2020, 332(prepublish): 127412.
- [30] 赖兆祥,苗爱清,庞式,等.不同萎凋工艺加工英红九号红茶品质研究[J].江西农业学报,2011,23(10):131-132. [LAI Z X, MIAO A Q, PANG W, et al. Study on quality of black tea Yinghong NO. 9 processed by different withering crafts[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2011, 23(10): 131-132.]
- [31] ZENG L, ZHOU Y, GUI J, et al. Formation of volatile tea constituent indole during the oolong tea manufacturing process[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64: 5011-5019.
- [32] ZHU Y, LYU H P, DAI W D, et al. Separation of aroma components in Xihu Longjing tea using simultaneous distillation extraction with comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry[J]. *Separation and Purification Technology*, 2016, 164: 146-154.
- [33] 谢关华,陆安霞,欧阳珂,等.GC-MS结合化学计量学用于探究六大茶类香气形成的差异[J].食品与发酵工业,2021,47(20):260-270. [XIE G H, LU A X, OUYANG K, et al. Analysis of the aroma formation in six categories of teas by GC-MS combined with chemometrics[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(20): 260-270.]
- [34] 张娇,梁壮仙,张拓,等.黄茶加工中主要品质成分的动态变化[J].食品科学,2019,40(16):200-205. [ZHANG J, LIANG Z X, ZHANG T, et al. Dynamic changes of main quality components during yellow tea processing[J]. *Food Science*, 2019, 40(16): 200-205.]
- [35] YANG Y Z, LI T, TENG R M, et al. Low temperature effects on carotenoids biosynthesis in the leaves of green and albino tea plant (*Camellia sinensis* L. O. Kuntze)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 285: 110164.
- [36] JURANDI G DE O, PEDRO L DA C A A, ANGELA P V. Alterations in chlorophyll a fluorescence, pigment concentrations and lipid peroxidation to chilling temperature in coffee seedlings[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2009, 67(1): 71-76.
- [37] SHI J, WANG L, MA C Y, et al. Aroma changes of black tea prepared from methyl jasmonate treated tea plants[J]. *Journal of Zhejiang University: Science B*, 2014, 15(4): 313.
- [38] ZEN L T, ZHOU Y, FU X M, et al. Biosynthesis of jasmine lactone in tea (*Camellia sinensis*) leaves and its formation in response to multiple stresses[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(15): 2899-3908.
- [39] 邓慧莉,李鑫磊,毛贻帆,等.不同做青温度对乌龙茶滋味与香气品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2021,12(14):5766-5771. [DENG H L, LI X L, MAO Y F, et al. Effect of different turning-over temperatures on the taste and aroma quality of oolong tea[J]. *Journal of Food Safety and Quality Inspection*, 2021, 12(14): 5766-5771.]