

不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶品质的影响

魏子淳, 庄加耘, 孙志琳, 林冬纯, 毕婉君, 谭艳婷, 林宏政, 俞晓敏, 孙云, 蔡小勇, 郝志龙

Effects on the Quality of Wuyi Rock Tea with Different Airing Thicknesses

WEI Zichun, ZHUANG Jiayun, SUN Zhilin, LIN Dongchun, BI Wanjun, TAN Yanping, LIN Hongzheng, YU Xiaomin, SUN Yun, CAI Xiaoyong, and HAO Zhilong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022060109>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

武夷岩茶原料加工岩茯茶的工艺研究

Study on the Yanfu Tea Processed by Wuyi Rock Tea

食品工业科技. 2019, 40(22): 242-248 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.22.042>

不同火功武夷岩茶生化成分浸泡规律

Brewing Conditions on the Extraction Rate of Biochemical Component in Different Baking Wuyi Rock Teas

食品工业科技. 2018, 39(21): 61-65 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.21.011>

超声辅助提取武夷岩茶茶梗中茶多酚的工艺优化

Optimization of Ultrasonic Assisted Extraction of Tea Polyphenols from Wuyi Rock Tea Stem

食品工业科技. 2019, 40(16): 140-144,150 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.16.023>

低密度聚乙烯袋厚度对杏鲍菇减压贮藏品质的影响

Effect of Low Density Polyethylene Bag Thickness on Hypobaric Storage Quality of *Pleurotus eryngii*

食品工业科技. 2021, 42(10): 215-221 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060222>

闷黄对槲叶齐品种黄小茶品质的影响

Effect of the Yellowing on the Quality of Zhuyeqi Yellow Tea

食品工业科技. 2021, 42(9): 51-59 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070219>

不同糖醇对绿茶卡仕达酱品质特性的影响

Effects of Different Sugar Alcohol on the Quality of the Tea Custard Cream

食品工业科技. 2020, 41(4): 31-35,41 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.04.006>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

魏子淳, 庄加耘, 孙志琳, 等. 不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 97-106. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060109

WEI Zichun, ZHUANG Jiayun, SUN Zhilin, et al. Effects on the Quality of Wuyi Rock Tea with Different Airing Thicknesses[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(7): 97-106. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060109

· 研究与探讨 ·

不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶品质的影响

魏子淳^{1,2}, 庄加耘¹, 孙志琳¹, 林冬纯^{1,3}, 毕婉君^{1,2}, 谭艳婷¹, 林宏政¹,
俞晓敏⁴, 孙云^{1,5}, 蔡小勇⁶, 郝志龙^{1,5,*}

(1. 福建农林大学园艺学院, 福建福州 350002;

2. 武夷山茗兮录茶业有限公司, 福建武夷山 354300;

3. 广东省农业科学院茶叶研究所/广东省茶树资源创新利用重点实验室, 广东广州 510640;

4. 福建农林大学海峡联合研究院园艺植物生物学及代谢组学研究中心, 福建福州 350002;

5. 茶学福建省高校重点实验室, 福建福州 350002;

6. 武夷星茶业有限公司, 福建武夷山 354300)

摘要:为探明不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶品质的影响, 本研究以肉桂品种三、四叶小开面嫩梢为原料, 采用顶空固相微萃取法结合气相色谱-飞行时间质谱联用技术(HS-SPME-GC-TOF-MS)及靶向代谢组学, 研究了摊叶厚度(6 cm、12 cm、18 cm、传统晾青)对武夷岩茶晾青过程中叶温、青叶层 CO₂ 浓度以及毛茶香气、多酚类物质和氨基酸等品质成分的影响。结果表明: 6、12 cm 摊叶厚度晾青叶温较稳定, 四晾尾后各摊叶厚度晾青叶层 CO₂ 浓度显著低于传统晾青 ($P<0.05$)。毛茶感官品质随摊叶厚度的增加呈下降趋势, 6 cm 摊叶厚度晾青毛茶综合品质得分最高为 94.1 分。各摊叶厚度晾青毛茶儿茶素总量无显著差异, 但均显著高于传统晾青 ($P<0.05$), 6 cm 摊叶厚度晾青毛茶儿茶素含量较高; 6、12、18 cm 摊叶厚度晾青毛茶间氨基酸总量、鲜爽味氨基酸无显著差异, 而 12、18 cm 显著高于传统晾青 ($P<0.05$); 各毛茶挥发性物质中醇类物质占比最大, 而已酸叶醇酯、 γ -己内酯、己酸己酯等酯类在 6、12 cm 摊叶厚度晾青毛茶中显著高于 18 cm 和传统晾青 ($P<0.05$)。综上, 6、12 cm 摊叶厚度晾青均能提高武夷岩茶茶汤浓厚度, 有利于愉悦香气物质形成, 12 cm 可作为武夷岩茶晾青兼顾品质与产量的参考摊叶厚度。

关键词: 武夷岩茶, 做青, 摊叶厚度, 品质, 肉桂

中图分类号: TS272.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)07-0097-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060109

本文网刊:



Effects on the Quality of Wuyi Rock Tea with Different Airing Thicknesses

WEI Zichun^{1,2}, ZHUANG Jiayun¹, SUN Zhilin¹, LIN Dongchun^{1,3}, BI Wanjuan^{1,2}, TAN Yanping¹,
LIN Hongzheng¹, YU Xiaomin⁴, SUN Yun^{1,5}, CAI Xiaoyong⁶, HAO Zhilong^{1,5,*}

(1. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Wuyishan Mingxilu Tea Co., Ltd., Wuyishan 354300, China;

3. Guangdong Key Laboratory of Tea Plant Resources Innovation and Utilization, Tea Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;

4. Horticultural Biology and Metabolomics Center, Haixia Institute of Science and Technology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

5. Key Laboratory of Tea Science in Universities of Fujian Province, Fuzhou 350002, China;

收稿日期: 2022-06-14

基金项目: 国家“十四五”重点研发计划重点专项子课题“乌龙茶、白茶智能化加工关键技术及装备研发”(2022YFD2101101); 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-19); 福建省现代农业(茶叶)产业技术体系专项(闽财指[2021]637号); 高香型武夷岩茶加工关键工艺及配套技术研究与应用(2022R1009001)。

作者简介: 魏子淳(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 茶叶加工工程, E-mail: weizichungongzuo@163.com。

*** 通信作者:** 郝志龙(1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 茶叶加工工程与装备, E-mail: haozhilong@126.com。

6.Wuyistar Tea Co., Ltd., Wuyishan 354300, China)

Abstract: In order to explore the effect on the quality of Wuyi rock tea with different leaf spreading thickness during airing, the leaf temperature, leaf ambient CO₂ concentration, volatile metabolites, polyphenols, and amino acids composition of primary tea during airing stage under 6, 12, 18 cm leaf spreading thickness, and traditional airing were detected, the shoots of the third and fourth leaves of Rougui (the *Camellia sinensis* var. Rougui) was selected as raw materials, headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry (HS-SPME-GC-TOF-MS) and targeted metabolomics were used as method. The results showed that the leaf temperature of 6 and 12 cm thickness was relatively stable, and the CO₂ concentration of each leaf spreading thickness was significantly lower than that of traditional airing after the second airing ($P<0.05$). The sensory quality of raw tea showed a downward trend with the increase of thickness, and the comprehensive quality score was highest (94.1) under 6 cm leaf spreading thickness. Meanwhile, there was no significant difference in the total catechins among different leaf spreading thickness was observed. However, the total catechins in treatments were significantly higher than the control (normal leaf spreading thickness, $P<0.05$), and the content of catechin in raw tea under the 6 cm leaf spreading thickness was higher. In addition, there was no significant difference in the total amino acids and fresh tast amino acid among 6, 12 and 18 cm leaf spreading thickness, but 12 and 18 cm were significantly higher than traditional airing ($P<0.05$). Alcohols accounted for the largest proportion of volatile substances in each raw tea. Meanwhile, some important ester volatiles, such as cis-3-hexenyl hexanoate, 4-hexanolide and hexyl hexanoate were significantly higher in 6 and 12 cm leaf spreading thickness than that in 18 cm and traditional leaf spreading thickness treatment ($P<0.05$). In conclusion, airing with 6 and 12 cm leaf spreading thickness enhance the soup thickness and the formation of pleasant aroma substances of Wuyi rock tea, 12 cm can be used as a reference leaf spreading thickness to Wuyi rock tea airing considering both quality and yield.

Key words: Wuyi rock tea; airing; leaf spreading thickness; quality; Rougui

武夷岩茶作为中国十大名茶之一,经采摘、萎凋、做青、杀青、揉捻、烘干等工序加工而成,以“岩骨花香”的品质特征闻名天下^[1-2]。做青是武夷岩茶独特品质形成的关键工序,由摇青和晾青两个过程交替完成,摇青产生机械胁迫破坏叶缘细胞组织使叶梗脉水分向叶片转移,晾青则使叶片水分通过气孔逐步散发,同时促进茶叶内含物质发现一系列化学变化,逐渐形成武夷岩茶馥郁花果香与醇厚滋味的独特风味^[3-4]。

已有研究表明,做青过程中做青温度、摇青强度、晾青厚度等工艺参数显著影响成茶品质风格,做青温度过高会提高在制叶酶促氧化速率以及呼吸作用强度,使氨基酸、可溶性糖等消耗过多,不利于茶叶良好品质形成^[5],摇青强度同样显著影响在制叶酶活性,摇青强度过高超氧化物歧化酶活性降低,提高了脂质的过氧化反应,在制叶可溶性蛋白质及其组分含量下降,影响茶叶香气品质^[6-7],郝志龙等^[8]研究发现摊叶厚度显著影响振动做青过程中叶温、水分和细胞破损率,可见,优化加工工艺可明显提升乌龙茶风味品质,其中做青过程中不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶品质的影响研究未见报道,晾青摊叶厚度与内含物质变化的关系尚未明晰。生产上武夷岩茶做青主要采用较粗放的摇晾一体式综合做青机做青,摇青与晾青全程均在摇青机内完成,虽增设风机改善晾青环境,依然存在晾青叶堆积挤压、透气性差、叶温可控性差等问题,限制了叶层环境空气流动,不利于晾青叶进行有氧呼吸与呼吸热溢出,而高品质武夷岩茶加工较多采用晾青筛薄摊的晾青方式^[8-9],薄摊晾青虽有利于良好品质的形成,但加工效率低,如何选择合

适晾青摊叶厚度对提高武夷岩茶产量并保持优质风味品质至关重要。因此,本研究以肉桂品种三、四叶小开面嫩梢为原料开展了不同摊叶厚度晾青的做青试验,探索不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶风味物质含量变化以及对感官品质的影响,为武夷岩茶精细化做青技术提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

试验材料为 2020 年 4 月武夷星茶业有限公司九龙山基地肉桂三、四叶小开面嫩梢;甲醇、甲酸、乙腈色谱纯(纯度均不低于 98%) 美国 Sigma-Aldrich 公司;儿茶素(C)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、没食子儿茶素(GC)、表没食子儿茶素(EGC)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、表儿茶素(EC)、甲基表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG-CH₃)、 γ -氨基丁酸(GABA)、色氨酸(Trp)、谷氨酸(Glu)、赖氨酸(Lys)、脯氨酸(Pro)、酪氨酸(Tyr)、精氨酸(Arg)、缬氨酸(Val)、亮氨酸(Leu)、异亮氨酸(Ile)、谷氨酰胺(Gln)、丝氨酸(Ser)、组氨酸(His)、天冬酰胺(Asn)、半胱氨酸(Cys)、天冬氨酸(Asp)、苯丙氨酸(Phe)、甘氨酸(Gly)、 β -丙氨酸(Bate-Ala)、茶氨酸(Thea)(纯度均不低于 95%)、吡啶、N,O-双(三甲基硅烷基)、三氟乙酰胺(BSTFA)分析纯(纯度均不低于 95%) 美国 Sigma-Aldrich 公司;去离子水由 Milli-Q 净水系统制备。

ACQUITY UPLC I-Class 液相色谱、XEVO TQS MS 质谱 美国 Waters 公司;AS-852B+红外测温仪 中国希玛仪表集团有限公司;AR8299 二氧化碳检测仪 中国希玛仪表集团有限公司 7890B 气相色谱

仪 美国安捷伦科技公司; Pegasus HT 飞行时间质谱仪 美国 LECO 公司; 7754070 冷冻干燥机 美国 LABCONCO 公司; MC 京制 00000246 精密天平 德国 Sartorius 公司; 5430R 台式高速冷冻离心机 德国 Eppendorf 公司; G560E 涡旋振荡器 美国 Industrial Industries 公司; KQ-300GDV 恒温数控超声波清洗器 昆山超声仪器公司; Milli-Q Advantage A10 纯水系统 德国 Merck Millipore 公司; MPS 多功能自动进样架 德国 Gerstel 公司; LCJ-25C 冷冻干燥机 北京四环科学仪器有限公司; 110 型综合做青机 福建省安溪艺萌机械有限公司; AS882 型红外测温仪 香港希玛仪表集团有限公司; AR8200 型二氧化碳检测仪 香港希玛仪表集团有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 不同摊叶厚度晾青制备肉桂毛茶 在室内采用空调控制做青环境温度: (22.7±1)℃, 空气相对湿度: 75%±2%, 采用武夷岩茶传统工艺加工成毛茶, 具体工艺参数如表 1 所示。做青过程在增加隔板的同一做青机内进行统一摇青, 参照武夷岩茶手工做青摊叶厚度用不同摊叶厚度摊晾(如图 1 所示), 晾青不同摊叶厚度为 6 cm(A)、12 cm(B)、18 cm(C)、传统晾青(综合做青机内晾青厚度约 28 cm, CK)。

表 1 试验工艺参数
Table 1 Test process parameter

工艺节点	工艺参数	工艺节点	工艺参数
萎凋	日光萎凋至含水率73%	第四晾	不同厚度摊晾, 95 min
第一摇	20 r/min, 30 s	第五摇	20 r/min, 8 min
第一晾	不同厚度摊晾, 55 min	第五晾	不同厚度摊晾, 96 min
第二摇	20 r/min, 30 s	第六摇	20 r/min, 15 min
第二晾	不同厚度摊晾, 60 min	第六晾	不同厚度摊晾, 114 min
第三摇	20 r/min, 2 min	杀青	280 ℃, 10 min
第三晾	不同厚度摊晾, 62 min	揉捻	10 min
第四摇	20 r/min, 4 min	烘干	90 ℃, 120 min

1.2.2 物理特性采集 CO₂ 浓度与叶温利用 AR8299 二氧化碳检测仪与 AS-852B+红外测温仪在距叶面 3 cm 处测量, 稳定 5 s 记录数据。

1.2.3 感官审评 参照国家标准 GB/T 23776-2018

《茶叶感官审评方法》^[10] 中乌龙茶审评法, 感官品质得分为加权平均值, 以标准中外形(20%)、汤色(5%)、香气(30%)、滋味(35%)和叶底(10%)等五项审评因子判定毛茶品质高低。由 5 位茶叶专家独立审评。

1.2.4 茶叶前处理 茶样前处理参考 Chen 等^[11] 方法, 所有实验重复 3 次。

氨基酸、儿茶素测定前处理: 茶样研磨后称取 30 mg 于试管中, 加入 1 mL 体积分数 70% 甲醇溶液, 振荡后超声 30 min, 12000 g 4℃ 条件下进行离心, 10 min 时取上清液, 用 0.22 μm 滤膜过滤后, 稀释至适当倍数, 供 UPLC-QqQ MS 分析, 每个样品重复 3 次。

挥发性成分测定前处理: 取 2.0 g 茶样研磨粉末至固相微萃取(SPME)螺纹瓶中, 旋紧带有硅胶隔垫的瓶盖。

1.2.5 色谱与质谱检测条件 茶叶中儿茶素和氨基酸测定利用超高效液相色谱串联三重四级杆质谱(UPLC-QqQ MS), 挥发性物质采用顶空固相微萃取-气相色谱-飞行时间质谱(HS-SPME-GC-TOF-MS)。

儿茶素采用 BEH C₁₈ 色谱柱(100 mm×2.1 mm, 1.7 μm), 氨基酸检测采用 Merck ZIC-HILIC 色谱柱(100 mm×2.1 mm, 5 μm), 具体检测条件与质谱条件参考徐邢燕等^[12] 所用方法。

儿茶素检测条件: 溶液 A 为 0.1% 甲酸-水溶液; 溶液 B 为 0.1% 甲酸-乙腈溶液; 流速 0.3 mL/min; 柱温: 40℃; 样品室温度: 10℃; 进样量: 1 μL。梯度洗脱条件为: 95%~83% A(0~12 min); 83%~0% A(12~13 min); 0% A(13~16.5 min); 0%~95% A(16.5~16.6 min); 95% A(16.6~20 min)。

氨基酸检测条件: 溶液 A 为 5 mmol/L 乙酸铵-水溶液; 溶液 B 为 0.1% 甲酸-乙腈溶液; 流速 0.4 mL/min; 柱温: 40℃; 样品室温度: 10℃; 进样量: 2 μL。梯度洗脱条件为: 5%~41% A(0~13 min); 41%~60% A(13~13.01 min); 60% A(13.01~15 min); 60%~5% A(15~15.01 min); 5% A(15.01~20 min)。

挥发性成分色谱分析条件: 检测质谱、色谱条件参考刘彬彬等^[13] 所用方法, 萃取针: PDMS/DVB; 孵

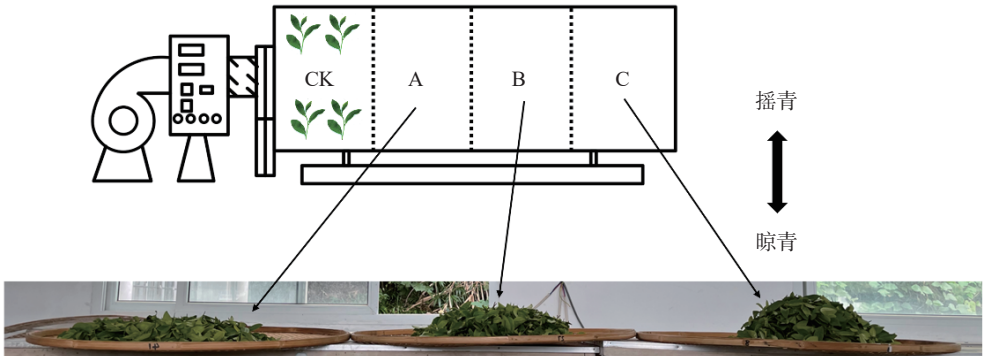


图 1 不同摊叶厚度晾青示意图

Fig.1 Schematic diagram of airing with different leaf spreading thickness

化温度: 80 ℃; 孵化时间: 31 min; 萃取时间: 60 min; 解吸时间: 3.5 min; 光纤预烘烤温度: 250 ℃; 光纤预烘烤时间: 30 min; 色谱柱: Rxi-5silMS; 模式: 前进式模式, 不分流; 进样口温度: 250 ℃; 传输线温度: 275 ℃; 载气: 氦气, 氦气流速: 1 mL/min; 程序升温: 50 ℃ 保持 5 min, 以 3 ℃/min 的速率升至 210 ℃, 保持 3 min, 再以 15 ℃/min 的速率升至 230 ℃; 溶剂延迟时间: 5 min; 采集速率: 10 谱图/s; EI 电离能量: 70 eV; 离子源温度: 250 ℃。

1.3 数据处理与分析

1.3.1 数据处理 对每个样品 3 次重复实验的数据进行统计分析, 具体参考林冬纯等^[14], 氨基酸、儿茶素数据处理采用标准曲线法(相关系数 ≥ 0.9950), 挥发性成分数据处理采用 ChromaTOF 软件进行解卷积、峰识别、化合物鉴定, 通过峰面积归一化定量, 挥发性成分峰面积除以总峰面积得到各挥发性物质的相对含量。

1.3.2 数据分析 采用 SIMCA-P 14.1 软件对挥发性成分数据进行主成分分析, 利用 Excel 计算数据平均值、相对标准差, 显著性分析利用 SPSS 17.0 (IBM 公司)作 Duncan 检验。

1.3.3 图表制作 利用 Microsoft Office 2010 (微软公司)、Graphpad Prism 7.0 (GraphPad Software 公司)进行图表制作。

2 结果与分析

2.1 不同摊叶厚度晾青对晾青叶叶温与青叶层 CO₂ 浓度的影响

晾青叶叶温、青叶层 CO₂ 浓度与晾青叶呼吸作用、生化反应速度及酶活性密切相关, 影响茶叶香气与滋味的形成^[15-16]。不同晾青摊叶厚度做青过程中晾青叶叶温变化如图 2-a 所示, 做青各阶段不同摊叶厚度晾青叶叶温(27.4~30.9 ℃)均显著低于 CK 处理(32.9~35.2 ℃, $P < 0.05$), 叶温随着摊叶厚度增加而上升, A、B、C 摊叶晾青处理组分别在二、四晾尾时差异不显著, C 处理叶温在六晾尾时显著高于 A、B 处理($P < 0.05$)。做青过程晾青叶叶温分布如图 3 所示, 各处理做青过程叶温分布在 27.4~35.2 ℃ 之间, CK、A、B、C 处理在做青叶温分别为 32.8、28.7、28.9、29.7 ℃, 其中 CK 处理在做青过程中叶温分布差异较大, A、B 处理较小, 表明 A、B 处理在做青过程中叶温更稳定, 可能是 CK 摊叶量较大, 叶层空隙小, 导致气流速度较低, 大量呼吸热无法及时溢出^[8]。前人研究表明, 叶温分布稳定更有利于乌龙茶良好品质形成^[17]。综上, 较薄的摊叶厚度晾青更有利于晾青叶叶温的有效调控, 使叶温更稳定。

做青过程中不同摊叶厚度晾青叶层 CO₂ 浓度变化如图 2-b 所示, A、B、C 处理从四晾尾开始, 叶层 CO₂ 浓度均显著低于 CK 处理($P < 0.05$), 做青过程中 A、B、C 三种处理距叶层表面 3 cm 的 CO₂ 浓度

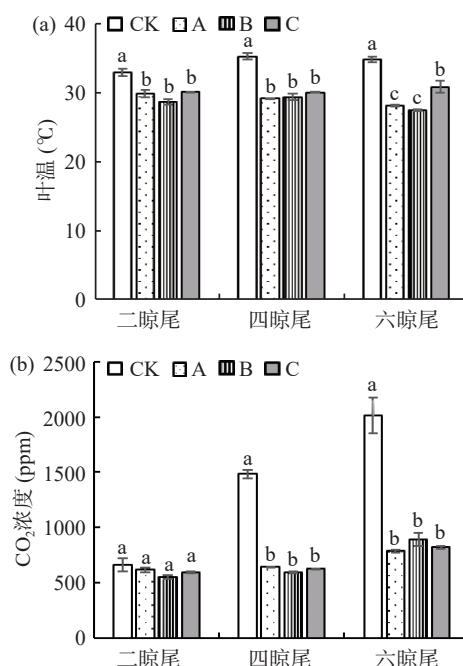


图 2 不同摊叶厚度晾青做青过程中叶温(a)与 CO₂ 浓度(b)变化

Fig.2 Changes of leaf temperature (a) and CO₂ concentration (b) during Zuoqing process of airing with different leaf thicknesses

注: a 为不同摊叶厚度晾青做青过程中叶温变化; b 为做青过程叶层 CO₂ 浓度变化。图中同一环节不同摊叶厚度间小写字母不同代表差异达显著水平($P < 0.05$)。

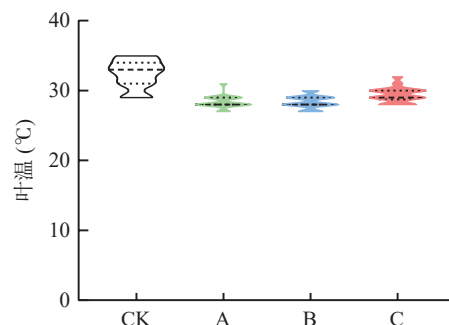


图 3 不同摊叶厚度晾青做青过程中叶温分布情况

Fig.3 Leaf temperature distribution during the Zuoqing process of airing with different leaf thicknesses

均无显著差异($P > 0.05$), 说明适度摊叶能有效降低叶层 CO₂ 浓度, 但试验的摊叶厚度对其影响不显著, 做青过程中高 CO₂ 浓度会降低青叶呼吸作用, 造成有机酸积累, 抑制酶活性甚至毒害细胞, 不利于做青品质的形成^[18]。本研究中晾青叶温、叶层 CO₂ 浓度变化规律与郝志龙等^[8] 研究结果一致, 较薄的摊叶厚度(6 cm、12 cm)晾青有利于晾青叶叶温及青叶层 CO₂ 浓度的调控, 可为良好的做青品质形成提供环境条件基础。

2.2 不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶感官品质的影响

晾青过程有助于武夷岩茶色泽、香气与滋味等品质特征形成^[19]。不同摊叶厚度晾青武夷岩茶加工的毛茶感官品质评价结果如表 2 所示, 各摊叶厚度

表 2 不同摊叶厚度晾青武夷岩茶感官品质分析
Table 2 Sensory quality analysis of Wuyi rock tea with different leaf thickness airing

茶样	外形(20%)		汤色(5%)		香气(30%)		滋味(35%)		叶底(10%)		综合评分 (分)	排名
	评语	分数(分)	评语	分数(分)	评语	分数(分)	评语	分数(分)	评语	分数(分)		
CK	尚结实, 乌润, 稍带褐红	85	橙红	86	清高幽长	89	醇和, 岩韵略显	88	软亮匀齐	90	87.8	4
A	较肥壮结实, 油润, 砂绿明	94	浅橙红	91	浓郁持久, 有乳香	95	醇厚, 岩韵明显	94	肥厚软亮	94	94.1	1
B	紧结油润, 砂绿较明	93	浅橙红	91	浓郁持久, 有乳香	95	浓厚, 岩韵明	93	匀齐软亮	92	93.4	2
C	肥壮紧结, 乌润, 砂绿较明	91	浅橙红	90	清高	87	醇厚, 岩韵略显	93	软亮尚匀齐	88	90.1	3

晾青毛茶外形砂绿明显, A、B 处理的毛茶外形特征相近, 条索紧结, 叶面油润且砂绿明显, C 处理样品条索肥壮紧结, 叶面乌润; CK 处理条索尚结实, 叶面稍带红褐色。A、B、C 处理毛茶汤色均呈浅橙红色, CK 处理汤色呈现较深橙红色。A、B 处理毛茶香气相似, 均浓郁持久, 有明显乳香, C、CK 处理香气均清高, 后者更加持久。各摊叶厚度晾青毛茶茶汤滋味较 CK 处理更浓厚, 岩韵随摊叶厚度增加而下降。A 处理毛茶叶底肥厚软亮, 优于其他处理组, B、CK 处理叶底软亮匀齐, C 处理软亮尚匀齐。四个毛茶样品中, 各摊叶厚度晾青毛茶感官品质综合得分均明显高于 CK 处理, A 处理毛茶综合得分均高于其他摊叶厚度晾青处理, 综合得分随摊叶厚度增加而下降。综上, 降低岩茶做青过程中的晾青摊叶厚度, 更有利于武夷岩茶品质形成, B 处理与 A 处理的毛茶品质综合得分差异不明显, 但做青产量更高。

2.3 不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶儿茶素组分含量的影响

不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶儿茶素组分的影响分析如表 3 所示, A、B、C、CK 处理毛茶中儿茶素总量分别为 142.20、134.79、132.23 和 75.36 mg/g, A、B、C 处理毛茶中儿茶素总量显著高于 CK 处理 ($P<0.05$), 但 A、B、C 处理间无显著差异 ($P>0.05$), 各处理中 EGCG 含量在儿茶素总量中占比最高, 约占 45%~46%, 儿茶素总量随晾青摊叶厚度的增加呈下降趋势。各儿茶素组分除 GCG 外 A、B、C 处理

的含量均显著高于 CK ($P<0.05$), 各摊叶厚度晾青处理间无显著差异 ($P>0.05$), GCG 具有较强苦涩味, A 处理含量显著高于其他摊叶厚度 ($P<0.05$)。郭玉琼等、邓慧莉等^[20-21]研究发现, 乌龙茶的儿茶素组分含量随做青温度上升呈下降趋势, 这与本项研究中晾青摊叶厚度增加使叶温增加, 从而导致儿茶素含量降低的结果一致。A、B、C 处理的儿茶素含量高于 CK 处理, 可能是 A、B、C 处理的毛茶滋味比 CK 处理更浓厚的原因, 刘宝顺等^[22]认为“岩韵”体现在茶汤滋味浓厚, 层次感强, A 处理的各儿茶素组分含量均较高, 这可能是其茶汤岩韵明显、滋味浓厚的原因。综上, 武夷岩茶薄摊晾青有利于提高茶汤滋味浓度, 茶汤滋味浓度随摊叶厚度下降呈上升趋势。

2.4 不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶氨基酸组分含量的影响

氨基酸是茶叶中重要的呈味物质, 谷氨酸、茶氨酸、天冬氨酸等鲜爽类氨基酸对茶汤独特滋味形成有重要作用^[23], 乌龙茶中氨基酸含量直接影响茶汤滋味^[24]。不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶呈味氨基酸含量的影响如图 4 所示, 各处理组毛茶氨基酸总量在 8.32~9.19 mg/g 之间, A、B、C 处理毛茶氨基酸总量显著高于 CK 处理 ($P<0.05$), A、B、C 处理间差异不显著。B、C 处理(7.14、7.41 mg/g)毛茶中鲜爽类氨基酸含量显著高于 CK 处理(6.53 mg/g, $P<0.05$), 不同摊叶厚度晾青处理间无显著差异, 随摊叶厚度增加鲜爽类氨基酸含量呈现上升趋势。各样品间甜味类和苦类氨基酸含量差异不显著。由于摊叶厚度增加提升了叶温和叶层 CO₂ 浓度, 高温与高 CO₂ 浓度环境下

表 3 不同摊叶厚度晾青武夷岩茶儿茶素含量
Table 3 The content of catechins in Wuyi rock tea with different leaf thickness airing

儿茶素类型	儿茶素组分	儿茶素含量(mg/g)			
		CK	A	B	C
非酯型儿茶素	EC	4.28±0.07 ^b	8.19±0.65 ^a	8.00±0.69 ^a	7.85±1.45 ^a
	C	0.23±0.01 ^b	0.48±0.03 ^a	0.45±0.03 ^a	0.48±0.12 ^a
	GC	0.76±0.01 ^b	1.59±0.18 ^a	1.43±0.05 ^a	1.56±0.27 ^a
	EGC	27.58±0.32 ^b	51.13±9.30 ^a	48.16±1.19 ^a	49.09±7.33 ^a
酯型儿茶素	ECG	5.62±0.26 ^b	10.33±1.02 ^a	9.96±0.72 ^a	9.10±1.59 ^a
	EGCG	34.5±0.99 ^b	66.11±10.34 ^a	62.65±1.15 ^a	59.95±10.73 ^a
	GCG	0.05±0.00 ^b	0.06±0.01 ^a	0.05±0.00 ^b	0.05±0.00 ^b
	EGCG-CH ₃	2.34±0.08 ^b	4.32±0.61 ^a	4.1±0.16 ^a	4.16±0.70 ^a
	非酯型儿茶素	32.85±0.40 ^b	61.38±10.16 ^a	58.03±0.42 ^a	58.97±9.16 ^a
酯型儿茶素		42.51±1.34 ^b	80.83±11.98 ^a	76.76±2.03 ^a	73.26±13.03 ^a
总儿茶素		75.36±1.74 ^b	142.20±22.14 ^a	134.79±1.61 ^a	132.23±22.19 ^a

注: 同行小写字母不同代表差异达显著水平 ($P<0.05$), 表 4 同。

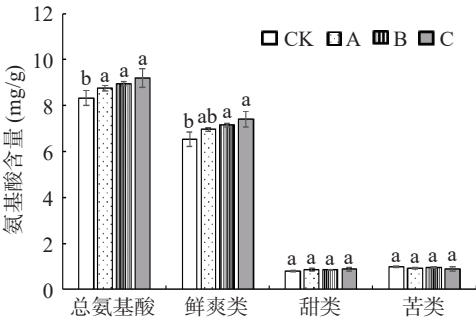


图 4 不同摊叶厚度晾青武夷岩茶呈味氨基酸含量
Fig.4 Flavor amino acid content of Wuyi rock tea with different leaf thickness airing
注: 图中小写字母不同代表同类物质在不同处理组中差异达显著水平 ($P<0.05$); 图 6 同。

均不利于氨基酸含量积累^[25-26],与本研究结果相同,其中鲜味氨基酸能减弱茶汤苦涩味,其含量在A、B、C处理中无显著差异,B、C处理均显著高于CK处理($P<0.05$),各摊叶厚度晾青处理毛茶滋味比CK处理更加浓厚,是氨基酸与儿茶素含量共同作用的结果。可见,12 cm 摊叶厚度相对于18 cm 叶温与 CO_2 浓度利于氨基酸积累,是武夷岩茶摊叶晾青相对合适的厚度。

2.5 不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶挥发性物质的影响

2.5.1 不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶总挥发性物质的影响

不同摊叶厚度晾青处理毛茶共检测到1021种挥发性物质,其中已知挥发性物质为347种,含量占全部化合物总量的97.96%,其总离子流色谱图如图5所示,各处理间挥发性物质种类相似,但含量存在差异。参考宛晓春^[27]对茶叶挥发性物质分类方法,不同摊叶厚度晾青毛茶中酯类82种,烷烃类54种,醇类44种,烯类43种,酮类39种,醛类24种,其他类16种,酸类13种,内酯类7种,炔类7种,芳香族类5种,醚类5种,酚类5种,杂氧化合物3种。各类挥发性物质相对含量如图6所示,醇类相对含

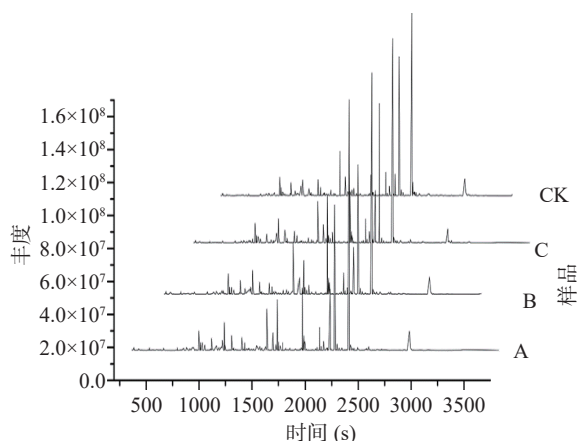


图5 不同摊叶厚度晾青毛茶挥发性物质总离子色谱图

Fig.5 Total ion chromatogram of volatile substances in primary tea with different leaf thickness airing

量较高,是构成各摊叶厚度晾青武夷岩茶挥发性物质的主体成分,其次是烯类、酯类、酮类,杂氧化合物、炔类、醚类相对含量较低,与现有研究结果相近^[28-29]。在各种类挥发性物质相对含量变化中,酯类、内酯类相对含量随着摊叶厚度增加呈现显著下降趋势($P<0.05$),炔类则相反,烷烃类、酮类、其他类、酚类呈现低高低的变化趋势,作为主体成分的醇类中,CK处理相对含量显著大于C处理($P<0.05$),A、B处理与C、CK处理间无显著差异。

2.5.2 特征挥发性物质差异分析

不同摊叶厚度晾青武夷岩茶挥发性物质 PLS-DA 得分如图7-A所示,各处理样品能有效区分开,分布在图中相对独立的区域,说明4种处理的毛茶挥发性物质差异明显,前5个成分的累计方差贡献率达到91.6%,说明该数据能代表全部化学成分信息。由于使用有监督的偏最小二乘-判别分析时易产生过拟合现象,参考徐春晖等^[30]的方法,采用200次响应的置换检验模型是否有过拟合现象,结果如图7-C所示, $R^2=0.624$, $Q^2=-0.424$, Q^2 于Y轴的截距为负值,说明本模型预测能力良好,并未产生过拟合现象,可用于后续特征挥发性物质的筛选。

各处理毛茶的 PLS-DA 变量重要性因子(Variable Important for the Projection, VIP)值可量化各变量对样品分类的贡献,该值越大,变量在判别过程中的贡献越大,通常认为VIP值大于1的变量是模型的重要标志物,本试验结果各挥发性物质VIP值如图7-B所示,有42个挥发性物质VIP值 >1.0 ,且组间差异性显著($P<0.05$),具体相对含量如表4所示。

由表4可知,在4种不同摊叶厚度晾青的武夷岩茶样品中,橙花叔醇、异氰酸甲酯、正戊酸、苯甲酸己酯等呈现花果香型物质的相对含量较高,在CK处理中相对含量较高的挥发性物质有果香的芳樟醇、松油醇^[31],绿叶香的顺式-3-己烯醇苯甲酸酯^[32],淡甜花香的2-乙基己醇等物质^[33];具有玫瑰花香的苯乙醇、芳香气味的苯乙腈、橙香与茉莉花香的吲

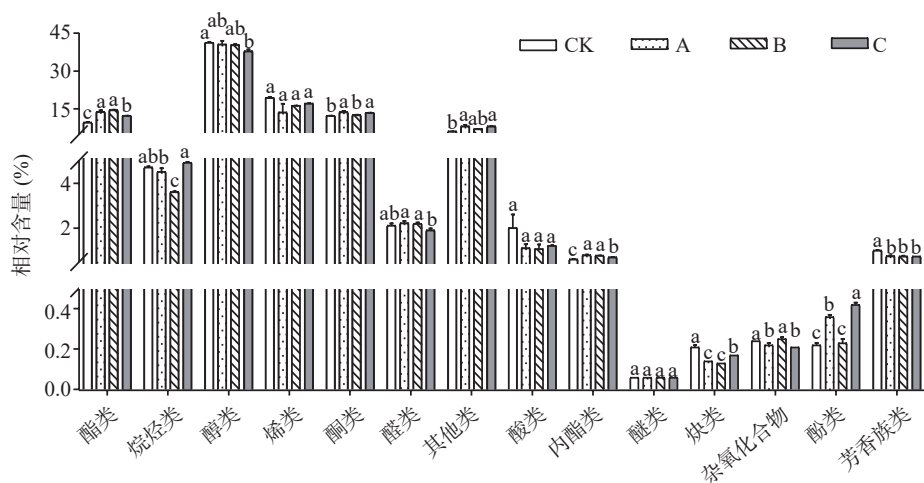


图6 不同摊叶厚度晾青武夷岩茶各挥发性物质相对含量

Fig.6 Relative content of volatile substances in Wuyi rock tea with different leaf thickness airing

表 4 不同摊叶厚度晾青武夷岩茶主要差异挥发性物质
Table 4 Main differences of volatile substances in Wuyi rock tea with different leaf thickness airing

编号	挥发性成分	VIP值	相对含量(%)			
			A	B	C	CK
1	橙花醇	5.25	3.92±0.20 ^b	5.18±0.07 ^a	4.1±0.01 ^b	5.23±0.06 ^a
2	己酸叶醇酯	4.44	6.25±0.53 ^a	6.62±0.15 ^a	5.16±0.03 ^b	2.43±0.02 ^c
3	橙花叔醇	4.25	23.84±1.51 ^a	22.37±0.55 ^{ab}	21.53±1.24 ^b	21.03±0.56 ^b
4	吡嗪	4.08	4.83±0.31 ^a	3.69±0.31 ^b	4.62±0.05 ^a	3.03±0.09 ^c
5	Z-四氢-6-(2-戊烯基)-2H-吡喃-2-酮	3.78	5.64±0.40 ^a	4.91±0.28 ^b	5.09±0.07 ^b	2.59±0.17 ^c
6	顺-A,A-5-三甲基-5-乙烷基四氢化呋喃-2-甲醇	2.96	1.16±0.08 ^c	1.34±0.04 ^b	0.87±0.02 ^d	1.53±0.04 ^a
7	2,6,10,14-四甲基十七烷	2.50	0.92±0.08 ^b	0.65±0.02 ^c	1.09±0.05 ^a	1.13±0.01 ^a
8	2-乙基己醇	2.37	1.84±0.12 ^b	1.99±0.11 ^{ab}	1.94±0.02 ^b	2.12±0.04 ^a
9	己酸己酯	2.36	1.42±0.1 ^b	1.59±0.01 ^a	1.12±0.01 ^c	0.52±0.01 ^d
10	N-己酸(反-2-己烯基)酯	2.34	0.91±0.08 ^b	1.18±0.01 ^a	0.73±0.01 ^c	0.4±0.01 ^d
11	2,6-二甲基-1,7-辛二烯-3,6-二醇	2.16	1.72±0.13 ^c	1.64±0.09 ^c	1.99±0.16 ^b	2.24±0.12 ^a
12	香叶基丙酮	2.11	2.2±0.11 ^c	2.03±0.08 ^d	2.38±0.04 ^b	2.66±0.07 ^a
13	反-A,A-5-三甲基-5-乙烷基四氢化-2-呋喃甲醇	2.08	0.44±0.03 ^b	0.56±0.01 ^a	0.32±0.01 ^c	0.56±0.02 ^a
14	顺式-3-己烯醇苯甲酸酯	2.02	0.52±0.04 ^b	0.44±0.05 ^c	0.56±0.00 ^b	1.56±0.03 ^a
15	正戊酸	1.89	0.28±0.03 ^b	0.29±0.09 ^b	0.25±0.02 ^b	1.32±1.03 ^a
16	苯乙醇	1.85	2.59±0.15 ^a	2.41±0.05 ^b	2.38±0.07 ^b	1.91±0.04 ^c
17	松油醇	1.85	0.22±0.01 ^b	0.20±0.00 ^{bc}	0.08±0.13 ^c	0.36±0.01 ^a
18	芳樟醇	1.69	0.36±0.02 ^c	0.47±0.03 ^b	0.32±0.01 ^d	0.55±0.02 ^a
19	对叔戊基苯酚	1.65	0.13±0.02 ^b	0.05±0.00 ^d	0.20±0.01 ^a	0.09±0.00 ^c
20	苯乙腈	1.65	1.42±0.09 ^a	1.26±0.04 ^b	1.26±0.02 ^b	0.83±0.01 ^c
21	脱氢芳樟醇	1.53	0.94±0.04 ^b	0.76±0.04 ^c	0.89±0.06 ^b	1.19±0.04 ^a
22	2,6,8-三甲基癸烷	1.46	0.34±0.02 ^a	0.22±0.01 ^b	0.34±0.01 ^a	0.24±0.01 ^b
23	2,6,10-三甲基十二烷	1.46	0.26±0.02 ^b	0.18±0.01 ^c	0.32±0.01 ^a	0.31±0.01 ^a
24	1-(苯基)-2-硝基乙烷	1.38	0.81±0.06 ^a	0.75±0.03 ^b	0.76±0.00 ^b	0.42±0.00 ^c
25	2,6-二甲基辛烷	1.20	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.08±0.00 ^a	0.07±0.01 ^a
26	富马酸,2-氯苯基乙酯	1.20	0.00±0.00 ^b	0.08±0.13 ^b	0.16±0.14 ^{ab}	0.28±0.06 ^a
27	苯乙醛	1.15	0.75±0.04 ^a	0.7±0.01 ^a	0.63±0.01 ^b	0.46±0.03 ^c
28	7,8-二氮杂双环[4.2.2]癸-2,4,7,9-四烯,7-氧化物	1.15	0.38±0.03 ^a	0.33±0.03 ^b	0.31±0.00 ^b	0.05±0.00 ^c
29	水杨酸甲酯	1.15	0.2±0.01 ^c	0.26±0.01 ^b	0.19±0.00 ^c	0.29±0.00 ^a
30	己醇醋酸酯	1.13	0.29±0.02 ^a	0.23±0.20 ^b	0.24±0.01 ^b	0.00±0.00 ^b
31	2-乙基-2-己烯醇	1.10	0.17±0.01 ^c	0.19±0.02 ^{ab}	0.21±0.00 ^a	0.18±0.00 ^{bc}
32	(3E,7E)-4,8,12-三甲基三癸1,3,7,11四烯	1.09	0.29±0.01 ^b	0.2±0.03 ^c	0.27±0.01 ^b	0.4±0.01 ^a
33	顺,顺-5,9-十四碳二烯	1.08	0.58±0.03 ^b	0.53±0.07 ^b	0.5±0.01 ^b	0.69±0.04 ^a
34	反式-3-己烯-1-醇	1.07	0.23±0.03 ^b	0.27±0.00 ^a	0.17±0.01 ^c	0.09±0.00 ^d
35	5-甲基-5-己烯-2-酮	1.07	0.18±0.02 ^b	0.22±0.01 ^a	0.17±0.01 ^b	0.24±0.01 ^a
36	异氰酸甲酯	1.07	0.06±0.00 ^a	0.02±0.03 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b
37	3-甲基-3-丁烯-2-酮	1.06	0.49±0.03 ^a	0.43±0.01 ^b	0.41±0.02 ^b	0.23±0.01 ^c
38	苯甲酸己酯	1.04	0.18±0.01 ^c	0.16±0.01 ^d	0.20±0.00 ^b	0.47±0.01 ^a
39	苯异腈	1.03	0.29±0.02 ^a	0.27±0.07 ^a	0.26±0.05 ^a	0.03±0.00 ^b
40	Z,Z-3-己烯酸-3-己烯酯	1.03	0.28±0.03 ^b	0.32±0.03 ^a	0.23±0.01 ^c	0.12±0.00 ^d
41	γ-己内酯	1.02	0.36±0.02 ^a	0.34±0.01 ^a	0.28±0.01 ^b	0.12±0.00 ^c
42	草酸,烯丙基壬酯	1.01	0.13±0.01 ^a	0.07±0.00 ^b	0.13±0.01 ^a	0.07±0.00 ^b

啉、木香与花果香的橙花叔醇等物质在 A 处理中含量最高^[29]; B 处理中具有水果香味的物质己酸叶醇酯、己酸己酯等含量较高^[34]; 具有辛辣气味的对叔戊基苯酚以及青味的 2-乙基-2-己烯醇含量在 C 处理中含量较高^[35-36]。茶叶挥发性物质中酯类含量较高可使其香气更加愉悦^[37], 各样品中己酸叶醇酯、γ-己内酯、己酸己酯等酯类在 A、B 处理中显著高于 C、CK 处理($P<0.05$), 在总酯类相对含量中亦是如此。

综上可发现薄摊晾青处理有利于馥郁花果香以及愉悦香气的挥发性物质积累, 传统晾青处理有利于果香、甜香类挥发性物质的形成。

香气作为武夷岩茶品质的重要因子, 除品种固有的游离态挥发性物质外, 对香气有贡献的挥发性物质更多的在采后加工中形成^[38-39]。本研究表明, 武夷岩茶做青过程中不同摊叶厚度晾青对其挥发性物质含量有明显影响, 当摊叶厚度增加时, 因为叶温的升

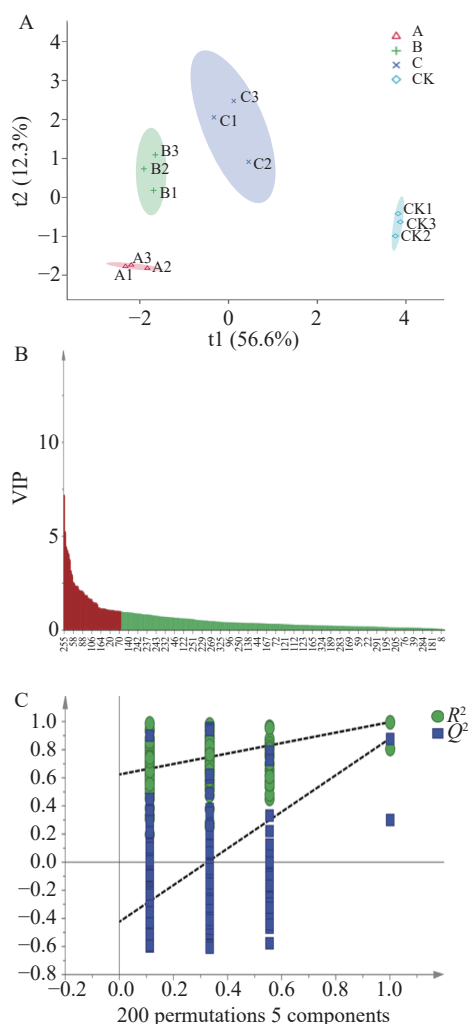


图7 不同摊叶厚度晾青武夷岩茶各挥发性物质多元统计分析

Fig.7 Multivariate statistical analysis of volatile substances in Wuyi rock tea with different leaf thickness airing

注: A 为 PLS-DA 得分图; B 为 PLS-DA 模型 VIP 值(标红部分代表 VIP 值>1); C 为 PLS-DA 验证模型。

高和较高的叶层 CO_2 浓度,使武夷岩茶中特征挥发性物质成分转化受到影响,造成不同晾青摊叶厚度武夷岩茶挥发性成分差异明显。邓慧莉等^[21]研究发现,做青温度升高使部分酯类物质相对含量降低,金心怡等^[40]研究发现,高 CO_2 浓度下做青不利于乌龙茶良好香气品质形成,所以,晾青过程中薄摊可能通过改善叶温和叶层 CO_2 浓度等青叶物理特性参数,影响武夷岩茶香气品质形成。但不同摊叶厚度晾青对各香气成分的形成以及成分间相互转化机理仍需深入挖掘研究。综上,12 cm 以内的晾青摊叶厚度更有利于武夷岩茶良好香气品质形成。

3 结论

物理特性、儿茶素、氨基酸、香气物质等可作为武夷岩茶做青工序的控制指标^[41-43]。武夷岩茶做青过程中平均叶温随着摊叶厚度的增加而升高,6、12 cm 摊叶厚度晾青叶温分布差异较小,叶层 CO_2 浓度在四晾尾及以后各摊叶处理显著低于传统晾青处理($P<0.05$)。各处理毛茶随着摊叶厚度下降,香气

更加浓郁持久,滋味醇厚度提升。6、12、18 cm 摊叶厚度晾青处理毛茶的儿茶素含量显著高于传统晾青($P<0.05$),有助于提升茶汤滋味浓厚度;12、18 cm 摊叶厚度晾青氨基酸总量和鲜爽味氨基酸含量显著高于传统晾青($P<0.05$),增加茶汤鲜爽度;各处理毛茶挥发性物质中己酸叶醇酯、橙花叔醇、苯乙腈、苯乙醇、2-乙基己醇、香叶基丙酮等含量变化是形成香气差异的关键,6、12 cm 摊叶晾青处理己酸叶醇酯、 γ -己内酯、己酸己酯等酯类含量显著高于 18 cm 摊叶晾青与传统晾青($P<0.05$),使香气更加愉悦。不同摊叶厚度晾青茶样对比分析表明,武夷岩茶晾青采用 12 cm 适度薄摊,既有利于儿茶素、氨基酸含量增加使茶汤更加浓厚鲜爽,增加酯类挥发性物质含量促进馥郁花果香以及愉悦香气形成,同时兼顾一定的产量,可作为武夷岩茶摇晾分置做青的晾青参考摊叶厚度,为精细化武夷岩茶加工工艺提供参考。

参考文献

- [1] 陈宗懋. 中国茶经[M]. 上海: 上海文化出版社, 1991. [CHEN Z M. Chinese tea classics[M]. Shanghai: Shanghai Culture Publishing House, 1991.]
- [2] 卢莉, 王飞权, 林秀国, 等. 传统炭焙工艺过程中武夷岩茶品质变化规律研究[J]. 食品科技, 2018, 43(5): 77-82. [LU L, WANG F Q, LIN X G, et al. The change of quality during Wuyi rock tea traditional charcoal baking process[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(5): 77-82.]
- [3] 周子维, 游芳宁, 刘彬彬, 等. 摇青机械力对乌龙茶脂肪族类香气形成的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 52-59. [ZHOU Z W, YOU F N, LIU B B, et al. Effect of mechanical force during turning-over on the formation of aliphatic aroma in Oolong tea[J]. Food Science, 2019, 40(13): 52-59.]
- [4] 刘宝顺, 潘玉华, 占仕权, 等. 武夷岩茶初制技术[J]. 中国茶叶, 2019, 41(4): 40-42. [LIU B S, PAN Y H, ZHAN S Q, et al. Wuyi rock tea preliminary production technology[J]. China Tea, 2019, 41(4): 40-42.]
- [5] 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, 17(2): 23-25. [YANG Z F, ZHANG M S. Design and control of Oolong tea air conditioner Zuoqing environment[J]. Tea Science and Technology, 2009, 17(2): 23-25.]
- [6] NI T C, XU S S, WEI Y M, et al. Understanding the promotion of withering treatment on quality of postharvest tea leaves using UHPLC-orbitrap-MS metabolomics integrated with TMT-based proteomics[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021: 147.
- [7] 莫晓丽, 成晨, 曾雯, 等. 连续慢速做青过程中乌龙茶主要化学成分的变化[J/OL]. 食品工业科技: 1-18. [2022-08-09]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120224. [MO X L, CHENG C, ZENG W, et al. Changes in the major chemical constituents of Oolong tea under continuous low-speed green-making process[J/OL]. Science and Technology of Food Industry, 1-18. [2022-08-09]. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2021120224.]
- [8] 郝志龙, 林宏政, 金心怡, 等. 乌龙茶振动做青气流和摊叶厚度对青叶做青物理特性的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2017, 46(2): 147-153. [HAO Z L, LIN H Z, JIN X Y, et al.

- Effects of airflow and spreading thickness of tealeaf on physical characteristics of Oolong tea during vibrating fine manipulation[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2017, 46(2): 147–153.]
- [9] 谢芬, 郝志龙. 闽南闽北乌龙茶加工工艺对比[J]. *福建茶叶*, 2006(1): 21–22. [XIE F, HAO Z L. Comparison of Oolong tea plus process in southern Fujian and northern Fujian[J]. *Tea in Fujian*, 2006(1): 21–22.]
- [10] 全国茶叶标准化技术委员会. GB/T 23776-2018 茶叶感官审评方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018. [National Technical Committee on Tea of Standardization Administration. GB/T 23776-2018 Sensory evaluation method of tea[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.]
- [11] CHEN S, LI M H, ZHENG G Y, et al. Metabolite profiling of 14 Wuyi rock tea cultivars using UPLC-QTOF MS and UPLC-QqQ MS combined with chemometrics[J]. *Molecules*, 2018, 81(2): 1–12.]
- [12] 徐邢燕, 陈思, 俞晓敏, 等. 不同烘焙程度与等级武夷肉桂茶品质差异分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(13): 22–28. [XU X Y, CHEN S, YU X M, et al. Quality differences of different grades of Wuyi Rougui tea with different baking degrees[J]. *Food Science*, 2020, 41(13): 22–28.]
- [13] 刘彬彬, 周子维, 胡娟, 等. 茶树新品系“606”乌龙茶加工过程中挥发性成分的变化[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2019, 48(6): 746–752. [LIU B B, ZHOU Z W, HU J, et al. Changes of volatile components in the processing of a new tea plant strain “606” Oolong tea[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2019, 48(6): 746–752.]
- [14] 林冬纯, 林宏政, 魏子淳, 等. 不同干燥温度对萎凋叶压制白茶饼品质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 43(15): 109–116. [LIN D C, LIN H Z, WEI Z C, et al. Effect of different drying temperature on the quality of white tea cake pressed with withered leaves[J]. *Food Science*, 2021, 43(15): 109–116.]
- [15] 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 L X, GUO Y L, HUANG S H. Research progress for green-made technology of Oolong tea[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(24): 215–217.]
- [16] 郝志龙, 陈济斌, 金心怡, 等. 乌龙茶振动做青设备研制与做青环境调控性能试验[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(10): 269–277. [HAO Z L, CHEN J B, JIN X Y, et al. Oolong tea vibration Zuoqing equipment development and green environmental regulation performance test[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(10): 269–277.]
- [17] 金心怡. 茶叶加工工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003. [JIN X Y. Tea processing engineering[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.]
- [18] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995. [PAN R C. Plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 1995.]
- [19] 陈志丹, 孙威江, 吉克温. 茗科1号清香型武夷岩茶工艺试验及品质分析[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2009, 38(5): 485–490. [CHEN Z D, SUN W J, JI K W. Processing technology and product quality analysis of fen-flavor Wuyi rock tea of variety Mingke 1[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2009, 38(5): 485–490.]
- [20] 郭玉琼, 詹梓金, 金心怡, 等. 白芽奇兰茶做青过程的品质化学分析[J]. *江西农业大学学报*, 2003(1): 124–129. [GUO Y Q, ZHAN Z J, JIN X Y, et al. Analysis of quality chemistry during the leaf processing of Baiyaqilan tea[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis (Natural Sciences Edition)*, 2003(1): 124–129.]
- [21] 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 & Quality*, 2021, 12(14): 5766–5771.]
- [22] 刘宝顺, 刘欣, 占仕权, 等. 岩韵的形成及其影响因素[J]. *中国茶叶*, 2020, 42(10): 39–41. [LIU B S, LIU X, ZHAN S Q, et al. Formation of Yanyun of Wuyi rock tea and its influencing factors[J]. *China Tea*, 2020, 42(10): 39–41.]
- [23] HAN W Y, HUANG J G, LI X, et al. Altitudinal effects on the quality of green tea in east China: A climate change perspective[J]. *European Food Research and Technology*, 2017, 243(2): 323–330.]
- [24] 杨云, 刘彬彬, 周子维, 等. 新品系“606”乌龙茶加工过程中呈味物质的变化与品质分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(23): 311–318. [YANG Y, LIU B B, ZHOU Z W, et al. Changes of taste compounds and quality analysis during the manufacturing process of a new tea line “606” Oolong tea[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(23): 311–318.]
- [25] 蒋跃林, 张庆国, 张仕定. 大气CO₂浓度对茶叶品质的影响[J]. *茶叶科学*, 2006(4): 299–304. [JIANG Y L, ZHANG Q G, ZHANG S D. Effects of atmospheric CO₂ concentration on tea quality[J]. *Journal of Tea Science*, 2006(4): 299–304.]
- [26] 林清霞, 项丽慧, 王丽丽, 等. 萎凋温度对茶鲜叶萎凋失水及白茶品质的影响[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2019, 45(4): 434–442. [LIN Q X, XIANG L H, WANG L L, et al. Effect of withering temperature on water loss of fresh leaves and quality of white tea[J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)*, 2019, 45(4): 434–442.]
- [27] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2003. [WAN X C. Tea biochemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.]
- [28] 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. [LÜ S D, WU Y S, JIANG Y F, et al. Comparative analysis of aroma characteristics of Oolong tea from different geographical regions[J]. *Food Science*, 2014, 35(2): 146–153.]
- [29] 詹宝珍, 吴志锋, 马春华, 等. 焙火时间对武夷岩茶肉桂香气品质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(3): 811–819. [ZHAN B Z, WU Z F, MA C H, et al. Effects of roasting time on the aroma quality of Wuyi rock tea Rougui[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2022, 13(3): 811–819.]
- [30] 徐春晖, 王远兴. 基于GC-MS结合化学计量学方法鉴别3种江西名茶[J]. *食品科学*, 2020, 41(20): 141–150. [XU C H, WANG Y X. Discrimination of three famous teas in Jiangxi using gas chromatography-mass spectrometry combined with chemomet-

- rics[J]. *Food Science*, 2020, 41(20): 141–150.]
- [31] 林燕萍, 黄毅彪, 张渤, 等. 梅占红茶、白茶品质差异分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(3): 260–267. [LIN Y P, HUANG Y B, ZHANG B, et al. Quality difference analysis of Meizhan black tea and Meizhan white tea[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(3): 260–267.]
- [32] 林家正, 涂政, 陈琳, 等. 红光萎凋对茶叶挥发性成分及其成品红茶品质的影响[J]. *茶叶科学*, 2021, 41(3): 393–405. [LIN J Z, TU Z, CHEN L, et al. The effect of red light withering on the volatile components of tea leaves and the quality of black tea product[J]. *Journal of Tea Science*, 2021, 41(3): 393–405.]
- [33] 张锦程, 余佶, 麻成金, 等. GC-MS 结合 ROAV 分析评价加工工艺对藤茶香气成分的影响[J]. *食品与机械*, 2021, 37(12): 20–25. [ZHANG J C, YU J, MA C J, et al. Analysis of volatile aroma components of ampelopsis grossedentata tea with different processing technology based on GC-MS combined with ROAV[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(12): 20–25.]
- [34] 李晓颖, 武军凯, 王海静, 等. 欧李果实发育期内挥发性成分变化特征[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(9): 1964–1980. [LI X Y, WU J K, WANG H J, et al. Characterization of volatiles changes in Chinese dwarf cherry fruit during its development[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(9): 1964–1980.]
- [35] 柴瑞雪, 安朝严, 刘涛, 等. 基于 SAFE-GC-O-MS 的‘双红’干红葡萄酒关键香气物质分析[J]. *食品科学*, 2022, 43(4): 175–182. [CAI R X, AN C Y, LIU T, et al. Analysis of key aroma compounds in 'Shuanghong' wine by solvent assisted flavor evaporation combined with gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry[J]. *Food Science*, 2022, 43(4): 175–182.]
- [36] 周煜, 薛璐, 吴子健, 等. 啤酒挥发性风味成分研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(1): 210–219. [ZHOU Y, XUE L, WU Z J, et al. Research progress on beer volatile flavor components[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(1): 210–219.]
- [37] 乔小燕, 吴华玲, 陈栋. 干燥温度对丹霞白茶挥发性成分的影响[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(11): 171–179. [QIAO X Y, WU H L, CHEN D, et al. Effects of drying temperatures on the volatile flavor compounds in white tea[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2017, 33(11): 171–179.]
- [38] ZENG L T, WATANABE N, YANG Z Y, et al. 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 Nutr*, 2019, 59(14): 2321–2334.
- [39] ZHOU Y, ZENG L T, GUI J D, et al. Functional characterizations of beta-glucosidases involved in aroma compound formation in tea (*Camellia sinensis*) [J]. *Food Res Int*, 2017, 96: 206–214.
- [40] 金心怡, 陈济斌, 王秀萍, 等. 做青环境调控方式对乌龙茶品质影响的试验研究[J]. *农业工程学报*, 2003(6): 215–218. [JIN X Y, CHEN J B, WANG X P, et al. Effect of controlling modes of Zuoqing conditions on quality of Oolong tea[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2003(6): 215–218.]
- [41] FENG Z H, LI Y F, LI M, et al. Tea aroma formation from six model manufacturing processes[J]. *Food Chemistry*, 2019, 285: 347–354.
- [42] GUI J D, FU X M, ZHOU Y, et al. Does enzymatic hydrolysis of glycosidically bound volatile compounds really contribute to the formation of volatile compounds during the Oolong tea manufacturing process?[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(31): 6905–6914.
- [43] SUZUKI T, YAMAZAKI N, SADA Y, et al. Tissue distribution and intracellular localization of catechins in tea leaves[J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2003, 67(12): 2683–2686.