

袁冬寅,温立香,张芬,等.不同发酵及陈化工艺对六堡茶槟榔香形成的影响[J].江苏农业科学,2024,52(14):190-196.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.14.027

# 不同发酵及陈化工艺对六堡茶槟榔香形成的影响

袁冬寅<sup>1</sup>,温立香<sup>1</sup>,张芬<sup>1</sup>,石荣强<sup>2</sup>,姚明谨<sup>3</sup>

(1.广西壮族自治区亚热带作物研究所,广西南宁 530001; 2.广西梧州茶厂有限公司,广西梧州 543000;

3.广西职业技术学院,广西南宁 530226)

**摘要:**探究发酵及陈化工艺对六堡茶槟榔香形成的影响,为提高六堡茶槟榔香形成的效率及品质提供理论依据。试验选择广西大叶种为原料,以不同发酵度(A因素)、第1次陈化时间(B因素)、第2次陈化时间(C因素)为考察因素设计正交试验筛选出最适宜六堡茶槟榔香形成的发酵及陈化工艺。结果显示,六堡茶水浸出物、茶多酚及游离氨基酸的含量在经过渥堆发酵、陈化工艺后均呈下降趋势;A、B、C 3 个因素对六堡茶槟榔香品质形成影响程度的排序为 A > B > C;极差分析得出的最优组合为发酵阶段茶多酚含量降至 23% ~ 25%,窖仓第 1 次陈化时间为 6 个月,干仓第 2 次陈化时间为 6 个月;9 个处理中最佳处理组合为 T6 (即发酵阶段茶多酚含量降至 23% ~ 25%,窖仓第 1 次陈化时间为 6 个月,干仓第 2 次陈化时间为 0 个月),其感官得分为 91.6;次优组合为 T5 (即发酵阶段茶多酚含量降至 23% ~ 25%,第 1 次陈化时间为 3 个月,第 2 次陈化时间为 6 个月),其感官得分为 90.4;组合 T1 (即发酵阶段茶多酚含量降至 25% ~ 27%,第 1 次陈化时间为 0 个月,第 2 次陈化时间为 0 个月)的感官审评得分最低,为 81.8。在正交试验最优处理 T6 的基础上进一步开展干仓陈化处理发现,干仓陈化 12 个月的茶样感官审评得分最高,为 97.0。由此可知,六堡茶槟榔香的加工以原料茶多酚含量降至 23% ~ 25% 时的渥堆发酵程度为宜,且经过一定时间窖仓、干仓陈化有利于六堡茶槟榔香的形成;相对延长干仓陈化时间能促进槟榔香的发展。综合考虑仓储成本与时间成本等因素,生产中选择 T6 处理为宜。

**关键词:**六堡茶;槟榔香;发酵;陈化;工艺优化

**中图分类号:**TS272.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)14-0190-06

六堡茶属于后发酵的黑茶类,因起源于古时的苍梧郡六堡乡而得名,经杀青、揉捻、渥堆发酵、揉捻、干燥、筛分拼堆、渥堆发酵、蒸压、陈化等工艺加工而成,是我国一种传统历史名茶<sup>[1]</sup>。槟榔香是六堡茶的一类特殊香型,该茶在嘉庆年间因其独特风味而被列为贡茶<sup>[2]</sup>。目前,六堡茶的加工仍处于自动化发展较低的阶段,加工过程中各个工艺程度的判断主要依靠于制茶师傅的经验<sup>[3]</sup>。且由于传统加工技术不规范,槟榔香形成机制不清,导致形成槟榔香时间通常在 8 ~ 10 年甚至更久,加工生产成本高、出香不稳定,常常出现供不应求等情况。近

几年,六堡茶得到了政府的大力支持,产业规模发展迅速,已成为广西的地理标志产品,且荣获“中国茶叶最具品牌发展力品牌”称号,吸引不少从业者逐渐开展六堡茶研究<sup>[4-5]</sup>。广西梧州茶厂<sup>[6]</sup>及广西梧州茂圣茶业有限公司<sup>[7]</sup>针对渥堆工艺分别开发了发酵罐与渥堆发酵自动控制等设备,其效果均优于传统工艺。何英姿等研究六堡茶快速陈化新工艺发现,对半成品进行剂量为 12 kGy 的辐照及充入浓度为 100% 的氧气处理能显著提高六堡茶陈化品质<sup>[8]</sup>。韦柳花等研究发现,六堡茶品质与陈化时间呈正相关,陈化时间越长,陈香越明显,滋味越陈醇<sup>[9]</sup>。在六堡茶渥堆过程中添加纤维素酶、过氧化物酶等外源酶发现,这些外源酶能促进茶叶相关物质转化,减少渥堆时间,提高成品的品质<sup>[10]</sup>。研究不同堆闷程度对六堡茶毛茶品质的影响,结果显示,重度堆闷处理能促进陈香物质的积累,感官品质最优<sup>[11]</sup>。何梅珍等研究不同陈化时间对六堡茶陈香品质的影响,结果表明,篓装物料量为 1 kg,窖仓第 1 次陈化 6 个月,干仓第 2 次陈化 3 个月加工而成的成品感官审评得分最高<sup>[12]</sup>。

收稿日期:2024-04-29

基金项目:广西重点研发计划(编号:桂科 AB16380191);国家现代农业产业体系广西茶叶创新团队建设专项资金(编号:nycytxgxctd-18-06);广西农业科学院基本科研业务专项(编号:桂农科 2021YT145)。

作者简介:袁冬寅(1994—),女,湖南邵阳人,硕士,工程师,主要从事茶叶加工及功能成分应用研究。E-mail:1763715741@qq.com。

通信作者:姚明谨,硕士,高级农艺师,主要从事茶叶生产与加工、茶艺与茶文化研究。E-mail:295619100@qq.com。

渥堆发酵对六堡茶品质有着至关重要的作用,其本质是在湿热条件、酶促反应和微生物的作用下,内含物质充分转化为后期六堡茶特有的“红浓陈醇”品质特征<sup>[5]</sup>。不同渥堆发酵程度对后期品质影响不同。六堡茶槟榔香并不是通过前期短时间的加工工艺即可形成,还需后期在特定环境下较长时间的陈化。在目前的生产实践中,因六堡茶渥堆工艺参数不明确,陈化时间长,影响因素多,导致相关研究较滞后。本课题组通过多年生产经验的积累及试验数据跟踪检测发现,在茶叶茶多酚含量降至 20%~23% 时的渥堆程度上,再进行干湿交替陈化能缩短六堡茶“陈香”形成的时间<sup>[12]</sup>。而形成槟榔香的渥堆发酵程度与陈香的区别,以及槟榔香后期的陈化工艺是否与陈香一样需要干湿交替等科学问题还有待探究。因此,本试验在前期加工研究的前提下,选择渥堆发酵程度、窖仓第 1 次陈化时间、干仓第 2 次陈化时间作为 3 个考察因素进行正交试验,分别制作六堡茶,再通过感官审评指标进行正交试验分析,探讨渥堆发酵及干湿仓陈化时间对六堡茶槟榔香形成的影响,优化槟榔香六堡茶加工工艺,以期六堡茶的工艺改进、标准化生产及品质提升提供理论支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料及主要仪器

1.1.1 材料与试剂 六堡茶成品是于 2016 年 6 月至 2020 年 8 月在广西梧州以广西大叶种毛茶为原料,经渥堆发酵、蒸压、陈化等工艺加工而成的。茚三酮(分析纯)购于成都市科龙化工试剂厂;甲醇、碳酸钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、磷酸氢二钠(分析纯)均购于中国国药集团有限公司;福林酚(分析纯)购于上海源叶生物科技有限公司;没食子酸、茶氨酸等标准品(纯度 $\geq 99\%$ )均购于美国 Sigma 公司。

1.1.2 主要仪器 HWS-24 恒温水浴锅、9006A 鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);BSA223S 天平(德国赛多利斯公司);UV-1800PC 型紫外可见分光光度计(日本岛津公司)。

### 1.2 试验方法

1.2.1 六堡茶加工工艺 选择广西大叶种毛茶为原料,再经过筛选、渥堆发酵、蒸压、窖仓第 1 次陈化、干仓第 2 次陈化、仓储陈化 1 年、仓储陈化 2 年等工艺处理制成六堡茶成品。

1.2.2 六堡茶槟榔香形成的正交试验设计 在根据生产实践经验、前期数据跟踪检测及试验结果的基础上,选择不同发酵程度(以茶多酚含量表征发酵程度,当发酵程度为 A1 时,茶多酚含量在 25%~27% 之间;当发酵程度为 A2 时,茶多酚含量在 23%~25% 之间;当发酵程度为 A3 时,茶多酚含量在 21%~23% 之间)、窖仓第 1 次陈化时间(环境条件为温度:22~28℃,相对湿度:80%~85%)、木板第 2 次干仓陈化时间(环境条件为温度:20~30℃,相对湿度:70%~75%)为主要考察因素,设计  $L_9(3^3)$  正交试验研究不同发酵度及陈化工艺对六堡茶槟榔香形成的影响,正交试验因素与水平见表 1,共 9 个处理,编号为 T1~T9,每个处理重复 3 次。9 个试验样品分别在六堡茶生产不同阶段进行抽取,如原料毛茶阶段、渥堆发酵工艺结束、窖仓及干仓陈化工艺结束以及仓储陈化时间达到 1 年、2 年时取样进行物质成分检测分析。

表 1 六堡茶加工工艺  $L_9(3^3)$  正交试验设计

处理	A:发酵程度 (%)	B:第 1 次陈化时间(月)	C:第 2 次陈化时间(月)
T1	25~27(1)	0(1)	0(1)
T2	25~27	3(2)	3(2)
T3	25~27	6(3)	6(3)
T4	23~25(2)	0	3
T5	23~25	3	6
T6	23~25	6	0
T7	21~23(3)	0	6
T8	21~23	3	0
T9	21~23	6	3

注:括号内数字为各因素水平。

### 1.2.3 干仓陈化时间对槟榔香六堡茶品质的影响

根据生产经验发现中后期延长干仓陈化时间是有利于促进槟榔香香气进一步形成的,因此开展干仓陈化试验。选择正交试验最优处理所得的槟榔香六堡茶成品进行 0、6、12 个月的干仓陈化处理,然后再进行感官审评。

1.2.4 感官审评方法 按 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》中黑茶(散茶)要求进行感官审评,由于本试验中采用的原料均为同一批,因此,只对滋味、香气、汤色 3 项品质因子进行感官审评,干茶与叶底不列入审评的考量因子。品质得分参考何梅珍等的方法<sup>[12]</sup>,采用百分制,滋味、香气、汤色 3 个因子的评分系数分别为 40%、40%、20%。

### 1.2.5 主要成分测定方法 水浸出物含量参考

GB/T 8305—2013《茶 水浸出物测定》进行测定;游离氨基酸含量参考 GB/T 8314—2013《茶 游离氨基酸总量的测定》进行测定;茶多酚含量参考 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》进行测定。

### 1.3 数据分析

利用 Excel 2007 与 SPSS 23.00 统计软件对数据进行分析,利用 Excel 2007 绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 发酵与陈化工艺对六堡茶主要成分品质的影响

将 9 个试验样品分别在毛茶阶段、渥堆发酵以及各个陈化工艺阶段结束后抽取的样品进行物质成分检测分析,探讨渥堆发酵及陈化工艺对六堡茶水浸出物、茶多酚及游离氨基酸等含量的影响,结果如图 1、图 2、图 3 所示,六堡茶原料中水浸出物、茶多酚、游离氨基酸的含量经渥堆发酵、陈化等处理后整体呈降低趋势,但各个处理的不同工艺阶段物质变化不一致。

#### 2.1.1 发酵及陈化工艺对水浸出物含量的影响

水浸出物含量的高低代表茶汤中水溶性物质的含量,反映茶汤滋味的厚薄和浓强,与滋味品质因子呈高度的正相关,是茶汤浓度的重要评价指标<sup>[13]</sup>。如图 1 所示,原料经 3 种不同程度的渥堆发酵处理后,9 个处理的水浸出物含量均呈降低趋势,与普洱茶从下堆至渥堆发酵结束后水浸出物含量的变化趋势<sup>[14]</sup>一致。其中,发酵程度为 A3 时,处理 T7~T9 的水浸出物含量与原料毛茶相比降低了 5.85%,其含量降低幅度高于发酵程度 A1(0.50%)与 A2(1.67%)。这有可能是因为茶多酚在微生物与湿热的双重作用下氧化转化的含量越多,微生物越活跃,繁殖所消耗的水浸出物越多。原料发酵后经过蒸压工艺发现,处理 T1~T6 的水浸出物含量均有不同程度的下降趋势,而处理 T7~T9 的水浸出物含量均呈上升趋势。蒸压后进行第 1 次窖仓陈化的处理,即 T2~T3、T5~T6、T8~T9 的水浸出物含量与蒸压阶段相比均有一定幅度的下降趋势,其中,处理 T3(窖仓第 1 次陈化 6 个月)的水浸出物含量下降最多,高达 5.64%。同时发现,在第 1 次陈化时间 6 个月内,除发酵程度为 A3 的 3 个处理(T7、T8、T9)的水浸出物含量是随陈化时间的延长而先降后升的趋势之外,发酵程度为 A1 与 A2 的处理水

浸出含量均是随陈化时间的延长而降低。处理 T2~T5、T7、T9 进行第 2 次干仓陈化,其中 T2、T5、T7 的水浸出物含量分别下降 3.26%、6.05%、3.35%,而处理 T3、T4、T9 的水浸出物含量均有不同程度的上升趋势。当不考虑发酵程度时发现,如不经第 1 次窖仓陈化时间,直接进入干仓处理,第 2 次陈化为 0 个月(T1)、3 个月(T4)、6 个月(T7)的水浸出物含量分别降低 0、-0.06%、3.35%。9 个处理经过发酵、蒸压、第 1 次陈化、第 2 次陈化处理后,进入仓储陈化达到 1 年时,六堡茶的水浸出物含量在 36.40%~42.53% 之间,其中,发酵程度为 A3 的处理 T7~T9 水浸出物含量均高于发酵程度为 A1、A2 的处理 T1~T6;仓储陈化达到 2 年时,六堡茶的水浸出含量在 36.43%~40.96% 之间,其中处理 T1 在经过发酵、蒸压后不进行第 1 次窖仓与第 2 次干仓陈化处理,直接进入普通仓储,其仓储陈化 2 年后的水浸出物含量最高(40.96%),而 T2 的水浸出物含量最低。

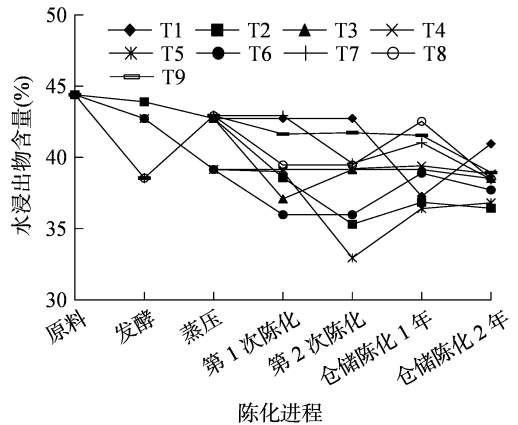


图1 发酵及陈化工艺对六堡茶水浸出物含量的影响

2.1.2 发酵及陈化工艺对茶多酚含量的影响 茶多酚不仅是形成茶叶香气的重要物质,也是影响茶汤滋味浓度、收敛性、鲜爽度及回甘强度的主要成分之一<sup>[15]</sup>。如图 2 所示,9 个处理的原料经过发酵处理后,茶多酚含量均呈下降趋势,与罗赛的研究结果<sup>[14]</sup>一致。产生该现象的原因可能是茶叶在湿热与微生物的作用下,茶多酚物质会发生氧化、聚合等一系列反应生成茶黄素、茶红素等成分<sup>[16]</sup>。其中,与原料相比,T7~T9 的茶多酚下降幅度最大(6.53%),T1~T3 的茶多酚下降幅度最低(1.31%)。9 个处理在发酵后经过蒸压,其茶多酚含量均有不同程度的降低,这说明蒸压工艺能促进茶多酚含量的转化降解,促进成品茶的色香味。蒸

压后的处理 T2、T3、T5、T6、T8、T9 进行第 1 次陈化后发现,其茶多酚含量与蒸压阶段相比均有所降低,减少量分别为 3.05%、2.37%、3.96%、3.17%、3.24%、2.81%;在相同发酵程度下,第 1 次陈化时间为 3 个月的 T2、T5、T8 茶多酚含量分别低于陈化时间为 6 个月的处理 T3、T6、T9,这说明在第 1 次陈化 6 个月过程中,茶多酚含量是随着陈化时间的延长而先降低后上升的。在不考虑发酵程度,如果蒸压后不经过第 1 次窖仓陈化,直接放置于干仓进行第 2 次陈化,陈化时间为 0 个月(T1)、3 个月(T4)、6 个月(T7)时,茶多酚含量与蒸压阶段相比分别降低 0.146%、1.09%,这表明随着第 2 次陈化时间的延长,茶多酚含量也是先降低后上升的。由此可知,第 1、2 次陈化对茶多酚含量的影响并不是陈化时间越长,其降解的含量越多。仓储陈化 1 年,9 个处理的茶多酚含量在 15.98%~21.86% 之间,而仓储陈化 2 年,茶多酚含量在 14.99%~20.20% 之间,高于典型陈香六堡茶的茶多酚含量 $[(13.05 \pm 2.14)\%]$ <sup>[17]</sup>。9 个处理经过第 1、2 次陈化后进入仓储陈化 2 年发现,处理 T1、T3、T6、T7 与 T8 的茶多酚含量在整个陈化过程中均是随陈化时间的延长而降低的,但处理 T2、T4、T9 的茶多酚含量与陈化时间呈现波动变化趋势,T5 的茶多酚含量随陈化时间的延长而先降低后升高。然而,在整个陈化过程中,9 个试验样品的茶多酚含量与处理前结果对比,均是呈降低趋势,与杨高中等的研究结果<sup>[18]</sup>一致。

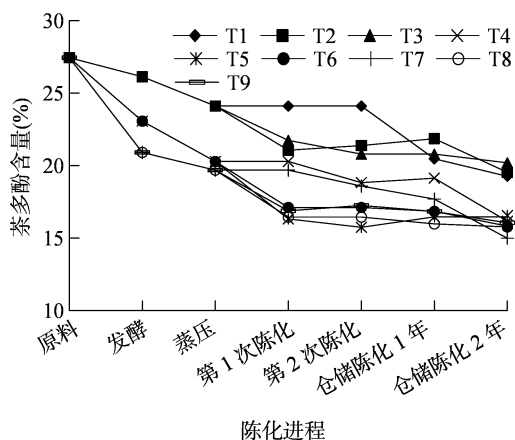


图2 发酵及陈化工艺对六堡茶茶多酚含量的影响

### 2.1.3 发酵及陈化工艺对游离氨基酸含量的影响

游离氨基酸是形成茶汤滋味鲜爽度的非常重要的呈味物质,同时在渥堆发酵阶段中可为微生物的生长与繁殖提供氮源与碳源<sup>[14]</sup>。由图 3 可知,9 个处理的原料在经过渥堆发酵处理后,氨基酸的含量

均呈下降趋势。其中,茶多酚渥堆降解最多(即发酵程度为 A3)时,氨基酸含量的降解度也最高(0.48%),发酵程度为 A1 与 A2 时,氨基酸含量分别降低 0.09%、0.30%。9 个处理在发酵后经过蒸压处理,氨基酸含量均不同程度的降低。其中,发酵程度为 A2 的 T4~T6 氨基酸含量降解最多(0.43%),发酵程度为 A3 的 T7~T9 氨基酸含量降解最少(0.22%)。对比相同发酵程度下的不同陈化时间,与不经第 1 次陈化的 T1、T4、T7 分别相比,第 1 次陈化 3 个月的 T2、T5、T8 氨基酸含量分别减少 0.49%、0.11%、0.14%,第 1 次陈化 6 个月的 T3、T6、T9 氨基酸含量分别减少 0.34%、0.02%、0.01%。由此可知,在窖仓陈化 6 个月过程中,氨基酸含量与茶多酚含量变化趋势一致,即随陈化时间的延长而先降低后升高。这可能是因为第 1 次陈化前期,一方面微生物生长代谢旺盛,而氨基酸可作为微生物的氮源和碳源而被代谢降解,另一方面,氨基酸会与还原糖类在湿热的情况下发生缩合反应生成生物碱,从而导致氨基酸含量的减少。然而随着陈化时间的延长,蛋白质在适宜的条件下随着储藏环境的改变被水解生成更多的氨基酸<sup>[19]</sup>。在不考虑发酵程度的前提下,经过第 1 次陈化后进行第 2 次陈化处理的 T2、T3、T5、T9 的氨基酸含量均呈不同程度的升高;而不经第 1 次陈化,直接茶叶放置于干仓进行第 2 次陈化的样品 T1(第 2 次陈化时间为 0 个月)、T4(第 2 次陈化时间为 3 个月)、T7(第 2 次陈化时间为 6 个月)的游离氨基酸含量分别减少 0.13%、-0.04%,与第 1 次陈化的结果一致,即在干仓陈化 6 个月过程中,氨基酸含量也是随陈化时间的延长而先降低后升高。从仓储陈化 1 年至 2 年的过程中,所有处理的氨基酸含量均是呈下降趋势。9 个试验样品仓储陈化时间达到 1 年时,游离氨基酸含量在 1.77%~1.93% 之间;陈化达到 2 年时,游离氨基酸含量在 1.68%~1.83% 之间。

### 2.2 正交试验不同发酵度及陈化工艺对六堡茶槟榔香形成影响的极差分析

不同工艺加工而成的槟榔香六堡茶感官审评及极差分析的结果如表 2 所示。本试验中 A、B、C 3 个考察因素的极差值从大到小依次是 A、B、C,表示 3 个考察因素对六堡茶槟榔香形成的影响排序为渥堆发酵程度>第 1 次窖仓陈化时间>第 2 次干仓陈化时间。以感官审评得分为依据,选择  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  中最大值对应的水平为最佳加工工艺因素水平。综合

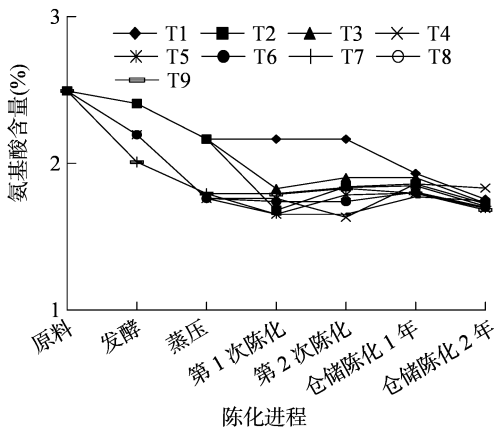


图3 发酵及陈化工艺对六堡茶氨基酸含量的影响

分析可得,六堡茶槟榔香形成的最佳处理组合为A2B3C3,即渥堆发酵程度为A2(茶多酚含量在23%~25%),窖仓第1次陈化时间为6个月,干仓第2次陈化时间为6个月;9个处理中最佳组合T6(A2B3C1)的感官审评得分最高,为91.6;而处理T1(A1B1C1)的感官审评得分最低(81.8),说明进行窖仓和/或干仓处理有利于六堡茶槟榔香品质的形成,与何梅珍等研究发现窖藏第1次陈化和干仓第2次陈化对六堡茶陈香陈味品质形成有着重要作用的试验结果<sup>[12]</sup>一致。这应该是在不同温湿度条件下陈化,茶叶中内含物质的转化降解速率及反应类型均会有所差异,进而影响六堡茶感官品质。

表2 正交试验品质得分极差分析结果

处理	A	B	C	感官审评总分
T1	1	1	1	81.8
T2	1	2	2	85.0
T3	1	3	3	85.0
T4	2	1	2	85.2
T5	2	2	3	90.4
T6	2	3	1	91.6
T7	3	1	3	83.5
T8	3	2	1	84.8
T9	3	3	2	84.8
$k_1$	83.93	83.50	86.07	
$k_2$	89.07	86.73	85.00	
$k_3$	84.37	87.13	86.30	
R	5.14	3.63	1.30	
最优	A2	B3	C3	

### 2.3 正交试验不同发酵度及陈化工艺对六堡茶槟榔香形成影响的方差分析

为了提高试验的准确度及可靠性,进一步对正交试验感官审评得分、水浸出物、茶多酚及氨基酸

的含量结果进行方差分析,结果见表3至表6。由表3可知,3个因素(A、B、C)对六堡茶槟榔香的感官得分均无显著性影响( $P > 0.05$ )。3个因素的F值由大至小依次为A > B > C,表明该3个考察因素对六堡茶槟榔香形成的影响排序为发酵程度 > 第1次陈化时间 > 第2次陈化时间,与“2.2”节中所述的极差分析结果一致。由表4、表6可知,各因素对水浸出物与氨基酸的含量均无显著性影响。比较F值发现3个因素对水浸出物含量与氨基酸含量的影响程度排序均为B > C > A。由表5可知,因素A(发酵度)对茶多酚含量有显著性影响( $P < 0.05$ ),而因素B(第1次陈化时间)与C(第2次陈化时间)对茶多酚含量的影响不显著( $P > 0.05$ ),比较各因素F值可知,对茶多酚含量的影响程度排序为A > B > C。

表3 六堡茶品质得分方差分析结果

源	Ⅲ型平方和	df	均方	F值	P值
A	48.629	2	24.314	11.046	0.083
B	23.816	2	11.908	5.410	0.156
C	2.882	2	1.441	0.655	0.604

注: $R^2 = 0.945$ (调整后 $R^2 = 0.779$ )。

表4 六堡茶水浸出物方差分析结果

源	Ⅲ型平方和	df	均方	F值	P值
A	1.434	2	0.717	0.462	0.684
B	7.096	2	3.548	2.284	0.305
C	2.275	2	1.138	0.732	0.577

注: $R^2 = 0.777$ (调整后 $R^2 = 0.107$ )。

表5 六堡茶茶多酚方差分析结果

源	Ⅲ型平方和	df	均方	F值	P值
A	28.941	2	14.470	47.148	0.021
B	0.547	2	0.274	0.891	0.529
C	0.175	2	0.088	0.286	0.778

注: $R^2 = 0.980$ (调整后 $R^2 = 0.919$ )。

表6 六堡茶氨基酸方差分析结果

源	Ⅲ型平方和	df	均方	F值	P值
A	0.002	2	0.001	0.240	0.807
B	0.006	2	0.003	0.902	0.526
C	0.002	2	0.001	0.303	0.768

注: $R^2 = 0.591$ (调整后 $R^2 = -0.636$ )。

### 2.4 干仓陈化时间对槟榔香六堡茶品质的影响

在正交试验9个处理感官审评得分最优处理

T6(A2B3C1)的基础上进一步开展干仓陈化处理,并对处理后的槟榔香六堡茶进行感官审评,结果(表7)表明,干仓陈化0个月的茶样,滋味浓醇、滑,槟榔香初显,但香气中稍带“水气”,感官审评得分最低,为91.2;干仓陈化6个月的茶样槟榔香明显、纯正,水气褪去,感官审评得分为94.0;干仓陈化12个月的茶样槟榔香浓郁、纯正、持久,滋味浓醇顺滑,汤色深红透亮,感官审评得分最高,为97.0。由此可知,相对延长干仓陈化时间有利于槟榔香初显后的六堡茶香气发展。

表7 不同干仓陈化时间对六堡茶槟榔香成品茶的品质影响

干仓陈化时间	汤色	香气	滋味	感官评分
0个月	红、透亮	槟榔香初显,有陈味	浓醇、滑	91.2
6个月	深红、透亮	槟榔香明显、纯正	浓醇、顺滑	94.0
12个月	深红、透亮	槟榔香浓郁、纯正、持久	浓醇、顺滑	97.0

### 3 结论

渥堆发酵是六堡茶生产过程中最关键的一道工序,此过程中茶叶内含物质能短时间发生剧烈、迅猛的变化,可以直接影响六堡茶后续的加工工艺及成品品质<sup>[5]</sup>。而六堡茶槟榔香并不能在较短的时间内形成,须经过特定的陈化工艺才能形成<sup>[20]</sup>。通过研究不同发酵程度、不同的第1次窖仓陈化时间及不同的第2次干仓陈化时间对六堡茶槟榔香形成的影响发现,9个处理的水浸出物、茶多酚及游离氨基酸的含量经过发酵、陈化工艺后均是呈下降趋势;极差与方差的结果分析均可得出A、B、C3个因素对六堡茶槟榔香形成的影响程度排序为发酵程度>第1次窖仓陈化时间>第2次干仓陈化时间,且极差结果分析得到的最佳处理组合为A2B3C3,即渥堆发酵程度为A2,第1次窖仓陈化时间为6个月,第2次干仓陈化时间为6个月。正交试验的9个处理中最佳组合为T6(A2B3C1),即渥堆发酵程度为A2,第1次窖仓陈化时间为6个月,第2次干仓陈化时间为0个月;次优组合为T5(渥堆发酵程度为A2,第1次窖仓陈化时间为3个月,第2次干仓陈化时间为6个月);而处理T1(渥堆发酵程度为A1,第1次窖仓陈化时间为0个月,第2次干仓陈化时间为0个月)的感官审评得分最低,即茶汤滋味醇厚、涩味强、带明显的发酵气。由此可知,经过一定时间窖仓、干仓陈化处理后的成品感官审评得分

均优于T1。而槟榔香初显后的六堡茶相对延长在干仓中的陈化时间能促进槟榔香的发展,得到香气浓郁的成品,与槟榔香形成的最优工艺不同,有可能是因为窖仓的湿度较干仓高,而茶叶的生化成分在潮湿条件下降解转化的速度较快,因此,相对延长窖仓陈化时间能加快物质转化,缩短槟榔香形成的时间。

本研究筛选出的六堡茶槟榔香的最优工艺与前人研究的陈香最优陈化工艺<sup>[12]</sup>有所不同,即形成六堡茶槟榔香的窖仓第1次陈化时间为6个月,干仓第2次陈化时间为0个月。而陈香的窖仓第1次陈化时间为6个月,干仓第2次陈化时间为3个月。由此可知,与陈香相比,槟榔香的形成需要较长的干仓陈化时间。这是因为在相对较高湿度(80%~85%)的窖仓中陈化一段时间能促进物质的转化,为滋味品质的形成奠定物质基础,而在相对较低湿度(70%~75%)的干仓中陈化,能促进六堡茶香气的形成。而窖仓陈化对于槟榔香形成的影响大于干仓,相对延长干仓的陈化时间可以提升槟榔香的香气质量。值得注意的是,本研究探究六堡茶槟榔香的加工工艺发现,渥堆发酵程度以茶多酚含量降至23%~25%为宜,与陈香的渥堆发酵程度(茶多酚含量降至20%~23%)不一样,由此可知,槟榔香的渥堆发酵程度要轻于陈香。此外,经极差分析得出的最优处理为A2B3C3,未出现在正交试验处理中,而正交试验最优组合为T6(A2B3C1)。由于考虑到时间成本、仓储成本以及六堡茶陈化的特殊性等因素,且六堡茶在购买者手中一般情况下还会有陈化的空间,因此未开展组合T6与处理A2B3C3的比较试验,实际生产中选择T6处理为宜。

### 参考文献:

- [1] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. 黑茶 第4部分:六堡茶:GB/T 32719.4—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [2] 舒娜. 六堡茶关键风味物质研究[D]. 重庆:西南大学,2021.
- [3] 黄进达,温立香,林家威,等. 基于pH变化的六堡茶发酵程度判断方法的探讨[J]. 农业研究与应用,2020,33(2):33-36.
- [4] 马婉君,马士成,刘春梅,等. 六堡茶的化学成分及生物活性研究进展[J]. 茶叶科学,2020,40(3):289-304.
- [5] 许皓,肖虹菲,林家威,等. 现代工艺六堡茶渥堆过程中茶汤色泽及主要滋味品质成分动态变化[J]. 食品与发酵工业,2024,50(11):317-326.
- [6] 何梅珍,黄达勤,石荣强,等. 六堡茶渥堆发酵自动控制技术研究[J]. 安徽农业科学,2013,41(24):10136-10138.

李志良, 李梦霞, 董勇<sup>2</sup>, 等. 基于改进 YOLO v8 的轻量化玉米害虫识别方法[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(14): 196–206.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.14.028

# 基于改进 YOLO v8 的轻量化玉米害虫识别方法

李志良<sup>1</sup>, 李梦霞<sup>1</sup>, 董勇<sup>2</sup>, 李龙<sup>1</sup>

(1. 长江大学计算机科学学院, 湖北荆州 434000; 2. 长江大学信息与数学学院, 湖北荆州 434000)

**摘要:**针对目前玉米害虫识别领域中识别算法参数量大、计算量大导致玉米害虫识别算法不能部署在移动智慧农业设备中及玉米害虫识别算法检测精度低等问题, 基于网络复杂程度最小的 YOLO v8n, 提出一种轻量化玉米害虫识别算法 YOLO v8n-ERM。首先, 在骨干特征提取网络引入 EfficientNet-B0 轻量化网络, 通过对神经网络模型进行缩放, 采用深度可分离卷积, 有效降低了模型参数量、计算量; 在颈部网络中引入 RepVGG 结构重参数化模块, 融合多分支特征以提升模型的检测精度, 同时有效降低模型的计算量; 最后, 用 MPDIoU 损失函数替换原损失函数, 使最终预测框更接近真实框。用本研究算法处理数据增强后的 IP102 数据集, 结果表明, 相较于基线模型 YOLO v8n, YOLO v8n-ERM 算法的参数量为 2.4 M, 计算量为 3.7 GFLOPs, 二者分别下降了 0.6 M、4.4 GFLOPs, 而且 YOLO v8n-ERM 算法的  $mAP@0.5$ 、 $mAP@0.5:0.95$  分别为 91.8%、62.0%, 相较于基线模型分别提升了 3.6、2.1 个百分点, 表明使用更少的参数量、计算量得到了更高的精度。另外在黑暗、有遮挡、个体重叠及害虫与环境背景相似的复杂环境下的处理结果表明, YOLO v8n-ERM 算法能够准确识别出玉米害虫个体, 极大降低了复杂环境下的漏检率, 具有一定的鲁棒性, 可为玉米病虫害的数字智能防控提供技术支持。

**关键词:**玉米害虫识别; YOLO v8; EfficientNet-B0; RepVGG; MPDIoU

**中图分类号:**TP391.41 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)14-0196-11

当前, 玉米产业中面临多种害虫威胁, 这些害虫对玉米的产量、质量构成了潜在威胁。根据全国

农作物病虫害测报网监测及专家会商, 预计到 2023 年, 我国玉米病虫害呈重发趋势, 玉米螟、黏虫等害虫的发生面积逐渐增加<sup>[1]</sup>。作为全球的农业大国, 我国在害虫监测与预报方面的责任显得至关重要。在农业体系中, 确保农产品产量、质量的有效害虫监测和预报机制具有关键意义<sup>[2-3]</sup>。传统的病虫害鉴别方法主要依赖人工实地检查、经验识别以及对症状特征的观察。然而, 这些方式存在主观性较

收稿日期: 2024-01-14

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 62173049, 62273060); 湖北省教育厅科学研究计划资助项目(编号: D20211302)。

作者简介: 李志良(1999—), 男, 湖北洪湖人, 硕士研究生, 研究方向为深度学习与目标检测。E-mail: 2022710652@yangtzeu.edu.cn。

通信作者: 李梦霞, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为油气田软件开发、最优化理论与算法。E-mail: limengxia@yangtzeu.edu.cn。

[7] 苏淑梅. 六堡茶发酵罐与精制机械联装研发初报[J]. 大众科技, 2013, 15(6): 198–199.

[8] 何英姿, 吴菁菁, 吴艳, 等. 六堡茶快速陈化新工艺对茶叶品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(10): 5106–5107.

[9] 韦柳花, 覃榆茏, 罗小梅, 等. 不同陈化时间六堡茶品质特征及差异性分析[J]. 江西农业学报, 2023, 35(3): 56–61.

[10] 张芬, 温立香, 黄欣欣, 等. 六堡茶渥堆过程中添加外源酶对主要物质转化规律的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(8): 100–104.

[11] 刘泽森, 邓庆森, 何志强, 等. 不同堆闷程度对六堡茶毛茶香气的影响研究[J]. 农业研究与应用, 2016(3): 57–61.

[12] 何梅珍, 温立香, 张芬, 等. 六堡茶陈化工艺优化研究[J]. 中国茶叶加工, 2020(3): 65–71.

[13] 何青元, 张亚萍, 王平盛. 云南普洱茶感官品质与内含成份关系研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(11): 38–41.

[14] 罗赛. 不同含水量发酵对普洱茶品质影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016.

[15] 金孝芳. 绿茶滋味化合物研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.

[16] 张均伟, 侯黎, 杜昱光, 等. 基于高分辨质谱结合主成分分析技术评价发酵过程对六堡茶关键品质成分的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(12): 328–334.

[17] 温立香, 张芬, 何梅珍, 等. 陈香六堡茶品质特征及香气质量评价方法建立[J]. 食品工业科技, 2021, 42(2): 230–236.

[18] 杨高中, 马士成, 张悦, 等. 陈化六堡茶的主要品质化学成分及其抗氧化活性分析[J]. 山西农业科学, 2022, 50(11): 1519–1526.

[19] 刘石泉, 赵运林, 胡治远, 等. 不同渥堆条件对茯砖茶品质的影响研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(22): 256–259.

[20] 温立香, 黎新荣, 李建强, 等. 电子鼻在六堡茶陈化年份识别中的应用[J]. 南方农业学报, 2017, 48(7): 1291–1296.