

陕南春季工夫红茶加工工艺优化

周天山,米晓玲,余有本,肖 斌,鲍 露,肖 瑶,钱文俊

(西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨陵 712100)

摘 要:为优化陕南春季工夫红茶加工工艺,在前期单因素试验的基础上,对萎凋、揉捻和发酵 3 个工序的工艺参数进行了 L_3^3 正交试验,所制得的 9 个茶样,分别进行感官审评、理化成分分析和香气成分分析。结果表明,以品质得分为评价指标,优化的工艺为:萎凋程度为含水量 62%,揉捻时间为 120 min,发酵时间为 3 h;以茶黄素的含量为评价指标,优化的工艺为:萎凋程度为含水量 62%,揉捻时间为 90 min,发酵时间为 3 h;在所制茶样香气组分中醇类物质最高,其次是醛类,再次是酯类。由芳樟醇及其氧化产物、香叶醇、橙花醇和水杨酸甲酯的含量累加的红茶香气主体特征成分含量,其大小排序与感官审评中香气得分名次相一致。为验证优化的工艺,以第二年相同时期的鲜叶为原料,分别按 2 个优化工艺加工成茶样,综合感官审评、理化成分分析和香气成分分析的结果,确定陕南春季工夫红茶的最优工艺为萎凋至 62% 的含水量,揉捻 120 min,发酵 3 h。

关键词:工夫红茶;加工工艺;感官审评;茶黄素;香气

中图分类号:S571.1

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2016)05-0154-11

Optimization of the Processing Techniques for Shannan Gongfu Black Tea in Spring

ZHOU Tian-shan, MI Xiao-ling, YU You-ben, XIAO Bin, BAO Lu, XIAO Yao, QIAN Wen-jun

(College of Horticulture, Northwest A&F Univeristy, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To optimize the processing techniques for Shannan Gongfu black tea in spring, a L_3^3 orthogonal experiment was carried out, which included three independent variables, namely, withering degree, rolling time, and fermentation time. The resultant 9 tea samples were subjected to sensory evaluation, analyses of chemical composition and aroma compounds. Optimal process parameters based on maximum of quality score were obtained at withering degree of 62% moisture, rolling time of 120 min and fermentation time of 3 h. Whereas optimal process parameters based on the maximum of theaflavins were withering degree of 62% moisture, rolling time of 90 min and fermentation time of 3 h. Among the aromatic compounds, the content of alcohols was the highest, followed by aldehydes and esters. Characteristic flavor compounds in black tea consisted of linalool and its oxidation products, geraniol, neroli and methyl salicylate. The content rank of the characteristic flavor compounds in the 9 tea samples was consistent with the sequence of aromatic score in sensory evaluation. In order to verify the results, in the following year, the fresh leaves of tea plant plucked at the same time and processed according to the techniques adopted previously. Optimal process parameters for best quality of Shannan gongfu black tea in spring were obtained: withering degree of 62% moisture, rolling time of 120 min and fermentation time of 3 h.

Key words: Gongfu black tea; processing technique; sensory evaluation; theaflavin; aroma

红茶是世界上消费的主要茶类,其产量占到全球茶叶总量的 75%^[1]。研究表明,饮用红茶具有预

防冠心病、清除人体自由基等保健作用^[2-6]。心血管疾病被认为是我国居民健康的第一杀手,因此近年来红茶消费热悄然兴起,从而带动了红茶生产。根据加工工艺,红茶可分为小种红茶、工夫红茶和红碎茶^[7]。其中工夫红茶是我国特有红茶花色品种,也是目前国内消费的主要红茶花色,它具有色泽乌黑油润、汤色红明、显金圈、甜香高长、滋味鲜醇回甘、叶底红匀明亮的品质特征。

一般认为,适制红茶的茶树鲜叶,具有叶绿素含量低、叶色浅绿、茶多酚和水浸出物含量高的特点,且南方亚热带地区生产的鲜叶更适宜制红茶^[7]。随着红茶消费量的增大,原本其鲜叶适宜制绿茶的北方茶区^[8]也开始生产红茶,如陕南、信阳和日照等地。由于在红茶生产中完全借用传统红茶产区的工艺,而没有根据北方茶区的鲜叶原料“叶片较小,栅栏组织与海绵组织的比值大、叶绿素含量高、叶色深绿、茶多酚含量低”的特性^[9],来优化本地红茶的加工工艺,所以出现了所制红茶存在着“甜香不高且不持久、汤色浅、滋味中带有青涩味,叶底花青”等品质不足。

为解决这一生产中突出的问题,课题组前期以陕南地区主要栽培品种紫阳群体种鲜叶为原料,分别研究了萎凋、揉捻、发酵和干燥四道工序对陕南茶区春、夏、秋季红茶品质的影响,获得各工序的最佳参数^[10]。但是,工夫红茶各加工工序间又存在相互影响,特别是萎凋、揉捻和发酵这三道工序。为优化陕南工夫红茶加工工艺,课题组对萎凋、揉捻和发酵 3 个工序的工艺参数,进行 3 因素 3 水平的正交试验,并对优化出的工艺参数进行了验证,以为“叶绿素含量高、叶色深绿、茶多酚含量低”茶树品种开发红茶提供依据,并供北方茶区生产工夫红茶实践参考。

1 材料与方法

1.1 鲜叶原料

以紫阳群体种一芽二叶鲜叶为原料,分别于 2014 年 4 月 20 日和 2015 年 4 月 20 日采自西北农林科技大学西乡茶叶试验站。

1.2 仪器设备

1.2.1 加工设备 竹席、40 型揉捻机(浙江上洋机械有限公司)、温湿度箱(宁波东南仪器有限公司)、茶叶烘干机(浙江上洋机械有限公司)。

1.2.2 分析仪器 DK-8D 型水浴锅、DHG-9240A 型烘箱(上海精宏实验设备有限公司);UV-2100 型分光光度计(尤尼柯(上海)仪器有限公司);LC-20AT 液相色谱(日本 SHIMADZU 公司);

SL3001N 型分析天平、ISQ 气相色谱-质联用仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司)。

1.3 加工工艺

称取鲜叶若干份,每份 10 kg,分别摊放于竹席上进行萎凋。对萎凋、揉捻和发酵 3 个工序的工艺参数,进行 3 因素 3 水平的正交试验(表 1),每个处理 3 次重复。

表 1 L₃³ 正交设计
Table 1 L₃³ orthogonal test

因素		水平		
		1	2	3
A	萎凋程度(含水量)/%	62	60	58
B	揉捻时间/min	60	90	120
C	发酵时间/h	3	4	5

萎凋方法:将鲜叶按 0.75 kg·m⁻² 的量均匀地摊放在竹席上,室内自然萎凋,室温 18.5℃~23.6℃,相对湿度 58%~68%。

揉捻方法:按照“轻一重一轻”的加压方法,每 30 min 1 个循环,中间解压 2~4 次。

发酵方法:发酵温度 26℃,湿度 95%,每 30 min 换气 1 次。

干燥方法:毛火 120℃,10 min;足火 80℃,烘至足干。毛火与足火间摊凉 30 min。

1.4 茶叶内含成分分析方法

1.4.1 鲜叶含水量测定 先称取 100 g 鲜叶,共 3 份,分别用微波炉快速固样,再转至 105℃烘箱中烘干,以测算鲜叶初始含水率。萎凋过程中的含水率采用减重法计算。

1.4.2 品质成分分析 茶多酚:GB/T 8313-2008;氨基酸:GB/T 8314-2013;水浸出物:GB/T 8305-2013;儿茶素和咖啡碱:GB/T 30483-2013;茶黄素、茶红素与茶褐素:分光光度法^[11]。

1.5 茶叶香气组分分析

1.5.1 香气萃取方法 称取 0.5 g 磨碎茶样于 10 mL 提取瓶中,依次加入 1.5 g 无水 Na₂SO₄、磁力转子、5 mL 50℃的蒸馏水和 1 000 mg·L⁻¹癸酸乙酯乙醚溶液 4 μL,用密封圈密封,置于磁力搅拌器上。50℃温育,搅拌速度 150 r·min⁻¹,平衡 10 min,而后将萃取头(50/30 μm DVB/CAR/PDMS)插入提取瓶中,并固定于茶汤液面上 1 cm 处,温育温度和搅拌速度不变,吸附 30 min,最后在 GC-MS 进样口于 230℃下解吸 3 min。

1.5.2 GC-MS 色谱分析条件^[12] GC 条件:采用气相色谱柱 DB-5MS(30 m×0.25 mmID×0.25 μm 膜厚),进样口温度:230℃,解析 3 min,载气为高纯氮气,流速 1 mL·min⁻¹,分流比 10:1;程序升温

参数:40℃保持 2.5 min,以 3℃·min⁻¹升至 180℃,保持 1 min,再以 10℃ min⁻¹升到 230℃,保持 3 min。MS 条件:电子轰击(EI)离子化方式,离子源温度 230℃,电子能量 70 eV。接口温度 250℃,质量扫描范围 35~400 D。

1.5.3 香气成分定性与定量 定性分析:GC-MS 所获得的质谱数据,经计算机检索与质谱库(Xclibur 工作站 NIST 标准谱库)提供的标准质谱图进行对照^[13],选择正、反匹配度>800 鉴定的结果予以报道。定量分析:各待测物含量以其峰面积与内标物峰面积之比表示^[14-15]。

1.6 茶叶感官审评方法

按 GB/T 23776-2009 方法,各项因子得分为 3 次平均值。

2 结果与分析

2.1 正交试验组合所制茶样感官审评结果

由表 2 可知,外形上看,揉捻时间为 120 min 的 3 号、6 号、9 号茶样条索紧细,色泽乌润,其得分较高;而揉捻时间为 60 min 的 1 号、4 号、7 号茶样条索紧实,达不到紧细的程度,且色泽上油润程度稍差;揉捻时间为 90 min 的 2 号、5 号、8 号茶样条索紧直,色泽较润,居于前二者之间。从汤色上看,发酵时间为 3 h 的 1 号、5 号茶样汤色“红亮”,得分最高。但同是发酵时间为 3 h 的 9 号茶样,其汤色“红较亮”,并列排在第 3 位。另外发酵时间为 5 h 的 3 号、4 号茶样其汤色得分则分别居于第 2 位和第 3 位;8 号茶样发酵时间也为 5 h,但其汤色“红浓、稍暗”,并列排在第 6 位。发酵时间同是 4 h 的 2 号、6 号和 7 号,它们的汤色或为“红较亮”或为“红浓、稍暗”,其得分分别排在第 5、第 4 和第 6 位。由此可见,工夫红茶汤色品质受多因素影响。再对香气、滋味和叶底的得分分析发现,它们同样也受到多种因素的影响的。

为比较萎凋程度、揉捻时间和发酵时间对工夫红茶品质的影响,将感官审评的各项因子得分乘以加权系数并累加得到品质得分,再以各茶样的品质得分为评价指标,进行极差分析。由表 3 可知,萎凋程度极差最大,其次是揉捻时间,再次是发酵程度。由此说明萎凋程度对陕南工夫红茶品质得分影响最大,其次是揉捻时间,再次是发酵程度。根据表 3 的分析结果,确定的优化工艺为:萎凋程度为含水量 62%(A₁),揉捻时间为 120 min(B₃),发酵时间为 3 h(C₁)。

2.2 正交试验组合所制茶样理化成分分析结果

由表 4、表 5 可知,9 个茶样的水浸出物在

40.23%~42.22% 之间,咖啡碱含量在 38.48~40.40 mg·g⁻¹ 之间,其中萎凋程度最重的 7 号、8 号、9 号茶样水浸出物含量较高,萎凋程度较重的 4 号、5 号、6 号茶样次之,而萎凋程度最轻的 1 号、2 号、3 号茶样最低,这可能与萎凋过程中鲜叶干物质因呼吸消耗而持续下降有关^[16]。未被氧化的茶多酚是红茶茶汤浓度、强度不可缺少的部分,一般随萎凋程度和发酵程度的加重而减少^[7],所以萎凋程度最重、发酵时间最长的 8 号样,茶多酚含量仅有 17.09%,而萎凋程度最轻,发酵时间最短的 1 号样,茶多酚含量最高,为 22.22%。儿茶素是茶多酚中的主体物质,特别是表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)占多酚类总量的 35%~40%^[17],由表 5 可知,仍然是 1 号样最高,8 号样最低。氨基酸呈鲜味,其在红茶中的含量受萎凋程度和发酵程度的影响。萎凋程度重,由蛋白质水解生成的氨基酸就多^[7],从而导致氨基酸含量增加,但在发酵中其又与儿茶素发生偶联氧化^[17],从而随着发酵程度的加重其含量降低。所以萎凋程度重、发酵程度较轻的 7 号、9 号茶样氨基酸含量较高,而萎凋程度轻、发酵程度重的 3 号茶样氨基酸含量最低。在工夫红茶加工过程中,茶多酚在多酚氧化酶和过氧化物酶的作用下,自揉捻开始至发酵结束一直发生着酶促氧化,相继生成茶黄素、茶红素和茶褐素^[17]。其中茶黄素是红茶汤色“亮”的主要成分,也是汤味强度和鲜爽度的重要成分;茶红素是红茶汤色“红”的主要成分,也是汤味浓度和强度的重要成分;而茶褐素含量高时则使茶汤味淡且发暗。所以红茶加工时应尽量多促进茶黄素和茶红素生成,而避免茶褐色过多生成。由表 4 可知,茶多酚酶促氧化时间(包括揉捻时间和发酵时间)较长的 3 号、4 号、6 号和 8 号茶样,其茶黄素含量较低,在 0.16%~0.26% 之间,而茶褐素含量较高,在 5.44%~6.95% 之间。对照表 2 感官审评结果可以发现,它们的汤色和滋味得分都不高,尤其是 8 号茶样汤色和滋味都较差。茶多酚酶促氧化时间较短的 1 号和 5 号茶样,茶黄素、茶红素含量适中,且茶褐素含量较低,所以它们的汤色和滋味都较高。在感官审评中,汤色和滋味得分都最高的 5 号茶样,其茶多酚含量为 21.96%,在 9 个茶样中位于第 3,苦涩味重的酯型儿茶素 EGCG 含量为 20.21 mg·g⁻¹,也排在第 3 位,决定红茶汤色亮度、滋味强度与鲜爽度的茶黄素含量达到 0.30%,且决定汤色“红”的主要成分茶红素含量最高,达到 5.90%。因此,只有各内含成分相互协调时,红茶的汤色和滋味才最佳。

表 2 所制茶样感官审评结果
Table 2 Sensory evaluation results of the manufacturing teas

样品	外形(25%)		汤色(10%)		香气(25%)		滋味(30%)		叶底(10%)		品质得分
	评语	得分	评语	得分	评语	得分	评语	得分	评语	得分	
1 (A ₁ B ₁ C ₁)	条索紧实,色泽乌黑,较润,显锋苗,有金毫,显甜香	93.8±0.20	红亮,显金黄圈	95.0±0.14a	香高尚持久,有甜香,略带高火	93.8±0.21	鲜、较醇	94.6±0.17b	红,稍花青	94.2±0.27	94.20±0.19
2 (A ₁ B ₂ C ₂)	条索紧直,乌黑较润,有金毫,显锋苗,显甜香	93.5±0.30	红较亮,显金黄圈	94.0±0.20e	香高持久,显甜香	95.0±0.15	鲜、较醇	94.0±0.11e	红亮	94.5±0.20	94.18±0.18
3 (A ₁ B ₃ C ₃)	条索紧细,色泽乌润,匀整,略有金毫,有甜香	95.0±0.10	红亮,显金黄圈	94.5±0.16b	香高持久,显甜香	94.5±0.24	鲜、较醇	94.2±0.21d	红较亮	94.3±0.23	94.52±0.19
4 (A ₂ B ₁ C ₃)	条索紧实,乌黑,较润,显金毫,较匀整	93.5±0.15	红较亮,显金黄圈	94.3±0.22c	香高尚持久,有甜香,略带高火	93.6±0.13	鲜、较醇	94.4±0.22c	红,稍花青	94.3±0.13	93.96±0.17
5 (A ₂ B ₂ C ₁)	条索紧直,色泽较乌润,较匀整	94.2±0.23	红亮,显金黄圈	5.0±0.14a	香高长,有甜香	94.2±0.11	鲜醇	94.8±0.25a	红,稍花青	93.8±0.17	94.42±0.19
6 (A ₂ B ₃ C ₂)	条索紧细,色泽乌润	94.8±0.14	红较亮,显金黄圈	94.2±0.10d	香高持久,显甜香	94.6±0.20	鲜、尚醇	93.5±0.26f	红较亮	94.3±0.16	94.25±0.19
7 (A ₃ B ₁ C ₂)	条索紧实,色泽乌黑较润,显金毫,显锋苗,有甜香	93.0±0.18	红浓,稍暗,显金黄圈	93.5±0.12f	香气尚纯正,略有青气	93.0±0.19	鲜、尚醇	93.5±0.24f	红,稍花青	93.0±0.23	93.20±0.20
8 (A ₃ B ₂ C ₃)	条索紧直,色泽乌黑较润,显金毫,有甜香	93.2±0.22	红浓,稍暗,显金黄圈	93.5±0.18f	香高长,有甜香	94.2±0.17	较醇	93.0±0.22g	红,尚亮	94.0±0.22	93.50±0.21
9 (A ₃ B ₃ C ₁)	条索紧细,较匀整,色泽乌润	94.5±0.25	红亮,显金黄圈	94.3±0.20c	香气尚纯正,略有青气	93.2±0.14	较浓	92.5±0.21h	红较亮,稍花青	93.0±0.19	93.41±0.20
验 1 (A ₁ B ₃ C ₁)	条索紧细,乌黑油润,显金毫,干茶甜香明显	95.0±0.16	红亮,显金黄圈	94.8±0.30	香高持久,有甜香	95.0±0.16	鲜醇	95±0.18	红匀,明亮	95±0.12	94.98±0.18
验 2 (A ₁ B ₂ C ₁)	条索紧直,乌黑较油润,显金毫,干茶甜香明显	94.5±0.12	红亮,显金黄圈	95.0±0.27	香高持久,有甜香	94.8±0.15	鲜、较浓	94.8±0.16	红较匀,明亮	94.8±0.15	94.75±0.16

表 3 正交试验组合所制茶样感官审评结果极差分析

Table 3 Rang analysis based on the score evaluating of the manufacturing teas involved in orthogonal test

处理		萎凋程度/%	揉捻时间/h	发酵时间/h	品质得分
1	A ₁ B ₁ C ₁	62	60	3	94.2
2	A ₁ B ₂ C ₂	62	90	4	94.18
3	A ₁ B ₃ C ₃	62	120	5	94.52
4	A ₂ B ₁ C ₃	60	60	5	93.96
5	A ₂ B ₂ C ₁	60	90	3	94.42
6	A ₂ B ₃ C ₂	60	120	4	94.25
7	A ₃ B ₁ C ₂	58	60	4	93.20
8	A ₃ B ₂ C ₃	58	90	5	93.50
9	A ₃ B ₃ C ₁	58	120	3	93.41
总和		k1(萎凋程度)	282.89	282.63	280.11
		k2(揉捻时间)	281.36	282.09	282.17
		k3(发酵时间)	282.03	281.63	281.97
均值		K1(萎凋程度)	94.29	94.21	93.37
		K2(揉捻时间)	93.79	94.03	94.06
		K3(发酵时间)	94.01	93.88	93.99
		极差	0.93(萎凋程度)	0.27(揉捻时间)	0.13(发酵时间)
		优选	A ₁	B ₃	C ₁

表 4 所制茶样主要内含成分含量

Table 4 Content of major components in the manufacturing teas

样品	主要内含成分含量/%						
	水浸出物	茶多酚	氨基酸	咖啡碱	茶黄素	茶红素	茶褐素
1 (A ₁ B ₁ C ₁)	40.23±0.54	22.22±0.35	2.43±0.08	3.85±0.09	0.35±0.03	5.42±0.11	4.61±0.13
2 (A ₁ B ₂ C ₂)	40.50±0.46	20.77±0.42	2.41±0.07	3.88±0.01	0.37±0.05	4.26±0.17	5.70±0.15
3 (A ₁ B ₃ C ₃)	40.41±0.78	21.49±0.41	2.18±0.19	3.89±0.05	0.26±0.01	5.68±0.32	5.44±0.02
4 (A ₂ B ₁ C ₃)	41.26±0.89	22.14±0.11	2.40±0.01	3.87±0.09	0.20±0.02	5.19±0.11	5.59±0.16
5 (A ₂ B ₂ C ₁)	40.84±0.16	21.96±0.37	2.32±0.17	3.90±0.02	0.30±0.07	5.90±0.13	4.88±0.14
6 (A ₂ B ₃ C ₂)	40.43±0.74	19.80±0.12	2.54±0.11	3.88±0.03	0.16±0.05	5.06±0.25	5.63±0.42
7 (A ₃ B ₁ C ₂)	42.22±0.84	18.16±0.15	2.75±0.01	4.04±0.04	0.26±0.07	5.37±0.43	5.19±0.21
8 (A ₃ B ₂ C ₃)	40.36±0.33	17.09±0.07	2.44±0.02	4.04±0.03	0.22±0.03	4.98±0.49	6.95±0.15
9 (A ₃ B ₃ C ₁)	41.92±0.98	18.13±0.34	2.89±0.06	4.03±0.06	0.40±0.02	5.28±0.59	5.47±0.58
验 1 (A ₁ B ₃ C ₁)	43.32±0.35	18.72±0.93	2.61±0.04	4.05±0.041	0.42±0.02	6.84±0.08	5.28±0.13
验 2 (A ₁ B ₂ C ₁)	43.03±0.61	19.88±0.18	2.67±0.01	3.96±0.02	0.47±0.08	6.98±0.16	4.16±0.08

表 5 所制茶样儿茶素含量

Table 5 Content of catechins in the manufacturing teas

样品	儿茶素含量/(mg·g ⁻¹)							
	EGC	C	EC	EGCG	GCG	ECG	CG	总儿茶素
1 (A ₁ B ₁ C ₁)	2.42±0.03	2.11±0.04	1.55±0.03	20.94±0.68	0.27±0.07	13.73±0.04	0.68±0.02	41.7±0.87
2 (A ₁ B ₂ C ₂)	2.87±0.03	1.92±0.07	2.28±0.97	19.18±0.19	0.22±0.01	14.32±0.47	0.50±0.08	41.29±1.32
3 (A ₁ B ₃ C ₃)	2.75±0.05	1.83±0.09	1.13±0.08	18.47±0.15	0.22±0.03	13.94±0.16	0.46±0.05	38.8±0.93
4 (A ₂ B ₁ C ₃)	2.65±0.06	1.74±0.03	1.17±0.01	19.24±0.17	0.19±0.05	13.72±0.11	0.51±0.06	39.22±0.67
5 (A ₂ B ₂ C ₁)	2.91±0.07	2.14±0.05	1.44±0.02	20.21±0.17	0.22±0.03	13.85±0.13	0.58±0.02	41.35±0.38
6 (A ₂ B ₃ C ₂)	2.45±0.01	1.54±0.08	1.07±0.01	17.84±0.02	0.20±0.07	13.78±0.04	0.44±0.01	37.32±0.23
7 (A ₃ B ₁ C ₂)	2.96±0.02	2.05±0.02	1.33±0.08	20.72±0.12	0.21±0.02	14.07±0.13	0.60±0.02	41.94±0.45
8 (A ₃ B ₂ C ₃)	2.59±0.02	1.67±0.04	1.20±0.01	18.35±0.03	0.20±0.01	13.93±0.09	0.47±0.03	38.41±0.31
9 (A ₃ B ₃ C ₁)	2.94±0.03	2.07±0.30	1.22±0.10	19.24±0.42	0.21±0.02	13.97±0.19	0.55±0.03	40.02±0.64
验 1 (A ₁ B ₃ C ₁)	2.14±0.02	2.47±0.01	1.47±0.01	21.14±0.13	0.24±0.03	13.92±0.10	0.67±0.10	42.05±0.46
验 2 (A ₁ B ₂ C ₁)	2.03±0.01	2.66±0.03	1.61±0.20	23.39±0.43	0.27±0.05	13.78±0.16	0.79±0.09	44.53±0.59

注:EGC-表没食子儿茶素; C-(+)-儿茶素; EC-表儿茶素; EGCG-表没食子儿茶素没食子酸酯; GCG-没食子儿茶素没食子酸酯; ECG-表儿茶素没食子酸酯; CG-儿茶素没食子酸酯。

2.3 正交试验组合所制茶样茶黄素含量极差分析

茶黄素被称之为“软黄金”，对红茶的品质起着决定性的作用，是红茶汤色“亮”的主要成分，也是汤味强度和鲜爽度的重要成分，同是还是形成红茶茶汤“金圈”的最主要物质^[17]。红碎茶研究显示^[18]，茶样中的茶黄素含量与感官审评结果高度相关，常以茶黄素的含量作为评价指标来优化红碎茶加工工艺^[19]。因此，本研究也以茶黄素的含量为评价指

标，对正交试验结果进行极差分析。表 6 结果表明，在萎凋程度、揉捻时间和发酵程度 3 个因素中，发酵程度极差 0.12>萎凋程度极差 0.10>揉捻时间极差 0.03。由表 6 的分析结果，确定的优化工艺为：萎凋程度为含水量 62%（A₁），揉捻时间为 90 min（B₂），发酵时间为 3 h（C₁）。这与表 3 分析确定的工艺略有不同，主要是揉捻时间上的差异。

表 6 正交试验组合所制茶样茶黄素含量极差分析

Table 6 Rang analysis based on the content of theaflavin in the manufacturing teas involved in orthogonal test				
处理	萎凋程度/%	揉捻时间/h	发酵时间/h	茶黄素/%
1 (A ₁ B ₁ C ₁)	62	60	3	0.35
2 (A ₁ B ₂ C ₂)	62	90	4	0.37
3 (A ₁ B ₃ C ₃)	62	120	5	0.26
4 (A ₂ B ₁ C ₃)	60	60	5	0.20
5 (A ₂ B ₂ C ₁)	60	90	3	0.30
6 (A ₂ B ₃ C ₂)	60	120	4	0.16
7 (A ₃ B ₁ C ₂)	58	60	4	0.26
8 (A ₃ B ₂ C ₃)	58	90	5	0.22
9 (A ₃ B ₃ C ₁)	58	120	3	0.40
总和	k1(萎凋程度)	0.97	0.66	0.89
	k2(揉捻时间)	0.81	0.89	0.83
	k3(发酵时间)	1.05	0.79	0.68
均值	K1(萎凋程度)	0.32	0.22	0.30
	K2(揉捻时间)	0.27	0.30	0.28
	K3(发酵时间)	0.35	0.26	0.23
	极差	0.10(萎凋程度)	0.03(揉捻时间)	0.12(发酵时间)
	优选	A ₁	B ₂	C ₁

2.4 正交试验组合所制茶样香气分析结果

由表 7、表 8 可知，9 个茶样中检出芳香物质数量略有差别，最多的 78 种，最少的 76 种。其中，醇类香气化合物相对含量最高，其变化范围为 90.30%~164.44%；其次是醛类，其相对含量在 38.42%~87.44%之间；再次是酯类，其相对含量在 13.53%~28.81% 之间。王秋霜^[20]等对中国名优红茶香气的比较研究结果也发现，工夫红茶香气组分中醇类香气化合物含量最高，其次是醛类化合物，再次是酯类。

在鉴定的醇类物质中，主要包括苯甲醇、氧化芳樟醇（Ⅱ、Ⅰ和Ⅳ）、芳樟醇（α 体、β 体）、苯乙醇、香叶醇、橙花醇等 24 种。检出的醛类物质有 22 种，主要包括异戊醛、苯甲醛、苯乙醛、青叶醛等。检出的酯类物质主要有水杨酸甲酯、己酸甲酯、己酸己酯，共 12 种。之前的报道^[20-22]显示，芳樟醇及其氧化产物、香叶醇、橙花醇和水杨酸甲酯是红茶香气主体特征成分。将以上红茶香气主体特征成分（氧化芳樟醇Ⅱ、氧化芳樟醇Ⅰ、α-芳樟醇、β-芳樟醇、氧化芳樟醇Ⅳ、香叶醇、橙花醇和水杨酸甲酯）的相对含量累

加起来，可得到红茶香气主体特征成分含量。如表 8 所示，红茶香气主体特征成分含量大小排序与表 2 感官审评结果中香气得分名次相一致。但若按表 8 中香精油总量来排序，其结果与感官审评香气得分名次却存在一定的差异。

2.5 优化工艺参数的验证

为验证所优化工艺的效果，2015 年 4 月 20 日在同一片茶园采摘相同标准的鲜叶，分别按照表 3 和表 6 优化出的 2 个工艺组合 A₁B₃C₁ 和 A₁B₂C₁ 加工成工夫红茶，再进行感官审评、理化成分分析和香气成分分析（表 2、表 4、表 5、表 7 和表 8）。

由表 2 可知，采用 A₁B₃C₁ 工艺组合制得的茶样验 1，在外形、香气、滋味和叶底 4 项因子都优于采用 A₁B₂C₁ 工艺组合制得的茶样验 2，仅汤色得分前者略逊后者。由加权计算所得的品质得分可以发现，茶样验 1 要优于茶样验 2。这是因为茶样验 1，揉捻时间比茶样验 2 要长，细胞破碎率更大，所以其条索紧细油润，而茶样验 2 的条索仅达到紧直较油润。此外，揉捻时间的延长，茶样验 1 多酚类的酶促氧化时间增加，多酚类和苦涩味重的 EGCG 保留量

表 7 所制茶样香气物质相对含量

Table 7 Relative content of aromatic compounds in the manufacturing teas

序号	保留时间 /min	香气化合物	相对含量/%											
			1 (A ₁ B ₁ C ₁)	2 (A ₁ B ₂ C ₂)	3 (A ₁ B ₃ C ₃)	4 (A ₂ B ₁ C ₃)	5 (A ₂ B ₂ C ₁)	6 (A ₂ B ₃ C ₂)	7 (A ₃ B ₁ C ₂)	8 (A ₃ B ₂ C ₃)	9 (A ₃ B ₃ C ₁)	验 1 (A ₁ B ₃ C ₁)	验 2 (A ₁ B ₂ C ₁)	
1	2.84	异戊醛	5.57	10.3	5.00	6.61	2.72	4.39	2.31	2.31	9.54	6.21	8.64	6.30
2	2.97	2-甲基丁醛	8.49	1.78	11.78	10.93	8.35	8.6	4.93	4.93	18.92	11.06	15.65	12.31
3	3.24	1-戊烯-3-醇	2.48	3.13	1.71	1.74	3.96	2.03	1.62	1.62	2.20	1.64	2.35	0.98
4	3.53	戊醛	1.13	1.47	1.28	1.35	1.68	1.55	1.55	1.55	1.48	1.37	0.62	0.41
5	3.61	2-乙基呋喃	0.49	2.64	0.57	0.54	1.52	0.49	0.13	0.13	0.84	0.56	0.47	0.34
6	4.14	异戊腈	—	0.34	0.02	—	0.31	—	0.01	0.01	0.03	0.01	0.04	0.03
7	4.26	异戊醇	0.07	0.2	0.18	0.07	0.16	0.10	0.09	0.09	0.08	0.04	0.06	0.05
8	4.51	2-甲基-2-丁烯醛	1.02	0.84	0.77	1.09	0.34	0.51	0.38	0.38	1.44	0.93	0.43	0.57
9	4.74	4-甲基戊烯[4]酮[2]	0.16	0.34	0.19	0.13	0.52	0.09	0.02	0.02	0.12	0.06	—	—
10	4.83	反式-2-戊烯醛	0.65	0.24	0.40	0.49	0.14	0.39	0.23	0.23	0.41	0.50	0.18	0.24
11	5.00	甲苯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.54	0.48
12	5.15	1-戊醇	2.87	2.66	2.29	2.52	2.42	2.42	1.18	1.18	3.28	2.12	—	—
13	5.26	顺-2-戊烯-1-醇	3.25	3.54	3.29	3.35	1.68	2.66	1.83	1.83	3.39	2.82	4.45	1.95
14	6.01	己醛	7.32	8.26	5.32	5.34	7.35	7.42	2.83	2.83	6.81	6.42	6.66	6.24
15	6.60	N-乙基吡咯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.18	0.23
16	6.74	反-2,4-己二烯-1-醇	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.06	—
17	6.79	2-乙基丁烯醛	0.06	0.10	0.04	0.05	0.23	0.03	0.03	0.03	0.08	0.08	—	—
18	7.24	糠醛	1.37	1.97	1.61	1.58	1.31	0.97	0.66	0.66	2.51	1.66	2.05	1.64
19	8.05	青叶醛	6.83	2.37	7.03	4.42	1.22	9.35	4.02	4.02	4.91	4.02	5.11	2.34
20	8.19	反-3-己烯醇	9.57	9.19	15.30	9.49	8.77	14.93	9.19	9.19	12.54	8.03	13.63	9.17
21	8.39	糠醇	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.90
22	8.65	反式-2-己烯醇	1.43	1.73	2.87	1.87	3.29	3.08	1.88	1.88	2.01	1.51	3.92	3.30
23	8.81	正己醇	1.66	5.37	6.31	2.51	4.36	5.37	3.24	3.24	4.01	1.82	4.89	4.12
24	9.65	2-庚酮	0.45	0.37	0.41	0.29	0.45	0.47	0.22	0.22	0.37	0.37	0.44	0.43
25	10.10	庚醛	0.74	0.75	0.65	0.41	0.43	0.76	0.35	0.35	0.89	0.41	0.50	0.40
26	10.27	(E,E)-2,4-己二烯醛	0.49	0.41	0.36	0.16	0.67	0.36	0.23	0.23	0.37	0.17	—	—
27	11.02	己酸甲酯	0.12	0.12	0.41	0.10	0.23	0.30	0.25	0.25	0.25	0.10	0.35	0.30
28	11.59	3-己烯酸甲酯	0.02	0.03	0.05	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.02	0.07	0.06
29	12.69	苯甲醛	13.33	17.20	16.95	12.77	10.19	16.25	10.25	10.25	16.83	11.38	13.97	13.02
30	13.35	庚醇	0.10	0.47	0.52	0.49	0.48	0.74	0.38	0.38	0.55	0.11	0.59	0.54

续表 7

序号	保留时间 /min	香气化合物	相对含量/%										
			1 (A ₁ B ₁ C ₁)	2 (A ₁ B ₂ C ₂)	3 (A ₁ B ₃ C ₃)	4 (A ₂ B ₁ C ₃)	5 (A ₂ B ₂ C ₁)	6 (A ₂ B ₃ C ₂)	7 (A ₃ B ₁ C ₂)	8 (A ₃ B ₂ C ₃)	9 (A ₃ B ₃ C ₁)	验 1 (A ₁ B ₃ C ₁)	验 2 (A ₁ B ₂ C ₁)
31	13.77	1-辛烯-3-醇	0.34	0.28	0.31	0.31	0.33	0.57	0.28	0.53	0.24	0.46	0.42
32	13.97	己酸	0.16	0.06	0.21	0.62	—	0.54	0.25	0.53	0.23	1.57	0.89
33	14.11	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.49	1.20	1.65	1.33	2.28	1.94	1.27	1.80	0.95	2.10	1.60
34	14.44	β-蒎烯	2.02	2.47	2.43	2.26	1.55	2.78	1.78	2.75	1.67	2.45	1.91
35	14.79	正己酸乙酯	0.32	0.33	0.10	0.29	0.38	0.33	0.23	0.41	0.15	0.48	0.41
36	15.28	反式-2,4-庚二烯醛	1.01	0.50	0.46	0.77	0.56	0.86	0.41	0.72	0.68	0.99	0.71
37	15.87	p-伞花烃	0.20	0.25	0.10	0.10	0.11	0.14	0.06	0.09	0.11	0.92	0.36
38	16.06	柠檬烯	0.41	0.86	0.22	0.29	2.03	0.47	0.19	0.25	0.29	0.46	0.48
39	16.30	苯甲醇	13.16	3.08	9.65	11.47	4.48	9.75	7.64	14.72	9.62	14.27	11.78
40	16.74	苯乙醛	14.81	26.06	11.53	13.49	17.33	13.75	7.55	16.49	13.83	14.65	13.05
41	17.01	1-乙基-2-甲酰吡咯	2.73	5.46	0.70	2.78	4.24	0.94	0.44	3.71	2.27	3.11	2.67
42	17.65	α-苯乙醇	0.24	—	—	0.22	—	0.23	0.11	—	0.25	0.64	0.43
43	17.76	2-乙酰基吡咯	—	—	—	—	0.80	—	—	—	—	—	—
44	17.83	苯乙酮	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.27	0.17
45	18.22	氧化芳樟醇Ⅱ	7.9	11.70	9.84	7.22	11.51	9.66	6.06	9.08	6.31	11.20	8.25
46	19.00	氧化芳樟醇Ⅰ	18.86	31.79	23.37	17.39	28.17	21.77	15.02	24.02	14.44	28.58	22.18
47	19.24	反-3,反-5-辛二烯酮[2]	0.69	0.70	0.64	0.38	0.47	0.83	0.30	0.16	0.46	0.36	0.40
48	19.59	α-芳樟醇	9.09	12.53	17.05	9.74	12.24	17.49	10.51	10.27	8.38	13.74	10.83
49	19.75	β-芳樟醇	1.84	3.24	2.19	1.53	3.49	1.53	1.04	1.83	2.02	2.34	2.65
50	20.13	苯乙醇	13.68	22.45	12.17	11.70	13.70	11.26	8.93	15.18	10.77	16.58	15.34
51	21.04	(3E,5E)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯	0.25	0.21	0.41	0.17	0.07	0.24	0.14	0.32	0.17	—	0.28
52	21.20	N-乙基琥珀酰亚胺	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.18	0.05
53	21.36	苯乙腈	0.15	0.35	0.31	0.18	0.37	0.35	0.19	0.21	0.21	0.28	0.24
54	21.53	2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯	0.40	0.45	0.47	0.36	0.13	0.43	0.30	0.28	0.34	0.38	0.33
55	22.02	丁香醛	0.07	0.08	0.06	0.05	0.04	0.06	0.05	0.08	0.04	0.06	0.04
56	22.21	顺-3-壬烯醇	—	0.16	0.17	0.09	0.09	0.20	0.14	0.07	—	0.15	0.08
57	22.35	3,6-壬二烯-1-醇	0.02	0.08	0.06	0.03	0.04	0.09	0.05	0.03	0.03	0.05	0.04
58	22.67	乙酸苯甲酯	0.05	0.17	0.12	0.03	0.09	0.09	0.07	0.12	0.07	0.04	0.04
59	22.87	氧化芳樟醇Ⅳ	4.89	10.03	4.40	3.98	6.41	3.84	2.74	6.34	3.33	6.46	5.04
60	23.79	(Z)-丁酸-3-己烯酯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.04	0.06
61	23.87	α-松油醇	0.22	0.30	0.26	0.20	0.23	0.23	0.18	0.23	0.18	0.28	0.25

续表 7

序号	保留时间 /min	香气化合物	相对含量/%										
			1 (A ₁ B ₁ C ₁)	2 (A ₁ B ₂ C ₂)	3 (A ₁ B ₃ C ₃)	4 (A ₂ B ₁ C ₃)	5 (A ₂ B ₂ C ₁)	6 (A ₂ B ₃ C ₂)	7 (A ₃ B ₁ C ₂)	8 (A ₃ B ₂ C ₃)	9 (A ₃ B ₃ C ₁)	验 1 (A ₁ B ₃ C ₁)	验 2 (A ₁ B ₂ C ₁)
62	24.04	水杨酸甲酯	16.52	17.60	26.48	17.57	12.33	26.79	17.15	17.5	16.17	24.91	24.28
63	24.30	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯 甲醛	0.40	0.48	0.49	0.37	0.31	0.33	0.27	1.77	0.28	0.37	0.48
64	24.66	癸醛	0.15	0.38	0.14	0.09	0.17	0.15	0.10	0.37	0.21	0.12	0.14
65	25.28	β-环柠檬醛	0.76	0.60	0.74	0.59	0.33	0.63	0.48	0.84	0.58	0.75	0.55
66	25.68	橙花醇	0.49	0.75	0.75	0.46	0.54	0.69	0.46	0.58	0.43	1.00	0.96
67	25.92	戊酸-3-己烯酯	0.10	0.14	0.15	0.08	0.11	0.14	0.09	0.08	0.09	0.30	0.37
68	26.13	2-甲基丁酸己酯	0.03	0.06	0.07	0.02	0.04	0.06	0.05	0.01	0.01	0.15	0.16
69	26.26	香草醛	0.32	0.31	0.33	0.22	0.22	0.33	0.23	0.22	0.20	—	—
70	26.90	香叶醇	25.51	41.09	25.75	21.9	28.46	25.58	17.37	28.44	21.61	33.95	34.72
71	27.63	柠檬醛	2.18	3.12	2.26	1.98	1.78	2.01	1.39	2.53	1.70	1.94	1.83
72	28.53	吡嗪	—	0.62	—	—	0.50	—	—	0.34	—	—	—
73	29.38	2-丁基-1-辛醇	0.15	0.16	0.11	0.08	0.10	0.09	0.09	0.10	0.08	0.14	0.14
74	30.08	癸酸甲酯	1.01	0.90	1.09	0.95	0.23	1.06	1.07	0.62	0.88	1.46	2.47
75	31.34	(Z)-丁酸-3-己烯酯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.41	0.23
76	32.18	4-甲基-2-苯基-2-戊烯醛	0.09	0.11	0.16	0.08	0.09	0.12	0.10	0.12	0.09	0.12	0.11
77	32.55	(Z)-己酸-3-己烯酯	0.06	0.16	0.09	0.06	0.12	0.05	0.06	0.05	0.06	0.30	0.36
78	32.77	己酸己酯	0.03	0.11	0.11	0.05	0.19	0.07	0.05	0.05	0.05	0.24	0.29
79	32.82	反式-2-己烯基己酸	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.25	0.31
80	34.47	α-紫罗酮	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.10	0.04	0.05	—
81	34.69	香豆素	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.07	0.05
82	35.53	香叶基丙酮	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.14	0.16
83	36.68	姜黄烯	0.01	0.08	0.04	0.01	0.03	0.02	0.01	0.05	0.01	—	—
84	36.87	β-紫罗酮	0.45	0.41	0.33	0.32	0.21	0.29	0.27	0.37	0.31	0.31	0.36
85	37.03	可卡醛	0.07	0.10	0.11	0.08	0.07	0.08	0.07	0.11	0.07	0.07	0.08
86	37.81	α-法尼烯	0.05	0.08	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.08	0.04	0.10	0.15
87	38.39	杜松烯	0.27	0.26	0.23	0.21	0.16	0.18	0.18	0.22	0.2	0.25	0.35
88	39.97	反式-橙花叔醇	0.31	0.51	0.38	0.29	0.31	0.36	0.27	0.52	0.28	0.30	0.43
89	40.49	苯甲酸己酯	0.01	0.06	0.07	0.05	0.04	0.07	0.04	0.09	0.03	0.05	0.09
90	50.63	邻苯二甲酸二异丁酯	0.13	0.15	0.11	0.10	0.05	0.10	0.14	0.17	0.10	0.20	0.29
91	51.91	棕榈酸甲酯	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06	0.04	0.09	0.10

注:“—”表示为检出,表中相对含量为3次重复的平均值。

减少,分别为 18.78%和 21.14 mg · g⁻¹,而茶样验 2 则分别为 19.88%和 23.39 mg · g⁻¹,故茶样验 1 比茶样验 2 滋味更醇。不过,多酚类的酶促氧化时间延长,也导致了茶黄素和茶红素含量的降低,茶样验 1 的茶黄素和茶红素含量分别为 0.42%和 6.84%,而茶样验 2 则分别为 0.47%和 6.98%,所

茶样验 2 的汤色较茶样验 1 更亮,感官得分更高。由表 8 可知,茶样验 1 在香精油总量和香气主体特征成分含量上,都要高于茶样验 2,使得其香气比茶样验 2 更丰富,这与多酚类的酶促氧化时间适度地延长,氨基酸、类胡萝卜素、脂肪酸等成分与儿茶素的偶联氧化更充分不无关系。

表 8 所制茶样香气物质种类与相对含量

Table 8 Chemical classess of aromatic compounds and their relative contents in the manufacturing teas

香气化合物	相对含量/%										
	1 (A ₁ B ₁ C ₁)	2 (A ₁ B ₂ C ₂)	3 (A ₁ B ₃ C ₃)	4 (A ₂ B ₁ C ₃)	5 (A ₂ B ₂ C ₁)	6 (A ₂ B ₃ C ₂)	7 (A ₃ B ₁ C ₂)	8 (A ₃ B ₂ C ₃)	9 (A ₃ B ₃ C ₁)	验 1 (A ₁ B ₃ C ₁)	验 2 (A ₁ B ₂ C ₁)
醇类	118.13	164.44	138.93	108.65	135.22	134.67	90.30	140.00	96.06	160.11	134.53
醛类	66.86	77.43	67.47	62.92	55.53	68.90	38.42	87.44	61.89	72.88	60.44
酯类	18.13	19.56	28.80	19.08	13.53	28.81	19.06	19.05	17.62	28.75	29.34
酮类	3.29	3.07	3.26	2.49	3.96	3.66	2.12	2.92	2.19	3.67	3.12
烯类	3.36	4.45	3.54	3.27	4.06	4.07	2.56	3.72	2.66	5.11	4.33
含氮化合物	2.73	6.42	0.72	2.78	5.85	0.94	0.45	4.08	2.28	3.79	3.23
杂氧化合物	0.49	2.64	0.57	0.54	1.52	0.49	0.13	0.84	0.56	0.47	0.34
酸类	0.16	0.06	0.21	0.62	—	0.54	0.25	0.53	0.23	2.23	1.44
主体特征成分含量	85.10	128.73	109.83	79.79	103.15	107.35	70.35	98.06	72.69	122.17	108.92
香精油总量	213.77	279.70	245.42	201.18	220.46	242.98	152.65	259.52	184.01	277.01	236.76
芳香物质数量/种	76	78	77	77	78	77	78	78	77	82	81
主体特征成分含量 排序	6	1	2	7	4	3	9	5	8	I	II
香精油总量排序	6	1	3	7	5	4	9	2	8	I	II
感官审评香气得分 名次	6	1	2	7	4	3	9	5	8	I	II

注:“—”表示为检出,表中相对含量为 3 次重复的平均值。

3 结论与讨论

红茶加工工艺研究一直是个热点,如 Philip O. Owuor^[18]等对肯尼亚的红茶发酵工序进行研究发 现,最佳发酵时间为 136.2 min,且茶样中的茶黄素含量与感官审评结果高度相关。Mehmet Tiifekci^[19]等以茶黄素含量为评价指标对土耳其红茶发酵工序进行了优化,结果显示:叶茶的最佳发酵时间为 83 min,末茶的的最佳发酵时间为 80 min。Martin obanda^[23]等以肯尼亚一茶树品种的鲜叶为材料,分别采用 20℃和 30℃进行发酵,分析了发酵过程中茶黄素、茶红素、残留的儿茶素以及茶汤亮度的变化,结果发现:20℃发酵 90 min,茶黄素含量最高;30℃发酵 60 min,茶黄素含量达到最高值,但不及 20℃发酵 90 min 所生成的茶黄素量。另外,茶黄素的含量与茶汤的明亮度呈正相关。Tanmoy Samanta^[24]对印度红茶发酵工艺研究也发现,20℃发酵时多酚氧化酶及过氧化物酶活性稳定,积累的茶黄素高,且汤色明亮。从以上的研究发现,国外的研究更侧重于红茶的发酵工序,且以茶黄素的含量作为主要评价指标。世界上主要红茶生产国像印度、肯尼亚等

国家生产的红茶多为红碎茶,生产中采用 CTC (crushing,tearing and curling)等切碎机具,使得茶鲜叶中的多酚类和多酚氧化酶及过氧化物酶得以充分的接触,不必考虑叶子的细胞破碎情况,自然优化发酵工序成为他们红茶加工工艺研究的重点。另外,红碎茶品质上追求“浓、强、鲜”,所以用茶黄素的含量作为工艺优化的评价指标更准确。但工夫红茶属于红条茶,只有适度的萎凋和揉捻才能保证在制品能成条,且又有一定的细胞破碎率,从而为发酵中多酚类的酶促氧化提供基础。这也是本研究中要对萎凋、揉捻和发酵 3 个工序进行优化的原因所在。

试验以茶样的感官品质得分为评价指标,确定的优化工艺为:萎凋程度为含水量 62%(A₁),揉捻时间为 120 min(B₃),发酵时间为 3 h(C₁);以茶黄素的含量为评价指标,其优化出的工艺为:萎凋程度为含水量 62%(A₁),揉捻时间为 90 min(B₂),发酵时间为 3 h(C₁)。验证 2 个优化工艺表明,采用感官品质得分作为评价指标来优化工艺,其效果比以茶黄素含量作为评价指标更符合工夫红茶生产实际。因为工夫红茶要求条索紧细、乌黑油润;滋味鲜醇、带有甜香。所以确定陕南春季工夫红茶的最优

工艺为最优工艺为 $A_1B_3C_1$,即萎凋程度为含水量 62%(A_1)、揉捻时间为 120 min(B_3)、发酵时间为 3 h(C_1)。

目前,国内外已相继研制出各种类型的茶叶自动化生产线,但其运行参数都需要人工输入,而无需人工参与的智能化生产线还不成熟。缺乏在线检测茶叶加工中各工序程度的方法是主要原因。判断红茶发酵是否适度,加工人员常根据发酵叶色和香气来确定,这依赖于人的感官经验。B. Nabarun^[25]等曾采用电子鼻分析了红茶发酵过程中香气的变化,并据此建立判断红茶发酵是否适度的模型,结果同色差法及人工判断相一致。B. Tozlu^[26]等采用金属氧化物半导体传感器对红碎茶发酵过程中的香气进行了在线检测,依据香气变化判断发酵程度。若红茶其他工序也都构建相应程度的判别模型,那么红茶智能化生产线将会应运而生。本研究所确定的工艺参数仅能满足红茶自动化生产线的需要,若要将其移植到智能化生产线中,尚需进一步研究。

参考文献：

[1] WANG K B, CHEN Q C, LIN Y, *et al.* Comparison of phenolic compounds and taste of Chinese black tea [J]. Food Science and Technology Research, 2014, 20(3): 639-645.

[2] DUYNHOVEN J V, VAUGHAN E E, DORSTEN F V, *et al.* Interactions of black tea polyphenols with human gut microbiota; implications for gut and cardiovascular health[J]. The American Journal of Clinical Nutrition. 2013, 98(6): 1631-1641.

[3] BERESNIAK A, DURU G, BERGER G, *et al.* Relationships between black tea consumption and key health indicators in the world: an ecological study[J]. BMJ Open. 2012; 2: e000648. doi:10.1136/bmjopen-2011-000648.

[4] GARDNER E J, RUXTON C H S, LEEDS A R. Black tea- helpful or harmful: a review of the evidence[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2007, 61: 3-18.

[5] PETERS U, POOLE C, ARAB L. Does tea affect cardiovascular disease: a meta-analysis. [J]. Am. J. Epidemiol, 2001, 154: 495-503.

[6] LANGLEY-EVANS S C. Consumption of black tea elicits an increase in plasma antioxidant potential in humans[J]. Int. J. Food Sci. Nutr. , 2000, 51(5): 309-315.

[7] 安徽农学院. 制茶学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.

[8] 宛晓春. 中国茶谱[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.

[9] 李剑, 余有本, 周天山, 等. 陕西茶树品种的抗寒性研究[J]. 西北农业学报, 2009, 18(1): 262-266.

LI J, YU Y B, ZHOU T S, *et al.* Studies on the cold resistance of tea in Shaanxi Province[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2009, 18(1): 262-266. (in Chinese)

[10] 蒲国涛, 周天山, 肖斌, 等. 陕南春夏秋冬季工夫红茶加工工艺研究[J]. 北方园艺, 2013(6): 143-146.

[11] 施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.

[12] 周天山, 米晓玲, 余有本, 等. 兰香型茶叶香气组分主成分分析

[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 254-259.

ZHOU T S, MI X L, YU Y B, *et al.* Principal component analysis of aroma components in tea with orchid-like aroma[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(1): 254-259. (in Chinese)

[13] 吕迪, 王得祥, 谢小洋, 等. 油松释放萜烯类挥发性成分研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 231-237.

LYU D, WANG D X, XIE X Y, *et al.* Terpene volatile components released from *Pinus tabulae formis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(1): 231-237. (in Chinese)

[14] 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 X B, XIAO S Q, DU X F, *et al.* Modeling for aroma evaluation of Anxi Tieguanyin tea based on principal component analysis[J]. Food Science, 2012, 33(22): 225-230. (in Chinese)

[15] 叶国注, 江用文, 尹军峰, 等. 板栗香型绿茶香气成分特征研究[J]. 茶叶科学, 2009, 29(5): 385-394.

[16] 尹军峰, 许勇泉, 袁海波, 等. 名优绿茶鲜叶摊放过程中主要生化成分的动态变化[J]. 茶叶科学, 2009, 19(2): 102-110.

[17] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.

[18] OWUOR P O, REEVES S G. Optimising fermentation time in black tea manufacture[J]. Food Chemistry, 1986, 21: 195-203.

[19] TÜFEKCI M, GÜNER S. The determination of optimum fermentation time in Turkish black tea manufacture[J]. Food Chemistry, 1997, 60(1): 53-56.

[20] 王秋霜, 陈栋, 许勇泉, 等. 中国名优茶红茶香气成分的比较研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(1): 195-200.

WANG Q S, CHEN D, XU Y Q, *et al.* Study on the aroma components in Chinese famous black tea[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(1): 195-200. (in Chinese)

[21] 李家贤, 何玉媚, 黄华林, 等. 英红 6 号红茶香气成分的研究[J]. 广东农业科学, 2009(12): 37-38.

[22] 王华夫, 竹尾忠一, 伊奈和夫, 等. 祁门红茶的香气特征[J]. 茶叶科学, 1993, 13(1): 61-68.

[23] OBANDA M, OWUOR P O, MANG'OKA R, *et al.* Changes in the chemical and sensory quality parameters of black tea due to variations of fermentation time and temperature[J]. Food Chemistry, 2001, 75: 395-404.

[24] SAMANTA T, CHEENI V, DAS S, *et al.* Assessing biochemical changes during standardization of fermentation time and temperature for manufacturing quality black tea[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(4): 2387-2393.

[25] NABARUN B, SOHAN S, BIPAN T. Monitoring of black tea fermentation process using electronic nose[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80: 1146-1156.

[26] TOZLU B, OKUMUS H I, SIMSEK C. Online quality classifying with electronic nose for black tea production[J]. International Journal of Academic Research, 2014, 6(4): 158-163.