温度对工夫红茶揉捻理化品质的影响

朱宏凯[1,2]，何华锋[1,2]，叶阳[1,2]，董春旺[1,2]，桂安辉[1]，高明珠[1]，陈琳[1]
（1.中国农业科学院茶叶研究所，浙江杭州 310008）
（2.农业部茶树生物学与资源利用重点实验室，浙江杭州 310008）

摘要：为明确揉捻过程中温度对工夫红茶加工品质的影响，分析了不同温度条件下，浙江小叶种工夫红茶揉捻中在制品 PPO、POD 酶活性，以及成品茶感官品质、理化品质以及香气成分的变化。研究结果显示，低温 20±2 ℃时揉捻叶的 PPO、POD 酶活性保留较高，成品茶茶黄素含量显著增加，茶汤色差亮度 L 值与红色度 a 值提高，茶多酚和咖啡碱等成分的含量显著下降，醛类、醇类和酮类等香气成分的形成得到显著性增加，特别是苯乙醛、芳樟醇、橙花叔醇、紫罗酮及香叶基丙酮等红茶重要香气成分的含量显著增加。因此，低温下的揉捻方法可作为提升工夫红茶品质的一种新的技术工艺。

关键词：工夫红茶；揉捻；温度；品质
文章篇号：1673-9078(2017)5-168-175 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.5.027

Influence of Rolling Temperature on Physicochemical Quality of Congou Black Tea

ZHU Hong-kai[1,2], HE Hua-feng[1,2], YE Yang[1,2], DONG Chun-wang[1,2], GUI An-hui[1], GAO Ming-zhu[1], CHEN Lin[1]
(1.Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China)
(2.Key Laboratory of Tea Plant Biology and Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Hangzhou 310008, China)

Abstract: In order to identify the effect of rolling temperature on the quality of Congou black tea, the peroxidase (PPO) and polyphenoloxidase (POD) activities of Zhejiang small leaf Congou black tea prepared under different rolling temperatures were analyzed, and the changes in sensory quality, physicochemical quality, and aroma components in the final tea products were examined. The results showed that with a low rolling temperature (20±2 ℃), high PPO and POD activities were maintained in the tea, theaflavin content was significantly increased in the final tea product, and the L value (brightness) and a value (redness) of the tea liquor were increased. The content of tea polyphenols and caffeine were significantly decreased, and the formation of aldehydes, alcohols, ketones, and other aroma components were significantly increased. In particular, the content of benzene acetaldehyde, linalool, nerolidol, ionone, geranyl acetone, and other important aroma components in the black tea were increased remarkably. Therefore, rolling at lower temperature can serve as a new and effective technique to enhance the quality of Congou black tea.

Key words: Congou black tea; rolling; ambient temperature; quality

揉捻是塑造工夫红茶隽秀外形和风味品质的关键工序。工夫红茶揉捻使叶片表观呈现出叶色由绿转黄、茶条逐渐卷紧的现象，而叶片细胞在撕扯、挤压及摩擦等多种力的作用下，相互隔断的内部结构打破，内含成分相互接触、交融和反应[1]，细胞内含成分相互结合，促进了工夫红茶芳香物质种类和含量的增加[2,3]，如芳樟醇及其氧化物、香叶醇和水杨酸甲酯等[4]，β-糖苷酶酶促水解作用下形成大量香气前体物。特别是多酚类物质与多酚氧化酶（PPO）、过氧化物酶（POD）的接触氧化，是形成红茶品质最重要的化学变化[5]。

一直以来，揉捻研究主要集中于揉捻过程物料的物理特性变化和揉捻方式的比较，且以绿茶和乌龙茶为主，如比较不同揉捻方式下茶叶物理特性及茶叶品质的变化[6,7]；揉捻过程中压力变化对茶叶细胞内外电阻及细胞壁与细胞膜之间电容的影响[8]；根据采摘标准和萎凋程度优选最佳揉捻时间[9]；明确叶片韧性及可塑性的最佳状态[10]。然而，针对工夫红茶揉捻过程中，内含物质发生的剧烈化学变化以及温度条件对工

收稿日期：2016-06-02
基金项目：杭州市科研院所技术开发研究专项（20152231E13）；中国农业科学院科技创新工程（CAAS-ASTIP-2014-TRICAAS）；国家星火计划重点项目（2015GA700006）
作者简介：朱宏凯（1987-），男，博士研究生，助理研究员，主要从事茶叶品质提升与控制方向的研究
通讯作者：叶阳（1962-），男，研究员，从事茶叶加工与质量控制

夫红茶揉捻品质影响的研究鲜有报道。

近年来，在浙南茶区，已出现利用控温手段调节揉捻环境温度提升绿茶品质的新技术。因此，本文拟通过分析不同温度下，工夫红茶揉捻在制品 PPO 和 POD 酶活性的差异，以及对感官品质、理化成分的影响，探明温度对提升工夫红茶品质的作用。

1 材料与方法

1.1 原料和仪器设备

1.1.1 鲜叶原料

试验用茶青品种为迎霜，嫩度以一芽二叶为主，2015 年 3 月 25 日采自浙江武义更香有机茶业开发有限公司基地。

1.1.2 试验仪器设备

50 型萎凋室空气处理机组（余姚市姚江源茶叶茶机有限公司）；6CR-25 型揉捻机（浙江绿峰机械有限公司）；6CHF 红茶发酵机（福建佳友茶叶机械有限公司）；6CHX-70 烘焙提香机（福建佳友茶叶机械有限公司）；PL202-L 电子天平（梅特勒-托利多仪器）；MA150 型快速水分测定仪（德国赛多利斯科学仪器公司）；手动 SPME 进样器(美国 Supelco 公司)；50/30 μm DVB/CAR/PDMS 固相微萃取 SPME 纤维头（美国 Supelco 公司）；Agilent 7890A/5975C 气相色谱-质谱联用仪（美国 Agilent 公司）；UV-3600 分光光度计(岛津公司)，DK-S24 电热恒温水浴锅（上海精宏实验设备有限公司）；PA401(A3)立柜式冷暖空调（广东美的制冷设备有限公司）；NPS7-13T（广州美的环境电器制造有限公司）。

1.2 试验方法

1.2.1 加工工艺及实验处理

萎凋：鲜叶摊于竹篾盘上，每平方米摊叶 0.6 kg，竹篾盘放于萎凋架上，萎凋架移入萎凋室内，萎凋室采用空气处理机组控制温度 28~32 ℃、相对湿度为 60%~70%，待萎凋叶含水量降至 56%~58%时，将萎凋叶充分混匀，进行揉捻试验。

揉捻：揉捻过程分为空压 5 min，轻压 5 min，中压 5 min，重压 5 min 四个阶段，各阶段依次进行，全程耗时 60 min；至揉捻叶细胞破碎在 85%以上，叶片 90%以上成条，条索卷紧，茶汁稍有外溢并粘附于叶表面，方为揉捻适度。实验设定 3 个温度处理，即低温 20±2 ℃、中温 30±2 ℃、高温 40±2 ℃，在 3 个约 8 m^2 的木质压缩板搭建的实验房中进行。采用空调以及电暖气加热的方式控制温度，在距离揉捻机桶壁 30 cm 处放置温度计，监控揉捻环境的温度变化。待环境温度稳定后，开始揉捻实验。

解块：使揉捻后结成团块的揉捻叶充分解散，每批次揉捻叶解块 2 次。

发酵：由发酵机控制发酵温度 30 ℃、相对湿度 90%以上，发酵叶叠放厚度 5 cm 左右，发酵时间 3.0 h 以叶片变红、叶脉转色、甜香显露即可。

干燥：采用烘焙提香机分 2 次干燥：毛火温度为 120 ℃，烘至含水量 20%~30%，茶条基本干硬，嫩茎稍软；足火温度为 95 ℃，烘至含水量 5%~7%，茶梗一折即断，手捻茶条成粉末。

1.2.2 试验检测方法

揉捻过程中，每 15 min 取样 1 次，液氮固样，用于检测过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)活性、茶黄素(TFs)、茶红素(TRs)和茶褐素(TB)含量。揉捻后样品进行发酵，干燥等工序，成品茶进行感官品质评价、理化成分检测、香气成分分析等。

（1）酶活性检测：采用愈创木酚氧化法[11]测定过氧化物酶(POD)活性，采用邻苯二酚法[12]测定多酚氧化酶(PPO)活性。

（2）TFs、TRs 及 TB 含量的检测，参考刘飞[1]使用的方法。

（3）感官审评：采用 GB/T 23776-2009 方法[13]进行感官品质评价。

（4）理化成分检测：茶多酚含量检测方法[14]采用 GB/T 8313-2008；游离氨基酸总量的检测方法[15]采用 GB/T 8314-2013；咖啡碱含量检测方法[16]采用 GB/T 8312-2013；可溶性糖含量采用蒽酮比色法[17]。

（5）香气检测方法参考吕海鹏等人的方法[18]进行改进，具体如下：

SPME 法提取香气成分：称取磨碎茶样 10.0 g 装入 80 mL 样品瓶中，加盖密封，分别加入 3 mL 沸超纯水，加盖密封，于 60 ℃水浴锅中平衡 5 min，吸附 55 min 后，于气质联用仪进样口 230 ℃解析 3.5 min，进行 GC-MS 分析。

GC 条件：DB-5MS 色谱柱（30 m×0.25 mm×0.250 μm）弹性石英毛细管柱；程序升温：50 ℃保持 2 min；以 3 ℃/min 升至 80 ℃；以 2 ℃/min 升至 180 ℃；以 10 ℃/min 升至 230 ℃，保持 5 min；柱箱 50 ℃，进样口温度为 230 ℃；流速 1.2 mL/min；进样方式：不分流进样。

MS 条件：离子源 EI，电子能量 70 eV；离子源温度 230 ℃；色谱质谱接口温度 230 ℃；质量扫描范围 35~400 u。

1.2.3 数据处理

香气检测结果经标准化合物谱库 NIST 质谱库对照，结合保留指数和相关文献[19~21]进行结构表征，以各组分峰面积占总峰面积的百分比表示相对含量。

试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行分析。

2 结果与讨论

2.1 揉捻过程酶活性变化及工夫红茶主要色素变化

2.1.1 揉捻过程 PPO、POD 酶活性变化

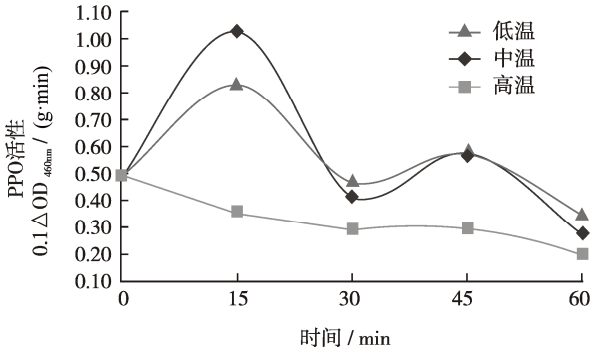


图 1 揉捻过程 PPO 活性变化

Fig.1 Variation in the PPO activity in rolling process

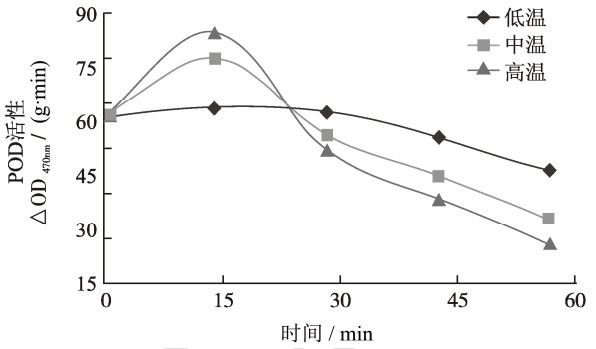


图 2 揉捻过程 POD 活性变化

Fig.2 Variation in the POD activity inh rolling process

揉捻过程中，细胞液泡内多酚类物质与酶系统的区域化隔离被破坏，酶类与内含物质相接触，良好的介质条件如适宜 pH 值、较高的底物浓度等有助于适度增高酶的活性；随着揉捻进程的延续，代谢产生的有机酸、丰富的产物积累使起初较适宜的介质条件改变，酶的活性随之下降。

如图 1 所示，在低温与中温的环境条件下，在揉捻的前 15 min 内 PPO 的活性逐步增加，增加幅度分别是起始时的 40.22%和 51.75%；随着揉捻过程的延续，PPO 的活性逐步降低，直到揉捻完成时分别降低为起始时的 29.38%和 42.68%。而在高温条件下，整个揉捻过程 PPO 的活性都在降低，直至揉捻完成时降至起始时的 58.94%。由此可知，在揉捻工序完成后，无论低温、中温或高温条件，最终 PPO 的活性都在降低，相对而言，低温条件下揉捻，PPO 的活性得到更高的保留。

不同温度条件下揉捻，POD 活性变化规律与 PPO 活性变化有所不同。如图 2 所示，中温与高温的环境条件下，在揉捻的前 15 min 内 POD 的活性逐步增加，增加幅度分别为起始时的 26.18%和 37.45%；随着揉捻过程的延续，POD 的活性逐步降低，直到揉捻完成时分别降低幅度为起始时的 45.93%和 56.77%。而在低温条件下，POD 活性在前 30 min 都无较大变化，直至揉捻结束时，POD 活性降低幅度为起始时的 24.4%。由此可知，在低温、中温、高温条件下揉捻，最终 POD 的活性都发生了下降；而相对于中温、高温条件，低温条件下揉捻，POD 活性降低较为平缓，最终的 POD 活性保留更高。

综上可知，低温揉捻过程结束后 PPO、POD 的活性得到较好的保留，这可能与低温处理使叶片水分散失较少，蛋白酶类始终处于一个相对稳定的介质环境条件有关[22,23]；另一方面较低的温度使各类催化反应进行缓慢，作为多种蛋白酶变性剂的多酚类物质，对 PPO、POD 活性的影响也降低了[24]。

2.1.2 揉捻过程 TFs、TRs 及 TB 含量变化

在揉捻过程中，由于 PPO、POD 等的酶促氧化作用，决定工夫红茶叶底及茶汤色泽的 TFs、TRs 及 TB 等色素类物质也在逐步形成，但在不同的揉捻温度条件下积累量不同。

表 1 揉捻过程样品 TFs、TRs 和 TB 含量检测结果

Table 1 Measurement results of the effect of rolling process on the TFs, TRs, and TB contentof samples

时间/min	低温			中温		
	TFs/%	TRs/%	TB/%	TFs/%	TRs/%	TB/%
0	0.296±0.013	3.147±0.008	1.186±0.014	0.296±0.013	3.147±0.008	1.186±0.014
15	0.361±0.001	3.215±0.076	1.164±0.009	0.327±0.009	3.779±0.203	1.472±0.099
30	0.363±0.011	3.507±0.078	1.302±0.074	0.325±0.005	4.063±0.221	1.818±0.085
45	0.387±0.012	3.672±0.061	1.742±0.037	0.336±0.014	4.288±0.032	2.546±0.106

转下页

接上页

60	0.414±0.008	3.615±0.058	2.088±0.123	0.344±0.011	4.315±0.037	2.915±0.082

时间/min	高温		
	TFs/%	TRs/%	TB/%
0	0.296±0.013	3.147±0.008	1.186±0.014
15	0.338±0.005	4.065±0.158	1.835±0.108
30	0.323±0.004	4.229±0.117	2.516±0.087
45	0.351±0.023	4.402±0.126	2.950±0.056
60	0.352±0.011	4.752±0.098	3.836±0.160

如表 1 所示，在不同揉捻温度条件下，TFs 的含量均随揉捻时间的延长而增加。在中温、高温条件下 TFs 增长缓慢且增长较少，在低温揉捻条件下 TFs 含量增长较快，揉捻完成时增幅达 39.68%。TRs 和 TB 含量在不同揉捻温度条件下均随揉捻时间的延长而增加，但与 TFs 的变化规律不同，中温、高温条件下揉捻 TRs 和、TB 含量增长较快，而低温揉捻条件下则增长缓慢。

2.2 成品茶感官品质及茶汤色差分析

2.2.1 成品茶感官审评结果分析

表 2 感官审评结果

Table 2 Sensory evaluation results

样品	外形(25%)		汤色(10%)		香气(25%)		滋味(30%)		叶底(10%)		总分
	评语	分数	评语	分数	评语	分数	评语	分数	评语	分数	
低温	紧结、弯曲、乌润、褐、显锋苗	90	红亮	91	高纯	91	甜爽(鲜度高)	91	红亮	88	90.5
中温	紧结、弯曲、乌润、显锋苗，稍有单片	88	红、尚亮	88	尚高、稍闷	88	尚爽	88	红、较亮	87	87.9
高温	紧结、弯曲、乌润、带锋苗、稍有单片	88	尚亮	87	尚高	87	尚爽	88	红、尚亮	87	87

将不同温度条件下揉捻处理样品经统一的发酵、干燥处理制得成品茶，并进行感官审评，结果如表 2 所示。低温条件下揉捻处理制得的成品茶在 5 项感官评价因子中的得分均高于中温、高温，尤其在汤色、香气、滋味方面得分更高；中温条件下揉捻的成品茶在汤色、香气方面略优于高温。

2.2.2 成品茶茶汤色差分析

表 3 茶汤色差值检测结果

Table 3 Measurement results of the color difference in sample liquors

样品	L	a	b
低温	87.73±1.22^{a}	23.60±1.64^{a}	75.30±2.24^{a}
中温	77.41±1.50^{b}	17.12±1.79^{b}	78.09±2.29^{a}
高温	69.61±0.75^{c}	17.97±1.31^{b}	77.82±1.04^{a}

注：同一列不同小写字母表示在 p<0.05 水平有显著差异。

对不同揉捻处理制得的成品茶茶汤进行色差值检测，结果如表 3 所示，低温揉捻成品茶茶汤 L 值最高，即亮度最高，与中温和高温揉捻达到显著性差异；低温揉捻成品茶茶汤 a 值最大，即红色最好，与中温和高温揉捻达到显著性差异，表明低温揉捻成品茶汤色更红；不同揉捻处理间茶汤 b 值未达显著性差异。试验结果表明，低温条件下的揉捻可提高工夫红茶茶汤的色泽和亮度。

2.3 成品茶主要内含品质成分分析

2.3.1 理化品质成分含量结果分析

由表 4 可知，低温揉捻处理 TFs 含量最高，中温、高温条件下 TFs 含量差异不显著；中温揉捻处理 TRs 含量最高，较之高温条件差异不显著，低温揉捻处理 TRs 含量最低，与中温、高温处理差异显著；TB 含量随着揉捻温度上升呈显著性增加。结合图 1 中的结果分析，中温揉捻过程中多酚氧化酶活性提高快，使多酚氧化形成的 TFs 更快更多地转化为 TRs 和 TB，因而 TFs 含量更低，TRs 和 TB 含量更多；而高温揉捻过程中，PPO 处于其最适反应温度条件下，尽管活性低于低温、中温处理，但是更有利的反应条件可能加

强了 TFs 的形成以及向 TRs 和 TB 的转化。

表 4 不同处理样品主要品质成分含量

Table 4 Content of the main quality components in different samples

样品	TFs/%	TRs/%	TB/%	茶多酚/%	游离氨基酸/%	可溶性糖/%	咖啡碱/%
低温	0.444±0.012[a]	3.423±0.201[b]	4.143±0.095[c]	13.221±0.133[b]	3.153±0.603[a]	4.299±0.134[b]	2.558±0.092[b]
中温	0.332±0.017[b]	4.378±0.071[a]	4.562±0.048[b]	14.654±0.261[a]	2.793±0.160[b]	5.367±0.122[a]	3.202±0.043[a]
高温	0.328±0.017[b]	4.195±0.043[a]	6.255±0.120[a]	14.632±0.038[a]	2.939±0.063[b]	5.481±0.127[a]	3.219±0.192[a]

注：同一列不同小写字母表示在 $p<0.05$ 水平有显著差异。

低温处理茶多酚含量显著低于其他两组处理，可能与揉捻完成后 PPO 和 POD 较高的酶活性有助于茶多酚的转化有关，这对于增强茶汤的醇和口感有一定作用。低温处理显著提高游离氨基酸含量，而可溶性糖、咖啡碱的含量均显著低于中温和高温处理，这一结果也显示了低温处理改善滋味成分的重要作用。

2.3.2 香气成分变化

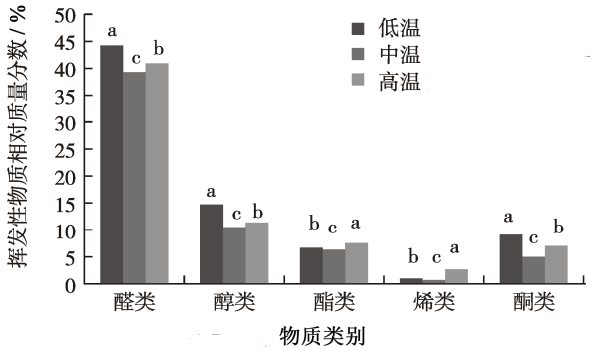


图 3 不同揉捻处理样品挥发性物质相对质量分数变化

Fig.3 Change in relative content of volatile compounds in the samples treated with different rolling processes

注：柱状图上的不同小写字母表示不同处理样品挥发性物质的差异有统计学意义($p<0.05$)。

已有研究[25]表明,工夫红茶中香气成分物质主要包括醛类、醇类、烯类、酮类和酯类，其中醛类[26]和醇类[27]所占香气物质含量最高。由图 3 所示，本试验的结果也充分印证了它们是工夫红茶主要的香气物质，特别是醛类、醇类所占比例分列第一、第二位。本实验结果显示，不同揉捻温度处理的成品茶在主要香气类别总量上存在显著性差异。特别是低温揉捻处理样品醛类、醇类、酮类成分的含量显著高于中温、高温揉捻处理；高温处理样品在酯类和烯类表现出最高的含量；且其醛类、醇类和酮类均显著高于中温揉捻。

具体到不同揉捻处理，不同挥发性物质的质量分数也存在差异，如表 5 所示，醛类香气成分中，低温揉捻处理不仅在检测出的香气物质数量上多余于另外两组处理，而且 2-甲基丁醛、正己醛、顺 2-己烯醛、2-庚烯醛、苯乙醛、辛醛和反-2-辛烯醛等的含量也具有显著性优势，它们是中国红茶普遍具有的香气物质[28]。在醇类香气成分中，低温处理样品在 β-芳樟醇、橙花醇、十五醇和顺-橙花叔醇等具有花香或果香的物质显著高于其他处理组分，特别是芳樟醇和橙花叔醇认为是小叶种红茶的特征香气成分[29,30]；高温处理在 2-甲基十六醇、2-甲基十五醇含量上表现出显著优势，但是对工夫红茶整体香气的贡献尚不明确。在烯、酯、酮类物质的差异分析中，低温处理也表现出一定优势，如水杨酸甲酯、3,5-辛二烯-2-酮、α-雪松烯、紫罗酮和香叶基丙酮等红茶香气重要贡物质[31]；高温处理检出具有果香的顺-己酸-3-己烯酯和柠檬香的 α-柠檬烯的含量显著高于其他处理，说明高温处理对于这些香气物质含量的提升有一定作用。

表 5 不同揉捻处理样品中显著性差异的香气物质及其含量

Table 5 Aroma compounds and their relative content with significant differences between samples treated with different rolling processes

类别	香气成分	香型[4,25~28]	香气物质相对质量分数			保留时间/min
			低温	中温	高温	
醛类	2-甲基丁醛	果香，甜香	5.92[a]	-	-	3.593
	3-甲基丁醛	果香	-	4.42[b]	7.76[a]	3.677
	正己醛	青草气，果香	2.19[a]	-	0.58[b]	5.871
	顺 2-己烯醛	清香	3.15[a]	2.29[b]	0.19[c]	7.506
	2-庚烯醛	青草气	0.15[a]	-	-	11.573
	苯甲醛	甜香	6.26[c]	6.92[b]	8.41[a]	11.802

转下页

接上页

	辛醛	果香，茉莉香	0.80[a]	-	-	13.75
	反-2-反-4-庚二烯醛	清香	1.55[c]	1.62[b]	1.93[a]	14.112
	苯乙醛	水仙花香	18.27[a]	17.22[b]	15.37[c]	15.784
	反-2-辛烯醛	脂肪香	0.76[a]	0.59[b]	0.47[c]	16.557
	2-壬烯醛	玫瑰香	0.75[b]	0.96[a]	-	22.45
	藏红花醛	木香，草药香	0.39[a]	-	-	24.803
	癸醛	花果香	1.20[c]	1.38[a]	1.24[b]	25.341
	β-环柠檬醛	柠檬香	1.07[b]	1.12[a]	0.71[c]	26.057
	2-苯基丁烯 2-醛	花香，蜜香	-	-	1.98[a]	29.096
	4-甲基-2-苯基戊烯-2-醛	可可香	1.39[c]	1.99[a]	1.71[b]	35.278
	5-甲基-2-苯基己烯-2-醛	蜜糖香	0.61[c]	0.97[a]	0.89[b]	42.574
醇类	2-烯基癸醇	肉香	0.18[a]	-	-	9.262
	β-芳樟醇	玉兰花香	9.49[a]	8.38[c]	9.21[b]	18.925
	橙花醇	玫瑰香	2.50[a]	1.99[b]	1.54[c]	28.836
	3,7,11-三甲基十二醇	花香	0.36[a]	0.17[b]	-	32.365
	2-甲基十六醇	-	0.13[c]	0.16[b]	0.35[a]	33.579
	十五醇	玫瑰香	0.30[a]	-	-	40.591
	2-甲基十五醇	-	-	-	0.27[a]	43.351
	2-甲基十六醇	-	0.44[a]	-	0.30[b]	46.988
	顺-橙花叔醇	花果香	1.38[a]	-	-	47.334
酯类	水杨酸甲酯	草药香	5.85[a]	4.97[c]	5.62[b]	24.362
	顺-己酸-3-己烯酯	果香	-	0.63[b]	0.79[a]	36.33
	癸酸乙酯	椰香	1.06[b]	0.85[c]	1.39[a]	37.302
烯类	*α*-柠檬烯	果香，柠檬香	-	-	2.11[a]	15.051
	α-雪松烯	木香	1.06[a]	0.83[b]	0.72[c]	38.356
酮类	3,5-辛二烯-2-酮	甜香	1.08[a]	0.89[b]	0.82[c]	18.498
	α-紫罗酮	紫罗兰香	1.16[a]	0.93[c]	1.04[b]	38.771
	反-香叶基丙酮	果香，木香	4.02[a]	0.79[c]	2.90[b]	40.449
	β-紫罗酮	木香，果香	3.10[a]	2.37[b]	2.30[c]	42.231

注：表中数值是各挥发性物质的色谱峰面积占色谱峰总面积的百分比,所有数据为 3 次平行试验结果的平均值。“-”表示该挥发性物质未检测到。同行数据后的不同小写字母表示在 $p<0.05$ 水平差异有统计学意义。

3 结论

3.1 本文比较分析了不同温度条件下揉捻处理样品 PPO 和 POD 酶活性变化。结果显示，揉捻过程中，PPO 和 POD 酶活性呈先升高后下降的趋势，且在低温揉捻条件下酶活性保留相对较高，这可能与低温条件减少了酶与邻醌等物质的结合有关[32]。同时，比较分析了成品茶的内含品质成分：低温揉捻样品的 TFs 含量较高，TRs 含量适中。其中 TFs 与茶汤滋味的鲜爽度和汤色的亮度成正相关，而 TRs 影响滋味的浓度、汤色的红度，含量太高，汤色变暗，而含量太低，茶汤红浓不够[33]，这一结果也与感官审评结果和汤色色差分析结果相对应，即低温揉捻样品汤色亮度较高、红艳程度较强。此外，低温条件下较低的茶多酚、咖啡碱保留以及较高的氨基酸含量，对于茶汤鲜爽滋味的形成也起到了重要作用。另一方面，对香气成分的分析结果显示，低温揉捻在香气种类和香气含量上均超过中温、高温处理，特别是一些工夫红茶重要香气成分如 2-甲基丁醛、正己醛、顺 2-己烯醛、苯乙醛、辛醛、反-2-辛烯醛、*β*-芳樟醇、橙花醇、十五醇、顺-橙花叔醇、水杨酸甲酯、3,5-辛二烯-2-酮、*α*-雪松烯、紫罗酮和香叶基丙酮等的含量，都显示出显著性优势。

3.2 综上所述，低温揉捻(20±2 ℃)工艺能够在最大程度上保留 PPO 和 POD 等酶的活性，有效调节 TFs、TRs 以及 TB 三种色素的比例关系，显著提升香气物质的种类以及含量，同时对于成品茶茶汤色泽、香气、

滋味等品质的提升作用明显。因而，低温揉捻可以作为提高工夫红茶加工品质的有效技术手段。

参考文献

[1] 刘飞.工夫红茶揉捻中理化特性变化及成条率评价方法研究[D].重庆:西南大学,2014
LIU Fei. Study on the change of physical and chemical properties and the evaluation method of twing rate during rolling process of congou black tea [D]. Chongqing: Southwest University, 2014

[2] Pandy S. Flavour the queen of tea character Ⅲ [J]. The Assam Review and Tea News, 1994, 83(1): 9-11

[3] Dongmei Wang, Eriko Kurasawa, Yuichi Yamaguchi, et al. Analysis of glycosidically bound aroma precursors in tea leaves.2.changes in glycoside contents and glycosidase activities in tea leaves during the black tea manufacturing process [J]. J. Agr. Food Chem., 2001, 49(4): 1900-1903

[4] 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
WANG Hua-fu, TADAKAZU Takeo, KAZUO Ina, et al. Characteristic aroma components of qimen black tea [J]. Journal of Tea Science, 1993, 13(1): 61-68

[5] 宛晓春.茶叶生物化学[M].北京:中国农业出版社,2003
WAN Xiao-chun. Tea biochemistry [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003

[6] Ozdemir F, Gokalp H Y, Nas S. Effects of rolling method on physical characteristics of rolled tea leaves [J]. S. L. J. Tea Science, 1992, 61(2): 51-68

[7] Park J H, Lim K C, Cho D B, et al. Effect of a final rolling process on okro tea quality [J]. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 2003, 32(1): 58-61

[8] Yuzo M, Yusuke S, Yuichi Y. Extracellular and intracellular resistance and capacitance of cell membranes and cell wall of tea leaves during the rolling process [J]. Chagyo Kenkyu Hokoku, 2006, 101: 29-34

[9] Naheed Z, Barech A R, Sajid M, et al. Effect of rolling, fermentation and drying on the quality of black tea [J]. Sarhad Journal of Agriculture, 2007, 23(3): 577-580

[10] 罗龙新.鲜叶物理特性与成条关系的初步探讨[J].中国茶叶,1984,4:9-11
LUO Long-xin. Discussion on the releationship between physical characteristic and stripping of fresh tea leaves [J]. China Tea, 1984, 4: 9-11

[11] Hiltion P J. The effect of shade upon the chemical constituents of the flush of tea [J]. Trop. Sci., 1974, 16: 15-24

[12] 钟萝.茶叶品质理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1989
ZHONG Luo. Physical and chemical analysis on tea quality [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1989

[13] GB/T 23776-2009,茶叶感官审评方法[S]
GB/T 23776-2009, Methodology of sensory evaluation of tea [S]

[14] GB/T 8313-2008,茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[S]
GB/T 8313-2008, Determination of total polyphenols and catechins content in tea [S]

[15] GB/T 8314-2013,茶游离氨基酸总量的测定[S]
GB/T 8314-2013, Tea-determination of free amino acids content [S]

[16] GB/T 8312-2013,茶 咖啡碱测定[S]
GB/T 8312-2013, Tea-determination of caffeine content [S]

[17] 李晓旭,李家政.优化蒽酮比色法测定甜玉米中可溶性糖的含量[J].保险与加工,2013,13(4):24-27
LI Xiao-xu, LI Jia-zheng. Determination of the content of soluble sugar in sweet corn with optimized anthrone colorimetric method [J]. Storage and Process, 2013, 13(4): 24-27

[18] 吕海鹏,钟秋生,施江,等.普洱茶挥发性成分指纹图谱研究[J].茶叶科学,2014,34(1):71-78
LV Hai-peng, ZHONG Qiu-sheng, SHI Jiang, et al. Study on fingerprint on volatile constituents of Pu-erh tea [J]. Journal of Tea Science, 2014, 34(1): 71-78

[19] Aidi Wannes W, Mhamdi B, Marzouk B. GC comparative analysis of leaf essential oils from two myrtle varieties at different phenological stages [J]. Chromatographia, 2009, 69(1/2): 145-150

[20] Wang L F, Lee J Y, Chung J O, et al. Discrimination of teas with different degrees of fermentation by SPME-GC analysis of the characteristic volatile flavor comprounds [J]. Food Chem., 2008, 109(1): 196-206

[21] Soria A C, Sanz J, Martinez-Castro I, SPME followed by GC-MS: a powerful technique for qualitative analysis of honey volatiles [J]. Eur. Food Res. Technol., 2008, 228(4): 579-590

[22] 王晶懋,张楚涵,闫庆伟,等.植物抗旱的生理渗透调节及保护酶活性研究进展[J].黑龙江生态工程职业学院学报,2012,25(2):31-33
WANG Jing-mao, ZHANG Chu-han, YAN Qing-wei, et al. Research progress on plant drought-resistance physiological

osmotic regulation and protection of enzyme activity [J]. Journal of Heilongjiang Vocational Institute of Ecological Engineering, 2012, 25(2): 31-33

[23] 熊志强,周磊,刘伟.多酚氧化酶活性抑制的研究进展[J].食品工业科技,2015,21:394-400
XIONG Zhi-qiang, ZHOU Lei, LIU Wei. Research progress in the inhibition of polyphenoloxidase [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 21: 394-400

[24] 范金波,侯宇,蔡茜彤,等.果蔬中酚类成分及其抑制酶活性的研究进展[J].食品与发酵科技,2014,50(4):74-78
FAN Jin-bo, HOU Yu, CAI Xi-tong, et al. Research progress of phenolic constituents in fruits and vegetables and its inhibition of enzyme activity [J]. Food and Fermentation Technology, 2014, 50(4): 74-78

[25] Schuh C, Schieberle P. Characterization of the key aroma compounds in the beverage prepared from darjeeling black tea: quantitative differences between tea leaves and infusion [J]. J. Agr. Food Chem., 2006, 54(3): 916-924

[26] Alasalvar C, Topal B, Serpen A, et al. Flavor characteristics of seven grades of black tea produced in Turkey [J]. J. Agr. Food Chem., 2012, 60(25): 6323-6332

[27] 候冬岩,回瑞华,李铁纯,等.正山小种红茶骏眉系列的香气成分研究[J].食品科学,2011,32(22):285-287
HOU Dong-yan, HUI Rui-hua, LI Tie-chun, et al. Analysis of aroma components in junmei series of lapsang souchong black tea [J]. Food Science, 2011, 32(22): 285-287

[28] 王秋霜,陈栋,许勇泉,等.中国名优红茶香气成分的比较研究[J].中国食品学报,2013,13(1):195-200
WANG Qiu-shuang, CHEN Dong, XU Yong-quan, 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

[29] Ravichandran R, Parthiban R. The impact of processing technique son tea volatiles [J]. Food Chem., 1998, 62(3): 347-353

[30] Ravichandran R. Carotenoid composition distribution and degradation to flavor volatiles during black tea manufacture and the effect of carotenoid supplementation on tea quality and aroma [J]. Food Chem., 2002, 78(1): 23-28

[31] 袁海波,尹军峰,叶国柱,等.茶叶香型及特征物质研究进展[J].中国茶叶,2009,31(9):11-15
YUAN Hai-bo, YIN Jun-feng, YE Guo-zhu, et al. Research progress on tea aroma and characteristic components [J]. China Tea, 2009, 31(9): 11-15

[32] 丰金玉,刘坤言,秦昱,等.红茶加工中多酚氧化酶、过氧化物酶和 β-葡萄糖苷酶活性变化[J].农学学报,2014,4(11):96-99
FENG Jin-yu, LIU Kun-yan, QIN Yu, et al. Activity changes of polyphenol oxidase, peroxidase and β-Glycosidase in black tea processing [J]. Journal of Agriculture, 2014, 4(11): 96-99

[33] 冯琳,沈强,何萍,等.中国工夫红茶研究进展[J].贵州茶叶,2012,40(3):11-16
FENG Lin, SHEN Qiang, HE Ping, et al. Research progress on Chinese congou black tea [J]. Journal of Guizhou Tea, 2012, 40(3): 11-16