

变温干燥处理对红茶品质的影响

Effect of variable temperature drying on the quality of black tea

项 希¹ 李 适¹ 徐洋洋² 肖文军¹ 龚志华¹

XIANG Xi¹ LI Shi¹ XU Yang-yang² XIAO Wen-jun¹ GONG Zhi-hua¹

(1. 湖南农业大学茶学教育部重点实验室, 湖南 长沙 410128;

2. 石门县茶祖印象太平茶业专业合作社, 湖南 常德 415300)

(1. Key Lab of Tea Science of Ministry of Education, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Professional Cooperative of Shimen Chazu Impression Taiping Tea Industry, Changde, Hunan 415300, China)

摘要:目的:探讨变温干燥处理对红茶品质的影响。方法:在萎凋、揉捻、发酵等红茶加工工艺的基础上,对相对高温和相对低温干燥条件下的毛火初干、足火复干及其组合分别进行不同温度、不同时间的变温处理,从感官品质、滋味品质和香气品质 3 个方面测定红茶品质的变化。结果:与传统干燥工艺加工的红茶相比,采用 110 ℃ 毛火初干 10 min 以及 90 ℃ 复干 10 min、再升温至 110 ℃ 恒温复干 3 min、然后降温至 90 ℃ 烘至足干的足火变温干燥处理工艺技术加工出的红茶品质较好,呈甜香带花香且高长、滋味醇厚较爽的感官品质特征;同时其茶黄素和茶红素含量显著增加($P < 0.05$),茶褐素含量显著下降($P < 0.05$);醇类香气物质相对含量由 52.60% 上升至 62.99%,酯类物质相对含量由 14.27% 上升至 21.42%,其中,芳樟醇、 α -松油醇、水杨酸甲酯等花果香香气成分的相对含量显著增加($P < 0.05$),并新增加了甲基庚烯酮、己烯醛、丁香酚等花果香香气成分。结论:在红茶足火复干过程中,适当的变温处理有利于提高红茶品质。

关键词:红茶;茶鲜叶;变温干燥;感官品质;生化成分

Abstract: Objective: In order to investigate the effects of variable temperature treatment on the quality of black tea in the drying process and provide the reference for the machining of the high quality of black tea, the fresh leaves with one bud and two leaves, which were withered. Methods: curled and fermented at the same level, belonging to the breed of "Bixiangzao" were picked as raw materials; the initial drying, the re-drying and the combinations in the process of drying were treated with different

temperature and different periods of time. Results: Through the sensory evaluation of tea samples, the analysis of the content of the main biochemical components and aroma components, the results showed that compared with the traditional processing technology of black tea, the quality of black tea was the best by the drying process of the initial fire at 110 ℃ for 10 minutes, the re-drying fire at 90 ℃ for 10 minutes, then to the 110 ℃ for 3 minutes and then 90 ℃ backing to make enough dry. And the aroma of the black tea was sweet with flowers and long high, the soup color was yellow and bright, the taste was mellow and with bright red leaves. Content of the aflavins and the arubigins had increased significantly ($P < 0.05$), the abrownins content was significantly reduced ($P < 0.05$). The relative content of alcohol aroma substances increased from 52.60% to 62.99%, and the relative content of esters increased from 14.27% to 21.42%. Among them, the relative content of linalool, α -terpineol, methylsalicylate and other flower and fruit aroma components increased significantly ($P < 0.05$); Furthermore, several aroma components including methyl heptenone, hexenal, 2, 4-di-tert-butylphenol and eugenol were presented. Conclusion: During the black tea drying process, proper temperature change treatment was conducive to creating conditions for the drying processing of high-quality black tea.

Keywords: black tea; fresh tea leaves; variable temperature treatment; sensory quality; biochemical components

红茶是中国六大茶类之一,因其具有“红汤红叶”的感官品质和预防肿瘤^[1]、防治心血管疾病^[2]、抗氧化^[3]、降脂减肥^[4]等多种生理功能而备受消费者喜爱。其加工主要包括萎凋、揉捻、发酵、干燥等工艺技术,其中,干燥工艺是终止发酵、散失水分、发展茶香等的一道重要工序。而茶叶香气物质为多种不同成分组成的混合物,常

基金项目:国家重点研发计划(编号:2017YFD400803)

作者简介:项希,女,湖南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:龚志华(1969—),女,湖南农业大学教授,博士。

E-mail: gzh041211@163.com

收稿日期:2021-03-22

压下沸点一般为 70~300 ℃,依据其沸点的不同,可分为高、中、低沸点 3 类成分^[5]。不同干燥温度下,可产生不同的香气成分,并能影响红茶茶多酚、茶色素、可溶性糖等物质的含量^[6]。研究发现,70 ℃干燥条件下的茶叶中低沸点的脂肪醇和醛类含量较高,90~110 ℃干燥条件下的茶叶中则含有较高的萜烯醇和芳香族醇类,而 130 ℃干燥条件下的茶叶则出现吡嗪类、吡咯类物质^[7];同时,糖苷类香气物质是茶鲜叶中的主要香气前体物质,其含量约为茶鲜叶总香气前体物质的 77%^[8],水解后表现出不同的香型风味。大部分茶叶香气物质以水溶性较好的结合态苷的形式存在于茶叶中^[9]。此外,研究^[10]表明,在足火干燥阶段适当高温也可提高红茶儿茶素、茶多酚等含量,并使红茶香气比例协调,进而提高红茶品质。综上,对干燥过程中的红茶进行变温处理,理论上不仅能够激发不同沸点香气物质的产生,而且能够提高红茶的某些滋味品质成分含量,但相关研究尚未见报道。研究拟在红茶加工工艺的基础上,以发酵叶为原料,对相对高温和相对低温条件下的干燥工艺分别进行毛火变温、足火变温及其组合处理,探究变温干燥处理对红茶品质的影响,以期为提高红茶的加工品质提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

茶树:品种碧香早夏秋季一芽二叶茶鲜叶,石门县茶祖印象太平茶厂;

儿茶素(C)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、表没食子儿茶素(EGC)、表儿茶素(EC)、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、谷氨酸标准品:美国 Sigma 公司;

甲酸、甲醇、甲酰胺:色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;

甲酸乙腈:色谱纯,美国天地有限公司;

浓硫酸:优级纯,株洲市星空化玻有限责任公司;

其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

调速浪青机:6CWL-90 型,福建佳友茶叶机械智能科

技股份有限公司;

茶叶烘焙机:6CHZ-9B 型,福建佳友茶叶机械智能科技股份有限公司;

揉捻机:40 型,浙江上洋机械股份有限公司;

电热鼓风干燥箱:WGL-230B 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

台式低速离心机:TDZ4 型,湖南赫西仪器装备有限公司;

可见分光光度计:722E 型,上海光谱仪器有限公司;

高效液相色谱仪:LC-2010AHT 型,日本岛津公司;

气质联用色谱仪:GC-MS-QP2010 型,日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 茶样加工工艺及参数控制 通过预试验及茶样感官审评,对相对高温和相对低温条件下的红茶干燥工艺分别进行毛火变温、足火变温及其组合处理,各变温处理的茶样制备工艺流程及技术参数如图 1 和表 1 所示。

1.3.2 感官品质评审 按 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》执行。由 5 名副教授职称以上的茶学专业教师组成审评小组,采用 3 g 茶样、150 mL 沸水、冲泡 5 min、密码评审。评定汤色、香气、滋味和叶底,按每项满分 100 分计,由于所制红茶茶样外形差异不大,故外形统一评为 100 分,总分采用加权法,茶样综合评分=外形×0.25+汤色×0.10+香气×0.25+滋味×0.30+叶底×0.10。

1.3.3 滋味品质成分测定

(1) 水分:按 GB/T 8304—2013《茶 水分测定》执行。

(2) 水浸出物含量:按 GB/T 8305—2013《茶 水浸出物测定》执行。

(3) 茶多酚含量:按 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》执行。

(4) 氨基酸含量:按 GB/T 8314—2013《茶 游离氨基酸总量的测定》执行。

(5) 可溶性糖含量:采用蒽酮比色法^[11]。

(6) 茶黄素、茶红素及茶褐素含量:采用系统分析法^[12]。

(7) 儿茶素、咖啡碱与茶黄素含量:采用高效液相色谱法^[13]。

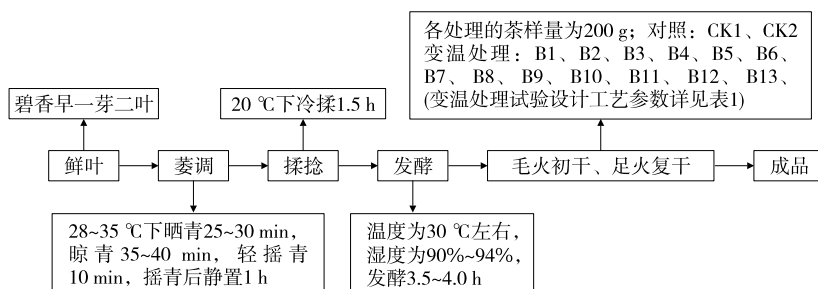


图 1 红茶加工中变温干燥处理工艺流程

Figure 1 Technological process of variable temperature drying treatment in black tea processing

表 1 红茶加工中变温干燥处理工艺技术参数

Table 1 Technological parameters of variable temperature drying treatment in black tea processing

编号	变温处理	毛火处理条件	足火处理条件
CK1		110 ℃ 10 min	90 ℃ 25 min
B1		110 ℃ 8 min;130 ℃ 2 min	90 ℃ 25 min
B2	毛火变温处理	110 ℃ 7 min;130 ℃ 3 min	90 ℃ 25 min
B3		110 ℃ 6 min;130 ℃ 4 min	90 ℃ 25 min
B4		110 ℃ 5 min;130 ℃ 5 min	90 ℃ 25 min
B5		110 ℃ 10 min	90 ℃ 10 min;110 ℃ 2 min;90 ℃ 13 min
B6	足火变温处理	110 ℃ 10 min	90 ℃ 10 min;110 ℃ 3 min;90 ℃ 12 min
B7		110 ℃ 10 min	90 ℃ 10 min;110 ℃ 4 min;90 ℃ 11 min
B8		110 ℃ 10 min	90 ℃ 10 min;110 ℃ 5 min;90 ℃ 10 min
B9		110 ℃ 8 min;130 ℃ 2 min	90 ℃ 10 min;110 ℃ 3 min;90 ℃ 12 min
B10	组合处理	110 ℃ 8 min;130 ℃ 2 min	90 ℃ 10 min;110 ℃ 4 min;90 ℃ 11 min
CK2		90 ℃ 10 min	70 ℃ 35 min
B11	相对低温干燥的变温处理	90 ℃ 7 min;110 ℃ 3 min	70 ℃ 35 min
B12		90 ℃ 10 min	70 ℃ 10 min;90 ℃ 3 min;70 ℃ 22 min
B13		90 ℃ 7 min;110 ℃ 3 min	70 ℃ 10 min;90 ℃ 3 min;70 ℃ 22 min

1.3.4 香气品质成分测定 根据文献[14—17]并修改。

(1) 顶空固相微萃取:称取各茶样 2.00 g,分别转入 10 mL 萃取瓶中,垫片和封口膜密闭瓶口,80 ℃ 水浴平衡 10 min,插入装有 65 μm PDMS/DVB 萃取头(试验前先 将萃取头老化 45 min)的手动进样器中顶空萃取 60 min, 取出后立即插入色谱仪进样口中解吸附 5 min,同时启动 仪器收集数据。

(2) GC 条件:CD-WAX 弹性石英毛细管柱(30 m 英 毛细管柱);进样口温度 240 ℃;流速 0.98 mL/min;升温 程序:60 ℃ 保持 2 min,以 4 ℃/min 升至 180 ℃,保持 10 min,以 10 ℃/min 升至 220 ℃,保持 5 min,以 15 ℃/min 升至 240 ℃ 保持 5 min;不分流进样;载气为 He;EI 源,电子能量 70 eV;离子源温度 200 ℃,界面温度 220 ℃,核质比扫描范围 45~500 (*m/z*)。

(3) 香气品质成分定性定量:由 GC-MS 分析得到的 质谱数据经计算机在 NIST98.L 标准谱库中检索,并结合 正构烷烃的保留时间确定其化学成分,同时采用峰面积 归一化法定量,得到各组分的相对含量(组分峰面积占总 峰面积的百分比);结合保留时间、质谱、实际成分和保留 指数等参数进一步确定部分组分。

1.3.5 统计方法 茶样制备试验重复 3 次,所有茶样分 析设置 3 个平行,结果以平均数±标准差表示,使用 Excel 软件进行数据处理,使用 SPSS 软件进行显著性分 析;*P*<0.05 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 对红茶感官品质的影响

由表 2 可知,相对高温干燥条件下,与茶样 CK1 相 比,变温处理对茶样 B1 及茶样 B5~B10 的香气和滋味品 质有提升作用,其中茶样 B6 的感官品质综合评分最高, 且随着足火变温干燥时间的增加,茶样的综合评分有所 下降,但均优于 CK1 对照样,表明红茶加工过程中,变温 干燥处理有利于促进红茶感官品质的提升。相对低温干 燥条件下,茶样 B11 的感官品质综合评分最高,同时各变 温处理茶样均带有花香,可能与制作工艺中“摇青”加“低 温慢烘”而产生的花香有关^[18]。此外,B2、B3、B4 3 个茶 样可能由于变温处理的温度过高或时间过长,香气不以 甜香为主而出现了高火香,因此在后续生化成分分析中 不再进行分析。

2.2 对红茶滋味品质成分的影响

2.2.1 对水浸出物、氨基酸、可溶性糖以及咖啡碱含量的 影响 由表 3 可知,不同变温干燥处理下的茶样水浸出 物含量无显著差异。相对高温干燥条件下,随着足火变 温时间的增加,氨基酸含量从 2.07%增加至 2.28%,同时 茶样 B5 与茶样 B8 的可溶性糖含量分别增加了 10.14%和11.82% (*P*<0.05);足火变温处理的茶样中咖 啡碱含量均有所下降,其中茶样 B1 下降了 12.39% (*P*< 0.05)。相对低温干燥条件下,与茶样 CK2 相比,不同变 温处理的茶样中氨基酸含量整体较高,茶样 B11 与茶样 B12 的氨基酸含量分别增加了 10.43%,9.13% (*P*< 0.05),可溶性糖含量增幅较小,咖啡碱含量有所增加但无

显著差异。红茶干燥过程中,茶叶中的氧化酶变性失活,茶叶内的生化反应主要以非酶性热化学反应^[19]为主,在热的作用下,部分蛋白质、糖胺化合物、淀粉裂解形成氨基酸和可溶性糖^[20],含量增加,因此变温处理有利于提高

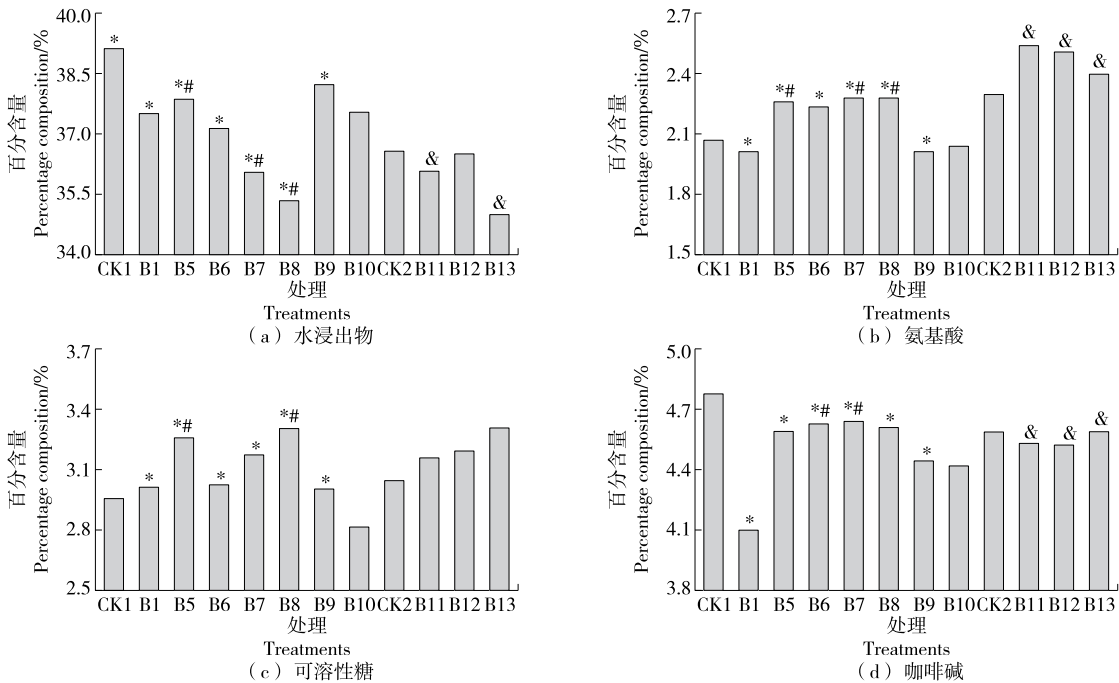
茶叶氨基酸和可溶性糖含量。

2.2.2 对茶多酚、儿茶素以及茶黄素、茶红素、茶褐素含量的影响 由表 3、表 4 可知,相对高温干燥条件下,随着足火变温时间的增加,茶多酚含量显著下降($P<0.05$);

表 2 变温干燥处理对红茶感官品质的影响

Table 2 Effect of variable temperature drying on sensory evaluation of black tea

处理	香气(25%)		汤色(10%)		滋味(30%)		叶底(10%)		综合评分
	评语	评分	评语	评分	评语	评分	评语	评分	
CK1	甜香	90.0	红橙明亮	91.0	较醇尚爽	92.0	较红亮	93.0	93.50
B1	甜香	93.0	红亮	92.0	较醇尚爽	92.5	较红亮	92.0	94.40
B2	高火香稍带甜香	88.0	橙红明亮	92.0	醇较爽	93.0	红,较匀亮	91.0	93.20
B3	高火香稍带甜香	86.0	红橙明亮	91.0	醇较爽	93.5	红较暗	90.0	92.65
B4	高火香	85.0	红橙明亮	91.0	醇较爽	93.5	红较暗	90.0	92.40
B5	甜香带花香	93.0	红橙明亮	91.0	醇较爽	93.5	红,较匀亮	93.0	94.70
B6	甜香带花香,高长	94.0	橙红明亮	92.0	醇较爽	93.0	红,较匀亮	93.0	94.85
B7	甜香带花香	93.0	红橙明亮	91.0	醇较爽	93.5	尚红,带暗张	90.0	94.40
B8	甜香稍带花香	92.5	橙红明亮	92.0	醇较爽	94.0	尚红,稍暗	91.0	94.63
B9	甜香	93.0	红较亮	92.0	醇较爽	93.5	较红,稍暗	91.0	94.55
B10	甜香微酸	91.5	红亮	92.0	醇尚爽	92.0	较红亮	92.0	93.88
CK2	甜香带花香,高长	94.0	红橙较亮	92.0	醇尚爽	93.0	较红,夹青条	91.0	94.65
B11	甜香带花香,高长	94.0	红橙较亮	92.0	醇尚爽	93.0	较红,较匀亮	92.0	94.75
B12	甜香带花香	93.0	红橙较亮	92.0	醇较爽	93.5	较红亮	92.0	94.65
B13	甜香带花香	93.0	红橙较亮	92.0	较醇爽	93.0	红,较匀亮	92.5	94.55



* 表示与 CK1 相比,差异显著($P<0.05$);# 表示与 B6 组相比,差异显著($P<0.05$);& 表示与 CK2 相比,差异显著($P<0.05$)

图 2 变温干燥处理对红茶主要理化成分含量的影响

Figure 2 Effect of variable temperature drying on the content of main physicochemical component in black tea

而与茶样 CK1 相比,不同变温处理茶样的总儿茶素及其儿茶素含量均显著增加($P<0.05$),其中茶样 B9 的总儿茶素含量增加了 11.90%,简单儿茶素和酯型儿茶素分别增加了 12.00%,11.86%;同时各变温干燥处理茶样中茶黄素含量以及茶黄素(TF)、茶黄素-3'-单没食子酸酯(TF-3'G)、茶黄素-3-单没食子酸酯(TF-3G)、茶黄素双没食子酸酯(TFDG)4 种茶黄素含量不同程度增加,其中 TFDG 含量最高。与 CK1 相比,茶样 B6 的茶黄素、茶红素含量分别增加了 28.95%和 9.22%($P<0.05$),茶褐素含量降低了 9.17%($P<0.05$)。相对低温干燥条件下,与茶样 CK2 相比,不同变温处理的茶样中茶多酚含量下降幅度较小;各变温处理茶样中总儿茶素含量有所增加但无显著差异;茶样 B11 和茶样 B12 的茶黄素含量分别增加了 21.95%和 19.51%($P<0.05$),且茶样 B12 的茶红素含量也增加了 23.30%($P<0.05$),而茶褐素含量无显著

变化。

研究表明,红茶干燥过程中,茶叶内的生化反应主要是以非酶性热化学反应^[19]为主,茶多酚在高温条件下降解^[21-22],含量有所降低,同时变温处理在一定程度上升高了干燥温度,快速钝化了氧化酶活性,儿茶素的酶促氧化速率减慢,儿茶素含量有所增加,但随着变温时间的增加,儿茶素发生自动氧化、热解和异构等^[23]反应而使其含量降低;变温处理一定程度上促进了儿茶素经过酶或非酶氧化形成醌类物质,儿茶素邻醌与没食子儿茶素邻醌配对,进行骈环反应形成 TFs^[24],儿茶素和茶黄素进一步氧化聚合等形成茶红素^[25],而茶黄素(TFs)、茶红素(TRs)、茶褐素(TBs)是与红茶品质密切相关的 3 种茶色素物质^[5],因此变温处理的茶样中茶黄素、茶红素含量有所增加,促进了红茶汤味浓度和强度的增加,进而在一定程度上增加了茶样醇爽的滋味。

表 3 变温干燥处理对红茶儿茶素含量的影响[†]

Table 3 Effect of variable temperature drying on the content of catechin in black tea

处理	茶多酚/%	EGC/%	C/%	EC/%	EGCG/%	GCG/%
CK	23.18±0.19	0.45±0.02	0.11±0.01	0.17±0.00	1.05±0.00	0.09±0.00
B1	22.47±0.15 *	0.44±0.02	0.11±0.01	0.17±0.01 *	1.07±0.01 *	0.11±0.00 *
B5	19.04±0.05 *	0.51±0.02	0.12±0.01	0.16±0.01 *	1.21±0.01 *	0.14±0.01 *
B6	20.08±0.09 *	0.53±0.02 *	0.08±0.00 * #	0.16±0.01 *	1.19±0.01 * #	0.16±0.00 * #
B7	19.53±0.12 *	0.51±0.02	0.08±0.01 * #	0.14±0.00 * #	1.17±0.01 * #	0.14±0.00 *
B8	17.03±0.14 * #	0.53±0.02 *	0.06±0.00 * #	0.13±0.01 * #	1.07±0.01 * #	0.14±0.01 * #
B9	21.53±0.10 *	0.53±0.02 *	0.13±0.01 *	0.19±0.00 *	1.17±0.00 *	0.13±0.01 *
B10	22.20±0.14	0.49±0.02	0.11±0.00	0.19±0.01	1.12±0.01	0.13±0.00
CK2	20.65±0.15	0.53±0.03	0.09±0.00	0.15±0.00	1.08±0.01	0.13±0.01
B11	20.89±0.20	0.45±0.02 ^{&}	0.10±0.01	0.15±0.01 ^{&}	1.14±0.00 ^{&}	0.11±0.00 ^{&}
B12	21.68±0.15	0.56±0.03	0.06±0.00 ^{&}	0.14±0.01 ^{&}	1.12±0.00 ^{&}	0.13±0.01 ^{&}
B13	19.21±0.20 ^{&}	0.59±0.03 ^{&}	0.09±0.00	0.14±0.00 ^{&}	1.09±0.00	0.14±0.00 ^{&}

处理	ECG/%	简单儿茶素/%	酯型儿茶素/%	总儿茶素/%	简单儿茶素/酯型儿茶素
CK	0.62±0.00	0.73±0.03	1.77±0.00	2.52±0.03	0.41±0.02
B1	0.63±0.01	0.72±0.03	1.81±0.00 *	2.52±0.03	0.40±0.02
B5	0.63±0.01 *	0.79±0.03	1.98±0.01 *	2.77±0.01 *	0.40±0.02
B6	0.61±0.01 #	0.78±0.03	1.96±0.01 * #	2.74±0.01 *	0.40±0.02
B7	0.60±0.01 * #	0.74±0.02	1.92±0.02 * #	2.66±0.01 * #	0.38±0.02 *
B8	0.55±0.01 * #	0.71±0.02 #	1.76±0.02 #	2.48±0.01 #	0.39±0.02
B9	0.68±0.00 *	0.84±0.03 *	1.98±0.01 *	2.82±0.02 *	0.40±0.02
B10	0.65±0.01	0.79±0.03	1.89±0.01	2.68±0.01	0.42±0.02
CK2	0.59±0.00	0.77±0.03	1.80±0.00	2.56±0.04	0.43±0.02
B11	0.62±0.00 ^{&}	0.70±0.03 ^{&}	1.87±0.00 ^{&}	2.57±0.03	0.37±0.02 ^{&}
B12	0.56±0.01 ^{&}	0.77±0.02	1.81±0.01	2.58±0.03	0.42±0.02
B13	0.53±0.00 ^{&}	0.82±0.03	1.76±0.00 ^{&}	2.58±0.03	0.47±0.02 ^{&}

† * 表示与 CK1 相比,差异显著($P<0.05$),# 表示与 B6 组相比,差异显著($P<0.05$);& 表示与 CK2 相比,差异显著($P<0.05$)。

表 4 变温干燥处理对红茶茶黄素组分含量及总量的影响[†]

Table 4 Effect of variable temperature drying on the content amount of theaflavs, thearubigins and theabrownines of black tea

处理	茶黄素组分				TFs/%	TRs/%	TBs/%	TRs/TFs
	TF/%	TF-3G/%	TF-3G/%	TFDG/%				
CK1	0.05±0.00	0.08±0.00	0.04±0.00	0.21±0.01	0.38±0.01	4.99±0.13	4.36±0.06	13.19±0.06
B1	0.05±0.00	0.09±0.00	0.05±0.00	0.25±0.01 *	0.44±0.01 *	4.01±0.02 *	3.94±0.02 *	9.14±0.12 *
B5	0.04±0.00 * #	0.09±0.00 *	0.05±0.00 * #	0.20±0.01 *	0.38±0.01 * #	5.29±0.03 * #	4.49±0.02 * #	13.77±0.03 #
B6	0.06±0.00 *	0.10±0.00	0.06±0.00	0.28±0.00 *	0.49±0.00 *	5.45±0.02 *	3.96±0.00 *	11.04±0.08 *
B7	0.05±0.00 * #	0.09±0.00	0.05±0.00 * #	0.26±0.00 * #	0.46±0.01 * #	5.40±0.03 *	4.34±0.03 #	11.74±0.20 * #
B8	0.04±0.00 *	0.08±0.00 *	0.05±0.00 * #	0.23±0.00 * #	0.40±0.00 * #	5.02±0.00 #	4.31±0.03 #	12.58±0.11 * #
B9	0.05±0.00	0.09±0.00	0.05±0.00	0.25±0.00 *	0.44±0.00 *	4.18±0.08 *	3.97±0.02 *	9.59±0.15 *
B10	0.05±0.00	0.09±0.00	0.05±0.00	0.27±0.00 *	0.48±0.01	4.75±0.01	4.07±0.02	9.99±0.19
CK2	0.05±0.00	0.08±0.00	0.05±0.00	0.23±0.00	0.41±0.00	4.42±0.09	4.14±0.02	10.79±0.32
B11	0.06±0.00 ^{&}	0.10±0.00 ^{&}	0.06±0.00	0.30±0.02 ^{&}	0.50±0.03 ^{&}	4.84±0.02 ^{&}	4.05±0.03 ^{&}	9.65±0.13
B12	0.06±0.00 ^{&}	0.10±0.00	0.06±0.00 ^{&}	0.27±0.00 ^{&}	0.49±0.00 ^{&}	5.46±0.07 ^{&}	4.37±0.01 ^{&}	11.22±0.10 ^{&}
B13	0.03±0.00 ^{&}	0.07±0.00 ^{&}	0.04±0.00	0.20±0.00 ^{&}	0.36±0.02	4.66±0.01 ^{&}	3.86±0.02 ^{&}	13.10±0.09 ^{&}

[†] * 表示与 CK1 相比,差异显著($P<0.05$),# 表示与 B6 组相比,差异显著($P<0.05$);& 表示与 CK2 相比,差异显著($P<0.05$)。

2.3 对红茶香气品质成分的影响

选择感官品质和滋味品质较好的 B1、B6、B8、B9、B11、B12、B13 7 个变温处理茶样和 CK1、CK2 两个对照样进行香气成分分析,结果如表 5 所示。由表 5 可知,茶样 CK1 检测出 59 种香气成分,茶样 B1、B6、B8、B9 分别检测出 51,51,48,42 种香气成分;变温处理下,茶样中的部分低、中沸点香气物质得以挥发或是转化,与任

洪涛等^[26]的研究相符;与茶样 CK1 相比,变温处理茶样新增加了 1-辛烯-3-醇、顺-3-壬烯-1-醇、甲基庚烯酮、己烯醛、(-)-*Alpha*-萜澄茄油烯、 α -炉甘草烯、丁香酚、2,4-二叔丁基苯酚、3,5-二叔丁基苯酚、立方酚等甜香、花香香气成分,而且苯乙醇、芳樟醇、 α -松油醇、苯乙醛、水杨酸甲酯等具有花果香香气成分的相对含量有较大幅度的增加。

表 5 变温干燥处理茶样主要香气品质成分相对含量比较

Table 5 Comparison of relative contents of main aroma components in variable temperature drying tea samples

种类	保留时间/min	香气化合物	相对含量/%								
			CK	B1	B6	B8	B9	CK2	B11	B12	B13
醇类	13.383	苯甲醇	0.45	0.79	0.35	1.01	1.05	1.20	1.04	0.74	0.52
	17.066	苯乙醇	5.01	7.95	8.36	7.43	5.93	6.65	5.66	6.60	5.72
	15.145	α -甲基- α -[4-甲基-3-戊烯基]环氧乙烷甲醇	1.45	2.33	1.22	/	/	/	2.23	/	/
	16.551	芳樟醇	15.25	13.98	27.64	19.94	18.92	26.11	24.83	21.02	21.76
	20.375	2,2,6-三甲基-6-乙烯基四氢-2 <i>H</i> -呋喃-3-醇	1.45	2.47	1.58	2.41	1.65	1.89	0.27	1.93	1.46
	21.631	α -松油醇	0.37	0.36	0.22	/	0.32	0.39	0.40	/	0.40
	23.389	6-辛烯-1-醇	0.35	0.50	0.35	0.41	0.40	0.39	0.40	/	/
	24.203	3,6-辛二烯-1-醇	1.01	0.68	0.31	1.86	0.61	0.63	0.65	0.73	0.66
	23.880	橙花醇	1.35	1.37	0.98	/	1.17	1.21	1.17	1.43	1.14
	25.464	香叶醇	16.38	16.21	15.20	13.34	12.60	12.09	12.34	13.95	12.34
	27.386	α -紫罗兰醇	0.37	/	/	/	/	/	/	/	/
	39.328	反式-橙花叔醇	3.50	2.85	1.84	4.08	2.34	2.70	3.22	3.25	3.43
	42.236	<i>T</i> -烯醇	1.77	1.55	0.88	/	1.01	0.92	1.18	1.00	1.38
	48.351	叶绿醇	0.26	/	0.19	/	/	0.28	/	/	/
	51.284	植物醇	0.89	0.60	0.99	2.28	/	0.92	0.59	0.90	0.57

续表 5

种类	保留时间/min	香气化合物	相对含量/%								
			CK	B1	B6	B8	B9	CK2	B11	B12	B13
醇类	11.018	1-辛烯-3-醇	/	0.16	0.12	/	0.30	0.27	/	/	/
	19.580	顺-3-壬烯-1-醇	/	0.37	0.24	/	/	/	0.28	0.33	0.28
	40.580	柏木脑	2.72	0.80	1.56	/	1.77	1.14	/	/	/
	22.257	2-(3,3-二甲基双环[2.2.1]庚-2-亚基)-乙醇	/	1.19	0.96	/	1.10	1.06	/	0.54	0.77
	6.622	反式-2-己烯-1-醇	/	/	/	/	0.20	0.27	/	0.20	/
	42.395	[1R-(1 α ,4 β ,4 $\alpha\beta$,8 $\alpha\beta$)]-1,2,3,4,4a,7,8,8a-八氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-1-萜醇	/	0.30	/	1.31	/	/	/	/	/
	15.140	4-甲基-1-戊醇	/	/	/	/	/	/	0.71	/	/
	20.721	顺- α , α -5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇	/	/	/	/	/	/	0.28	/	1.71
	23.144	7-甲基-3-亚甲基-6-辛烯-1-醇	/	/	/	0.41	/	/	/	0.51	0.39
	25.908	柠檬醇	/	/	/	/	/	/	/	/	1.46
	30.925	2,9-庚二烯-4,6-二炔-8-醇	/	/	/	/	/	/	/	0.92	0.85
	33.573	(1 α ,2 β ,5 α)-2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)-环己烷-1-醇	/	/	/	/	/	/	/	0.22	/
	32.047	2-(4-甲基-3-环己烯基)-2-丙醇	/	/	/	/	/	/	/	0.42	/
	31.638	大马士酮	0.50	0.34	0.23	/	0.33	/	/	/	/
	32.238	3-甲基-2-戊-2-烯基-环戊-2-烯酮	0.29	0.30	0.14	0.33	/	0.27	/	0.48	0.42
	33.578	紫罗兰酮	0.27	/	/	0.41	0.19	/	/	0.48	0.45
	36.092	β -紫罗兰酮	3.39	3.06	1.78	/	2.85	3.79	3.59	5.74	5.35
	34.758	6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮	1.19	0.75	0.43	1.34	0.61	0.71	0.82	/	/
酮类	36.376	2-十三酮	0.51	/	/	/	/	/	/	0.38	0.40
	48.920	7,9-二叔丁基-1-氧杂螺[4.5]癸-6,9-二烯-2,8-二酮	0.25	0.18	0.16	/	/	/	/	/	/
	33.578	4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-基)-3-丁烯-2-酮	/	0.23	0.10	5.42	/	0.29	0.31	/	/
	11.192	甲基庚烯酮	/	/	/	0.28	0.33	/	0.27	/	/
	34.517	香叶基丙酮	/	/	/	/	/	/	/	1.48	1.31
	36.060	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	/	/	/	/	/	/	/	0.39	0.40
	37.175	顺式-六氢-8a-甲基-1,8(2H,5H)-萜二酮	/	/	/	1.78	/	/	/	/	/
	10.089	苯甲醛	1.01	0.80	0.34	1.16	1.34	1.07	1.03	0.89	1.01
	13.763	苯乙醛	4.20	6.33	2.75	5.62	7.32	5.44	4.59	3.95	3.32
	2.389	2-甲基丁醛	/	/	/	/	1.00	1.19	0.79	/	/
醛类	2.409	戊醛	/	0.22	0.23	/	0.64	0.52	0.43	/	/
	4.657	己醛	/	0.34	0.14	0.22	0.65	0.66	0.68	/	/
	16.720	壬醛	2.70	2.49	2.06	2.47	3.45	2.58	2.49	2.10	2.09
	22.652	癸醛	0.69	0.33	0.24	0.69	0.46	0.46	0.43	0.51	0.45
	26.163	柠檬醛	2.21	2.45	1.03	/	2.46	2.52	2.70	/	/
	36.260	可卡醛	0.62	0.62	0.32	/	0.50	0.28	/	0.45	0.47
	19.605	反式-2-壬烯醛	/	/	/	0.27	/	/	/	/	/
	6.160	反式-2-己烯醛	/	0.29	0.13	0.42	0.53	0.69	0.76	/	/
	20.101	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-羧醛	/	/	/	1.88	/	/	/	1.32	1.39
	25.318	3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	/	/	/	0.41	/	/	/	1.78	0.58
	32.043	5-甲基-2-苯基-2-己烯醛	/	/	/	0.42	/	/	/	/	/

续表 5

种类	保留时间/min	香气化合物	相对含量/%								
			CK	B1	B6	B8	B9	CK2	B11	B12	B13
酯类	15.136	碳酸 2-(5-甲基-5-乙基四氢呋喃-2-基)丙-2-基乙酯	2.74	3.82	2.21	4.26	7.36	3.89	3.43	4.10	3.30
	21.819	水杨酸甲酯	9.86	11.67	18.56	6.26	12.11	7.10	7.88	6.53	6.90
	23.485	丁酸 2-乙基-1,2,3-丙三酯	0.25	/	/	/	/	/	/	0.38	0.24
	31.878	己酸己酯	0.21	/	/	/	/	/	/	/	/
	4.065	乙酸甲酯	0.20	/	/	/	/	/	/	/	/
	49.011	棕榈酸甲酯	1.01	0.89	0.65	1.26	0.39	0.96	0.87	0.63	0.82
	35.509	顺式-己酸-3-己烯酯	/	/	/	/	/	/	0.65	/	/
	42.231	油酸甲酯	/	/	/	/	/	/	0.25	/	/
	14.935	奎诺二甲基丙烯酸酯	/	/	/	0.38	/	/	/	0.27	0.30
	13.074	双戊烯	0.20	0.24	/	/	/	/	0.28	/	/
烯烃类	29.971	可可烯	0.62	/	/	/	0.50	0.47	0.57	0.45	0.45
	35.504	β -卡丁烯	1.04	0.52	0.30	/	0.54	0.43	0.64	0.58	0.69
	37.633	Δ -杜松烯	5.91	4.02	2.48	/	3.87	3.11	4.23	/	4.87
	38.355	A-二去氢菖蒲烯	0.79	0.51	0.31	/	0.52	0.34	/	/	0.30
	41.321	反钙化烯	0.32	/	/	/	/	/	/	/	/
	27.386	2-乙烯基-1,3,3-三甲基-环己烯	/	0.31	0.12	/	/	/	/	/	/
	41.316	β -戊二烯	/	0.24	/	/	/	/	/	/	/
	28.257	2,6,10,10-四甲基-1-氧杂螺[4.5]癸-6-烯	/	/	/	/	0.20	/	/	/	/
	32.471	α -柏木烯	/	/	/	/	0.26	/	/	0.24	0.33
	22.093	(2E,3E)-2-亚乙基-6-甲基庚-3,5-二烯	/	/	/	/	/	0.52	0.52	/	/
芳香烃类	12.901	右旋萜二烯	/	/	/	/	/	/	/	/	0.21
	13.441	2-蒎烯	/	/	/	/	/	/	/	0.71	0.22
	23.500	2-蒎烯	/	/	/	/	/	/	/		0.39
	34.720	顺式- β -法尼烯	/	/	/	/	/	/	/	0.21	0.30
	21.535	9-甲氧基 a 烯	/	/	/	/	/	/	/	0.54	/
	32.481	(-)-Alpha-萜澄茄油烯	/	/	/	0.68	/	/	/	/	/
	38.124	α -炉甘草烯	/	/	/	0.32	/	/	/	/	/
	41.316	1,2,3,4-四氢-4-异丙基-1,6-二甲基萘	/	/	0.14	/	/	/	/	/	/
	43.440	卡达琳	0.25	/	0.17	/	/	/	/	/	/
	44.653	3,4-二乙基联苯	0.18	/	/	1.16	/	/	/	/	/
酸类	37.946	1,2,3,4,4a,7-六氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-萘	0.82	0.62	0.35	0.59	0.68	0.41	0.55	0.57	0.98
	23.755	2,3,4,5,6,7-六氢-4-甲基-1-萘	0.28	/	/	/	/	/	/	/	/
	46.026	9,10-乙基蒽	/	/	/	0.54	/	/	/	0.22	0.29
	42.231	反式 2-己烯基己酸	/	/	/	/	/	/	0.42	/	/
	26.153	壬酸	0.99	0.19	0.19	/	/	0.29	/	0.44	0.42
	48.896	棕榈酸	/	/	/	1.28	/	/	/	/	0.67
	30.385	丁香酚	/	0.19	0.06	0.47	/	0.41	0.36	0.57	0.55
	37.065	2,4-二叔丁基苯酚	/	/	0.34	2.25	/	/	/	1.32	0.50
	37.295	3,5-二叔丁基苯酚	/	0.23		/	/	/	0.33	/	/
	41.697	立方酚	/	0.81	0.53	/	0.54	0.52	0.64	0.51	0.79
酚类	51.852	双酚 A	/	/	/	/	/	/	/	/	0.41

茶样 CK2 检测出 46 种香气成分,茶样 B11、B12、B13 则分别检测出 49,55,50 种香气成分,其原因可能是相对低温干燥条件的变温处理也能使茶样中的部分中、高沸点香气物质得以激发或形成^[27]。与茶样 CK2 相比,变温处理茶样新产生了柠檬醇(清甜香)、香叶基丙酮(玫瑰香)、右旋萜二烯(柠檬香)、2-苾烯(樟香)等香气成分,但苯乙醇、芳樟醇、水杨酸甲酯等主要花果香香气成分的相对含量有所减少,茶样花香有不同程度的减弱。

由表 6 可知,醇类物质是各茶样相对含量最高的一类香气物质,其中芳樟醇、香叶醇、苯乙醇、反式—橙花叔醇等含量较高;其次是酯类物质,其中相对含量较高的酯类物质为水杨酸甲酯;醛类物质中相对含量较高的是苯乙醛、柠檬醛等;其余香气物质相对含量较小或者未能检测出。与茶样 CK1 相比,毛火变温处理和足火变温处理

对醇类、酯类香气成分的激发均有一定的促进作用,其中茶样 B6 的醇类、酯类相对含量远高于其他处理茶样的,且比对照茶样 CK1 分别增加了 19.75%和 50.11%,与感官审评结果一致;同时变温处理茶样中的醇类、酯类等香气物质的相对含量有不同程度的增加,其中芳樟醇和水杨酸甲酯的增幅最大,并且足火变温处理 3 min 的茶样处理效果更好,而芳樟醇与水杨酸甲酯的生成主要是糖苷类物质水解反应的结果^[28],因此其原因可能是相对高温的干燥条件下,糖苷水解成醇类和酯类的反应有所增强,而相对低温的干燥条件下,变温处理对醇类、醛类等香气物质的相对含量有一定程度的消耗作用^[27],使得如芳樟醇、苯乙醇等香气成分相对含量有所降低,对酯类的积累作用也不明显,进而使得茶样香气有所减弱,这与感官审评结果一致。

表 6 变温干燥处理茶样主要香气物质相对含量的比较

Table 6 Comparison of relative contents of main aroma components in variable temperature drying tea samples

香气成分 种类	相对含量/%								
	CK1	B1	B6	B8	B9	CK2	B11	B12	B13
醇类	52.60	54.46	62.99	54.48	49.46	58.12	55.25	54.85	54.27
酮类	6.40	4.86	2.84	9.56	4.31	5.06	4.99	8.33	9.37
醛类	11.43	13.86	7.24	13.56	18.35	15.41	13.90	9.31	11.00
酯类	14.27	16.38	21.42	12.16	19.86	11.95	13.08	11.56	11.91
烯炔类	8.87	5.84	3.21	0.99	5.89	4.87	6.24	7.76	2.73
芳香烃类	1.53	0.62	0.66	2.29	0.68	0.41	0.55	1.27	0.79
酸类	0.99	0.19	0.19	1.28	0.00	0.29	0.42	1.09	0.44
酚类	0.00	1.23	0.93	2.72	0.54	0.93	1.33	2.25	2.40

3 结论

采用 110℃毛火初干 10 min 以及 90℃复干 10 min、再升温至 110℃恒温复干 3 min、然后降温至 90℃烘至足干的足火变温干燥处理工艺技术加工出的红茶品质最佳,与传统干燥工艺加工而成的对照红茶样相比,其感官品质综合评分增加,具有明显的甜香带花香的香气特征,其滋味品质成分茶黄素、茶红素含量分别增加了 28.94%,9.22%,茶多酚、茶褐素含量分别降低了 13.37%,9.17%;香气品质成分中苯乙醇、芳樟醇、 α -松油醇、苯乙醛、水杨酸甲酯等具有花果香的香气物质的相对含量有较大幅度的增加,并产生了 1-辛烯-3-醇(玫瑰香)、顺-3-壬烯-1-醇(清香)、己烯醛(清香)、丁香酚(丁香香气)等香气成分。综上,红茶干燥过程中,特别是足火干燥阶段,适当的变温处理有利于提高红茶品质,但其生化机制有待进一步探究。

参考文献

[1] TAN Qing, PENG Li-jiao, HUANG Yan-yu, et al. Structure-activity relationship analysis on antioxidant and anticancer actions of

theaflavins on human colon cancer cells[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(1): 159-170.
[2] BAHORUN T, LUXIMON-RAMMA A, NEERGHEEN-BHUJUN V S, et al. The effect of black tea on risk factors of cardiovascular disease in a normal population[J]. Preventive Medicine, 2012, 54: S98-S102.
[3] 李丹, 曹永, 王华, 等. 茶叶提取物体外抗氧化活性与其功能性成分含量的相关性研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 163-168.
LI Dan, CAO Yong, WANG Hua, et al. Study on the relationship between the composition of tea extracts and its in vitro antioxidant activity[J]. Food & Machinery, 2018, 34(6): 163-168.
[4] HENNING S M, YANG Jie-ping, HSU M, et al. Decaffeinated green and black tea polyphenols decrease weight gain and alter microbiome populations and function in diet-induced obese mice[J]. European Journal of Nutrition, 2018, 57(8): 2 759-2 769.
[5] 顾谦, 陆锦时, 叶宝存. 茶叶化学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2002: 288-325.
GU Qian, LU Jin-shi, YE Bao-cun. Tea chemistry[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2002: 288-325.
[6] 仇方方, 陈亚忠, 余志, 等. 远红外提香温度对工夫红茶品质的

- 影响[J]. 福建茶叶, 2015, 37(6): 14-16.
- QIU Fang-fang, CHEN Ya-zhong, YU Zhi, et al. Effect of far infra-red flavoring temperature on the quality of gongfu black tea[J]. Tea in Fujian, 2015, 37(6): 14-16.
- [7] 董迹芬. 绿茶干燥过程主要挥发性物质的变化规律研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 54-55.
- DONG Ji-fen. Research on the change of the main volatile compounds in drying technology of green tea[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013: 54-55.
- [8] 张正竹, 宛晓春, 施兆鹏, 等. 茶鲜叶在不同季节及绿茶加工贮藏过程中糖苷类香气前体含量变化研究[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(3): 1-4.
- ZHANG Zheng-zhu, WAN Xiao-chun, SHI Zhao-peng, et al. Studies on the content of glycosidic tea aroma precursors in leaves of zhuye during different seasons, green tea processing and storage[J]. Food and Fermentation Industry, 2003, 29(3): 1-4.
- [9] 乔如颖, 郑新强, 李清声, 等. 茶叶挥发性香气化合物研究进展[J]. 茶叶, 2016, 42(3): 135-142.
- QIAO Ru-ying, ZHENG Xin-qiang, LI Qing-sheng, et al. Research advances in aromatic volatiles of various teas[J]. Journal of Tea, 2016, 42(3): 135-142.
- [10] 王近近, 袁海波, 滑金杰, 等. 足火工艺参数对工夫红茶热风干燥特性和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(10): 287-296.
- WANG Jin-jin, YUAN Hai-bo, HUA Jin-jie, et al. Effects of second-drying process parameters on the hot-air drying characteristics and quality of congou black tea[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(10): 287-296.
- [11] 钟梦. 茶叶品质理化分析[M]. 上海: 科学技术出版社, 1989: 258-454.
- ZHONG Luo. Physicochemical analysis of tea quality[M]. Shanghai: Science and Technology Press, 1989: 258-454.
- [12] 滑金杰, 袁海波, 姚月凤, 等. 温度对茶发酵叶色泽及茶色素含量的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(12): 300-308.
- HUA Jin-jie, YUAN Hai-bo, YAO Yue-feng, et al. Effect of temperature on color and tea pigment content of fermented tea leaves[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(12): 300-308.
- [13] 郭颖, 黄峻榕, 陈琦, 等. 茶叶中儿茶素类测定方法的优化[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 137-141.
- GUO Ying, HUANG Jun-rong, CHEN Qi, et al. Optimization of sample preparation and HPLC chromatographic conditions for the determination of catechins in tea[J]. Food Science, 2016, 37(6): 137-141.
- [14] 黄浩, 余鹏辉, 赵熙, 等. 不同季节保靖黄金茶 1 号工夫红茶挥发性成分的 HS-SPME-GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 188-196.
- HUANG Hao, YU Peng-hui, ZHAO Xi, et al. HS-SPME-GC-MS analysis of volatile components of congou black tea processed from Baojing Huangjinchai 1 from different harvesting seasons[J]. Food Science, 2020, 41(12): 188-196.
- [15] YAMAGUCHI K, SHIBAMOTO T. Volatile constituents of green tea, Gyokuro (*Camellia sinensis* L. var Yabukita) [J]. Agric Food Chem, 1991, 20: 366-370.
- [16] LIN Jie, DAI Yi, GUO Ya-nan, et al. Volatile profile analysis and quality prediction of Longjing tea (*Camellia sinensis*) by HS-SPME/GC-MS[J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2012, 13(12): 972-980.
- [17] LV Hai-peng, ZHONG Qiu-sheng, LIN Zhi, et al. Aroma characterisation of Pu-erh tea using headspace-solid phase microextraction combined with GC/MS and GC-olfactometry[J]. Food Chemistry, 2012, 130(4): 1 074-1 081.
- [18] 贺麟, 李宗琼, 张拓, 等. 夏季茶鲜叶加工花香型绿茶工艺技术研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 195-200.
- HE Lin, LI Zong-qiong, ZHANG Tuo, et al. Study on the processing of flower-scented green tea with fresh tea leaves in summer[J]. Food & Machinery, 2019, 35(6): 195-200.
- [19] 郑月梅. 茶叶热分析与复火烘焙技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2013: 16-19.
- ZHENG Yue-mei. Thermal analysis and baking technology research of tea[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013: 16-19.
- [20] 徐奕鼎, 雷攀登, 丁勇, 等. 名优祁红初制中的主要生化成分变化[J]. 安徽农业科学, 2015(34): 68-70.
- XU Yi-ding, LEI Pan-deng, DING Yong, et al. Variation of main biochemical components at primary processing of famous Keemun black tea[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015(34): 68-70.
- [21] 宛晓春. 红、绿茶干燥过程的热化学变化[J]. 茶叶科学, 1988, 8(2): 47-52.
- WAN Xiao-chun. Thermochemical changes of black tea and green tea during drying[J]. Journal of Tea Science, 1988, 8(2): 47-52.
- [22] 姚奉奇. 茶叶多酚类衍生物热解和氧化特性及其反应机理研究[D]. 北京: 中国科学技术大学, 2018: 59-60.
- YAO Feng-qi. Study on pyrolysis, oxidation behavior and associated reaction mechanism of tea polyphenol derivatives[D]. Beijing: University of Science and Technology of China, 2018: 59-60.
- [23] 谢艳兰, 王绍梅, 周文吉, 等. 茶叶儿茶素的稳定性研究进展[J]. 福建茶叶, 2016, 38(3): 1-4.
- XIE Yan-lan, WANG Shao-mei, ZHOU Wen-ji, et al. Research progress on the stability of tea catechins[J]. Tea in Fujian, 2016, 38(3): 1-4.
- [24] 黄莹捷, 伍梦瑶, 姚燕妮, 等. 不同反应条件对勐库大叶种多酚氧化酶合成茶黄素的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(22): 54-59.
- HUANG Ying-jie, WU Meng-yao, YAO Yan-ni, et al. Effects of different conditions on theaflavins synthesis by polyphenol oxidase of *Camellia sinensis* var. *assamica* cv. *mengku* [J]. Food Science, 2017, 38(22): 54-59.
- [25] 李山, 陈小强, 滑金杰, 等. 茶红素分离及稳定性研究[J]. 茶叶科学, 2017, 37(2): 201-210.
- LI Shan, CHEN Xiao-qiang, HUA Jin-jie, et al. Separation and stability analysis of thearubigins[J]. Journal of Tea Science, 2017, 37(2): 201-210.

(下转第 147 页)

过程可能还涉及能量代谢等机理,需进一步深入研究。

参考文献

- [1] 王艳颖, 胡文忠, 田密霞, 等. 贮前氯化钙处理对李果实冷害及生理生化的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(9): 310-313, 387.
WANG Yan-yin, HU Wen-zhong, TIAN Mi-xia, et al. Effect of prestorage calcium chloride treatment on chilling injury and physiology and biochemistry in plum fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(9): 310-313, 387.
- [2] 丁波, 毕阳, 陈松江, 等. 两种间歇升温方式对李果实冷害抑制的效果比较[J]. 食品工业科技, 2012, 33(1): 318-319, 324.
DING Bo, BI Yang, CHEN Song-jiang, et al. Comparison of two kinds of intermittent warming on chilling injury of plum[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(1): 318-319, 324.
- [3] 郭丹, 郝义, 韩英群. 李子采后特性及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品工业, 2015, 36(9): 237-239.
GUO Dan, HAO Yi, HAN Ying-qun. Research advancement in postharvest characteristic and storage technology of plum[J]. The Food Industry, 2015, 36(9): 237-239.
- [4] DENG Lei, JIANG Cai-zhong, MU Wen-liang, et al. Influence of 1-MCP treatments on eating quality and consumer preferences of 'Qinmei' kiwifruit during shelf life[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(1): 335-342.
- [5] PONGPRASERT N, SRILAONG V. A novel technique using 1-MCP microbubbles for delaying postharvest ripening of banana fruit[J]. Postharvest Biology & Technology, 2014, 95(3): 42-45.
- [6] RAHMAN M A, HOSSAIN M A, BEGUM M M, et al. Evaluating the effects of 1-methylcyclopropene concentration and immersion duration on ripening and quality of banana fruit[J]. Revista Odonto Ciência, 2014, 25(4): 333-338.
- [7] 王荣花, 轩海波, STREIF J. 常温贮藏条件下 1-MCP 处理对欧洲李子采后生理及品质的影响[J]. 北方园艺, 2011(13): 156-158.
WANG Rong-hua, XUAN Hai-bo, STREIF J. Effect of 1-MCP on ripening and quality of european plum during ambient air storage[J]. Northern Horticulture, 2011(13): 156-158.
- [8] HUSSAIN P R, MEENA R S, DAR M A, et al. Studies on enhancing the keeping quality of peach (*Prunus persica* Bausch) Cv. Elberta by gamma-irradiation [J]. Radiation Physics & Chemistry, 2008, 77(4): 473-481.
- [9] WANI A M, HUSSAIN P R, MEENA R S, et al. Effect of gamma-irradiation and refrigerated storage on the improvement of quality and shelf life of pear (*Pyrus communis* L. Cv. Bartlett / William)[J]. Radiation Physics & Chemistry, 2008, 77(8): 983-989.
- [10] 巴良杰, 罗冬兰, 曹森, 等. 1-MCP 结合⁶⁰Co-γ辐照对蓝莓贮藏期品质的影响[J]. 北方园艺, 2019(8): 118-124.
BA Liang-jie, LUO Dong-lan, CAO Sen, et al. Effects of 1-MCP combined with ⁶⁰Co-γ irradiation on the quality of blueberry during storage[J]. Northern Horticulture, 2019(8): 118-124.
- [11] 巴良杰, 罗冬兰, 曹森, 等. 自发气调包装对蜂糖李采后生理及贮藏品质的影响[J]. 中国南方果树, 2019, 48(3): 105-111.
BA Liang-jie, LUO Dong-lan, CAO Sen, et al. Effects of spontaneous modified atmosphere packaging on postharvest physiology and storage quality of bee sugar plum[J]. Fruit Trees in South China, 2019, 48(3): 105-111.
- [12] 巴良杰, 罗冬兰, 吉宁, 等. 生物保鲜纸对李子贮藏期品质的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 140-143, 226.
BA Liang-jie, LUO Dong-lan, JI Ning, et al. Effect of biological preservative paper on the storage quality of plum fruit[J]. Food and Machinery, 2020, 36(7): 140-143, 226.
- [13] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013: 30-155.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruit and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2013: 30-155.
- [14] 司敏, 伍利芬, 薛华丽, 等. 采前赤霉素处理对李果实采后冷害的抑制及部分机理研究[J]. 中国果树, 2018(4): 4-9.
SI Min, WU Li-fen, XUE Hua-li, et al. Controlling chilling injury of plum with preharvest GA3 in postharvest and its partial mechanism[J]. China Fruits, 2018(4): 4-9.
- [15] 曹森, 李江阔, 马超, 等. ⁶⁰Co-γ辐照结合 1-MCP 处理对蓝莓贮藏品质的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(8): 1 519-1 526.
CAO Sen, LI Jiang-kuo, MA Chao, et al. Effects of ⁶⁰Co-γ irradiation combined with 1-MCP on storage quality of blueberry[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(8): 1 519-1 526.
- [16] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. ⁶⁰Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
WANG Chen, LI Xue-tao, TAO Ye, et al. Effect of ⁶⁰Co-γ irradiation on storage quality and membrane lipid peroxidation of blueberry fruits during cold storage[J]. Food Science, 2016, 37(22): 318-323.
- [17] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. ⁶⁰Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [18] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. ⁶⁰Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [19] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. ⁶⁰Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [20] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. ⁶⁰Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [21] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. ⁶⁰Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [22] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. ⁶⁰Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [23] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. ⁶⁰Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [24] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. ⁶⁰Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [25] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. ⁶⁰Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [26] 任洪涛, 周斌, 方林江, 等. 云南红茶加工过程中香气成分的变化[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(3): 187-191.
REN Hong-tao, ZHOU Bin, FANG Lin-jiang, et al. Analysis of the aroma components in the processing of Yunnan black tea[J]. Food and Fermentation Industry, 2013, 39(3): 187-191.
- [27] 仇方方, 曾维超, 曲凤凤, 等. 提香方式对工夫红茶品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(11): 82-87.
- [28] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
TAKEO T, LIU Zhong-hua. Food chemistry study on aroma of oolong tea and black tea[J]. Tea Science and Technology, 1986(2): 33-35.
- [29] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [30] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [31] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [32] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [33] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [34] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [35] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [36] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [37] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [38] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [39] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [40] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [41] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [42] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [43] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [44] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [45] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [46] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [47] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [48] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [49] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [50] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [51] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [52] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [53] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [54] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [55] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [56] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [57] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [58] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [59] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [60] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [61] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [62] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [63] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [64] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [65] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [66] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [67] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [68] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [69] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [70] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [71] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [72] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [73] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [74] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [75] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [76] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [77] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [78] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [79] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [80] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [81] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [82] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [83] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [84] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [85] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [86] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [87] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [88] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [89] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [90] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [91] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [92] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [93] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [94] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [95] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [96] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [97] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [98] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [99] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [100] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.

(上接第 142 页)