

# 不同干燥温度对普洱茶多酚类物质和香气成分的影响

刘通讯, 谭梦珠

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

**摘要:** 本文研究了添加丙氨酸和木糖促进普洱茶的发酵进程, 并探索了不同干燥温度(晾干、40℃、60℃、80℃、100℃、120℃)对出堆普洱茶品质及香气成分的影响。实验表明, 不同温度干燥处理, 对普洱茶多酚类物质的转化具有不同影响。60℃以下的低温干燥组茶多酚、儿茶素、茶褐素含量均较高, 而高于80℃的高温干燥组各成分含量明显较低。挥发性香气成分分析表明, 各组普洱茶主要香气成分总体一致, 主要有(+)-环蒜头烯、己醛、庚醛、5-甲基糠醛、苯甲醛、苯乙醛、天然壬醛等。低温干燥组(晾干、40℃、60℃)的香气成分中烯烴类物质所占百分比比较大, 高温干燥组(80℃、100℃、120℃)中醛类物质所占百分比比较大。低温干燥组的苯环化合物和杂环化合物香气成分均高于高温干燥组, 晾干组最高。综合而言, 晾干普洱茶品质最佳, 60℃以下干燥处理的普洱茶具有较好的品质。

**关键词:** 普洱茶; 干燥温度; 多酚; 香气成分

文章编号: 1673-9078(2015)4-264-271

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.4.043

## The Effect of Different Drying Temperatures on the Transformation of Polyphenols and Volatile Aroma Components in Pu-erh Tea

LIU Tong-xun, TAN Meng-zhu

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Acceleration of the fermentation of pu-erh tea by the addition of alanine and xylose was analyzed; in addition, the effect of different drying temperatures (air-drying at, and drying at 40℃, 60℃, 80℃, 100℃, and 120℃) on the quality and volatile aroma components of Pu-erh tea following pile fermentation were explored in this study. Drying at different temperatures was observed to have different effects on the transformation of polyphenols. The tea polyphenol, catechins and theabrownins content in Pu-erh tea was higher in the low-temperature drying group (below 60℃) than in the other groups; however, the polyphenol content was significantly lower in the high-temperature drying group (above 80℃) than in the other groups. Analysis of the volatile aroma components of Pu-erh tea revealed similarities in the major aroma components in each temperature group; these included (+)-cyclosativene, hexanal, heptanal, 5-methyl furfural, benzaldehyde, phenylacetaldehyde, and natural nonylaldehyde. The aroma components of Pu-erh tea dried at low-temperatures (air-drying, 40℃ and 60℃) showed a relatively high percentage of olefins, while tea dried at high temperatures (80℃, 100℃, and 120℃) displayed relatively higher aldehyde content. The low-temperature drying group displayed a relatively higher percentage of benzene-related and heterocyclic aroma components than the high-temperature drying group; the highest percentage was observed in the air-drying group. In general, the quality of air-dried Pu-erh tea was determined to be the best, and good quality Pu-erh teas were those dried at temperatures below 60℃.

**Key words:** Pu-erh tea; drying temperature; polyphenols; volatile aroma components

普洱茶属于黑茶的一种, 现主产于西双版纳、昆明、思茅、临沧、下关等地, 可以分为生茶和熟茶两大类。普洱生茶是未经过发酵生产的云南大叶种晒青毛茶, 生茶通过自然发酵过程转化为普洱陈茶, 而普洱熟茶则是经过发水、渥堆、陈化及干燥等人工工序

收稿日期: 2014-07-14

作者简介: 刘通讯 (1965-), 男, 副教授, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程

加工而成。近年来由于普洱茶独特的陈香和口感, 以及降脂、减肥、抗氧化等多种保健功效而备受关注, 国内外学者也对普洱茶展开了大量研究, 大多集中在普洱茶的功能活性成分研究, 化学成分和挥发性成分研究, 普洱茶安全性研究, 微生物或发酵工艺研究, 各项研究也反映了普洱茶广阔的发展前景<sup>[1-3]</sup>。

普洱茶(熟茶)的风味主要是在渥堆和干燥过程中形成的。渥堆是形成普洱茶汤色红亮, 陈香独特,

滋味醇厚回甘的基础。而干燥是形成普洱茶品质特色的保证。传统普洱茶干燥方式有自然晾干和太阳晒干,但这2种干燥方法受到温度、湿度等诸多因素的影响,为了更好地控制普洱茶的干燥过程,越来越多的茶厂开始选用控温烘干干燥、微波干燥等方式干燥茶叶,但在不同温度对普洱茶品质成分及香气成分的影响上鲜有研究。因此笔者在本课题组前期研究<sup>[4-5]</sup>的基础上,从不同碳氮源中甄选出可以明显促进普洱茶渥堆发酵进程及改善普洱茶品质丙氨酸和木糖进行复配加入到普洱茶的发酵过程中,并对出堆茶叶分别进行晾干(室温17~23℃)、40℃、60℃、80℃、100℃、120℃的干燥处理,探索不同干燥温度对普洱茶发酵品质及香气成分的影响,为普洱茶生产工艺的提高以及未来的发展方向提供了理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

大叶六级种晒青毛(2013年),茶云南腾冲;丙氨酸、木糖,上海伯奥生物科技有限公司;其他试剂均为分析纯。

Trace DSQ II GC/MS 气相色谱-质谱联用仪,美国 Thermo fisher 公司产品;HP-5弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm),美国安捷伦科技公司;ESJ200-4 电子分析天平,上海精科电子有限公司;氮吹仪;同时蒸馏萃取器;电热套;水浴锅;UV752N 型分光光度计,上海棱光技术有限公司;富华 420 型三用水箱,金坛市富华仪器有限公司;DHG90A 电热恒温鼓风干燥箱,上海索普仪器有限公司;循环水式真空泵,巩义市予华仪器有限责任公司。

### 1.2 实验方法

将丙氨酸、木糖以 1:1 的比例配置成浓度为 0.3%+0.3% 的水溶液。晒青毛茶以 4 kg 为一堆,将添加有糖和氨基酸的水喷洒在茶堆中使含水量增加到 45%<sup>[2]</sup>。然后进行实验室模拟渥堆发酵,渥堆过程中,每 6 d 进行一次翻堆,共翻堆 3 次,用 F1、F2、F3 表示,翻堆之前对茶堆的芯层和表层进行五点取样法取样。

发酵 18d 后均匀五点取样法取样分别进行:晾干(室温 17~23℃)、40℃、60℃、80℃、100℃、120℃ 的干燥处理。

### 1.3 理化指标分析

儿茶素总量:香荚兰素比色法;总茶多酚测定:

参照 GB 8313-2002;茶色素(茶褐素 TB)的测定:采用比色系统分析法;

## 1.4 香气成分分析

### 1.4.1 同时蒸馏-萃取(SDE)提取方法

称取普洱茶粉状样 50 g 置于 1000 mL 圆底烧瓶,加入 200 mL 去离子水,另取二氯甲烷 30 mL 置于 250 mL 单颈圆底烧瓶中,两烧瓶分别接在同时蒸馏-萃取装置两端,用电热套加热,两边达到平衡回流稳定后,萃取 2 h,萃取液用无水硫酸钠脱水干燥后过滤,氮吹仪挥发溶剂,浓缩得 1 mL 淡黄色透明液体,过 0.45 μm 膜,用气质联用仪进行检测。

### 1.4.2 GC-MS 色谱条件

GC 条件:采用 HP-5MS 弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);进样口温度为 220℃;载气为 He,纯度>99.999%,流速 1.0 mL/min;进样口温度 250℃,固相微萃取进样脱附 5 min。程序升温:50℃ 保持 3 min,以 2℃/min 升至 125℃,保持 5 min,以 6℃/min 升至 180℃,保持 3 min,以 15℃/min 升至 250℃。

MS 条件:轰击电子能量:70 eV,电子源电离方式:EI,离子源温度:200℃,进样量:1 μL,扫描范围:29~550 amu,扫描方式:全扫描。

### 1.4.3 GC-MS 数据分析

由 GC-MS 得到的质谱数据利用 Wiley 及 NIST 两个数据库进行串联检索,并与文献值对照相结合进行人工解析。以各香气组分的峰面积占香气总峰面积之比值表示组分相对含量。

## 1.5 数据分析

用 Microsoft Excel 2010 处理数据和做图。用 SPSS 对数据进行 Duncan 多项极差检验分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同干燥温度对普洱茶多酚类物质的影响

茶多酚是一种含儿茶素、黄酮类、黄酮醇类、花色苷类、异黄酮等物质的混合物,儿茶素约占多酚总量的 70%~80%,普洱茶因其独特的加工工艺,多酚类物质的组成与其它茶类相比有很大的区别。普洱茶中的茶多酚含量要明显低于绿茶,这是因为普洱茶在渥堆发酵过程中发生了一系列以茶多酚为主体的氧化、聚合反应形成了十分复杂的多聚体,或降解成没食子

酸等简单酚类化合物<sup>[6]</sup>。茶色素是发酵过程中茶多酚氧化的主要产物,主要包括茶黄素、茶红素和茶褐素。茶褐素是一类分子差异极大的高聚合物,是儿茶素在多酚氧化酶等酶类作用下氧化形成邻醌,邻醌经过氧化、缩聚作用形成茶黄素、茶红素,再经进一步的氧化聚合作用而形成的<sup>[7]</sup>。茶多酚、儿茶素、茶色素之间存在着十分紧密的关系,在普洱茶感官品质中均起到十分重要的作用。

如图 1~3 所示,在发酵过程中,茶多酚和儿茶素的含量大幅下降,而茶色素含量得到大量积累。茶多酚在 F1、F2 时显著下降,由 F2 到 F3 时趋于平缓, F3 茶叶出堆时与原料相比降幅达到 74.6%。经过出堆干燥处理后,茶多酚含量显著下降,但干燥处理各组之间并不存在显著差异,含量具有随温度升高而先增加后减少的趋势。晾干组茶多酚含量为 4.61%, 60℃ 组的茶多酚含量最高,为 4.74%, 120℃ 组的茶多酚含量降到最低,为 3.85%。儿茶素含量在发酵过程中每一翻都保持着显著下降的趋势, F3 时下降幅度达到 96.32%。经过干燥处理,儿茶素含量均有所下降,且含量随温度升高而降低, 120℃ 组与其他组之间有显著差异,晾干组儿茶素含量最高(1.36 mg/g),而 120℃ 组最低(0.27 mg/g)。茶褐素是多酚类物质转化的主要产物,其含量与茶多酚和儿茶素含量呈极显著负相关<sup>[4]</sup>,从原料到 F3 茶褐素含量均显著上升,原料茶褐素含量为 0.75%, F3 时茶褐素含量达到 7.04%。经干燥处理,茶褐素含量有所增加,晾干组茶褐素含量为 7.22%。40℃ 组茶褐素含量最高,为 7.5%,与其余各组存在显著差异。

综合图 1~3 可知,在出堆后的干燥处理过程中,仍有部分多酚类物质发生转化和茶褐素的积累。茶叶经过晾干和烘干处理所受到的影响不同,晾干处理后的茶多酚和茶褐素含量要低于低温烘干的,儿茶素含量高于烘干各组。以 60℃~80℃ 为临界区间, 60℃ 以下的低温干燥组茶多酚、儿茶素、茶褐素含量均较高,而高于 80℃ 的高温烘干组各成分含量明显较低。这可能是在高温作用下,酶促氧化作用停止,而茶叶中多酚类物质的非酶促自动氧化作用受温度影响,温度越高自动氧化作用越强,因此高温处理下茶多酚、儿茶素转化率相对更高。但可能部分多酚类物质转化成了其他影响茶叶品质的成分,并且由于茶叶中本身具有的糖和氨基酸以及发酵过程中加入的木糖和丙氨酸,在干燥处理过程中发生的羰氨褐变程度不同,导致茶褐素的积累量不同。因为美拉德反应在 80℃ 以下时,反应速度受温度影响较大,温度升高反应加剧,茶叶色素类物质积累较多,但在 80℃ 以上的干燥处

理下,茶叶迅速失水,当水分含量太低时,美拉德反应难以发生,所以高温处理组茶褐素含量相对于低温组较低,其转化机制需要进一步证明。

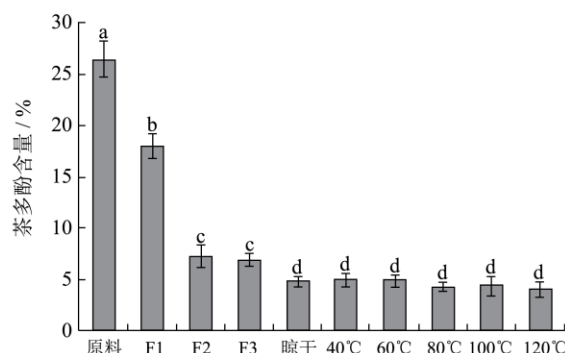


图 1 渥堆过程中以及不同温度干燥的普洱茶茶多酚含量 (%)

Fig.1 Polyphenol content (%) during pile fermentation and drying at various temperatures

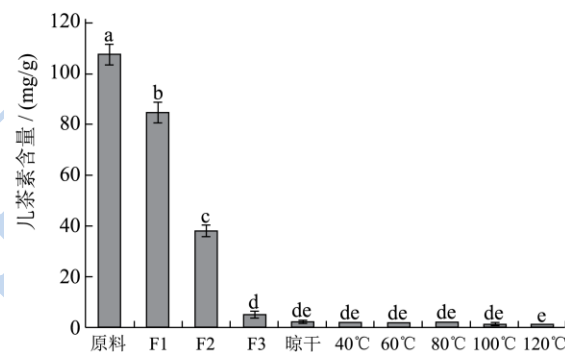


图 2 渥堆过程中以及不同温度干燥的普洱茶儿茶素含量 (mg/g)

Fig.2 Catechin content (mg/g) in Pu-erh tea during pile fermentation and drying at different temperatures

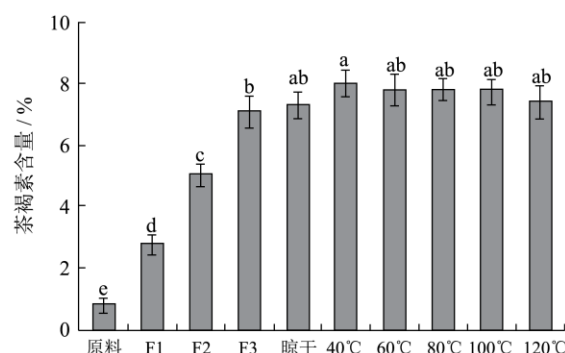


图 3 渥堆过程中以及不同温度干燥的普洱茶茶褐素含量 (%)

Fig.3 Theabrownin content (%) of Pu-erh tea during pile fermentation and drying at different temperatures

注:采用 Duncan's multiple range test 分析方法,同一翻(F)不同小写字母表示差异显著 (P<0.05, n=3)。

## 2.2 不同干燥温度对普洱茶香气成分的影响

出堆的茶叶分别经过晾干(室温 17~23℃)、

40 °C、60 °C、80 °C、100 °C、120 °C的干燥处理。采用 SDE-GC-MS 法分析各组茶叶的香气成分, 由于烷烃一般香气微弱或几乎没有香气, 对茶叶的香气贡献较小, 所以在香气分析时, 常常将其略去。图谱解析结果如表 1 所示, 共检测到香气成分 86 种, 醇类 16 种, 醛类 19 种, 酮类 20 种, 酯类 6 种, 烯炔类 12 种, 苯环化合物 4 种, 杂环化合物 9 种。经过不同温度处理的茶叶检出的香气成分数量和种类分布都存在着差异。晾干组检测出香气成分 65 种, 40 °C 组检测出 58 种, 60 °C 组检测出 47 种, 80 °C 组检测出 51 种, 100 °C 组检测出 56 种, 120 °C 组检测出 63 种, 香气成分多样性随温度升高而先减少后增加。由图 4 可以看出, 不同处理组均以烯炔类、醇类、醛类、酮类为主要香气成分。低温干燥组(晾干、40 °C、60 °C)的香气成分中烯炔类物质所占百分比比较大, 60 °C 组所含烯炔类香气成分达 37.67%, 最低的为 100 °C 组, 为 27.65%。高温干燥组(80 °C、100 °C、120 °C)中醛类物质所占百分比比较大, 80 °C 组所含醛类香气成分达 35.56%, 最低的为 40 °C 组, 为 26.57%。低温干燥组的苯环化合物香气成分均高于高温干燥组, 晾干组最高, 达到 2.68%, 120 °C 组的最低, 为 1.32%。低温干燥组的杂环化合物香气成分均高于高温干燥组, 晾干组最高, 达到 5.71%, 100 °C 组的最低, 为 3.04%。有研究表明含氧、氮杂环化合物, 虽相成分所占比例不高, 但对总体香气起到补充和改善作用, 是影响普洱陈香的一类重要香气<sup>[8]</sup>。醇类、酮类、酯类香气成分没有明显趋势, 醇类香气成分在 100 °C 组中含量最高, 为 21.62%, 酮类香气成分在 120 °C 组中含量最高, 为 17.96%, 酯类香气成分在 80 °C 组中含量最高, 为 4.64%。

Gu 等<sup>[9]</sup>比较发现普洱生茶富含苯甲醇、芳樟醇氧化物、芳樟醇, 而普洱熟茶富含 1,2,3-三甲氧基苯和 1,2,4-三甲氧基苯。Lv 等<sup>[10]</sup>应用气相色谱-嗅觉测量法(GC-O)发现邻苯二甲醚、1,2,3-三甲氧基苯、3,4,5-三甲氧基甲苯、4-乙基-1,2-二甲氧基苯、 $\beta$ -紫罗兰酮、 $\beta$ -芳樟醇、芳樟醇氧化物、癸醛等形成了普洱熟茶的特

殊风味。由表 1 可知, 通过添加丙氨酸和木糖促进发酵的各组普洱茶主要香气成分有(+)-环蒜头烯、己醛(青草香)、庚醛(果香)、5-甲基糠醛(甜香)、苯甲醛(苦杏仁香、焦香)、苯乙醛(花香)、天然壬醛(果香)等。研究结果的不同可能与茶叶的陈放时间有关, 在普洱茶的储藏过程中香气成分会发生改变<sup>[11]</sup>。晾干组检出的甲氧基苯类有 1,2,4-三甲氧基苯、1,2,3-三甲氧基苯、1,2-二甲氧基-3-甲基磺酰苯, 含量总和为 2.49%, 明显高于烘干组, 且低温干燥组均大于高温干燥组。高温干燥组的芳樟醇含量均高于低温干燥组, 且在 60 °C 以上都检出芳樟醇氧化物, 60 °C 以下的芳樟醇氧化物未检出或痕量。癸醛仅在晾干组检出, 含量为 0.52%。4-羟基- $\beta$ -紫罗兰酮在各组均有检出, 但高温干燥组检出含量均高于低温干燥组, 80 °C 组含量最高, 为 1.61%。 $\alpha$ -紫罗兰酮仅在晾干组和 40 °C 组检出, 含量分别为 0.54%、0.56%。100 °C 和 120 °C 组检出六氢假紫罗兰酮。

除了以上具有陈香的特征香气成分的区别外, 不同温度干燥处理的普洱茶在其他特殊香气成分上也各具特色, 相对于晾干组, 烘干处理的茶叶在热作用下糖和氨基酸发生美拉德反应产生焦糖香气物质, 而具有烘香味、焦香味。主要香气成分中具有焦香味的苯甲醛, 随着处理温度的升高具有先升高后降低的趋势, 80 °C 时达到最大值, 为 4.92%, 最低的为晾干组(2.83%)。低温干燥组检出了诸多高温干燥组未检出的香气成分, 例如 3-甲基-2-(1-甲基乙基)-环己醇、异雪松醇(杉木香)、叶绿醇(花香)、3-糠醛(焦香)、2,2,5,5-四甲基-3-环戊烯-1-酮、苯基丙酮(花香)、2,3,5-三甲基吡嗪(烘烤香)、吡嗪、异喇叭烯(花香)、罗汉柏烯(木香)等。高温干燥组也检出了许多低温干燥组未检出的香气成分, 例如 3-甲基环己醇(薄荷香)、2-(4-甲基苯基)-2-丙醇、烟酮(烟草香)、左旋樟脑、柠檬烯-6-醇三甲基乙酯、8-甲基-9-十四烯-1-醇乙酯、10-十八烯酸甲酯、(-)-柠檬烯(柠檬香)、4-甲基-1-(1-甲基乙基)-环己烯、长叶烯(松香)等。

表 1 不同温度处理普洱茶香气成分及含量

Table 1 Relative content of volatile aroma components in Pu-erh tea dried at different temperatures

| 编号    | 中文名称             | 晾干   | 40°C | 60°C | 80°C | 100°C | 120°C |
|-------|------------------|------|------|------|------|-------|-------|
| 苯环化合物 |                  |      |      |      |      |       |       |
| 1     | 1,2,4-三甲氧基苯      | 0.42 | 0.37 |      |      |       | 0.31  |
| 2     | 2,4-二叔丁基苯酚       | 0.2  | 0.27 | 0.45 | 0.28 |       |       |
| 3     | 1,2,3-三甲氧基苯      | 1.7  | 1.65 | 1.95 | 1.46 | 1.45  | 1     |
| 4     | 1,2-二甲氧基-3-甲基磺酰苯 | 0.37 |      |      |      |       |       |

转下页

接上页

## 醇类

|    |                     |      |      |      |      |      |      |
|----|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| 5  | 3-甲基环己醇             |      |      |      |      | 2.78 | 1.02 |
| 6  | 3-甲基-2-(1-甲基乙基)-环己醇 | 0.96 | 1.28 |      |      |      |      |
| 7  | 芳樟醇氧化物 I            |      |      | 1.19 | 0.87 | 0.99 | 0.71 |
| 8  | 芳樟醇                 | 2.46 | 2.37 | 2.96 | 4.56 | 7.45 | 3.78 |
| 9  | 2,5-二甲基环己醇          | 0.81 | 1.12 | 0.8  | 0.98 | 0.78 | 0.67 |
| 10 | 松香芹醇                | 0.39 | 0.48 |      | 0.63 |      |      |
| 11 | 2-(4-甲基苯基)-2-丙醇     |      |      |      | 0.51 | 0.49 |      |
| 12 | 松油醇                 | 2.51 | 3.33 | 3.7  | 3.66 | 2.61 | 2.49 |
| 13 | 喇叭茶醇                | 0.64 | 0.69 | 0.91 | 0.71 | 0.58 | 0.29 |
| 14 | 2-己基-1-癸醇           | 1.03 | 1.09 | 1.78 | 1.3  | 0.78 | 0.31 |
| 15 | 三十七醇                | 0.27 | 0.37 | 0.42 | 0.43 | 0.32 | 0.25 |
| 16 | 叶绿醇(植醇)             |      |      | 0.52 |      | 3.13 | 1.5  |
| 17 | 3,7,11-三甲基-1-十二醇    |      |      | 0.77 | 0.51 |      |      |
| 18 | 异雪松醇                | 0.52 | 0.45 |      |      |      |      |
| 19 | 杜松醇                 | 1.75 | 1.73 | 1.85 | 1.46 | 1.71 | 1.04 |
| 20 | 叶绿醇                 | 0.57 | 0.67 |      |      |      |      |

## 醛类

|    |                      |      |      |      |      |      |      |
|----|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| 21 | 异戊烯醛                 | 0.39 | 0.43 | 0.21 | 0.51 | 0.38 | 0.44 |
| 22 | 己醛                   | 5.86 | 6.34 | 7.25 | 6.65 | 5.68 | 8.38 |
| 23 | 3-糠醛                 | 0.47 | 0.53 |      |      |      |      |
| 24 | 2-己烯醛                | 1.6  | 1.33 | 1.67 | 2.36 | 1.3  | 1.07 |
| 25 | 庚醛                   | 2.81 | 2.27 | 3.24 | 3.23 | 2.14 | 2.15 |
| 26 | 5-甲基糠醛               | 3.13 | 5.01 | 3.21 | 5.15 | 3.62 | 4.2  |
| 27 | 苯甲醛                  | 2.83 | 3.49 | 3.98 | 4.92 | 3.83 | 3.05 |
| 28 | 正辛醛                  | 0.84 | 0.56 | 0.63 | 0.63 | 0.81 | 0.92 |
| 29 | 苯乙醛                  | 2.14 | 0.64 | 2.51 | 4.13 | 1.25 | 1.5  |
| 30 | 天然壬醛                 | 3.84 | 2.85 | 4.19 | 4.13 | 3.13 | 3.34 |
| 31 | 桃金娘烯醛                |      |      |      | 1.46 | 0.38 | 0.61 |
| 32 | 癸醛                   | 0.52 |      |      |      |      |      |
| 33 | 藏红花醛                 | 0.52 | 0.72 | 1.36 |      | 0.61 | 0.79 |
| 34 | $\beta$ -环柠檬醛        | 0.49 | 0.48 |      | 0.51 | 0.41 | 0.31 |
| 35 | 2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-乙醛 | 0.37 |      |      | 0.59 |      |      |
| 36 | $\beta$ -甲基肉桂醛       |      |      |      | 0.39 | 0.58 | 0.29 |
| 37 | 十五醛                  | 2.51 | 1.25 | 0.52 | 0.43 | 3.01 | 4.95 |
| 38 | 十八醛                  |      |      |      |      | 1.28 | 1.04 |
| 39 | 7,11-十六二烯-1-醛        | 0.17 | 0.67 | 0.38 | 0.47 | 0.38 | 0.31 |

## 酮类

|    |                             |      |      |      |      |      |      |
|----|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 40 | 2-庚酮                        | 0.59 | 0.83 | 0.91 | 0.63 | 0.75 | 0.52 |
| 41 | 6-(1-羟基-1-甲基乙基)-3-甲基环己烯-3-酮 | 0.42 | 0.32 | 0.56 |      | 0.46 | 0.48 |
| 42 | 2,2,5,5-四甲基-3-环戊烯-1-酮       | 0.27 | 0.19 |      |      |      |      |
| 43 | 异佛尔酮                        | 1.26 | 1.79 | 1.26 | 1.49 | 1.36 | 1.4  |

转下页

接上页

|       |                               |       |      |       |       |       |       |
|-------|-------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 44    | 左旋樟脑                          |       |      |       | 1.14  | 0.78  | 0.88  |
| 45    | 苯基丙酮                          |       | 0.56 |       |       |       |       |
| 46    | 茶香酮                           | 1.9   | 2.37 | 1.01  | 1.3   | 1.13  | 1.09  |
| 47    | 松香芹酮                          |       |      |       | 0.59  |       |       |
| 48    | 2-癸酮                          | 0.32  | 0.61 |       |       |       | 0.77  |
| 49    | 菊油环酮                          |       |      |       | 0.39  |       |       |
| 50    | 优香芹酮                          | 0.32  | 0.32 |       | 0.39  | 0.35  | 0.31  |
| 51    | 5-甲基-2-(1-甲基乙基)-<br>环己烯-1-酮   | 0.94  |      | 1.4   | 0.94  | 1.48  | 1.25  |
| 52    | 2-十一酮                         | 0.39  |      |       |       | 0.29  | 0.36  |
| 53    | $\alpha$ -紫罗兰酮                | 0.54  | 0.56 |       |       |       |       |
| 54    | 烟酮                            |       |      |       |       |       | 0.81  |
| 55    | 六氢假紫罗兰酮                       |       |      |       |       | 0.64  | 1.55  |
| 56    | 4-羟基- $\beta$ -紫罗兰酮           | 0.76  | 0.67 | 0.56  | 1.61  | 1.51  | 0.94  |
| 57    | 2-十三酮                         | 0.3   | 0.43 | 0.84  |       |       |       |
| 58    | 5-甲基-2-(1-甲基乙基)-2-<br>环己烯-1-酮 | 3.1   | 3.68 |       |       | 2.93  | 3.28  |
| 59    | 植酮                            | 2.63  | 2.43 | 1.85  | 1.57  | 3.36  | 4.32  |
| 酯类    |                               |       |      |       |       |       |       |
| 60    | 柠檬烯-6-醇三甲基乙酯                  |       |      | 0.87  |       |       |       |
| 61    | 橙花叔基乙酸酯                       | 0.44  | 0.72 |       | 0.83  | 0.32  | 0.31  |
| 62    | 柠檬烯-6-醇三甲基乙酯                  |       |      |       |       | 0.55  | 0.44  |
| 63    | 8-甲基-9-十四烯-1-醇乙酯              |       |      |       |       | 0.2   | 0.23  |
| 64    | 乙酸十八酯                         | 1.11  |      | 1.26  | 3.82  | 0.93  | 0.33  |
| 65    | 10-十八烯酸甲酯                     |       |      |       |       | 0.41  | 0.33  |
| 杂环化合物 |                               |       |      |       |       |       |       |
| 66    | 吡啶                            | 0.3   | 0.27 |       |       |       | 0.23  |
| 67    | N-乙基吡咯                        | 0.22  | 0.24 | 0.49  | 0.28  |       | 0.25  |
| 68    | 2,6-二甲基吡啶                     | 0.27  |      |       |       |       | 0.25  |
| 69    | 2-乙酰基咪喃                       | 0.2   |      |       |       |       |       |
| 70    | 2,6-二甲基吡嗪                     | 1.26  | 1.44 | 0.94  | 1.02  | 1.28  | 1.48  |
| 71    | 2-正戊基咪喃                       | 1.53  | 1.39 | 3     | 1.77  | 1.77  | 1.57  |
| 72    | 2,3,5-三甲基吡嗪                   | 0.3   | 0.29 |       |       |       | 0.29  |
| 73    | 喹啉                            | 0.3   | 0.48 |       |       |       | 0.79  |
| 74    | 菲                             | 1.35  | 0.96 | 0.94  | 0.75  |       |       |
| 烯烃类   |                               |       |      |       |       |       |       |
| 75    | 枞油烯                           | 0.79  | 0.75 | 0.91  |       |       |       |
| 76    | (-)-柠檬烯                       |       |      |       |       | 3.45  | 2.15  |
| 77    | 4-甲基-1-(1-甲基乙基)-环己烯           |       |      |       |       | 0.32  | 0.25  |
| 78    | 异喇叭烯                          | 0.37  | 0.43 | 0.66  |       |       |       |
| 79    | 环蒜头烯                          | 24.28 | 23.4 | 28.15 | 20.22 | 17.01 | 20.49 |
| 80    | 榄香烯                           | 1.9   | 1.89 | 2.2   | 1.69  | 1.28  | 1.27  |
| 81    | 长叶烯                           |       |      |       | 0.83  | 0.43  | 0.23  |
| 82    | 佛术烯                           | 1.53  | 1.41 | 1.53  | 2.75  | 0.93  | 1.21  |

转下页

接上页

|    |                 |      |      |      |      |      |      |
|----|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| 83 | 罗汉柏烯            | 0.66 | 0.91 | 1.08 |      |      |      |
| 84 | $\beta$ -新丁香三环烯 | 1.03 | 1.09 | 1.36 | 1.06 | 1.83 | 1.09 |
| 85 | 石竹烯氧化物          | 1.31 | 1.39 | 0.87 | 1.1  | 0.9  | 0.56 |
| 86 | 10-二十一烯         | 1.01 | 1.36 | 0.91 | 0.9  | 1.51 | 1.52 |

注：表中数值是指该香气成分气相色谱峰面积占所解出香气成分色谱峰总面积的相对百分含量

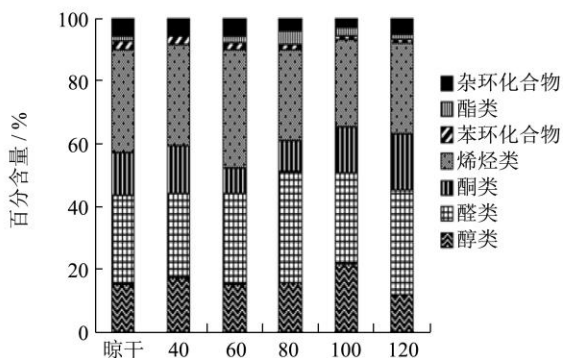


图4 不同温度处理的普洱茶香气组成图

Fig.4 Aroma composition of Pu-erh tea dried at different temperatures

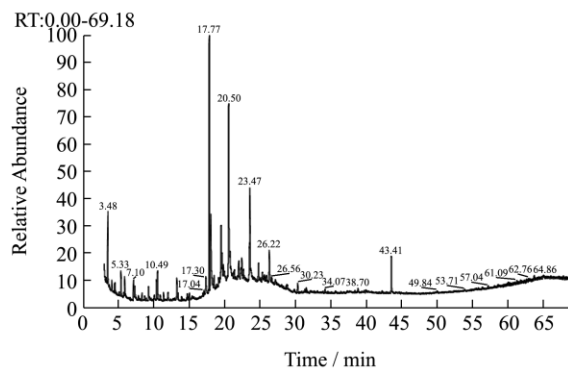


图7 60°C样品香气成分总离子流图

Fig.7 Total ion flow chromatogram of volatile aroma components in Pu-erh tea dried at 60 °C

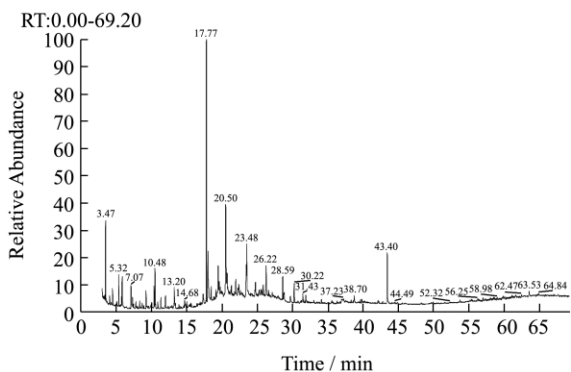


图5 晾干样品香气成分总离子流图

Fig.5 Total ion flow chromatogram of volatile aroma components in air-dried Pu-erh tea

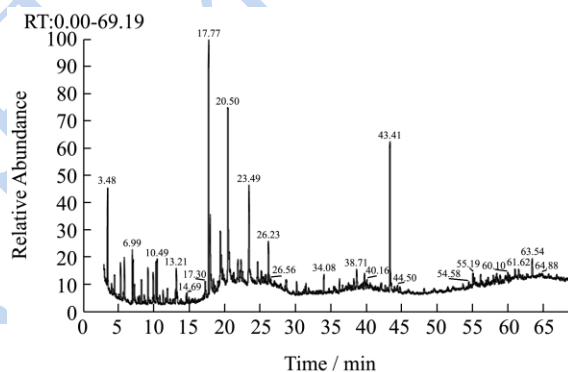


图8 80°C样品香气成分总离子流图

Fig.8 Total ion flow chromatogram of volatile aroma components in Pu-erh tea dried at 80 °C

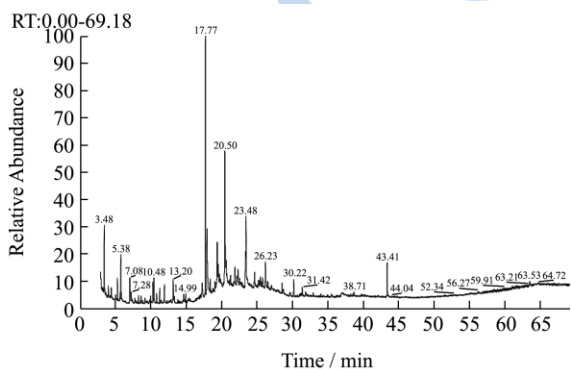


图6 40°C样品香气成分总离子流图

Fig.6 Total ion flow chromatogram of volatile aroma components in Pu-erh tea air-dried at 40°C

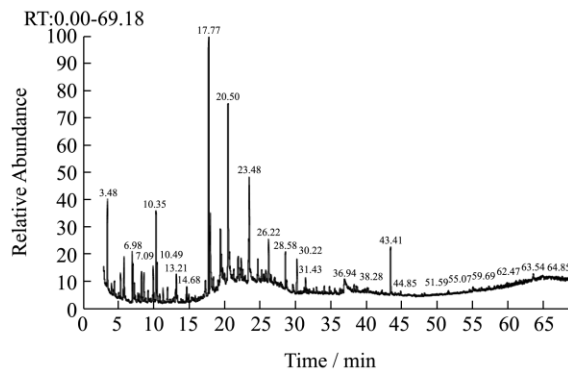


图9 100°C样品香气成分总离子流图

Fig.9 Total ion flow chromatogram of volatile aroma components in Pu-erh tea dried at 100 °C

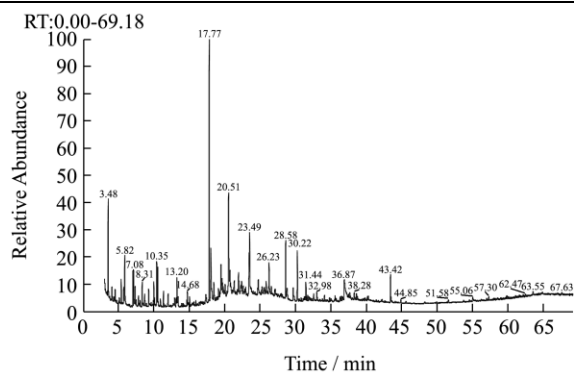


图 10 120℃样品香气成分总离子流图

Fig.10 Total ion flow chromatogram of volatile aroma components in Pu-erh tea dried at 120 °C

### 3 结论

3.1 普洱茶在发酵过程以多酚类物质的转化、聚合反应为主体生成了各种影响普洱茶品质的成分。实验结果表明,不同温度处理对茶叶多酚类物质具有一定影响,干燥处理过程中,处理温度增高,多酚类物质的非酶促自动氧化作用相对增强。晾干处理后的茶多酚和茶褐素含量要低于低温烘干处理组,儿茶素含量高于烘干各组。60℃以下的低温干燥组与80℃以上的高温干燥组相比,茶多酚、儿茶素的转化率相对较低,但是茶褐素的积累量更高。其转化机制需要进一步证明。

3.2 分析不同处理组的挥发性香气成分结果表明,不同温度干燥处理对普洱茶香气成分有明显影响。通过添加丙氨酸和木糖促进发酵的各组普洱茶主要香气成分有(+)-环蒜头烯、己醛、庚醛、5-甲基糠醛、苯甲醛、苯乙醛、天然壬醛等。低温干燥组的香气成分中烯烴类物质所占百分比比较大,高温干燥组中醛类物质所占百分比比较大。低温干燥组的苯环化合物和杂环化合物香气成分均高于高温干燥组,晾干组最高。晾干组香气成分的种类最多,所形成的香气成分最符合普洱茶的特征香气。烘干处理会产生烘烤香、焦香。当处理温度高于80℃时,普洱茶的特征香气成分可能发生了热降解、转化反应,而产生了一些复杂香气成分,这种结构上的细微变化也会改变茶叶的香型。不同干燥温度对各香气成分的形成以及成分之间的相互转化机理仍需进一步证明。

3.3 综合而言,经过不同温度干燥处理的各组中晾干处理(室温17~23℃)所得到的茶叶香气成分最符合普洱茶陈醇的香型特征,干燥温度低于60℃能相对较好的保证普洱茶多酚类物质的转化、茶褐素的积累和特征香气成分的生成。

### 参考文献

- [1] Chu S L, Fu H, Yang J X, et al. A randomized double-blind placebo-controlled study of Pu'er tea extract on the regulation of metabolic syndrome [J]. *Chin. J. Integr. Med.*, 2011, 17(7): 492-498
- [2] Jeng K C, Chen C S, Fang Y P, et al. Effect of microbial fermentation on content of statin, GABA, and polyphenols in Pu-Erh tea [J]. *J. Agric. Food Chem.*, 2007, 55(21): 8787-8792
- [3] Ahmed S, Unachukwu U, Stepp J R, et al. Pu-erh tea tasting in Yunnan, China: correlation of drinkers' perceptions to phytochemistry [J]. *J. Ethnopharmacol.*, 2010, 132(1): 176-185
- [4] 凌萌乐,刘通讯.不同氨基酸对普洱茶发酵过程中多酚类物质转化及品质的影响[J]. *食品发酵工业*, 2013, 39(5): 120-124  
LIU Tong-xun, LING Meng-le. Effect of different amino acids on the flavour and volatile aroma components of ripe Pu-erh tea [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 39(5): 120-124
- [5] 高力,刘通讯.渥堆发酵过程中添加不同浓度木糖对普洱茶品质的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(3): 36-40  
GAO Li, LIU Tong-xun. Study on the aroma components of Pu-erh ripe teas fermented by adding exogenous carbon source [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(3): 36-40
- [6] Zhao Y, Chen P, Lin L Z, et al. Tentative identification, quantitation, and principal component analysis of green pu-erh, green, and white teas using UPLC/DAD/MS [J]. *Food Chem.*, 2011, 126(3): 1269-1277
- [7] 董文明,谭超,李凌飞,等.普洱茶发酵过程中茶褐素主要分子结构及其变化研究[J]. *食品科技*, 2013, 38(4): 53-57  
DONG Wen-ming, TAN Chao, LI Ling-fei, et al. The main molecular structure of theabrownin and changes during the fermentation of pu-erh tea [J]. *Food Science and Technology*, 2013, 38(4): 53-57
- [8] 刘晓慧,张丽霞,王日为,等.顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析黄茶香气成分[J]. *食品科学*, 2010, 31(16): 239-243  
LIU Xiao-hui, ZHANG Li-xia, WANG Ri-wei, et al. Analysis of volatile components of yellow tea by HS-SPME/GC-MS [J]. *Food Science and Technology*, 2010, 31(16): 239-243
- [9] Gu X G, Zhang Z Z, Wan X C, et al. Simultaneous distillation extraction of some volatile flavor components from Pu-erh tea samples-comparison with steam distillation-liquid/liquid extraction and soxhlet extraction [J]. *Int J Anal Chem*, 2009:



276713

- [10] Lv H P, Zhong Q S, Lin Z, et al. Aroma characterisation of Pu-erh tea using headspace-solid phase microextraction combined with GCMS and GC-olfactometry [J]. Food Chem, 2012, 130(4): 1074-1081
- [11] 曹艳妮,刘通讯.不同储存时间普洱生茶和熟茶香气成分分析[J].食品工业,2011,10:64-67
- CAO Yan-ni, LIU Tong-xun. Analysis of aroma composition in pu-erh raw and ripe teas with different storage time [J]. Food Industry, 2011, 10: 64-67

现代食品科技