

# 不同外源酶对金观音红茶香气组分的影响

罗晶晶, 王登良\*, 魏青

(华南农业大学园艺学院, 广州 510642)

**摘要:** **目的** 研究不同外源酶处理对金观音红茶香气组分的影响, 确定在萎凋过程中添加外源酶与红茶香气组分的关系。**方法** 采用顶空-固相微萃取技术提取金观音红茶的香气成分, 探讨在萎凋过程中添加木聚糖酶、纤维素酶、木瓜蛋白酶处理后金观音红茶香气成分的变化, 经气质联用分析确定不同外源酶添加后金观音红茶的香气组分的变化。**结果** 4种茶样共鉴定出29种挥发性物质, 其中醇类物质5种、烯烃类物质13种、烷烃类物质4种、酮酯类物质3种以及其他类物质4种。对照样鉴定出23种香气化合物, 3种外源酶处理的样品均鉴定出29种香气化合物。4种处理茶样均含有的主要香气组分为反- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙烯基四氢化-2-呋喃甲醇、顺- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇、1-石竹烯、芳樟醇氧化物 II 和杜松烯等。**结论** 3种酶处理的茶样香气物质种类较未经酶处理的茶样要有所增加。另外, 3种外源酶处理的香气组分的相对含量均较对照组的要高, 其中纤维素酶处理的香气组分最高, 达到86.19%。

**关键词:** 金观音; 顶空-固相微萃取; 木聚糖酶; 纤维素酶; 木瓜蛋白酶; 香气成分

## Effects of enzymatic treatments on the aromatic components of Jinguanyin black tea

LUO Jing-Jing, WANG Deng-Liang\*, WEI Qing

(College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**ABSTRACT: Objective** To research the effects of different enzymatic treatments on the aromatic components of Jinguanyin black tea, and establish the relationship between enzymatic treatments and aromatic components of Jinguanyin black tea. **Methods** The volatiles in Jinguanyin black tea were determined by the headspace solid-phase micro extraction (HS-SPME) and capillary gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Changes in aroma components of Jinguanyin black tea treated by xylanase, cellulase and papain in the withering process were discussed and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). **Results** A total of 29 volatile components were identified in the 4 samples, including 5 alcohols, 13 alkenes, 4 alkanes, 3 ketonic esters and 4 others. 23 kinds of volatile compounds were identified in the tea sample treated by vacancy, and 29 kinds of volatile compounds were identified in the tea sample treated by xylanase, cellulase and papain. The main aroma components contained in 4 tea included *trans*- $\alpha,\alpha$ -5-trimethyl-5-vinyl-tetrahydronaphthalene-2-furyl methanol, *cis*- $\alpha,\alpha$ -5-trimethyl-5-vinyl-tetrahydronaphthalene-2-methanol, l-caryophyllene, linalool oxide II, d-cadinene, and so on. **Conclusion** The kinds of aromatic components of the tea samples

基金项目: 广东英德红茶加工工艺技术规程

**Fund:** Supported by the Technical Regulations of Yingde Black Tea Processing Technology in Guangdong

\*通讯作者: 王登良, 教授, 主要研究方向为茶叶生化与加工。E-mail: wdl8211@163.com

\*Corresponding author: WANG Deng-Liang, Professor, College of Horticulture, South China Agricultural University, No.483, Wushan Road, Tianhe District, Guangzhou 510642, China. E-mail: wdl8211@163.com

treated by enzymes are increased slightly compared to control. In addition, the enzymatic treatments improve the contents of volatile compounds, and the content of volatile compounds is the highest, which is treated with cellulose, and reaches 86.19%.

**KEY WORDS:** Jinguanyin; headspace solid-phase micro extraction; xylanase; cellulase; papain; volatile compounds

## 1 引言

金观音(Jinguanyin), 又名茗科1号, 是由福建省农业科学院茶叶研究所于1978~1999年以铁观音为母本, 黄金桂为父本, 采用杂交育种法育成而成<sup>[1]</sup>。2000年通过福建省品种审定, 2002年通过国家级品种审定<sup>[2]</sup>。该品种为灌木型, 中叶类, 早生种<sup>[3]</sup>, 具有持嫩性强、扦插和种植成活率高、抗逆性强、开采早等特点, 适制乌龙茶, 也可以制作红、绿及白茶, 目前已经在广东、广西以及浙江等地区引种<sup>[4-6]</sup>。

外源酶是指不属于制品本身所固有的外加酶类。在茶叶加工中应用较多的外源酶有多酚氧化酶、单宁酶、纤维素酶、果胶酶、蛋白酶、淀粉酶等<sup>[7]</sup>。目前, 国内外学者已对在茶叶加工中添加外源酶做了一些研究, 其中红茶加工, 主要集中在揉捻和发酵过程中添加外源酶对红茶品质的影响, 在红茶发酵或揉捻中添加多酚氧化酶对于茶红素和茶黄素有明显的提高, 添加胰蛋白酶或蛋白酶等均对茶红素含量的提高有利<sup>[8]</sup>。而对于茶叶香气组分影响的研究较少<sup>[9,10]</sup>。肖世青研究外源酶对铁观音香气成分影响<sup>[11]</sup>, 表明纤维素酶和木瓜蛋白酶可以明显改善暑茶的香气品质。由于木聚糖酶与纤维素酶的作用类似, 本研究选用了纤维素酶、木瓜蛋白酶和木聚糖酶作为外源酶进行研究。

在萎凋过程中添加外源酶鲜有人研究, 而萎凋对于红茶的加工却十分重要。萎凋程度对揉捻及发酵都有很大的影响。前人研究表明<sup>[12]</sup>, 萎凋对红茶和乌龙茶香气的形成有一定的影响, 过萎凋和不萎凋对茶叶香气成分的影响有所不同, 经过萎凋的红茶E-2己烯醇、Z-3甲酸乙酯、芳樟醇及其氧化物和水杨酸甲酯的含量偏高。

本研究在金观音鲜叶萎凋过程中加入外源酶, 采用顶空-固相微萃取方法(headspace solid-phase micro extraction, HS-SPME)提取挥发性成分, 并与气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry,

GC-MS)联用, 对金观音红茶的香气组分进行比较研究, 探讨纤维素酶、木瓜蛋白酶以及木聚糖酶对成品金观音红茶香气成分的影响。本研究为外源酶在茶叶加工中的利用进一步提供了理论基础, 为外源酶与茶叶香气的关系研究奠定了基础。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与试剂

鲜叶采摘于广东省德高信种植有限公司茶园的金观音品种, 采摘标准为一芽二、三叶, 采摘时间为2013年9月。

纤维素酶(10万U/g, 宁夏和氏璧生物技术有限公司); 木聚糖酶(10万U/g, 宁夏和氏璧生物技术有限公司); 木瓜蛋白酶(20万U/g, 宁夏和氏璧生物技术有限公司)。

### 2.2 仪器与设备

揉捻机(6CRM-25型, 浙江春江茶叶机械有限公司); 旋转式烘焙提香机(6CHT-70型, 浙江春江茶叶机械有限公司); 气相色谱-质谱联用仪(TRACE GC-2000, 美国Thermo Finnigan)。

### 2.3 试验方法

#### 2.3.1 金观音红茶的加工

按照传统工夫红茶初制技术: 鲜叶→室内自然萎凋→揉捻→发酵→干燥。在室内自然萎凋过程中加入不同的酶液, 最后按照红茶加工工艺制成毛茶。室内温度: 26℃~28℃, 室内湿度: 60%~70%, 鲜叶采摘回来后摊放2h之后添加外源酶。对照组在萎凋过程中加入等量的水(ck), 实验组分为三组, 即添加纤维素酶、木瓜蛋白酶和木聚糖酶, 不同的实验组取样时重复三次。酶的浓度均为: 250U/mL, 液叶比为1:10<sup>[13]</sup>。

#### 2.3.2 SPME萃取方法

采用复合DVD/CAR/PDMS(二乙烯基苯-碳烯-聚二甲硅氧烷共聚物)萃取纤维。取茶样1g, 放入50

mL 密闭顶空瓶中, 40 °C 下平衡, 然后将 SPME 手持器插入顶空瓶中, 富集萃取 40 min, 在 230 °C 脱附 3 min 进样<sup>[14]</sup>。

### 2.3.3 GC-MS 分析条件

DB-1 石英毛细管柱(长 30 m, 内径 0.25 mm, 液膜厚度 0.1 μm), 载气 He(99.99%), 流速 1.0 mL/min。进样口温度 230 °C, 固相微萃取脱附 5 min。程序升温: 50 °C 保持 2 min, 以 3 °C/min 升至 110 °C, 保持 2 min, 以 5 °C/min 升至 170 °C, 保持 2 min, 以 10 °C/min 升至 230 °C。EI 离子源温度 170 °C, 电子能量 70 eV, 光电倍增管电压 350 V。质量扫描范围 35~335 amu。

### 2.3.4 香气成分定量和定性分析

将各色谱峰对应的质谱图进行人工解析及计算机检索(质谱图用 NIST、Willey 谱库搜索), 与有关文献进行核对, 确定其化学成分, 同时采用峰面积归一化定量, 得到各组分的相对含量(组分峰面积占总峰面积的百分比); 再结合保留时间、质谱、实际成分和保留指数等参数对部分组分进一步确定。

### 2.3.5 审评方法

由专业评茶师参照 GB/T 23776-2009 中工夫红茶的感官审评方法打分, 综合评定品质高低。

## 2.4 数据统计

用 Microsoft Excel 2007 对数据进行处理与作图。

## 3 结果与分析

### 3.1 主要香气物质组成分析

总离子图中各峰经质谱扫描后所得的质谱图如图 1 所示, 采用计算机进行质谱数据库检索(NIST/Willey 数据库), 人工图谱解析, 以面积归一法计算各组分的相对含量。经分析鉴定, 所检出的香气成分如表 1 所示。

茶叶样品共鉴别出 29 种香气物质, ck 对照组检测出 23 种, 其他 3 种酶处理的茶叶检测均检测出 29 种, 总共包含 5 种醇类物质、13 种烯烴类物质、4 种烷烴类物质、3 种酮酯类物质以及 4 种其他类物质。ck 对照组中检测出的香气组分占提取物总量的 83.25%, 木聚糖酶处理组中检测出的香气组分占提取物总量的 84.92%, 纤维素酶处理组中检测出的香气组分占提取物总量的 86.19%, 木瓜蛋白酶处理组中检测出的香气组分占提取物总量的 85.24%。醇类

物质的相对含量是所有香气组分中最高的, 酮酯类物质的相对含量是所有香气组分中最低的, 如图 2 所示。

#### 3.1.1 醇类

醇类物质是 4 组样品中检测到的主要香气物质, 对照 ck 含量最高, 达到 45.14%; 木聚糖酶处理组的含量最低, 达到 34.63%。其中反- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙炔基四氢化-2-咪喃甲醇的含量在醇类物质中含量最高, 有可能是金观音红茶的特征香气物质。醇类物质中与 ck 对照相比, 添加木聚糖酶的香气组分中顺- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙炔基四氢化咪喃-2-甲醇、反- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙炔基四氢化-2-咪喃甲醇和芳樟醇含量有明显降低。添加外源酶不利于醇类香气物质的形成, 添加木聚糖酶醇类物质降低最明显, 添加纤维素酶对醇类物质的影响最小。植物体内醇类香气组分的形成主要由脂肪酸或氨基酸衍生而成<sup>[15]</sup>, 因此醇类物质的变化有可能是由于外源酶的添加对香气的前体物质含量改变而导致。

#### 3.1.2 烯烴类

烯烴类物质是 4 组样品中检测到的香气组分种类最多的, 多达 13 种。添加外源酶的 3 组样品中均检出了  $\beta$ -波旁烯、(-)-g-杜松烯和去氢白菖烯, ck 对照组中没有检测出这三种物质。ck 对照组中的烯烴类物质占提取物总量的 22.73%, 木聚糖酶处理组中的烯烴类物质含量最高, 达到 29.12%, 其他两种外源酶处理的烯烴类物质也均比对照要高。由此可见, 外源酶处理有利于增加烯烴类物质的种类及相对含量。烯烴类物质以 1-石竹烯和杜松烯含量最高, 1-石竹烯的含量以木聚糖酶处理的最高, 其他两种酶处理后 1-石竹烯反而所有降低, 这表明不同酶处理对于 1-石竹烯的影响不同。

#### 3.1.3 酯类和酮类

酮酯类物质作为茶叶中挥发花香或果香类而存在, 3 种不同的外源酶处理与 ck 对照处理比较, 均检测出了  $\beta$ -紫罗酮。 $\beta$ -紫罗酮的含量分别达到 1.39%、1.16%和 1.24%,  $\beta$ -紫罗酮是给红茶带来甜花香的挥发性化合物, 因此这 3 种不同的外源酶处理均有利于红茶香气向愉悦的甜花香转变。肉豆蔻酸异丙酯的含量在木聚糖酶处理后达到了 0.84%, 比对照提高了 90.91%; 经纤维素酶处理后变化不大; 经木瓜蛋白酶处理后达到了 2.05%, 相比对照提高了 3.66 倍。由此可见, 木瓜蛋白酶处理能明显促进肉豆蔻酸异丙酯的转化。

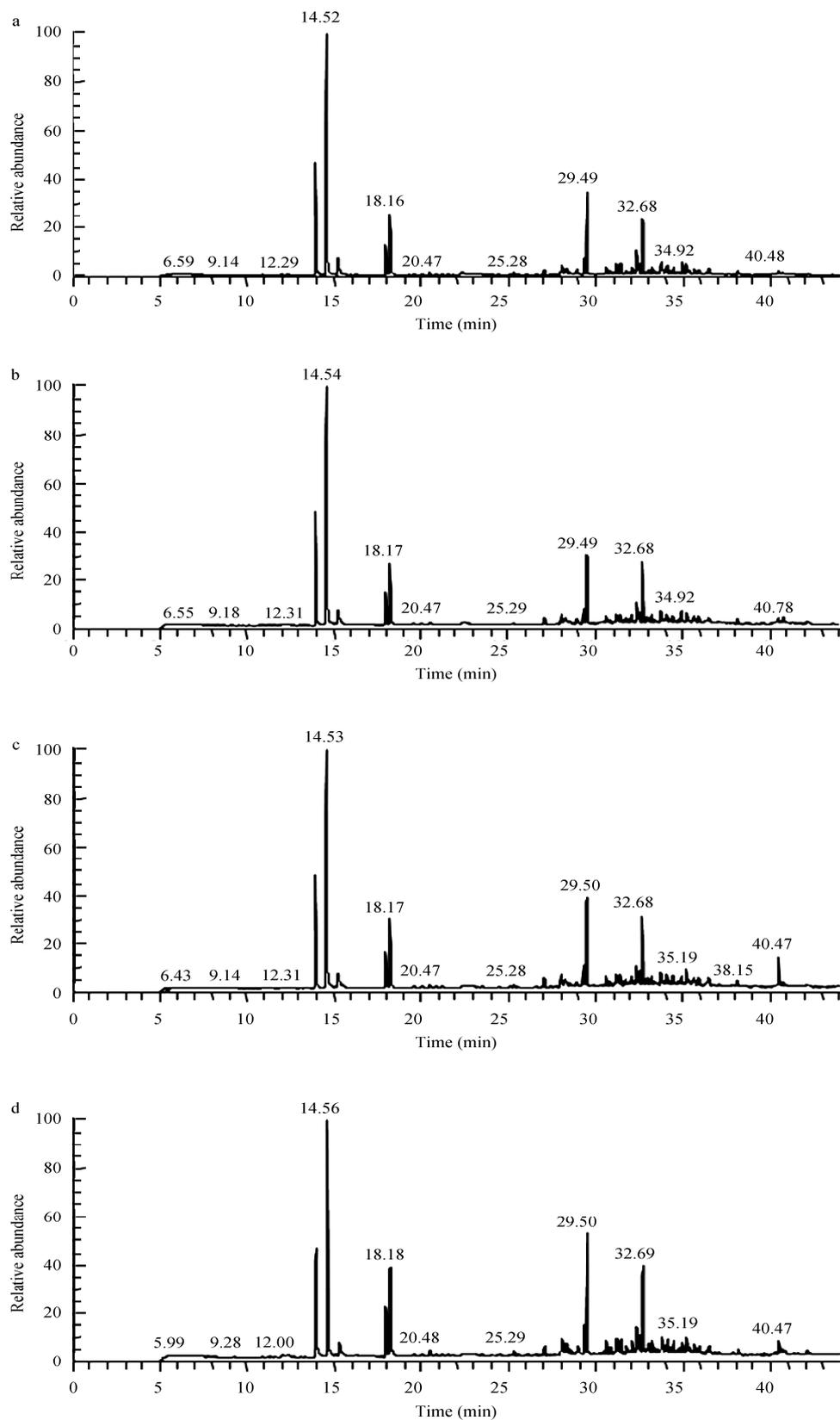


图1 对照组(a)和实验组木聚糖酶(b)、纤维素酶(c)、木瓜蛋白酶(d)的总离子图

Fig. 1 Total ion chromatogram of aroma compounds of ck (a) and experimental group (xylanase (b), cellulase (c) and papain (d))

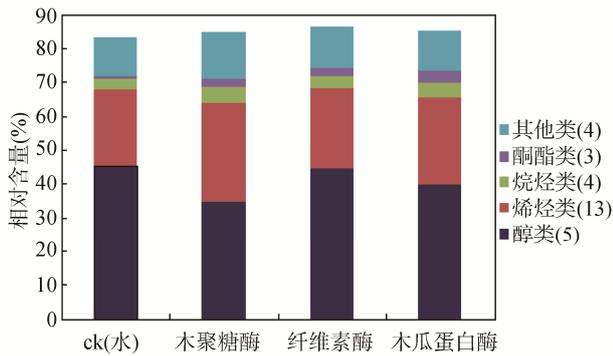


图 2 不同外源酶处理的香气组分

Fig. 2 Aroma components of different treatments

3.1.4 其他

其他类的香气组分主要有芳樟醇氧化物 I、芳樟醇氧化物 II 和萜澄茄油萜等物质。对照组中芳樟醇氧化物 II 的含量最高, 达到 7.24%, 其次是芳樟醇氧化物 I, 达到 3.90%。经木聚糖酶处理后, 这两种香气组分均有一定程度的上升, 上升幅度分别为 10.64% 和 39.45%。三种不同外源酶处理与 ck 对照处理比较,

均检测出了萜澄茄油萜。3 种外源酶处理后, 1-萜酚-1,2,3,4,4a,7,8,8a-八氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)的含量均有所上升。研究表明, 黑茶通过微生物处理后进行发酵以及单丛茶经过重发酵均有利于芳樟醇氧化物的形成<sup>[16,17]</sup>。由此可见, 通过外源酶处理, 对于红茶的发酵有可能存在影响, 进而导致芳樟醇氧化物的增加。

3.2 不同处理香气的差异性分析

由表 1 可知, 4 组样品中都含有的主要香气成分有反- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙炔基四氢化-2-咪喃甲醇、顺- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙炔基四氢化咪喃-2-甲醇、1-石竹烯、芳樟醇氧化物 II 和杜松烯, 因此这几种香气组分很有可能是成品红茶的特征香气组分。不同的外源酶处理均检测到这几种主要的香气组分, 表明外源酶处理对金观音红茶的特征香气组分的种类没有明显影响。3 种不同外源酶处理均检测出 29 种香气组分, 对金观音红茶的特征香气组分的种类来说也没有明显差异。

表 1 不同外源酶处理的香气组分及相对含量

Table 1 Relative content of aroma components of different treatments

编号(No.)	保留时间	香气成分	ck	木聚糖酶	纤维素酶	木瓜蛋白酶
<b>醇类(5)</b>						
1	13.94	顺- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙炔基四氢化咪喃-2-甲醇	13.04	9.81	13.09	11.47
2	14.55	反- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙炔基四氢化-2-咪喃甲醇	27.37	20.52	26.69	23.68
3	15.24	芳樟醇	2.52	1.79	2.06	2.24
4	33.74	S-(Z)-3,7,11-三甲基-1,6,10-十二烷三烯-3-醇	1.72	1.78	1.75	1.75
5	35.94	$\alpha$ -萜澄茄醇	0.49	0.73	0.74	0.76
<b>烯类(13)</b>						
6	27.06	(-)- $\alpha$ -萜澄茄油烯	0.52	0.82	0.70	0.84
7	28.05	$\alpha$ -蒎烯	1.27	1.67	1.14	1.52
8	28.31	$\beta$ -波旁烯	—	0.76	0.56	0.63
9	28.93	1-十四烯	1.92	2.04	1.65	1.63
10	29.50	1-石竹烯	8.06	9.08	6.59	7.58
11	30.58	$\alpha$ -石竹烯	0.73	0.88	0.69	0.79
12	31.33	(-)-g-杜松烯	—	0.31	0.25	0.27
13	32.04	$\alpha$ -衣兰油烯	0.64	0.93	0.80	0.77
14	32.31	3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十二碳-四烯	3.28	2.97	2.85	2.44
15	32.49	去氢白菖烯	—	1.36	1.13	1.43

续表 1

编号(No.)	保留时间	香气成分	ck	木聚糖酶	纤维素酶	木瓜蛋白酶
16	32.68	杜松烯	5.12	5.96	5.41	5.43
17	33.02	$\alpha$ -二去氢萹蒲烯	0.38	0.60	0.49	0.54
18	33.22	氧化石竹烯	0.81	1.74	1.48	1.52
烷烃类(4)						
19	29.31	十四烷	1.76	2.40	1.66	1.89
20	31.42	2,6,10-三甲基十二烷	—	0.94	0.77	0.84
21	34.43	3-甲基十五烷	0.58	0.70	0.56	0.66
22	35.20	十六烷	0.91	0.88	0.69	1.05
酮、酯类(3)						
23	31.19	$\beta$ -紫罗酮	—	1.39	1.16	1.24
24	40.47	肉豆蔻酸异丙酯	0.44	0.84	0.58	2.05
25	40.78	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	0.07	0.16	0.50	0.20
其他(4)						
26	17.93	芳樟醇氧化物 I	3.90	4.56	3.94	3.83
27	18.19	芳樟醇氧化物 II	7.24	8.01	7.05	6.98
28	31.72	萜澄茄油萜	—	0.56	0.49	0.50
29	35.64	1-萘酚-1,2,3,4,4a,7,8,8a-八氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)	0.48	0.73	0.72	0.71
合计			83.25	84.92	86.19	85.24

不同外源酶处理对香气的影响主要集中在香气含量,纤维素酶处理后顺- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙炔基四氢化呋喃-2-甲醇的含量没有明显变化,其他两种酶处理后其含量均有一定程度的减低。含量最高的反- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙炔基四氢化-2-呋喃甲醇在三种酶处理后均有所降低,其中纤维素酶处理的降低幅度小,为2.48%。三种外源酶处理后,检测出的新的香气组分以烯类居多,烯烃类香气组分是重要的赋香组分。 $\beta$ -波旁烯、(-)-g-杜松烯和 $\beta$ -紫罗酮的含量均以木聚糖酶处理的含量最高。因此,从香气物质的总量来看,以纤维素酶处理的效果最好。从醇类物质的变化上来看,纤维素酶处理的降低趋势最小,木聚糖酶处理的降低趋势最大。从烯烃类物质的变化上来看,以木聚糖酶处理的效果最好。因此,不同外源酶处理对金观音红茶香气组分的影响主要体现在香气组分的相对含量上,与对照组相比,在香气组分种类的增加上具有一定促进作用。

### 3.3 不同酶处理对金观音红茶感官品质的影响

对于不同外源酶处理的茶样进行感官审评(表 2),

结果表明,纤维素酶处理的香气品质最好,其次为木聚糖酶处理,3种酶处理的香气品质均要高于对照处理。感官审评总的得分上,纤维素酶处理的茶样得分最高。因此,从感官审评的结果来看,以纤维素酶处理的效果最好,香气和综合品质均表现最好。

## 4 讨论

对实验组和对照组香气物质的分析表明,金观音红茶的香气组分以醇类、烯烃类及其他类为主,这3种物质均能表现出愉悦的花果香。与对照组相比,3种不同的外源酶能促进香气种类的形成,这可能是由于在萎凋过程中外源酶促进了香气物质的转化。香气组分的相对含量上也有升有降,这可能是由于外源酶处理导致香气前提物质含量的变化,最终导致香气物质的含量不同。外源酶对红茶香气作用的机制,可能是由于外源酶的添加,促进了红茶内部物质的氧化、还原、化合、分解、酯化、异构化等复杂反应,最终引起和促进芳香物质的产生或提高。

表 2 不同外源酶处理金观音红茶的感官审评结果  
Table 2 Sensory evaluation results of Jinguanyin black tea for different treatments

处理	外形 25%		汤色 10%		香气 25%		滋味 30%		叶底 10%		总分
	评语	赋分	评语	赋分	评语	赋分	评语	赋分	评语	赋分	
Ck	乌尚润, 条索紧结	17.5	红亮带金圈	8.0	甜香	20.0	醇和稍淡	25.2	红亮花杂	7.0	77.7
聚	乌润, 条索紧结	18.2	红亮带金圈	8.2	甜香	20.8	醇和	26.0	红亮稍花杂	7.5	80.7
纤	乌润, 条索紧结	19.0	红浓明亮带金圈	8.7	甜香持久	22.0	醇爽	26.5	红亮稍花杂	7.7	83.9
瓜	乌润, 条索紧结, 欠匀	18.0	红尚亮有金圈	7.8	甜香	20.5	醇和稍酸	24.9	红亮稍花杂	7.4	78.6

三种不同的外源酶处理, 香气组分的种类相同, 但相对含量有所不同。醇类物质以木聚糖酶处理的最低, 纤维素酶处理的最高; 烯炔类物质以木聚糖酶处理的最高, 纤维素酶处理的最低。由此可见, 如果金观音红茶的香气主要由醇类物质表征, 那么纤维素酶处理的效果最好; 如果由烯炔类物质表征, 则以木聚糖酶处理的效果最好。从香气总量的角度来看, 则以纤维素酶处理的效果最好。结合感官审评结果, 以纤维素酶处理的效果最好。由以上分析可知不同的外源酶处理对金观音红茶香气组分的形成具有推动作用, 这对于研究外源酶与香气关系具有十分重要的作用。外源酶对红茶香气组分影响的机理, 需要进一步的研究去论证。

#### 参考文献

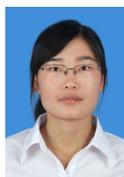
- [1] 郭吉春, 叶乃兴, 何孝延, 等. 乌龙茶品系比较鉴定与选择[J]. 茶叶科学简报, 1994, (04): 14-21.  
Guo JC, Ye NX, He XY, *et al.* Comparative appraisal and selection of oolong tea strain [J]. Tea Sci Pres J, 1994, (04): 14-21.
- [2] 郭吉春, 叶乃兴, 杨如兴, 等. 铁观音与黄金桂杂交种金观音、黄观音的选育与应用[C]. 第四届海峡两岸茶业学术研讨会, 2006: 55-61.  
Guo JC, Ye NX, Yang RX, *et al.* Selection and application of Jinguanyin and Huangguanyin which were hybrid by Tieguanyin and Huangjingui [C]. The fourth tea aliquam symposium across the strait, 2006: 55-61.
- [3] 张宝秀, 郭雅玲. 新品种茗科 1 号(金观音)研究与应综述[J]. 福建茶叶, 2007, (02): 5-6.  
Zhang BX, Guo YL. Research and application progress of new variety Ming Ke 1 (Jinguanyin) [J]. Tea Fujian, 2007(02): 5-6.
- [4] 林国轩, 刘玉芳, 杨春. 金观音品种在桂北的引种试验[J]. 广西农学报, 2012, 27(2): 15-19.  
Lin GX, Liu YF, Yang C. The naturalized experiment of Jinguanyin oolong tea in northern Guangxi [J]. J Guangxi Agric, 2012, 27(2): 15-19.
- [5] 周淑兰, 徐平. 金观音茶树良种在浙江省龙泉市推广种植的适应性研究初报[J]. 杭州农业与科技, 2012, (1): 42-43.  
Zhou SL, Xu P. Studies on the adaptation of Jinguanyin planted in Zhejiang Longquan [J]. Hangzhou Agric Sci Technol, 2012, (1): 42-43.
- [6] 黄华林, 李家贤, 何玉媚. 金观音、黄奇等四个乌龙茶品种在广东的适应性[J]. 茶叶科学技术, 2006, (03): 11-12.  
Huang HL, Li JX, He YM. Adaption of four olong tea varieties in Guangdong, such as Jinguanyin, Huangqi, *etc* [J]. Tea Sci Technol, 2006, (03): 11-12.
- [7] 肖文军, 刘仲华, 黎星辉. 茶叶加工中的外源酶研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2003, (03): 264-267.  
Xiao WJ, Liu ZH, Li XH. The research progress of exogenous enzyme in tea processing [J]. Nat Prod Res Devel, 2003, (03): 264-267.
- [8] Ravichandran R, Parthiban R. Changes in enzyme activities (polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia lyase) with type of tea leaf and during black tea manufacture and the effect of enzyme supplementation of dhoool on black tea quality [J]. Food Chem, 1998, 62(3): 277-281.
- [9] Chandini SK, Rao LJ, Gowthaman MK, *et al.* Enzymatic treatment to improve the quality of black tea extracts [J]. Food Chem, 2011, 127(3): 1039-1045.
- [10] Murugesan GS, Angayarkanni J, Swaminathan K. Effect of tea fungal enzymes on the quality of black tea [J]. Food Chem, 2002, 79(4): 411-417.
- [11] 肖世青. 采用外源酶改善安溪铁观音茶香气品质的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2011.  
Xiao SQ. Application of extrinsic enzymes to improve aroma quality of Anxi Tieguanyin [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2011.
- [12] 魏青, 张凌云, 王登良. 红茶制造技术理论现状及发展趋势[J]. 福建茶叶, 2013, (05): 2-3.  
Wei Q, Zhang LY, Wang DL. Present situation and development trend of black tea manufacturing technology [J]. Tea Fujian, 2013, (05): 2-3.

- [13] Angayarkanni J, Palaniswamy M, Murugesan S, *et al.* Improvement of tea leaves fermentation with *Aspergillus* spp. pectinase [J]. *J Biosci Bioeng*, 2002, 94(4): 299–303.
- [14] 林夏丹, 李中皓, 刘通讯, 等. 不同酶处理对普洱茶香气成分的影响研究[J]. *现代食品科技*, 2008, (05): 420–423.  
Lin XD, Li ZH, Liu TX, *et al.* Effects of enzymatic treatments on the aromatic components of Puer tea [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2008, (05): 420–423.
- [15] Dudareva N, Klempien A, Muhlemann JLK, *et al.* Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds [J]. *New Phytol*, 2013, 198(1): 16–32.
- [16] Lv H, Zhong Q, Lin Z, *et al.* Aroma characterisation of Pu-erh tea using headspace-solid phase microextraction combined with GC/MS and GC-olfactometry [J]. *Food Chem*, 2012, 130(4): 1074–1081.
- [17] 郑挺盛, 张凌云. 不同采摘季节对重发酵单枞茶香气品质影响研究[J]. *现代食品科技*, 2007, (2): 11–15.

Zheng TS, Zhang LY. Effect of different plucking season on aroma quality of Lingtoudancong oolong tea by deep fermentation [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2007, (2): 11–15.

(责任编辑: 杨翠娜)

### 作者简介



罗晶晶, 硕士研究生, 主要研究方向为茶叶加工与生化。

E-mail: qizi89@126.com



王登良, 教授, 主要研究方向为茶叶加工与生化。

E-mail: wd18211@163.com