

# 茶小绿叶蝉危害对金萱红茶挥发性成分的影响

乔小燕, 操君喜, 黄华林, 李波, 陈栋

(广东省农业科学院茶叶研究所, 广东省茶树资源创新利用重点实验室, 广东广州 510640)

**摘要:** 本研究以金萱为材料, 通过顶空固相微萃取-气质联用仪 (HS-SPME-GC/MS), 研究茶小绿叶蝉危害对金萱红茶挥发性成分的影响。结果表明: 金萱鲜叶和红茶挥发性成分以醇类为主, 且醇类中 92% 以上是萜醇。茶小绿叶蝉危害鲜叶后, 萜醇含量降低, 脂肪醇、芳香醇、萜酮、脂肪酮、酯类和烃类增加; 红茶挥发性成分中萜醇、脂肪醇、萜酮、脂肪酮、烃类和酸类含量降低, 酯类增加。主成分和聚类分析结果表明, 鲜叶与红茶挥发性成分轮廓不同, 萜醇和酯类是区分不同危害程度鲜叶及其红茶的主要挥发性成分。鲜叶特征成分以萜醇 ( $\beta$ -芳樟醇、橙花醇、顺-氧化芳樟醇 II、顺-氧化芳樟醇 I、香叶醇) 为主; 茶小绿叶蝉危害后, 萜醇减少, 醛类 ( $\beta$ -环柠檬醛、3,7-二甲基-2,6-二辛烯醛、苯甲醛) 增加。不同危害程度鲜叶加工的红茶其特征性的酯类和萜醇挥发性成分各不相同。

**关键词:** 茶小绿叶蝉; 金萱; 挥发性成分

文章编号: 1673-9078(2018)09-228-234

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.9.032

## Effects of Tea Green Leafhoppers *Empoasca vitis Gothe* Hazards on Volatiles of Jin Xuan Black Tea

QIAO Xiao-yan, CAO Jun-xi, HUANG Hua-lin, LI Bo, CHEN Dong

(Tea Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Science, Guangdong Provincial Key Laboratory of Tea Plant Resources Innovation & Utilization, Guangzhou 510640, China)

**Abstracts:** The volatiles from healthy intact tea shoots, tea shoots damaged by the tea green leafhopper (*Empoasca vitis Gothe*) and their black teas were analyzed by gas chromatography and mass spectrometry (GC-MS), extracted by headspace solid phase microextraction (HS-SPME). Jin xuan was selected as masteries. The results showed that alcohols were the main volatiles, of which terpene alcohols accounting for above ninety-two percentage in tea shoots and black teas. For tea shoots damaged by tea green leafhopper, terpene alcohols decreased, while these volatiles (fatty alcohols, aromatic alcohols, terpene ketones, aliphatic ketones, esters and hydrocarbons) increased. Terpene alcohols, fatty alcohols, terpene ketones and aliphatic ketones decreased in black teas made by damaged shoots. But esters increased in black teas made by damaged shoots. Based on principal component analysis (PCA) and cluster analysis, the volatiles of tea shoots and black teas could be divided into two distinct classes, terpene alcohols and esters could distinguish from the damaged tea shoots and its black teas. PCA results for main volatiles showed that terpene alcohols (including  $\beta$ -linalool, neroli, linalool-oxide ii, linalool-oxide I, geraniol), were the unique volatiles in intact tea shoots. For the damaged tea shoots, terpene alcohols decreased and aldehydes ( $\beta$ -cyclocitral, 3,7-dimethyl-2,6-octadienal, benzaldehyde) increased. Three kinds of black teas implied distinctive esters and terpene alcohols.

**Key words:** *Empoasca vitis gothe*; Jin xuan; volatile

茶小绿叶蝉是茶园最为常见的茶树害虫, 主要危害嫩梢嫩叶, 新梢危害后, 叶缘黄化、叶脉红变, 严重时枝梢红褐焦枯<sup>[1,2]</sup>。茶树在长期的进化过程中, 也

收稿日期: 2018-03-15

基金项目: 广东省农村科技领域项目 (2017A020208020); 现代农业产业技术体系专项资金资助项目 (CARS-23)

作者简介: 乔小燕, 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 茶树资源鉴评与分子生物学

通讯作者: 陈栋, 男, 博士, 研究员, 研究方向: 茶树资源鉴评与新品种选育

形成一定的防御能力, 茶树叶表结构、茶多酚和氨基酸等均可参与防御<sup>[3-6]</sup>, 而且茶树体内次生代谢也会发生改变, 产生具有趋避作用的挥发物, 如  $\beta$ -罗勒烯、芳樟醇、香叶醇、 $\beta$ -紫罗酮和橙花叔醇等成分<sup>[7-9]</sup>。因此, 在防御和抵抗害虫的过程中, 茶树初生代谢和次生代谢均发生了变化, 这为危害鲜叶的再利用提供了可能。产于台湾省新竹、峨眉及苗栗县等地茶区的东方美人茶是虫害危害后鲜叶创新利用的成功典范, 将茶小绿叶蝉危害的青心大叶的嫩梢嫩叶加工成乌龙茶, 成品茶滋味甘醇, 花蜜香浓郁, 已在广东、广西

和福建等地成功推广应用。

茶小绿叶蝉是广东茶园危害最重的害虫,在正常年份,夏、秋两季茶叶约损失 10%~15%,而重灾年份茶叶损失高达 50%以上<sup>[10]</sup>。发展生态有机茶园,生产有机高品质茶是当前茶叶产业发展的需求,减少或不使用农药成为茶叶企业的必然选择。因此,挖掘现有茶树品种的潜力,利用茶小绿叶蝉危害新梢因势利导的生产特色茶叶,避免茶区减产,具有重要的现实意义。金萱台湾乌龙茶品种,加工乌龙茶滋味甘醇浓厚,奶香味浓郁,在广东省各大茶区均有大面积种植。近年来,创新红茶受到市场追捧,许多茶叶生产者将乌龙茶、绿茶品种改制红茶,增加产品种类,以适应市场需求。加工实验证明,金萱改制红茶品质良好<sup>[11]</sup>,若茶小绿叶蝉危害后,加工的红茶有浓郁的熟果香或蜜香<sup>[12]</sup>。挥发性成分不仅构成茶叶香气,也是茶树趋避害虫的重要成分。因此,在茶小绿叶蝉危害对新梢影响的研究中,挥发性成分一直是研究者关注的重点,但现有研究主要集中于挥发性成分在趋避害虫方面的

作用<sup>[13-15]</sup>,品质影响方面鲜有报道<sup>[16]</sup>。本研究以金萱为材料,研究茶小绿叶蝉危害对鲜叶和红茶挥发性成分的影响,为今后茶小绿叶蝉危害茶树综合利用提供理论支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验于 2013 年 4 月在广东省韶关市新丰县茶垌茶场开展,在自然生长的金萱茶园中选取树龄相同,生长环境一致的地块。采摘金萱一芽二叶鲜叶,并将其加工成红茶,见表 1。YC0、YC1 和 YC2 采用微波杀青固样,参数如下:100 g 鲜叶,高火杀青 3~5 min,摊凉后 80 °C 烘干。DF0、DF1 和 DF2 按照工夫红茶加工工艺加工,参数如下:鲜叶鼓风抽湿萎凋 24 h,萎凋叶含水量达到 55% 左右;发酵室温度为 30 °C,发酵时间为 6~7 h;烘干采用两步法,初烘温度为 100~120 °C;足烘温度为 80 °C。

表 1 试验材料一览表

Table 1 The list of experiment materials

编号	鲜叶状态	编号	红茶香气特征
YC0	新梢生长正常,未受害	DF0	微花香、甜香
YC1	新梢危害程度为 II 或 III 级,处于红脉期或焦边期,叶脉、叶缘红变或叶尖、叶缘卷曲	DF1	花香、蜜香浓郁持久
YC2	YC1 萎凋 24 h	DF2	花香显、蜜香尚浓郁

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 挥发性成分测定

挥发性成分测定采用 HS-SPME-GC-MS 进行分析,方法参照赖幸菲等<sup>[17]</sup>,并做一些调整。萃取方法:样品粉碎后称取 10.0 g 于 500 mL 萃取瓶中,加入 100 mL 沸水后密封,50 °C 水浴加热,让萃取瓶内的香气物质达到平衡,5 min 后插入萃取头 (DVB/CAR/PDMS-50/30 μm, 美国 Supleco 公司) 吸附 80 min,结束后采用 GC-MS 进行分析。GC 条件:采用 HP-5MS 弹性石英毛细管柱 (30 m×0.25 mm, ID×0.25 μm 膜厚);进样口温度:230 °C;升温程序:50 °C 保持 5 min,以 2 °C/min 升至 180 °C,保持 1 min,再以 10 °C/min 升到 230 °C,保持 2 min;载气:高纯氦气 (纯度>99.999%),流速 1 mL/min;进样后于 230 °C 解吸 5 min。MS 条件:电离方式为 EI;离子源温度为 230 °C;电子能量为 70 eV;质量扫描范围:50~650 u;电子倍增管电压为 1800 V,总离子流强度为 100 mA。挥发性成分根据质谱数据和 GC/MS 标准图谱数据库的检索结果定性;根据离子流峰面积归一

化法计算各组分在总挥发物中的相对含量。

#### 1.2.2 数据分析

用 PAST 20.0 软件对挥发性成分进行主成分和聚类分析。消除不同指标变量间的量纲关系,计算各变量的载荷值、特征向量和方差贡献率。

## 2 结果与分析

### 2.1 挥发性成分及相对含量分析

由表 2 可知,在鲜叶 (或萎凋叶) 和红茶中共鉴定出 72 种挥发性成分,主要为醇类,其次是醛类,再次是酮类和酯类,在 YC0、YC1 和 YC2 中没检测到杂环化合物。鲜叶 (或萎凋叶) 和红茶中检测到不同的酚类化合物,2,4-二特丁基苯酚在 YC0、YC1 和 YC2 中检测到,而 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚则在 DF0、DF1 和 DF2 中检测到,2,4-二特丁基苯酚含量 (1.93%~2.95%) 高于 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚 (0.20%~0.43%)。

萜醇是醇类中主要挥发性成分, YC0 在茶小绿叶蝉危害后,萜醇含量降低 (YC1),萎凋 24 h 后降低

到 40.21% (YC2), 红茶含量高于 YC0 (56.11%)。橙花醇是萜醇的主要成分, YC0 和 YC1 橙花醇含量在 28.28%~30.86% 之间, 萎凋 24 h 后降低到 8.68% (YC2)。脂肪醇和芳香醇在醇类中只占很小的一部分, 茶小绿叶蝉危害后, 含量增加 (YC1), 萎凋 24 h 后芳香醇降低 (YC2), 加工前后含量差异不大。YC0 中萜酮、脂肪酮、酯类和碳水化合物在茶小绿叶蝉危害后含量增加 (YC1), 而萜烯和酸类含量降低 (YC1), 萎凋 24 h 后均有增加 (YC2), 红茶中萜酮、脂肪酮和碳水化合物含量低于 YC0, 萜烯和酸类含量基本低

于 YC1。醛类在 YC1 和 YC2 中含量低于 YC0, 但在 DF0 和 DF1 中含量高于 YC0。DF1 和 DF2 中醇类(萜醇、脂肪醇)、酮类(萜酮、脂肪酮)、烃类和酸类含量均低于 DF0。 $\beta$ -芳樟醇和橙花醇是萜醇的主要成分 DF1(2.32%、28.05%)和 DF2(5.30%、31.14%)含量低于 DF0。脱氢芳樟醇则相反, DF1 和 DF2 含量高于 DF0, 分别为 20.82% (DF1) 和 9.60%(DF2)。酯类在 DF1 和 DF2 中含量高于 DF0, 其中 DF2 最高, 为 18.19%, 水杨酸甲酯是酯类中最主要的挥发性成分, 从 1.63% (DF0) 增加到 16.86% (DF2)。

表 2 金萱挥发性成分及相对含量 (%)

Table 2 Composition and relative contents of the volatiles of Jin xuan (%)

挥发性成分	编号	分子式	类别	YC0	YC1	YC2	DF0	DF1	DF2
橙花醇	C1	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	萜醇	30.86	28.28	8.68	40.17	28.05	31.14
$\beta$ -芳樟醇	C2	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	萜醇	9.05	7.67	8.27	10.13	2.32	5.30
脱氢芳樟醇	C3	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	萜醇	4.49	3.87	10.04	1.30	20.82	9.60
顺-氧化芳樟醇 II	C4	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	萜醇	2.83	1.98	1.85	3.61	2.78	4.39
顺-氧化芳樟醇 I	C5	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	萜醇	2.02	1.34	1.55	2.08	2.46	3.27
环氧芳樟醇	C6	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	萜醇	1.75	1.79	1.74	1.84	1.51	1.90
香叶醇	C7	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	萜醇	1.38	1.29	0.39	1.31	0.88	0.58
$\alpha$ -雪松醇	C8	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	萜醇	1.38	0.95	3.13	-	-	-
顺-氧化芳樟醇 III	C9	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	萜醇	1.06	1.42	1.79	0.87	1.28	1.37
$\alpha$ -萜品醇	C10	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	萜醇	0.85	0.63	1.83	0.56	0.67	0.03
反-橙花叔醇	C11	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	萜醇	0.45	0.47	0.93	0.37	0.59	0.80
橄榄醇	C12	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	萜醇	-	-	-	0.72	0.31	0.24
小计				56.11	49.71	40.21	62.96	61.66	58.63
1-辛烯-3-醇		C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	脂肪醇	0.45	1.42	1.86	0.27	0.25	0.17
3-己烯-1-醇		C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	脂肪醇	-	-	-	0.39	0.19	0.28
苯甲醇		C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	芳香醇	0.73	1.19	0.37	0.73	1.07	0.75
苯乙醇		C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	芳香醇	1.54	1.70	0.45	1.40	1.67	1.29
小计				2.72	4.31	2.68	2.80	3.18	2.49
醇类				58.83	54.02	42.89	65.76	64.84	61.13
2-己烯醛	Q1	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	醛类	0.74	0.39	0.23	1.62	0.47	0.97
2-甲基丁醛	Q2	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	醛类	0.66	0.61	0.12	0.53	0.87	0.40
3,7-二甲基-2,6-二辛烯醛	Q3	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	醛类	1.04	1.13	0.71	1.43	1.48	1.09
4-甲基-2-苯基戊烯-2-醛	Q4	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O	醛类	0.49	0.43	0.62	-	-	-
$\beta$ -环柠檬醛	Q5	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	醛类	1.28	2.23	2.18	1.31	0.59	0.28
苯甲醛	Q6	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	醛类	3.09	3.16	1.39	2.62	6.17	3.88
苯乙醛	Q7	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	醛类	3.00	1.63	0.64	4.48	2.07	2.07
藏红花醛	Q8	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	醛类	1.46	2.12	3.41	1.17	0.34	0.17
反-2-反-4-庚二烯醛	Q9	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	醛类	0.93	0.75	1.49	0.38	0.51	0.55
癸醛	Q10	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	醛类	0.5	0.39	0.70	0.16	0.18	0.13
壬醛	Q11	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	醛类	0.49	0.42	0.60	-	-	-
顺-柠檬醛	Q12	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	醛类	0.55	0.65	0.57	0.60	0.60	0.49

转下页

接上页

正己醛	Q13	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	醛类	0.28	0.33	0.44	0.70	0.49	0.61
2-苯基丁烯-2-醛	Q14	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O	醛类	-	-	-	0.38	0.39	0.21
3-甲基丁醛	Q15	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	醛类	-	-	-	0.26	0.18	0.14
5-甲基-2-苯基己烯-2-醛	Q16	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O	醛类	-	-	-	0.41	0.37	0.18
糠醛	Q17	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	醛类	-	-	-	0.05	1.13	0.20
顺-2-壬烯醛	Q18	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	醛类	-	-	-	0.19	0.28	0.20
醛类				14.51	14.24	13.10	16.29	16.12	11.57
2,3-环氧-β-紫罗酮		C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	萜酮	0.51	1.01	0.67	0.43	0.17	0.16
3,4-脱氢-β-紫罗兰酮		C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O	萜酮	-	-	-	0.23	0.20	0.09
α-紫罗酮		C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	萜酮	1.22	1.53	2.63	0.63	0.29	0.21
β-达马烯酮		C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O	萜酮	-	-	-	0.79	0.60	1.22
β-紫罗酮		C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	萜酮	2.75	4.26	3.36	2.91	1.19	0.90
顺-茉莉酮		C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O	萜酮	0.22	0.36	2.23	0.32	0.53	0.47
香叶基丙酮		C <sub>13</sub> H <sub>22</sub> O	萜酮	0.99	1.30	1.46	0.74	0.54	0.38
紫罗酮		C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	萜酮	-	-	-	0.11	0.33	0.06
5,6-环氧-β-紫罗酮		C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	萜酮	0.52	0.63	1.21	-	-	-
小计				6.19	9.09	11.57	6.15	3.86	3.47
2-庚酮		C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	脂肪酮	-	-	-	0.07	0.17	0.11
3,5-辛二烯-2-酮		C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O	脂肪酮	1.04	1.76	1.43	0.32	0.65	0.27
甲基庚烯酮		C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	脂肪酮	1.57	2.15	3.04	0.79	0.45	0.26
酮类				8.82	13.00	16.03	7.34	5.12	4.13
苯甲酸甲酯	Z1	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	酯类	-	-	-	0.22	0.13	0.05
二氢猕猴桃内酯	Z2	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	酯类	1.09	1.27	1.79	0.61	0.10	0.07
己酸己酯	Z3	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	酯类	0.53	0.92	0.68	0.19	0.29	0.79
水杨酸甲酯	Z4	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	酯类	3.18	2.18	2.58	1.63	4.04	16.86
顺-己酸-3-己烯酯	Z5	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	酯类	1.07	1.91	1.94	0.19	0.17	0.21
乙酸香叶酯	Z6	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	酯类	-	-	-	0.24	0.26	0.13
棕榈酸甲酯	Z7	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	酯类	0.48	0.36	0.48	0.13	0.10	0.08
反-丁酸-3-己烯酯	Z8	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	酯类	0.29	1.00	0.77	-	-	-
反-己酸-2-己烯酯	Z9	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	酯类	0.38	0.83	0.59	-	-	-
酯类				7.03	8.47	8.84	3.21	5.09	18.19
2-蒎烯		C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	萜烯	-	-	-	0.35	1.16	0.35
D-柠檬烯		C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	萜烯	0.99	0.81	2.86	0.55	0.53	0.30
L-薄荷烯		C <sub>15</sub> H <sub>22</sub>	萜烯	-	-	-	0.24	0.28	0.23
δ-杜松烯		C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	萜烯	1.06	0.95	2.12	0.38	0.38	0.45
顺-β-罗勒烯		C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	萜烯	1.15	1.21	1.54	0.19	0.28	0.20
小计				3.20	2.97	6.52	1.72	2.63	1.52
对异丙基甲苯		C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	芳香烃	0.75	0.49	2.03	0.34	0.43	0.12
甲苯		C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	芳香烃	-	-	-	0.67	0.45	0.12
4-乙烯基-1,2-二甲基苯		C <sub>10</sub> H <sub>12</sub>	芳香烃	0.52	0.63	1.21	-	-	-
萘		C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	芳香烃	-	-	-	0.13	0.17	0.53
2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯		C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	烯烃	0.47	0.62	0.59	-	-	-
十四烷		C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	烷烃	0.64	0.77	1.63	-	-	-

转下页

接上页

碳水化合物			2.36	2.50	5.47	1.15	1.05	0.77
香叶酸	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	酸类	1.94	1.86	1.10	2.89	2.52	0.99
棕榈酸	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	酸类	1.92	1.02	4.30	0.19	0.08	0.06
酸类			3.86	2.88	5.40	3.08	2.61	1.05
2,4-二特丁基苯酚	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O	酚类	1.93	2.52	2.95	-	-	-
2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	酚类	-	-	-	0.20	0.43	0.20
酚类			1.93	2.52	2.95	0.20	0.43	0.20
苯乙腈	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N	杂环类	-	-	-	0.21	0.73	1.22
1-乙基-2-甲酰吡咯	C <sub>7</sub> H <sub>9</sub> NO	杂环类	-	-	-	0.61	0.96	0.22
杂环类			-	-	-	0.82	1.69	1.44

## 2.2 主成分和聚类分析

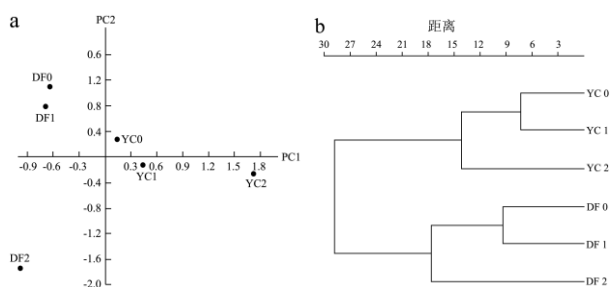


图1 金萱挥发性成分主成分(a)和聚类分析(b)

Fig.1 Principal component (a) and cluster (b) analysis of the volatiles of Jin xuan

以萜醇、萜酮、酯类、醛类、萜烯、酸类和酚类等7类挥发性成分为变量进行主成分分析,由表3可知,特征值大于1的前2个变量方差贡献率为94.06%,基本可以代表7个变量的绝大部分变异信息。第一主成分PC1解释了总变异信息的63.12%,萜醇在PC1上载荷值最高(0.9997),对PC1贡献最大,将PC1称之为萜醇因子;第二主成分PC2解释了总变异信息的30.94%,酯类在PC2上载荷值最高(0.9849),对

PC2贡献最大,将PC2称为酯类因子。

主成分分析显示(图1A),YC0、YC1和YC2位于纵坐标轴PC2右侧,PC1对3点的贡献率为正,且贡献率差异较大,因此,萜醇因子(PC1)是引起YC0、YC1和YC2分散于坐标轴上的主要原因。由表2可知,YC0、YC1和YC2中有低含量萜醇、高含量酯类,其中YC0有较高含量萜醇、较低含量酯类;YC1和YC2则酯类含量基本相同,萜醇含量差异大。DF0、DF1和DF2位于纵坐标轴PC2左侧,PC1对3点的贡献率为负,但PC2对3点的贡献率差异远大于PC1,因此,酯类因子(PC2)是引起DF0、DF1和DF2分散于坐标轴的主要原因。DF0、DF1和DF2含有高含量萜醇、低含量酯类,DF0、DF1和DF2中萜醇含量接近,但酯类差异大(见表2)。

结合审评结果可知(见表1),DF1香气最佳,其萜醇含量为61.66%、酯类为5.09%。聚类结果显示(图1B),YC(YC0、YC1和YC2)、DF(DF0、DF1和DF2)各自聚为一类,与主成分分析结果一致,在加工前后茶叶挥发性成分轮廓发生变化。

表3 主成分载荷矩阵与特征向量

Table 3 Loading matrix and eigenvectors of principal components

标准化变量	第一主成分 PC1 (63.12%)		第二主成分 PC2 (30.94%)	
	载荷	特征向量	载荷	特征向量
萜醇	0.9997	0.9153	0.0153	0.0162
醛类	0.4808	0.0923	-0.8645	-0.2787
萜酮	-0.8994	-0.2986	-0.3652	-0.2036
酯类	-0.1723	-0.0958	0.9849	0.9191
萜烯	-0.8926	-0.1721	-0.2705	-0.0876
酸类	-0.6908	-0.1059	-0.6203	-0.1598
酚类	-0.9065	-0.1204	-0.2273	-0.0507

注: 括号内数值代表各主成分的方差贡献率。

## 2.3 金萱特征性挥发成分分析

由表3可知,萜醇在PC1的载荷绝对值最大,酯类和醛类在PC2上载荷绝对值较大,是影响PC1和

PC2 的主要挥发性成分, 因此对萜醇、醛类和酯类挥发性成分分别编号, 进行主成分分析。由图 2 可知, YC0、YC1 和 YC2, DF0, DF1 和 DF2 分别位于坐标轴的三个象限, 香气轮廓差异显著, 且此差异能在构建的平面上充分展示。图 2 中, 每个编号对应某一挥发性成分, 距原点的距离基本可表示该成分对鲜叶(萎凋叶)或红茶整体香气轮廓的贡献程度。由图 2 可知,  $\beta$ -芳樟醇(C2)、橙花醇(C1)、顺-氧化芳樟醇 II(C4)、顺-氧化芳樟醇 I(C5)、香叶醇(C7)、 $\alpha$ -萜品醇(C10)和苯乙醛(Q7)是 YC0 的特征性成分。YC1 中苯甲醛(Q6)、顺-柠檬醛(Q12)、3,7-二甲基-2,6-二辛烯醛(Q3)、2-甲基丁醛(Q2)和环氧芳樟醇(C6)是特征性成分, YC2 中脱氢芳樟醇(C3)、4-甲基-2-苯基戊烯-2-醛(Q4)、反-橙花叔醇(C11)、反-2-反-4-庚二烯醛(Q9)、 $\alpha$ -雪松醇(C8)、 $\alpha$ -萜品醇(C10)、癸醛(Q10)和壬醛(Q11)为特征性成分。 $\beta$ -芳樟醇(C2)、橙花醇(C1)、香叶醇(C7)、橄榄醇(C12)、苯甲酸甲酯(Z1)、二氢猕猴桃内酯(Z2)和棕榈酸甲酯(Z7)是 DF0 的特征性成分。DF1 中水杨酸甲酯(Z4)和橙花醇(C1)是特征性成分。DF2 中以顺-氧化芳樟醇 II(C4)、顺-氧化芳樟醇 I(C5)、环氧芳樟醇(C6)、橄榄醇(C12)、水杨酸甲酯(Z4)和顺-己酸-3-己烯酯(Z5)为特征性成分。因此, YC0 以萜醇( $\beta$ -芳樟醇、橙花醇、顺-氧化芳樟醇 II、顺-氧化芳樟醇 I、香叶醇)为主, 茶小绿叶蝉危害后, 萜醇减少, 醛类( $\beta$ -环柠檬醛、3,7-二甲基-2,6-二辛烯醛、苯甲醛)增加。DF1 和 DF2 是茶小绿叶蝉危害鲜叶加工的红茶, 其特征成分与 DF0 差别较大, 其中 DF1 花蜜香浓度持久, 香气最佳, 其特征成分水杨酸甲酯和橙花醇对形成花蜜香有重要作用。

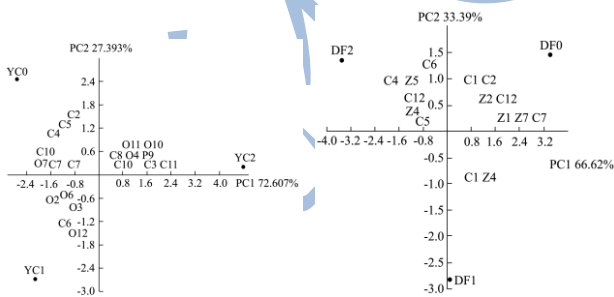


图 2 金萱特征挥发性成分分析结果

Fig.2 Principal component analysis of volatile flavor compounds of Jin xuan

### 3 结论

3.1 金萱在茶小绿叶蝉危害前或危害后, 鲜叶(或萎凋叶)和红茶主要挥发性成分均为醇类, 且以萜醇为主。茶小绿叶蝉危害鲜叶后, 醇类和醛类含量降低;

脂肪醇、芳香醇、萜酮、脂肪酮、酯类和烷类增加。与王敏<sup>[16]</sup>研究结果不同, 王敏认为醇类和醛类含量增加, 酯类、烷类减少。加工成红茶后, 萜醇和醛类含量高于鲜叶(或萎凋叶), 并有苯乙腈和 1-乙基-2-甲酰吡咯等杂环类化合物产生, 这与前人的研究结果基本一致<sup>[11,17]</sup>。2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2-醇被认为是茶小绿叶蝉危害后新梢产生的特殊挥发性成分, 也是东方美人的重要醇类物质<sup>[7,18]</sup>。在本研究中鲜叶(萎凋叶)和红茶中并没检测到 2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2-醇, 这可能与鲜叶处理方法不同有关, 本实验中鲜叶采用微波杀青后检测其挥发性成分。

3.2 醇类、醛类、酮类、碳水化合物和酯类等 5 类物质对茶叶气味起主要作用<sup>[19,20]</sup>。茶小绿叶蝉危害前后鲜叶(或萎凋叶)和红茶均以醇类为主, 这与东方美人茶中挥发性成分基本一致(香叶醇、2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚、 $\beta$ -芳樟醇、反式-氧化芳樟醇、芳樟醇氧化物 I), 芳樟醇系成分含量较高<sup>[21]</sup>, 这可能与东方美人加工偏重发酵(发酵程度可达 70%)有关<sup>[22]</sup>, 因而在香气组成上与红茶类似。萜醇和酯类对区分茶小绿叶蝉危害的鲜叶及其红茶有重要意义, 未受到危害的鲜叶中萜醇( $\beta$ -芳樟醇、橙花醇、顺-氧化芳樟醇 II、顺-氧化芳樟醇 I、香叶醇、 $\alpha$ -萜品醇)为主, 茶小绿叶蝉危害后, 萜醇减少, 醛类( $\beta$ -环柠檬醛、3,7-二甲基-2,6-二辛烯醛、苯甲醛)。红茶中酯类和萜醇类特征性成分差异较大, 形成不同香气特征。

### 参考文献

[1] 徐金汉,王念武,张灵玲,等.假眼茶小绿叶蝉防治指标的研究[J].茶叶科学,2005,25(2):131-135  
XU Jin-han, WANG Nian-wu, ZHANG Ling-ling, et al. Study on the economic threshold of tea leafhopper (*Empoasca vitis Gothe*) [J]. Journal of Tea Science, 2005, 25(2): 131-135

[2] 金珊,孙晓玲,陈宗懋,等.不同茶树品种对假眼茶小绿叶蝉的抗性[J].中国农业科学,2012,45(2):255-265  
JIN Shan, SUN Xiao-ling, CHEN Zong-mao, et al. Resistance of different tea cultivars to *Empoasca vitis Gothe* [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(2): 255-265

[3] 黄亚辉,张觉晚.茶树抗假眼茶小绿叶蝉的叶片解剖特征[J].茶叶科学,1998,18(1):35-38  
HUANG Ya-hui, ZHANG Jue-wan. Anatomical characteristics of leaf structure of tea plant resistant to leafhopper (*Empoasca vitis Gothe*) [J]. Journal of Tea Science, 1998, 18(1): 35-38

[4] 曾莉,王平盛,许玫.茶树对假眼茶小绿叶蝉的抗性研究[J].

- 茶叶科学,2001,21(2):90-93
- ZENG Li, WANG Ping-sheng, XU Mei. Studies on the resistance of tea plant to leafhopper (*Empoasca vitis Gothe*) [J]. Journal of Tea Science, 2001, 21(2): 90-93
- [5] 金珊,孙晓玲,张新忠,等.8个茶树品种生化成分分析及抗性成分的初步鉴定[J].应用昆虫学报,2016,53(3):516-527
- JIN Shan, SUN Xiao-ling, ZHANG Xin-zhong, et al. Chemical analysis of 8 tea cultivars with different levels of resistance to *Empoasca vitis gothe* and a preliminary identification of the chemical basis of this resistance [J]. Chinese Bulletin of Entomology, 2016, 53(3): 516-527
- [6] 邹武,林乃铨,王庆森.福建主要茶树品种理化特性与假眼茶小绿叶蝉种群数量的相关性分析[J].生物安全学报,2006,15(2):129-134
- ZOU Wu, LIN Nai-quan, WANG Qing-sen. Correlations between physical and biochemical leaf characteristics of 4 tea varieties and the population of *Empoasca vitis Gothe* [J]. Journal of Biosafety, 2006, 15(2): 129-134
- [7] 陈宗懋.茶小绿叶蝉危害后芽梢的特殊香气组分有了进一步研究[J].中国茶叶,1998,4:27
- CHEN Zong-mao. A further study on special aroma of tea shoot damaged by tea green leafhoppers [J]. China Tea, 1998, 4: 27
- [8] 卢绍辉,袁国军,梅象信.假眼茶小绿叶蝉取食诱导茶梢挥发物组分分析[J].河南农业科学,2009,38(11):87-89
- LU Shao-hui, YUAN Guo-jun, MEI Xiang-xin. Volatiles components on tea shoot induced by tea green leafhoppers [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2009, 38(11): 87-89
- [9] Cho J Y, Mizutani M, Shimizu B, et al. Chemical profiling and gene expression profiling during the manufacturing process of Taiwan oolong tea "Oriental Beauty" [J]. Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan, 2007, 71(6): 1476-1486
- [10] 濮小英,冯明光.两种杀虫真菌制剂对茶小绿叶蝉的田间防效评价[J].应用生态学报,2004,15(4):619-622
- PU Xiao-ying, FENG Ming-guang. Efficacy of emulsifiable formulations of two entomopathogenic fungi against small green leafhoppers on tea plant [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(4): 619-622
- [11] 乔小燕,操君喜,吴华玲,等.不同萎凋方式和碰青工艺对红茶挥发性成分的影响[J].热带作物学报,2017,38(8):1572-1577
- QIAO Xiao-yan, CAO Jun-xi, WU Hua-ling, et al. Effects of different withering measures and Peng-qing treatments on volatile flavor compounds of black tea [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(8): 1572-1577
- [12] 邹萧,李建斌.金萱品种受茶小绿叶蝉为害鲜叶的加工利用[J].广东茶业,2017,1:29-31
- ZHOU Xiao, LI Jian-bin. The process and utilization of Jin xuan tea shoots damaged by tea green leafhoppers [J]. Guangdong Tea, 2017, 1: 29-31
- [13] 赵冬香,高景林,陈宗懋,等.假眼茶小绿叶蝉对茶树挥发物的定向行为反应[J].华南农业大学学报,2002,23(4):27-29
- ZHAO Dong-xiang, GAO Jing-lin, CHEN Zong-mao, et al. Orientation response of *Empoasca vitis Gothe* to tea shoots volatiles [J]. Journal of South China Agricultural University, 2002, 23(4): 27-29
- [14] 王国昌,孙晓玲,蔡晓明,等.茶叶挥发物对白斑猎蛛觅食行为的影响[J].生态与农村环境学报,2012,28(4):394-398
- WANG Guo-chang, SUN Xiao-ling, CAI Xiao-ming, et al. Effects of tea volatiles on foraging behavior of *Evarcha albaria* [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2012, 28(4): 394-398
- [15] 韩善捷,潘铖,韩宝瑜.假眼茶小绿叶蝉为害致茶梢挥发物变化及其引诱微小裂骨缨小蜂效应[J].中国生物防治学报,2016,32(2):142-148
- HAN Shan-jie, PAN Cheng, HAN Bao-yu. Changes in volatiles of tea shoots damaged by tea green leafhoppers and their attraction to *Schizophragma parvula Ogloblin* [J]. Chinese Journal of Biological Control, 2016, 32(2): 142-148
- [16] 王敏.小绿叶蝉不同为害程度对茶叶品质的影响[D].广州:华南农业大学,2016
- WANG Min. Effects on chemical constituents of tea shoots damaged by tea green leafhoppers [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016
- [17] 赖幸菲,潘顺顺,李裕南,等.不同季节和茶类的金萱品种茶叶香气成分分析[J].食品工业科技,2015,36(10):62-68
- LAI Xing-fei, PAN Shun-shun, LI Yu-nan, et al. Analysis of aromatic components in Jin xuan tea of different kinds and seasons [J]. Science & Technology of Food Industry, 2015, 36(10): 62-68
- [18] 川上美智子.茶の香り研究ノート[M].东京:光生館,2000
- KAWAKAM MICHIKO. Research on tea fragrance [M] Tokyo: Mitsuo Museum, 2000
- [19] 王飞生,叶荣飞.分子结构对香味影响的研究[J].中国调味品,2009,34(4):39-42
- WANG Fei-sheng, YE Rong-fei. Effect of molecular structure on the fragrance [J]. China Condiment, 2009, 34(4): 39-42
- [20] FENG T, ZHUANG H, Ye R, et al. Analysis of volatile

- compounds of mesona blumes, gum/rice extrudates via GC-MS and electronic nose [J]. Sensors & Actuators B Chemical, 2011, 160(1): 964-973
- [21] 钟秋生,吕海鹏,林智,等.东方美人茶和铁观音香气成分的比较研究[J].食品科学,2009,30(8):182-186  
ZHONG Qiu-sheng, LV Hai-peng, LIN Zhi, et al. Comparison of aroma constituents between Oriental Beauty tea and Tie guan yin tea [J]. Food Science, 2009, 30(8): 182-186
- [22] 官发松.东方美人茶(椀风茶)加工技术[J].茶叶科学技术,2006,4:50  
GUAN Fa-song. The process technology of Oriental Beauty [J]. Tea Science and Technology, 2006, 4: 50

现代食品科技