

刘翠华,朱世平,徐娟.2种果园管理模式下梁平柚果实挥发性物质和苦味物质的变化[J].华中农业大学学报,2021,40(4):102-113.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.04.013

2种果园管理模式下梁平柚果实挥发性物质 和苦味物质的变化

刘翠华^{1,2},朱世平³,徐娟²

1.西北农林科技大学园艺学院,杨凌 712100;

2.华中农业大学园艺林学学院/园艺植物生物学教育部重点实验室,武汉 430070;

3.中国农业科学院柑桔研究所,重庆 400712

摘要 以正常栽培管理果园和弃管果园中的梁平柚果实为材料,借助 GC-MS 和 HPLC 分别对果实中的挥发性物质谱和主要苦味物质进行比较分析,以期揭示其风味品质相关代谢物质的差异和果实品质改善提供科学依据。结果显示:与正常栽培管理果园的果实相比,弃管果园中的梁平柚果实总单萜类物质、总倍半萜类物质、总非萜类物质以及挥发性物质总量均显著降低,但主要挥发性物质的组成与含量百分比保持稳定;柚皮苷的含量在弃管果园果实所有组织中均显著升高,柠檬苦素和诺米林在除有色层以外的组织中显著增高。弃管模式导致了梁平柚果实香味降低、苦味增强,鲜食品质大大降低,消费者接受度低;针对由农村青壮年劳动力外流导致的果园弃管问题,可通过科普苦味物质保健功能的介入,从一定程度上提升弃管果园土地产出价值。

关键词 梁平柚;果实;挥发性物质;苦味物质;弃管果园

中图分类号 S 666.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)04-0102-12

柑橘类水果是鲜食、制汁和提取精油的重要材料。根据中国统计年鉴及联合国粮食及农业组织(FAO)的数据显示,2017年我国柑橘的产量已达到3 931.5万t,成为世界第一大柑橘生产国,也是我国南方第一大水果,其风味品质近年来倍受关注。风味(flavor)是滋味(taste)与香味(aroma)品质的综合效应^[1]。

柚原产我国,自然杂种及选育品种众多,其中重庆的梁平柚、广西的沙田柚、福建的琯溪蜜柚和文旦柚是我国的四大名柚。平顶型柚的代表品种梁平柚果肉纯甜、稍有苦麻味、细嫩化渣、色泽橙黄、皮薄芳香,其精油具有强烈的柚香味和甜味,是全国柚果外香型最香的柚类品种之一^[2-4]。自从中世纪开始,柑橘精油就因其抗菌、抗病毒等特性被利用,如今在食品、医药、化妆品、香水、日化等领域得到了广泛的应用^[4]。香草和柑橘香料的市场份额已达国际香料市场份额的25% ([http:// ar2009. Symrise.com/](http://ar2009.Symrise.com/))。柚外果皮油胞大,富含挥发性成分,柚皮精油是柚外果皮油胞中含有的一类具有浓郁芳香气味的挥发

性油类,在世界范围内使用较为广泛。前人的研究表明,虽然萜类物质通常是柑橘类果实香气物质的主要成分,约占90%,但与其他柑橘类果实(如柠檬等)相比,柚类中含有的酯类与醛类物质相对较多^[5]。柚果实主要的香气活性物质包括诺卡酮、反式-芳樟醇氧化物、反式-橙花叔醇、香茅醛、4-萜品烯醇、萜品油烯、 α -可巴烯、辛醛、壬醛、顺式-和反式-2,6-壬二烯醛等,而且这些活性物质在不同的柚类品种之间存在一定的差异,多种香气活性物质的综合作用使不同柚种质的果实具有独特的香气^[6-7]。

柚果实滋味品质除了与可溶性糖和有机酸组成及含量相关外,还与苦味物质密切相关^[8]。越来越多的研究表明柑橘中的苦味物质具有很强的生物学活性^[9],如抗氧化性、降血脂、降血压等作用,进而能够对糖尿病、动脉粥样硬化、肥胖症等都有一定的预防和治疗作用^[10]。因此,柑橘中苦味功能性物质的功能研究、提取工艺、产品开发等已经成为热点问题^[11-13]。

柑橘中的苦味物质主要包括两大类,一类是类

收稿日期:2020-12-20

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD1000200);国家自然科学基金项目(32072530)

刘翠华,E-mail:liuch@nwafu.edu.cn

通信作者:徐娟,E-mail:xujuan@mail.hzau.edu.cn

黄酮物质(flavonoids),包括柚皮苷(naringin)、新橙皮苷(neohesperidin)、枳属苷(poncirin)、橘皮素(tangeretin)、川陈皮苷(nobiletin)、槲皮素(querce-tin)等,其中柚皮苷含量最高,是最主要的黄烷酮糖苷类苦味物质^[14-15]。另一类为高度氧化的三萜化合物(triterpenoids)——柠檬苦素类似物(limonoids),其中柠檬苦素(limonin)和诺米林(nomil-in)是主要致苦物质^[16]。柑橘类果实中3种主要的苦味物质,柚皮苷、柠檬苦素和诺米林素,在柚类(*Citrus grandis* Osbeck)中含量最高,然后依次为葡萄柚(*C. paradisi* Macf.)、柑类(*C. unshiu* Mar-cow)或杂柑类、橘类(*C. reticulata* Blanco)、脐橙类(*C. sinensis* Osbeck)和普通甜橙类^[17]。

除了种质差异能够引起次生代谢物质的变化外,环境因素和栽培条件等也会引起果实品质及相关代谢物质组成和含量的差异^[18-19]。近年来,劳动力的持续流失已经成为当前我国农村社会的一种普遍现象。国家统计局官网就农村外出务工劳动力进行了相关统计,最新数据显示仅2017年的前三季度外出务工人员人数已达到5.31亿,同比增幅2.19%。大量劳动力外出导致农村青壮劳动力的短缺,弃管果园增多,园内果实品质大幅下降,严重降低了果实鲜食价值,农业收入锐减。鉴于此,本研究以重庆市梁平区有悠久栽培历史的梁平柚为材料,对比分析了正常栽培管理和弃管模式下梁平柚果实中挥发性物质谱和主要苦味物质的变化,以期揭示其风味品质相关代谢物质的差异,为挖掘弃管果园中果实的经济价值提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 植物材料

在重庆市梁平区正常栽培管理和弃管6a的果园中分别采摘商业成熟期的梁平柚(*C. grandis* Liangping pummelo)。从树冠外围各方位挑选大小一致、无病虫害、无机械伤的果实。每种管理模式下各选择3株树,从每棵树树冠的东、南、西、北4个方位各采摘1个果实,共计12个果实;分别随机分成3个生物学重复,于自来水下清洗干净后,自然晾干。以环割的方式将果皮沿纵轴小心地等分为3部分,注意不能破坏果实的囊衣和汁胞,以防止污染果皮组织(包括有色层和海绵层)^[20]。然后小心地取下果皮的中间部分,立即分割有色层和海绵层,分别投入液氮并移入玻璃试管中密封,于-80℃条件下

保存。囊衣和汁胞层取中间部分,处理方法同有色层和海绵层。

1.2 标准品与试剂

用于挥发性物质提取分析的试剂除无水 Na_2SO_4 (购买于国药集团化学试剂有限公司,中国上海)为分析纯外,其他试剂均为色谱纯。来源如下:甲基叔丁基醚(methyl tert-butyl ether, MTBE)购买于Tedia公司(Fairfield, OH, USA);用于测定保留指数(retention index, RI)的 $\text{C}_7\sim\text{C}_{30}$ 饱和系列烷烃购买于Supelco公司(Bellefonte, PA, USA);内标氯壬烷(chlorononane)和壬酸甲酯(methyl nonanoate)购买于Sigma公司(St. Louis, MO, USA);用于定性定量的45种挥发性物质标准样品来源以及相应的标准曲线见Liu等^[21]表1。

用于苦味物质提取与分析的二氯甲烷(dichloromethane)、乙腈(acetonitrile)为色谱纯,购买于Fisher chemical公司(Fair Lawn, NJ, USA);甲醇(methanol)、二甲亚砜(dimethylsulfoxide)为分析纯,购买于国药集团化学试剂有限公司(中国上海);苦味物质标准样品柚皮苷(naringin)、柠檬苦素(limonin)、诺米林(nomil-in)购买于Sigma公司。

1.3 挥发性物质的提取及测定

于3g果皮粉末中添加15mL的MTBE(含有8697 μg 氯壬烷和400 μg 壬酸甲酯),然后将试管置于FS60超声波清洗仪(Fisher Scientific, Pittsburgh, PA, USA)中,萃取1h后,收集有机相,并用无水 Na_2SO_4 除水,最后在平稳的氮气流下将提取液的终体积吹至1.4mL^[21]。

采用GC-MS(TRACE GC Ultra GC结合DSQ II mass spectrometer, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)进行挥发性物质的检测。进样量为1 μL ,色谱柱为TRACE TR-5 MS柱(30m \times 0.25mm, 0.25 μm , Thermo Scientific, Bellefonte, PA, USA)。载气为高纯氦气(99.999%),分流比50:1,恒流模式,流速为1mL/min。进样口,离子源和传输线的温度分别为250、260和280℃。GC的升温程序如下:40℃保持3min,然后以3℃/min的速度升温至160℃并保留1min,然后以5℃/min的速度升温至200℃并保留1min,最后以8℃/min的速度升温至240℃并保留3min。MS的条件如下:EI(电子轰击)离子源,电子轰击能量70eV,正离子扫描模式,质量扫描范围 m/z 45~400。

每种挥发性物质标准曲线的线性范围、公式和回归系数(regression coefficients)、校正因子(correction factor, CF)和定量离子(quantifying ions, QI)见 Liu 等^[21]表 1。内标氯壬烷用于推算 β -月桂烯和 *d*-柠檬烯的浓度,壬酸甲酯用于推算其他挥发性物质的浓度。

1.4 苦味物质的提取及测定

1) 柠檬苦素和诺米林的提取及测定。参考 Li 等^[22]的方法,取 3 g 冻干的样品粉末,加入 KHS-1 型固相萃取仪(IKA, German)中,提取柠檬苦素和诺米林。以 50 mL 二氯甲烷提取 15 个循环后,将提取液放入 5301 型真空浓缩仪(Eppendorf, German)至溶剂全部挥发,然后用乙腈定容至 1 mL,经 0.22 μm 微孔滤膜过滤后,进行高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC, Waters 1525 Binary HPLC pump, Waters 2996 photodiode Array Deteror, Waters 717 plus Autosampler)检测。色谱柱为 C18 色谱柱(4.6 mm \times 150 mm, 5 μm , Agilent, USA)。进样量为 20 μL 。以 $V_{\text{乙腈}} : V_{10\% \text{ 甲醇}} = 0.4 : 0.6$ 的流动相进行洗脱,流速为 1 mL/min,检测波长为 210 nm,柱温为室温。

2) 柚皮苷的提取及测定。取 1 g(汁胞 3 g)冻干的样品粉末放入 50 mL 的离心管中,加入 10 mL 提取液($V_{\text{甲醇}} : V_{\text{二甲基亚砜}} = 1 : 1$)充分振荡,于 FS60 型超声波清洗仪(Fisher Scientific, USA)超声萃取 30 min,过滤,取滤液定容至 10 mL,取 1 mL 经 0.22 μm 微孔滤膜过滤后进行 HPLC 检测。色谱柱为 C18 色谱柱。进样量为 20 μL 。以乙腈(流动相 A)与 10% 乙腈(流动相 B)进行梯度洗脱:0~8 min, A 23%; 8~15 min, A 23%~65%; 15~20 min, A 65%~70%; 20~21 min, A 70%~23%; 21~25 min, A 23%。流速为 1 mL/min,检测波长为 285 nm,柱温为室温^[22]。

1.5 问卷调查

通过微信渠道,采用匿名且自愿的形式,对柚果实苦味和香味品质偏低的接受度进行了调查。本次调查采用选择和打分结合的方式进行,其中对问题打分采用 9 分制,1 分为完全不接受或只需要满足口感而对保健功能毫无期待,9 分为完全接受或只注意保健功能,口感等不重要。

1.6 数据分析

挥发性物质的 SIM 和 TIC 标准曲线公式由 Xcalibur 软件得到,其他数据在 Microsoft Excel 中

进行分析。利用 SAS(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)进行差异显著性分析(analysis of variance, ANOVA)。

2 结果与分析

2.1 2 种管理模式下梁平柚果皮中挥发性物质的差异

1) 单萜类挥发性物质。单萜类挥发性物质在弃管和正常栽培管理果园果实中的含量分别为 13 410.70 和 15 917.74 $\mu\text{g/g}$,具有显著性差异;但是两者单萜类挥发性物质占总挥发性物质的比例十分接近,分别为 98.43% 和 97.82%。该大类下包括 5 个亚类,即单萜烯类、单萜醇类、单萜醛类、单萜酯类和单萜氧化物类。在 14 种单萜烯、9 种单萜醇和 3 种单萜醛中,除 β -水芹烯、橙花醇在弃管果园果实中的含量显著高于正常栽培管理果园果实,异松油烯、反- β -罗勒烯、4-萜品烯醇、对-1(7),8(10)薄荷二烯-9-醇在两者间无显著性差异外,其他 20 种物质在正常栽培管理果园果实中的含量均显著高于弃管果园果实(表 1)。而 3 种单萜酯和 4 种单萜氧化物中,仅乙酸橙花酯在弃管果园果实中含量显著高于正常栽培管理果园果实,其他 6 种物质在两者之间无显著性差异(表 1)。此外,*d*-柠檬烯和 β -月桂烯是梁平柚中含量最高的 2 种挥发性物质,*d*-柠檬烯在弃管果园果实和正常栽培管理果园果实中的含量分别为 12 968.74 和 15 351.04 $\mu\text{g/g}$, β -月桂烯含量分别为 210.75 和 254.66 $\mu\text{g/g}$,均具有显著性差异;但是这 2 种物质占总挥发性物质的比例却十分接近,*d*-柠檬烯在弃管和正常栽培管理果园果实中的比例分别为 95.19% 和 94.34%;而 β -月桂烯则分别为 1.55% 和 1.57%。

2) 倍半萜类挥发性物质。倍半萜类挥发性物质在弃管和正常栽培管理果园果实中的含量分别为 177.16 和 303.07 $\mu\text{g/g}$,具有显著性差异;占总挥发性物质的比例分别为 1.30% 和 1.86%(表 2)。该大类下包括 4 个亚类,即倍半萜烯类、倍半萜醇类、倍半萜醛类和倍半萜酮类。在 9 种倍半萜烯、2 种倍半萜醇类、1 种倍半萜醛和 1 种倍半萜酮类中,4 种物质在弃管果园果实中含量显著高于正常栽培管理果园果实,包括 β -榄香烯、石竹烯、 α -石竹烯和瓦

表 1 正常栽培管理和弃管果园的梁平柚果实中单萜类挥发性物质的含量
Table 1 Monoterpene volatiles in peel oil of Liangping pummelo under normal cultivation management and no cultivation management

| 挥发性物质 Volatiles | 保留指数 ¹⁾ RI ^a | | 弃管 No cultivation management | | 正常栽培管理 Normal cultivation management | 定性方式 ³⁾ ID |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--|---|--------------------------|
| | 保留指数 ¹⁾ RI ^a | 保留指数 ²⁾ RI ^b | 弃管 No cultivation management | | 正常栽培管理 Normal cultivation management | |
| 单萜烯类 Monoterpenes | | | | | | |
| α-侧柏烯 α-Thujene | 931 | 931 | / ⁴⁾ | | 1.57±0.01 * ⁵⁾ | T ¹⁰ |
| α-蒎烯 α-Pinene | 938 | 939 | 35.41±2.65 | | 46.98±0.76 * | R |
| 茨烯 Camphene | 956 | 953 | 0.81±0.01 | | 1.33±0.06 * | R |
| 香桉烯 Sabinene | 979 | 976 | 5.93±0.25 | | 7.95±0.12 * | T ¹¹ |
| β-蒎烯 β-Pinene | 982 | 980 | 45.08±2.33 | | 74.47±1.69 * | R |
| β-月桂烯 β-Myrcene | 994 | 991 | 210.75±23.47 | | 254.66±2.18 * | R |
| 假柠檬烯 Pseudolimonene | 1 008 | 1 004 | / | | 1.48±0.11 * | T ¹⁰ |
| α-水芹烯 α-Phellandrene | 1 011 | 1 005 | 5.11±0.27 | | 6.32±0.16 * | R |
| d-柠檬烯 d-Limonene | 1 038 | 1 031 | 12 968.74±597.16 | | 15 351.04±122.75 * | R |
| β-水芹烯 β-Phellandrene | 1 040 | 1 031 | 2.59±0.10 * | | 2.25±0.20 | T ¹¹ |
| 顺-β-罗勒烯 (Z)-β-Ocimene | 1 044 | 1 040 | 1.34±0.11 | | 1.60±0.10 * | R |
| 反-β-罗勒烯 (E)-β-Ocimene | 1 055 | 1 050 | 47.55±3.38 | | 51.57±0.54 | R |
| γ-萜品烯 γ-Terpinene | 1 066 | 1 062 | 0.70±0.05 | | 0.80±0.01 * | R |
| 异松油烯 Terpinolene | 1 090 | 1 070 | 0.67±0.06 | | 0.76±0.04 | R |
| 总和 Sum | | | 13 324.69±615.66 | | 15 802.77±122.85 * | |
| 单萜醇类 Monoterpene alcohols | | | | | | |
| 水化香桉烯 Sabinene hydrate | 1 079 | 1 068 | 0.49±0.06 | | 0.91±0.11 * | R |
| 芳樟醇 β-Linalool | 1 107 | 1 098 | 9.07±0.22 | | 12.46±0.13 * | R |
| 4-萜品烯醇 4-Terpineol | 1 190 | 1 177 | 0.27±0.02 | | 0.28±0.01 | R |
| α-萜品烯醇 α-Terpineol | 1 206 | 1 189 | 3.99±0.14 | | 6.18±0.15 * | R |
| 橙花醇 Nerol | 1 234 | 1 228 | 16.16±0.26 * | | 14.31±0.17 | R |
| β-香茅醇 β-Citronellol | 1 236 | 1 228 | 0.67±0.11 | | 0.92±0.11 * | R |
| 顺-香芹醇 (Z)-Carveol | 1 245 | 1 229 | 1.70±0.03 | | 2.03±0.08 * | R |
| 香叶醇 Geraniol | 1 261 | 1 255 | 6.56±0.36 | | 8.25±0.12 * | R |
| 对-1(7),8(10)薄荷二烯-9-醇 p-Mentha-1(7), 8(10)-dien-9-ol | 1 303 | / | 0.08±0.01 | | 0.09±0.01 | T ¹ |
| 总和 Sum | | | 38.99±0.90 | | 45.42±0.30 * | |
| 单萜醛类 Monoterpene aldehydes | | | | | | |
| 香茅醛 Citronellal | 1 164 | 1 153 | 1.50±0.10 | | 2.06±0.08 * | R |
| 橙花醛 Neral | 1 251 | 1 240 | 11.24±0.22 | | 17.94±0.33 * | R |
| 香叶醛 Geranial | 1 281 | 1 270 | 22.36±0.45 | | 39.57±1.10 * | R |
| 总和 Sum | | | 35.09±0.48 | | 59.57±1.30 * | |
| 单萜酯类 Monoterpene esters | | | | | | |
| 乙酸香茅酯 Citronellyl acetate | 1 357 | 1 354 | 0.93±0.05 | | 0.93±0.30 | R |
| 乙酸橙花酯 Neryl acetate | 1 366 | 1 365 | 4.59±0.33 * | | 2.36±0.15 | R |
| 乙酸香叶酯 Geranyl acetate | 1 385 | 1 383 | 2.98±0.10 | | 3.19±0.15 | R |
| 总和 Sum | | | 8.50±0.47 * | | 6.48±0.35 | |
| 单萜氧化物类 Monoterpene oxides | | | | | | |
| 顺-芳樟醇氧化物 (Z)-Linalool oxide | 1 078 | 1 074 | 1.29±0.25 | | 1.33±0.10 | R |
| 反-芳樟醇氧化物 (E)-Linalool oxide | 1 093 | 1 088 | 1.21±0.14 | | 1.20±0.10 | R |
| 顺-柠檬烯氧化物 (Z)-Limonene oxide | 1 143 | 1 134 | 0.31±0.18 | | 0.33±0.19 | R |
| 反-柠檬烯氧化物 (E)-Limonene oxide | 1 148 | 1 139 | 0.60±0.03 | | 0.63±0.03 | R |
| 总和 Sum | | | 3.43±0.23 | | 3.50±0.10 | |
| 单萜类总和 Total monoterpenoids | | | 13 410.70±616.20 | | 15 917.74±121.82 * | |

注: 1) RI^a: 在 TR-5 MS 毛细管柱上的保留指数; 2) RI^b: 保留指数来自于 NIST 库; 3) Tⁿ: 与 Liu 等^[21]表 1 中 T¹-T¹³ 的标准曲线公式(斜体部分)相对应, R: 依靠标准物质进行定性, 基于标准曲线定量的物质; 4) “/” 表示未检出; 5) *: 在弃管果园和正常栽培管理果园的果实之间具有显著性差异的挥发性物质(P<0.05)。下同。Note: 1) RI^a: Retention index on TR-5 MS column; 2) RI^b: Retention index average values from NIST library; 3) Tⁿ: Corresponding to the equations of curves with T¹- T¹³ were obtained in TIC mode (italic) listed in Table 1 from Liu et al^[21]; R: Compounds identified based on reference chemicals; 4) “/” shows undetected compound; 5) *: The volatiles in bitter-flavor mutant with significant difference compared with those in mutant type of Liangping pummelo (P<0.05). The same as below.

表 2 正常栽培管理和弃管果园的梁平柚果实中倍半萜类挥发性物质的含量
Table 2 Sesquiterpenoid volatiles in peel oil of Liangping pummelo under normal cultivation management and no cultivation management

| 挥发性物质 Volatiles | 保留指数 | | μg/g | | 定性方式 ID |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|
| | RI ^a | RI ^b | No cultivation management | Normal cultivation management | |
| 倍半萜烯类 Sesquiterpenes | | | | | |
| δ-榄香烯 δ-Elemene | 1 338 | 1 339 | 1.47±0.03 | 1.60±0.02 * | T ¹³ |
| β-榄香烯 β-Elemene | 1 393 | 1 391 | 1.86±0.08 * | 0.97±0.01 | T ¹³ |
| 石竹烯 Caryophyllene | 1 424 | 1 418 | 7.51±0.35 * | 5.87±0.50 | R |
| α-石竹烯 α-Caryophyllene | 1 461 | 1 454 | 1.57±0.05 * | 1.40±0.02 | R |
| 大香叶烯 D Germacrene D | 1 487 | 1 480 | 9.40±0.40 | 9.61±0.16 | T ² |
| 瓦伦烯 Valencene | 1 497 | 1 491 | 6.65±0.52 * | 5.42±0.04 | R |
| 甘香烯 Elixene | 1 500 | 1 471 | 2.03±0.03 | 2.65±0.03 * | T ¹³ |
| α-法呢烯 α-Farnesene | 1 508 | 1 508 | 0.51±0.01 | 0.56±0.01 * | R |
| α-人参烯 α-Panasinsen | 1 525 | 1 527 | 1.47±0.06 | 1.48±0.01 | T ¹³ |
| 总和 Sum | | | 32.46±1.15 * | 29.55±0.58 | |
| 倍半萜醇类 Sesquiterpene alcohols | | | | | |
| 大香叶烯 D-4-醇 Germacrene D-4-ol | 1 585 | 1 574 | / | Trace | T ¹³ |
| 法尼醇 Farnesol | 1 727 | 1 722 | 24.89±6.51 | 68.01±2.64 * | R |
| 总和 Sum | | | 24.89±6.51 | 68.01±2.64 * | |
| 倍半萜醛类 Sesquiterpene aldehydes | | | | | |
| 法尼醛 Farnesal | 1 751 | 1 735 | 0.47±0.03 | 0.46±0.01 | R |
| 总和 Sum | | | 0.47±0.03 | 0.46±0.01 | |
| 倍半萜酮类 Sesquiterpene ketone | | | | | |
| 诺卡酮 Nootkatone | 1 724 | 1 800 | 119.33±33.17 | 205.06±7.50 * | R |
| 总和 Sum | | | 119.33±33.17 | 205.06±7.50 * | |
| 倍半萜类总和 Total sesquiterpenoids | | | 177.16±40.57 | 303.07±7.65 * | |

烯类;δ-榄香烯、甘香烯、α-法呢烯、法尼醇和诺卡酮的含量则在正常栽培管理果园果实中显著高于弃管果园果实;而大香叶烯 D、α-人参烯、大香叶烯 D-4-醇、法尼醛在两者之间无显著性差异。其中诺卡酮是弃管和正常栽培管理果园果实中含量第 3 的挥发性物质,分别为 119.33 和 205.06 μg/g,其占总挥发性物质的比例分别为 0.88% 和 1.26%。

3) 非萜类挥发性物质。本研究检测到 14 种非萜类挥发性物质,包括 4 种醇类、5 种醛类、2 种酯类和 3 种未知物(表 3)。但非萜类挥发性物质的总量在弃管果园和正常栽培管理果园果实中的含量仅分别为 36.86 和 51.04 μg/g,分别占总挥发性物质的 0.27% 和 0.31%。其中仅反-2-己烯醛在弃管果园果实中的含量显著高于正常栽培管理果园果实,而顺-3-己烯醇、己醇、3-己烯醛、乙酸己酯、丁酸己酯和未知物 1 在正常栽培管理果园果实中的含量均显著高于弃管果园果实。

4) 果皮中的挥发性物质。本研究共检出 13 大类 60 种挥发性物质,包括 14 种单萜烯、9 种单萜醇、3 种单萜醛、3 种单萜酯、4 种单萜氧化物、9 种倍半萜烯、2 种倍半萜醇、1 种倍半萜醛、1 种倍半萜

酮、4 种醇、5 种醛、2 种酯及 3 种未知物。对其中 45 种物质基于标准物质进行了准确定性,其余 15 种物质的定性基于 RI 和质谱图谱库比对检索进行了尝试性定性(表 3)。α-侧柏烯、假柠檬烯、大香叶烯 D-4-醇仅在正常栽培管理果园果实中被检出,其余 57 种物质的含量在 2 种管理模式的果皮中共同存在。

总挥发性物质在正常栽培管理果园的梁平柚果实中的含量高达 16 271.85 μg/g,是弃管果园果实的 1.19 倍。其中总单萜烯类、总单萜醇类、总单萜醛类、总倍半萜醇类、总倍半萜酮类、总醇类、总酯类在正常栽培管理果园的梁平柚中均显著高于弃管果园果实;仅总单萜酯类、总倍半萜烯类在正常栽培管理果园的梁平柚中显著低于弃管果园果实;而总单萜氧化物类、总倍半萜醛类、总醛类、总未知物的含量在两者之间无显著性差异。相应地,总单萜类物质、总倍半萜类物质和总非萜类物质在正常栽培管理果园果实中全部显著高于弃管果园果实。

综上,31 种物质在正常栽培管理果园果实中的含量显著高于弃管果园果实中的含量,21 种物质在两者之间无显著性差异,仅有 8 种物质在弃管果园果实中的含量显著高于正常果实。

表 3 正常栽培管理和弃管果园的梁平柚果实中非萜类挥发性物质的含量
Table 3 Non-terpenoid volatiles in peel oil of Liangping pummelo under normal cultivation management and no cultivation management

| 挥发性物质 Volatiles | 保留 指数 RI ^a | 保留 指数 RI ^b | 弃管 No cultivation management | 正常栽培管理 Normal cultivation management | 定性方式 ID |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--|-----------------|
| 醇类 Alcohols | | | | | |
| 顺-3-己烯醇 (Z)-3-Hexenol | 868 | 851 | 6.34±0.25 | 17.82±0.17 * | R |
| 反-2-己烯醇 (E)-2-Hexenol | 878 | 862 | 7.97±0.04 | 7.98±0.04 | R |
| 己醇 Hexanol | 881 | 867 | 4.34±0.05 | 7.46±0.23 * | R |
| 松柏醇 Coniferyl alcohol | 1 761 | 1 729 | 1.80±0.71 | 1.09±0.15 | R |
| 总和 Sum | | | 20.45±0.66 | 34.35±0.22 * | |
| 醛类 Aldehyde | | | | | |
| 3-己烯醛 3-Hexenal | 811 | 810n | 3.22±0.11 | 4.24±0.09 * | T ⁷ |
| 己烯醛 Hexanal | 812 | 800 | 1.10±0.29 | 0.69±0.03 | R |
| 反-2-己烯醛 (E)-2-Hexenal | 870 | 854 | 5.10±0.41 * | 3.20±0.56 | R |
| 癸醛 Decanal | 1 216 | 1 204 | 0.21±0.18 | 0.40±0.01 | R |
| 2-十二烯醛 2-Dodecenal | 1 480 | 1 465 | 0.53±0.42 | 0.81±0.35 | R |
| 总和 Sum | | | 10.16±0.62 | 9.34±0.78 | |
| 酯类 Esters | | | | | |
| 乙酸己酯 Hexyl acetate | 1 022 | 1 008 | 0.25±0.11 | 0.96±0.05 * | R |
| 丁酸己酯 Hexyl butanoate | 1 197 | 1 191 | 0.40±0.03 | 0.88±0.06 * | R |
| 总和 Sum | | | 0.65±0.14 | 1.85±0.01 * | |
| 未知挥发物 Unknowns | | | | | |
| 未知物 1 Unknown 1 | 1 335 | | 1.13±0.02 | 1.18±0.01 * | T ¹³ |
| 未知物 2 Unknown 2 | 1 677 | | 3.28±0.46 | 3.06±0.08 | T ¹³ |
| 未知物 3 Unknown 3 | 1 782 | | 1.18±0.06 | 1.26±0.04 | T ¹³ |
| 总和 Sum | | | 5.60±0.52 | 5.50±0.12 | |
| 非萜类总和 Total non-terpenoids | | | 36.86±1.10 | 51.04±0.64 * | |

2.2 管理模式对梁平柚果实主要苦味物质的影响

本研究检测到 3 种主要苦味物质,包括黄酮类的物质柚皮苷以及三萜类的物质柠檬苦素和诺米林。

如图 1 所示,油胞层中仅有柚皮苷被检出,弃管果园梁平柚油胞层中柚皮苷含量为 1 379.00 μg/g,是正常栽培管理果园的果实中的 8.33 倍。海绵层中,柚皮苷、柠檬苦素和诺米林在弃管果园果实中的含量分别为 4 683.25、22.66 和 6.58 μg/g,分别是正常栽培管理果园的果实中的 1.17、3.57 和 1.76 倍,其中柚皮苷和柠檬苦素含量分别与对照有显著性差异。囊衣中的苦味物质含量在果实中含量最高,柚皮苷、柠檬苦素和诺米林在弃管果园果实中的含量分别为 8 919.57、268.49 和 161.72 μg/g,分别是正常栽培管理果园果实中的 1.19、1.62 和 1.67 倍,均显著增高。汁胞中的 3 种物质在弃管果园果实汁胞中的含量分别为 479.66、21.31 和 11.76 μg/g,分别是正常栽培管理果园果实的 2.09、4.10 和 2.36 倍,均具有显著性差异。

2.3 消费者对柚果实香味和苦味性状的接受度

本研究通过微信渠道进行调查,受调查者采用自愿且匿名的形式参与,即自愿参与的调查者主动点击链接,进入调查页面,完成相应调查问卷。共获得 111 份反馈问卷,有效调查问卷 111 份,有效问卷率 100%。样本中,男性被调查者 45 人,女性 66 人;小于 25 岁的被调查者 34 人,25~35 岁的被调查者 49 人,36~45 岁的被调查者 22 人;46~55 岁的被调查者 6 人。样本基本覆盖了消费柚果实的主要群体,样本性别、年龄段人数分布均匀,代表性较强。

首先,年龄在 45 岁及以下的受调查群体对香味品质偏低的柚果实的接受度随着年龄的增长而增长,接受度 5~9 分的人群在 <25 岁、25~35 岁、36~45 岁群体中的比例分别为 51.0%、56.5%、66.7%;46~55 岁人群对 5~9 分接受度的比例为 33.3%。对香味品质偏低味道偏苦柚果实的接受度显著低于仅香味品质偏低的柚果实,接受度 5~9 分的人群在 4 个群体中的比例分别为 13.9%、20.6%、

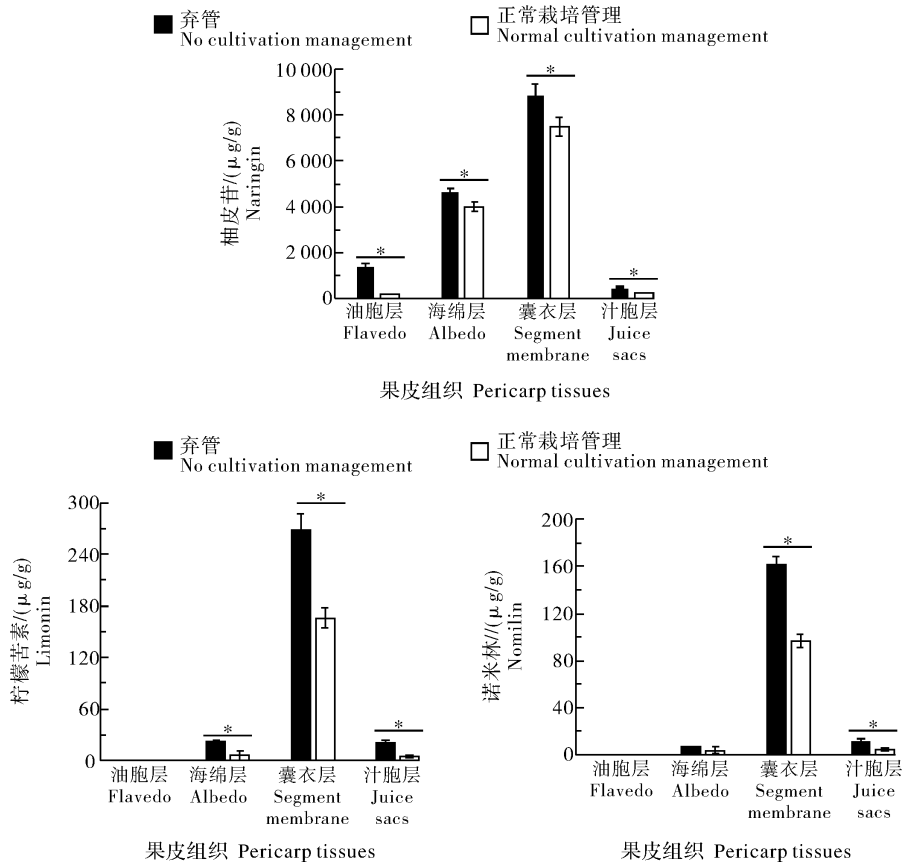


图1 正常栽培管理果园和弃管果园的梁平柚果皮中主要苦味物质的含量

Fig.1 The contents of main bitter compounds in Liangping pummelo under normal cultivation management and no cultivation management ($P < 0.05$)

27.9%和0%。但一旦香味品质偏低味道偏苦的柚果实具有了保健功能,则消费者对该果实的接受度大幅上升,<25岁群体中接受度5~9分的人群占比达53.0%,略高于该群体对仅香气品质偏低的柚果实的接受度(51.0%);46~55岁群体中接受度5~9分的人群占比达33.3%,与该群体对仅香气品质偏低的柚果实的接受度一致;而25~35岁和36~45岁群体中接受度5~9分的人群占比分别达38.4%和55.6%,仍低于相应群体对仅香气品质偏低的柚果实的接受度(分别为56.6%和66.7%)(表4)。

其次,样本中持有柑橘果实中天然存在的苦味物质对身体无益观点的比例,随年龄增长呈现出降低的趋势,在4个年龄群体中的比例分别为20.6%、6.1%、4.5%和0%;而持有对身体有益观点最多的人群集中在25~35岁(约69.4%的人认为苦味对身体有益),最低的群体为<25岁的人群(35.3%);其他的被调查人员则对该问题无感。

再次,对水果附加保健功能的期待度呈现出随年龄增长降低的趋势。在4个年龄段中,<25岁和

25~35岁人群期待度为5分的比例分别为41.2%和24.5%,说明青年群体对保健功能的重视。而36~45岁人群中期待度1分、6分和7分的期待度均为18.2%,说明比较分散。而46~55岁人群对保健功能期待度最集中(33.3%)的分数为4分。期待度5~9分的人群占比加和在4个年龄群体中的比例分别为70.6%、75.6%、59.0%和50.1%,呈现出降低趋势。

最后,对味偏苦柚果实的接受度整体呈现出随着年龄的增长而升高的趋势,以最高占比为例:小于25岁的人群中接受度4分在9个分数中占比最高(35.3%),25~35岁的人群中接受度3分的占比最高(26.5%),而36~45岁和46~55岁人群中5分的接受度最高,分别为22.7%和50.0%。而且,4个年龄群体5~9分的人群占比总和依次为29.3%、40.7%、54.4%和66.7%。需要注意的是,各个年龄群体的人群对味偏苦但保健功能更好的柚果实的接受度都显著高于味偏苦果实的接受度,在4个年龄群体5~9分的人群占比加和依次为61.7%、55.1%、72.7%和83.4%。

表4 柚果实香味品质和苦味品质接受度调查结果

Table 4 Investigation on the acceptability of aroma quality and bitter-flavor in pummelo

%

| 项目 Item | 分数 Score | 年龄 Age | | | | 总体 Totally |
|---|-------------|--------|-------|-------|-------|------------|
| | | <25 | 25~35 | 36~45 | 46~55 | |
| 香味品质偏低的柚果实接受度 Acceptability of pummelo with less aromas | 1 | 2.0 | 5.1 | 0.0 | 33.3 | 3.6 |
| | 2 | 3.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.7 |
| | 3 | 23.5 | 12.8 | 16.7 | 0.0 | 10.0 |
| | 4 | 19.6 | 25.6 | 16.7 | 33.3 | 6.3 |
| | 5 | 23.5 | 30.8 | 33.3 | 33.3 | 18.9 |
| | 6 | 9.8 | 15.4 | 11.1 | 0.0 | 21.7 |
| | 7 | 11.8 | 7.7 | 11.1 | 0.0 | 13.5 |
| | 8 | 2.0 | 0.0 | 5.6 | 0.0 | 13.5 |
| | 9 | 3.9 | 2.6 | 5.6 | 0.0 | 9.9 |
| 5~9 | 51.0 | 56.5 | 66.7 | 33.3 | 54.9 | |
| 香味品质偏低味道偏苦柚果实接受度 Acceptability of pummelo with less aromas and more bitter compounds | 1 | 33.3 | 35.9 | 44.4 | 0.0 | 35.2 |
| | 2 | 21.6 | 15.4 | 0.0 | 33.3 | 16.2 |
| | 3 | 17.6 | 23.1 | 16.7 | 33.3 | 19.8 |
| | 4 | 13.7 | 5.1 | 11.1 | 33.3 | 10.8 |
| | 5 | 2.0 | 7.7 | 5.6 | 0.0 | 4.5 |
| | 6 | 2.0 | 7.7 | 5.6 | 0.0 | 4.5 |
| | 7 | 2.0 | 2.6 | 5.6 | 0.0 | 2.7 |
| | 8 | 2.0 | 0.0 | 11.1 | 0.0 | 2.7 |
| | 9 | 5.9 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 3.6 |
| 5~9 | 13.9 | 20.6 | 27.9 | 0.0 | 19.8 | |
| 香味品质偏低味道偏苦但保健功能更好的柚果实接受度 Acceptability of pummelo with less aromas, more bitter compounds, and healthy functions | 1 | 9.8 | 7.7 | 5.6 | 0.0 | 8.1 |
| | 2 | 7.8 | 12.8 | 0.0 | 33.3 | 9.0 |
| | 3 | 11.8 | 23.1 | 22.2 | 0.0 | 17.1 |
| | 4 | 17.6 | 17.9 | 16.7 | 33.3 | 18.0 |
| | 5 | 25.5 | 12.8 | 27.8 | 0.0 | 20.8 |
| | 6 | 15.7 | 5.1 | 5.6 | 0.0 | 9.9 |
| | 7 | 3.9 | 12.8 | 11.1 | 0.0 | 8.1 |
| | 8 | 5.9 | 5.1 | 11.1 | 33.3 | 7.2 |
| | 9 | 2.0 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 1.8 |
| 5~9 | 53.0 | 38.4 | 55.6 | 33.3 | 47.8 | |
| 柑橘果实中天然存在的苦味物质对身体 How natural bitter compounds in citrus fruits affect health | 有益 Good | 35.3 | 69.4 | 63.6 | 50.0 | 56.8 |
| | 无益 Bad | 20.6 | 6.1 | 4.5 | 0.0 | 9.9 |
| | 无感 No sense | 44.1 | 24.5 | 31.8 | 50.0 | 33.3 |
| 对水果附加保健功能的期待度 Expectation on healthy functions of fruits | 1 | 5.9 | 2.0 | 18.2 | 0.0 | 6.3 |
| | 2 | 2.9 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 3.6 |
| | 3 | 8.8 | 12.2 | 9.1 | 16.7 | 10.8 |
| | 4 | 11.8 | 4.1 | 13.6 | 33.3 | 9.9 |
| | 5 | 41.2 | 24.5 | 13.6 | 16.7 | 27.1 |
| | 6 | 8.8 | 16.3 | 18.2 | 16.7 | 14.4 |
| | 7 | 5.9 | 18.4 | 18.2 | 16.7 | 14.4 |
| | 8 | 8.8 | 8.2 | 4.5 | 0.0 | 7.2 |
| | 9 | 5.9 | 8.2 | 4.5 | 0.0 | 6.3 |
| 5~9 | 70.6 | 75.6 | 59.0 | 50.1 | 69.4 | |

续表 4 Continued Table 4

| 项目 Item | 分数 Score | 年龄 Age | | | | 总体 Totally |
|---|----------|--------|-------|-------|-------|------------|
| | | <25 | 25~35 | 36~45 | 46~55 | |
| 味偏苦柚果实的接受度 Acceptability of bitter-flavor pummelo | 1 | 11.8 | 14.3 | 13.6 | 16.7 | 13.5 |
| | 2 | 11.8 | 12.2 | 13.6 | 0.0 | 11.7 |
| | 3 | 11.8 | 26.5 | 13.6 | 0.0 | 18.0 |
| | 4 | 35.3 | 6.1 | 4.5 | 16.7 | 15.3 |
| | 5 | 2.9 | 16.3 | 22.7 | 50.0 | 15.4 |
| | 6 | 8.8 | 12.2 | 4.5 | 0.0 | 9.0 |
| | 7 | 8.8 | 6.1 | 13.6 | 0.0 | 8.1 |
| | 8 | 5.9 | 6.1 | 0.0 | 16.7 | 5.4 |
| | 9 | 2.9 | 0.0 | 13.6 | 0.0 | 3.6 |
| 5~9 | 29.3 | 40.7 | 54.4 | 66.7 | 41.5 | |
| 味偏苦但保健功能更好的柚果实的接受度 Acceptability of bitter-flavor pummelo plus with health functions | 1 | 2.9 | 4.1 | 9.1 | 0.0 | 4.5 |
| | 2 | 0.0 | 14.3 | 0.0 | 16.7 | 7.2 |
| | 3 | 20.6 | 18.4 | 13.6 | 0.0 | 17.1 |
| | 4 | 14.7 | 8.2 | 4.5 | 0.0 | 9.0 |
| | 5 | 29.4 | 12.2 | 18.2 | 16.7 | 19.0 |
| | 6 | 11.8 | 8.2 | 22.7 | 16.7 | 12.6 |
| | 7 | 2.9 | 14.3 | 4.5 | 33.3 | 9.9 |
| | 8 | 14.7 | 14.3 | 9.1 | 0.0 | 12.6 |
| | 9 | 2.9 | 6.1 | 18.2 | 16.7 | 8.1 |
| 5~9 | 61.7 | 55.1 | 72.7 | 83.4 | 62.2 | |

3 讨论

本研究表明,梁平柚含量最高的 *d*-柠檬烯是柑橘类果实中普遍含量最高的香气物质,味道为类似柠檬味^[21,23]。含量居第 2 位的 β -月桂烯的味道为香膏、木花香、甜味、类似梔子花的味道^[21],其阈值为 0.67 mg/kg^[24]。含量居第 3 位的诺卡酮具有类似葡萄柚的味道,而且阈值很低,仅为 0.28 mg/kg^[25],是柚类以及葡萄柚类果实的特征香气物质之一。据前人报道,梁平柚精油具有强烈的柚香味和甜味^[2]。鉴于此,本研究认为高含量的 β -月桂烯和诺卡酮可能是导致梁平柚具有强烈的柚香味和甜味的主要原因。

此外,弃管果园果实中与香味品质相关的挥发性物质成分和含量较正常果园低。在柑橘果实中,黄皮层油胞的上皮细胞合成精油后,直接储存于油胞中,油胞是柑橘香气物质的主要积累部位^[26]。因此,本研究以柑橘果实含油胞的有色层为材料,测定了其挥发性物质的组成及含量。总挥发性物质在正常栽培管理果园的梁平柚中的含量高达 16 271.85

$\mu\text{g/g}$,是弃管果园果实中的 1.19 倍。总单萜类物质、总倍半萜类物质和总非萜类物质在正常栽培管理果园的梁平柚中全部显著高于弃管的果实。而且, α -侧柏烯(在正常栽培管理果园果实中含量为 1.57 $\mu\text{g/g}$)、假柠檬烯(1.48 $\mu\text{g/g}$)和大香叶烯 *D*-4-醇(痕量)在弃管果园果实中未检出。这表明不良的栽培管理模式可以使挥发性物质合成通路的代谢总流量下降,而下游的挥发性物质组成及比例变化不大。

此外,与正常栽培管理果园模式下的果实相比,弃管果实中 3 种主要的苦味物质,包括黄烷酮糖苷类的柚皮苷以及三萜类的柠檬苦素和诺米林的含量均显著升高,以汁胞为例,含量分别为 479.66、21.31 和 11.76 $\mu\text{g/g}$,分别是正常栽培管理果园果实中的 2.09、4.10 和 2.36 倍。前人研究表明,柚皮苷、柠檬苦素和诺米林的苦味感知阈值分别为 20、1、和 1.7 $\mu\text{g/g}$ ^[27-28]。因此,与正常栽培管理果园的果实相比,弃管果园果实主要苦味物质增高,是导致其苦味增加的主要原因。同时,栽培管理不良使果实中主要苦味物质合成通路的代谢总流量上升,这可能由

于弃管果园中树体相对正常栽培管理果园的树体,处于非生物逆境及病虫害等生物逆境中,柚皮苷等类黄酮及柠檬苦素等抗氧化物质的增加,与树体抵御病虫害等逆境相适应,尤其是柠檬苦素和诺米林具有昆虫拒食特性^[28]。还需要指出的是,在鲜食柚果实时,消费者一般去囊衣仅食用汁胞,而宽皮柑橘、橙等柑橘类果实则是连同囊衣一同食用。一方面是因为柚果实是柑橘类果实中果形最大的,相应地囊衣组织也更厚,口感差;另一方面,在柚果实的4种组织中,囊衣中的苦味物质含量是最高的,以正常栽培管理果园的柚果实为例,其含量最高的苦味物质柚皮苷在囊衣中的含量高达7 479.74 $\mu\text{g}/\text{g}$,是汁胞中的32.63倍。而在宽皮柑橘‘国庆1号’的囊衣中,柚皮苷的含量不足25 $\mu\text{g}/\text{g}$ ^[22],这也是宽皮柑橘的囊衣可以鲜食的重要原因。

综上,弃管果园中果实的香味品质降低,但是其具有苦味的生物活性物质含量显著提高。本研究进一步针对柚果实的香味品质和苦味品质的消费者接受度进行了相关调查,回收的有效调查问卷共111份,其中最大年龄段的受调查者为46~55岁,且人数较少,这是由于受新冠肺炎疫情影响,本次调查完全采用网络调查的形式,而互联网的主要使用者中高龄用户偏少,但由于整体受调查者的样本满足样本量的需求,因此,本次调查有效。调查结果表明,一方面随着年龄的增长消费者对柚果实的香味品质降低的包容度和苦味性状的接受度提高;前人的研究表明随着年龄的增长,人类味觉和嗅觉的灵敏度下降^[30]。但4个年龄段的消费者均对同时表现出香味品质偏低味道偏苦的柚果实的接受度骤降。另一方面,消费者就苦味物质对身体保健功能的认识不足,却又对具有保健功能的水果具有较高的期待度。以<25岁的消费群体为例,对偏苦柚果实具有较高接受度的比例仅为29.3%,仅有35.3%的人认为柑橘果实中的天然苦味物质是对身体有益的,20.6%的人反而认为天然苦味物质对身体是有害的,高达44.1%的人则无感;另一方面,高达70.6%的人对附加保健功能的水果具有较高的期待度,同样是偏苦的柚果实,一旦具有了保健功能,消费者的接受度从对偏苦果实的29.3%提升至61.7%,对香味品质偏低味道偏苦的柚果实的接受度从13.9%提升至53.0%。

香味品质的降低和苦味性状对消费者的购买行为具有负面效应,人为的栽培管理措施能够提高香味品质的同时降低柚果实的苦味,是果园高产出的有力保障。但是,针对由农村青壮年劳动力外流导致的果园弃管问题,可以通过对天然苦味物质的保健功能的科普介入,使消费者了解苦味物质的天然保健功能,包括抗氧化性、降血脂、降血压,对糖尿病、动脉粥样硬化、肥胖症等的预防和治疗作用^[10-12],从一定程度上提升弃管果园的经济效益和土地产出价值。

参考文献 References

- [1] 张海朋,彭昭欣,石梅艳,等.柑橘果实风味组学研究进展[J]. 华中农业大学学报,2021,40(1):32-39. ZHANG H P, PENG Z X, SHI M Y, et al. Advances on citrus flavoromics[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40(1): 32-39 (in Chinese with English abstract).
- [2] 周心智,文家富,张云贵,等.重庆市梁平区梁平柚产业发展成效[J]. 南方农业,2017,11(31):10-12. ZHOU X Z, WEN J F, ZHANG Y G, et al. Achievements of Liangping pummelo industry in Liangping District, Chongqing [J]. South China agriculture, 2017, 11(31): 10-12 (in Chinese).
- [3] 洪鹏,陈峰,杨远帆,等.三种柚子精油的香味特征及挥发性成分[J]. 现代食品科技,2014,30(10):274-281. HONG P, CHEN F, YANG Y F, et al. Sensory characteristics and volatile components of three pummelo (*Citrus maxima*) essential oils [J]. Modern food science and technology, 2014, 30(10): 274-281 (in Chinese with English abstract).
- [4] PALAZZOLO E, LAUDICINA V A, GERMANÀ M A. Current and potential use of citrus essential oils[J]. Current organic chemistry, 2013, 17(24): 3042-3049.
- [5] GONZÁLEZ-MAS M C, RAMBLA J L, LÓPEZ-GRESA M P, et al. Volatile compounds in citrus essential oils: a comprehensive review[J/OL]. Frontiers in plant science, 2019, 10: 12 [2020-12-20]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00012>.
- [6] CHEONG M W, LOKE X Q, LIU S Q, et al. Characterization of volatile compounds and aroma profiles of Malaysian pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) blossom and peel[J]. Journal of essential oil research, 2011, 23(2): 34-44.
- [7] CHEONG M W, LIU S Q, YEO J, et al. Identification of aroma-active compounds in Malaysian pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) peel by gas chromatography-olfactometry[J]. Journal of essential oil research, 2011, 23(6): 34-42.
- [8] NADI R, GOLEIN B, GÓMEZ-CADENAS A, et al. Developmental stage- and genotype-dependent regulation of specialized metabolite accumulation in fruit tissues of different citrus vari-

- eties[J/OL]. International journal of molecular sciences, 2019, 20 (5): 1245 [2021-01-09]. <https://doi.org/10.3390/ijms20051245>.
- [9] CHEN M H, YANG K M, HUANG T C, et al. Traditional small-size *Citrus* from Taiwan: essential oils, bioactive compounds and antioxidant capacity[J/OL]. Medicines, 2017, 4 (2): 28 [2021-01-09]. <https://doi.org/10.3390/medicines4020028>.
- [10] RAZAVI B M, HOSSEINZADEH H. A review of the effects of *Citrus paradisi* (grapefruit) and its flavonoids, naringin, and naringenin in metabolic syndrome [M]//WATSON R R, PREEDY V R. Bioactive food as dietary interventions for diabete. Pittsburgh: Academic Press, 2019: 515-543.
- [11] 张娜威, 潘思轶, 范刚, 等. 柑橘果汁中的苦味物质及脱苦技术研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(1): 40-48. ZHANG N W, PAN S Y, FAN G, et al. Bitter substances and progress of debittering technology in citrus juice[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40 (1): 40-48 (in Chinese with English abstract).
- [12] MONTERO-CALDERON A, CORTES C, ZULUETA A, et al. Green solvents and ultrasound-assisted extraction of bioactive orange (*Citrus sinensis*) peel compounds[J/OL]. Scientific reports, 2019, 9: 16120 [2021-01-09]. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52717-1>.
- [13] NISHAD J, SINGH C S P, SINGH S, et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of selected Indian pummelo (*Citrus grandis* L. Osbeck) germplasm [J]. Scientia horticulturae, 2018, 233: 446-454.
- [14] DREWNOWSKI A, GOMEZ-CARNEROS C. Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review[J]. American journal of clinical nutrition, 2000, 72(6): 1424-1435.
- [15] 陈嘉景, 彭昭欣, 石梅艳, 等. 柑橘中类黄酮的组成与代谢研究进展[J]. 园艺学报, 2016, 43(2): 384-400. CHEN J J, PENG Z X, SHI M Y, et al. Advances in on flavonoid composition and metabolism in citrus[J]. Acta horticulturae sinica, 2016, 43 (2): 384-400 (in Chinese with English abstract).
- [16] 蔡护华, 桥永文男. 柑桔果实中柠檬苦素类化合物的研究现状与展望[J]. 植物学报, 1996(4): 328-336. CAI H H, HASHINAGA F. The prospect and current studies on the limonoids in citrus[J]. Acta botanica sinica, 1996, 38(4): 328-336 (in Chinese with English abstract).
- [17] 王壮. 不同柑橘种质资源及不同产区纽荷尔脐橙果实苦味品质的评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011. WANG Z. Bitterness quality evaluation of fruit from different citrus germplasm resources and Newhall navel orange harvested in different areas [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011 (in Chinese with English abstract).
- [18] 迟明, 刘美迎, 宁鹏飞, 等. 避雨栽培对酿酒葡萄果实品质和香气物质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(7): 27-32. CHI M, LIU M Y, NING P F, et al. Effect of rain-shelter cultivation on fruit quality and aroma components in wine grape (*Vitis vinifera* L.)[J]. Food science, 2016, 37(7): 27-32 (in Chinese with English abstract).
- [19] 石莹, 刘园, 陈嘉景, 等. 黄龙病菌侵染对茶枝柑果实类黄酮和挥发性物质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(1): 24-33. SHI Y, LIU Y, CHEN J J, et al. Effects of Huanglongbing infection on profiles of flavonoids and volatiles in fruits of *Citrus reticulata* cv. *chachiensis*[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39 (1): 24-33 (in Chinese with English abstract).
- [20] OBENLAND D, COLLIN S, MACKAY B, et al. Determinants of flavor acceptability during the maturation of navel oranges [J]. Postharvest biology & technology, 2009, 52(2): 156-163.
- [21] LIU C, CHENG Y, ZHANG H, et al. Volatile constituents of wild citrus Mangshanyegan (*Citrus nobilis* Lauriro) peel oil [J]. Journal of agricultural & food chemistry, 2012, 60(10): 2617-2628.
- [22] LI S, WANG Z, DING F, et al. Content changes of bitter compounds in 'Guoqing No.1' Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) during fruit development of consecutive 3 seasons[J]. Food chemistry, 2014, 145(13): 963-969.
- [23] TAMURA H, FUKUDA Y, PADRAYUTTAWAT A. Characterization of citrus aroma quality by odor threshold values [M]// TAKEOKA G R, TERANISHI R, WILLIAMS P J. Biotechnology for improved foods and flavors. Washington, DC: ACS Publications, 1996: 282-294.
- [24] TAMURA H, YANG R H, SUGISAWA H. Aroma profiles of peel oils of acid citrus[M]//TERANISHI R, BUTTERY R G, SUGISAWA H. Bioactive volatile compounds from plants. Washington, DC: ACS Publications, 1993: 121-136.
- [25] LIANG S J, WU H, LUN X, et al. Secretory cavity development and its relationship with the accumulation of essential oil in fruits of *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* (Noot.) Swingle[J]. Journal of integrative plant biology, 2006, 48(5): 573-583.
- [26] GUADAGNI D G, MAIER V P, TURNBAUGH J G. Effect of some citrus juice constituents on taste thresholds for limonin and naringin bitterness[J]. Journal of the science of food and agriculture, 1973, 24(10): 1277-1288.
- [27] ROUSEFF R L, MATTHEWS R F. Nomilin, taste threshold and relative bitterness[J]. Journal of food science, 1984, 49 (3): 777-779.
- [28] 朱春华, 李菊湘, 周先艳, 等. 柑橘果实中柠檬苦素及类似物功能活性研究进展[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(6): 78-82. ZHU C H, LI J X, ZHOU X Y, et al. Research on activity of limonin and limonoids in citrus fruit[J]. Storage and process, 2015, 15

- (6):78-82 (in Chinese with English abstract).
- [29] LIU C,JIANG D,CHENG Y,et al. Chemotaxonomic study of *Citrus,Poncirus* and *Fortunella* genotypes based on peel oil volatile compounds - deciphering the genetic origin of Mangshanyegan (*Citrus nobilis* Lauriro)[J/OL]. PLoS One,2013,8 (3): e58411 [2021-01-09]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058411>.
- [30] SERGI G,BANO G,PIZZATO S,et al Taste loss in the elderly:possible implications for dietary habits[J]. Critical reviews in food science and nutrition,2017,57(17):3684-3689.

Changes of volatile and bitter compounds in fruit of Liangping pummelo under two modes of orchard management

LIU Cuihua^{1,2}, ZHU Shiping³, XU Juan²

- 1.College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling 712100, China ;
2.College of Horticulture & Forestry Sciences/Ministry of Education Key Laboratory of Horticulture Plant Biology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China ;
3.Institute of Citrus, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China

Abstract To provide a scientific basis for revealing the differences in metabolites related to flavor quality and improving fruit quality, Liangping pummelo fruits under normal cultivation management and no cultivation management were used to compare and analyze their spectrum of volatile substance and main bitter substances in the fruit with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and high-performance liquid chromatography (HPLC). The results showed that the total monoterpenoids, total sesquiterpenoids, total non-terpenoids and total volatile compounds in Liangping pummelo fruit under no cultivation management were significantly reduced compared with those in the fruits under normal cultivation management. However, the composition and content percentage of the main volatile compounds remained stable. The content of naringin was significantly increased in the flavedo, albedo, segment membrane and juice sacs of fruits under no cultivation management. The contents of limonin and nomilin were also significantly higher in albedo, segment membrane and juice sacs of fruits under no cultivation management. It is indicated that no cultivation management result in a decrease of the aroma and an increase of bitterness in the fruit of Liangping pomelo. The quality of fresh food was greatly reduced, and consumer acceptance was low. The economic benefits and land output values of orchard under no cultivation management caused by continuing rural-urban migration of middle-aged labor force can be improved to some extent through the help from popular health propaganda of bitter compounds.

Keywords Liangping pummelo; fruit; volatiles; bitter compounds; orchard without cultivation management

(责任编辑:张志钰)