

HS-SPME-GC-MS对不同品种大樱桃果实香气成分分析

周一帆¹, 郭志刚¹, 马新院², 谭维军³, 陶淑芸⁴, 韩松凌¹

(1.天水师范大学生物工程与技术学院, 甘肃 天水 741000; 2.新疆农业大学园艺学院特色果树研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830052; 3.天水市果树研究所, 甘肃 天水 741000; 4.天水市麦积区林业和草原局, 甘肃 天水 741001)

摘要: 探讨天水地区大樱桃香气成分差异, 为甜樱桃优良品种的香味遗传育种、香气合成代谢、分子生物学研究方面提供理论依据。以天水地区主栽的7个大樱桃品种为试材, 使用顶空固相微萃取气相色谱质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)鉴定果实中存在的香气物质, 应用TIC峰面积归一法测定了各成分的相对含量。结果表明, 7个大樱桃品种中共检出77种香气物质, 其中布鲁克斯有24种、含香有25种、美早有16种、萨米脱有26种、拉宾斯有35种、斯坦勒有14种、红灯有12种。7个大樱桃品种果实香气物质含量各有差异, 其中红灯醇类物质含量最高, 为432.4g/kg; 斯坦勒酯类物质含量最高, 为2.26%; 含香醛类物质含量最高, 为488.8g/kg; 布鲁克斯酮类物质含量最高, 为68.8g/kg; 其他类物质拉宾斯含量最高, 为255.8g/kg。7个大樱桃共有的物质为苯甲醛, 被认定为关键香气成分; 特有香气物质拉宾斯11种、布鲁克斯10种、萨米脱9种、含香7种、斯坦勒3种、美早2种。

关键词: 大樱桃; HS-SPME-GC-MS; 香气成分; 品种

中图分类号: S662.5

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2026)03-0245-10

[doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2026.03.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-2172.2026.03.009)

樱桃 (*Prunus avium* L.) 为蔷薇科李属樱桃花亚属植物, 起源于欧洲黑海沿岸和亚洲西部。其外形美观、口感甘甜。且成熟期早, 被誉为“早春第一果”^[1-2]。天水市地处甘肃省东南部, 属大陆性暖温带半湿润气候, 光照充足, 雨量适中, 果实成熟期昼夜温差大, 拥有得天独厚的自然条件, 适合优质大樱桃的生长。大樱桃产业是天水地区近年来培育和发展起来的新型特色果品产业之一, 在促进农业产业结构转型升级和推动农村经济发展等方面起到了积极的作用。近年来, 大樱桃年产值超8亿元, 已成为天水市继“花牛苹果”后的第二大水果产业, 也是当地乡村振兴中产业振兴的首选树种^[3]。

香气是果实的重要品质指标, 直接影响消费者喜好^[4], 果实香气是由多种挥发性物质构成, 因水果种类而异。目前已从不同果实中鉴定出

2000种挥发性物质, 主要包括醇类、酯类、醛类、萜烯类、酮类及含硫化合物等^[5], 这些挥发性代谢物在果实成熟过程中逐渐形成, 并赋予不同水果不同品种特有的香气特征^[6]。有研究证明, 3个甜樱桃品种(红灯、红岩、雷尼尔)主要的挥发性化合物是苯甲醇、香叶醇和2-苯乙醇, 这些挥发物以糖苷形式存在, 是香气化合物的重要潜在来源^[7]。孙天雨等^[8]研究发现, 外源喷施5-ALA有助于提高库尔勒香梨香气及果实品质。闫兴凯等^[9]研究表明, 苹果梨及其后代品种果实中共检测到香气组分32种, 酯、烯类是主要香气组分和香气产生差异的重要贡献者。有学者指出, 将冷藏的美早和拉宾斯用不同浓度水杨酸甲酯(MeSA)进行处理, 发现MeSA可以增加采后樱桃中酯类香气化合物, 延缓酒精、醛类、酮类和萜类香气化合物的流失, 有效提高樱桃果实在

收稿日期: 2025-09-19; 修订日期: 2025-12-05

基金项目: 天水市秦州区科技重大专项计划项目(2023-NCJKG-8373); 中央引导地方科技发展资金项目(25ZYJE001); 甘肃省重点研发计划—农业领域(24YFNE002); 甘肃省科技计划—乡村振兴专项(24CXNE002); 2026年现代寒旱特色农业科技支撑项目(KJZC-2026-18)。

作者简介: 周一帆(1999—), 女, 甘肃天水人, 硕士, 研究方向为果树果实品质调控与逆境生理。Email:3142754263@qq.com。

通信作者: 郭志刚(1982—), 男, 甘肃天水人, 研究员, 博士, 硕导, 研究方向为果树果实品质调控与逆境生理。Email:3148123508@qq.com。

冷藏过程中的品质,抑制香气损失^[10]。除外源物质影响外,不同产区也是影响果实香气的主要因素。邱爽等^[11]研究了西北地区(青海省、陕西省)、西南地区(四川省)、华北地区(山西省)、华东地区(山东省)五个不同生态条件地区的红灯樱桃香气组分,发现不同产地红灯樱桃香气物质在种类和含量上都有一定的差异,说明环境对水果香气有一定的影响。ZHANG等^[12]研究表明,不同地区的翠冠梨挥发性存在较大差异,表明梨香气在很大程度上受产地的影响。秦欢^[13]研究结果表明,川渝地区阳光玫瑰果实香气成分具有一定差异,但均以单萜类物质为主;对比发现,西昌地区果实香气成分最丰富,永川地区和南岸地区较多,而渝北地区最少。

由此可见,樱桃香气的研究多集中于外源物质、贮藏期及不同产区等方面对其影响,目前天水地区不同栽培品种樱桃香气成分鲜有报道。因此,本研究以天水地区主栽的7种大樱桃为试材,通过HS-SPME-GC-MS对大樱桃果实香气成分进行分析,探讨其香气成分差异,为“甘味”农产品及我国樱桃种植业的发展提供科学支持和数据支撑,同时可为甜樱桃优良新品种的香味遗传育种、合成代谢及分子生物学研究提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料及试验地概况

供试甜樱桃品种均来源于甘肃省天水市秦州区玉泉镇杨河村果之道家庭农场,分别为布鲁克斯^[14]、斯坦勒^[15]、美早^[16]、含香^[17]、萨米脱^[18]、红灯^[19]、拉宾斯^[20]。试验果园土壤为黄绵土,当地海拔1 350 m,年均气温10.7℃,年最高气温38℃左右,最低气温-19℃,无霜期170 d左右,年降水量530 mm,其中7—10月降水量占年降水量的70%左右,春旱比较明显。该地区耕层(0~20 cm)土壤含有有机质15.80 g/kg、全氮1.43 g/kg、全磷1.25 g/kg、全钾34.06 g/kg、碱解氮135.80 mg/kg、速效磷54.83 g/kg、速效钾388.00 g/kg, pH 8.17^[21]。树龄均为4年生,水肥管理按当地常规方式(基肥施商品有机肥25.00 kg/株、复合肥2.50 kg/株,花前、果实膨大期各冲施水溶肥0.15 kg/株)进行。春季开花前修剪枝条,采果后修剪管理。株行距4 m×5 m,砧木为考特。

1.2 采样方法

选取生长状况良好且发育时期相同的甜樱桃果树,对2022年各品种果实成熟时期进行采样,采样时间为8:00—10:00时,采取花期一致的果实,每个品种选择3棵果树进行采样,按照东、南、西、北方位,采摘大小一致、无病虫害和无机械损伤的果实30个,设置3次生物学重复。采收后,液氮速冻带回实验室进行香气测定。

1.3 试验方法

采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)测定香气物质含量。取样前先将固相微萃取头在气相色谱进样口老化2 h,老化温度250℃。选取成熟的甜樱桃果实50 g,快速去皮、去核,用刀片切碎果肉,迅速将其装入15 mL样品瓶内,上部留有2 cm左右的空间,加盖封口。将老化好的萃取头插入样品瓶顶空部分,在磁力搅拌器上萃取40 min,萃取温度为40℃,然后将萃取头抽出插入气质联用仪,于250℃解吸2.5 min,进行GC-MS检测分析。

色谱条件:DB-5毛细管色谱柱,长50 m。内径0.32 mm,液膜厚1.0 μm,载气He,不分流,恒流1 mL/min,进样口温度250℃,接口温度250℃,柱温起始温度40℃保持1 min,以5℃/min升温至120℃,再以8℃/min升温至200℃,最后以12℃/min升温至250℃保持7 min。质谱条件:离子源温度200℃,电离方式EI,电子能量70 e。

基于NIST14.L标准谱库中匹配的质谱数据,仅报道正反匹配度均大于80的结果。

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2019进行数据整理,采用Graph Pad Prism 9进行多组柱状图绘制。使用R 4.5.1中的“stats”程辑包进行主成分分析,使用“ggplot2”程辑包进行主成分双标图绘制。

2 结果与分析

气相色谱-质谱联用技术检测得到7种大樱桃果实芳香成分TIC图,各组分质谱经计算机谱库(NBS/WILEY)检索及资料分析,确认其芳香物质成分,运用峰面积归一化法求得各成分相对含量。

2.1 不同品种大樱桃各类成分的差异

从7个大樱桃品种中共检测到13种醇类, 其中拉宾斯检测到7种醇类物质, 红灯检测到4种, 含香检测到3种, 美早检测到2种, 斯坦勒检测到1种, 布鲁克斯检测到4种, 萨米脱检测到6种。从图1可知, 醇类物质在红灯中的含量最高, 为432.4 g/kg; 斯坦勒、美早、拉宾斯、萨米脱次之, 含香最低, 为7.3 g/kg。酯类物质检出12种, 包括苯甲酸乙酯、乙酸异戊酯、月桂酸乙酯、丁二酸二乙酯、癸酸乙酯等, 其中拉宾斯检测到6种, 红灯0种, 含香4种, 美早5种, 斯坦勒6种, 布鲁克斯3种, 萨米脱2种。含香、美早、斯坦勒中的酯类物质含量均大于其他品种, 分别为21.4、22.1、22.6 g/kg。醛类检测到7种, 其中含香检测出的醛类物质最多, 共检测到5种, 分别是苯甲醛、苯乙醛、反式-2-己烯醛、2-甲基苯甲醛、反-2-, 顺-6-壬二烯醛; 布鲁克斯共检测到3种, 美早和斯坦勒1种, 为苯甲

醛。含香、美早、斯坦勒中的醛类物质均高于其他品种, 分别为478.8、429.1、466.8 g/kg。萨米脱的醛类物质含量最低, 为28.6 g/kg。酮类物质检出8种, 其中布鲁克斯4种, 美早1种。红灯3种, 含香、萨米脱及拉宾斯未检出酮类物质。布鲁克斯、红灯酮类物质的含量较高, 分别为68.8、36.7 g/kg。其他类物质检测到41种, 其中拉宾斯检测到21种, 相对含量最高的是乙酸, 为101.7 g/kg; 其次是萨米脱和含香, 分别检测到17种和13种, 相对含量较高的分别是甲苯和乙酸; 布鲁克斯检测到9种, 美早检测到7种, 红灯检测到4种, 斯坦勒检测到6种。拉宾斯中的其他类物质含量最高, 为255.8 g/kg, 美早和斯坦勒中其他类物质含量最低, 均为36.6 g/kg。

2.2 不同品种大樱桃香气物质的 venn 图分析

由图2A和图2B可知, 7个大樱桃品种中共检出77种香气物质, 其中布鲁克斯有24种, 含香有25种, 美早有16种, 萨米脱有26种, 拉宾斯有35

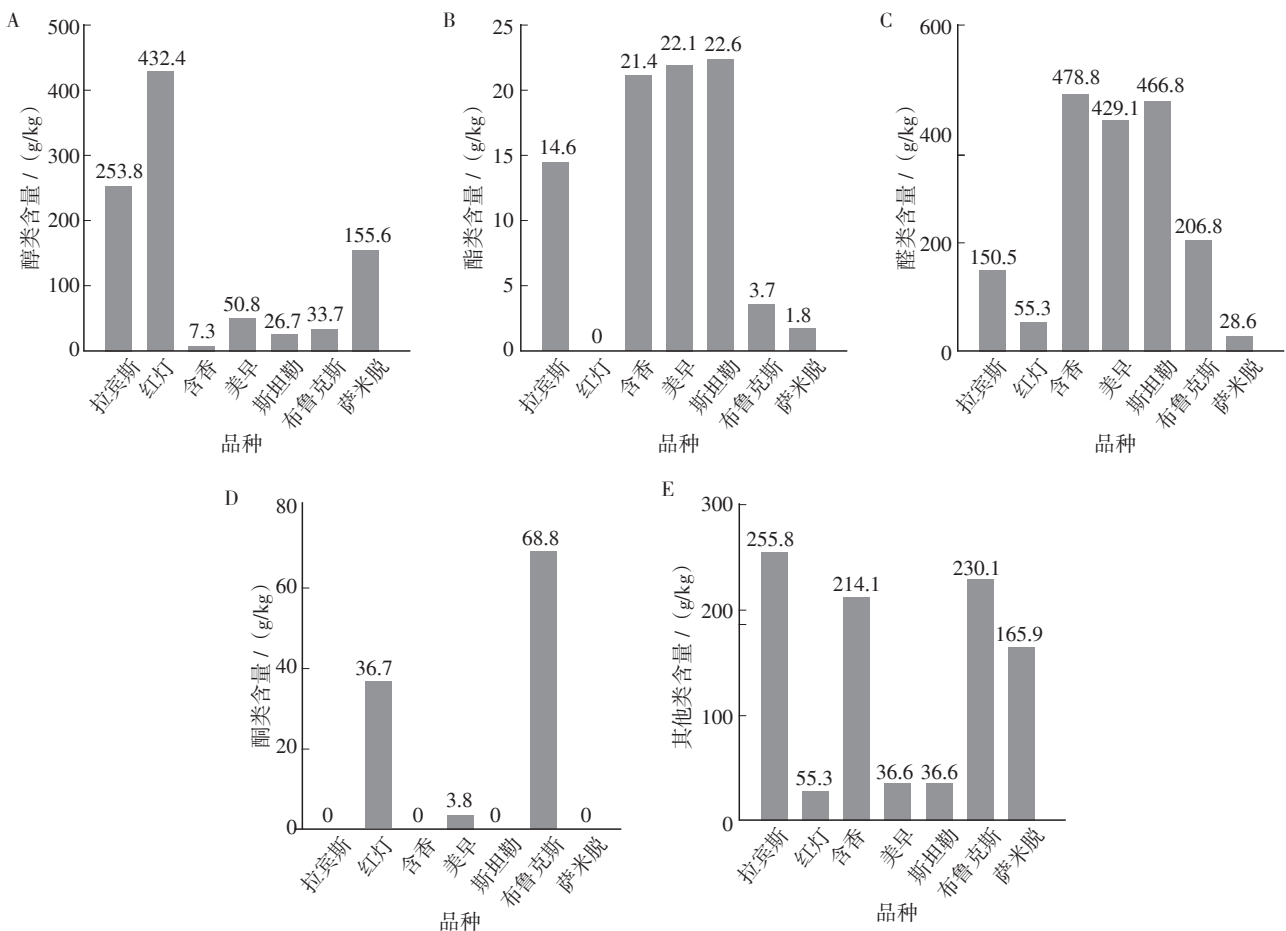


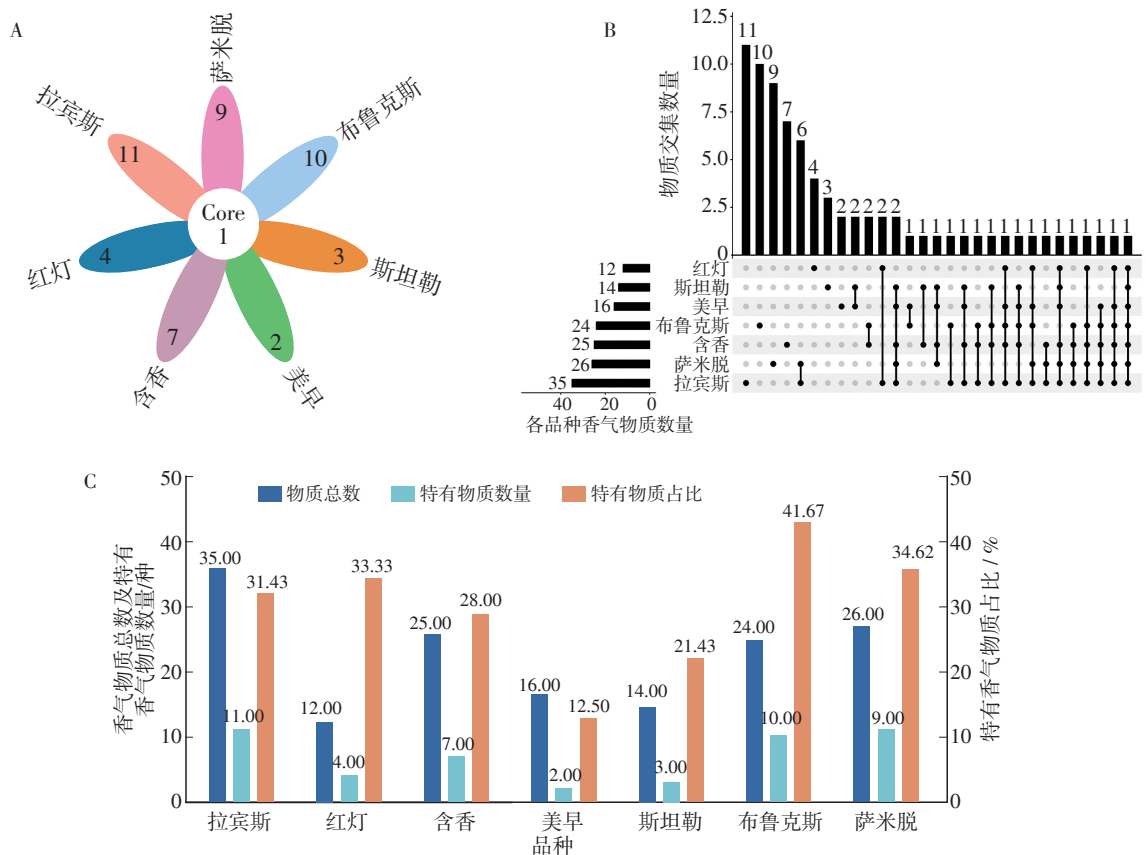
图1 不同品种大樱桃香气物质物质含量

种，斯坦勒有19种，红灯有12种。7个品种共有1种香气物质，为苯甲醛。拉宾斯特有香气物质有11种，包含正己醇、乙酸苯甲酯等。布鲁克斯特有香气物质有10种，包含3-羟基-2-丁酮、2H-吡喃-2, 6(3H)-二酮、2, 5-呋喃二甲醛和9反-十八碳烯酸乙酯等。萨米脱特有香气物质有9种，包含(R)-(+)-1-苯基乙醇、alpha-松油醇等。含香特有香气物质有7种，包含反式-2-己烯醛、苯乙醛、2-甲基苯甲醛等。红灯特有香气物质有4种，包含2-庚酮、仲辛酮等。斯坦勒特有香气物质有3种，美早仅有2种。由图3C可知，拉宾斯、红灯、含香、美早、斯坦勒、布鲁克斯、萨米脱特有香气物质占比分别为31.43%、33.33%、28.00%、12.50%、21.43%、41.67%、34.62%。

2.3 不同大樱桃品种果实香气物质含量

利用R 4.5.1绘制热图(图4)可以直观地比较7种大樱桃品种特有香气物质及1种共有香气组分含量的变化。由图3可知，苯甲醛是7个品种所共

有的物质，其中含香、斯坦勒、美早含量较高，分别为464.2、466.8、422.1 g/kg。拉宾斯、布鲁克斯含量次之，萨米脱、红灯含量较低。拉宾斯中存在11种特有的香气物质，其中正己醇、2, 3-二甲酚、乙酸苯甲酯、α-铜烯含量较高，分别为7.0、2.4、4.7、2.1 g/kg。布鲁克斯中存在10种特有的香气物质，其中3-羟基-2-丁酮、5-羟甲基糖醛含量较高，分别为48.4、19.5 g/kg。萨米脱中存在9种特有的香气物质，其中2, 4, 5-三甲基-1, 3-二氧戊环、4-乙基苯酚、对叔丁基邻苯二酚含量较高，分别为21.4、8.3、8.5 g/kg。含香中存在7中特有的香气物质，其中反式-2-己烯醛、2-正戊基呋喃、反-2-, 顺-6-壬二烯醛含量较高，分别为4.8、7.9、5.6 g/kg。红灯中存在4种特有的香气物质，其中2-庚酮、仲辛酮含量较高，分别为15.5、18.8 g/kg。斯坦勒中存在3种特有的香气物质，其中苜醇含量较高，为26.7 g/kg。美早中存在2种特有的香气物质，其中2-壬酮含量较高，为



A为花瓣图，不同颜色代表不同集合，核心(core)代表所有集合的交集；B为upset图；C为香气物质及特有香气物质柱状图。

图2 不同品种大樱桃香气物质的venn图分析

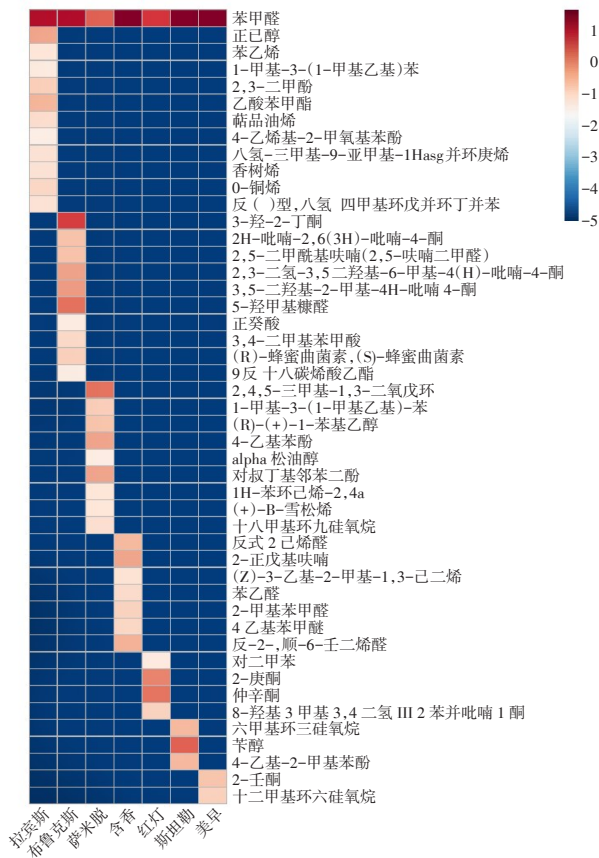


图3 7个大樱桃品种果实香气物质含量变化热图

3.8 g/kg。由此可见, 不同樱桃品种中存在不同优势形的香气物质。

2.4 不同品种大樱桃香气物质的主成分分析

主成分分析作为一种统计方法, 能够直观呈现样本成分间的关联。具体而言, 不同样品的距离越远, 意味着它们的风味差异越突出; 而当样品的分布区域与某种挥发性风味物质的分布越贴近时, 则表明该物质对样品风味的贡献程度越高。

由图4可知, 不同大樱桃品种的香气成分分布在不同的象限内, 表明它们在香气成分上存在一定的差异性。含香、美早、斯坦勒分布在第一象限且距离较近, 说明这三个品种之间的相似度较高, 箭头指向说明了这3个品种中存在的香气物质。图中PC1解释了数据方差的27.45%, PC2解释了20.58%, 两者共同解释了数据方差的48.03%, 说明这两个主成分能够较好地反映数据的主要特征。

对7种不同品种果实的香气物质进行主成分分析(PCA)。根据特征值大于1, 筛选出5个有效主

成分因子PC, 对应的方差贡献率依次为27.45%、20.58%、19.20%、15.04%、12.18%, 这些主成分累计方差贡献率达94.43%, 因此将5个主成分可作为评估不同品种果实香气成分分析的综合指标(表1)。

采用5种主成分PC(累计贡献率94.43%)及其对应的特征值占总特征值的比值作为权重, 构建综合评价模型。PC1贡献率较大的为甲苯、(-)-4-萜品醇、2,5-二甲基苯酚、甲基丁香酚、壬酸乙酯; PC2中3-羟基-2-丁酮、5-羟甲基糠醛、9反-十八碳烯酸乙酯、正癸酸等贡献率较高; PC3中以1,2-二甲氧基-4-乙基苯、苯酚、苯甲酸乙酯等为主; PC4中贡献率较大的为对二甲苯、仲辛酮、2-庚醇、苯甲醇等; PC5中贡献率较大的为愈创木酚、癸酸乙酯、丁二酸二乙酯、月桂酸乙酯等。说明影响不同品种樱桃香气的主要物质分别为醇类、酚类、醛类以及酯类。

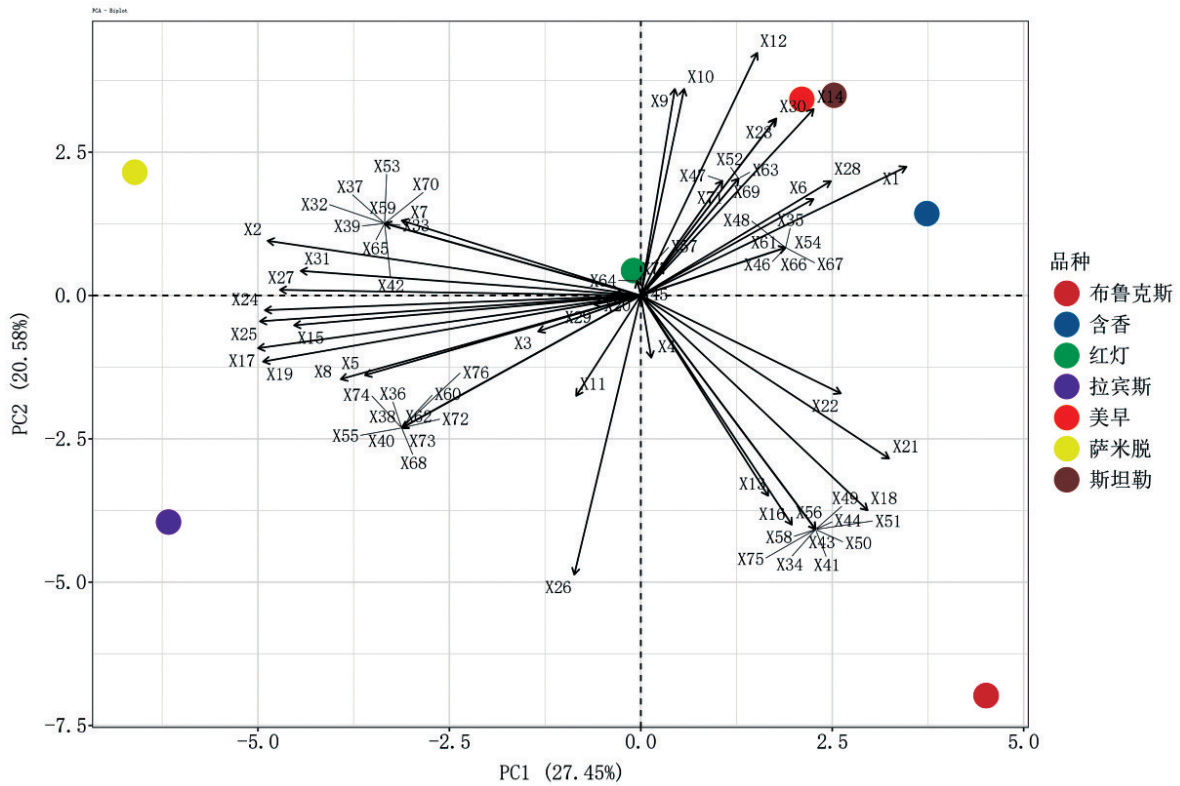
计算PC综合模型: 综合得分=PC1×0.274+PC2×0.206+PC3×0.192+PC4×0.150+PC5×0.122。基于该模型, 计算获得不同品种香气物质含量的综合得分及其排名(表2), 得分越高代表香气物质含量越多。由表2可知, 在7个品种中斯坦勒综合

表1 PC的特征值、贡献率及累计贡献率

PC	特征值	贡献率 %	累计贡献率 %
PC1	21.13	27.45	27.45
PC2	15.85	20.58	48.03
PC3	14.78	19.20	67.22
PC4	11.58	15.04	82.26
PC5	9.38	12.18	94.43

表2 综合评价得分

品种	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	综合得分	排名
斯坦勒	2.523	3.493	1.229	0.566	2.849	2.079	1
美早	2.103	3.424	0.495	0.631	3.435	1.890	2
含香	3.735	1.429	3.445	-3.621	-4.735	0.859	3
红灯	-0.094	0.435	-2.505	6.371	-3.355	0.132	4
布鲁克斯	4.510	-6.979	-3.361	-1.360	1.303	-0.889	5
拉宾斯	-6.168	-3.952	5.698	0.927	0.897	-1.164	6
萨米脱	-6.609	2.150	-5.002	-3.514	-0.395	-2.908	7



X1为苯甲醛; X2为甲苯; X3为愈创木酚; X4为苯酚; X5为苯甲醇; X6为苯甲酸乙酯; X7为苯乙醇; X8为芳樟醇; X9为癸酸乙酯; X10为十甲基环五硅氧烷; X11为1,2-二甲氧基-4-乙基苯; X12为八甲基环四硅氧烷; X13为壬酸; X14为辛酸乙酯; X15为4-乙基-2-甲氧基苯酚; X16为乙酸; X17为(-)-4-萜品醇; X18为2,3-丁二醇; X19为2,5-二甲基苯酚; X20为2-庚醇; X21为4,5-二甲基-2-苯基-1,3-二氧杂环烷; X22为苯甲酸, X23为丁二酸二乙酯; X24为甲基丁香酚; X25为壬酸乙酯; X26为十六酸乙酯; X27为雪松烯; X28为乙酸异戊酯; X29为异戊醇; X30为月桂酸乙酯; X31为正十六烷; X32为(+)-B-雪松烯; X33为(R)-(+)-1-苯基乙醇; X34为(R)-蜂蜜曲菌素以及(S)-蜂蜜曲菌素; X35为(Z)-3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯; X36为1H-苯并环庚烯, 2,4a, 5,6,7,8,9,9a-八氢-3,5,5-三甲基-9-亚甲基-(4aS, 9aR)-; X37为1H-苯并环己烯-2,4a, 1; X38为1-甲基-3-(1-甲基乙基)苯; X39为1-甲基-3-(1-甲基乙基)-苯; X40为2,3-二甲酚; X41为2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4(H)-吡喃-4-酮; X42为2,4,5-三甲基-1,3-二氧戊环; X43为2,5-二甲酰基咪唑(2,5-咪唑二甲醛); X44为2H-吡喃-2,6(3H)-二酮; X45为2-庚酮; X46为2-甲基苯甲醛; X47为2-壬酮; X48为2-正戊基咪唑; X49为3,4-二甲基苯甲酸; X50为3,5-二羟基-2-甲基-4H-吡喃-4-酮; X51为3-羟基-2-丁酮; X52为4-乙基-2-甲基苯酚; X53为4-乙基苯酚; X54为4-乙基苯甲醚; X55为4-乙基-2-甲氧基苯酚; X56为5-羟甲基糠醛; X57为8-羟基-3-甲基-3,4-二氢-1H-2-苯并吡喃-1-酮; X58为9反-十八碳烯酸乙酯; X59为alpha-松油醇; X60为α-铜烯; X61为苯乙醛; X62为苯乙烯; X63为苜蓿醇; X64为对二甲苯; X65为对叔丁基邻苯二酚; X66为反-2-,顺-6-壬二烯醛; X67为反式-2-己烯醛; X68为环戊并[1,4]环丁并[1,2]苯, 1, 2, 3, 3a, 4, 4a, 7, 8-八氢-1, 4, 4, 6-四甲基-(1R, 3aS, 4aS, 8aS)-反-(-)型; X69为六甲基环三硅氧烷; X70为十八甲基环九硅氧烷; X71为十二甲基环六硅氧烷; X72为萜品油烯; X73为香树烯; X74为乙酸苯甲酯; X75为正癸酸; X76为仲辛酮。

图4 7个大樱桃品种主成分双标分析

评价得分最高, 得分为2.079, 其次是美早, 得分为1.890。萨米脱综合评价得分最低, 为-2.908。

3 讨论与结论

甜樱桃的香气是衡量其商品品质与食用价值的核心指标, 这一品质特征源于果实、花及叶片中100余种挥发性有机成分的协同作用, 这些成分以醛类、醇类、酯类为主要构成, 其中果实香气的组分差异更是品种品质分化的关键标志^[22]。这

一结论在众多前人研究中得到系统性支撑, 形成了甜樱桃香气研究的核心认知框架, 本研究也正是基于这一基础展开区域特色品种的针对性分析。关于甜樱桃香气的早期研究中, Schmid等^[23]于1986年开创性地报道了苯甲醛、(E)-2-己烯醛和己醛对樱桃果味特征的决定性贡献^[23], 为后续香气核心组分的鉴定确立了方向。此后Mattheis等^[24]以主栽品种‘Bing’为研究对象, 检测到28种香

气化合物, 其结果明确印证了Schmid等提出的核心醛类物质——苯甲醛与己醛在该品种中仍呈高含量分布, 进一步夯实了醛类物质的核心地位。在针对中国主栽品种的研究中, 张序等^[25]聚焦甜樱桃品种红灯的全发育周期, 共检测到37种芳香成分, 其组分分析显示醛类、醇类和酯类为主要类别, 其中己醛、(E)-2-己烯醛、(E)-2-己烯醇等物质的高检出率, 不仅与Schmid等^[23]、Mattheis等^[24]的研究结论高度契合, 更补充了醇类物质在品种香气形成中的重要作用。Sun等^[26]进一步扩大品种覆盖范围, 对拉宾斯、雷尼尔等5个主栽品种的分析中鉴定出52种挥发性化合物, 其研究结果再次验证了己醛、(E)-2-己烯醛、1-己醇等醛醇类物质在不同品种中的共性存在, 明确了这类物质作为甜樱桃香气“共有核心组分”的科学依据。从检测技术与组分分类的视角来看, Magri等^[27]采用HS-SPME-GC-MS对4个意大利品种的分析, 鉴定出34种挥发性化合物并细化为醛类(8种)、醇类(14种)等类别, 其醛醇类物质占比超60%的结果, 与Liu等^[28]对3种樱桃果实27种风味化合物的分析结论(醇类10种、醛类7种, 合计占比63%)形成跨区域、跨品种的呼应, 共同证实了醛、醇类物质在甜樱桃香气构成中的主导作用。本研究以天水地区7个主栽大樱桃品种为研究对象, 共检测到77种芳香化合物, 这一数量显著高于Mattheis等^[24](28种)、张序等^[25](37种)、Sun等^[26](52种)等前人在单一或少数品种中的报道。从组分构成来看, 本研究检出的醛类、醇类物质进一步验证了上述共同指向的“醛醇类为核心”的结论, 同时丰富了酯类、酮类等次要组分的种类, 体现出天水地区甜樱桃香气物质的独特丰富性。这种香气物质数量与组分的差异, 一方面与天水地区独特的大陆性季风气候(昼夜温差大、光照充足)对挥发性物质合成代谢的调控有关; 另一方面, 相较于前人研究多聚焦3~5个品种的局限性, 本研究覆盖区域内主要栽培品种的研究设计, 更全面地反映了天水大樱桃的群体香气特征, 这不仅是对现有甜樱桃香气研究体系的区域化补充, 更为阐明天水大樱桃“香气浓郁”的特色品质形成机制奠定了理论基础。

不同类别香气物质的研究结论在跨区域、跨

品种中呈现出共性与特异性。在芳香醇类物质的特异性方面, Cui等^[29]针对京欧系列大樱桃的研究明确指出, 苯甲醇和苯乙醇是该系列品种的主要芳香醇化合物; 而本研究中拉宾斯和红灯的苯甲醇含量分别为183.2、178.0 g/kg, 同样是品种内的主要芳香醇成分, 这一结果与Cui等^[29]的研究形成直接呼应, 印证了苯甲醇作为甜樱桃重要芳香醇的品种普适性。酯类化合物作为果实香气关键组分的认知已得到广泛证实^[30-31], Ye等^[32]在对矮樱桃 [*Cerasus humilis* (Bge.) Sok.] 的研究中, 发现乙酸乙酯、丁酸乙酯等酯类化合物在香气成分中占比优势, 本研究在各品种中均检出酯类物质且为香气组成的重要补充, 与Ye等^[32]揭示的酯类物质香气贡献作用形成跨物种的共性结论, 进一步夯实了酯类在核果类果实香气中的核心地位。在醛类物质的核心作用上, Nunes等^[33]对欧洲甜樱桃的分析显示, 醛类物质在香气成分中占比高达65.80%, 凸显其主导作用; 本研究中7个天水樱桃品种均检测到醛类物质, 且苯甲醛为所有品种的共有成分, 其中斯坦勒、含香、美早的苯甲醛含量分别达466.8、464.2、429.1 g/kg, 这一结果不仅与NUNES等^[33]强调的醛类主导地位高度一致, 更明确了苯甲醛作为天水地区甜樱桃共性核心香气成分的区域特征, 是对欧洲甜樱桃醛类研究结论的区域化验证与细化。酮类物质虽在果实香气中占比通常较低, 但其独特风味贡献已被诸多研究证实: 酮类可为食物提供差异化风味^[34], 且3, 4-二甲基-1, 2-环戊二酮等特定酮类能显著增强樱桃的甜味特征^[35], 本试验在红灯、美早、布鲁克斯3个品种中检测到酮类物质, 其中布鲁克斯的3-羟基-2-丁酮含量达48.4 g/kg, 其他品种虽然酮类含量偏低, 但结合Berna等^[36]提出的“酮类低含量仍具独特香气贡献”的结论可知, 这类物质仍是天水樱桃品种风味分化的重要辅助因子, 与前人对酮类香气功能的认知一致。在酸类、烷烃类等其他类物质中, 本试验的检出结果同样与相关研究形成多元关联。Yeh等^[37]在香草豆荚样品中鉴定出苯酚、2-戊基呋喃、愈创木酚等为主要成分, 而本研究在水果樱桃中也检测到这三类物质, 其中2-正戊基呋喃仅专属含香品种, 愈创木酚除斯坦勒外均有分布, 苯酚则在5个品种中检

出,体现了这类物质在不同品种香气中的广泛存在性,但在萜类化合物上存在明显差异。Chen等^[38]从7个樱桃品种中检出萜类化合物含量高达212.1 g/kg,而本试验仅在拉宾斯中检测到萜类,占比仅0.14%。结合前文提及的天水地区生态特征推测,这种差异可能与试验地的气候条件、土壤状况、水肥管理等环境及栽培因素相关,是本研究基于区域特色形成的差异化发现,也为甜樱桃萜类物质合成的环境调控研究提供了新视角。

苯甲醛是一类具有芳香环的醛类,具有甜杏仁的气味,在食品成分中起着至关重要的作用^[39]。

Gonçalves等^[40]及Legua等^[41]研究表明,苯甲醛是西班牙甜樱桃中含量最多的挥发物,因而苯甲醛被认为是甜樱桃绿色和草香味的主要贡献者。也有研究证明^[42],在红灯甜樱桃果实的发育成熟进程中,苯甲醛及其衍生物苯甲醇的含量会随果实成熟持续上升,并在成熟期达到较高水平,此时甜樱桃果实风味达到最佳状态,进一步证实了苯甲醛是甜樱桃的特征性香气成分。本研究结果表明,7个大樱桃共有的物质为苯甲醛,被认定为关键香气成分,该结论与以上结果一致。

樱桃果实香气物质的多样性是遗传、环境、砧木及代谢调控共同作用的结果。深入解析这些差异的分子机制,不仅有助于揭示甜樱桃风味形成的生物学基础,更为品种改良、栽培优化及产品开发提供科学依据。未来研究需在多组学整合、基因功能验证及环境互作机制等方向持续突破,可更全面地揭示樱桃香气品质的形成机制,为品种改良和栽培管理提供科学依据。

本研究分析了天水7个主栽大樱桃品种果实香气特征,香气物质丰富且品种差异显著,7个品种共检出77种香气物质,其中拉宾斯检出最多(35种),红灯最少(12种),表明天水地区主栽大樱桃香气组成的多样性。苯甲醛为7个品种共有成分,是区域大樱桃关键香气物质;特有成分呈品种特异性,拉宾斯(11种)、布鲁克斯(10种)特有种类最多,是品种风味辨识度的核心来源。各品种香气物质含量各具优势(红灯醇类最高,为432.4 g/kg;含香醛类最高,为488.8 g/kg;斯坦勒酯类最高,为22.6 g/kg;布鲁克斯酮类最

高,为68.8 g/kg;拉宾斯其他类物质最高,为255.8 g/kg),体现了不同品种在香气代谢路径上的偏向性。通过明确的品种香气特征,为甜樱桃高风味育种提供了材料依据,也为香气代谢机制及功能基因挖掘研究奠定了基础。

参考文献:

- [1] 程亮,杨瑞斌,谢俊贤,等.影响天水市甜樱桃种植区划的关键因子分析[J].寒旱农业科学,2023,2(03):279-283.
- [2] 田竹希,龙明秀,李咏富,等.玛瑙红樱桃果实不同发育阶段香气成分分析[J].食品工业科技,2022,43(7):333-342.
- [3] 王兆丰,马勇啸,强睿斌,等.我国大樱桃深加工开发利用研究[J].寒旱农业科学,2023,2(10):900-908.
- [4] LYTOU A E, PANAGOU E Z, NYCHAS G J E. Volatiles for food quality and authentication [J]. Current Opinion in Food Science, 2019, 28: 88-95.
- [5] 张上隆,陈昆松.果实品质形成与调控的分子生理[M].北京:中国农业出版社,2007.
- [6] EL HADI M A M, ZHANG F J, WU F F, et al. Advances in fruit aroma volatile research [J]. Molecules, 2013, 18(7): 8200-8229.
- [7] WEN Y Q, HE F, ZHU B Q, et al. Free and glycosidically bound aroma compounds in cherry (*Prunus avium* L.) [J]. Food chemistry, 2014, 152: 29-36.
- [8] 孙天雨,文 博,王春峰,等.5-氨基乙酰丙酸对库尔勒香梨果实品质和挥发性代谢物的影响[J].食品科学,2024,45(23):2308-2317.
- [9] 闫兴凯,赵 滢,卢明艳,等.苹果梨及其后代果实香气成分的GC-MS分析[J].经济林研究,2022,40(3):142-150.
- [10] MEI J, LI X, YOU Y, et al. Methyl salicylate affects fruit quality and aroma compounds of cherry during cold storage[J]. Scientia Horticulturae, 2024, 333: 113291.
- [11] 邱爽,刘畅,谢美林,等.不同产区‘红灯’樱桃香气成分与产地生态因子相关性分析[J].食品工业科技,2021,42(11):240-247.
- [12] ZHANG M Q, BAI B, CHEN L, et al. Comparative analysis of the quality in ripe fruits of Cuiguan pear from different regions[J]. Molecules, 2023, 28(4): 1733.
- [13] 秦欢.川渝地区‘阳光玫瑰’果实主要香气成分分析及部分品质与气候因子相关性研究[D].重庆:西南大学,2019.

- [14] 张露荷, 杨柳, 黄华梨. 樱桃[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2023.
- [15] 赵艳华, 吴雅琴, 程和禾, 等. 一种培育自花结实樱桃新种质的方法, CN102742504B [P/OL]. 2014-08-13.
- [16] 孙玉刚, 张福兴. 樱桃生产技术百问百答[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [17] 张殿高, 张红. 我国甜樱桃品种的更新换代与升级发展[J]. 果树实用技术与信息, 2020 (2): 42-47.
- [18] 张福兴, 孙庆田, 姜学玲, 等. 甜樱桃优良品种“萨米脱”[J]. 北京农业, 2007 (22): 34.
- [19] 潘凤荣, 关海春, 郝瑞敏, 等. 大樱桃新品种简介[J]. 北方果树, 1999 (5): 30-31.
- [20] 李宝, 许雪峰. 果树良种与栽培要点[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [21] 魏佳峰, 马新院, 张瑞萍. 硅肥不同施用量对苹果生长发育及果实品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2024, 65 (8): 1814-1820.
- [22] 郝帅棋, 郭青云, 李霖灏, 等. 青海地区6个甜樱桃品种果实发育过程中香气物质的动态变化[J]. 果树学报, 2025, 42 (4): 815-827.
- [23] SCHMID W, GROSCH W. Identifizierung flüchtiger Aromastoffe mit hohen Aromawerten in Sauerkirschen (*Prunus cerasus* L.)[J]. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1986, 182 (5): 407-412.
- [24] MATTHEIS J, BUCHANAN D, FELLMAN J. Identification of headspace volatile compounds from ‘Bing’ sweet cherry fruit [J]. Phytochemistry, 1992, 31 (3): 775-777.
- [25] 张序, 姜远茂, 彭福田, 等. ‘红灯’甜樱桃果实发育进程中香气成分的组成及其变化[J]. 中国农业科学, 2007 (6): 1222-1228.
- [26] SUN S Y, JIANG W G, ZHAO Y P. Characterization of the aroma-active compounds in five sweet cherry cultivars grown in Yantai (China) [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2010, 25 (4): 206-213.
- [27] MAGRI A, MALORNI L, COZZOLINO R, et al. Agromomic, physicochemical, aromatic and sensory characterization of four sweet cherry accessions of the Campania region [J]. Plants, 2023, 12 (3): 610.
- [28] LIU B X, YANG Y, REN L K, et al. HS-GC-IMS and PCA to characterize the volatile flavor compounds in three sweet cherry cultivars and their wines in China [J]. Molecules, 2022, 27 (24): 9056.
- [29] CUI Q Y, YE L Q, GUO C G, et al. Assessing volatiles in three chinese dwarf cherry cultivars during veraison and maturation using headspace-solid phase microextraction with gas chromatography - mass spectrometry [J]. ACS Omega, 2020, 5 (49): 31744-31752.
- [30] PÉREZ A G, SANZ C, OLÍAS R, et al. Evolution of strawberry alcohol acyltransferase activity during fruit development and storage [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44 (10): 3286-3290.
- [31] 李华, 涂正顺, 王华, 等. 猕猴桃果酒香气成分的气相色谱/质谱分析[J]. 分析化学, 2002: (6) 695-698.
- [32] YE L Q, YANG C X, LI W D, et al. Evaluation of volatile compounds from Chinese dwarf cherry (*Cerasus humilis* (Bge.) Sok.) germplasms by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2017, 217: 389-397.
- [33] NUNES A R, GONÇALVES A C, PINTO E, et al. Mineral content and volatile profiling of *Prunus avium* L. (sweet cherry) by-products from Fundao region (Portugal)[J]. Foods, 2022, 11 (5): 751.
- [34] LI T L, JIANG T, LIU N, et al. Biotransformation of phenolic profiles and improvement of antioxidant capacities in jujube juice by select lactic acid bacteria [J]. Food Chemistry, 2021, 339: 127859.
- [35] ZHANG C Q, WANG Y F, WANG M X, et al. Improvement of antioxidant capacity, aroma quality, and antifungal ability of cherry by phenyllactic acid treatment during low temperature storage [J]. Frontiers in Plant Science, 2024, 15: 1529127.
- [36] GONÇALVES B, OLIVEIRA I, BACELAR E, et al. Aromas and flavours of fruits[M]. Intech, 2018.
- [37] YEH C H, CHOU C Y, WU C S, et al. Effects of different extraction methods on vanilla aroma [J]. Molecules, 2022, 27 (14): 4593.
- [38] FENG C, ZHANG X M, WANG J, et al. Characterization of volatile profiles in cherry fruits: Integration of E-nose and HS-SPME-GC - MS [J]. Food Chemistry: X, 2025: 102632.
- [39] ZHANG X, JIANG Y M. Changes of aroma components in Hongdeng sweet cherry during fruit development [J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6 (11): 1376-1382.
- [40] GONÇALVES A C, CAMPOS G, PINTO E, et al. Essential and non-essential elements, and volatile organic compounds for the discrimination of twenty-three sweet

- cherry cultivars from Fundão, Portugal[J]. Food Chemistry, 2022, 367: 130503.
- [41] LEGUA P, DOMENECH A, MARTÍNEZ J, et al. Bioactive and volatile compounds in sweet cherry cultivars [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2017, 5 (11): 844–851.
- [42] SERRADILLA M J, MARTÍN A, RUIZ-MOYANO S, et al. Physicochemical and sensorial characterisation of four sweet cherry cultivars grown in Jerte Valley (Spain) [J]. Food Chemistry, 2012, 133 (4): 1551–1559.

Analysis of Aroma Components in Sweet Cherry Fruits of Different Varieties Using HS-SPME-GC-MS

ZHOU Yifan¹, GUO Zhigang¹, MA Xinyuan², TAN Weijun³, TAO Shuyun⁴, HAN Songling¹

(1. College of Bioengineering and Technology, Tianshui Normal University, Tianshui Gansu 741000, China; 2. College of Horticulture Special Fruit Tree Research Centre, Xinjiang Agricultural University, Urumqi Xinjiang 830052, China; 3. Tianshui Fruit Tree Research Institute, Tianshui Gansu 741000, China; 4. Forestry and Grassland Bureau of Maiji District, Tianshui, Tianshui Gansu 741001, China)

Abstract: This study investigated the differences in aroma components of sweet cherry in the Tianshui area, aiming to provide theoretical basis for aroma-related genetic breeding, aroma biosynthesis metabolism, and molecular biology research of superior sweet cherry variety. Using 7 main cultivated sweet cherry varieties in Tianshui area as test materials, aroma compounds present in the fruit were identified using headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS), and the relative content of each component was determined using the TIC peak area normalization method. Results showed that a total of 77 compounds were detected in the 7 sweet cherry varieties, including 24 in Brooks, 25 in Hanxiang, 16 in Meizao, 26 in Summit, 35 in Lapins, 14 in Stella, and 12 in Hongdeng. The Aroma compounds content in the fruit of the 7 sweet cherry varieties varied. Hongdeng variety had the highest content of alcohol substances at 432.4 g/kg, Stella variety had the highest content of esters at 2.26%, Hanxiang variety had the highest content of aldehydes at 488.8 g/kg, Brooks variety had the highest content of ketones at 68.8 g/kg, and Lapins variety had the highest content of other substances at 255.8 g/kg. The substances shared by the 7 sweet cherries were benzaldehyde, which was identified as key aroma component. Unique aroma compounds were also identified, including 11 in Lapins, 10 in Brooks, 9 in Summit, 7 in Hanxiang, 3 in Stella, and 2 in Meizao.

Key words: Sweet cherry; HS-SPME-GC-MS; Aroma component; Variety