分类号：　　密　　级：内部5年
学　号：20162311002　　单位代码：10759

石河子大学

博士学位论文

蟠桃汁风味物质解析及风味品质控制技术研究

学位申请人　王鹏
指导教师　田洪磊

申请学位门类级别　工学　博士
学科、专业名称　农业工程、农产品加工工程
研究方向　食品风味化学
所在学院　食品学院

中国·新疆·石河子
2019 年 6 月

分类号：　　密　　级：内部 5 年

学　号：20162311002　　单位代码：10759

石河子大学

博 士 学 位 论 文

蟠桃汁风味物质解析及风味品质控制技术研究

学 位 申 请 人	王鹏
指 导 教 师	田洪磊
申请学位门类级别	工学　博士
学科、专业名称	农业工程、农产品加工工程
研 究 方 向	食品风味化学
所 在 学 院	食品学院

中国·新疆·石河子

2019 年 6 月

Analysis of Flavor Compounds of Flat Peach Juice and Research on Flavor Quality Control Technology

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Doctor of Engineering

By

Wang Peng

(Food Flavor Chemistry)

Dissertation Supervisor: Prof. Tian Honglei

June, 2019

Shihezi. Xinjiang. China

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：王鹏　　时间：2019 年 5 月 28 日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：王鹏　　时间：2019 年 5 月 28 日

导师签名：[illegible]　　时间：2019 年 5 月 28 日

摘要

新疆是我国蟠桃的主要产地，属于呼吸跃变型果实，由于具有后熟作用以及微生物易侵染等特点，致使蟠桃鲜果贮藏保鲜期相对较短，且在贮藏期间存在风味品质下降的现象。明晰蟠桃鲜果关键呈香物质及贮藏与加工中风味品质的趋变机制，并实施蟠桃鲜果专用贮藏保鲜技术及蟠桃汁风味品质控制技术创制，已成为推动蟠桃产业链延伸首要解决的关键科学与技术问题。为突破蟠桃鲜果与果汁风味品质异化瓶颈，本文以蟠桃汁中蟠桃鲜果原有天然香气为目标，对用于蟠桃汁加工的鲜果原料在采收期及贮藏期进行风味品质监测与评价，同时以所构建的蟠桃特征风味指纹图谱为基础，探析热杀菌过程中蟠桃汁风味品质转变及异化机制，并基于构建的蟠桃风味品质预测模型与模糊性感官评价等手段，研究 β-葡萄糖苷酶对蟠桃汁中键合态挥发性成分的定向酶解增香效果，通过释放潜在呈味物质以提高蟠桃汁整体风味轮廓的拟合度与丰富度。主要研究内容如下：

(1)采用电子舌结合模糊性感官评价手段对不同生长期蟠桃鲜果的风味品质进行逐级评价。为明确电子舌分析结果作为蟠桃生长期有效评价的可行性，构建了感官属性赋值、电子舌结果及理化参数相关性预测模型。同时对比贮藏保鲜 60 天内不同时间段蟠桃鲜果的挥发性成分，明晰了不同贮藏时间内蟠桃挥发性物质轮廓的差异性。研究结果表明：蟠桃在生长期与成熟期内总糖、还原糖等理化指标具有显著差异。通过描述性感官评价赋值聚类分析，可有效识别或明显区分成熟期与生长期的蟠桃果实。采用主成分分析法(PCA)构建了各感官属性与理化指标间效应关系模型，验证了电子舌技术应用于蟠桃生长期快速判别的有效性与可靠性；研究表明蟠桃鲜果在贮藏期间，果实中乙酸己酯、二氢-β-紫罗兰酮、戊醛、(E)-2-己烯-1-醇、庚醇等影响桃类香气特征的物质呈显著下降趋势，且新生成了 2-苯基-2-丙醇、1-甲基萘、2-甲基-四氢化吡喃、2,6-二叔丁基对甲酚、邻苯二甲酸二异癸酯等挥发性物质，这些挥发性物质的弱化与生成是导致蟠桃鲜果随贮藏时间延长其风味品质降低的主要原因。

(2)基于 GC-MS 分析结合化学计量法对市售蟠桃汁与新鲜蟠桃汁的风味属性差异性进行解析，以揭示蟠桃汁加工后挥发性成分的转变与异化机制。结果显示新鲜蟠桃汁与两种市售蟠桃汁样品挥发性成分组成有显著差异，整体风味轮廓发生了明显变化。同种原料基质的两种市售桃汁中酯类物质含量均呈下降趋势，醇类物质变化差异不显著，与鲜榨汁相比，两种市售蟠桃汁中醛类物质明显增加。基于 PCA 分析结合聚类分析发现酯类物质与蟠桃汁中花香味、果香味及桃类特征香味等感官属性具有显著正相关性，同时确定酯类物质的差异变化是导致蟠桃汁加工后品质改变的主要因素；基于 PLSR 构建酯类物质与新鲜、市售蟠桃汁间相关性预测模型，以此揭示乙酸甲酯、乙酸丙酯、2-己烯-1-醇乙酸酯、辛酸乙酯、乙酸己酯、乙酸己酯、苯乙醇、乙酸乙酯和丙位癸内酯等物质含量差异是导致蟠桃汁加工前后感官品质产生明显差别的关键。

(3)优化 HS-SPME-GC-MS 技术对蟠桃汁中挥发性成分实施准确定性定量解析，结合系统聚类及相关性预测模型应用构建了蟠桃汁特征风味指纹图谱，并通过 PCA 与 PLSR-DA 分析验证了所构建特征指纹图谱的准确性及适用性。具体结果为：基于乙醛、乙酸甲酯、乙酸乙酯、苯乙醇、乙酸丙酯、乙酸异丁酯、乙酸丁酯、己醛、乙酸己酯、己醇、(E)-2-己烯-1-醇、壬醇、丙位己内酯及二氢-β紫罗兰酮等关键风味物质的自然定量组合，构建了蟠桃汁特征挥发性风味物质指纹图谱，以此指纹

图谱为依据并通过样品相似性评价和 PCA 分析，可对新鲜蟠桃汁与其他桃汁进行区分，从而验证所得指纹图谱用于制备样品风味品质评价的有效性。基于指纹图谱构建的新鲜蟠桃汁与其他桃果汁类产品 PLS-DA 判别模型，可有效识别新鲜蟠桃汁与其他样本间的差异程度及其关键差异物质。

(4)采用 HS-SPME-GC-MS 技术解析传统热加工中巴氏杀菌前后蟠桃汁挥发性成分变化规律。统计分析同种样品在不同杀菌温度前后其特征性挥发成分含量差异性，采用前期建立的蟠桃汁风味品质预测模型明确了造成杀菌前后风味品质下降的关键挥发性成分。研究结果发现在不同的热杀菌温度条件下，蟠桃汁风味品质属性发生显著变化，通过对比蟠桃汁杀菌样品与新鲜蟠桃汁特征性挥发性成分的变化趋势，明确杀菌温度提升与挥发性成分丧失程度呈显著正相关，聚类分析与 PCA 分析结果也充分证实了特征挥发性物质改变是造成蟠桃汁杀菌前后感官品质属性异化的原因，其中乙酸甲酯、乙酸乙酯、乙酸异丁酯、己醛、乙酸己酯、己醇、(E)-2-己烯-1-醇、壬醇和苯乙醇等化合物与新鲜蟠桃汁风味品质属性呈显著正相关，此类物质也是造成新鲜桃汁与杀菌处理后桃汁差异化显著的关键成分，壬醇含量的改变是导致杀菌后蟠桃汁清香味感官属性弱化的关键物质。

(5)基于杀菌后蟠桃汁风味品质劣变机制明晰，实施杀菌后蟠桃汁 β-葡萄糖苷酶酶解增香技术研究。首先采用 GC-MS 技术解析蟠桃鲜榨汁及不同杀菌温度处理后蟠桃汁挥发性物质组成，通过感官评价结合化学计量法数据分析发现蟠桃汁中酯类与醇类物质含量在杀菌后明显降低，且异味与蒸煮味感知度在杀菌后表征明显，而果香味、花香味下降明显，而经过 β-葡萄糖苷酶酶解后蒸煮味与异味有所降低，果香味与花香味等感官属性有所改善，在物质组成层面，蟠桃汁酶解后酯类、醇类物质的含量明显增加。以风味感官属性与风味轮廓正向拟合效应提升为目标，所获得的蟠桃汁 β-葡萄糖苷酶酶解条件为酶解温度 60℃、酶解时间 50 min、pH 值 4.0、酶添加量 0.40g/100mL。本论文相关研究结果可为蟠桃鲜果与果汁风味品质标准化评价方法构建及果汁加工技术融合创制提供借鉴。

关键词：蟠桃生长期；挥发性物质轮廓；风味指纹图谱；热杀菌处理；酶解增香

Abstact

Flat peaches are widely cultivated in Xinjiang. However, the distinctive thin peel causes high levels of microbial infection and storage rot, resulting in relatively short shelf time and reducing significant flavor quality during storage. The major aroma volatiles and the changes mechanism of flavor quality were identified during fresh flat peach preservation and processing, meanwhile, special flat peach preservation combined with the flavor quality control technology were implemented to promote the development of flat peach industry chain. Moreover, the changed of volatile flavor profile in different maturities and storage period of flat peach were monitored and evaluated by characteristic flavor fingerprint, meanwhile, the alienation of flat peach juice nature flavor in sterilization process was also solved by revealing the flavor quality transformation mechanism. Futhermore, the potential flavor substances and the richness and overall flavor profile of the peach juice were improved in flat peach juice by using β-glucosidase. Descriptive sensory analysis combined with flat peach juice flavor prediction model indicating β-glucosidase was useful in strengthening the natural flavor of flat peach juice through enzymatic hydrolysis reaction. The main contents of this study are as follows:

(1) The flavor quality of flat peach fruits in different maturities were analyzed by human sensory evaluation and electronic tongue test. The correlation prediction model was constructed between electronic tongue, sensory attribute, and physicochemical parameters, indicating electronic tongue could evaluate the maturities of flat peach effecivly. Meanwhile, the volatile compounds of fresh flat peach in different storage time (60 days) were compared, and the changes of volatile profile of flat peach during different storage time were also clarified. The results showed that the total sugar and reducing sugar were significant changed during the growth and maturity periods. Hierarchical clustering analysis combined with principal component analysis were indicated that electronic tongue technique could determine the maturity and picking period of flat peach and applied to verified the rapid maturity of peach ripening, meanwhile, the internal relationship between sensory attributes and physiochemical indicators was also revealed. These results showed that electronic tongue with taste sensory system could be used to determine the harvest time of flat peach in the process of peach juice. Moreover, the research indicated that some aroma compounds in flat peach, such as ethyl hexanoate, dihydro-β-ionone, valeraldehyde, (E)-2-hexen-1-ol and heptanol , were observed significantly decrease with the increasing of storage time, and some newly generated 2-phenyl-2-propanol, 1-methylnaphthalene, 2-methyl-tetrahy dropyran, butylated hydroxytoluene, diisodecyl phthalate. The main reasons for the deterioration in flavor quality of the flat peach with the prolonged storage time were due to the weakening and formation of

these volatile compounds.

(2) Combinnig with GC-MS and stoichiometric statistics, the distinction of flavor quality and characteristic volatile compounds between fresh and processed flat peach juice were analyzed to reveal the mechanism of dissimilation and translation of volatile compounds in processed flat peach juice. The results manifested that there were significant differences in volatile compositions and the overall favor profile between fresh flat peach juice and two flat peach juice products. Compared with fresh flat peach juice, the contents of esters were showed a significant decreasing trend in these juices products, however, the contents of aldehydes were showed obviously increasing and the changed of alcohols contents was not significant. Meanwhile, PCA combined with HCA results showed esters had positive correlation with characteristic flower and fruity flavor, indicating the changed of esters was primary factor resulting in flavor quality deteriorate in flat peach juice products. The PLSR correlation model between esters and peach juice samples was constructed to reveal the differences in the content of methyl acetate, propyl acetate, 2-hexen-1-ol acetate, ethyl octanoate, hexyl acetate, ethyl acetate, phenylethyl alcohol, ethyl acetate and propanol lactone resulted in significant regionalization of sensory quality in processing.

(3) Optimized HS-SPME-GC-MS combined with HCA were used to identifiy volatile compounds of flat peach juice and establish chromatographic fingerprint of characteristic flavor of flat peach, whereafter, PCA and PLSR-DA were combined to establish the correlation prediction model which could verify applicability and accuracy of characteristic fingerprint previously constructed. The specific results as follows: based on natural quantitative combination of detected volatile compounds (acetaldehyde, methyl acetate, ethyl acetate, phenethyl alcohol, propyl acetate, isobutyl acetate, butyl acetate, acetaldehyde, hexyl acetate, hexyl alcohol, (E)-2-hexenol, nonanol, γ-caprolactone and dihydro-β-ionone), it could be suitable for establishing the characteristic flavor fingerprint. Fresh flat peach juice could be distinguished significantly with flat peach juice products by using characteristic flavor fingerprint and the similarity analysis, indicating the characteristic flavor fingerprint could evaluate effectively flavor quality of flat peach juice. The PLS-DA model based on characteristic flavor fingerprint about fresh flat peach juice and other peach juices could be used to identify differences of key volatile compounds and degree between fresh flat peach juice and other peach juices.

(4) The variation of volatile compounds in flat peach juice before and after pasteurization in traditional heat processing was analyzed by HS-SPME-GC-MS. Meanwhile, the differences of characteristic volatile compounds in the same sample with different sterilization temperatures were statistically analyzed. The pre-established flat peach flavor quality prediction model was used to identify the key volatile compounds that led to the flavor quality

decrease before and after sterilization. The results showed that the flavor quality attributes of the peach juice changed significantly under different heat sterilization temperatures. The results of cluster analysis and PCA analysis also confirmed that there was a change in sensory quality, mainly caused by the transformations of characteristic volatile substances before and after sterilization of flat peach juice. Among them, methyl acetate, ethyl acetate, isobutyl acetate, hexanal, hexyl acetate, hexanol, (E)-2-hexen-1-ol, decyl alcohol and phenylethyl alcohol were significantly positive correlation with the flavor quality of fresh flat peach juice. These substances were key ingredients leading to the differentiation of fresh flat peach juice and flat peach juice after sterilization.

(5) Based on the clarification mechanism of the flavor quality deterioration of flat peach juice after sterilization, the technology of enzymatic hydrolysis aromatization of β-glucosidase in peach juice was studied. Firstly, the GC-MS technique was used to analyze the volatile composition of the peach juice in different sterilization temperature treatment. The sensory evaluation combined with the stoichiometric data showed that the content of esters and alcohols in the peach juice was significantly reduced after sterilization. The odor and cooking taste perception were remarkable after sterilization, while the fruit and floral aroma decreased significantly. After β-glucosidase treatment, the cooking taste and odor were reduced while the sensory attributes such as fruit and floral aroma were improved and the content of esters and alcohols increased significantly. In order to improve the positive fitting effect of flavor sensory attributes and flavor profile, the enzymatic hydrolysis conditions of peach juice were optimized. The conditions obtained were as follows: the enzymatic hydrolysis temperature was 60 ℃. Enzymatic hydrolysis time was 50 min. pH value was 4.0 and enzyme addition amount was 0.40g/100mL. The relevant research results of this thesis could provide reference for the construction of standardized evaluation methods for the quality of flat peach and juice flavor and the integration of juice processing technology.

Key words: Flat peach maturities; Volatiles profile; Flavor fingerprint; Thermal sterilization; Enzymatic hydrolysis

目录

摘要 I

Abstact III

缩略词 VI

第一章　绪论 1

1.1　蟠桃资源概况与产业面临的主要问题 1

1.2 蟠桃保鲜技术研究进展 1

1.3 蟠桃果汁加工技术研究进展 2

1.3.1 果汁杀菌技术研究进展 3

1.3.2 果汁酶解增香技术研究进展 6

1.4 特征性风味指纹图谱构建 7

1.4.1 特征风味指纹图谱研究进展 8

1.4.2 特征风味指纹图谱的建立方法 9

1.4.3 蟠桃汁特征风味指纹图谱建立的必要性 9

1.5 本课题主要研究内容 10

1.6 本课题研究背景及意义 11

第二章　蟠桃果实生长期辨识及贮藏期风味轮廓趋化分析 12

2.1 前言 12

2.2 材料与方法 12

2.2.1 试验材料 12

2.2.2 主要试验设备 13

2.2.3 不同生长期蟠桃样本预处理 13

2.2.4 分析方法 13

2.2.5 数据处理方法 15

2.3 结果与讨论 16

2.3.1 不同生长期蟠桃理化参数 16

2.3.2 感官评价分析 17

2.3.3 基于人工感官属性赋值的不同样品聚类分析 18

2.3.4 不同生长期蟠桃电子舌分析评价 18

2.3.5 感官赋值与理化参数相关性模型构建 23

2.3.6 不同贮藏保鲜期蟠桃挥发性物质组成分析 25
2.4 本章小结 29
第三章 鲜榨与市售蟠桃汁风味物质组成与差异化解析 30
3.1 前言 30
3.2 材料与方法 30
3.2.1 试验材料 30
3.2.2 主要试验设备 31
3.2.3 蟠桃样本预处理 31
3.2.4 分析方法 31
3.2.5 数据处理方法 32
3.3 结果与讨论 33
3.3.1 新鲜蟠桃汁与市售蟠桃汁挥发性成分对比 33
3.3.2 感官属性与挥发性成分 PCA 预测模型构建 39
3.3.3 不同桃汁样品中各大类成分聚类分析 40
3.3.4 不同蟠桃汁样品与挥发性酯类物质组分偏最小二乘回归（PLSR）分析 41
3.4 本章小结 42
第四章 蟠桃汁关键挥发性物质筛选及其风味指纹图谱构建 43
4.1 前言 43
4.2 材料与方法 43
4.2.1 试验材料 43
4.2.2 主要试验设备 43
4.2.3 蟠桃样本预处理 44
4.2.4 分析方法 44
4.2.5 数据处理方法 44
4.3 结果与讨论 44
4.3.1 不同批次蟠桃中挥发性成分聚类分析 44
4.3.2 蟠桃汁风味指纹图谱构建 45
4.3.3 蟠桃汁特征风味物质指纹图谱科学性验证 47
4.3.4 蟠桃汁挥发性成分相似度分析 47
4.3.5 不同桃汁与指纹图谱间 PCA 判别模型构建 48
4.3.6 各样本相关性 PLS-DA 判别分析 49

4.4 本章小结 51
第五章　热杀菌对蟠桃汁中特征风味物质影响规律研究 52
5.1 前言 52
5.2 材料与方法 52
5.2.1 试验材料 52
5.2.2 主要试验设备 52
5.2.3 蟠桃果汁样品制备 52
5.2.4 热杀菌处理条件 52
5.2.5 挥发性物质分离与鉴定方法 53
5.2.6 数据处理方法 53
5.3 结果与讨论 53
5.3.1 蟠桃汁原料挥发性成分 53
5.3.2 蟠桃汁不同处理后特征性挥发性风味物质对比 54
5.3.3 构建特征性挥发性成分与不同热杀菌蟠桃汁 PCA 模型 59
5.4 本章小结 60
第六章　蟠桃汁酶解增香技术研究 62
6.1 前言 62
6.2 材料与方法 62
6.2.1 试验材料 62
6.2.2 主要试验设备 62
6.2.3 蟠桃果汁样本的制备 62
6.2.4 分析方法 63
6.2.5 响应面（单因素）试验条件 64
6.2.6 数据处理方法 64
6.3 结果与讨论 64
6.3.1 不同处理组蟠桃汁挥发性物质差异性解析 64
6.3.2 不同处理 FPS 样本感官分析 71
6.3.3 感官属性与挥发性成分相关性模型构建 72
6.3.4 单因素试验 75
6.3.5 响应面优化酶解技术参数 78
6.4 本章小结 81

第七章 结论与展望 82
7.1 主要结论 82
7.2 展望 84
7.3 论文创新点 85
参考文献 86
致谢 97
作 者 简 介 98

缩略词

Abbreviation

英文缩写	英文全称	中文全称
SSC	Soluble solids content	可溶性固形物含量
HCA	Hierarchical cluster analysis	层次聚类分析
PLS-DA	Partial least squares discriminant analysis	偏最小二乘判别分析
FPS	Flat peach samples	蟠桃汁样品
ANOVA	Analysis of variance	方差分析
FPJ	Fresh flat peach juice	新鲜蟠桃汁
FQJ	Fengqu flat peach juice	风趣蟠桃汁
SNJ	Shennei flat peach juice	神内蟠桃汁
DSA	Descriptive Sensory Analysis	描述性感官分析
E-tongue	Electronic tongue	电子舌
GC-MS	Gas Chromatogaphy-Mass Spectrometry	气相色谱-质谱
RI	Retention index	保留指数
KI	Kovats Index	(科瓦茨)保留指数
PCA	Principal Component Analysis	主成分分析
PLSR	Partial Least Squares Regression	偏最小二乘回归

第一章　绪论

1.1 蟠桃资源概况与产业面临的主要问题

蟠桃(*Amygdalus persica L.* Batsch. var. *compressa* Bean)是蔷薇科(*Rosaceae*)、扁桃属(*Amygdalus L*)中的变种扁桃类(*Amygdalus ferganensis*)，为新疆桃(*Prunus ferganensis*)的自然杂交变种[1]。蟠桃原产于我国而后传入美国等国家，常译为 flat peach, pentao 或 peento 等名称[2]，新疆是世界蟠桃的发源地，后经品种选育与改良而培育出多种不同成熟类型的品种，我国西北及中原地区均有种植[3]，目前全国蟠桃种植面积达 4.33 万公顷，其中新疆地区独特的气候环境条件造就了果实体积大而饱满、表皮较薄、果肉细腻且多汁及甜香味浓郁的风味特点，石河子 143 团蟠桃种植园区、石河子花果山蟠桃园区及阜康、伊犁等地区是新疆蟠桃主要种植区，仅石河子 143 团蟠桃种植区年产量高达 2700 余吨。蟠桃品种类型依据采收期差异可分为早熟型蟠桃(6 月中旬)、早中熟型蟠桃(7 月中下旬)、中晚熟型蟠桃(8 月中旬-9 月下旬)。近年来，通过改变采收期相对分散以提高蟠桃鲜果的市售价格为目的，新疆乃至全国不同蟠桃种植区分别进行不同成熟期蟠桃的栽培与生产，然而由于蟠桃具有呼吸跃变特性且成熟期在高温夏季，高温作用促使蟠桃后熟速率增加[4]，另外，蟠桃果皮较薄导致在人工采摘、搬运、贮藏前处理等过程中极易发生机械损伤以及微生物侵染，致使蟠桃贮藏保鲜期相对较短，目前仍不能有效改变蟠桃鲜果集中上市的紧张局面[5]，产量较高且风味品质优越的蟠桃果实长期处于增产而不增收的生产现状，果农由于失去种植信心而导致许多蟠桃种植地区栽培面积逐渐萎缩。诸如上述问题成为限制蟠桃产业链延伸的主要问题。在创新蟠桃鲜果专用贮藏保鲜技术以延长鲜食消费期的同时，建立蟠桃汁等迎合市场需求的主流产品的标准化加工技术体系，是推动蟠桃产业链延伸及健康持续发展首要解决的关键问题。

1.2 蟠桃保鲜技术研究进展

目前蟠桃的贮藏保鲜方式主要分为常规冷藏与气调保鲜两种方式，虽然均能够有效降低蟠桃果实后熟速度、控制其褐腐程度。然而相比于其他桃类，蟠桃果实肉质细嫩且形态结构扁平，在堆叠放置保鲜时由于个体间空隙小不易快速挥发呼吸热及水汽[4]，因此更加容易发生低温损伤(low temperature injuries)，即冷害(chilling injury)现象，主要表现为蟠桃果肉松散，果皮与果肉发生褐变，果肉组织损伤并伴随汁液渗出，诸如此类损伤会使得蟠桃果实的贮藏期及货架期明显降低，严重影响了消费者的接受度，最终导致蟠桃的经济价值显著降低。

国内外相关研究学者在桃类果实贮藏保鲜方面开展了较多研究工作，如 Kajiura 等[6]早在 70 年代已通过考察果实理化参数及外观品质等因素，对比研究了常规冷藏、气调贮藏与减压冷藏等保鲜手段对白桃贮藏期内后熟速率的抑制效果，发现冷藏与减压贮藏对白桃后熟速率的降低及低温损伤的抑制能力明显低于气调贮藏。随着保鲜技术的逐渐优化与改进，桃果实低温保鲜过程中冷害问题已有多种解决方案，如 Jin 等[7,8]基于涂膜

保鲜原理，在白凤桃果实表面喷洒 1-甲基环丙烯(1-MCP)或茉莉酸甲酯(MJ)后放置于 0℃保鲜，在贮藏 35d 后与单纯放置于 0℃的样品对照分析，表明 1-MCP 处理后能够明显抑制白凤桃果实样品的内源酶活性，显著缓解了桃果实冷害程度，同时桃果实褐变程度明显降低；Ortiz 等[9-11]采用 1-MCP 结合气调保鲜技术分别从晚熟型油桃果实贮藏期内挥发性酯类物质含量变化与果实生理结构变化等角度，综合评价了该保鲜技术对油桃保鲜的效果，相关结果表明该复合保鲜手段明显优于单一使用涂膜或气调保鲜技术。相关学者在研究硬质桃果贮藏保鲜技术的同时，提出质地多汁细腻的蟠桃果实虽然通过冷藏保鲜也能够减缓果实的后熟速率，但在冷害尚未发生的前期冷藏保鲜阶段桃果实已经凸显出香气成分损失(aroma loss)的风味品质异化现象[12]。Fernández-Trujilio 等[13]采用气调包装保鲜(MAP)技术对蟠桃进行贮藏保鲜效果研究，通过对比不同填充气体比例贮藏条件下蟠桃果实各项理化指标及挥发性成分组成变化，最终发现蟠桃鲜果在相同的保鲜时间内采用 MAP 技术能够较大限度的保持蟠桃果实中原有挥发性物质成分，同时能够相对延长蟠桃果实的贮藏时间以及货架期。与自然放置的蟠桃果实相比，虽然某些传统与新型贮藏手段均能够延长蟠桃的贮藏保鲜时间，但长期的生产实践证明现有保鲜技术存在尚待解决的关键基础问题，如何有效解决蟠桃贮藏保鲜期间风味品质显著下降问题是未来蟠桃专用贮藏保鲜技术创新的主要途径，与此同时基于风味品质保持的高品质蟠桃汁加工技术集成创制也是充盈市场需求、延伸蟠桃生产产业链的主导途径。

1.3 蟠桃果汁加工技术研究进展

与蟠桃鲜果品质保持与贮藏销售相比，蟠桃汁具有贮藏时间长、运输销售便捷以及食用方便等特点，将蟠桃加工成果汁产品以充盈市场需求的同时，可通过相对较低的生产成本尽可能创造更高的经济效益，以增强蟠桃种植果农增产增收的信心。近年来蟠桃汁产业在整体蟠桃产业中的关注度逐渐增强，逐步成为蟠桃产业链延伸的主流导向。作为一种极具潜力的天然果蔬汁类产品，目前众多产业化蟠桃汁产品所存在的风味品质劣变问题已经成为制约其产品品质提升的主要问题，消费者购买欲望的降低也成为蟠桃汁产品市场拓展进程中首要解决的瓶颈。

传统果汁生产加工过程中由于经历热漂、灭酶、杀菌等热处理工序，致使果汁中大量的热敏性挥发性成分存在不同程度的损失[14]，同时部分挥发性物质在热处理过程也存在合成与分解等转化过程，而产生令人不悦的异味(off-odor)，如蒸煮味(cooked)、苦味(bitterness)和杂草味(cut old grass odor)等[15]。特征香气丧失、异味物质生成及特征风味轮廓失真等问题导致果汁整体感官品质明显降低，与自然风味果汁产品开发的理念产生偏离，通过改进杀菌工艺或采用其他风味优化的方式(如增香酶酶解、添加天然香精等)来保持或提高果汁中的关键呈味物质含量，以最大限度的保持果汁中原本自然风味成为众多学者关注的焦点问题。添加香精香料是一种改变水果加工产品(尤其是果汁产品)风味的有效方法，但由于某些合成香料使用受到食品法规限制等众多因素存在，并且无形增加了普通果汁的生产成本[16]。因此，在明晰蟠桃汁风味劣变机制的前提下，优化或改

造杀菌工艺与手段以靶向性保持蟠桃汁中的特征风味成分，可更为科学安全的提高蟠桃汁产品风味品质。国内外相关研究表明可表征桃果香气特征的主要成分是乙酸甲酯、乙酸乙酯，乙酸己酯等酯类物质[17]，能提供桃汁中清香味的组分主要是己醇、癸醇和(E)-2-己烯醇等短链醇类物质，同时短链酯类和醇类物质通常具有低沸点、易于挥发等特点，因此传统热杀菌技术会使得果汁中大量具有香气贡献的关键挥发性成分丧失，于此同时生成具有不良风味效应的单体物质[18]。再者，蟠桃汁与其他以酸甜口感凸显的桃汁品种相比，除呈现丰富饱满的桃果香味外，还富有独特的自然清香味感，但在热杀菌处理后该种新鲜清爽感官属性丧失殆尽，从而导致使蟠桃果汁生产加工后呈现出更为明显的风味品质劣变现象。

目前果汁传统产业化生产中所采用的主要杀菌方式包括巴氏杀菌、高温瞬时杀菌等，基于热杀菌所导致的果汁风味与营养异化问题，如超高静水压杀菌、高压脉冲电场杀菌等非热杀菌手段成为众多学者研究的热点。无论热杀菌或非热杀菌都是通过杀灭微生物达到延长保质期的目的，因此通常评价杀菌效果仅仅对杀菌前后菌落总数的测定进行判断，然而果汁整体品质不仅仅局限于果汁微生物菌落的有效控制，果汁色泽、口感、气味等感官品质也是对杀菌效果科学评价的重要指标，为科学有效的评价果汁杀菌后风味品质优劣，首先通过气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)对挥发性成分进行差异化分析，然后结合人工感官评价、电子鼻与电子舌响应值拟合等感官检测技术，系统评价不同杀菌过程与手段对果汁整体风味品质的影响，建立其风味感官属性的定量定性标准化评价技术体系，实施蟠桃风味品质调控技术研究已成为蟠桃果汁产品品质研究的热点。

1.3.1 果汁杀菌技术研究进展

1.3.1.1 新型非热力杀菌技术

超高压(Ultra high pressure, UHP)杀菌技术作为一种非热杀菌方法，包括传统高压处理技术(High hydrostatic pressure，HHP)和超高静水压力处理技术(Ultrahigh hydrostatic pressure，UHHP)[19]，近 20 年来已成为液体食品保鲜、加工和保质期延长等领域国内外学者持续研究的热点，其原理是利用水、油或油水混合乳液等加压介质直接向食品施加 100-1000MPa 的高压，在进行高低压持续转化后达到微生物细胞结构及其体内代谢环境破坏以致细胞死亡的目的[20]，基于此原理国内外相关研究人员认为采用超高压杀菌的方式能够高效率的消亡食品中的微生物群落，达到延长食品保质期的目的，同时对食品整体风味和营养品质影响较低，可有效保持食物本身的高品质特性。如 Juarez 等[21]采用 480MPa 超高静水压对苹果汁加压杀菌 7min 后，分别在室温(20℃)与冷藏(4℃)条件下贮藏 34d 后发现，两种贮藏条件下的果汁颜色、总多酚含量、抗氧化能力、抗坏血酸含量、pH 值、滴定酸度、可溶性固形物含量以及多酚氧化酶活性等指标均无明显变化，同时发现处理前后的苹果汁感官属性也无明显差异；Yi 等[22]采用 600MPa 高压杀菌处理苹果浊汁 3min 后，与常规热杀菌及新鲜苹果汁相比，高压处理后的苹果汁在整体风味品质方面要明显优于热处理后的果汁以及新鲜苹果汁。如同上述研究，许多学者也将超高压杀菌技术运用到哈密瓜汁[23]、西瓜汁[24]、草莓汁[25-27]、蓝莓汁[28]、青蒿汁[29]等其他果

蔬汁类食品的杀菌应用研究方面，多数研究表明超高压杀菌技术对果蔬汁中各理化指标影响均小于传统热杀菌，同时在高压作用下纤维或大颗粒悬浮物的协同破碎对果肉也产生均质效应，通过液体食物流变特性能的胁迫改变也提升了食品的柔和口感品质[30]。然而，自 90 年代日本探索超高压杀菌技术在食品加工中应用以来[31]，目前在产业化推广与应用中仍存在尚待解决的众多问题[32]，商业化应用比例尚待提升。总结主要原因有以下几点：首先是耐压细菌芽孢如何实现有效抑制。Nakayama 等[33]发现通过 981MPa 高压条件持续作用于枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)菌悬液 40min 后，其菌体仍能复活而保持原有活性，Black 等[34-35]也发现在 22-43℃的条件下实施 150MPa 的高压杀菌处理，枯草芽孢杆菌不仅未有得到有效控制，其萌发率反而增加了 5 倍；Hayakawa 等[36]发现嗜热芽孢杆菌(*Bacillus stearothermophilus*)在 60℃条件下 800MPa 高压处理 60min 后仍有部分存活，压力值的增加可能会提高杀菌效果，但设备耐压能力及高压耗能所产生的额外成本等势必也会带来新的有待解决的诸多问题；其次，超高压灭酶处理在促进或抑制酶促及非酶促反应方面存在双向性[37-38]。如 Seyderhelm 等[39]在 45℃条件下采用 900MPa 高压处理多酚氧化酶 30min 后发现，原酶液仍旧能够保持原有活性，Asaka 等[40]在 25℃条件下通过 400MPa 高压处理桃汁 10min 后发现，桃汁中的多酚氧化酶活性呈现提高趋势，采用高压处理是否可以有效控制多酚氧化酶对果蔬汁色泽品质的影响尚待深入研究；基于超高压杀菌技术的应用理念，许多学者也开展了果汁类食品风味轮廓改变效应的探索研究，如 Navarro 等[41]采用高压杀菌(400MPa，20℃)分别处理草莓汁 10、15、20min 后发现，不同处理强度的草莓汁挥发性物质种类与含量与未处理组差异显著，如乙酸己酯、芳樟醇等含量呈明显下降趋势，其结果与 Lambert 等[42]研究推断相同，该研究认为乙醛与己醛在高压杀菌处理后期含量成倍增加可能与过氧化物酶灭活不彻底相关；基于食品理化特性适应性推断，超高压杀菌可能更适合于高酸性食品中微生物的控制，低酸性食品中芽孢对外界条件的强耐受性可能需要更高的压力以达到理想的杀菌效果，同时会带来更高的生产成本[43]。另外，目前超高压杀菌处理多应用于软包装食品原料，包装的局限性导致产品形态单一化，连续生产应用受到不同程度限制[44]。同时，虽然超高压杀菌较高的自动化程度可减少人力投入，但安全保障、设备维护及电力消耗等所带来的额外成本也是协同考虑的主要问题[45]。因此超高压杀菌技术在高附加值产品杀菌等应用方法比传统热杀菌具有明显的优势，而在低附加值产品应用方面尚待研究展现其优越性，对于本论文所研究的蟠桃汁风味品质控制技术，需在后期相关非热加工手段对照解析的基础上实施针对性研究与融合集成。

脉冲电场(Pulsed electric fields, PEF)杀菌作为一种新型的非热杀菌手段，具有杀菌强度高，时间短，能耗低的特点。国内外相关研究学者在果蔬汁杀菌后理化性质改变及腐败微生物灭活效能等方面也开展了相关探讨。Katiyo 等[46]结合 PEF 杀菌与低温热力杀菌手段对照研究了其对红肉苹果汁的微生物灭活效果与理化性质改变作用，研究表明 PEF 杀菌方式可使苹果汁中大肠杆菌(*E. coli*)、沙门氏菌(*S. enteritidis*)及酵母菌(*S. cerevisiae*)等失活，同时可维持苹果汁的自然理化指标及果汁液态体系稳定性等；同样

Gachovska 等[47]也采用 PEF 杀菌结合紫外辐照杀菌技术对苹果汁中大肠杆菌的杀菌效能进行了考察，研究结果显示脉冲电场能量值与大肠杆菌失活速率呈正相关，协同紫外辐照杀菌技术可提升苹果汁中大肠杆菌的灭活效果；殷涌光等[48]采用高压脉冲电场技术对加入大肠杆菌及混合菌体的市售桃汁饮料进行杀菌处理，证明 PEF 杀菌技术能够在保持市售桃汁饮料原有理化性质及感官品质的同时，对大肠杆菌及混合菌体有着显著的灭活及抑制能力。众所周知影响 PEF 杀菌效果的因素较多，如脉冲电场强度和处理时间等具体设备参数，以及电导率和浓度等杀菌介质的物理和化学参数，因此并非所有的果蔬汁均适用于 PEF 杀菌。如 Cerdán 等[49]采用 PEF 杀菌技术对 3 种葡萄汁杀菌后样品中的挥发性成分进行了对比分析，研究表明葡萄(Grenache)汁经 PEF 杀菌后萜类化合物、β-紫罗兰酮、总酯类和苯类化合物的含量均有所增加，而对其他两种葡萄汁样品挥发性物质的影响则呈现相反趋势或无显著变化；Aguilar 等[50]对比了 PEF 杀菌与高温短时(High temperature-short time, HTST)杀菌对苹果汁中风味物质及理化特性的差异影响，结果表明 PEF 杀菌在保持酚类和醛类等部分挥发性物质含量方面具有明显优势，然而在酯类物质保持方面，PEF 杀菌与 HTST 杀菌均无明显作用，甚至在乙酸乙酯损失方面 PEF 杀菌比 HTST 杀菌处理后更高，乙酸丁酯含量损失率均高达 77%以上，乙酸乙酯与乙酸丁酯也是蟠桃汁中的重要挥发性成分[51]；PEF 杀菌技术是否可以融于蟠桃汁传统加工技术改造，需要在本论文研究基础上后续开展相关对照探析。在经济效益上 PEF 杀菌的产品其生产成本将明显增加，据不完全测算每升液体食品经过 PEF 处理后比传统热杀菌产品成本增加 10 倍以上[52]，虽然 PEF 杀菌在高效杀菌、低温杀菌方面具有明显优势，可能在低附加值蟠桃汁关键风味物质保持方面与传统热杀菌相比并不明显具备应用优势。

结合目前现有研究与应用进展分析，新型非热杀菌技术在食品营养与风味品质保持及环境保护等方面具有明显的优势和极大的应用潜力，然而不同食品的传统热加工技术及非热加工技术的融合创制，需在其营养与风味品质劣变机制充分明晰的基础上，才可实现加工技术与设备的适应化改造与集成。

1.3.1.2 传统热杀菌技术

传统热杀菌技术是一种利用较高温度使微生物细胞失活而达到消亡控制的常见杀菌手段，其中传统巴氏杀菌法依照杀菌设备差异可分为间歇式杀菌(Batch pasteurization)和连续式杀菌(Continuous pasteurization)[50]，从杀菌温度及加热时长的不同分为常规巴氏杀菌(LTLT)、高温短时杀菌(HTST)和超高温瞬时杀菌(UHT)[53]， LTLT 又称低温保持杀菌法，其加热上限温度低于 100℃，通常在温度区间为 60-80℃的条件下持续 30min 杀菌，具有低温杀菌而持续时间长等特点；HTST 杀菌则在温度低于 110℃的条件下保持 10s-40s 的杀菌时间，由于较高的杀菌温度和短时的杀菌历程，一般认为其在降低食物品质热劣变程度方面优越于 LTLT 杀菌；UHT 是在温度高于 120℃的条件下杀菌数秒即可达到商业无菌指标，与 LTLT、HTST 杀菌方式相比，UHT 杀菌对设备及操作环境要求更高，加工成本也必然提升。传统热力杀菌具有操作便捷、技术成熟、成本低、杀菌控制程度高等优势。

传统热杀菌技术在果汁微生物控制、酶钝化等方面已得到广泛应用。如 Saple 等[54]采用常规巴氏杀菌法对石榴汁进行杀菌处理，并对其货架期内色泽等理化指标进行监测，结果表明采用该杀菌方式在不影响各理化指标的同时能显著延长货架期；Iversen 等[55]在 88℃条件下对黑加仑汁进行高温短时杀菌处理 15s 后发现，与巴氏杀菌处理相比，该处理条件能更好的保持黑加仑汁的各理化指标；Yang 等[56]发现在 80℃高温处理条件对树莓汁杀菌 15min 后，树莓汁中各项理化指标及特征芳香类挥发性成分无明显改变。在传统热杀菌技术普遍应用的同时，许多研究者以果蔬汁风味品质及理化指标保持为目标，进行了新型杀菌技术与传统热杀菌技术的对照分析。如 Rezek 等[57]分别对蔓越莓汁进行超声波辅助杀菌与传统热杀菌对照处理发现，与蔓越莓鲜榨汁相比，超声波杀菌和传统巴氏杀菌均改变了果汁中的挥发性物质组成，整体感官品质均低于新鲜蔓越莓汁；Ingrid 等[58]通过 PEF 杀菌与传统热杀菌处理对照分析了西瓜汁中挥发性物质种类及含量的差异性，研究表明两种杀菌方式对西瓜汁中醛类、酮类等挥发性成分均会产生较为明显的影响，而采用脉冲电场杀菌处理的西瓜汁在贮藏期 21d 内的风味品质优于热杀菌样品，但在 21d-56d 贮藏期内两种杀菌方式所处理的西瓜汁整体感官品质均明显降低；Baxter 等[59]探究了超高压杀菌与传统热杀菌技术对澳洲橙汁感官品质及挥发性物质组成的影响，结果表明超高压杀菌橙汁样品中 20 种关键挥发性物质含量均发生了明显变化，在 4℃条件下贮藏 84d 后唯有热杀菌处理橙汁的感官品质更容易让消费者接受；Moussa 等[60]同时分析了高压静电场杀菌、超高压杀菌及传统热杀菌处理对仙人掌汁微生物指标及理化指标影响，结果显示此 3 种杀菌方式均能将仙人掌汁中的微生物含量降低到安全水平，且对仙人掌汁的流体特性均无显著改变。综上所述，许多学者在果蔬汁多种非热杀菌技术与传统热杀菌技术应用基础领域开展了大量的研究工作，相关研究结果表明各种杀菌手段在控制微生物菌落、抑制酶活、保质营养与风味及改观理化指标等方面多存在正负双重性，明确各种食品特定品质形成机制是传统杀菌技术改造及新型杀菌技术产业化应用首要解决的关键问题[29,61-63]。

另外，目前基于非热加工技术提升果汁风味品质的研究多局限于不同处理条件下挥发性物质对照分析或产品主观模糊感官评价等层面，在非热杀菌、酶活抑制与风味轮廓保持、感官品质拟合间鲜见获取切入点。结合本论文研究内容分析，果汁杀菌的主体目的是为了延长其保质期，如何在有效杀菌与风味保持协同保证的前提下建立标准化、适用性杀菌技术体系，最大限度保持果汁原有自然风味品质是目前急需解决的问题。因此建立系统的能够科学准确评价杀菌方式对果汁风味品质影响，而不是单纯的解析物质组成差异，对果汁风味品质标准化控制技术创制至关重要。结合果汁整体香味属性与特征香气物质间潜在的协同效应关系，开展蟠桃汁自然香气属性感知度与果汁香气组分间的定量定性研究是本论文开展的研究内容之一。

1.3.2 果汁酶解增香技术研究进展

果汁产品在生产加工过程中香气物质的种类及含量趋变势必导致整体风味轮廓失真或劣变，其中关键挥发性呈味物质异化以及异味物质产生是风味品质劣变现象产生的

主要原因，风味品质的劣变严重影响了消费者对产品的认可度及消费欲望。因此，明晰果汁整体香味属性与特征香气物质间潜在的协同效应关系，创制果汁风味品质标准化控制技术，是目前果汁加工领域普遍面临的主要问题。国内外前期研究表明天然果汁中挥发性呈味物质主要由多种不同芳香性质的挥发性化合物复合而成，或直接通过糖基化芳香物质前体而表征，前者所包含的游离挥发性化合物或热敏性与易转化挥发性物质，在加工过程中容易发生含量和种类的增减变化，而后者常以非挥发性无味糖交联物的形式存在，在生产加工中其性质相对稳定[64]，然而此类无味非挥发性糖交联物常以糖苷键结合香气化合物而形成，在加热的酸性或酶水解体系中可通过不同催化反应产生香气阈值较低的香气活性成分，因此，将此类糖苷键结合存在的香气化合物进行水解，被认为是获得潜在关键挥发性风味物质的果汁增香方法。相关报道表明糖苷键的酸、热裂解具有非可控性，所得产物并非全部为理想目标物质，甚至可能催发异味物质产生[65]，与热或酸裂解键合状态挥发性香气成分不同，糖苷酶水解具有更好的靶向性，在酶解特定位置糖苷键的同时尽可能避免其他键合态物质的释放[66]，相关学者研究表明采用 β-葡萄糖苷酶(β-glucosidase)水解以促发键合态物质的释放模式，比热或酸水解更加适合于果汁增香[67]。目前采用 β-葡萄糖苷酶对果汁进行增香已有相关前期研究报道，如 Fan 等[68]通过 β-葡萄糖苷酶酶解橙汁而释放出了 13 种游离态挥发性化合物和 6 种结合态挥发性物质；Wang 等[69]探究了 3 种 β-葡萄糖苷酶制剂对赤霞珠红酒的增香效果，最终获得了赤霞珠红酒酶解增香专用酶制剂及其酶解条件；Gueguen 等[70]采用 β-葡萄糖苷酶对苹果、梨、甜橙等果汁及酒类进行风味品质改善，发现 β-葡萄糖苷酶对红酒的增香效果明显，且对多种果蔬汁中挥发性成分组成有显著影响，尤其对杏汁中 α-蒎烯、α-松油烯等物质含量影响最为显著。基于以上 β-葡萄糖苷酶在果汁增香领域的研究进展，本论文在摒弃单纯采用物质含量差异主观臆断改善风味品质的前提下，建立关键呈香物质与整体呈香属性间的效应关系，并以此进行蟠桃汁 β-葡萄糖苷酶酶解技术探析，是本论文的一项重要研究内容。

1.4 特征性风味指纹图谱构建

食品的整体感官属性是由挥发性呈味成分所形成的香气轮廓[71]，协同糖、有机酸、呈味氨基酸等非挥发性物质而共同呈现[72, 73]。目前已有大量研究证实食品的风味属性是多种挥发性香气成分以特定的定量定性组合形成协同互作效应的结果[74]，各单体物质含量的变化都可能导致食品整体风味特性改变[75]，因此仅从一种或几种香气物质体现水果整体的风味品质是不科学及不严谨的[76]，而无法为风味品质控制技术的建立找到可靠依据，应充分考虑食品风味本身的复杂性，在明晰各种挥发性香气成分间内在联系及互作效应的基础上才可实现整体风味轮廓的标准化控制[77]，此外，结合食品风味品质评价及消费者选择倾向考虑，挥发性风味成分作为主观评价的重要影响因素在整体感官贡献率中占主导地位，因此对食品加工生产过程中风味品质变化规律评价时，可依挥发性呈味物质组成对食品特征风味轮廓拟合程度的响应值为重要指标实施定向强化。果汁[78]、肉

类[79]、酒类[80]、乳制品[81]等各类食品中挥发性呈味物质构成非常复杂，也正是由于多种挥发性物质在含量或是种类上的细微差异，即便是不同产地或不同加工方式条件下的同源产品也会呈现显著的风味差异[82]。如何将宏观层面人工感官评价结果与不同风味物质数据集进行科学准确关联，同时对复杂的数据集进行有效信息的精确筛选是食品风味评价的难点，也是本论文研究的重点所在，结合现有风味解析与检测方法分析，可通过感官嗅闻鉴别[83, 84]结合挥发性物质浓度与阈值函数[85-87]，准确辨析各种挥发性成分在特定浓度或载体中是否具有香气贡献[88]，以期在剔除高阈值或低贡献率挥发性成分的基础上达到科学构建特征成分指纹图谱的目的，预期结果可为食品风味品质控制及标准感官评价监测体系建立提供借鉴，为后期果汁产品的开发提供理论与技术依据。

1.4.1 特征风味指纹图谱研究进展

起源于中医药材质量评价的指纹图谱逐渐成为食品质量评价与辨伪及产地溯源等领域的重要分析技术[8]。我国最早应用于中药材质量评价领域的特征指纹图谱，主要是通过提取物分离、鉴定和定量后，筛选不同品种或产地中药材中化学成分种类及含量等特征信息而构建[89]，以达到对中药材真伪辨别及品质评价的目的[90]。随着指纹图谱技术的发展与推广应用，目前已有许多学者在果蔬汁[91, 92]、食用油[93, 94]、茶酒 [95]、传统香料[96, 97]及工业香精[98]等领域开展了应用基础研究，在食品产地追溯、品质评价、仿真度预测等领域得到了广泛认可。指纹图谱构建的理念在于将色谱数据或其他相应数据与多种统计学方法相结合，可将庞大冗杂的数据信息进行提取、筛选或简化，从中分离出能够表征食品内在质量的关键特征信息，因其具有整体性、特征性、稳定性的特点，而在揭示特征挥发性风味成分与整体感官属性内在联系方面具有明显优势[99]。色谱与光谱等现代分析技术能够鉴定与监测食品的挥发或非挥发性成分种类及物理结构变化，可用于食品特征指纹信息的提取，同时随着电子鼻、电子舌等智能仿生技术的发展，其作为食品风味检测手段也同时被广泛运用于指纹图谱的构建。

气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)首先通过色谱柱实现复杂挥发性组分的分离，然后在质谱端通过电子击碎所分离的挥发性物质分子结构，并对特征离子碎片实施扫描识别，以实现目标化合物分子结构的定性分析，也可通过外标法或内标法对目标化合物进行定量分析，根据质谱配置不同检测限可达到 $1\times10^{-4}\%$-$1\times10^{-7}\%$水平[100]。GC-MS 的优点是能够将复杂的挥发性物质体系进行分离并可进行目标物定量，与此同时所配质谱库能够提供目标化合物信息。Lv 等[101]采用 GC-MS 指纹图谱技术对 18 种普洱茶进行挥发性化合物分离鉴定，实现了云南地区 12 种普洱茶与我国其他产区 6 种普洱茶的有效区分，同时明确了导致不同产区普洱茶风味品质差异性的关键挥发性物质；Vervoort 等[102]采用顶空萃取联合 GC-MS 技术构建了橙汁标准指纹图谱，对照分析了高压杀菌及脉冲电场杀菌技术与传统巴氏杀菌处理样品与指纹图谱的拟合程度，借此评价了不同杀菌方式在风味品质保持方面的优缺点，通过预测不同杀菌方式所得橙汁在贮藏期内风味品质变化，验证了该指纹图谱用于橙汁风味品质评价与监控的有效性；Shan 等[103]在通过 GC-MS 技术对甜橙汁挥发性成分表征后，结合描述性感官评价与电子鼻、电子舌等其

他检测手段对挥发性成分进行筛选，并通过 PLSR 构建了甜橙汁嗅感与味感相关性模型，揭示了挥发性成分与嗅感以及整体感官属性间的内在联系，为后期甜橙汁生产及贮藏保鲜提供借鉴。本论文基于 GC-MS 分析结合多种感官检测手段及人工感官评价[104]，采用化学计量学与数理统计分析明确目标物质阈值及绝对含量，筛选可表征果汁整体风味轮廓的特征物质，并基于指纹信息对蟠桃汁风味品质实施评价及真伪鉴别[77,105]，预期研究结果可为蟠桃汁加工技术创新提供理论与技术支持。

1.4.2 特征风味指纹图谱的建立方法

由于食品香气属性是由多种不同类型挥发性化合物相互协同作用而呈现，其复杂性与多样性成为决定了食品感官品质标准化及可控化研究的关键壁垒问题[106-108]。特征风味指纹图谱的构建不仅可以实现产品的真伪辨识，以风味品质快速检测鉴定的需求，而且作为一种有效的品质控制与风味拟合度评价手段，可为本论文蟠桃汁酶解技术探析提供科学方法借鉴。指纹图谱的构建主要通过 3 个步骤实现，首先，基于色谱或气质联用等检测手段富集检测样品中的共有挥发性物质，并对其定性与定量分析；然后，采用电子鼻、电子舌及感官评价等手段对所得共有成分进行筛选，确定风味贡献率较大的关键香气成分；最后，将获取的关键风味物质作为溯源物质，结合偏最小二乘回归(PLSR)、主成分分析(PCA)、偏最小二乘判别分析(PLS-DA)、聚类分析(HCA)等统计学方法验证各样品以该指纹信息所构建共有模式的相似性与稳定性，通过测算实测值与指纹图谱拟合程度而对产品品质进行真实度评价。Willmes 等[109]采用高效液相色谱(HPLC)与二维液相质谱(LC-MS/MS)法对苹果汁与梨汁中的代谢产物进行定性与定量分析，明确了 4-O-对香豆酰奎宁酸为苹果汁的特征指纹信息物质，异鼠李素-3-邻芦丁苷和脱落酸为梨汁的特征指纹信息物质，通过此指纹信息可对掺假苹果汁与梨汁样品进行有效辨识；Li 等[110]以可见/近远红外光谱(Vis/NIR spectroscopy)检测信息及可溶性固形物含量差异信息构建了茶饮料指纹图谱，实现了茶饮料产品风味品质的快速评价；Mahdi 等[111]运用电子鼻响应值对老化状态啤酒的特征指纹信息进行了筛选，结合 PCA 对监测样品进行了共有模式判别，发现该指纹信息能够有效区分老化啤酒与不含酒精样本，再通过人工神经网络分析法实现对不同类别老化啤酒样品准确识别与区分。

1.4.3 蟠桃汁特征风味指纹图谱建立的必要性

蟠桃味美多汁、营养丰富，是驰名中外的特色水果资源，针对现有鲜果贮藏保鲜技术和果汁加工技术不能有效控制产品风味品质的产业需求现状，结合蟠桃汁特征风味指纹图谱研究创制风味品质控制技术，成为突破蟠桃产业化瓶颈的重要途径。果实品种与自然环境条件的多样化与差异性势必会导致不同品种果实及相同品种不同地区果实风味感官品质的明显差异。如 Cano 等[112]对 4 种黄桃的挥发性物质进行分析，虽然在 41 种共检物质中可以预测乙酸己酯、2-甲基乙酸丁酯、辛酸乙酯、γ-己内酯、γ-辛内酯、己醛、2-乙基-1-己烯醛、1,3-丁二酮、乙酸、己醇、2-乙基-1-己醇、2-乙基-1-己醇为黄桃关键挥发性成分，但此 4 种黄桃挥发性物质组成均存在显著差异；Ortiz 等[113]对新采摘的西班牙不同地区油桃(Tardibelle)进行了风味物质的分离与鉴定，在鉴定出的 28 种挥

发性成分中，酯类挥发性成分在各地区油桃中分布相似，然而各地区油桃样本整体风味物质组成也存在明显差异性，其中醇类、醛类和酮类物质组成分布差异性最为明显；Spadoni 等[114]对意大利同一产地的 3 类油桃果实进行挥发性组成分析，然而在共鉴定出 50 种物质中未发现诸如乙酸乙酯、(E)-2-己烯-1-醇等桃果实通常所含的挥发性成分。基于上述研究，为科学建立蟠桃汁品质定量定性评价预测模型，提升蟠桃汁加工中风味品质可控程度，本论文在筛选蟠桃汁中关键挥发性风味物质的基础上，建立蟠桃特征风味共有模式以实现蟠桃汁特征性风味品质的准确表征。

1.5 本课题主要研究内容

本论文在对不同产地及不同品种蟠桃调查统计的基础上，并考虑蟠桃果实生长成熟期风味物质与感官品质实时评测的便捷性，首先以新疆石河子蟠桃种植区为样本采集监测基地，探究蟠桃果实在完整生长期内感官品质变化规律，同时解析新鲜蟠桃在 60d 贮藏期内挥发性成分的变化趋势；然后对不同品种及产地蟠桃中挥发性成分进行解析，构建蟠桃特征风味物质指纹图谱及其风味品质评价共有模式；再次基于该特征指纹信息分析蟠桃汁杀菌过程中品质劣变机制，明确蟠桃汁杀菌后与新鲜蟠桃汁共有模式拟合程度降低的规律；最后采用 β-葡萄糖苷酶定向酶解手段探究蟠桃汁风味品质定向调控方法，以期建立整套蟠桃汁风味品质劣变控制技术体系，并通过中试条件优化实现自然香气协调的高品质蟠桃汁产品制备。本论文具体研究内容如下：

(1)蟠桃果实生长期辨识及贮藏期风味轮廓趋化分析。采用 HS-SPME-GC-MS 和常规理化指标检测技术对新疆石河子蟠桃种植区中晚熟型蟠桃生长期内理化指标及挥发性成分进行定期监测，同时采用电子舌和人工感官评价双重方法对生长期内蟠桃口感变化进行检测统计，而后对贮藏保鲜在-1-1℃冷库条件下的成熟期蟠桃，实施 60d 贮藏期果实挥发性风味物质变化规律研究，预期为蟠桃汁原料果采摘期及贮藏期确定提供理论及方法借鉴。

(2)蟠桃鲜榨汁与市售蟠桃汁风味物质与差异化解析。基于所确定的蟠桃汁特征指纹图谱中关键挥发性物质，采用 PCA 分析结合聚类分析明确蟠桃汁在加工前后后品质异化与关键挥发性风味成分丧失规律。

(3)蟠桃汁挥发性物质鉴定及其特征风味指纹图谱构建。通过培训相关感官评价人员获得蟠桃汁风味品质感官描述词词库，采用 GC-MS 对不同产地和不同品种的蟠桃汁挥发性成分进行定性定量分析，结合聚类分析及相似度分析构建蟠桃汁挥发性风味物质指纹图谱，同时采用 PCA 及偏最小二乘判别分析(PLS-DA)验证其共有模式识别的准确性，为蟠桃汁风味品质评价及加工技术创制提供理论依据及技术借鉴。

(4)热杀菌对蟠桃汁中特征风味物质影响规律研究。对比不同热杀菌条件下蟠桃汁特征挥发性成分与感官属性的差异性，通过 PCA 及聚类分析法构建杀菌条件与挥发性成分及感官属性间的相关性模型，明确蟠桃汁在热杀菌后感官品质劣变的主要因素，揭示特征性挥发性物质在热杀菌过程中的变化规律。

(5)蟠桃汁酶解增香技术研究。在蟠桃汁热杀菌后感官品质劣变及特征挥发性物质变化规律明晰的基础上，采用 β-葡萄糖苷酶对杀菌后蟠桃汁实施靶向酶解，明晰蟠桃汁经 β-葡萄糖苷酶酶解后特征挥发性物质及感官属性变化规律，并基于 PLSR 明确各感官属性与挥发性物质间相关性及贡献度，最终采用响应面优化法对 β-葡萄糖苷酶酶解工艺进行优化，获得整套蟠桃汁酶解增香技术参数。

1.6 本课题研究背景及意义

蟠桃皮薄汁多、采收期集中、易受微生物侵染等特点严重制约了蟠桃鲜果贮藏保鲜期的延长，致使新疆乃至全国蟠桃产业长期处于增产而不增收的生产现状，果农会因此失去种植信心而导致许多蟠桃种植地区栽培面积逐渐萎缩。在创新蟠桃鲜果专用贮藏保鲜技术以延长鲜食消费期的同时，蟠桃汁加工已成为蟠桃生产产业链延伸的主要途径，建立迎合市场需求的蟠桃汁产品的标准化加工技术体系，是推动蟠桃产业链延伸及健康持续发展首要解决的关键问题。然而目前由于蟠桃汁产品风味品质异化而导致市场消费程度较低，将食品风味自然呈现理念及调控技术嫁接于日趋萎缩的蟠桃产业，势必会在避免产品同质化现象的同时提升产品品质。果汁中挥发性呈味物质具有如下特征：(1)大多数香气物质为易挥发性物质，特别是在加热或脱水时易与水蒸气协同蒸发散逸；(2)果汁中热敏性物质含量较高易发生物质合成与裂解反应而造成呈香属性变化；(3)香气成分含量与其风味贡献度并不成正相关，多种复杂的香气物质融合相互协同形成特征风味轮廓。因此，在果汁加工中尤其是在热处理环节势必会发生风味轮廓改变，导致产品风味品质降低。探究果汁中特征香气物质保持及其回填机制，完善风味品质评价及调控技术已成为食品风味化学领域重要的研究内容。基于 β-葡萄糖苷酶裂解果汁中键合态物质糖苷键以促进潜在风味物质释放，使果汁呈现自然香型，是改善果汁风味品质劣变的主导途径。

本论文在对我国蟠桃资源深入调查统计的基础上，对生长期至贮藏保鲜期整体过程的蟠桃鲜果风味品质进行系统解析，同时测定蟠桃汁的理化指标并构建蟠桃汁特征挥发性化合物指纹图谱，以特征风味指纹图谱的共有模式为依据，结合我国蟠桃汁加工产业现状，针对蟠桃汁加工过程中明显存在的风味品质劣变问题，对不同品种及产地蟠桃中挥发性成分进行解析，并基于所确定的特征指纹信息分析蟠桃汁杀菌过程中品质劣变机制，明确蟠桃汁杀菌后与新鲜蟠桃汁共有模式拟合程度降低的规律，结合 β-葡萄糖苷酶定向酶解手段探究蟠桃汁风味品质定向调控方法，预期研究结果的中试应用与推广，可切实解决蟠桃汁生产过程中风味品质劣变问题，也为蟠桃汁及其他果汁风味品质评价提供方法借鉴，助力蟠桃产业链延伸及健康持续发展。

第二章　蟠桃果实生长期辨识及贮藏期风味轮廓趋化分析

2.1 前言

为保证蟠桃汁加工原料品质，对果实原料成熟度与采收期及其贮藏保鲜期间风味品质监测评价具有重要意义。蟠桃的整体品质由糖度、固形物含量、色泽、香气及口感品质等因素综合表现，通过监测分析其理化参数、挥发性化合物含量，描述评价新鲜蟠桃果实的感官品质优劣，可基于电子感官分析手段实现蟠桃等水果的果实风味品质快速检测，同时以果实不同生长阶段理化指标表征可反馈蟠桃整体风味品质，为果实生长期鉴别与评价提供技术应用基础。

蟠桃果实从生长到采摘其周期约为 35 天，在生长期及成熟期内蟠桃果实风味品质与理化参数均发生显著性改变。可溶性固形物含量（SSC）作为一项与果实内在品质紧密相关的参数[117, 118]，常以其进行果实生长期评价及最佳采摘时间的确定[119]。同时蟠桃的口感品质也作为评价水果成熟度的重要指标之一，通常以人工描述性感官评价进行界定，然而主观评判的局限性使评价结果缺乏客观性与准确性，通过主观臆断或经验来评价水果风味质量往往缺乏科学性。本研究结合电子舌与描述性感官分析解析蟠桃风味轮廓[121-123]，通过电子舌响应值可对口感特征及各属性响应强度进行标准化表征[124-126]，并能够依照准确数值对不同样品进行区划，同时该评测方法兼具客观性、准确性、便捷性及检测成本低等优点[120]。蟠桃鲜果保鲜过程中风味品质的劣变归结于易挥发性成分的丧失和新物质的形成，目前多数关于蟠桃保鲜与品质控制的研究仅仅局限于理化指标差异性评价而缺乏标准化评测方法，难以有效筛选标准化原料以保证蟠桃汁加工品质的标准化。

本研究预期采用 GC-MS 技术结合描述性感官评价方法实现贮藏保鲜期间蟠桃果实品质变化的科学评价，同时采用主成分分析（PCA）和层次聚类分析（HCA）相结合的方法提取挥发性物质特征信息，以提高数据处理效率而避免重要信息的丢失，并将所得理化参数数据及描述性感官鉴评数据进行多元线性回归解析，构建生长期和风味品质效应预测模型，从而对蟠桃生长期及贮藏保鲜过程中呈味差异进行评价。以期基于感官评价结合 GC-MS、电子舌等检测手段，建立蟠桃生长期与贮藏保鲜期间风味品质变化的快速鉴评与监测方法，为蟠桃汁原料最佳采收时间确定及果汁风味品质评价提供较为科学借鉴。

2.2 材料与方法

2.2.1 试验材料

在新疆石河子市蟠桃种植区（85°58′10.9698″ E, 44°15′29.1636″ N）进行生长期与成熟期蟠桃样本采样，品种为“新蟠 1 号”。在蟠桃生长期内每隔 5 天进行 1 次实地采摘，直至蟠桃完全达到成熟为止，各采摘果实样本依次命名为 F1-F7，所采摘蟠桃均通过人工挑选以剔除形态变异果、损伤果，选取无病虫害及损伤且个体大小较为相似的蟠桃果

实为待试样本。所得样本避免堆积产生水汽需摊放后置于-1-1℃冷库内保鲜，同时在采摘当天对其各项理化参数即开始检测。所用化学试剂除标准品外均为分析纯，内标物 2-辛醇及正构烷烃（C_7-C_{40}）购于美国 Sigma-Aldrich 公司。

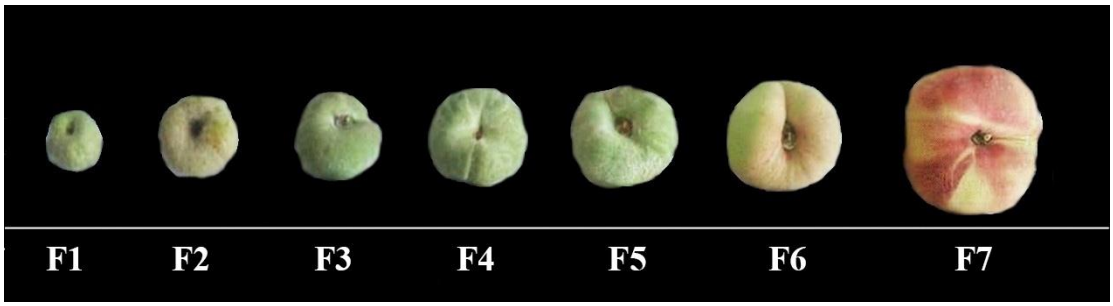


图 2-1 不同生长期蟠桃采摘样品形态表征

Fig.2-1 Morphological characterization of peach picking samples at different maturity stages

2.2.2 主要试验设备

萃取装置：75 μm CAR/PDMS（红色）萃取头，美国 Supleco 公司；手动进样器，美国 Supleco 公司；气质联用仪：5977A 质谱-7890B 色谱，单四级杆，美国安捷伦公司；TS-5000Z 型电子舌味觉分析系统，日本 INSENT 公司；HH-SBF11 低速皮渣分离原浆机，韩国 Hurom 公司；MASTER-4M 高精度手持测糖仪，日本 ATAGO 公司。

2.2.3 不同生长期蟠桃样本预处理

待测蟠桃样本从冷库取出后在室温（25℃）条件下放置 0.5 h 后，待其恢复至室温后，用干燥无味纸巾擦净表面水分，将处理完毕后的蟠桃随机分成两组，分别用于理化指标测定、挥发性成分与电子舌检测。理化指标测量组在处理前，随机选取 20 个蟠桃样本进行重量、直径及外观描述评价，评价完成后将蟠桃去核、切成小块后放入低速皮渣分离榨汁机（40r/min）中榨汁，将所得桃汁用 80 目尼龙纱布过滤，所得样品迅速装入玻璃瓶密封待检测各项指标，为保证挥发性成分与电子舌检测的低误差，依次将所有蟠桃样本置于-80℃条件下冻藏，待样品整理完毕后进行挥发性成分与电子舌检测。

2.2.4 分析方法

2.2.4.1 理化参数测定

可溶性固形物含量（SSC）测定：具体参照 GB/T 12295-1990 的测定方法[127]。

还原糖测定：具体参照 GB/T 5009.7-2003 的测定方法[128]。

蔗糖测定：具体参照 GB 5009.8-2016 的测定方法[129]。

2.2.4.2 电子舌分析

在样品电子舌检测前，将冻藏蟠桃样本放置于冰水中缓慢解冻，解冻后蟠桃样本用自来水冲洗，然后依次去皮、去核、切块。随后将 100g 样品与 100mL 蒸馏水混合，采用低速榨汁机在室温（27℃）条件下制汁。榨汁后所得桃汁样品用低温离心机在 4℃ 、3000 rpm 条件下离心 15 min，取上清液用两层（约 80 目）纱布过滤，不同生长期的蟠桃样本均采用相同方法预处理，所得蟠桃清汁进行电子舌分析。TS-5000Z 型电子舌检

测器是由五种传感器组成，采用 Ag/AgCl 参比电极与多通道脂/聚合物膜电极相结合[130]的方式测量味觉强度[131]。各涂层传感器与参比电极间的电位差决定了蟠桃汁味感属性的强度值。在该检测模式条件下，待标准溶液中各感应电极膜电位稳定后，用 5 个传感器对不同生长期待测样品进行 4 次自动取样。根据电子舌操作规范剔除第一次运行数据，从而降低系统误差以保证电子舌系统的稳定性[132]。参考液（人工唾液、无味样品）由 30 mM 氯化钾溶液和 0.3 mM 酒石酸溶液组成，最终分别确定酸味、咸味和无味点（零点）为-13、-6 和 0。若样品感官属性响应值低于无味点标准线，则认定样品无该味道。根据电子舌检测范围，TS-5000Z 型电子舌味觉分析系统可用于描述评价不同生长期蟠桃样品中酸味（sourness）、苦味（bitterness）、涩味（astringency）、苦味回味（aftertaste-A）、涩味回味（aftertaste-B）、丰富度（richness）、鲜味（umami）和咸味（saltness）。不同生长期蟠桃检测样品做 4 次循环，去掉第 1 次循环取后 3 次的平均值，从图 2-2 中可分析出传感器响应稳定且具有良好的再现性，从而确定该数据的科学性与可靠性。

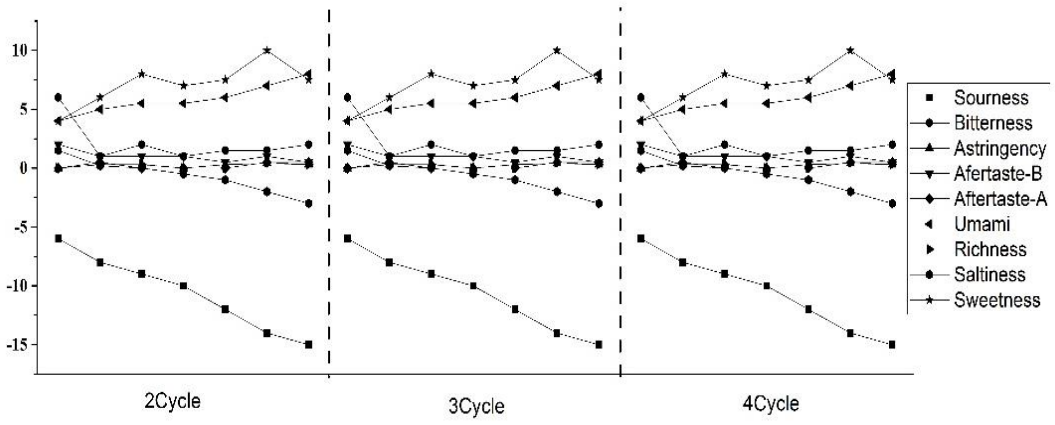


图 2-2 电子舌后三次循环测试的响应折线图

Fig.2-2 The response line diagram of three times cycle test of electronic tongue

2.2.4.3 HS-SPME 挥发性成分萃取方法

进行挥发性成分萃取前预先将 SPME 纤维头（75μm CAR/PDMS 萃取头）插入气质进样口内在 250℃条件下进行老化（活化），解析直至无明显杂峰、基线平稳且检测背景中无明显底噪为止。随后参照 2.2.3 的方法将蟠桃样品制成蟠桃汁备用，取 5g 蟠桃汁样品加入气质专用的 15 mL 顶空瓶中，加入时不可将液体粘壁，同时将 2-辛醇（15μL，0.1μg/μL）作为内标加入其中，混合均匀后采用封口膜尽快密封，并将顶空瓶置于 45℃的水浴中顶空温浴 10 min，随后将顶空固相微萃取纤维插入至顶空瓶瓶口下方 1/3 处，不可触壁及沾上液体，吸附 20min 后将纤维快速插入气相色谱系统进样口，250℃条件下热脱附 7 min，所有样品均平行进行 3 次萃取对照，解析完成后启动气质检测。

2.2.4.4 GC-MS 检测分析条件

气相色谱柱型号为 HP-INNOWAX 毛细管柱，柱长 30m×0.25mm×0.25μm（美国

Agilent 公司）；柱箱初始温度保持为 40℃，维持 5 min，然后以 5℃/min 的速率依次升温至 90℃、140℃、190℃、240℃，各升温梯度中间均间隔 5min，梯度升温结束后保持 10min 不变。进样口温度为 250℃，载气为高纯度氦气（He，99.999%），流速模式为恒流模式，流速为 0.9 mL/min，质谱与气相连接处传输线辅助加热器温度为 260℃。质谱条件为电子电离电压 70 eV、灯丝电流 80 mA、电子倍增器电压 1000 V、离子源温度 230℃、四级杆温度 150℃、扫描质量范围 35*m/z*~650 *m/z*、扫描速率 4.37 scan/s（全扫描模式），且无溶剂延迟。随后在相同条件下单独进行正构烷烃气质分析，并通过保留指数法(KI)鉴定目标挥发物。

2.2.4.5 挥发性成分的定性与定量

定性方法：所得质谱结果采用安捷伦气质自带 Mass Hunter 7.0 数据系统结合 NIST 14 谱库自动解谱，选取评分＞70 分的检测结果且匹配度大于 700 的物质。

定量方法：采用峰面积归一法与内标法计算目标物含量。

2.2.4.6 味觉感官描述词库建立及感官评价人员培训

感官评价小组成员均参与过描述性感官分析和定量描述性分析的相关试验，评价员组成（4 女 2 男）均具有前期经验积累[133]。在对蟠桃进行味觉感官评价前，首先用 2 天时间通过品尝后讨论描述蟠桃的口味特性，准确定位各感官属性的感知区别。随后将不同生长期的待测蟠桃样本各分 3 份随机编号，采用 10 分制感官评价法进行评价（0=弱，10=极强）[134]。表 2-1 显示了经感官评价人员总结得出的用于味觉感官评价的味道特征描述词库及相关具体描述。经过训练的评价小组成员需对每组盲编号样品平行评价 3 次，并在当天整体时间段内完成蟠桃味觉感观评价测试（具体的榨汁步骤与 2.2.3 节的方法相同）。在感官评价前需对所有不同生长期的待测蟠桃样品随机设置 3 位数的标签，并按随机顺序呈递给感官评价人员进行评估。每个样品评价间隔需进行超过 30 秒的清水漱口来实现口腔清洁，但间隔时间不宜过长[133]，每进行一轮感官评价后，感官小组成员被给予不少于 15 分钟的自由休息时间以减少味觉疲劳。

表 2-1 蟠桃果实描述性感官词库的建立

Table 2-1 Vocabulary developed to describe the taste of flat peach fruits

感官属性	感官词描述
青涩味（Astringency）	具有明显的涩味或类似未成熟果实的青涩感。
汁液丰富感（Juicy）	入口后由果实汁液含量高低所赋予的味觉饱满度。
苦味（Bitterness）	在咀嚼或吞咽后所产生的类似中药苦味的后味。
甜味（Sweetness）	典型甜味，入口即能感觉到的类似甜饮料或糖水口感。
甜味回味（Sweet overall）	甜味持续感，即在吞咽后仍能感觉到的微甜感，类似果糖或蜂蜜吞咽后的甜味回味感。
酸味（Sourness）	入口即能感知的明显酸味感，同柠檬或白醋酸味反馈。

2.2.5 **数据处理方法**

聚类分析、主成分分析等相关分析，使用 SPSS18.0 和 Excel2013 数据分析软件进行数据处理和相关性模型构建。质谱结果解析采用 Mass Hunter 7.0 系统及 NIST 14 数据处

理软件，图形绘制采用 Origin 8.5 及 ChemWin5.0。

2.3 结果与讨论

2.3.1 不同生长期蟠桃理化参数

根据 2.2.4.1 中的检测手段分别对不同生长期蟠桃采摘样品中总糖、还原糖、可溶性固形物、重量及果实直径等基本理化指标进行测定，结果见表 2-2。

表 2-2 不同生长期蟠桃样品理化参数

Table2-2 Physicochemical parameters of flat peach with different maturity

理化参数	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
总糖%	1.31±0.82^{a}	1.73±0.91^{a}	3.51±0.54^{ab}	6.18±0.61^{b}	7.32±0.35^{b}	9.05±0.55^{c}	10.15±0.71^{c}
还原糖%	0.04±0.01^{a}	0.13±0.07^{a}	1.84±0,14^{b}	2.33±0.23^{b}	2.43±0.74^{b}	2.17±0.53^{b}	4.33±0.19^{c}
SSC（°Bx）	10.50±0.05^{a}	11.50±0.00^{a}	12.00±0.00^{ab}	11.50±0.50^{a}	11.50±0.50^{a}	12.00±0.50^{ab}	14.00±0.00^{c}
质量（g）	23.30±2.50^{a}	35.10±3.90^{a}	40.80±2.40^{b}	60.30±11.50^{b}	80.50±19.30^{b}	185.10±15.90^{bc}	233.3±22.90^{c}
直径（cm）	3.00±0.5^{a}	5.00±0.50^{b}	5.90±0.40^{b}	6.00±0.50^{b}	7.00±0.50^{c}	7.50±0.50^{c}	9.00±0.50^{d}

注：“abc”为 ANOVA 方差结果分析，平均值±SD 与不同小写字母在 p<0.05 时有显著性差异。

由于新疆等西北地区具有昼夜温差大，日照时间长等特点，蟠桃在生长过程中糖分的积累效应相比于其他地区具有明显优势，蟠桃在生长前期体积增加及营养成分的积累使得其对水分需求较高，而到生长中后期蟠桃需要积累糖分，因此种植户会减少浇水次数，平均在蟠桃生长过程中种植户会根据实际情况间隔 5-15 天进行浇水。通过总糖与还原糖含量的变化趋势可明显反映蟠桃果实中糖分的积累效应主要发生在成熟期附近进行，在蟠桃幼果生长期，果实中糖分含量相对处于较低水平，同时还原糖（以葡萄糖计）含量近乎为 0，总糖含量也处于极低的水平，此现象持续到蟠桃果实生长期达到 20 天时发生改变，数据分析可以看出 F5 相对于 F1 样品组在总糖以及还原糖含量方面具有明显增加趋势，而进入到蟠桃成熟期阶段（F6-F7），还原糖含量并没有明显的增加，甚至呈现略微降低的趋势，分析原因可能由于在此阶段种植户减少浇水次数与浇水量或当时采摘前气候条件影响所导致，然而 F6 样品相对总糖含量要显著高于 F1-F5 试验组，其含量增加到 9.60%左右。因此，与其他试验样品组感官特性相比，F1 样品果实硬度最高，且颜色呈现为明显的深绿色，水分含量低且切开后褐变速率极快等特征，F6 的硬度相对前 5 组明显降低，同时部分采摘样本其表皮已逐渐呈现微红色或淡黄色，同时在切开果实后其汁液感明显高于前 5 组。完全成熟的蟠桃组 F7 其总糖与还原糖含量均达到果实整体生长期的最高值，同时具有整体表皮呈淡黄色且带有成熟蟠桃果实的特征淡红色，表皮绒毛均匀细密，果实内汁液丰富，整体硬度适中且表皮具有明显的通透感或易剥离感。

另外，研究发现蟠桃从生长到完全成熟前其可溶性固形物含量几乎无明显改变，F1-F6 样品中 SSC 值基本稳定在 11°Bx 左右，F1 与 F6 样品间仅存在 1-1.5 数值差异，然而在蟠桃趋于完全成熟且达到制汁果实可采摘标准阶段，即 F7 蟠桃样本组其 SSC 值

明显升高至 14°Bx，基于该项研究所揭示的蟠桃果实在整体生长、成熟阶段其可溶性固形物明显区划增加规律，因此，可将果实 SSC 值作为制汁蟠桃果实成熟期与采收期判别的重要评价指标与依据。

基于蟠桃果实呈扁平状考虑，果实在生长过程中其体积变化可通过果实直径与重量变化进行评价，由统计表可明显观察到蟠桃果实在生长期 5-25 天阶段，F1-F5 采摘期的果实直径与重量呈规律性线性上升趋势，重量平均增加值为 15.0-20.0g/5 天，直径增加速率为 0.5cm/5 天。然而当蟠桃果实进入 F6-F7 阶段，其果实体积迅速膨大，质量增加速率为 70.0-100.0g/5 天，直径增加速率为 1.0-1.5cm/5 天。因此，蟠桃果实体积膨大趋于平稳、重量增加速率降低或容重趋于恒定值，可作为蟠桃果实生长期判断另一项重要依据。在对蟠桃果实不同成熟期理化指标监测后发现，在果实成熟期其可溶性固形物含量值具有明显上升趋势，同时其体积、重量也会在短期内增加至恒定值，因此选取此两种表观指标作为蟠桃生长期判别具有可靠性。

2.3.2 感官评价分析

采用人工感官评价方法对比分析不同生长期蟠桃果实的风味感官品质。如表 2-3 所示如上 7 个不同阶段的采摘样品的味觉属性强度差异显著（$p<0.05$）。蟠桃果实的涩味、苦味和酸味等感官属性强度随果实生长期的延长而降低，而果实汁液丰富感、甜味和甜味回味感随果实生长期的延长而增加。蟠桃果实的综合味觉感官品质以 F7 样品最高，其汁液丰富感评测指数为 8.67±0.52，甜味与甜味回味感评测指数分别为 8.17±0.41 和 8.00±0.00。同时发现，在不连续生长阶段的 F1 和 F5 蟠桃果实样品中青涩味、苦味和酸味强度基本相似，且显示较高相应度。在 F1 样品中青涩味和酸味的味觉感知强度最为明显，分别为 9.00±0.00 和 9.0±0.0。F2-F5 各样品中酸味属性也有较高的感官强度（分别为 9.00±0.00、8.83±0.41、9.00±0.00 及 8.33±0.52）。综上结果表明模糊性感官评价能够较为明显的区分不同生长期蟠桃果实的各项味觉感官属性及其味觉强度变化。

表 2-3 蟠桃味觉感官属性确定及不同生长期蟠桃感官属性赋值

Table2-3 Determination of taste sensory attributes of flat peach and evaluation of sensory sttributes of flat peach with different maturities

感官属性	蟠桃生长期\成熟期（具体见图 2-1）						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
青涩味	9.00 ± 0.00^{d}	8.67 ± 0.52^{d}	8.5 ± 0.55^{d}	7.67 ± 0.52^{cd}	7.17 ± 0.41^{c}	5.17 ± 0.41^{b}	2.00 ± 0.63^{a}
苦味	7.33 ± 0.52^{c}	7.67 ± 0.52^{cd}	7.5 ± 0.55^{cd}	7.17 ± 0.41^{d}	7.33 ± 0.52^{cd}	4.00 ± 0.63^{b}	2.50 ± 0.55^{a}
汁液丰富感	1.83 ± 0.75^{a}	2.50 ± 0.55^{b}	2.67 ± 0.52^{b}	4.50 ± 0.84^{d}	4.67 ± 0.52^{c}	6.50 ± 0.55^{e}	8.67 ± 0.52^{f}
甜味	1.50 ± 0.55^{a}	1.67 ± 0.52^{a}	2.67 ± 0.52^{b}	2.50 ± 0.55^{a}	2.83 ± 0.41^{b}	5.00 ± 0.00^{c}	8.17 ± 0.41^{d}
甜味回味	1.67 ± 0.52^{a}	2.33 ± 0.52^{a}	2.50 ± 0.55^{b}	2.17 ± 0.75^{b}	2.67 ± 0.52^{c}	3.67 ± 0.52^{d}	8.00 ± 0.00^{e}
酸味	9.00 ± 0.00^{d}	9.00 ± 0.00^{d}	8.83 ± 0.41^{c}	9.00 ± 0.00^{d}	8.33 ± 0.52^{c}	2.83 ± 0.41^{b}	1.00 ± 0.63^{a}

注：“abc”为 ANOVA 方差结果分析，在 $p<0.05$ 时有显著性差异。

2.3.3 基于人工感官属性赋值的不同样品聚类分析

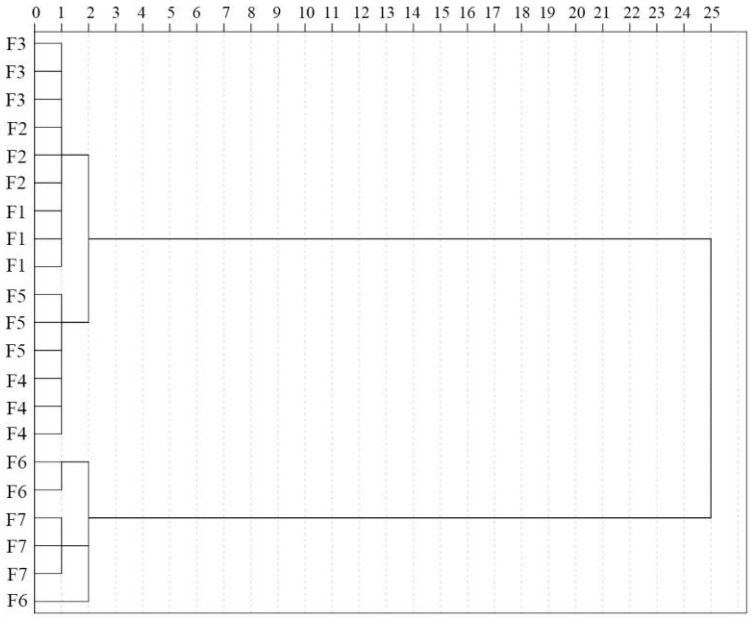


图 2-3 基于感官赋值的不同生长期蟠桃 HCA 分析

Fig.2-3 HCA on human sensory attributes among different peach fruit samples

在确定各组蟠桃样品的不同生长期及各生长期感官属性赋值后，为深入明确描述性感官评价能否有效区分蟠桃不同生长期，以明确制汁蟠桃原料采摘标准。感官属性赋值通过欧氏平方距离进行度量和层次聚类。如图 2-3 结果可发现描述性感官评价结果可用于评价和鉴别蟠桃的生长期，且区分度较高。当欧氏距离小于 2 时，7 组样本被划分为 3 个主要聚类组，即第一组（F1、F2 和 F3）、第二组（F4 和 F5）和第三组（F6 和 F7）。根据树形图结果所示，在欧氏距离＜25 时，聚类分析无法将样本 F1-F5 进行区分，使得所有样品聚类到一个类群，这说明在此欧氏距离间人工感官评价赋分值非常接近而没有区分度，此结果与前期直观感官鉴评结果及蟠桃果实生长阶段各项理化指标的变化规律相似，显示了潜在的内在关联性（表 2-2）。随着聚类距离的增加，直至欧氏距离达到 25 时蟠桃生长成熟阶段的所有 7 组样本形成同一组系，根据层次聚类特点分析，欧氏距离与差异性呈正相关，从而证明成熟期的 F6 与 F7 两组蟠桃样品与生长期其他各组蟠桃样品的感官评价具有显著性差异。综上结果表明，人体味觉感官评价可对不同生长期的蟠桃果实进行较为明显的分类区划，但存在难以精确与客观评价蟠桃生长期的局限性。

2.3.4 不同生长期蟠桃电子舌分析评价

表 2-4 不同生长期蟠桃电子舌感知效应分析

Table2-4 The nalysis on the perception effect of electronic tongue of peach with different maturity

样品名称	酸味	苦味	涩味	苦味回味	涩味回味	鲜味	丰富度	咸味	甜味
F1	-6.12^{a}	5.72^{c}	1.25^{c}	2.31^{c}	0.20^{c}	4.14^{a}	0.72^{bc}	1.35^{e}	4.11^{a}
	-6.03^{a}	5.45^{c}	1.31^{c}	2.34^{c}	0.20^{c}	4.01^{a}	0.75^{bc}	1.33^{e}	4.16^{a}

续表 2-4

	-6.01^{a}	5.51^{c}	1.31^{c}	2.26^{c}	0.20^{c}	4.23^{a}	0.75^{bc}	1.35^{e}	4.09^{a}
	-7.53^{ab}	1.07^{a}	0.93^{ab}	0.18^{a}	0.21^{c}	4.80^{ab}	0.83^{c}	0.39^{d}	5.90^{b}
F2	-7.45^{ab}	1.47^{a}	0.92^{ab}	0.41^{ab}	0.20^{c}	4.80^{ab}	0.89^{cd}	0.35^{d}	5.86^{b}
	-7.45^{ab}	1.85^{ab}	0.94^{ab}	0.53^{b}	0.17^{ab}	4.67^{ab}	0.71^{b}	0.26^{d}	5.79^{b}
	-8.59^{b}	1.42^{a}	0.81^{a}	0.21^{a}	0.20^{c}	5.35^{b}	0.94^{d}	0.08^{cd}	7.66^{d}
F3	-8.56^{b}	1.82^{ab}	0.82^{a}	0.43^{b}	0.19^{b}	5.31^{b}	0.92^{d}	-0.01^{cd}	7.64^{d}
	-8.54^{b}	2.22^{b}	0.88^{a}	0.60^{b}	0.16^{ab}	5.23^{b}	0.83^{c}	-0.14^{cd}	7.48^{d}
	-9.10^{bc}	1.30^{a}	0.92^{ab}	0.22^{a}	0.20^{c}	5.46^{b}	0.84^{c}	-0.26^{c}	6.64^{c}
F4	-9.05^{bc}	1.70^{ab}	0.93^{ab}	0.42^{b}	0.21^{c}	5.44^{b}	0.85^{c}	-0.30^{c}	6.60^{c}
	-9.09^{bc}	2.07^{b}	0.91^{ab}	0.52^{b}	0.18^{b}	5.24^{b}	0.62^{ab}	-0.34^{c}	6.56^{c}
	-10.87^{d}	1.90^{b}	1.11^{b}	0.24^{a}	0.19^{b}	6.23^{c}	0.82^{c}	-1.20^{b}	7.10^{d}
F5	-10.84^{d}	2.28^{b}	1.07^{b}	0.40^{b}	0.15^{ab}	6.12^{c}	0.73^{b}	-1.23^{b}	7.19^{d}
	-10.80^{d}	2.63^{b}	1.08^{b}	0.55^{b}	0.13^{ab}	6.11^{c}	0.74^{b}	-1.23^{b}	7.25^{d}
	-13.54^{de}	1.91^{ab}	0.92^{a}	0.24^{a}	0.10^{a}	7.42^{d}	0.88^{c}	-2.06^{a}	9.63^{e}
F6	-13.18^{de}	2.29^{b}	0.91^{a}	0.40^{ab}	0.07^{a}	7.31^{d}	0.76b	-2.09^{a}	9.66^{e}
	-13.55^{de}	2.66^{b}	0.85^{a}	0.52^{b}	0.03^{b}	7.14^{d}	0.58^{a}	-2.09^{a}	9.65^{e}
	-14.77^{e}	2.13^{b}	0.91^{a}	0.37^{ab}	0.06^{a}	7.97^{d}	0.81^{c}	-2.81^{a}	7.43^{d}
F7	-14.73^{e}	2.46^{b}	0.85^{a}	0.47^{b}	0.03^{a}	7.78^{d}	0.68^{ab}	-2.77^{a}	7.61^{d}
	-14.70^{e}	2.80^{b}	0.79^{a}	0.60^{b}	-0.01^{a}	7.69^{d}	0.51^{a}	-2.75^{a}	7.84^{d}

注：“abc”为 ANOVA 方差结果分析，平均值±SD 与不同小写字母在 $p<0.05$ 有显著性差异。

不同生长期的蟠桃人工感官鉴评具体结果如表 2-4 所示。随着蟠桃生长成熟期的延长，蟠桃酸味、苦味、青涩味、苦味回味感、甜味的味觉强度存在显著差异。但涩味回味感、鲜味、咸味和丰富度并没有随着生长成熟期的延长而呈现相应的增减趋势。基于电子舌味觉分析系统的研究结果表明，以生长成熟的顺延所采集的 F1-F7 蟠桃样品，其酸味味觉强度依次从-6.05 变化为-14.70（其中酸味无味记为-13），而甜味强度依次从 4.17 变化为 7.84（甜味无味记为 0），即，蟠桃果实的甜度随生长成熟期的延长而增加，而酸味的味觉信号强度则随着蟠桃果实的生长变化而减弱，其中成熟时期的 F6 样本的甜度响应值最高在 9.63-9.66 之间，此项电子舌响应强度与人工感官评价结果有差异。另外发现 7 个不同生长期蟠桃样品的青涩味、苦味回味和涩味回味感等此类早期蟠桃初始生长时期的特征口感属性，在经过电子舌分析后能够更为明显的验证前期结论，即，蟠桃随着生长成熟期的延长，青涩味属性响应值在蟠桃整体生长成熟过程中变化不明显，说明蟠桃通过人工味感描述所感知到的甜味渐变规律并不能归结为青涩味或者涩味回味感的降低，可能是甜味的增强而掩盖了涩味的凸显；在咸味属性层面上 F3-F7 样品均低于咸味无味点，由于蟠桃在生长过程中常以无机盐为营养成分供给源，而在此阶段无机盐用量相对降低可能是导致咸味淡化的主要原因。

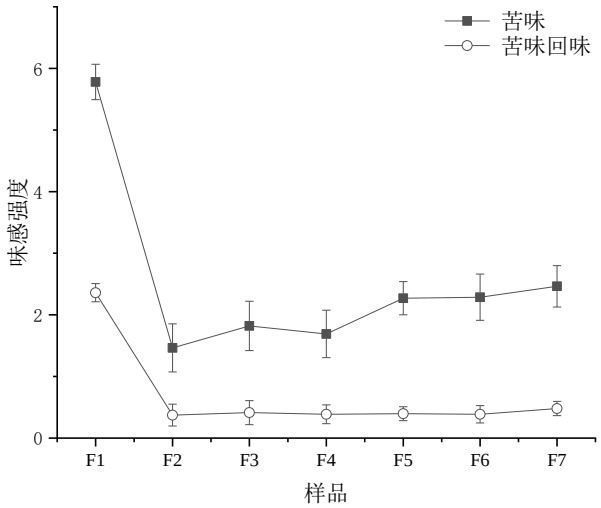


图 2-4 不同生长期蟠桃苦味及苦味回味感的电子舌感应强度分析

Fig.2-4 E-tongue induction intensity analysis of bitterness and aftertaste at different maturities

为明晰蟠桃生长成熟过程中苦味变化情况，采用电子舌味觉分析软件进行苦味及苦味回味感分析，由图 2-4 可直观发现 F1 组蟠桃苦味显著，蟠桃果实生长到 F2 采样阶段时其苦味约降低了 5 个响应强度值，并随着果实的逐渐成熟蟠桃苦味物质会明显降低，随后在成熟过程中蟠桃苦味强度会呈现缓慢而后急剧减弱的趋势，生长过程中从 F2 到 F7 完全成熟期苦味感变化仅为 1 个强度值，从生长期 F2 到完全成熟期 F7 蟠桃果实的苦味回味感几乎无变化，综上推断苦味变化可能是蟠桃口感逐渐复杂化的重要特征来源。

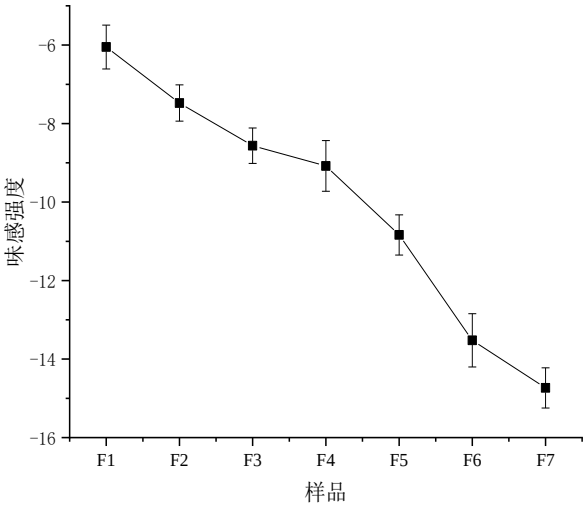


图 2-5 不同生长期蟠桃酸味的电子舌感应强度分析

Fig.2-5 Electronic tongue induction intensity analysis of sourness at different maturities

如图 2-5 所示，在通过电子舌对 7 个不同时期蟠桃酸味的变化趋势进行对照分析发现，随着蟠桃成熟期延长，蟠桃酸味逐渐弱化，在前期 F1-F4 样本的生长期间蟠桃酸味值呈逐渐降低趋势，各生长期采摘的样本间酸味值约相差 1 个响应强度值，而前期描述性感官评价却可明显感觉到酸味的变化趋势，从 F5 所在生长期开始蟠桃的酸味响应值呈显著下降趋势，各时期酸味差值达到 2 个响应强度值以上，从 F6 所在生长期以后蟠桃的酸味值低于无味点，表明人工感官对此酸味强度已无法有效辨识。

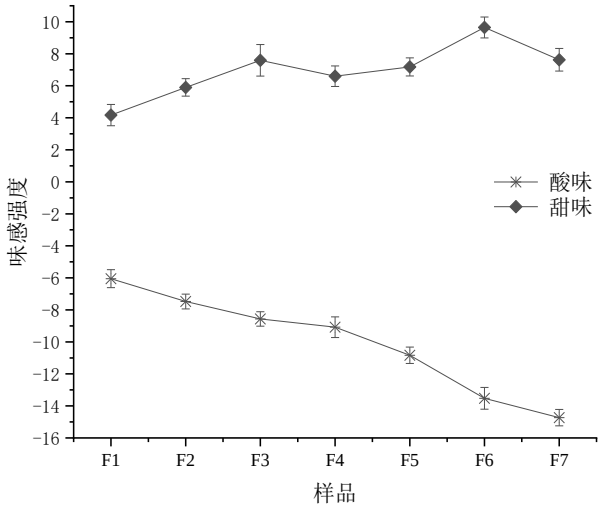


图 2-6 不同生长期蟠桃酸味甜味电子舌感应强度分析

Fig.2-6 E-tongue induction intensity analysis of sourness and sweetness at different maturities

甜味是蟠桃重要的味觉指标，从图 2-6 可分析得出随着蟠桃的不断成熟，其甜味整体呈现逐渐增强的趋势。其中在 F6 采摘时期果实甜味响应值最高，而达到完全成熟时其甜味强度又出现略有降低现象，其变化约为 2 个响应强度值，所产生的甜味感知度变化较为明显。酸味与甜味是蟠桃的主要味觉特征，通常两者互相融合感知其酸甜味感，蟠桃成熟过程中酸味逐渐降低，而甜味逐渐增大，此变化规律符合感官评价人员对不同生长期蟠桃口感的真实感知度。

如图 2-7 所示，基于电子味觉检测系统数据信息进行聚类分析，通过对比人工感官评价数据聚类分析结果，考察电子舌的各感官属性响应值数据的在聚类分析中的识别效果。层次聚类树状图能实现不同生长期蟠桃果实之间相关性可视化。7 组样本在欧式距离小于 2 时可明显分为 4 组，即第 1 组（F1）、第 2 组（F2 和 F4）、第 3 组（F5）和第 4 组（F6 和 F7）。与此同时，当欧氏距离为 18 时，所有蟠桃样品均归为两类，且呈现与人工味觉感官评价结果相似的趋势，但对于生长期各蟠桃及 F1-F5 各样品将区划方面，电子舌响应感知要比人工感官评价更加精确和细化。

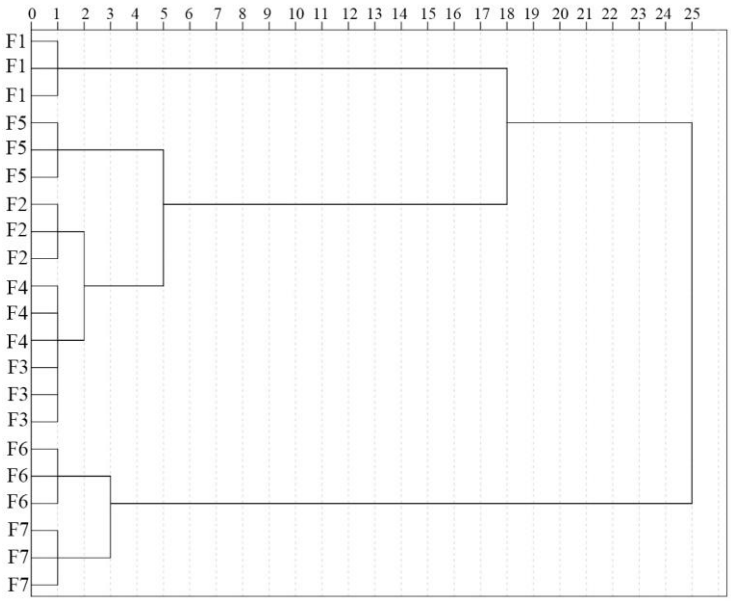


图 2-7 不同生长期蟠桃的电子舌响应数据的 HCA 分析

Fig.2-7 HCA analysis of electronic tongue response data of flat peach at different maturities

因此通过本项研究得出：采用人工感官评价结合电子舌评价的双重鉴评方法可对不同生长期蟠桃感官品质进行有效可靠的区分，可实现制汁蟠桃果实品质的科学评价与准确筛选。正如国内外相关学者在其他领域的前期应用研究，人工感官评价与电子舌评价相结合的双重鉴评方法是开展产品品质标准化评价的重要途径。如可采用人工感官鉴评和电子舌评价相结合的方法对不同苹果汁的品质进行辨识[135]，通过电子舌味觉系统对我国绿茶进行品质鉴定[136]和等级评定[134]；也有相关报道表明电子舌系统和感官评估相结合可应用于蘑菇提取物鲜味的味觉准确感知，甚至可对 17 种食用菌进行鲜味强度分级及品种鉴别[120]。因此，本论文研究启示利用电子舌味觉分析系统可模拟人体感官效应对不同生长期或生长期的蟠桃味觉感官属性进行快速辨识，以期代替人工直接感官而判断蟠桃的口感品质是否达到采摘或制汁原料供求标准，同时也避免了由于单纯采用人工感官评价所导致鉴评结果的主观局限性，以及采收时间的不确定性或品质的显著偏差现象。

2.3.5 感官赋值与理化参数相关性模型构建

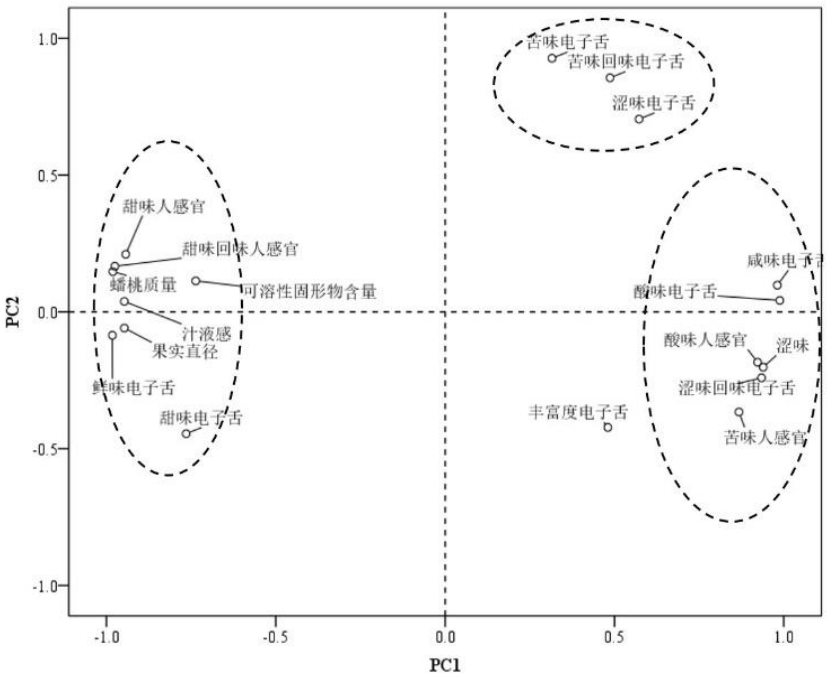


图 2-8 感官属性与理化参数相关性分析模型

Fig. 2-8 The correlation analysis model between sensory attributes and physicochemical parameters

应用主成分分析（PCA）构建感官评价赋值与电子舌味觉响应值和理化指标参数间的相关性预测模型，揭示各类指标间的内在联系。如图 2-8 所示，PCA 预测模型的前两个主成分（PC1 和 PC2）的累积方差贡献率为 87.467%，选取 PC1 和 PC2 构建 PCA 预测模型。x-矩阵由 7 个不同成熟等级的蟠桃果实组成，y-矩阵为感官属性和理化指标。该 PCA 预测模型能够准确地识别和解释所有感官属性和理化指标关联性，表明所构建的 PCA 预测模型具有科学性和可靠性。

PCA 预测模型将所有因素分为 3 组：第一组包含汁液丰富感、甜度、蟠桃重量、鲜味、甜味人工评价、甜味回味人工评价、果实直径、可溶性固形物含量；第 2 组含苦味、涩味、苦味回味等电子舌评价；第 3 组含咸味电子舌评价、酸味人工评价、涩味人工评价、涩味回味、苦味人工评价等。如图所示第 1 组和第 3 组对称分布在载荷图的两侧，第 2 组位于 PCA 载荷图的右上区域，与第 3 组距离较近。因此，第 1 组和第 3 组、第 1 组和第 2 组均呈显著负相关，而第 2 组和 3 组间表现为正相关，说明这两组所表征的因素在蟠桃生长期内具有相近的变化趋势。

同时品质正向味觉属性均呈聚合状态且空间距离非常接近，而表征为不悦味觉的负向属性也均聚成聚合状态，分成了两组而位于同侧。通过主成分分析发现图左侧聚集了具有令人愉快的正向感官属性，其中果实重量、直径和可溶性固体含量间存在显著正相关性。参照感官试验研究结果，随着蟠桃果实生长成熟时间的延长，蟠桃的口感品质也明显提升，这也从侧面反馈果实营养成分及呈味物质累积量的协同增加，除正向品质感

官属性外，咸味、酸味、青涩味、苦味及其回味感均在相应的区限内。在不同生长成熟期蟠桃味觉感官品质评价层面，PCA 分析结果再次验证了人工感官味觉鉴评与电子舌味觉响应强度结果的一致性。本项研究结果揭示电子舌可用于蟠桃生长期准确判断及蟠桃各感官属性的可靠区划，通过电子舌在蟠桃果实生长期判别中的科学应用，可在避免人体味觉感官差异性以及降低人为误差的同时，实现蟠桃采收期的快速、准确判断与确定，可为种植户和蟠桃汁生产企业选择合适的采收期提供较为准确的方法。同时，可在有效确立贮藏期蟠桃原料风味品质标准化的基础上，揭示蟠桃贮藏时间与挥发性物质种类和含量及其风味轮廓内在联系，也为本论文主体开展蟠桃汁风味物质解析及风味品质控制技术研究提供先决条件。针对不同贮藏保鲜期蟠桃挥发性物质组成分析详见下页。

2.3.6 不同贮藏保鲜期蟠桃挥发性物质组成分析

表 2-5 蟠桃不同保鲜期挥发性物质组分分析

Table2-5 The analysis of volatile compounds in flat peach during different storage periods

序号	中文名	英文名称	保留时间 (RT/min)	分子式	新鲜	10D	20D	30D	40D	50D	60D
1	壬醛	Nonanal	1.116	$C_9H_{18}O$	0.85	2.35	2.37	0.75	2.04	2.82	1.22
2	1-辛烯	1-Octene	1.129	C_8H_{16}	-	-	0.37	0.24	-	0.56	-
3	2 -羟基丙醛	2 - hydroxy - propanal	2.256	$C_3H_6O_2$	0.92	0.13	-	-	-	-	-
4	1-氯壬烷	1-Chloro-Nonane	3.216	$C_9H_{19}Cl$	-	-	-	-	-	2.36	1.16
5	己醛	Hexanal	3.817	$C_6H_{12}O$	-	-	-	3.55	-	-	-
6	1-庚炔-3-醇	1-Heptyn-3-ol	5.583	$C_7H_{12}O$	-	-	-	0.27	-	-	-
7	庚醛	Heptanal	5.621	$C_7H_{14}O$	-	-	-	-	-	-	0.39
8	丙位己内酯	5-Ethyldihydro-2(3H)-furanone	5.654	$C_6H_{10}O_2$	-	-	3.28	-	-	-	-
9	1-辛烯	1-Octene	5.98	C_8H_{16}	-	-	-	-	-	-	1.09
10	草酸烯丙基壬酯	Oxalic acid, allyl nonylester	5.988	$C_{14}H_{24}O_4$	0.29	0.79	-	2.33	-	0.88	-
11	丙位癸内酯	5-Hexyldihydro-2(3H)-Furanone	6.138	$C_{10}H_{18}O_2$	-	-	6.42	-	-	-	-
12	2-己烯醛	2-Hexenal	6.314	$C_6H_{10}O$	1.94	0.07	-	4.62	3.41	2.86	2.98
13	乙酸己酯	Hexyl acetate	7.157	$C_8H_{16}O_2$	7.50	1.35	-	-	-	-	-
14	烯丙基壬酯	Oxalic acid, allyl nonyl ester	8.397	$C_{14}H_{24}O_4$	-	-	-	-	1.24	1.47	0.83
15	2-己烯-1-醇乙酸酯	2-Hexen-1-ol, acetate	8.923	$C_8H_{14}O_2$	4.00	-	-	-	-	-	-
16	1-己醇	1-Hexanol	9.704	$C_6H_{14}O$	2.71	1.35	1.81	4.01	4.19	2.13	3.17
17	4-甲基-1-戊醇	1-Pentanol, 4-methyl-	9.745	$C_6H_{14}O$	0.15	0.04	-	-	-	-	-
18	碳酸壬烯乙烯基酯	Carbonic acid, nonyl vinyl ester	9.829	$C_{12}H_{22}O_3$	-	-	4.49	-	-	-	-
19	3-己烯-1-醇	3-Hexen-1-ol	10.793	$C_6H_{12}O$	0.13	0.71	-	-	-	-	-
20	(E)-2-己烯-1-醇	(E)-2-Hexen-1-ol	11.494	$C_6H_{12}O$	0.41	0.25	-	-	0.51	-	-
21	丙烯癸酯	Oxalic acid, allyl decyl ester	11.511	$C_{15}H_{26}O_4$	-	0.14	-	1.70	-	0.88	0.71
22	5-甲基-2-庚醇	5-Methyl-2-Heptanol	11.975	$C_8H_{18}O$	-	-	-	1.40	0.69	0.65	0.34

续表 2-5

23	(E)-2-辛烯醛	(E)-Oct-2-enal	12.254	$C_8H_{14}O$	-	0.51	0.35	0.54	-	0.67	1.51
24	1-辛烯-3-醇	1-Octen-3-ol	13.265	$C_8H_{16}O$	-	-	-	0.50	1.11	1.10	1.63
25	草酸烯丙壬酯	Oxalic acid, allyl nonyl ester	13.44	$C_{14}H_{24}O_4$	0.30	-	-	-	0.20	0.22	0.95
26	庚醇	1-Heptanol	13.44	$C_7H_{16}O$	1.14	0.14	-	-	-	-	0.36
27	(E)-2,4-庚二烯醛	(E,E)-2,4-Heptadienal	13.761	$C_7H_{10}O$	-	-	-	0.81	1.62	1.69	2.54
28	2-丁基-1-辛醇	2-Butyl-1-octanal	14.743	$C_{12}H_{26}O$	2.55	-	-	1.41	-	-	-
29	2-乙基己醇	2-Ethyl hexanol	14.834	$C_8H_{18}O$	0.78	1.58	1.19	1.60	9.54	9.41	8.43
30	癸醛	Decanal	15.056	$C_{10}H_{20}O$	-	0.58	1.46	5.86	0.50	0.46	0.40
31	苯甲醛	Benzaldehyde	15.882	C_7H_6O	-	-	-	0.24	-	9.52	12.90
32	茶螺烷	Theaspirane	16.112	$C_{13}H_{22}O$	0.25	0.78	-	-	-	-	-
33	松油烯	1-methyl-4-(1-methylethylidene)-Cyclohexene	16.98	$C_{10}H_{16}$	1.31	1.97	-	-	-	-	-
34	十四烷	Tetradecane	17.272	$C_{14}H_{30}$	-	-	1.03	-	-	-	-
35	5-甲基-辛烯	5-Methyloctene	17.293	C_9H_{18}	0.05	-	-	-	-	-	-
36	正辛醇	1-Octanol	17.331	$C_8H_{18}O$	-	-	-	0.22	0.68	0.87	0.54
37	1-(2-羟基乙氧基)-2-甲基十二烷	1-(2-Hydroxyethoxy)-2-methyldodecane	17.364	$C_{15}H_{32}O_2$	0.35	0.11	-	-	-	-	-
38	(E)-2-己烯-1-醇	(E)-2-Hexen-1-ol	19.197	$C_6H_{12}O$	1.84	1.05	0.31	-	-	-	-
39	苯乙醛	Benzeneacetaldehyde	20.086	C_8H_8O	-	-	-	-	8.44	5.60	3.65
40	邻酞酸二丁酯	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester	20.17	$C_{16}H_{22}O_4$	-	-	3.26	2.14	1.17	-	-
41	苯乙酮	1-phenyl-ethanone	20.224	C_8H_8O	-	-	-	1.58	-	-	3.12
42	1-壬醇	1-Nonanol	20.817	$C_9H_{20}O$	0.39	0.21	-	-	-	-	-
43	γ-己内酯	γ-Caprolactone	22.053	$C_6H_{10}O_2$	-	-	-	0.40	2.30	2.71	1.65
44	萘	Naphthalene	23.451	$C_{10}H_8$	-	-	-	-	1.42	1.26	1.24
45	2-苯基-2-丙醇	α-dimethyl-benzenemethanol	24.854	$C_9H_{12}O$	-	-	-	1.58	1.43	1.77	1.55
46	戊醛	Pentanal	26.44	$C_5H_{10}O$	0.15	0.04	-	-	-	-	-
47	二氢-β-紫罗兰酮	Dihydro-β-ionone	27.137	$C_{13}H_{22}O$	3.57	1.57	-	-	-	-	-

续表2-5

48	1-甲基萘	1-Methyl-Naphthalene	27.551	$C_{11}H_{10}$	-	-	-	0.28	0.65	0.54	0.51
49	2-甲基-四氢化吡喃	Tetrahydro-2-methyl-2H-Pyran	29.859	$C_6H_{12}O$	-	-	-	0.57	0.25	-	-
50	2,6-二叔丁基对甲酚	Butylated Hydroxytoluene	30.16	$C_{15}H_{24}O$	-	-	-	0.79	9.95	14.41	7.65
51	丙位癸内酯	5-Hexyldihydro-2(3H)-Furanone	37.624	$C_{10}H_{18}O_2$	-	-	-	-	1.37	1.03	-
52	邻苯二甲酸二异癸酯	Diisodecyl phthalate	49.998	$C_{28}H_{46}O_4$	-	-	-	0.37	2.34	2.02	0.78
53	邻苯二甲酸二丁酯	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester	54.374	$C_{16}H_{22}O_4$	1.48	3.31	-	0.93	2.68	4.05	-

按照前期确定的成熟采摘期实施待试蟠桃样本储备，将其在-1-1℃温度浮动冷库中贮藏保鲜 60 天，每隔 10 天取贮藏蟠桃样品 1 次，不同取样依次标记为 10D-60D 合计 6 次取样检测，将每次取样蟠桃样本首先冻藏于-80℃条件下待测，检测前在冰水中缓慢解冻后进行 GC-MS 挥发性物质分析。各组蟠桃果实挥发性物质检测检测结果统计发现共检测出挥发性成分 103 种，设定检测限为 70 分且匹配度 700 以上后，共识别筛选出 53 种挥发性化合物，针对此类挥发性成分在不同贮藏阶段比对分析发现，随着果实贮藏时间的延长，蟠桃果实整体挥发性成分发生了明显改变，甚至在贮藏 10 天外观为产生明显变化的情况下，果实挥发性物质组分类型和含量已出现明显差异。



图 2-9 不同贮藏期蟠桃样品外观标志性表征

Fig.2-9 Appearance marking characterization of flat peach in different storage periods

蟠桃在低温贮藏保鲜 20 天内其外观变化并不明显，在保鲜时间为 30 天时产生表皮褐变趋势，部分表皮呈现较深褐色，在贮藏为 40 天时已经出现明显的褐腐现象，且表皮大面积呈现暗红色，在贮藏延长到 50 天至 60 天内，大部分蟠桃已经出现腐烂或者出现霉斑，制汁 60 天后大部分蟠桃均出现霉斑，这可能由于蟠桃本身的贮藏性能或冷害[10,11]及呼吸作用水汽[137]使得霉菌快速繁殖所导致[138]。同时发现蟠桃在贮藏期间逐渐生成了 28 种在新鲜蟠桃中未检出的挥发性物质成分，且原有 16 种新鲜蟠桃中存在的挥发性物质随着贮藏时间的延长最终丧失殆尽，即便是在果实外观没有明显变化的贮藏早期，蟠桃果实中的挥发性物质成分依然存在明显异化。总结发现随着贮藏时间的延长新鲜蟠桃中逐渐丧失的挥发性物质包括 2 -羟基丙醛、2-己烯-1-醇乙酸酯、4-甲基-1-戊醇、3-己烯-1-醇、庚醇、2-丁基-1-辛醇、茶螺烷、松油烯、5-甲基-辛烯、1-(2-羟基乙氧基)-2-甲基十二烷、(E)-2-己烯-1-醇、壬醇、戊醛、二氢-β-紫罗兰酮等。相关研究表明挥发性酯类物质能够提供果实香甜味感[139]，同时，醇类物质能够提供清香味或青草味[140,141]，醛类物质能够补充桃果实整体风味轮廓的丰富度与饱满度，兼有香甜味感的感官属性[142]。其中乙酸己酯[86]、二氢-β-紫罗兰酮、戊醛[143]、(E)-2-己烯-1-醇、庚醇等已经被证实在桃果实整体风味轮廓构成所起到的重要作用[144]。依此推断 16 种挥发性成分的消失可能是导致蟠桃贮藏期间风味品质劣变的主要原因；同时在贮藏后期新生成的 2-苯基-2-丙醇、1-甲基萘、2-甲基-四氢化吡喃、2,6-二叔丁基对甲酚、邻苯二甲酸二异癸酯等挥发性成分，对蟠桃整体风味品质也必将风味拟合的负面影响，相关具体研究需本论文后续研究阶段通过单体回填试验或嗅闻辨识进行验证。

2.4 本章小结

（1）在蟠桃果实 35 天的生长成熟过程中以 5 天为考察间隔，进行相关理化指标检测。研究发现在果实前 20 天的生长阶段蟠桃中总糖、还原糖及其重量等理化指标变化速率及程度不明显，在 25-35 天期间其相关理化指标显著提升。此外，果实在前 30 天的生长过程中可溶性固形物含量无明显差异，在后期成熟期间可溶性固形物含量迅速提升至 14°Bx。

（2）建立感官属性描述性词库，通过感官评价人员描述性感官测评可对不同生长期蟠桃进行区分，而在此感官分析条件下发现，随着生长成熟期的延长蟠桃各感官属性呈明显线性或非线性变化。通过聚类分析也发现描述性感官评价可作为评价蟠桃生长期一种手段，但在科学标准化确定采收期仍存在局限性。

（3）采用电子舌味觉分析技术可以实现不同成熟期蟠桃青涩味、苦味、甜味、酸味等感官属性的准确评价，同时结合聚类分析依照欧式距离明显识别或区划不同生长阶段的蟠桃果实；通过构建各感官属性与理化指标 PCA 预测模型，验证了电子舌技术作为蟠桃生长期快速识别的有效性与可靠性，可为制汁蟠桃原料生长期识别及采摘期确定提供准确依据。

（4）通过 GC-MS 技术对不同贮藏保鲜期蟠桃中挥发性物质组分种类及含量进行解析。研究发现随着贮藏期延长蟠桃中部分挥发性成分产生明显转化或丧失，乙酸己酯、二氢-β-紫罗兰酮、戊醛、(E)-2-己烯-1-醇、庚醇等可能对特征香气轮廓具有明显影响的物质成分含量呈显著下降趋势；可能对蟠桃香气轮廓起到正向或负向影响的 2-苯基-2-丙醇、1-甲基萘、2-甲基-四氢化吡喃、2,6-二叔丁基对甲酚、邻苯二甲酸二异癸酯等新物质在蟠桃贮藏过程中也逐渐形成。

第三章　鲜榨与市售蟠桃汁风味物质组成与差异化解析

3.1 前言

果汁在加工过程中在经历热烫、酸碱处理、灭酶、杀菌等加工工序后，通常会造成果汁不同程度的风味损失或是产生令人不适的风味属性，而丧失了原有新鲜水果原料的天然本真风味，在整体感官品质劣变的同时严重制约了产品的市场接受度与竞争力。目前，在蟠桃鲜果农药残留降解、果汁褐变与澄清调控等方面均有深入研究，并有相应实用可行的控制措施[8-11]，但是对于蟠桃汁风味控制仍无成熟可靠的产业化方法。

目前新鲜蟠桃在收获季节难以短期完全售出且贮藏期较短，大部分将加工成蟠桃果汁产品，全国种植面积达 4.33 万 hm^3，随着蟠桃种植业的发展，大量当季新鲜蟠桃的贮藏保鲜问题变得越来越具有挑战性，从而促使蟠桃果汁生产加工行业延伸发展，解决蟠桃汁产品整体感官质量下降的问题是加工技术发展首要关注的主要问题，为了能够有效地指导蟠桃汁加工工艺优化，深入探究蟠桃汁产品风味品质劣变的主要原因是至关重要的。相关领域学者如 Cerdán 等[145]采用 GC-MS 分析方法对比分析了新鲜苹果果汁、加工后苹果汁和贮藏保鲜后苹果汁的挥发性成分差异，同时比较了巴氏杀菌处理与脉冲电场杀菌处理对苹果汁挥发性成分的影响。为进一步扩大蟠桃汁市场占比，迎合广大消费者的崇尚天然的口感需求，蟠桃果汁生产加工企业应以本真自然风味的蟠桃汁饮料制备作为最终目标，大量研究表明，新鲜果汁与产业化加工后的果汁风味品质存在显著性差异，主要原因是经过巴氏杀菌等热处理后果汁的挥发性化合物的含量及种类发生显著变化[146]，蟠桃部分特征热敏性风味物质的消失以及一些表征不良风味挥发性物质的生成[147]。蟠桃果汁加工也遇到相同的瓶颈，即，与新鲜蟠桃汁相比，市售蟠桃汁产品其风味品质较存在显著性差异，因此对比新鲜蟠桃汁和加工后蟠桃果汁中挥发性成分差异，明确挥发性成分的转化与异变至关重要。

本章研究基于 PCA、HCA、PLSR 等化学计量学分析法，明晰新鲜蟠桃汁和市售蟠桃汁中挥发性成分和感官评价方面的差异，通过各挥发性成分与感官属性间的内在联系，同时建立不同品牌蟠桃汁与挥发性物质间的相关性模型明确蟠桃汁品质差异化的原因。为后期通过蟠桃特征香气指纹图谱构建，深入解析新鲜蟠桃汁和市售蟠桃汁中挥发性成分和感官属性差异，以及不同杀菌条件下物质变化与感官属性对照分析提供基础。

3.2 材料与方法

3.2.1 试验材料

蟠桃样本：采摘于石河子市 143 团蟠桃种植区的中晚熟蟠桃样本，经过人工挑选剔除损伤、褐变等品质劣变果实，所得样本室温放置 2h 后放入-1-1℃冷库贮藏保鲜备用；风趣蟠桃汁（FQJ）、神内蟠桃汁（SNJ）均从生产企业购置（此两种市售蟠桃汁产品与本论文研究的蟠桃品种一致）；试验试剂：正构烷烃标样（C_6-C_{26}），购置于上海国药集团化学试剂公司；内标物 2-辛醇，购于美国 Sigma -Aldrich 公司，除标品外其余样品均

为分析纯。

3.2.2 主要试验设备

萃取装置：75μm Car/PDMS（红色）萃取头，美国 Supleco 公司；手动进样器，美国 Supleco 公司；气质联用仪：SCION SQ 456-GC 高分辨质谱仪，美国布鲁克公司；HH-SBF11 低速皮渣分离机，Hurom 韩国。

3.2.3 蟠桃样本预处理

新鲜蟠桃样本从冷藏中随机取出后剔除劣质果并恢复到常温。去除果皮及核后，采用原汁机以 40 r/min 榨汁，获得新鲜蟠桃汁样品。

3.2.4 分析方法

3.2.4.1 HS-SPME 萃取挥发性成分

参照 3.2.3 的方法将蟠桃制成蟠桃汁样品，取 5g 果汁样品加入 GC-MS 专用 15 mL 顶空瓶中，同时将 2-辛醇（15μL，0.1μg/μL）作为内标加入混合均匀后，采用封口膜密封。将顶空瓶置于 45℃水浴中平衡 10 min，随后将顶空固相微萃取纤维插入至顶空瓶瓶口下方 1/3 处，不可触壁及接触桃汁样本，萃取吸附 20min。在吸附完成后将纤维快速插入进气相色谱系统的进样口，250℃进行 7 min 的解析洗脱, 开启 GC-MS 分析。

3.2.4.2 GC-MS 检测分析条件

气相色谱柱型号为 HP-INNOWAX 毛细管柱，柱长 30m×0.25 mm×0.25μm，美国 Agilent 公司。柱箱初始温度保持为 40℃，维持 3 min，然后以 6℃/min 的速率升温至 80℃，然后以 10℃/min 的速率，将温度梯度升高到 230℃，实施不分流进样。进样口温度为 250℃，载气为高纯度氦气（He，99.999%），恒流模式流速为 0.9 mL/min。质谱与气相连接处传输线辅助加热器温度为 260℃。质谱条件：电子电离电压 70 eV，灯丝电流 80 mA，电子倍增器电压 1000 V，检测器温度 250℃，离子源温度 230℃，四级杆温度 150℃，扫描质量范围 40m/z~450 m/z，实施全扫描模式且无溶剂延迟。随后在相同条件下，单独进行正构烷烃 GC-MS 分析，以正构烷烃的碳原子数计算各目标挥发物保留指数。

3.2.4.3 挥发性成分的定性与定量

定性方法：所得结果与 NIST 14 谱库中进行比对，在所给出的 100 种备选物质中，筛选出相似度得分（F/R SI）＞800 及匹配度得分＞80 物质，随后将所计算出的保留指数（RI）值，通过比对 NIST 官方数据库中各文献化合物中的相对 RI 值，同时以两种方法对未知挥发性成分的定性结果进行验证。RI[148]计算见公式。

$$RI = 100 \times \mathrm{n} + 100 \times \left[\frac{\log t'R_x - \log t'R_n}{\log t'R_{n+1} - \log t'R_n} \right] \quad \text{（公式 3-1）}$$

式中 t' Rx 为未知物保留时间；n 和 n+1 为正构烷烃的碳原子数；被测物质 x 的保留时间 t' Rx 应该在 t' Rn 和 t' Rn+1 之间（t' Rn<t' Rx <t' Rn+1）。

定量方法：使用内标半定量方法进行定量分析，选择 2-辛醇作为内标（15μL，0.1μg/μL）。在已知加入内标物的含量，根据同一体系内色谱分析及吸附能力相似，质谱

解析结果无差异，可通过内标物峰面积与加入质量间的对应关系及相关系数，最终得出相应物质的质量浓度。计算公式为[149]：

$$Q_2 = \frac{Q_1 \times A_2}{A_1}$$ （公式 3-2）

式中：Q_1：内标加入量；Q_2：目标物含量；A_1：内标峰面积；A_2：目标物峰面积。

3.2.4.4 描述性感官词库建立及评价人员培训

感官小组由五名前期有感官评价经验的评价员组成，根据评价人员参加感官评价的意愿，及其在描述性感官分析或定量描述性分析方面的基础经验组成评价组（3 女 2 男）[133]。首先在对蟠桃汁进行感官评价前，评价小组用 3 天时间讨论新鲜与市售蟠桃汁感官属性的科学准确描述词，并进行统计赋值。然后将所有待测蟠桃汁样本随机分成 3 份，采用 100 分制感官评价法进行评价（0=弱，100=极强）[134]。表 3-1 汇总了经感官评价人员总结整理的，在蟠桃汁嗅觉感官评价中所使用的味觉属性特征词库及其相关描述。经过训练的评价小组成员需对每组样品平行评价 3 次，并完成蟠桃汁嗅觉感观测评打分。同时所有待评价样品均被设置三位随机数字标签，并按随机顺序交于感官评价人员进行评估。每进行一轮感官评价后，感官小组成员需有不少于 5min 的休息时间，且每个样品在评价是需有 30s 的间隔。

表 3-1 蟠桃果实描述性感官词库的建立

Table3- 1 Vocabulary developed to describe the taste of flat peach fruits

感官属性	感官词描述
花香味（Floral）	典型的带有花朵芬芳的气味，如桃花香气
果香味（Fruity）	水果（苹果、梨等，着重辨识桃果香）芳香味感
香甜气息（Sweet overall）	能够感受到的愉悦嗅觉感，以糖饮料香甜气息为表征
桃香味（peach aroma）	能够迅速辨识出是蟠桃独有的香味
过熟气味（Aged）	桃果实过熟或水果发生损伤褐腐时所产生的相似气味（与新鲜水果机械损伤后产生的气味类似）
青草味（Grassy）	绿色蔬菜或草叶片剪碎时散发出的清香气息或青草固有气味，蟠桃草叶味主要来源于果皮
蒸煮味（Cooked flavour）	水果热处理后的外来气味，具有明显的类似抹布或纺织纤维加热后气味
外源香精气味（Artificial）	具有明显不自然的外源香精风味修饰后的气味，特点是气味整体突兀且不协调
异味（Off-flavour）	整体风味令人不愉悦且无法接受且难描述的气味

3.2.5 数据处理方法

聚类分析、主成分分析及其他相关分析等使用 Unscrambler X.9.6，并结合 SPSS18.0 和 Excel2013 数据分析软件进行数据处理和相关分析；质谱结果解析采用 Mass Hunter 7.0 系统及 NIST 14 数据处理软件，具体数据变化采用 Origin 8.5 及 ChemWin5.0 进行绘制表征。

3.3 结果与讨论

3.3.1 新鲜蟠桃汁与市售蟠桃汁挥发性成分对比

根据 3.2.4.2 中的 GC-MS 分析条件分别对蟠桃鲜榨汁与 2 种市售蟠蟠桃汁进行挥发性成分对比分析，以期明晰新鲜桃汁和市售桃汁之间挥发性成分的差异。

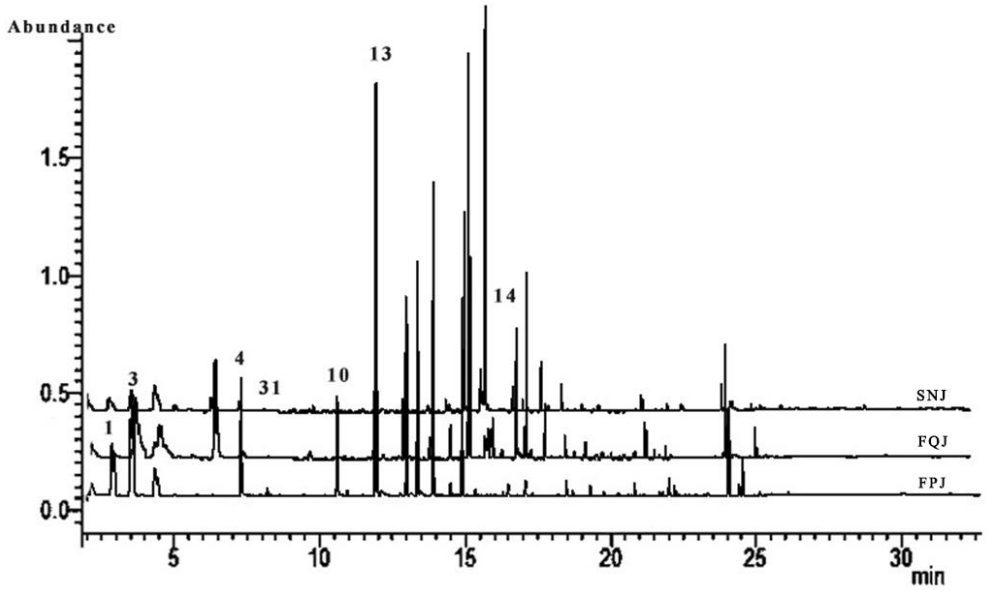


图 3-1 采用 HS-SPME 对不同蟠桃汁样品 GC-MS 分析总离子流图

Fig.3-1 Total ion chromatograms of volatiles in the HS-SPME of peach juice samples

FPJ 为新鲜蟠桃汁; SNJ 为神内蟠桃汁; FQJ 为风趣蟠桃汁

本研究旨在阐明 FPJ、SNJ 和 FQJ 之间的差异。从检测所得的总离子流色谱质谱数据可筛选出在 FPJ 中含量显著降低的 7 种挥发性化合物，对照总离子流图（图 3-1）及挥发性物质组分(表 3-2)可以看出，在蟠桃汁加工中显著变化的挥发性物质为乙酸甲酯、乙酸丙酯、乙酸异丁酯、乙酸己酯、2-己烯-1-醇乙酸酯、辛酸乙酯和 3-戊醇，此类化合物含量在市售蟠桃汁中呈明显降低趋势甚至消失，此外将此两种蟠桃汁粒子流图对比发现，市售蟠桃汁在经过不同工艺加工处理后挥发性物质粒子流图的峰型具有显著差异性，但整体挥发性物质轮廓具有相似性且同时密集出峰时间点也大致相同。

如表 3-2 所示 SNJ、FQJ 和 FPJ 此 3 种蟠桃汁样品共分离鉴定出 88 种挥发性物质。挥发性成分 GC-MS 分析结果表明：所有样品中共有酯类物质 5 种，包括乙酸乙酯、丙位癸内酯、丁酸乙酯、α-庚基-γ-丁内酯和乙酸叶醇酯；共有醇类 4 种，包括(E)-2-己烯-1-醇、己醇、辛醇和(Z)-3-己烯-1-醇；醛类物质种类较多，但共有醛类物质仅有乙醛 1 种。根据蟠桃鲜汁及其加工产品中仍保留的此类物质成分，以及果汁整体所呈现的大致轮廓推断，这些共有化合在蟠桃汁特征香气轮廓形成中具有重要作用。

表 3-2 新鲜蟠桃汁与市售蟠桃汁挥发性成分分析

Table3-2 Analytical results for GC-MS identification of volatiles in different samples

No.	物质名称	化学式	RT/min	样品名称			RI[a] 计算值/标准值（定性方式[b]）
				新鲜蟠桃汁	风趣蟠桃汁	神内蟠桃汁	
1	乙酸甲酯	$C_3H_6O_2$	2.717	6.52%	-	-	823/864 MS
2	乙酸乙酯	$C_4H_8O_2$	3.382	12.63%	15.00%	14.17%	897/878 MS、RI
3	乙酸丙酯	$C_5H_{10}O_2$	4.880	0.09%	-	-	972/957 MS、RI
4	乙酸异丁酯	$C_6H_{12}O_2$	5.675	0.10%	-	-	1012/1022 MS、RI
5	丁酸乙酯	$C_6H_{12}O_2$	6.199	0.05%	21.79%	4.78%	1039/1035 MS、RI
6	乙酸正丁酯	$C_6H_{12}O_2$	6.200	-	0.21%	0.14%	1074/1075 MS、RI
7	乙酸异戊酯	$C_7H_{14}O_2$	8.111	0.41%	-	-	1113/1115 MS、RI
8	甲酸丁酯	$C_5H_{10}O_2$	9.353	-	8.73%	-	1134 MS
9	3-甲基-2-丁烯-1-醇乙酸酯	$C_7H_{12}O_2$	9.985	0.04%	-	-	1186 MS
10	乙酸己酯	$C_8H_{16}O_2$	11.896	15.28%	0.28%	-	1263/1277 MS、RI
11	己酸乙酯	$C_8H_{16}O_2$	11.898	0.24%	0.06%	-	1223/1220 MS、RI
12	乙酸叶醇酯	$C_8H_{14}O_2$	12.733	0.13%	0.26%	1.95%	1306/1313 MS、RI
13	2-己烯-1-醇乙酸酯	$C_8H_{14}O_2$	13.439	11.12%	-	-	1350/1350 MS、RI
14	辛酸乙酯	$C_{10}H_{20}O_2$	15.328	0.27%	-	-	1422/1412 MS、RI
15	乙酸异辛酯	$C_{10}H_{20}O_2$	15.977	-	2.18%	-	1465/1420 MS
16	(E)-2-己烯酸丁酯	$C_{10}H_{18}O_2$	16.015	0.08%	-	-	1461 MS
17	丙二酸二乙酯	$C_7H_{12}O_4$	17.578	-	0.09%	-	1552/1572 MS、RI
18	己酸己酯	$C_{12}H_{24}O_2$	17.805	-	-	0.84%	1600/1599 MS、RI
19	苯甲酸乙酯	$C_9H_{10}O_2$	18.718	-	0.47%	0.15%	1723/1672 MS
20	丙位己内酯	$C_6H_{10}O_2$	19.332	0.39%	-	0.30%	1691/1723 MS、RI
21	乙酸苯甲酯	$C_9H_{10}O_2$	19.621	-	0.26%	-	1745/1754 MS、RI
22	乙酸苯乙酯	$C_{10}H_{12}O_2$	20.678	0.06%	-	-	1803/1782 MS、RI

续表 3-2

23	丙位辛内酯	$C_8H_{14}O_2$	21.336	-	-	0.17%	1998/1898 MS
24	丁酸二甲基苄基原酯	$C_{14}H_{20}O_2$	21.659	-	0.75%	-	2302 MS
25	丁位辛内酯	$C_8H_{14}O_2$	21.829	-	0.20%	-	2305 MS
26	肉豆蔻酸乙酯	$C_{16}H_{32}O_2$	23.074	-	0.13%	-	2338 MS
27	丙位癸内酯	$C_{10}H_{18}O_2$	23.399	11.68%	6.96%	3.49%	2138/2136 MS、RI
28	苯甲酸己酯	$C_{13}H_{18}O_2$	23.426	-	0.13%	-	2347 MS
29	丁位癸内酯	$C_{10}H_{18}O_2$	24.641	1.31%	0.07%	-	2192/2190 MS、RI
30	α-庚基-γ-丁内酯	$C_{11}H_{20}O_2$	26.249	0.11%	1.82%	0.73%	2300/2254 MS
31	3-戊醇	$C_5H_{12}O$	8.241	0.08%	-	-	1118/1118 MS、RI
32	丁醇	$C_4H_{10}O$	8.411	-	-	0.70%	1156/1154 MS
33	异戊醇	$C_5H_{12}O$	9.794	-	-	0.43%	1280/1213 MS
34	戊醇	$C_5H_{12}O$	10.501	-	-	0.32%	1290 MS
35	己醇	$C_6H_{14}O$	13.782	15.05%	0.23%	0.96%	1350/1354 MS、RI
36	(Z)-3-己烯醇	$C_6H_{12}O$	14.470	0.55%	2.26%	1.75%	1375/1373 MS、RI
37	(E)-2-己烯-1-醇	$C_6H_{12}O$	14.605	8.26%	0.18%	0.45%	1342/1392 MS
38	庚醇	$C_7H_{16}O$	15.747	0.04%	-	-	1446/1440 MS、RI
39	异辛醇	$C_8H_{18}O$	15.833	-	-	0.31%	1489/1492 MS、RI
40	6-甲基-5-庚烯-2-醇	$C_8H_{16}O$	15.87	0.10%	-	-	1453/1451 MS、RI
41	2-乙基己醇	$C_8H_{18}O$	16.302	0.12%	-	-	1478/1492 MS、RI
42	3,7-二甲基-6-辛烯-3-醇	$C_{10}H_{20}O$	16.803	-	0.06%	-	1381 MS
43	芳樟醇	$C_{10}H_{18}O$	17.149	-	10.03%	-	1550 MS
44	辛醇	$C_8H_{18}O$	17.335	0.11%	0.50%	0.77%	1544/1537 MS、RI
45	1,2-丙二醇	$C_3H_8O_2$	17.595	-	2.12%	7.45%	1597/1599 MS
46	2,3-丁二醇	$C_4H_{10}O_2$	17.560	-	-	0.20%	1560/1563 MS
47	壬醇	$C_9H_{20}O$	18.725	0.19%	-	0.26%	1644/1673 MS、RI
48	α-松油醇	$C_{10}H_{18}O$	18.853	-	0.88%	0.81%	1690/1690 MS、RI

续表 3-2

49	3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	$C_{10}H_{18}O$	20.438	-	0.47%	1.45%	1768/1784 MS、RI
50	苯甲醇	C_7H_8O	21.133	-	-	2.28%	1800/1857 MS
51	苯乙醇	$C_8H_{10}O$	21.744	0.17%	-	-	1899/1890 MS、RI
52	十三醇	$C_{13}H_{28}O$	22.060	-	-	1.00%	1909 MS
53	β-紫罗兰醇	$C_{13}H_{22}O$	22.126	0.10%	-	-	1936/1939 MS、RI
54	丙酮	C_3H_6O	2.479	-	1.91%	9.20%	823/818 MS、RI
55	6-甲基-5-庚烯-2-酮	$C_8H_{14}O$	12.930	-	0.58%	0.21%	1315/1323 MS、RI
56	胡薄荷酮	$C_{10}H_{16}O$	18.601	-	0.20%	-	1718 MS
57	大马酮	$C_{13}H_{18}O$	20.744	-	0.07%	-	1776 MS
58	6,10-二甲基-5,9-十一碳二烯-2-酮	$C_{13}H_{22}O$	20.777	0.27%	0.06%	-	1812/1813 MS、RI
59	二氢-β-紫罗兰酮	$C_{13}H_{22}O$	22.068	0.48%	-	-	1831/1854 MS、RI
60	乙基苯	C_8H_{10}	8.071	-	-	0.37%	1112/1122 MS
61	对二甲苯	C_8H_{10}	8.411	-	-	0.32%	1119 MS
62	β-半月桂烯	$C_{10}H_{16}$	8.778	-	0.15%	-	1231/1156 MS
63	（S）-1-甲基-4-（1-甲基乙烯基）环己烯	$C_{10}H_{16}$	9.659	-	1.07%	1.01%	1254/1185 MS
64	苯乙烯	C_8H_8	11.424	0.06%	-	-	1244/1254 MS、RI
65	乙醛	C_2H_4O	1.989	1.48%	-	-	706/727 MS、RI
66	2-甲基丁醛	$C_5H_{10}O$	3.727	0.05%	-	-	910/910 MS、RI
67	戊醛	$C_5H_{10}O$	4.207	-	0.54%	0.32%	981/953 MS、RI
68	己醛	$C_6H_{12}O$	7.195	6.49%	1.11%	2.56%	1081/1077 MS、RI
69	庚醛	$C_7H_{14}O$	9.105	-	-	0.42%	1162 MS
70	2-己烯醛	$C_6H_{10}O$	10.132	0.05%	-	-	1192/1193 MS、RI
71	辛醛	$C_8H_{16}O$	11.518	-	-	0.77%	1297/1267 MS、RI
72	(E)-2-庚烯醛	$C_7H_{12}O$	13.030	-	0.18%	-	1350/1344 MS、RI
73	壬醛	$C_9H_{18}O$	14.458	0.12%	-	1.12%	1381/1386 MS、RI
74	(E,E)-2,4-己二烯醛	C_6H_8O	14.643	0.12%	-	-	1390/1397 MS、RI

续表 3-2

75	糠醛	$C_5H_4O_2$	15.678	-	2.50%	13.23%	1399/1432 MS、RI
76	癸醛	$C_{10}H_{20}O$	16.298	-	-	3.46%	1472 MS
77	苯甲醛	C_7H_6O	16.513	-	9.49%	4.50%	1479/1500 MS、RI
78	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	$C_{10}H_{16}O$	19.322	-	-	0.30%	1746/1718 MS、RI
79	(E,E)-2,4-癸二烯醛	$C_{10}H_{16}O$	20.022	-	0.41%	-	1757/1797 MS、RI
80	4-异丙基苯甲醛	$C_{10}H_{12}O$	20.318	0.18%	-	-	1773/1760 MS、RI
81	二氯甲烷	CH_2Cl_2	4.037	0.05%	0.36%	0.48%	933/933 MS、RI
82	2-乙酰基呋喃	$C_6H_6O_2$	12.921	-	0.74%	1.77%	1315 MS
83	2-异丙基-4-甲基噻唑	$C_7H_{11}NS$	13.398	-	1.53%	1.26%	1321 MS
84	乙酸	$C_2H_4O_2$	15.523	-	1.86%	10.95%	1440/1446 MS、RI
85	茶螺烷	$C_{13}H_{22}O$	16.494	0.45%	-	-	1489MS
86	辛酸	$C_8H_{16}O_2$	23.430	0.14%	-	0.18%	2064/2050 MS、RI
87	2,4-二叔丁基苯酚	$C_{14}H_{22}O$	25.210	0.52%	0.85%	1.14%	2508 MS
88	4-甲基-5-羟乙基噻唑	C_6H_9NOS	25.633	0.05%	-	-	2301/2311 MS、RI

注：“-”表示未检出；[b] 定性方法: MS，质谱定性；[a] RI，保留指数定性，保留指数均来源与 NIST 谱库中的参考文

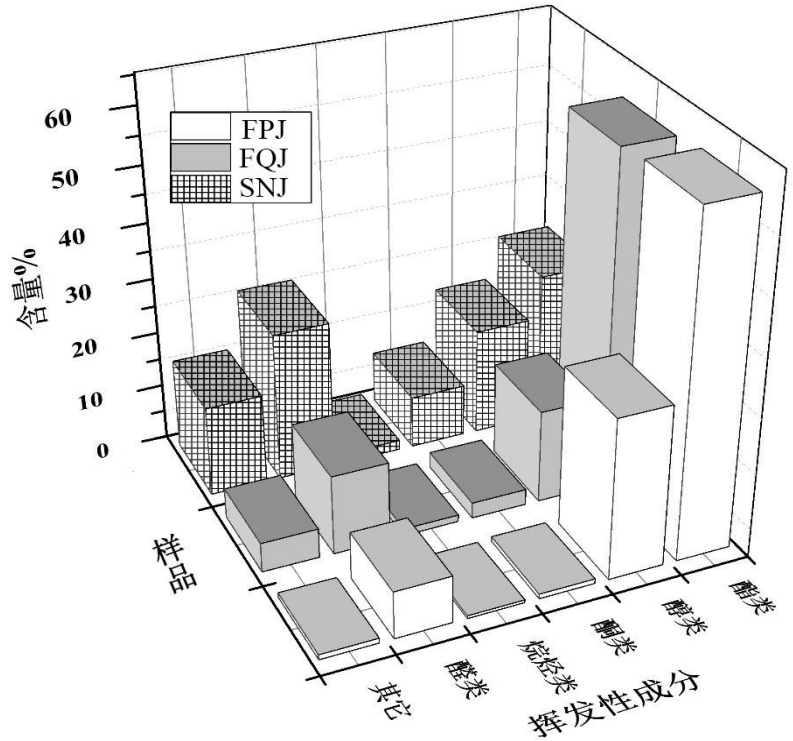


图 3-2 新鲜蟠桃汁与市售蟠桃汁挥发性成分大类分析

Fig.3-2 Comparison of volatile compounds in fresh flat peach juice and processed juices

蟠桃汁整体感官品质与挥发性化合物种类及各成分含量间均具有显著的相关性。表 3-2 和图 3-2 中的结果表明，新鲜蟠桃汁和市售蟠桃汁中的挥发性物质组分和含量存在显著差异，且 2 种市售蟠桃汁产品间挥发性成分含量也存在差异，2 种市售蟠桃汁中共鉴定出 48 种挥发性化合物。FPJ 中含量最高的化合物为酯类（18 种）和醇类（12 种），占总挥发性成分的 89.28%，其次是醛（8.49%）、酮（0.86%）、烷烃（0.51%）、杂环类与其他化合物（0.86%）；而 SNJ 中酯类物质只有 10 种，同时与 FPJ 相比其含量显著下降（26.86%），FPJ 中乙酸甲酯（6.52%）、乙酸己酯（15.28%）和 2-己烯-1-乙酸酯（11.12%）等含量较高的物质均在加工后的蟠桃果汁产品中未检出，丙位癸内酯含量从 11.68%下降到 3.49%；SNJ 中醇类物质总含量下降到 19.15%，另外，SNJ 中酮、烷烃、醛、杂环类等物质含量反而高于 FPJ，占 SNJ 总挥发性成分含量 42.87%的醛（26.67%）、杂环化合物（16.20%）变化显著，酮含量也比 FPJ 提高了 9.41%。FQJ 与 SNJ 中整体挥发性成分变化趋势相似，主要特征为于鲜榨汁相比醛类和其他化合物的含量显著增加；SNJ 中醛类物质增加到 14.22%，其他类化合物增加到 5.33%，酯类含量从 60.51%减少至 59.68%，所有酯类中下降最显著的物质为乙酸己酯 (15.28%降至 0.28%)，其次是丙位癸内酯(11.68%降至 6.96%)；对比鲜榨蟠桃汁，FQJ 中并未检出在鲜桃汁中含量较高的乙酸甲酯，但在三种对蟠桃汁样本中仅从 FQJ 检出甲酸丁酯含量为 8.73%。

FQJ 与 SNJ 两种市售蟠桃汁产品中总醇类挥发性物质具有相似的降低趋势，其中，蟠桃鲜榨汁 FPJ 与 FQJ 和 SNJ 两种市售蟠桃汁中醇含量分别为 28.77%、16.72%和 19.15%，新鲜桃汁 FPJ 中(E)-2-己烯-1-醇(8.26%)和己醇(15.05%)含量在市售蟠桃汁 FQJ

分别降至 0.18%和 0.23%，呈显著下降趋势，据相关报道(E)-2-己烯-1-醇是具有近似青草味特征，而己醇赋予类似于嫩树叶气味[152]。同时蟠桃果汁在加工中形成了某些新的挥发性呈味物质，如在 FQJ 中发现了芳樟醇(10.03%)的存在，芳樟醇是某些果汁中重要的挥发性物质[150]，由于具有低阈值特点而在较低含量情况可散发出浓郁铃兰花气息，并赋予很多水果特有的花香味[151]。醇类物质在蟠桃果香和花草清香感呈现方面具有重要作用，其他如辛醇可释放出蘑菇香气，可增强蟠桃汁整体香气轮廓的饱满醇厚感，同时醇类所赋予的花草香使蟠桃呈现自然清香感觉。

以呈现青草气息的己醛为代表的醛类物质多具有较低的风味阈值，作为蟠桃汁中的重要芳香化合物是风味感官属性形成的关键组分。相关研究推测醛类含量的变化会影响蟠桃果汁整体风味轮廓的丰富度及清香感[153]。FQJ 与 SNJ 两种蟠桃汁市售产品中己醛含量由鲜榨汁中的 6.49%显著降低至 2.56%(SNJ)、1.11%(FQJ)，可能原因是该化合物具有热敏性而在热处理过程中容易散失[154]。另外，由 GC-MS 分析结果显示 SNJ 与 FQJ 中其他物质如卤代烃、酸和杂环化合物的含量均高于鲜榨汁 FPJ。上述结果足以说明加工过程中预煮[155]、杀菌[156]及其他等加工处理对蟠桃汁整体风味物质轮廓影响显著，其中所所产生的少量烯酮类物质可能是在加工过程的预煮操作或杀菌加热过程中产生[157]，而在果汁中所形成的烷烃类物所占比例均低于其他类物质，由于其芳香阈值较高而对蟠桃汁风味轮廓贡献度不显著，基于本部分的研究结果，本论文在后续研究中将采用 GC-O 嗅闻技术进行更为精确的评价。

3.3.2 感官属性与挥发性成分 PCA 预测模型构建

对新鲜蟠桃汁和市售蟠桃汁样品进行了 9 类密切相关感官属性的评价赋值如下表所示。研究发现多数感官属性在该描述性评价体系范围内具有较强的感官属性赋值(分数范围 0 到 100 分，当分数>50 分时表示已具有明显的感知度)。

表 3-3 不同蟠桃汁样本描述性感官评价赋值

Table 3-3 Descriptive sensory profiles of flat peach juice samples

属性	样品名称		
	FPJ	FQJ	SNJ
花香味（Floral）	69.00±4.18	58.00±5.70	26.00±4.18
果香味（Fruity）	87.00±2.74	52.00±2.74	44.00±4.18
香甜气息（Sweet overall）	63.00±2.74	64.00±2.24	67.00±2.74
蟠桃特征香气（Overall strength of peach aroma）	90.00±3.54	82.00±2.74	61.00±4.18
过熟气味（Aged）	0.00±0.00	48.00±5.70	58.00±4.47
青草味（Grassy）	58.00±5.70	22.00±2.74	23.00±2.74
蒸煮味（Cooked flavour）	0.00±0.00	52.00±2.74	69.00±6.52
异味（Off-flavour）	9.00±7.42	48.00±5.70	51.00±4.18
香精气味感（Artificial）	0.00±0.00	35.00±6.12	41.00±2.24

FPJ，新鲜蟠桃汁; SNJ，神内蟠桃汁; FQJ，风趣蟠桃汁

从感官评价结果中发现新鲜蟠桃汁和市售蟠桃汁加工样品的各项感官属性赋值存在显著差异。采用主成分分析法（PCA）对感官评价赋值和 GC-MS 分析中各大类成分总含量的平均数据构建相关性预测模型，确定主要挥发性成分与各感官属性间的关系及

各大类挥发性成分对蟠桃桃汁各感官属性的贡献程度。如图 3-3 所示，从主成分分析模型中获得的前两个主成分（PC1 和 PC2），其累积方差为 88.09%。x-矩阵由 6 中主要挥发性成分组成，y-矩阵为 9 个感官属性赋值。

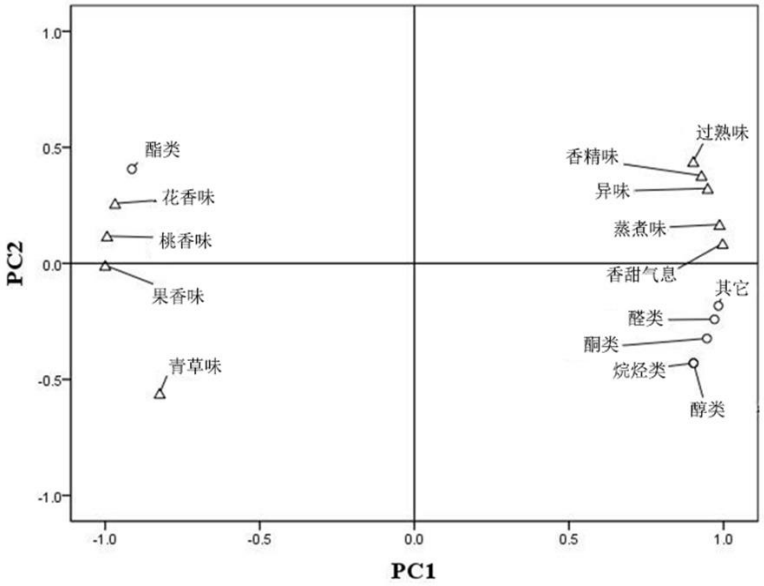


图 3-3 蟠桃汁中各类挥发性成分与感官属性间主成分分析

Fig. 3-3 PCA plot of sensory attributes and characteristic volatiles in flat peach juice

位于主成分分析区左侧的花香味、桃香味、果香味等感官属性与酯类物质呈显著相关。此外，在主成分图右侧酮、醇、醛、烷烃类等物质，在空间距离上与香甜气味、过熟气味、异味、蒸煮味和香精分层气味感非常接近，存在较大相关性。值得注意的是感官属性中花香味、蟠桃特征香气和果香味与酯类物质均位于同一区域，说明这些感官属性与酯类呈显著正相关，此结果再次说明酯类对蟠桃汁中正向感官属性表现出了积极响应度。为较为深入揭示新鲜蟠桃汁和市售蟠桃汁在感官属性层面上差异原因，同时为了验证酯类是否可导致市售蟠桃汁与新鲜桃汁产生味觉偏离，如下再次对此 3 种样本中各类物质成分进行聚类分析。

3.3.3 不同桃汁样品中各大类成分聚类分析

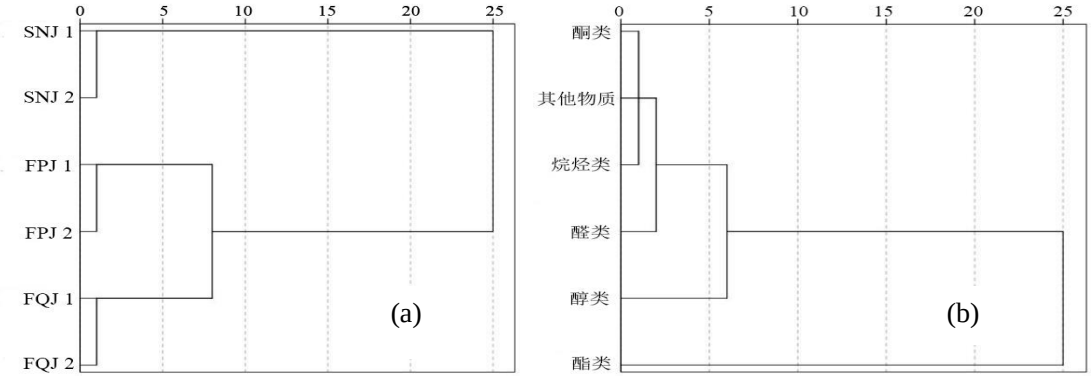


图 3-4 蟠桃鲜榨汁及市售蟠桃果汁挥发性成分聚类分析（a 不同样本间，b 不同挥发性物质间）

Fig.3-4 Cluster pedigree diagram of volatile among juices of flat peach（a samples, b volatiles）

采用 HCA 可快速有效地确定影响蟠桃汁整体感官轮廓的显著相关性挥发性化合物[158]。从图 3-4（a）发现，聚类分析可明显区分蟠桃鲜榨汁和两种市售蟠桃汁，当欧式距离为 8 时，风趣桃汁（FQJ）与蟠桃鲜榨汁（FPJ）可聚为同类，当欧式距离为 25 时，神内蟠桃汁（SNJ）、风趣蟠桃汁与蟠桃鲜榨汁聚成同类，其结果表明蟠桃鲜榨汁和两种市售蟠桃汁的感官品质存在较大差异。根据层次聚类图 3-4（b）进一步明确各大类挥发性成分间的内在联系，在欧氏距离＜10 时，能够将 6 类挥发性化合物分为两大类，即第一类（酮、其他化合物、烷烃、醛和醇等）和第 2 类为酯类。当欧氏距离达到 25 时，所有各类物质被归属为一类，这说明蟠桃鲜榨汁与市售蟠桃汁中酯类物质含量变化最显著，该结果与 GC-MS 数据中酯类变化趋势一致，酯类中乙酸甲酯、乙酸己酯和大部分的内酯均呈现降低趋势，且酯类和内酯类总体含量显弱化趋势，这也可能是造成蟠桃鲜榨汁经历加工后特征香气变化的重要因素，从而与蟠桃鲜榨汁相比其加工后果汁产品感官属性存在明显缺点和差距。该结论在其他相关研究中也被推测证实[159, 160]：具有水果香甜气味，可赋予大宗桃汁怡人香气的较低阈值物质是桃汁风味轮廓构成的关键物质。另外，在酯类物质中含量最高的乙酸乙酯可呈现类似菠萝果汁的感官属性，而乙酸叶醇酯可能呈现苹果或生梨瓜香味，同时内酯类物质也是蟠桃汁特征香味组分中的重要组成部分[161]，如丙位癸内酯已被确定是桃果类香气主要贡献成分，可能是蟠桃汁呈现浓郁水果香味的重要来源物质[162]。

3.3.4 不同蟠桃汁样品与挥发性酯类物质组分偏最小二乘回归（PLSR）分析

通过以上聚类分析可明确导致目前市售蟠桃汁产品风味品质改变的关键物质为挥发性酯类化合物，为了明确酯类化合物在蟠桃汁风味品质改变方面的作用，以缩小目标物范围、减少分析差异为目的[163]，采用 PLSR 方法对 GC-MS 数据库中酯类数据进行针对性分析，研究不同化合物的相互关系及每种酯类物质化合物对新鲜及市售蟠桃汁样品特性的影响。

如图 3-5 所示，x-矩阵由酯类组成，y-矩阵由新鲜及市售蟠桃汁样品组成。在仅选取 PC1 和 PC2 时，其累积解释方差为 98%。同时所有的挥发性酯类成分及均位于内椭圆（R2=0.5）和外椭圆（R2=1.0）之间，每组蟠桃汁样本的 3 次平行重现性较好。因此，采用 PLSR 构建风味品质预测模型构建，并借此对 PC1 和 PC2 进行分析是科学可靠的，FQJ 和 SNJ 分布在负荷图的两侧，FQJ 位于内椭圆左下角，同时 SNJ 位于第二象限内，两种市售桃汁均与新鲜蟠桃汁呈负相关。

乙酸乙酯位于 PLSR 内椭圆中且离椭圆负载线较近，表明 PLSR 模型对该因子解释能力较弱，也说明乙酸乙酯在数据统计分析层面缺乏变量贡献。位于右下区的新鲜蟠桃汁样品与乙酸甲酯、乙酸丙酯、2-己烯-1-醇乙酸酯、辛酸乙酯、乙酸己酯、己酸乙酯、苯乙醇、乙酸乙酯和丙位癸内酯等化合物具有显著相关性（Jack-knife 检验，P≤0.05）。FQJ 和 SNJ 位于内椭圆左下处，与乙酸异丁酯、乙酸异戊酯、甲酸丁酯、乙酸丙酯和丙位己内酯等化合物具有显著相关性，据此推断可能正是由于这些物质含量的变化而致使蟠桃鲜果与市售桃汁产生风味差异，这些酯类物质的缺乏可能会导致蟠桃汁整体感官品

质降低，导致此现象产生的原因可能是果汁所经历相对较高的杀菌温度处理，最终造成整体感官品质降低。

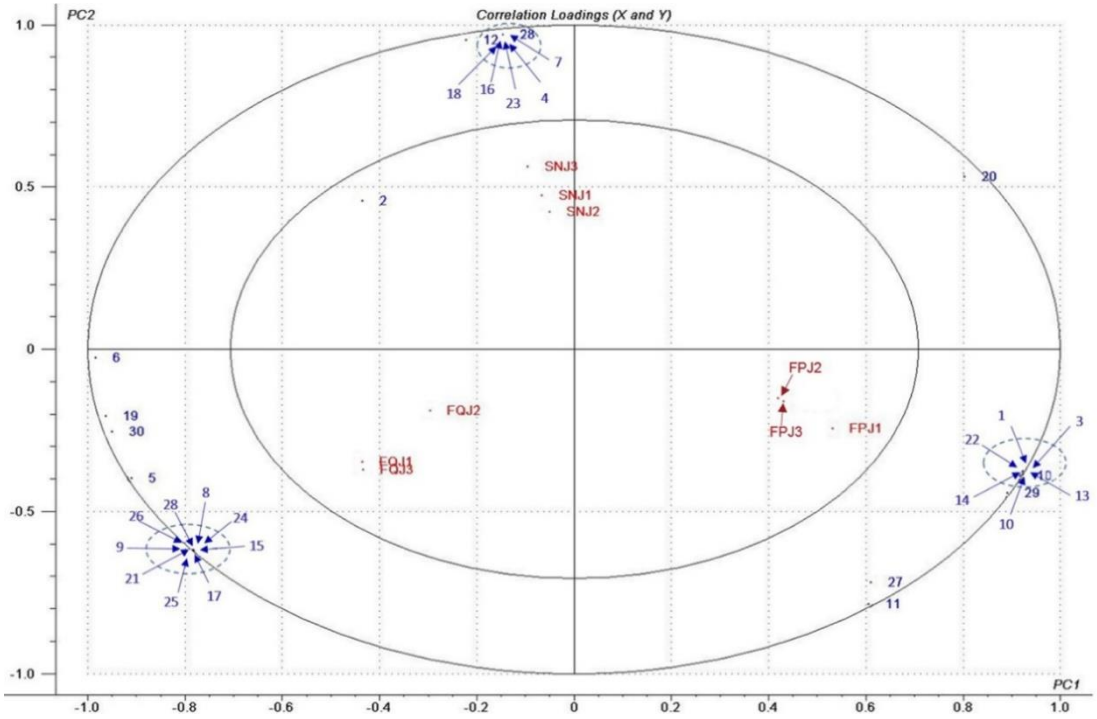


图 3-5 3 种蟠桃汁感官属性与挥发性成分及酯类成分 PLSR 相关性分析

Fig.3-5 PLSR correlation loadings plot of sensory attributes and volatile compounds and esters in three kinds of flat peach juices

3.4 本章小结

（1）新鲜蟠桃汁与两种代表性市售蟠桃汁样品中挥发性物质组成存在显著差异，且整体风味轮廓发生了明显变化。其中两种市售蟠桃汁中酯类物质含量均呈降低趋势，醛类物质含量呈明显增加，醇类物质含量变化不显著；新鲜蟠桃汁与市售蟠桃汁中共有酯类物质包括乙酸乙酯、丙位癸内酯、丁酸乙酯、α-庚基-γ-丁内酯、乙酸叶醇酯等 5 种，共有醇类物质包括(E)-2-己烯-1-醇、己醇、辛醇和(Z)-3-己烯-1-醇等 4 种，共有醛类有己醛、桃醛等 2 种。

（2）通过主成分分析（PCA）结合聚类分析得出，酯类物质与蟠桃汁的花香味、果香味及蟠桃类特征香气等感官属性具有显著正相关性，且酯类物质含量及种类的变化是导致蟠桃汁加工后品质异化的重要因素。

（3）通过 PLSR 法构建了酯类物质与新鲜蟠桃汁和市售蟠桃汁间的相关性预测模型，以此揭示乙酸甲酯、乙酸丙酯、2-己烯-1-醇乙酸酯、辛酸乙酯、乙酸己酯、己酸乙酯、苯乙醇、乙酸乙酯和丙位癸内酯等物质含量差异，是导致蟠桃汁加工前后感官品质产生明显区划的关键挥发性成分。

第四章　蟠桃汁中关键挥发性物质筛选及风味指纹图谱构建

4.1 前言

蟠桃汁的整体感官属性由多种挥发性呈味成分融合而成的香气轮廓[71]，以及糖、有机酸等非挥发性物质口感协同效应共同拟合呈现[72, 73]，其中整体特征香气轮廓的自然呈现是复杂挥发性呈味物质定量定性协同融合的结果[74]，各香气单体的含量变化都可能导致蟠桃汁风味特性的改变[75]，因此对关键挥发性呈味成分进行解析是揭示蟠桃汁整体风味品质形成的首要内容[76]，即，在充分考虑果汁风味物质的复杂性同时，首先需要明晰各种挥发性香气成分间内在联系及其对整体风味特性形成的关联性[77]。

在前两章研究发现蟠桃汁风味物质的组成具有明显复杂性与多样性，即便是同品种的不同成熟度或不同贮藏期间的蟠桃果实，其挥发性物质组成也存在较为显著差异。因此，筛选蟠桃汁中关键挥发性成分，构建蟠桃汁特征风味指纹图谱，可为蟠桃汁风味品质控制、标准感官评价监测体系建立提供科学方法，同时可实现蟠桃汁产品风味品质的有效鉴别，为蟠桃汁等果汁产品开发提供理论基础和技术借鉴。本章采用 SPME-GC-MS 技术首先对蟠桃汁中挥发性物质进行解析鉴定，在筛选共有模式物质的同时采用层次聚类和相似度分析，结合主成分（PCA）和偏最小二乘判别分析（PLS-DA）构建蟠桃特征风味指纹图谱，并验证其对不同风味品质蟠桃汁的识别准确性和可靠性。

4.2 材料与方法

4.2.1 试验材料

蟠桃样本：采摘于石河子市 143 团蟠桃种植区不同种植基地的中晚熟蟠桃样本，采集样本均经过人工挑选，剔除损伤、褐变等劣变果实，所有样本室温预冷 2h 后，在 4℃贮藏保鲜条件贮藏备用；对照桃汁样品：选取国内外不同品牌桃汁，用于待建指纹图谱识别准确度与可靠性评价，所有样品购自于生产企业或就近超市（详见下表 4-1）；试剂：2-辛醇及正构烷烃（C_6-C_{26}）内标物，购于美国 Sigma -Aldrich 公司；质谱分析所用标准物除外，其余试剂均为分析纯。

表 4-1 用于待建指纹图谱评价的不同品牌桃汁

Table 4-1 Different brands peach juice for fingerprint evaluation

品牌	原材料
嘉华桃汁（进口）:JHJ	黄桃原汁
汇源桃汁（国产）:HYJ	水蜜桃
神内蟠桃汁（国产）:SNJ	蟠桃原浆
风趣蟠桃汁（国产）:FQJ	蟠桃原浆
茹梦桃汁（进口）:RMJ	桃原浆与苹果汁复合汁
统一蜜桃多（国产）:TYJ	浓缩桃汁与香精

4.2.2 主要试验设备

萃取装置：75 μm CAR/PDMS/DVB（灰色）复合型萃取头，美国 Supleco 公司；手动进样器，美国 Supleco 公司；GC-MS 联用仪：SCION SQ 456-GC 高分辨质谱仪，美国布鲁克公司；HH-SBF11 低速皮渣分离设备，Hurom 韩国。

4.2.3 蟠桃样本预处理

采摘9个不同种植园区的蟠桃样本贮藏备用，检测前从冷库取出恢复至室温（25℃），其中每组优质鲜果中随机抽取其中3种新鲜蟠桃的部分样品，常温下放置5天以自然成为腐软褐变果实，用于后期识别验证。将各品种蟠桃去核、切成小块后放入低速皮渣分离榨汁机（40r/min），将所得蟠桃汁用80目尼龙纱布过滤，所得样品迅速装入玻璃瓶密封备用于GC-MS检测。

4.2.4 分析方法

4.2.4.1 HS-SPME萃取挥发性成分

具体方法同3.2.4.1 HS-SPME萃取挥发性成分。

4.2.4.2 GC-MS检测分析条件

GC色谱柱型号为DB-WAX毛细管（30m×0.25 mm×0.25μm，美国Agilent公司），柱箱温度40℃保持3 min，以6℃/min的速率梯度升温至80℃，后以10℃/min的速率将温度再次梯度升高到230℃，不分流进样。进样口温度为250℃，载气为高纯度氦气（He，99.999%），流速模式为恒流模式，流速为0.9 mL/min，质谱MS与GC连接处传输线辅助加热器温度为260℃；质谱条件：EI^+电离源，电子能量70 eV，灯丝电流80 μA；电子倍增器电压1000V；离子源温度200℃，扫描质量范围40m/z~450 m/z，无溶剂延迟。

4.2.4.3 挥发性成分的定性与定量

定性方法：具体方法同3.2.4.3 挥发性成分的定性与定量。

定量方法：具体方法同3.2.4.3 挥发性成分的定性与定量。

4.2.4.4 感官评价词库建立及评价人员培训

感官评价人员培训和感官词汇筛选，见3.2.4.4。

4.2.5 数据处理方法

采用Unscrambler X version 9.6、SPSS 18.0 及Excel 2013数据分析软件进行聚类分析（HCA）、主成分分析（PCA）、偏最小二乘判别分析（PLS-DA）等各类数据处理和相关性分析；通过Mass Hunter 7.0系统及NIST 14数据处理软件进行质谱结果解析；应用Origin 8.5 及ChemWin5.0进行图形绘制。

4.3 结果与讨论

4.3.1 不同批次蟠桃中挥发性成分聚类分析

蟠桃特征风味指纹图谱可成为鲜食蟠桃、蟠桃汁等相关产品品质控制的重要监测依据。虽然蟠桃呈香属性基本相近，但不同品种或不同产区蟠桃的品质存在较大差异性，地理环境、栽培管理方法及采摘时间等会影响蟠桃生长过程中光照强度、水分营养分配，同时采摘时蟠桃成熟度差异也将影响果实的整体风味品质。因此为保证蟠桃指纹信息筛选的科学与准确度，选取品质标准化、且具有多地区整体表征性的蟠桃样品构建指纹图谱数据源[164]，以欧氏平方距离为评价指标，通过聚类分析中组间连接法构建聚类分析体系，对12组不同批次蟠桃样本组间相关性进行判别并构建蟠桃聚类树状图，如图4-1所示。

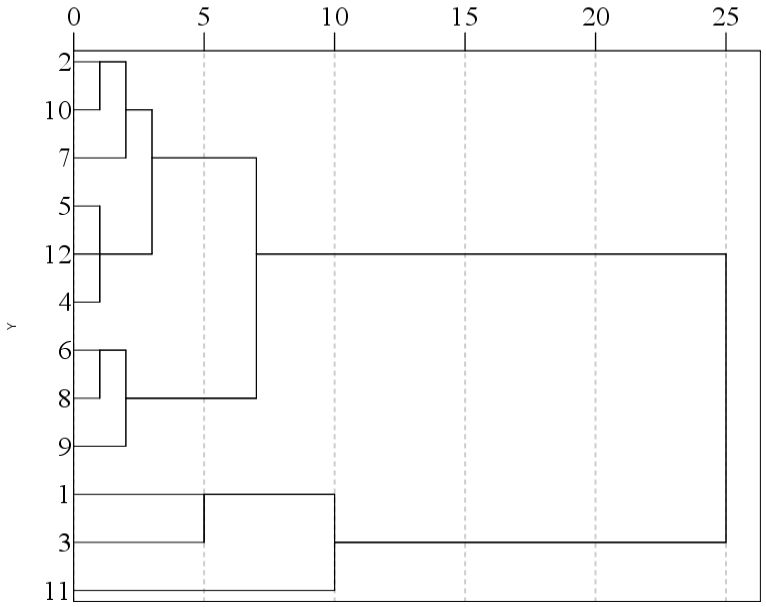


图 4-1　蟠桃挥发性风味物质聚类分析

Fig. 4-1 Cluster pedigree diagram of volatiles of flat peach

由上图整体结构可发现，采用组间连接法构建的聚类分析模型可有效识别出新鲜蟠桃样本组与经过差异化处理的劣变蟠桃样本组（1、3 与 11），在较短的欧式距离阶段便可明显区分为两大类，表明聚类分析能够有效识别出差异信息。其中 9 组蟠桃在欧式距离为 7.0 时能够聚成一类，在欧氏距离小于 5 时，2 号、10 号和 7 号，5 号、12 号和 4 号，6 号、8 号及 9 号聚为一类，表明所识别样本间具有相对较高的相似度，这一差异性特征随着欧式距离增加，直至距离为 7.0 时可将所有新鲜蟠桃组识别为一类。新鲜蟠桃各组与品质劣变各组的差异性显著，导致欧氏距离为 25.0 时，才能够与新鲜蟠桃组识别为一类。基于以上结论能够再次验证通过聚类分析可对指纹信息的因素样本进行初步筛选识别，蟠桃样本品质识别可根据挥发性化合物含量及种类的差异区分。由于蟠桃汁中挥发性物质极为复杂，即便是在各类众多挥发性物质有效检测的前提下，若未有标准化的检测方法也难以实现风味品质的准确评测或控制技术的创新集成。因此在特定风味品质特征信息筛选与鉴别的前提下，建立蟠桃汁风味指纹图谱可有效对待测样品进行品质识别与评价[165]。

4.3.2 蟠桃汁风味指纹图谱构建

摒弃所有信息统一识别的不可预见性，基于食品组成物质、遗传物质信息等固有属性实施特征指纹信息图谱构建，可通过科学表征食品的整体特性进行样品间相似性的标准评判[166]。样品基本属性信息筛选的准确度是决定所建共有模式是否具有准确性与代表性的关键所在，如何识别出指纹信息并科学的对其进行表征，筛选蟠桃共有挥发性物质并验证指纹信息的可靠性，是蟠桃汁风味指纹图谱构建首要解决的关键问题。将聚类分析选取的 9 组蟠桃汁样本进行 GC-MS 分析，并统一设置检测条件为峰宽与初始阈值 0.04 和 1，质谱解析保留时间为 35 min，色谱峰峰面积检测限设为 1×10^4，并忽略检测

时的背景底噪干扰。在此条件下共识别出 113 种蟠桃汁挥发性物质组分，采用全频率筛选法共确定 14 种挥发性物质为所有待检蟠桃汁样本中的共有物质，其占总挥发性成分相对含量的 70%以上，以此推测此共有物质符合指纹构建的标准需求，在对 14 种共有物质（7 种酯类、2 种醛类、4 种醇类和 1 种酮类）准确定量定性后，建立蟠桃指纹图谱。

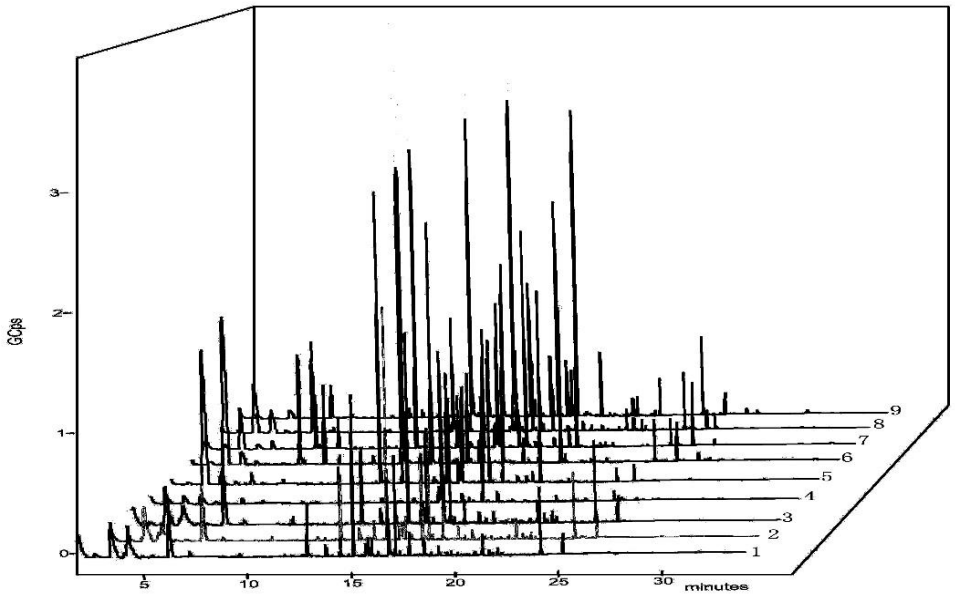


图 4-2 蟠桃挥发性风味物质指纹图谱

Fig. 4-2 GC-MS fingerprint of volatiles flavor compounds in flat peach juice samples

表 4-2 蟠桃共有挥发性物质指纹图谱信息

Table 4-2 The information of chromatographic fingerprint of volatiles of flat peach juice

序号	名称	RI		相对含量（%）	气味描述[7-9]	定性方法
		计算值	文献值			
1	乙醛	706	727	1.43±0.88	微刺激性气味	MS、RI
2	乙酸甲酯	823	864	4.39±2.10	果香、酒香	MS、RI
3	乙酸乙酯	897	878	41.09±9.14	甜味、果香	MS、RI
4	苯乙醇	1899	1890	0.05±0.02	花香、玫瑰香	MS、RI
5	乙酸丙酯	972	957	0.31±0.16	果香	MS、RI
6	乙酸异丁酯	1012	1022	0.17±0.13	甜味、花香	MS、RI
7	乙酸丁酯	1074	1075	0.04±0.02	青草、香蕉香	MS、RI
8	己醛	1081	1877	1.57±0.83	青草味、青苹果味	MS、RI
9	乙酸己酯	1263	1277	13.16±2.10	愉悦的水果香气	MS、RI
10	己醇	1350	1354	5.51±2.16	醇香、青香头香	MS、RI
11	(E)-2-己烯-1-醇	1342	1392	3.96±2.26	朗姆酒样香气	MS、RI
12	壬醇	1644	1673	0.10±0.04	橙子样香气	MS、RI
13	丙位己内酯	1691	1723	0.28±0.07	黑香豆味	MS、RI
14	二氢-β-紫罗兰酮	1831	1854	0.31±0.13	木香、果香	MS、RI

定性方法：MS 为质谱定性，RI 为计算保留指数定性；

具体特征挥发性成分感官属性描述详见表 4-2。表 4-2 中所检测出的己醛、苯甲醛、β-紫罗兰酮及酯类[167]、内酯[168]类物质已被确认为桃果实中的关键挥发性成分。通过所构建蟠桃汁指纹图谱分析，酯类物质为蟠桃汁中主体挥发性物质组分，其中乙酸己酯、

乙酸乙酯两种挥发性成分占蟠桃汁挥发性物质总量的 50%以上，且两种挥发性成分的感官气味描述均为果香味，此感官属性趋向于蟠桃汁整体感官特征，据此推断酯类物质与蟠桃汁特征香气轮廓具有显著相关性。己醛、己醇及 β-紫罗兰酮的感官属性为水果或青草香气，可为蟠桃汁特征风味轮廓的构成起到修饰作用，且对蟠桃汁整体呈现自然清香味感起到关键作用。现有研究结果表明蟠桃在长时间贮藏直至发生褐腐变质的过程中，果实中挥发性风味物质的改变是非常显著，从而引发了蟠桃汁整体品质呈现明显降低的趋势，具体表现为香气物质含量与种类的显著改变，相关研究发现蟠桃贮藏过程中醇类物质含量呈上升趋势，而其种类呈现下降趋势，酯类、醛类、酮类物质的含量则整体呈现显著下降趋势[169]；与此同时，与蟠桃果实贮藏期间挥发性物质的变化趋势类似，在蟠桃汁加工后其特征风味轮廓也发生了显著变化，酯类物质种类及含量也发生显著降低，醛类物质含量相对增加显著，然而各种具体风味物质改变是否对蟠桃汁整体风味的劣变是否起到主导作用，目前尚无科学判断，因此，明确差异物质的呈味效应是蟠桃汁整体风味品质控制及关键点监测的关键所在。

4.3.3 蟠桃汁特征风味物质指纹图谱科学性验证

为确认所建立图谱信息的科学性和精确性，需对整体测定结果的稳定性和准确性进行验证，通过检测结果的准确性、可重复性和稳定性来确认所用检测方法的准确性。对相同蟠桃汁进行 3 次平行进样检测，对检测仪器的精密度及稳定性进行评价；同时对同一批次不同组的蟠桃汁样本平行 3 次检测，对照分析所得质谱结果对试验方法的重复性或重现性进行验证；最后随机选取相同批次的 3 组蟠桃制成蟠桃汁样本，通过所得色谱峰峰面积对比，明确待测样本的稳定性。结果显示相对保留时间的精度为 0.70%，峰面积精密度结余为 0.15%-3.53%，保留时间和峰面积的重复率标准差分别低于 0.53% 和 4.43%，且重复性良好。每组进行 3 次平行样品检测，为保证各样品物质组成的一致性，需在 2h 内完成每组中的平行样品相关分析检测，保留时间差与峰面积差分别控制在 0.17%-0.31%、 0.15%-4.52%之间。通过以上试验充分验证了指纹图谱构建的科学性和稳定性。

4.3.4 蟠桃汁挥发性成分相似度分析

相似性是判断指纹整体相关性的标准，其目标是验证所构建共有模式是否能够准确表征样本的特征性，以验证指纹图谱识别能力的准确度[170]。试验将 12 组蟠桃汁样本与所得蟠桃汁特征指纹信息（表 4-1）进行相似度评价，以特征指纹信息为标准模板，将蟠桃汁样本的质谱数据作为因变量，采用 Pearson 相关系数结合向量夹角余弦法对其相似度进行验证评价，结果如图 4-3 所示。

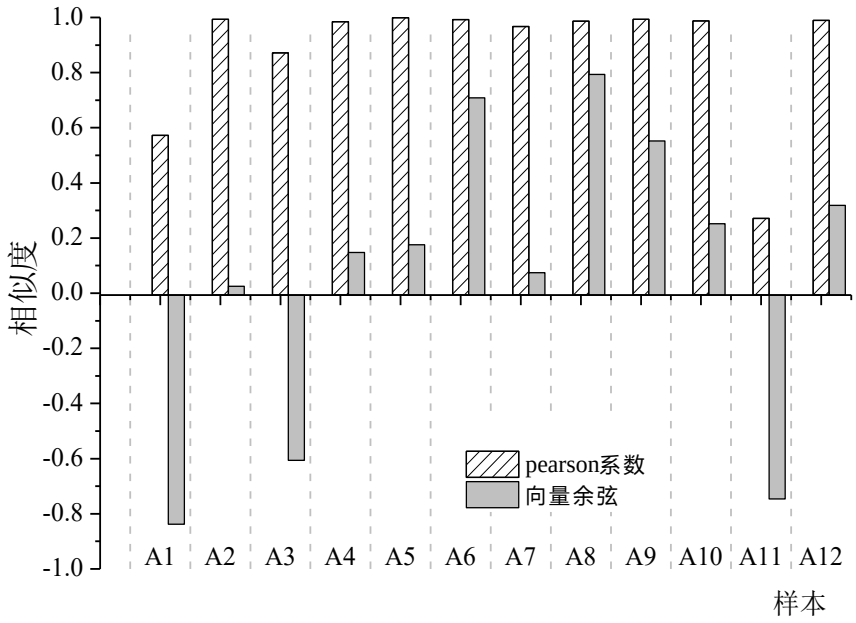


图 4-3　不同批次蟠桃汁样品相似度分析

Fig. 4-3 The results of similarity among different batches of flat peach samples

夹角余弦法是食品领域中一种常见的基于相似度评价而鉴别样品真伪的手段[8]，在对差异性因素需进行 Z-score 标准化后，采用向量夹角余弦法计算相似度。由图 4-3 发现 9 组蟠桃汁与特征指纹图谱间呈显著正相关，且相关系数均大于 0.90，然而 1、3 和 11 号样品与蟠桃汁样品具有显著的负相关性，相关系数低于新鲜蟠桃汁组，其相关系数值分别为-0.85、-0.62 和-0.76，同时基于挥发性特征风味轮廓分析，劣变蟠桃汁样品与新鲜蟠桃汁样品间呈显著负相关，该结果与总挥发性物质含量聚类分析结果一致，进一步验证基于特征信息共有模式可对不同品质蟠桃汁进行差异性分析及辨识，且可表征蟠桃汁整体风味轮廓的相似度。因此在蟠桃汁品质鉴定中，以相似度阈值作为评价指标（即将相似度设定为样品最低标准），若样品与共有模式相似度低于阈值即可认定为显著差异样本。基于该项研究结果，后期将不同感官等级的蟠桃汁挥发性物质组分形成指纹图谱待检测，即，通过风味信息可对不同品质蟠桃汁进行区划表征，实现蟠桃汁品质鉴定与分级、掺假样品鉴别的高效准确评判。

4.3.5 不同桃汁与指纹图谱间 PCA 判别模型构建

主成分分析（PCA）作为一种无监督的判别模式可在无背景的前提下对样本类别进行归类[171]。以所建立的标准指纹共有模式为识别背景（表 4-2）对所有待判别样本（包括新鲜蟠桃汁样品及其差异对照组样本，2 种市售蟠桃汁，嘉华、茹梦、汇源和统一 4 种不同品牌桃汁样品，详见表 4-1）中的 14 种特征挥发性成分进行定性定量分析，存在的未检测项其含量记为 0，将得到的样本的 GC-MS 原始数据进行 Z 标准化后合并成矩阵，构建 PCA 判别模型。结果如图 4-4 所示。

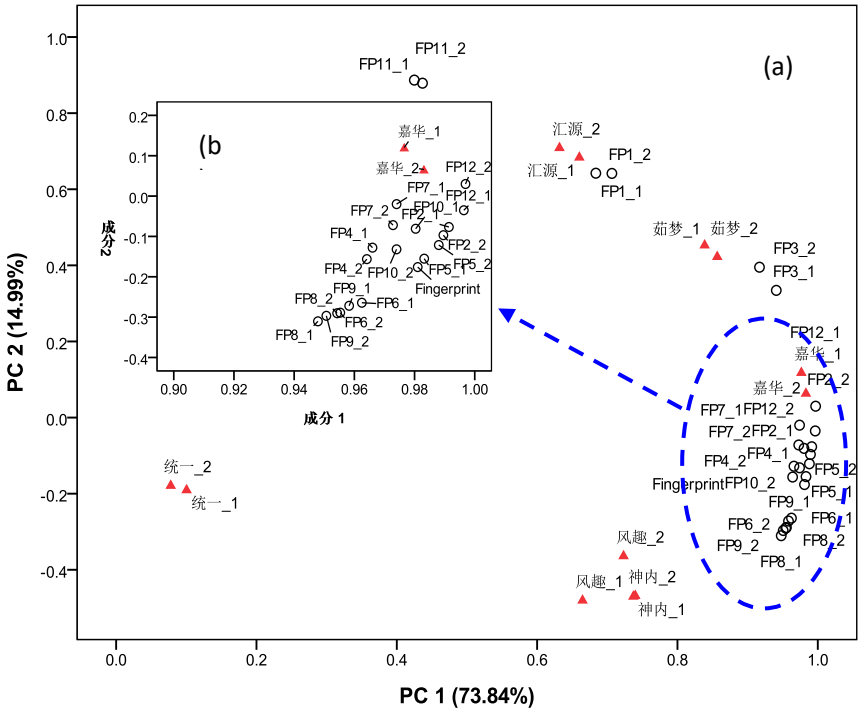


图 4-4 蟠桃与蟠桃汁及桃类果汁样本的 PCA 分析

Fig. 4-4 Scores plot of PCA of flat peach samples and peach juice samples

注：FP 为蟠桃样品，风趣、神内为不同品牌蟠桃汁样品，统一、嘉华、汇源、茹梦为不同桃汁样品。

主成分判别模型中前两个主成分 PC1（73.84%）和 PC2（14.99%）累计方差贡献为 88.83%，可表征大部分样品。因此基于前两个（PC1- PC2）主成分构建 PCA 判别模型。根据主成分分析原则，即在得分图上距离越近其风味轮廓的相似度就会越高，与指纹图谱间拟合度也会越高。由得分图可知 9 组新鲜蟠桃汁样品与指纹图谱（fingerprint）聚集于同一区域，FP1、FP3、FP11（差异对照组桃汁）位于整体评分图的左上方，且距离新鲜蟠桃汁较远，表明与新鲜蟠桃汁及指纹图谱在组成与含量上存在显著差异，该结果与聚类分析和相似性分析研究结果相同（图 4-1，图 4-3）。将 2 种市售蟠桃汁样品和 4 种市售其他桃汁产品进行对比分析。结果表明所构建指纹图谱与神内、风趣蟠桃汁样品及统一、汇源、茹梦桃汁样本空间距离较远，与新鲜蟠桃汁样品聚在同一区域，表明除新鲜桃汁样本外的其他样品均与指纹图谱所呈现的挥发性风味轮廓存在呈显著性差异，另外发现嘉华桃汁与蟠桃鲜果汁样品在主成分得分图空间位置上重叠，说明嘉华桃汁与新鲜蟠桃汁存在显著相似性，此结果显示仅靠 PCA 分析难以有效区分所有样品。

4.3.6 各样本相关性 PLS-DA 判别分析

偏最小二乘判别分析（PLS-DA）为有监督识别方法[172]，主要通过现有特征信息作为训练集，通过驯化获得定性分类模型，以达到分类未知样品的目的。利用蟠桃汁特征指纹图谱结合 PLS-DA 方法建立了桃汁识别与风味品质判别模型。结果如图 4-5 所示。

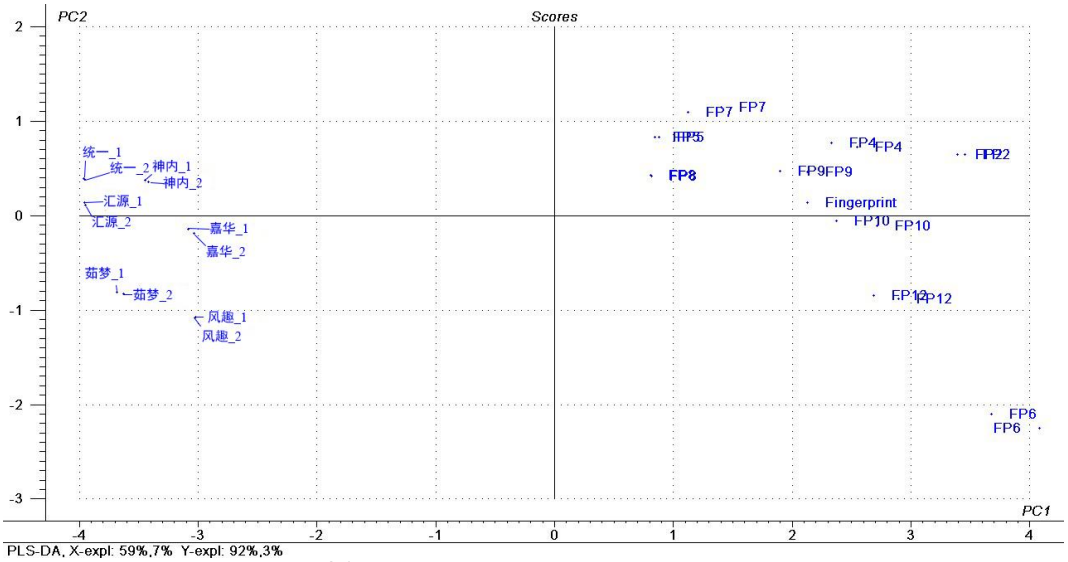


图 4-5 蟠桃汁样本与其他桃汁样本 PLS-DA 分析

Fig. 4-5 PLS-DA analysis of flat peach juice and other peach juice samples

构建 PLS-DA 模型并选取 PC1 和 PC2 进行判别分析，累积解释方差高于 90%，可表征样本整体信息。对照图 4-5 进行直观分析发现，基于 PLS-DA 判别模型可准确区分新鲜桃汁和各种桃汁样品，蟠桃汁与各种桃汁样本散布于载荷图两侧，嘉华桃汁与其他品牌桃汁样本聚集在同一区域且均位于载荷图左侧，表明这些桃汁样本与蟠桃汁样本及其指纹图谱差异度较高，且呈显著负相关，同时可对所有桃汁样品进行区分和鉴定，从而验证所构建 PLS-DA 判别模型的科学可靠性，可用于蟠桃汁真伪判别和桃汁风味品质区分。在验证 PLS-DA 判别模型对蟠桃汁真伪判别可行性与准确性的同时，为更深入识别导致各桃汁与蟠桃特征指纹图谱间存在显著差异的关键物质，基于 PLS-DA 对指纹信息进行差异性载荷得分分析，结果如图 4-6 所示。

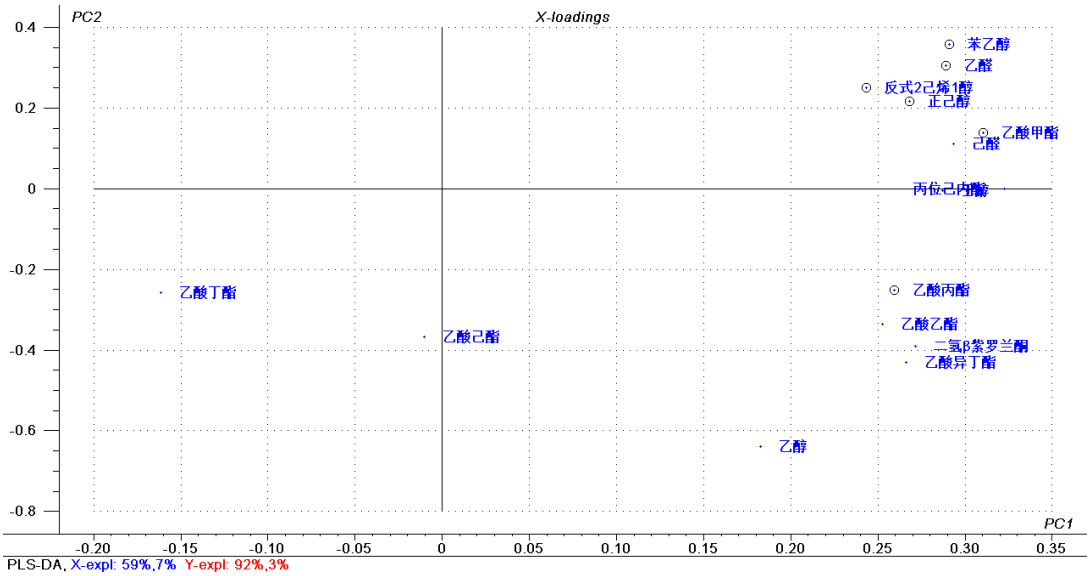


图 4-6 蟠桃汁样本与其他桃汁样本 PLS-DA 载荷图

Fig.4-6 Loadings plot of PLS-DA of flat peach juice and other peach juice samples

图 4-6 显示了指纹图谱中 14 种挥发性物质的载荷信息，圆形标注物质为蟠桃汁与

其他样本产生显著差异的差异性变量（根据 Jack-knife 不确定度检验计算得出，$p \leq 0.05$），包括苯乙醇、乙醛、(E)-2-己烯-1 醇、正己醇、乙酸甲酯、乙酸丙酯，这些特征性挥发性成分是导致新鲜蟠桃汁与其他桃汁产生差异性区分的表征性关键物质，差异性表征物质在蟠桃原料同源的市售蟠桃汁中的含量和种类的变化，是导致新鲜蟠桃汁整体风味品质其后产生显著性差异的主要根源，从而以此结果确定此 6 种物质是新鲜蟠桃汁与市售蟠桃汁及其他种类桃汁的信息关键差异点，也可作为后续蟠桃汁产品制备与加工中的关键溯源目标物质，以其达到优化蟠桃汁制备技术使其特征性风味感官品质自然呈现的目的，从加工手段转型的角度出发实施风味品质定向调控技术研究，促进蟠桃汁加工技术改造及其产业链健康持续发展。

4.4 本章小结

（1）利用 GC-MS 技术结合化学计量学法筛选出了蟠桃汁挥发性物质中具有风味呈现性的关键特征物质，构建了准确可行的蟠桃汁特征挥发性风味物质指纹图谱，其溯源性物质为乙醛、乙酸甲酯、乙酸乙酯、苯乙醇、乙酸丙酯、乙酸异丁酯、乙酸丁酯、己醛、乙酸己酯、己醇、(E)-2-己烯-1-醇、壬醇、丙位己内酯及二氢-β-紫罗兰酮。

（2）通过不同蟠桃汁及其他桃汁样本相似性评价和 PCA 分析，验证了采用该指纹信息对新鲜蟠桃汁与其他桃汁准确区分科学性与可靠性，所得指纹图谱可用于待测蟠桃汁样品风味品质的有效评价。

（3）结合指纹图谱信息构建了新鲜蟠桃汁与其他桃汁产品 PLS-DA 风味品质判别模型。采用此判别模型可对新鲜蟠桃汁及其他桃汁样本的差异性进行有效识别，并明确了造成蟠桃汁产品产生明显差异性的关键物质为苯乙醇、乙醛、(E)-2-己烯-1 醇、己醇、乙酸甲酯、乙酸丙酯；基于蟠桃汁挥发性物质共有模式所构建的蟠桃特征风味物质指纹图谱，可以实现蟠桃汁风味品质及产品真伪识别的快速性与准确性。

第五章　热杀菌对蟠桃汁中特征风味物质影响规律研究

5.1 前言

蟠桃皮薄汁多、采收期集中、易受微生物侵染等特点严重制约了蟠桃鲜果贮藏保鲜期的延长[114]。在进行蟠桃鲜果专用贮藏保鲜技术创制的同时，蟠桃汁加工已成为蟠桃生产产业链延伸的主要途径，近几年蟠桃汁加工产业呈现出快速、集中化发展的趋势。由于蟠桃果汁中天然香气属性是由多种不同类型挥发性物质组合协同拟合呈现的结果[114, 173]，在经过传统果汁生产加工中热处理工序特别是热杀菌环节，蟠桃鲜汁中大量热敏性挥发性物质存在不同程度的损失[14,174]，致使处理后天然风味轮廓异化与失真，已成为蟠桃产业链延伸及健康持续发展亟待解决的关键壁垒问题。巴氏热杀菌作为一种传统的杀菌处理方法，能有效地杀灭致病及腐败微生物，但经过巴氏杀菌处理后会造成果汁的整体风味品质异化[175]。为科学有效的评价果汁杀菌后风味品质优劣，采用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)对挥发性成分进行差异化分析，结合人工感官属性赋值与相关性分析模型系统评价热杀菌过程对蟠桃果汁整体风味品质的影响，建立风味感官属性的定量定性标准化评价体系

本研究预期采用顶空固相微萃取-气质联用技术(HS-SPME-GC-MS)结合描述性感官评价探究热杀菌造成蟠桃汁挥发性成分差异化原因，同时采用 HCA 结合 PCA 提取出关键差异性物质，并基于所建蟠桃汁特征风味指纹图谱明晰关键挥发性物质在不同杀菌温度前后的差异性程度及趋势，建立热杀菌蟠桃汁样品识别及其特征挥发性成分丧失效应的判别模型，探析热杀菌处理致使风味品质异化机制，以期为后期蟠桃汁风味品质评价及风味品质定向调控技术优化提供基础。

5.2 材料与方法

5.2.1 试验材料

蟠桃样本：新鲜蟠桃(150 Kg) 购买于新疆石河子市市场，随机分为 10 组，所有蟠桃均为完熟蟠桃且无明显损伤；试剂：内标物 2-辛醇；正构烷烃 (C_7-C_{40})：购于美国 Sigma-Aldrich 公司；其他试剂均为国产分析纯。

5.2.2 主要试验设备

萃取装置：75 μm CAR/PDMS/DVB(灰色)三复合型萃取头，美国 Supleco 公司；手动进样器，美国 Supleco 公司；气质联用仪：SCION SQ 456-GC 高分辨质谱仪，美国布鲁克公司；HH-SBF11 低速皮渣分离原浆设备，Hurom 韩国。

5.2.3 蟠桃果汁样品制备

新鲜蟠桃汁样本的制备：从冷库中随机取出 10 组新鲜蟠桃，按组分别榨汁处理。榨汁处理前，首先将蟠桃表皮绒毛及杂质清理干净，随后迅速剥皮、去核、切块并采用低速原浆榨汁机在室温(25℃)以 40r/min 榨汁处理，并用纱布(80 目)过滤，获得新鲜蟠桃汁样本(S0)。

5.2.4 热杀菌处理条件

为保证试验样品蟠桃原料的同源性与紧密对照性，热杀菌桃汁样本采用与新鲜蟠桃

汁(S0)相同的预处理过程。随后利用恒温水浴锅中在不同温度下（65℃、75℃、85℃）对蟠桃汁样品进行杀菌处理 30 min，杀菌结束后将样品冷却至 25℃，所获得杀菌样本分别命名为 S1、S2 和 S3，并在 4℃保存留待分析检测。所有样品均平行试验 3 次以保证结果科学性与重现性，具体杀菌步骤参照中华人民共和国国家标准(GB 7101-2015)并结合实际试验条件进行。

5.2.5 挥发性物质分离与鉴定方法

5.2.5.1 HS-SPME 萃取挥发性成分

具体方法同 3.2.4.1 HS-SPME 萃取挥发性成分。

5.2.5.2 GC-MS 检测分析条件

气相色谱柱型号为 DB-WAX 毛细管(30m×0.25 mm×0.25μm)，美国 Agilent 公司。柱箱于 40℃，保持 3 min，以 6℃/min 升至 80℃，再以 10℃/min 速率，将温度升高至 230℃，采用不分流进样。进样口温度为 250℃，载气为氦气(He，99.999%)，流速模式设定为恒流模式，流速为 1.1 mL/min。质谱与气相连接处传输线辅助加热器温度为 260℃。质谱条件：EI+电离源，电子能量为 70 eV；电子倍增器电压为 1000V；离子源温度为 230℃，检测质量范围 35m/z~350 m/z，全扫描模式。并采用相同测试条件，单独进行正构烷烃气质分析，结合碳原子数及保留时间计算目标挥发物的保留指数。

5.2.5.3 挥发性成分的定性与定量

定性方法：具体方法同 3.2.4.3 挥发性成分的定性与定量。

定量方法：具体方法同 3.2.4.3 挥发性成分的定性与定量。

5.2.5.4 描述性感官词库建立及评价人员培训

描述性感官词库建立及评价人员培训，详见 3.2.4.4。

5.2.6 数据处理方法

采用 SPSS vs. 18.0 及 Excel 2013 数据分析软件进行单因素方差分析(ANOVA)、Duncan 多重比较检验(P<0.05)、聚类分析（HCA）、主成分分析（PCA）等各类数据处理和相关性分析；通过 Mass Hunter 7.0 系统及 NIST 14 数据处理软件进行质谱结果解析；采用 Origin 8.5 及 ChemWin5.0 进行图形绘制。

5.3 结果与讨论

5.3.1 蟠桃汁原料挥发性成分

为保证生产蟠桃汁原料品质均一化，采用聚类分析以挥发性成分含量及种类差异对蟠桃原料进行初步筛选，剔除差异显著样本。由图 5-1 可知聚类分析能够在欧氏距离 25 以内将 10 组蟠桃样本有效区划识别为两大类，表明聚类分析能够有效识别出差异信息。当距离为 5 时，所有新鲜蟠桃样本可归为两组，即第 1 组(1-8 和 10 号)和第 2 组(9 号)。当欧式距离小于 5 时，1-8 号以及 10 号蟠桃组被归为了一类，表明所识别样本间具有相对较高的相似度，这一差异性特征随着欧式距离增加，直至距离为 5 时便可将此 9 组新鲜蟠桃组识别为一类。基于以上结论能够再次验证通过聚类分析可对指纹信息的因素样本进行初步筛选识别，蟠桃样本品质识别可根据挥发性化合物含量及种类的差异进行区

分。因此以 1-8 和 10 为新鲜蟠桃汁空白对照样本，能够表征出新鲜蟠桃汁的挥发性风味轮廓，同时筛选出新鲜蟠桃汁的特征挥发性物质。通过对比选中 9 组蟠桃的色谱图发现，9 组蟠桃的总离子流图整体峰型相似，但在峰的数量及各峰的丰度存在显著的差异，可能是蟠桃成熟度或生长环境不同致使风味差异所造成，同时所选同一批次蟠桃样品风味品质具有差异性也再次验证了蟠桃中挥发性物质复杂与多样性。因此对关键挥发性呈味成分进行解析是揭示蟠桃汁整体风味品质差异化的首要内容[76]，在充分考虑果汁风味物质的复杂性同时，阐明特征性挥发性香气成分在热杀菌中异化机制及其对蟠桃汁整体风味特性形成的关联性[77]。

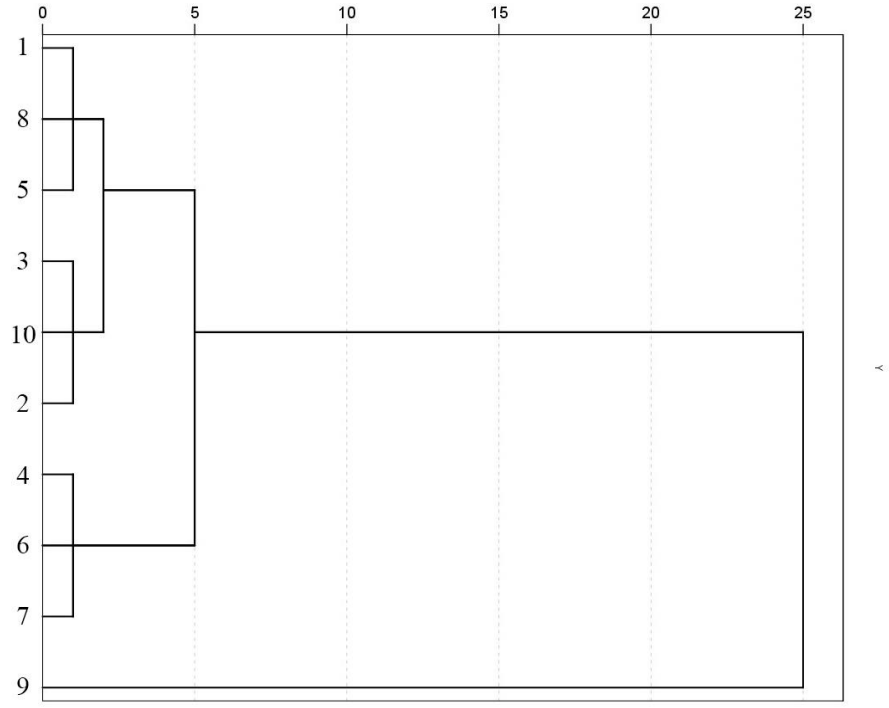


图 5-1 不同组蟠桃汁挥发性成分聚类分析

Fig.5-1 Dendrogram generated by the Hierarchical Cluster Analysis (HCA) for the volatiles of fresh flat peach juice samples

5.3.2 蟠桃汁不同处理后特征性挥发性风味物质对比

基于前期建立的蟠桃汁特征风味指纹图谱，对比筛选出的 14 种关键挥发性化合物：包括乙酸甲酯、乙酸乙酯、乙酸丙酯、乙酸异丁酯、乙酸丁酯、乙酸己酯、丙位己内酯、(E)-2-己烯-1-醇、己醇、壬醇、苯乙醇、乙醛、己醛与二氢-β-紫罗兰酮。选取前期研究已筛选出的 14 种特征挥发性成分能够有效表征出蟠桃汁挥发性物质轮廓及风味品质[176]，以此 14 种特征物质为关键评价指标，表征新鲜蟠桃汁样品和不同热杀菌温度处理后蟠桃汁样品挥发性成分构成的差异性。

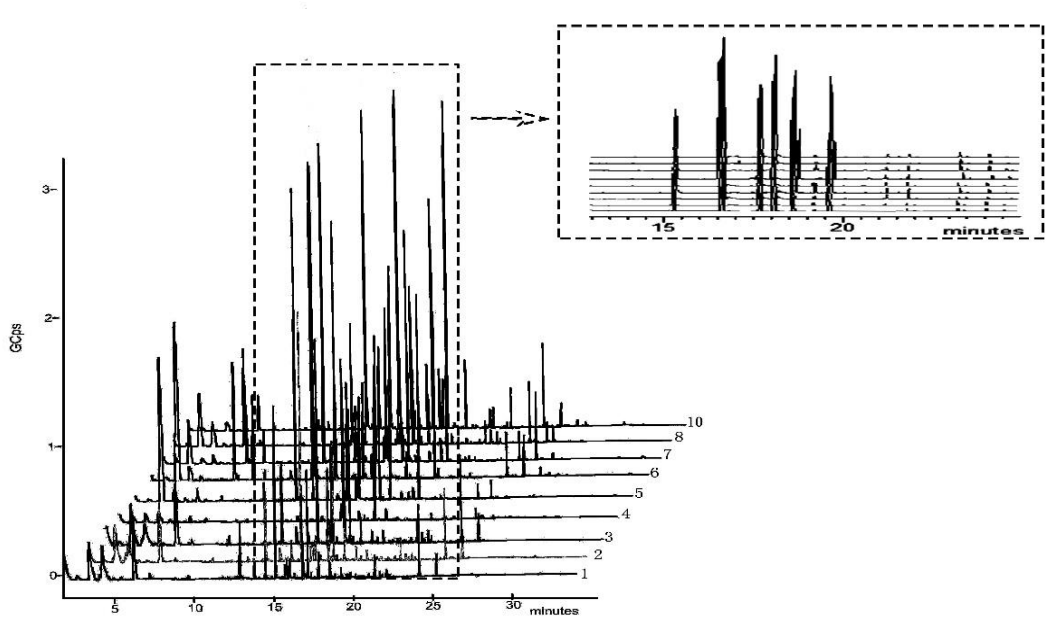


图 5-2 10 组蟠桃汁挥发性成分总离子流图

Fig.5-2 Total ion chromatograms of 10 group's volatile compounds

研究对比发现 4 组不同处理的蟠桃汁样品间的特征挥发性物质组成存在显著差异($p<0.001$，详见表 5-1)，其中与热杀菌处理后的汁样本对比，空白组(S0：鲜桃汁)中特征酯类物质相对含量占全部挥发性成分 63.15%，是新鲜蟠桃汁中主要物质类别；基于所检测到的 14 种指纹信息，S0 中检出特征酯类物质数量为 7 种，S1 和 S3 中均检出 4 种，而在 S2 中仅检测出 3 种，同时 S0 中酯类物质的含量是热杀菌处理后桃汁中的 2-3 倍(S1：27.00%，S2：20.96%，S3：21.4%)，这说明总酯类含量显著性下降可能是造成热杀菌蟠桃汁与鲜桃汁感官品质存在显著差异的原因，该结果与前章研究中鲜榨汁对比分析市售蟠桃汁挥发性成分的结果一致；在所有 S0 检出酯类中相对含量最高为乙酸乙酯(39.21%)，且乙酸乙酯的气味描述（详见表 5-1 气味描述）为水果香及青草味，感官属性更趋向于新鲜蟠桃汁整体感官特征，据此推断乙酸乙酯与新鲜蟠桃汁的特征香气轮廓构成具有显著相关性；分析对照 S1-S3 样本中乙酸乙酯含量均呈显著下降，同时均未检出特征性酯类中的乙酸丙酯和乙酸异丁酯 2 类物质，仅在 S3 中检测出乙酸丁酯(果香味)，这些特征挥发性酯类物质在经过热杀菌处理后异化与丧失，可能是由于具有较高热敏性而在热处理过程中容易丧失或转化[154]；如何将乙酸乙酯、乙酸丙酯、乙酸异丁酯和乙酸丁酯等酯类含量在杀菌处理后保持在新鲜桃汁中含量区间内，是优化热杀菌后蟠桃汁整体风味品质及提高其正向感官属性的关键点。

蟠桃汁特征挥发性指纹物质中仅有二氢-β-紫罗兰酮一种酮类物质，并且在 S0、S2 和 S3 样本中均有检出(0.09%~0.11%)，因其具有紫罗兰花气味，对蟠桃汁中花香味感官具有积极正向作用，在一定程度上可提升新鲜蟠桃汁整体风味品质与嗅感丰富度。S1-S3 样本中醇类含量变化呈相似趋势，即，所有特征性醇类物质在经过热杀菌处理后含量均

呈显著降低，与 S0 相比己醇(树脂香，青草味)、壬醇(清香味、泥土味)、(E)-2-己烯-1-醇(朗姆酒味)和苯乙醇(泥土味、花香味)的含量相较于鲜桃汁显著降低甚至丧失殆尽，其中己醇、(E)-2-己烯-1-醇、壬醇和苯乙醇的含量经不同温度杀菌处理后分别从 7.56%、0.47%、0.42%和 4.35%明显下降至 1.01%-1.20%、0.10%-0.26%、0.27%-0.39%和 0%-1.49%。以上 4 种醇类具有较低阈值特点而在较低含量下对蟠桃汁中果香和花草清香感呈现方面具有重要作用，能增强蟠桃汁整体香气的饱满醇厚感。

醛类物质香气阈值通常较低且能够为水果提供清香感或香甜气味[177]，以呈现青草气息的己醛为代表的醛类物质多具有较低的风味阈值，作为蟠桃汁中的特征挥发性化合物是其风味感官属性形成的关键组分[178]，可增加蟠桃汁整体的风味轮廓的丰富度，相关研究推测醛类含量的变化会显著改变蟠桃汁整体风味品质的丰富度及影响清香感这一属性[153]。对比新鲜桃汁样本经过热杀菌处理后的蟠桃汁中己醛含量由 2.67%显著降低至 0.81%-1.40%。同时由于乙醛具有较高的热敏性(沸点：20.8℃)[179]在加热杀菌的过程中极易发生丧失，致使所有杀菌处理后的蟠桃汁样品中均未检出乙醛。

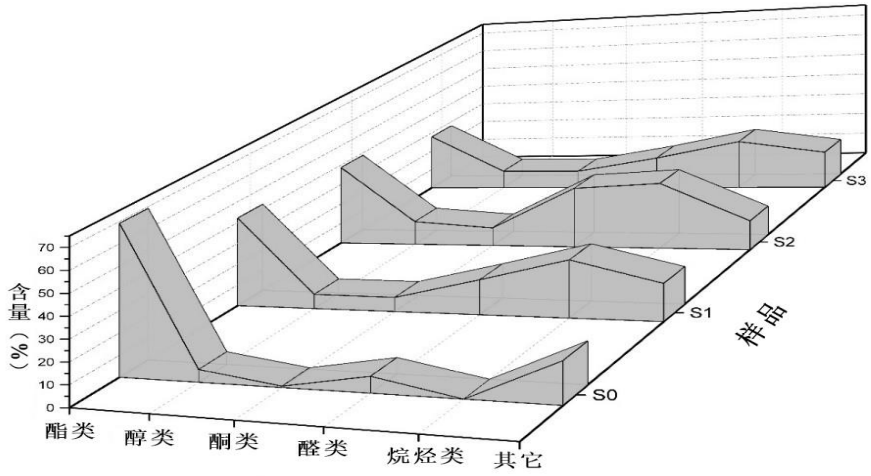


图 5-3 不同处理蟠桃汁样品中挥发性成分差异性比较

Fig.5-3 Comparison of the volatile compounds in fresh peach juice and thermal sterilization juices

表 5-1 蟠桃汁杀菌前后挥发性成分总结及感官特性描述

Table5-1 Characteristic volatile and semi-volatile compounds recovered with HS- SPME extraction in fresh peach juice and different treatment samples

No.	物质名称	英文名称	RI 值	相对含量 (%)				感官描述	鉴定方法
				S0 (fresh)	S1 (65℃)	S2 (75℃)	S3 (85℃)		
N1	乙醛	Acetaldehyde	727	2.18 ^{a}	ND ^{b}	ND ^{b}	ND ^{b}	Ethereal(微刺激感)[7,8], wine(酒香味)[7], coffee(咖啡味)[7], orange(橙汁味)[8], almond(苦杏仁味)[8], apple(苹果味)[8], green(清香味)[8], citrus(柑橘味)[8]	MS,RI
N2	乙酸甲酯	Methyl acetate	864	6.83 ^{c}	2.13 ^{b}	2.46 ^{b}	0.37 ^{a}	Fruity(水果香)[5], bouquet(花香)[7], weedy(青草味)[7], green(清香味)[7]	MS,RI
N3	乙酸乙酯	Ethyl acetate	878	39.21^{b}	22.57 ^{a}	17.97 ^{a}	20.72 ^{a}	Pineapple(菠萝味)[5,7,8], anise(茴香味)[7], ethereal(微刺激感)[7,8], brandy(白兰地酒香)[8], fruity(水果香)[8], weedy(青草味)[8], green(清香味)[8], sweet(香甜气味)[8], grape(葡萄味)[8], cherry(樱桃味)[8]	MS,RI
N4	乙酸丙酯	Propyl acetate	957	0.14 ^{b}	ND ^{a}	ND ^{a}	ND ^{a}	Pungent(刺激性气味)[7], fruity(水果香)[7], sweet(香甜气味)[5,7], cocoa(可可粉味)[7], nutty(坚果味)[5]	MS,RI
N5	乙酸异丁酯	Isobutyl acetate	1022	0.17 ^{b}	ND ^{a}	ND ^{a}	ND ^{a}	Fruit(果香味)[5], apple(苹果味)[5], banana(香蕉味)[5]	MS,RI
N6	乙酸丁酯	Butyl acetate	1075	0.05 ^{b}	ND ^{a}	ND ^{a}	0.07 ^{c}	Fruit(果香味)[5], apple(苹果味)[5,6], sweet(香甜味)[5], banana(香蕉味)[5], pear(梨子味)[5]	MS,RI
N7	己醛	Hexanal	1877	2.67 ^{c}	1.24 ^{b}	1.40 ^{b}	0.81 ^{a}	Fat(脂香味)[5,7,8], tallow(牛油味)[5], grass(青草味)[5,7,8], fruity(果香味)[7,8], apple(苹果味)[8], sweaty(香甜味)[8], woody(木香)[8]	MS,RI
N8	乙酸己酯	Hexyl acetate	1277	16.36 ^{a}	1.84 ^{b}	0.26 ^{b}	0.24 ^{b}	Fruit(果香味)[5], herb(草药香)[5,8], apple(苹果香)[7,8], cherry(樱桃味)[7,8], floral(花香味)[7,8], pear(梨子味)[7,8], sweet(香甜味)[7,8], banana(香蕉味)[8]	MS,RI
N9	己醇	1-Hexanol	1354	7.56 ^{c}	ND ^{a}	1.20 ^{b}	1.01 ^{b}	Resin(树脂香)[5], floral(花香味)[5], green[5,8], woody(木香)[8], sweet(香甜味)[8], fruity(果香味)[8], ethereal(微刺激感)[8]	MS,RI
N10	(E)-2-己烯-1-醇	(E)-2-Hexen-1-ol	1392	0.47 ^{c}	0.10 ^{b}	ND ^{a}	0.26 ^{b}	Rum like(朗姆酒味)[7]	MS,RI
N11	壬醇	Nonanol	1673	0.42 ^{a}	0.69 ^{b}	0.84 ^{b}	0.71 ^{b}	Citrus(柑橘味)[5,7,8], green(清香味)[5,8], apple(苹果味)[7], coconut(椰子味)[7,8], grapefruit(葡萄味)[7], lemon(柠檬味)[7,8], lime(酸橙味)[7], melon(甜瓜味)[7,8], orange(橙子味)[7,8], nutty(坚果味)[7,8], peach(桃子味)[7]	MS,RI
N12	丙位己内酯	γ-Caprolactone	1723	0.39 ^{a}	0.46 ^{c}	ND ^{a}	ND ^{a}	Black bean(黑豆味)[7]	MS,RI
N13	二氢-β-紫罗兰酮	Dihydro-β-ionone	1854	0.11 ^{c}	ND ^{a}	0.09 ^{b}	0.09 ^{b}	Caramel(焦糖味)[5], woody(木香)[5,7], nutty(坚果味)[7], violet flower(紫罗兰花味)[7]	MS,RI
N14	苯乙醇	Benzeneethanol	1890	4.35 ^{c}	1.49 ^{b}	ND ^{a}	ND ^{a}	Earthy(泥土味)[5], floral(花香)[7], grass(青草味)[5]	MS,RI

[1] RI 是在 DB-WAX 色谱柱下 (Agilent Technologies), 通过正构烷烃计算值并比对 NIST 国际标准技术库:
(http://webbook.nist.gov/chemistry/name-ser.html)。

[2] 定性方法: MS：质谱定性;；RI：保留指数定性；“ND" ：未检出

[3] 差异性分析 (a-c) 表示样品对比间具有显著性差异(ANOVA, $p < 0.05$)

[4] 风味描述资料来源:

[5] Flavornet (http://www.flavornet.org/flavornet.html);

[6] Bedoukian Research (http://www.bedoukian.com/);

[7] Sigma Aldrich SAFC, Flavors and Fragrances (http://www.safcglobal.com/safc-supply-solutions/en-us/home/flavors-and-fragrances.html);

[8] The Good Scents Company (http://www.thegoodscentscompany.com/)

蟠桃汁整体感官品质与挥发性化合物种类及各成分含量间均具有显著的相关性，采用 GC-MS 分离与鉴定蟠桃汁中挥发性物质组成且对比分析了经不同杀菌温度的热杀菌前后含量差异。如图 5-3 中结果表明，新鲜蟠桃汁与杀菌处理后蟠桃汁中的挥发性物质组分和含量存在显著差异，且不同温度杀菌后蟠桃汁中挥发性成分的含量同样存在显著差异。新鲜蟠桃汁中主要挥发性成分构成为酯类(69.19%)，其次为醛类(6.97%)和醇类(5.63%)；而热杀菌组(S1-S3)与 S0 鲜汁样本相比挥发性成分构成发生了显著性异变，主要为酯类化合物含量显著降低，而酮、醛和烷烃类物质相对含量显著增加，热杀菌过程造成蟠桃汁中挥发性物质的差异原因主要是，热处理过程中温度致使新鲜蟠桃汁中热敏性成分发生合成与裂解反应而造成呈香属性异变，致使热杀菌环节势必会发生风味轮廓改变与蟠桃汁风味品质劣变；对比 S0 与杀菌处理组，S0 样本中酯类与醇类物质的相对含量显著高于杀菌处理后的蟠桃汁，显示出热杀菌处理过程中温度因素与酯类及醇类呈显著负相关；然而经过热杀菌处理后与醇类、酯类含量显著下降趋势不同的是，酮类、醛类和烷烃类相对含量在经过热杀菌处理后呈增长趋势，同时杀菌组桃汁中烷烃类物质随着杀菌温度的升高，其含量也呈上升趋势，表明杀菌温度与烷烃类物质含量呈正相关，但由于烷烃类物质芳香阈值较高对蟠桃汁风味品质贡献度不显著，本论文将在后续研究中采用 GC-O 嗅闻技术进行更为精确的评价。

5.3.3 构建特征性挥发性成分与不同热杀菌蟠桃汁 PCA 模型

采用主成分分析法（PCA）对不同热杀菌处理后蟠桃汁样品和蟠桃汁特征性挥发性物质含量构建相关性预测模型，确定主要挥发性成分与各处理桃汁组的相关性及各处理桃汁间的差异性联系。如图 5-4 所示将 GC-MS 分析所得挥发性成分与不同杀菌条件下的 14 种蟠桃汁特征挥发性物质的平均数据应用于构建 PCA 模型，从模型中选取前两个主成分 PC1 和 PC2，其累积方差为 87.05%，可表征出样本大部分信息。x-矩阵由 4 组不同处理的蟠桃汁样本挥发性成分组成，y-矩阵由 14 种蟠桃汁特征挥发性化合物含量组成。所构建 PCA 模型能准确地识别出所有样本，从而验证了所建模型的科学可靠性。

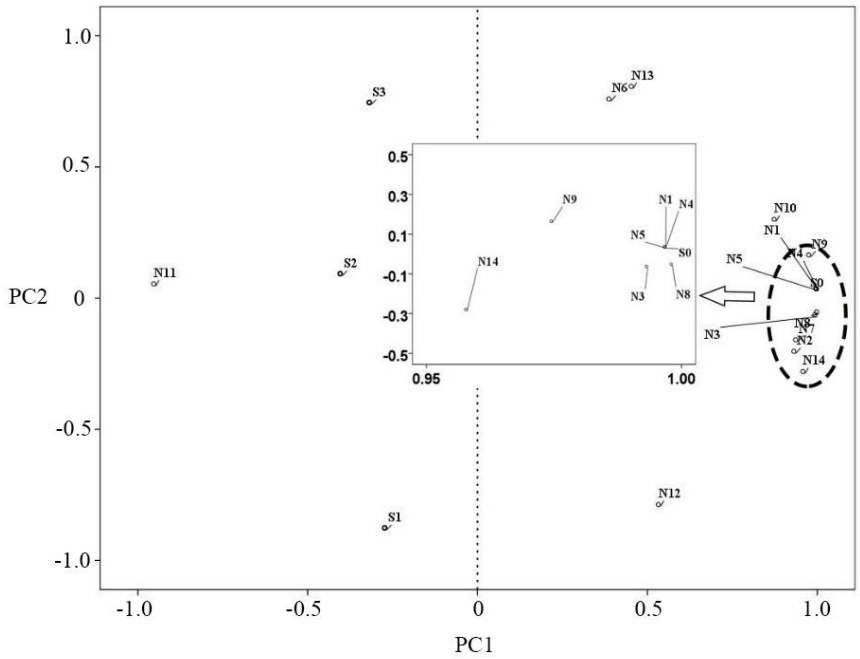


图 5-4 构建蟠桃汁关键挥发性成分与不同处理样本相关性模型

Fig. 5-4 PCA correlation loading plot of different treated flat peach juice samples and characteristic volatiles

根据空间距离与相关性成正比的主成分分析原则，如图 5-4 揭示造成不同温度杀菌样品间存在显著差异的关键特征挥发性化合物。热杀菌处理组和鲜蟠桃汁分别位于 PCA 分析图的两侧，在主成分分析图左侧 S1-S3 热杀菌桃汁样品在空间距离上仅与壬醇(N11)非常接近，通过矩阵计算相关性系数 N11-S0=0.04，N11 与 S1-S3 相关系数分别为 0.45，0.17 和 0.42，壬醇能够呈现出清香味，柑橘味等，与杀菌组桃汁呈显著相关性，可能是因其具有较高热稳定性而不易在高温下发生热丧失所导致[180]，其含量的降低也会对蟠桃汁感官属性中清香感及整体风味丰富度造成显著影响。乙酸甲酯、乙酸乙酯、乙酸异丁酯、己醛、乙酸己酯、己醇、(E)-2-己烯-1-醇等特征挥发性化合物均与新鲜桃汁聚在主成分图右侧且呈显著正相关，推测以上物质可能是造成新鲜桃汁与杀菌处理后桃汁差异化显著的关键成分。乙酸丁酯、丙位己内酯、二氢-β-紫罗兰酮和苯乙醇在空间距离上与样品 S0-S3 相距较其他特征挥发性成分较远，表明热杀菌过程中温度因素与这些物质含量变化间相关性不显著。比较 3 组不同杀菌温度处理蟠桃汁样品，S1-S3 均位于 PCA 图中左侧区域，但三组桃汁样品在空间距离上相距较远，其中 S1 位于 PCA 图的左下方，S2 介于于 S1 与 S3 样品之间，此结果再次证明热杀菌处理过程温度与蟠桃汁的整体风味品质表征呈显著相关性，不同杀菌温度处理后蟠桃汁挥发性风味成分也存在显著差异性。

5.4 本章小结

（1）新鲜蟠桃汁与 3 种不同温度热杀菌处理后蟠桃汁样品中挥发性物质组成存在显著差异，且整体风味轮廓发生了明显变化。热杀菌处理后蟠桃汁中酯类、醇类物质含量均呈降低趋势，其中酯类物质（新鲜桃汁中 63.15%）平均下降 2-3 倍，而酮、醛和烷

烃类物质呈增加趋势。

（2）对比新鲜蟠桃汁与杀菌处理后蟠桃汁中 14 种特征挥发性风味物质，其中酯类物质中乙酸乙酯含量由 39.21%下降至 17.97%-22.57%，而乙酸丙酯和乙酸异丁酯在所有杀菌处理组中均未检出；醇类物质中己醇、(E)-2-己烯-1-醇、壬醇和苯乙醇的含量经不同温度杀菌处理后分别从 7.56%、0.47%、0.42%和 4.35%明显下降到 1.01%-1.20%、0.10%-0.26%、0.27%-0.39%和 0%-1.494%，这 4 种醇类物质的降低会显著影响蟠桃汁中果香味和花草清香感的呈现。

（3）通过主成分分析（PCA）分析揭示新鲜蟠桃汁与其特征风味物质中的乙酸甲酯、乙酸乙酯、乙酸异丁酯、己醛、乙酸己酯、己醇、(E)-2-己烯-1-醇、苯乙醇具有显著正相关性，同时以上物质可能是造成新鲜桃汁与杀菌处理后桃汁差异化显著的关键成分。壬醇与杀菌桃汁样品聚在主成分分析图同一侧呈显著性相关，由于其热稳定性在杀菌过程中含量未发生显著改变，与 S0-S3 桃汁样品相关系数分别为 0.037、0.453、0.169 与 0.415，但其含量降低对蟠桃汁感官属性中清香感及整体风味丰富度会造成一定影响。

第六章　蟠桃汁酶解增香技术研究

6.1 前言

蟠桃汁经产业化加工发生香气物质的种类及含量趋变势必导致整体风味轮廓失真或劣变，其中特征呈味物质的异化以及异味物质产生是风味品质劣变促发的主要原因，而风味品质劣变严重影响了消费者对产品的认可度及消费欲望。采用 β-葡萄糖苷酶对食品中键合态香气化合物酶解，被认为是释放潜在关键挥发性香气物质的一种有效手段，如 Fan 等[68]报道了采用 β-葡萄糖苷酶对橙汁酶解后显著增加了 13 种游离态物质以及 6 种键合态香气物质含量。然而目前许多研究多通过现存香气物质含量差异进行酶解效果优劣的主观评价与分析，往往忽略了因化学键断裂或再聚合所形成的风味趋变效应，相关聚合与酶解反应对果汁风味品质改变存在潜在影响。因此建立关键呈香物质与整体呈香属性间的效应关系，并以蟠桃汁酶解增香定向调控为目标，试图进行蟠桃汁 β-葡萄糖苷酶酶解技术探析可解决目前蟠桃汁热杀菌处理后品质劣变此瓶颈问题。

在前章明确导致蟠桃汁热杀菌后风味品质劣变主要挥发性物质种类的同时，本章拟采用 HS-SPME-GC-MS 技术首先对新鲜及酶解后蟠桃汁中挥发性物质进行定性定量分析，在筛选其共有模式物质的同时，采用系统聚类和相似度分析法结合偏最小二乘分析（PLSR）构建蟠桃汁风味品质定量预测模型，并利用 PLSR 与 PLS1 模型相结合的方法进行酶解增香与感官属性效应关系解析，深入明晰蟠桃汁中各单体挥发性物质对感官属性贡献率，以期为后期采用酶解增香技术对蟠桃汁或其他果汁风味品质优化技术的创制提供思路和借鉴。

6.2 材料与方法

6.2.1 试验材料

蟠桃样本：鲜桃汁均由完全成熟的鲜桃样本制成，购于石河子市蟠桃种植基地，将蟠桃样本暂储于保鲜库内留待进一步检测；β-葡萄糖苷酶 (13.7 U/mg)，购于美国 Reanta 公司；试验试剂：正构烷烃 (C_7-C_{40})与 2-辛醇均购于美国 Sigma -Aldrich 公司；其他试剂均为国产分析纯。

6.2.2 主要试验设备

萃取装置：75 μm CAR/PDMS/DVB(灰色)三复合型萃取头，美国 Supleco 公司；手动进样器，美国 Supleco 公司；气质联用仪：SCION SQ 456-GC 高分辨质谱仪，美国布鲁克公司；HH-SBF11 低速皮渣分离原浆装备，韩国 Hurom 公司。

6.2.3 蟠桃果汁样本的制备

为比较 β-葡萄糖苷酶的不同酶解条件对桃汁的增香效果的影响，制备共 5 组对照样品，分别是新鲜蟠桃汁样本(FPS0)：将蟠桃从冷库中取出后迅速完成去核、切块等步骤，采用低速皮渣分离机于低温 40 r/min 的条件制备新鲜蟠桃汁样本；巴氏杀菌蟠桃汁样本(FPS1)：将新鲜蟠桃汁于 75℃下杀菌 30 min 后获得；酶解样本分别命名为 FPS2-FPS4：将 FPS1 桃汁样本在 pH 值调为 4.00，添加并混匀 0.10 g β-葡萄糖苷酶[181]，分别于 45℃、

55℃和 65℃水浴中酶解 60 min。

6.2.4 分析方法

6.2.4.1 HS-SPME 萃取挥发性成分

具体方法同 3.2.4.1 HS-SPME 萃取挥发性成分。

6.2.4.2 GC-MS 检测分析条件

气相色谱柱型号为 DB-WAX 毛细管(30m×0.25 mm×0.25μm)，美国 Agilent 公司。柱箱初始温度 40℃，保持 3 min，后以 6℃/min 升至 80℃，不保持，以 10℃/min 升温速率，将温度升至 230℃，为不分流进样。进样口温度为 250℃，载气为高纯氦气(99.999%)，模式为恒流模式，流速 0.9 mL/min。传输线辅助加热器温度为 260℃。

质谱条件：EI+电离源，电子能量为 70 eV，灯丝电流为 80 μA；电子倍增器电压为 1000V；并在相同条件下，单独进行正构烷烃气质分析，以碳原子数计算目标挥发物的保留指数。

6.2.4.3 挥发性成分的定性与定量

定性方法：具体方法同 3.2.4.3 挥发性成分的定性与定量。

定量方法：具体方法同 3.2.4.3 挥发性成分的定性与定量。

6.2.4.4 感官属性词库建立及评价人员培训

本试验采用描述性感官分析(DSA)，感官评价小组由 8 名成员(3 名男性，5 名女性，年龄 22-38 岁)组成，且所有感官评价人员均参与过描述性感官分析和定量描述性分析相关试验。感官评价前需进行 3 次蟠桃汁感官属性赋值的专项培训，首先讨论并初步确定各试验桃汁样本具有表征性的感官属性；随后通过多次感官评价训练在感官属性特点描述上达成统一，最后针对确定的各感官属性(果香味=fruity，花香味=floral，桃果香=peach-like，蒸煮味=cooked 和异味=unnatural)再进行多次赋值训练，为后续蟠桃汁不同酶解处理后描述性感官分析做充足准备。在对感官属性赋值时，结合试验内容建立两套赋值标准，在对 β-葡萄糖苷酶酶解效果验证阶段需明确各感官属性酶处理后强度差异性对比，为此描述性感官评价采用 10 分制评价法(0=弱，10=极强)；而在进行酶解参数优化时，需整体评价酶解后蟠桃汁风味品质差异，为显著区划对巴氏杀菌处理后蟠桃汁酶解效果，采用 50 分制评价法（0=弱，50=极强），并赋予各感官属性权重系数分别为果香味=0.8，花香味=0.5，桃果香=0.7，蒸煮味=-0.5，异味=-0.5，所有评价小组成员需在当天对各组样品平行评价 3 次。

果香味与花香味两种感官属性的评价参照 Liu 等[83]研究并在其基础上进行调整更为符合本次实验需求。其他感官属性如桃果香参考了 Santin 等[84]相关研究方法，针对蒸煮味的训练是将蟠桃汁于 120℃加热 15min 后产生的蒸煮味为标准；对异味这一感官属性小组成员认为是蟠桃汁中难以描述且不是典型蟠桃汁正向香气感官属性统称，将异味与蒸煮味属性分别区划，主要目的是为对不同加工处理后的蟠桃汁风味品质进行准确的科学评价。同时为避免嗅闻评价时温度差异而影响蟠桃汁最终感官评价结果，所有 FPS 样本均被密封放置在 30℃水浴锅中保温，评价时每组 FPS 样品取 30mL 装入不透明一次

性塑料杯中，随机标注序号并打乱顺序分给小组成员，每组样品均平行评价 3 次。

6.2.5 响应面（单因素）试验条件

6.2.5.1 酶解温度蟠桃汁风味的影响

取 100mL FPS1 样品于锥形瓶中加入 0.10g 酶,分别于 35℃到 75℃的温度范围内,每隔 l0℃的温度条件下，反应 40min 并对蟠桃汁进行描述性感官评价。

6.2.5.2 酶解时间对蟠桃汁风味的影响

取 100mL FPS1 样品于锥形瓶中加入 0.10 g 酶,在 50℃的温度条件下进行反应，反应时间分别为 30min、35min、40min、45min、50min、55min、60min、65min 后对酶解蟠桃汁样本进行描述性感官评价。

6.2.5.3 加酶量对蟠桃汁风味的影响

取 100mL FPS1 样品加入酶分别为 0.10g/100mL、0.50g/100mL、1.00g/100mL、1.50g/100mL、2.00g/100mL、2.50g/100mL、3.00g/100mL、3.50g/100mL，在 50℃条件下反应 40min，并对所得酶解蟠桃汁样本进行描述性感官评价。

6.2.5.4 pH 值对蟠桃汁风味的影响

取 100mL FPS1 样品于锥形瓶中，加入 0.10 g β-葡萄糖苷酶混匀，用缓冲液分别调节 pH 值为 3.50、4.00、4.50、5.00、5.50、6.00、6.50，于 50℃水浴锅内酶解 40min，并对酶解蟠桃汁样本进行描述性感官评价。

6.2.6 数据处理方法

采用单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan 多重比较检验($P<0.05$)评价感官属性和挥发物的差异，采用 SPSS vs. 18.0 进行数据处理。利用 PLSR 及 PLS1 明晰特征化合物与酶解效果相关性及各物质对蟠桃汁各感官属性的贡献率，模型构建采用 Unscrambler X version 9.6 软件。响应面设计及分析采用 design-expert 8.0.6 软件。

6.3 结果与讨论

6.3.1 不同处理组蟠桃汁挥发性物质差异性解析

对比不同处理条件获得 FPS 样本挥发性物质，共分离鉴定出包括醇、醛、酮、酯和烃类及杂环类等 71 种物质，结果详见表 6-1 所示。

表 6-1 不同处理方式蟠桃汁样本挥发性成分分析与鉴定

Table 6-1 Analysis and identification of volatile compounds of flat peach juice samples of different treatments

No.	物质名称	英文名称	KI		相对含量 (μg/100 mL)				
			KI_{cal}	KI_{ref}	FPS0	FPS1	FPS2	FPS3	FPS4
1	乙醛	Ethanal	706	727	15.291±0.26^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}
2	戊醛	Pentanal	981	953	0.000±0.00^{a}	6.291±0.35^{d}	5.063±0.21^{c}	4.252±0.21^{b}	5.328±0.21^{c}
3	己醛	Hexanal	1081	1077	18.710±0.63^{b}	1.152±0.08^{a}	0.643±0.09^{a}	0.741±0.06^{a}	0.698±0.08^{a}
4	庚醛	Heptanal	1220	1162	0.000±0.00^{a}	0.162±0.02^{b}	0.168±0.03^{b}	0.312±0.06^{c}	0.000±0.00^{a}
5	2-己烯醛	2-Hexenal	1192	1193	13.562±1.01^{c}	0.000±0.00^{a}	2.306±0.07^{b}	0.091±0.01^{a}	0.000±0.00^{a}
6	辛醛	Octanal	1297	1267	0.000±0.00^{a}	0.203±0.07^{bc}	0.172±0.02^{b}	0.285±0.07^{c}	0.000±0.00^{a}
7	壬醛	Nonanal	1381	1386	0.753±0.08^{d}	0.335±0.06^{b}	0.412±0.10^{bc}	0.482±0.09^{c}	0.034±0.00^{a}
8	(E,E)-2,4-己二烯醛	(E,E)-2,4-hexadienal	1390	1397	0.331±0.06^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}
9	(E)-2-辛烯醛	(E)-2-octenal	1439	1441	0.000±0.00^{a}	1.342±0.12^{d}	0.673±0.03^{c}	0.141±0.02^{b}	0.000±0.00^{a}
10	糠醛	Furfural	1399	1432	0.000±0.00^{a}	6.002±1.02^{b}	0.521±0.05^{a}	0.314±0.07^{a}	0.414±0.05^{a}
11	(E,E)-2,4-庚二烯醛	(E,E)-2,4-heptadienal	1390	1397	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.301±0.04^{b}	0.342±0.11^{b}	0.000±0.00^{a}
12	癸醛	Decanal	1450	1472	0.252±0.09^{c}	0.131±0.03^{b}	0.128±0.01^{b}	0.112±0.03^{b}	0.093±0.00^{a}
13	(Z)-2-壬烯醛	(Z)-2-nonenal	1480	1485	0.000±0.00^{a}	0.111±0.01^{b}	0.000±0.00^{a}	0.062±0.02^{ab}	0.893±0.07^{c}
14	5-甲基呋喃醛	5-Methyl-2-furancarboxaldehyde	1568	1570	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.041±0.01^{a}	0.983±0.10^{b}
15	(Z)-2-癸烯醛	(Z)-2-decenal	1642	1644	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.082±0.03^{b}	0.000±0.00^{a}
16	3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	3,7-Dimethyl-2,6-octadienal	1746	1718	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.009±0.00^{b}	0.021±0.01^{c}	0.000±0.00^{a}
17	2-十一烯醛	2-Undecenal	1749	1755	0.000±0.00^{a}	0.143±0.05^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}
18	5-羟甲基糠醛	5-Hydroxymethyl-2-furaldehyde	2479	2485	2.000±0.12^{c}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.273±0.08^{b}
19	乙酸异丙烯酯	Isopropenyl acetate	985	-	0.252±0.08^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}
20	乙酸甲酯	Methyl acetate	823	864	47.923±1.62^{b}	0.993±0.08^{a}	0.962±0.06^{a}	0.294±0.08^{a}	1.212±0.21^{a}
21	乙酸乙酯	Ethyl acetate	897	878	275.006±2.96^{d}	11.462±0.67^{a}	24.789±0.27^{b}	34.112±0.96^{c}	21.252±0.97^{b}
22	乙酸丙酯	Propyl acetate	972	957	1.003±0.07^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}
23	乙酸异丁酯	Isobutyl acetate	1012	1022	1.162±0.05^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}

续表 6-1

24	乙酸异戊酯	Isoamyl acetate	1113	1115	0.000±0.00^{a}	0.623±0.06^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}
25	乙酸戊酯	Amyl acetate	1169	1175	0.332±0.03^{c}	0.000±0.00^{a}	0.452±0.03^{d}	0.248±0.09^{b}	0.000±0.00^{a}
26	乙酸异戊烯酯	Prenyl acetate	1246	1249	0.329±0.07^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}
27	戊醇	Pentanol	1271	1267	0.250±0.05^{b}	0.000±0.00^{c}	2.500±0.12^{a}	1.090±0.12^{a}	0.150±0.02^{b}
28	己酸乙酯	Ethyl caproate	1223	1220	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.091±0.01^{b}	0.101±0.06^{b}	0.000±0.00^{a}
29	乙酸己酯	Hexyl acetate	1263	1277	114.582±3.57^{e}	1.321±0.28^{a}	19.82±0.31^{d}	16.382±0.41^{c}	6.553±0.82^{b}
30	乙酸叶醇酯	(Z)-3-Hexenyl acetate	1306	1313	0.832±0.12^{c}	0.000±0.00^{a}	0.431±0.09^{b}	0.472±0.02^{b}	0.000±0.00^{a}
31	2-己烯-1-醇乙酸酯	2-Hexen-1-yl acetate	1350	1350	62.923±2.31^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}
32	乙酸庚酯	Heptyl acetate	1371	1374	0.251±0.01^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.442±0.08^{c}
33	辛酸乙酯	Ethyl caprylate	1422	1412	0.498±0.13^{d}	0.342±0.03^{c}	0.331±0.04^{c}	0.162±0.02^{b}	0.023±0.00^{a}
34	丙位己内酯	γ-Caprolactone	1691	1723	2.923±0.21^{c}	0.071±0.01^{a}	0.563±0.06^{b}	0.492±0.08^{b}	0.039±0.03^{a}
35	乙酸苯乙酯	Phenylethyl acetate	1768	1804	0.332±0.05^{c}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.072±0.02^{b}
36	丙位辛内酯	γ-Octalactone	1928	1898	0.000±0.00^{a}	0.162±0.03^{b}	0.143±0.04^{b}	0.000±0.00^{a}	0.052±0.05^{a}
37	丁位辛内酯	δ-Octalactone	2305	-	1.501±0.12^{c}	0.000±0.00^{a}	0.213±0.03^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}
38	丙位癸内酯	γ-Decalactone	2138	2136	27.496±0.98^{d}	0.020±0.01^{a}	2.465±0.31^{c}	2.943±0.29^{c}	1.032±0.07^{b}
39	丁位癸内酯	δ-Decalactone	2192	2190	10.231±0.28^{b}	0.101±0.02^{a}	0.332±0.08^{a}	0.201±0.07^{a}	0.263±0.03^{a}
40	丙酮	Acetone	823	818	0.000±0.00^{a}	0.793±0.16^{b}	0.742±0.02^{b}	0.701±0.14^{b}	0.689±0.11^{b}
41	2-辛酮	2-Octanone	1265	1297	0.000±0.00^{a}	0.881±0.20^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.172±0.03^{a}
42	1-辛烯-3-酮	1-Octen-3-one	1291	1293	0.000±0.00^{a}	1.132±0.16^{c}	0.298±0.07^{b}	0.276±0.09^{b}	1.002±0.21^{c}
43	β-大马酮	β-damascenone	1315	1323	0.000±0.00^{a}	3.962±0.32^{c}	1.101±0.20^{b}	0.000±0.00^{a}	1.353±0.18^{b}
44	3-壬烯-2-酮	3-Nonen-2-one	1469	1506	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.062±0.01^{b}	0.088±0.01^{c}
45	2H-β-紫罗酮	Dihydro-β-ionone	1831	1854	2.747±0.31^{c}	0.062±0.02^{a}	0.608±0.06^{b}	0.328±0.07^{a}	0.100±0.01^{a}
46	香叶基丙酮	(E)-6,10-dimethylundeca-5,9-dien-2-one	1845	1849	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.878±0.05^{c}	0.659±0.04^{b}	0.000±0.00^{a}
47	β-紫罗酮	β-ionone	1929	1936	1.001±0.08^{d}	0.295±0.03^{c}	0.000±0.00^{a}	0.221±0.07^{bc}	0.113±0.08^{b}
48	3-戊醇	3-Pentanol	1110	1118	0.832±0.14^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}
49	丁醇	Butanol	1140	1113	0.000±0.00^{a}	0.302±0.08^{c}	0.071±0.01^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}
50	(E)-2-己烯-1-醇	(E)-2-hexen-1-ol	1390	1392	30.422±1.08^{c}	0.000±0.00^{a}	1.168±0.21^{b}	1.132±0.09^{b}	1.312±0.07^{b}

续表 6-1

51	1-戊烯-3-醇	1-Penten-3-ol	1144	1147	0.421±0.03^{c}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.041±0.01^{b}	0.000±0.00^{a}
52	戊醇	Pentanol	1179	1241	0.247±0.02^{a}	1.412±0.27^{b}	2.503±0.13^{c}	1.091±0.07^{b}	0.152±0.06^{b}
53	3-甲基-1-丁醇	3-methyl-1-butanol	1190	1199	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.262±0.07^{b}	0.371±0.06^{c}	0.000±0.00^{a}
54	己醇	1-Hexanol	1350	1354	52.923±0.98^{b}	0.941±0.10^{a}	0.802±0.03^{a}	0.781±0.13^{a}	0.014±0.00^{a}
55	(Z)-3-己烯醇	(E)-3-hexen-1-ol	1377	1373	0.000±0.00^{a}	0.560±0.02^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.741±0.08^{c}
56	叶醇	(Z)-3-hexen-1-ol	1380	-	2.576±0.06^{d}	0.000±0.00^{a}	0.512±0.01^{c}	0.521±0.05^{c}	0.098±0.00^{b}
57	庚醇	Heptanol	1446	1440	0.252±0.01^{b}	0.216±0.06^{b}	0.439±0.04^{c}	0.460±0.03^{c}	0.040±0.04^{a}
58	2-乙基己醇	2-Ethyl-1-hexanol	1478	1492	0.331±0.02^{b}	0.098±0.00^{a}	0.742±0.07^{d}	0.563±0.01^{c}	0.310±0.05^{b}
59	芳樟醇	Linalool	1520	1525	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	1.072±0.10^{c}	1.012±0.06^{c}	0.103±0.02^{b}
60	辛醇	Octanol	1544	1537	0.752±0.08^{b}	1.352±0.09^{d}	1.051±0.16^{c}	0.962±0.07^{c}	0.024±0.03^{a}
61	(E)-2-辛烯-1-醇	(E)-2-octen-1-ol	1615	1620	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.251±0.03^{c}	0.081±0.01^{b}	0.079±0.03^{b}
62	壬醇	Nonanol	1644	1665	1.163±0.07^{d}	0.561±0.06^{c}	0.363±0.02^{b}	0.342±0.02^{b}	0.061±0.01^{a}
63	癸醇	Decanol	1739	1745	0.331±0.02^{e}	0.061±0.01^{b}	0.000±0.00^{a}	0.111±0.02^{c}	0.141±0.02^{d}
64	3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	3,7-Dimethyl-2,6-octadien-1-ol	1768	1784	0.000±0.00^{a}	0.371±0.06^{d}	0.102±0.02^{b}	0.232±0.02^{c}	0.192±0.06^{c}
65	香叶醇	Geraniol	1889	1893	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.261±0.03^{b}	0.232±0.07^{b}	0.000±0.00^{a}
66	苯乙醇	Phenylethyl alcohol	1899	1890	0.753±0.07^{b}	0.000±0.00^{a}	0.072±0.03^{d}	0.076±0.03^{c}	0.000±0.00^{b}
67	乙酸	Acetic acid	1440	1446	0.332±0.03^{a}	3.231±0.23^{c}	0.000±0.00^{a}	2.072±0.37^{b}	2.940±0.13^{c}
68	己酸	Hexanoic acid	1803	1836	0.032±0.02^{a}	0.560±0.05^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.981±0.10^{c}
69	辛酸	Octanoic acid	2064	2050	1.002±0.08^{c}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.121±0.03^{b}	0.000±0.00^{a}
70	2-乙酰基呋喃	2-Acetylfuran	1484	1498	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.101±0.01^{b}	0.092±0.02^{b}	0.271±0.01^{c}
71	4-甲基-5-羟乙基噻唑	4-Methyl-5-thiazoleethanol	2301	2311	0.422±0.07^{b}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}	0.000±0.00^{a}

KI_{cal}：通过正构烷烃计算未知物保留指数；KI_{ref}： “-”表示未查阅到相关标准； $^{a-e}$：不同字母表示不同蟠桃汁组间显著性差异($P<0.05$)。

参照表 6-1 中各 FPS 样本挥发性成分含量对比发现，新鲜蟠桃汁与经过杀菌或酶解蟠桃汁样品中挥发性成分组成具有明显差异，基于组间差异性分析发现酶解组蟠桃汁中大部分的挥发性组分被识别为 1 组，同时 3 种不同处理方法蟠桃汁中部分挥发性成分组成在组间差异分析结果为差异显著；可表征蟠桃汁特征香气的如乙酸乙酯、乙醛、(E)-2-己烯-1-醇、乙酸己酯、己醇、壬醛、辛酸乙酯、庚醇、癸醛、辛醇，二氢-β-紫罗兰酮等在所有桃汁样品中均检测出，可能由于这些物质热敏性较低或是以键合态形式存在于蟠桃汁中通过酶解断键而释放。采用 β-葡萄糖苷酶酶解的蟠桃汁 FPS2-4 与巴氏杀菌样品 FPS1 相比，挥发性物质的种类数量显著增加，新生成了如丙酮、戊醛、糠醛、2-乙酰基呋喃、丙位己内酯及橙花醇等；然而经过酶解后多种物质的含量也存在显著降低现象，如乙酸丙酯、(E)-乙酸-2-乙烯-1-醇、辛酸、3-戊醇及(E,E)-2,4-己二烯醛等含量均低于新鲜桃汁样品。

蟠桃汁中起到关键呈味作用的挥发性成分包括己醛、苯甲醛、二氢-β-紫罗兰酮、部分酯类和内酯类物质[167]；与大部分桃汁类挥发性物质组成相似，蟠桃汁也是基于酯、醇和酮类物质相互协调最终形成蟠桃汁特征风味。比较采用不同制备条件的蟠桃汁样本(FPS0-FPS4)中各挥发性物质含量及数量，与新鲜样本相比酶解后蟠桃汁的各类挥发性成分的含量及种类呈显著异变与转化，具体如表 6-1 所示：新鲜蟠桃汁 FPS0 中共检出 43 种物质，巴氏杀菌样品 FPS1 共检出 37 种物质，FPS2-4 分别检测出 44 种、49 种及 41 种挥发性成分，在加热杀菌的过程中有的多种杂环烃类物质(0.222μg/ mL)生成，孙倩茹等[182]研究推测烃类含量的增加可能与浓缩和热反应过程有关。

醛类(尤其是 C_6 醛类)是蟠桃汁中一类重要的挥发性呈香物质类别，通常在低浓度时感官描述为清香味、水果味，但当浓度大于某临界值时也会产生令人不愉快的气味[177]。对照表 6-1，FPS1 中醛类的含量明显低于 FPS0，同时与新鲜蟠桃汁相比，FPS2-FPS4 中醛类相对含量随温度的升高而显著降低。醛类中如己醛具有类似青草的香气[178]，在新鲜蟠桃汁样本中含量为 18.710μg/100mL，在 FPS2-4 中含量为 0.643-1.152μg/100mL。壬醛与癸醛在 FPS0 中含量分别为 0.735μg/100mL 与 0.252μg/100mL，两种物质均在处理后蟠桃汁样品中成显著降低($P<0.05$)，甚至在 FPS4 桃汁样本中完全丧失，同时如乙醛、(E,E)-2,4-己二烯醛等也仅在新鲜蟠桃汁样本中检出。但也有一些新生成的醛类如戊醛、庚醛和辛醛等仅在酶解组中检出，综上结果，醛类物质由于其热敏性容易在热处理过程中发生转化与散失，但通过酶解作用能够使其中部分的醛类含量以及一些原本不呈挥发性特点的键合态醛类释放致使酶解后醛类含量相对于杀菌桃汁呈增加趋势。

酯类物质通常具有花香味、果香味等正向感官属性，且在蟠桃汁所有挥发性化合物中相对占比最高的一类物质。由表 6-1 可知，FPS0 中分离与鉴定出 13 种酯类，而在 FPS1-4 中仅分别检出 5 种、7 种、7 种和 4 种酯类。酯类含量在 FPS0 中检出共 505.42μg/100mL，约是杀菌组 FPS1 (14.741μg/100mL)的 34 倍。具体分析各酯类物质，FPS0 中含量最高的酯类是乙酸乙酯，其次是乙酸己酯、2-己烯-1-醇乙酸酯和乙酸甲酯。此 4 种酯类物质在 FPS1 样本中均呈显著降低趋势($P<0.05$)，而这些酯类物质含量的降低可能是造成 FPS1

相对于 FPS0 的整体感官品质下降的一个重要原因。与 FPS1 相比 FPS2-4 中的乙酸乙酯和乙酸己酯的含量均显著增加($P < 0.05$)，其中 FPS2-4 乙酸乙酯含量增加至 21.252-34.112μg/100mL，同时乙酸己酯含量增加至 6.553-19.820μg/100mL，所有酶解组中乙酸乙酯含量最高为 FPS3(34.112μg/100mL)，而乙酸己酯含量最高的酶解组为 FPS2(19.820μg/100mL)。此外，2-己烯-1-醇乙酸酯具有青草香气使桃汁呈现清香感，而所有酶解处理蟠桃汁中均未检测出该物质。

食品中多数内酯类物质是由羟化脂肪酸经过 β-氧化途径脱水形成[183]，桃果实中也已发现能够通过此途径产生部分挥发性内酯类物质[184]。同时内酯类物质通常与果香味具有紧密相关性，是蟠桃汁中关键呈香物质类别 [185]，在新鲜桃汁及酶解处理组中均检测出多种内酯类物质。如丙位癸内酯具有强烈的香甜气味与桃果类特征香气，在新鲜蟠桃汁样品 FPS0 中含量高达 27.496μg/100mL，然而在经过杀菌后含量显著降低为 0.020μg/100mL，经过酶解过程后丙位癸内酯的含量发生了显著的增加($P < 0.05$)，FPS2-FPS4 中检出含量范围为 1.032μg/100mL-2.943μg/100mL。

蟠桃汁中醇类物质的种类及含量易受不同处理条件影响呈显著差异，如 3-戊醇仅在 FPS0 中检测出其余处理组均未检出。己醇在 FPS0 中含量为 52.923μg/100mL 显著高于各组处理后蟠桃汁样品(0.00-0.941μg/100mL)。对比 FPS0 与 FPS1 样本，3-甲基-1-丁醇、芳樟醇、(E)-2-辛烯-1-醇、香叶醇等仅在酶解处理组中检出，这些醇类物质可能以多种形式键合于蟠桃汁中，酶解释放出这些醇类能显著提升蟠桃汁整体风味轮廓的丰富度，这一结果也在其他研究中验证，相关研究发现 β-葡萄糖苷酶酶解能够释放出多种萜类及不饱和醇类物质[186, 187]。芳樟醇呈现花香味，3-甲基-1-丁醇具有清香味与青草味，经过酶解增香处理能够显著提升芳樟醇及 3-甲基-1-丁醇的含量。酶解温度对醇类物质的含量具有显著影响，如叶醇、庚醇及 2-乙基己醇等醇类在 FPS2 与 FPS3 中总量分别为 3.228 μg/100mL 与 3.159 μg/100mL，但在酶解温度相对较高的 FPS4 组中总量下降至 0.511 μg/100mL。此外，苯乙醇因具有玫瑰花的香气，在相关报道中表明在特定阈值中苯乙醇呈现细微的苦味，同时随着嗅闻感知进入尾香能辨识出类似于桃果实的香气[187]，同时苯乙醇风味阈值较低，能够为蟠桃汁提高如花香味、果香味等正向感官属性，所有蟠桃汁样本组中苯乙醇在 FPS0 与酶解温度相对较低 FPS2 与 FPS3 酶解组样本中检出。

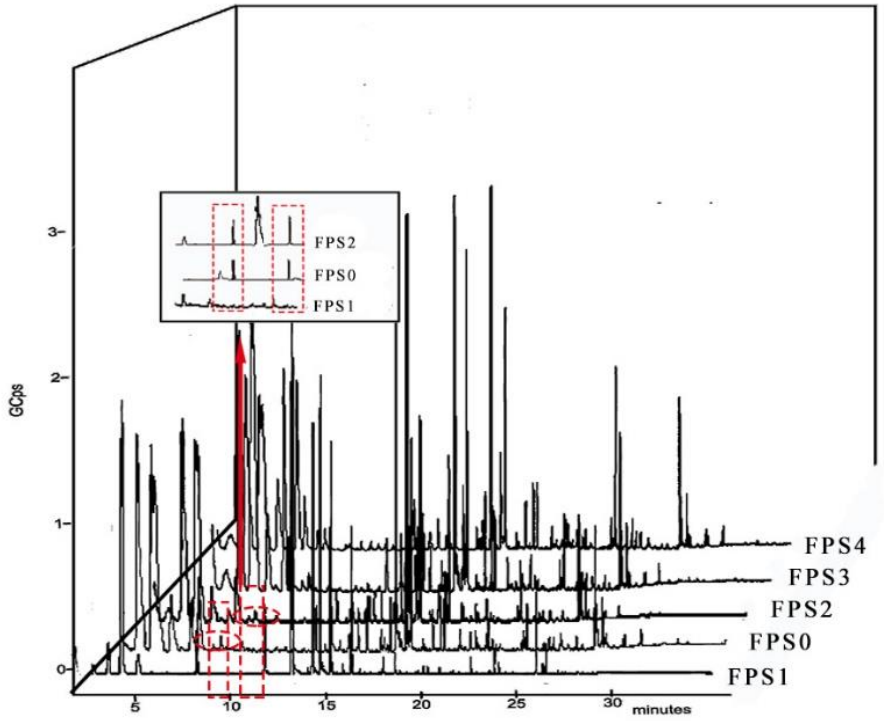


图 6-1 不同处理方式蟠桃汁样本 GC-MS 分析图谱

Fig.6-1 Different processing for GC-MS analysis of flat peach juice sample

直观分析图 6-1 发现，新鲜蟠桃汁与杀菌后蟠桃汁整体风味轮廓具有显著性差异，在整体峰型及峰的数量均发生了显著改变，后经过酶解处理后整体风味轮廓与新鲜蟠桃汁拟合度显著提升。如在 FPS0 中检出乙酸戊酯(9.384 min)和戊醇(11.541 min)在 FPS1 中均未检出，经过 β-葡萄糖苷酶酶解断键作用释放后在 FPS2-4 样本中均再次出峰。范刚等[188]阐明水果及其果汁中某些特征香气物质会与糖类物质以糖苷键相连键合态化合物形式存在，具有化学性质稳定常温条件不会挥发的特点，可采用酶解或酸解等方法破坏糖苷键并重新释放出这些物质。β-葡萄糖苷酶酶解通常以两种形式将结合态的挥发性物质释放。分为一步法即直接将其酶解为单糖和挥发性单体(VOX)，或两步法则是通过先断裂含有配基的键合态内糖与单糖间的糖苷键，再经二次酶解将其解离成游离态挥发性物质[189](具体过程详见图 6-2)，重新释放出键合态挥发性呈味物质对保持产品原有风味品质具有重要的意义。以上结果表明酶解能够显著改变蟠桃汁杀菌后的挥发性物质构成，提高与新鲜蟠桃汁的挥发性物质轮廓拟合度，同时发现不同酶解温度的酶解对桃汁整体风味轮廓的改变也存在一定差异性，可能是由于温度因素的影响或是 β-葡萄糖苷酶将果汁中一些非挥发性糖基态化合物酶解断键释放致使新的物质生成[64]。

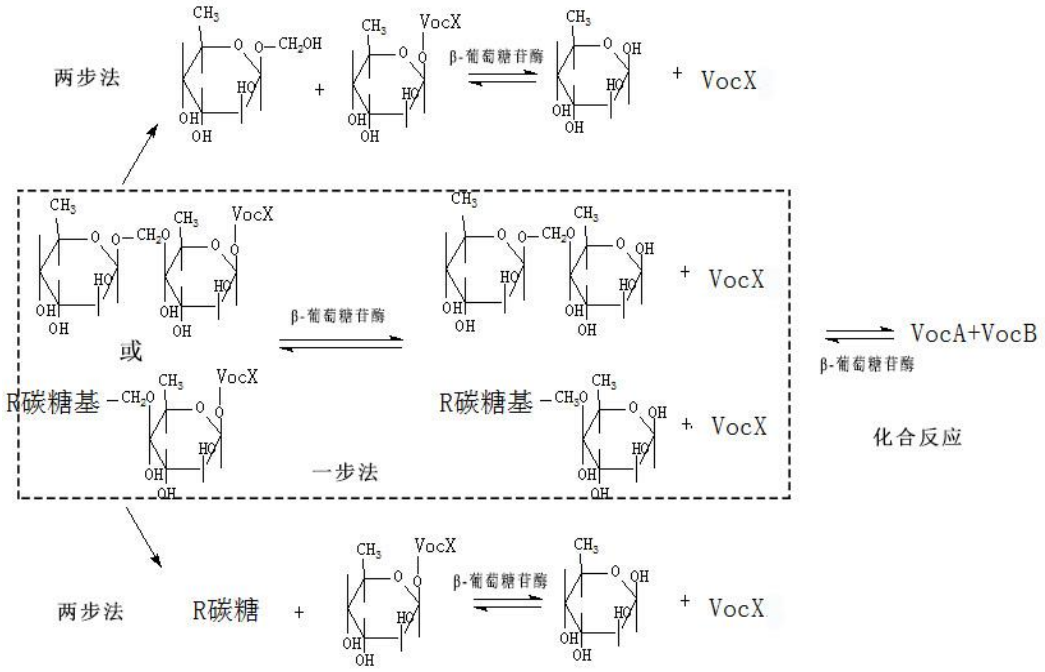


图 6-2 化合反应及酶解糖苷键键合态物质反应途径

Fig.6-2 The glycosidic bond reaction and hydrolysis of bound material reaction pathways

6.3.2 不同处理 FPS 样本感官分析

不同处理条件的蟠桃汁样本 (FPS0-4)感官分析结果如图 6-3 所示，发现 5 种感官属性的强度在不同处理组间存在显著性差异($p<0.001$)。将新鲜蟠桃汁与处理组样品相比，FPS0 正向感官属性得分较高，相反蒸煮味与异味等令人不愉悦的感官属性得分较低，与新鲜桃汁组相反，FPS1 呈现出所有处理组中最强烈的异味及蒸煮味。通过对比 3 组不同温度下酶解蟠桃汁样品 FPS2-4 感官评价结果发现，FPS3 相较于其他酶解组桃汁蒸煮味评分较低，对比 FPS2-FPS4 中异味属性强度发现随着酶解温度的升高呈逐渐上升趋势。同时所有酶解组中花香味、果香味及桃特征香气感官属性得分相较于巴氏杀菌组均显著增加，这一结果可能是 β-葡萄糖苷酶酶解释放出能表征这些感官属性的键合态挥发性化合物，最终提升了酶解蟠桃汁中正向感官属性强度。对比酶解组间感官属性得分发现，FPS2 和 FPS3 具有较高的花香味、果香味及桃特征香味的感官属性得分，而 FPS4 酶解组桃汁在正向感官属性得分显著低于温度较低酶解组，而在异味与蒸煮味两种感官属性上具有较高的得分，推测可能是酶解温度的改变造成酶解过程中键合态化合物终释放效果产生差异，最终释放产物的种类与含量的变化会打破香气间作用平衡，致使酶解处理后整体风味品质反而降低。然而各挥发性物质种类及含量的差异与各感官属性强度及整体风味品质间并非简单线性关系，难以直观的进行解析，需借助相关性判别模型筛选出与各感官属性相关性显著的挥发性物质，进一步揭示出杀菌及酶解处理后蟠桃汁感官及风味品质产生差异化关键风味物质。

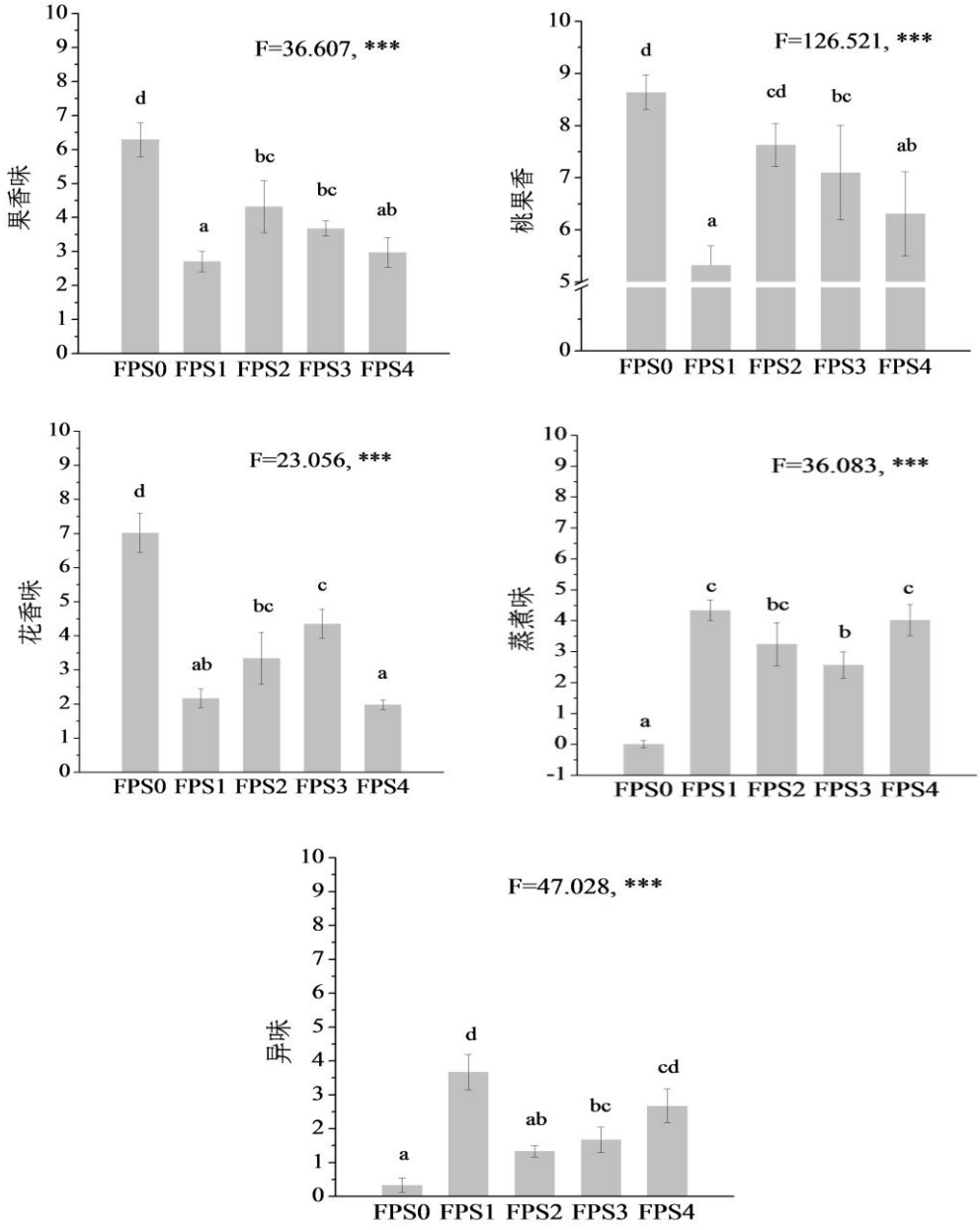


图 6-3　不同处理蟠桃汁样本风味评价对比

Fig.6-3 Comparison of different samples of flat peach juice flavor evaluation

6.3.3 感官属性与挥发性成分相关性模型构建

PLSR 相关性模型能够揭示出各挥发性物质间以及与感官属性之间内在联系，同时也可明晰各挥发性成分对样品整体风味品质的贡献，最终实现对模型中各因素间相关性的可视化识别。采用 PLSR 分析建立 5 组不同处理后 FPS 样本中的挥发性物质与感官属性间相关性模型，结果如图 6-4。

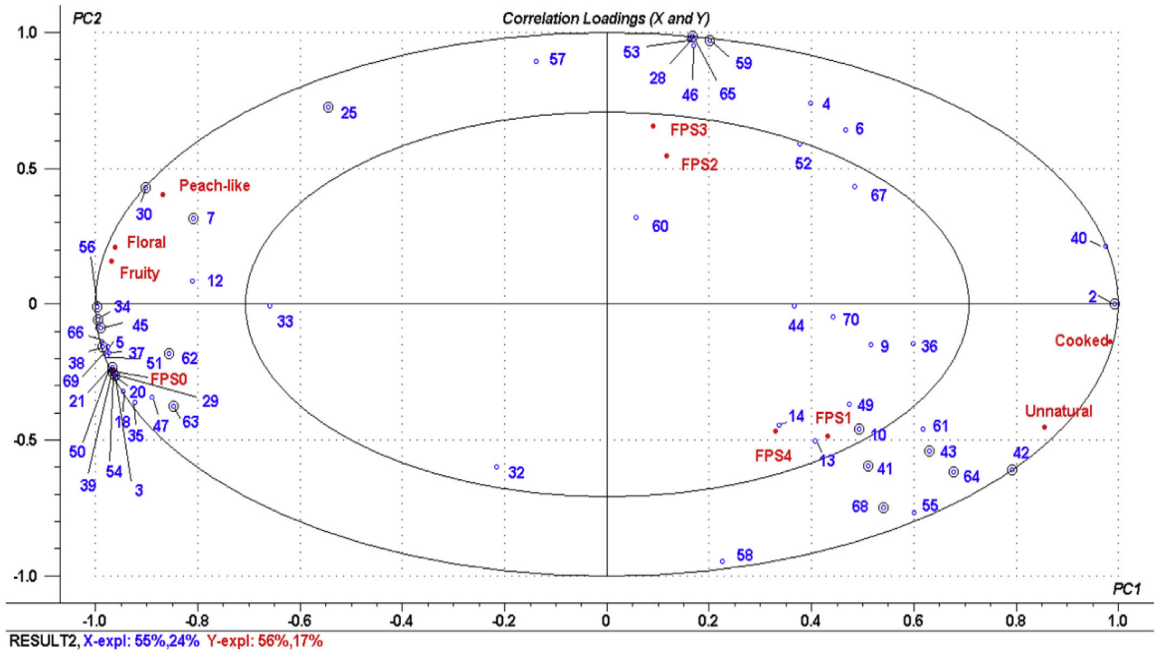


图 6-4 不同 FPS 样本挥发性物质与感官属性间 PLSR 分析

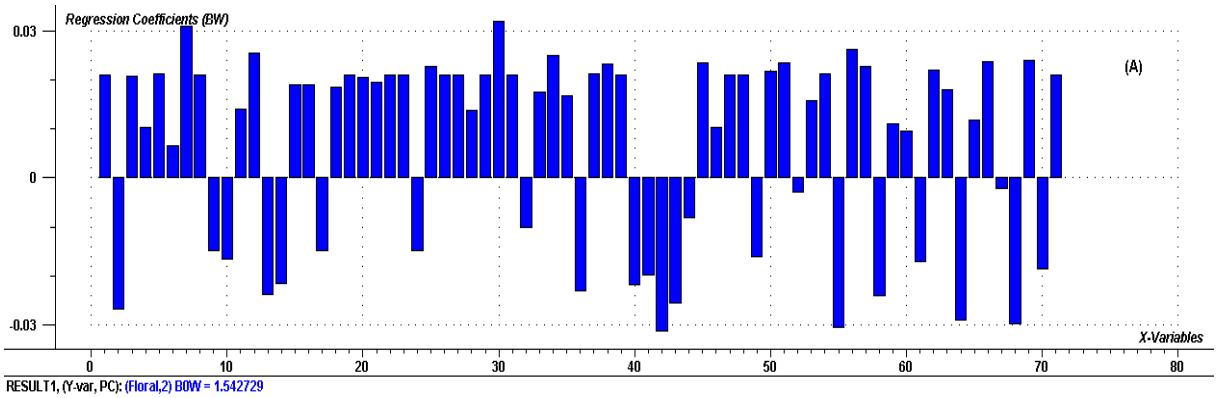
Fig.6-4 PLSR correlation plot of sensory attributes and volatiles for FPSs.

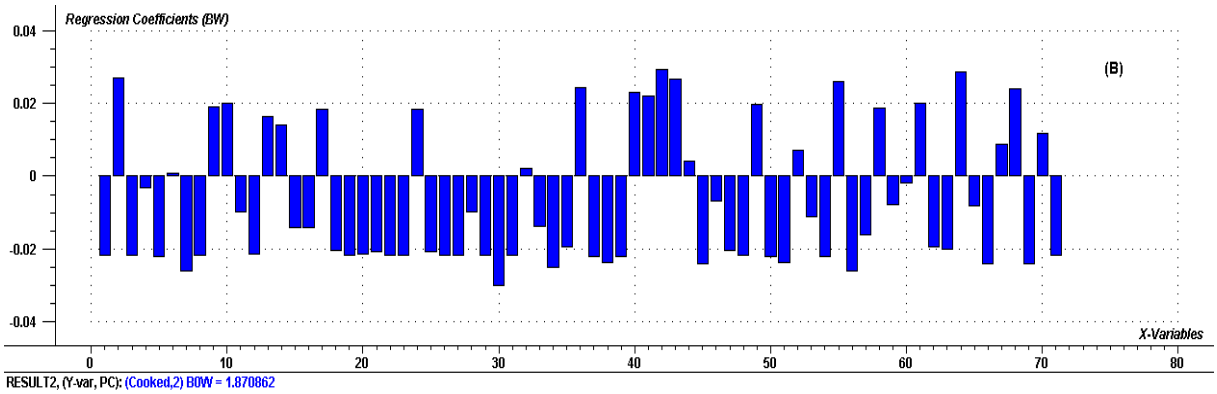
注：数字分别为表 6-1 中各物质编号；果香味=fruity，花香味=floral，桃果香=peach-like，蒸煮味=cooked 和异味=unnatural

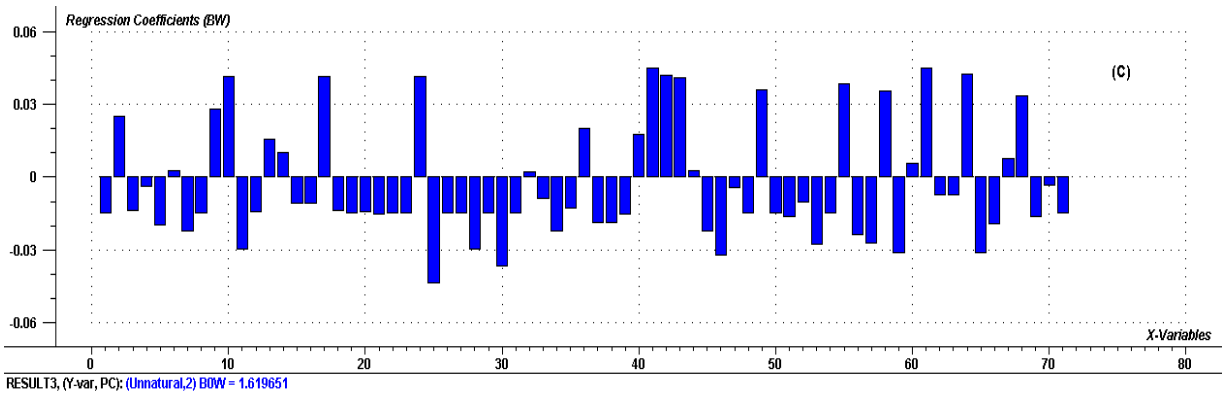
图 6-4 为不同 FPS 样本 PLSR 载荷图，X 矩阵为 71 种挥发性成分，Y 矩阵为各感官属性得分。其中 PC1 和 PC2 对挥发性成分的解释率为 79%，同时能够解释 73%的感官属性得分，所有数据均位于内椭圆(r^2=0.5)与外椭圆(r^2=1.0)之间，表明该预测模型能够科学的对所有信息进行解释。

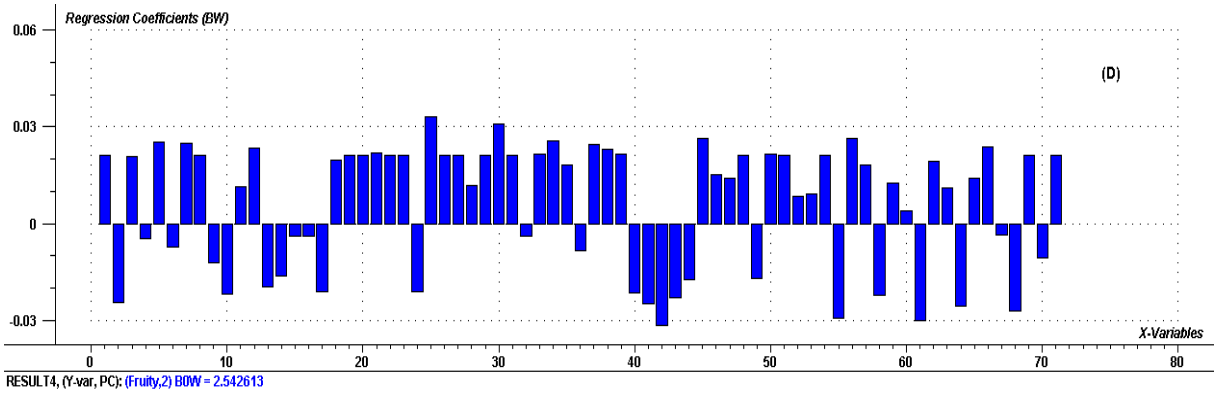
对照图 6-4 直观分析发现辛酸乙酯与 3-壬烯-2-酮位于 PLSR 中心线上，说明这两种物质对整个模型无贡献度，该模型无法解释这两种物质与其他因素间相关性。同时所有处理后蟠桃汁样本均远离 PC1 轴，FPS0 位于载荷图的最左侧，FPS1 与 FPS4 位于载荷图右下区域，而 FPS2 与 FPS3 位于载荷图右上区域。沿 PC2 轴观察，发现各感官属性间空间距离差距显著，5 种感官属性中花香味、果香味以及桃果香 3 种属性与 PC2 具有显著相关性($p<0.05$)，而不良风味如蒸煮味与异味与 PC2 相关性较低。FPS1 与 FPS4 均位于内椭圆且与蒸煮味及异味等感官属性十分接近，这可能是由于相对较高酶解或杀菌温度处理蟠桃汁导致，同时 FPS1 与 FPS4 与挥发性成分中如糠醛、2-辛酮、1-辛烯-3-酮、β-大马酮、3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇及己酸等呈显著相关性($P<0.05$，经 jack-knife 不确定度检验)。而 FPS2 和 FPS3 则与 FPS1 及 FPS4 相反，FPS2 与 FPS3 均位于中线上方，在 PC1 中与正向感官属性呈显著正相关，同时以 PC2 分析正向感官属性也与一些挥发性成分呈显著相关性，如：壬醛、乙酸戊酯、乙酸己酯、乙酸叶醇酯、芳樟醇及香叶醇等。结合 PLSR 风味预测模型明晰大多数酯类和醇类物质对正向感官属性的贡献较大，前期试验分析表明 β-葡萄糖苷酶通过断键酶解作用可释放出部分键合态的酯类和醇

类物质，即，在合适的温度下，采用 β-葡萄糖苷酶酶解能够有效地释放出多种能表征正向感官属性的键合态挥发性物质达到改善果汁的整体风味品质与优化杀菌后蟠桃汁整体风味品质目的[68]。









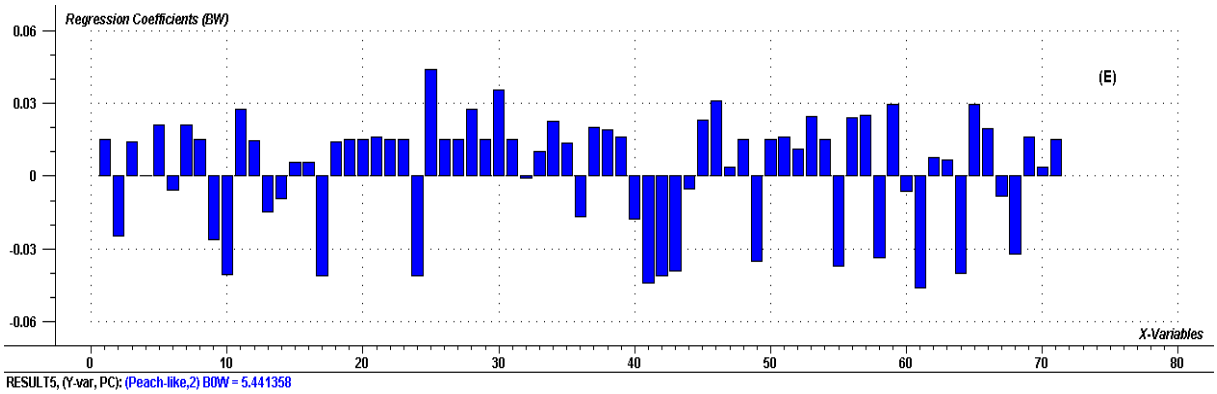


图 6-5 基于 PLS1 判别各挥发性成分与感官属性间贡献率(A)蒸煮味，(B)异味，(C)果香味，(D)桃香味，(E)花香味

Fig.6-5 Standardized, estimated regression coefficients from PLS1 prediction models for the sensory attributes variables floral (A), cooked (B), unnatural (C), fruity (D) and peach-like，(E) floral

为更进一步明确各单体挥发性物质对感官属性贡献率，采用 PLS1 回归分析构建 71 种挥发性物质与各感官属性间得分相关性模型，具体如图 6-5 所示。如图 6-5A 所示，除戊醛、(E)-2-辛烯醛、糠醛、(Z)-2-壬烯醛、5-甲基呋喃醛、2-十一烯醛、乙酸异戊酯、乙酸庚酯、丙位辛内酯、丙酮、2-辛酮、1-辛烯-3-酮、β-大马酮、3-壬烯-2-酮、丁醇、(E)-3-己烯醇、2-乙基己醇、(E)-2-辛烯-1-醇、己酸以及 2-乙酰基呋喃，其余物质均与花香味感官属性呈显著正相关(表征 98.689%的变异系数)。对花香味呈正向作用物质进一步分析发现壬醛、癸醛、乙酸叶醇酯、丙位己内酯以及(E)-3-己烯醇等物质根据回归系数值大小(系数值＞0.025)，可能是表征花香味这一感官属性的关键呈味物质。从图 6-5D 发现 2-己烯醛、壬醛、乙酸叶醇酯、丙位己内酯、二氢-β-紫罗酮和(E)-3-己烯醇等对果香味感官属性有正向积极作用，而 2-辛酮、1-辛烯-3-酮、(E)-2-己烯-1-醇、(E)-2-辛烯-1-醇与己酸等对果香味呈显著负相关。此外，乙酸乙酯、乙酸甲酯、乙酸丙酯、(E,E)-2,4-己二烯醛、乙酸戊酯、乙酸叶醇酯、香叶基丙酮、芳樟醇及香叶醇等低风味阈值的挥发性物质与桃果香这一感官属性呈显著正相关，方差解释率为 96.56%，而蒸煮味及异味等不良感官属性则与糠醛、戊醛、1-辛烯-3-酮、β-大马酮、(E)-2-己烯-1-醇及 3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇呈现显著相关，方差解释率为 99.37%。采用 PLSR 与 PLS1 模型相结合的方法进行酶解增香与感官属性构效关系预测，较为深入的揭示了蟠桃汁中各种挥发性成分对感官属性的贡献率。

6.3.4 单因素试验

6.3.4.1 酶解温度对蟠桃汁风味的影响

向 100mL 经过杀菌处理蟠桃汁中加入 0.10 g β-葡萄糖苷酶酶,分别于 40℃、50℃、60℃、70℃酶解 40min，并对酶解后蟠桃汁进行描述性感官评价。

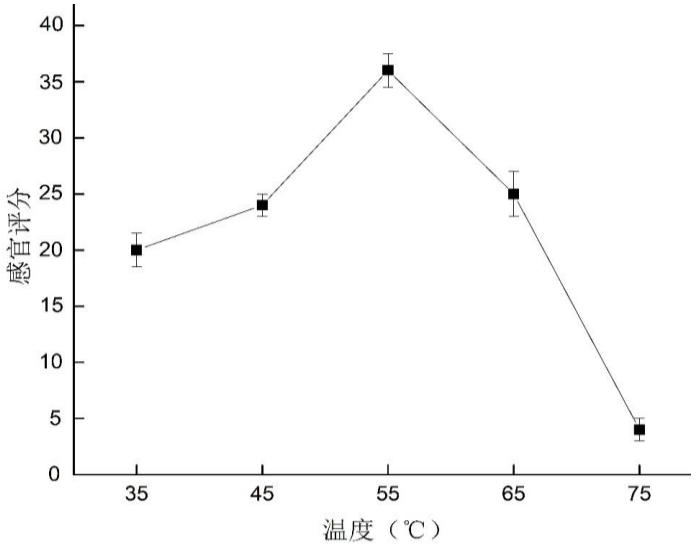


图 6-6　酶解温度对蟠桃汁风味的影响

Fig. 6-6 Effect of enzymatic hydrolysis temperature on flavor of flat peach juice

对照图 6-6 进行直观分析，发现随酶解温度上升，蟠桃汁整体得分呈先上升后下降的趋势，当温度升至 55℃时总分达到峰值，随着温度超过 55℃后，蟠桃汁的感官属性总分呈显著下降的趋势。即酶解时间为 55min 时蟠桃汁的风味最佳，初步确定酶解蟠桃汁的最适温度范围为 45-65℃。

6.3.4.2 不同酶解时间对蟠桃汁风味品质影响

向 100mL 杀菌处理后蟠桃汁中加入 0.10 g β-葡萄糖苷酶,在 50℃的温度条件下进行酶解反应，酶解时间分别为 40min、45min、50min、55min、60min、65min、70min，随后对蟠桃汁整体感官属性赋值。

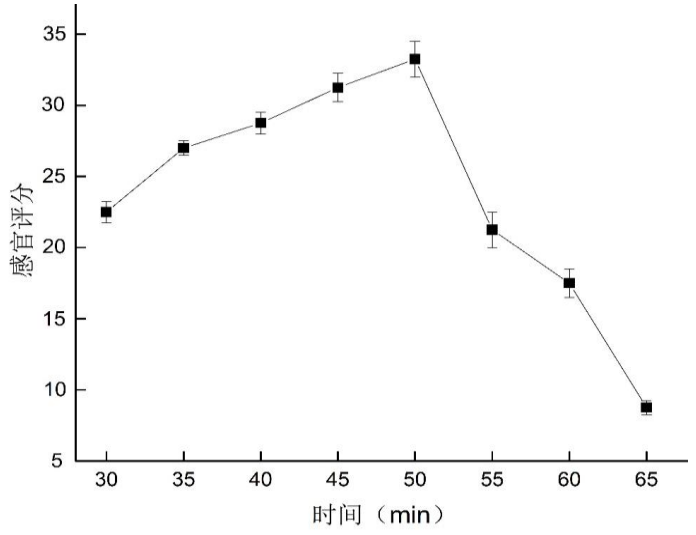


图 6-7　酶解时间对蟠桃汁风味的影响

Fig.6-7 Effect of enzymatic hydrolysis time on flavor of flat peach juice

由图 6-7 发现随酶解时间增加，蟠桃汁感官总分呈先上升后下降的趋势，当酶解时间为 50min 时，蟠桃汁整体评分达到最高，而当酶解时间超过 55min 后，蟠桃汁的评价

总分呈显著下降趋势。因此选取酶解时间 45-55min 为蟠桃汁最佳酶解时间范围。

6.3.4.3 不同加酶量对蟠桃汁风味品质影响

向 100mL 杀菌处理后蟠桃汁中分别添加 β-葡萄糖苷酶 0.10g/100mL、0.50g/100mL、1.00g/100mL、1.50g/100mL、2.00g/100mL、2.50g/100mL、3.00g/100mL、3.50g/100mL，在 50℃条件中酶解 40min，随后对蟠桃汁整体感官属性赋值。

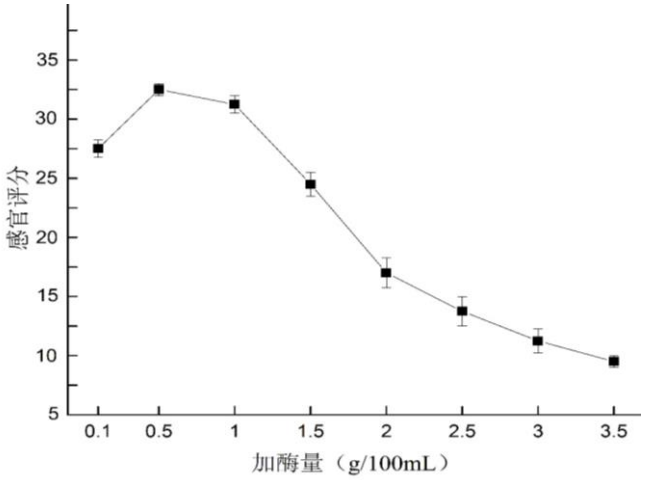


图 6-8 加酶量对蟠桃汁风味的影响

Fig. 6-8 Effects of enzyme quantity on flavor of flat peach juice

对照图 6-8 分析发现，随着加酶量增加，蟠桃汁的感官属性总分呈先上升后下降的趋势，当增加为 0.50g/100mL 时总分达到峰值，加酶量在 0.50-1.00g/100mL 之间呈较为平缓下降趋势，当加酶量超过 1.00g/100mL 后，整体感官得分呈显著下降趋势，结合产业化生产成本最终选取蟠桃汁加酶量范围为 0.10-0.50g/100mL。

6.3.4.4 酶解时不同 pH 值对蟠桃汁风味品质影响

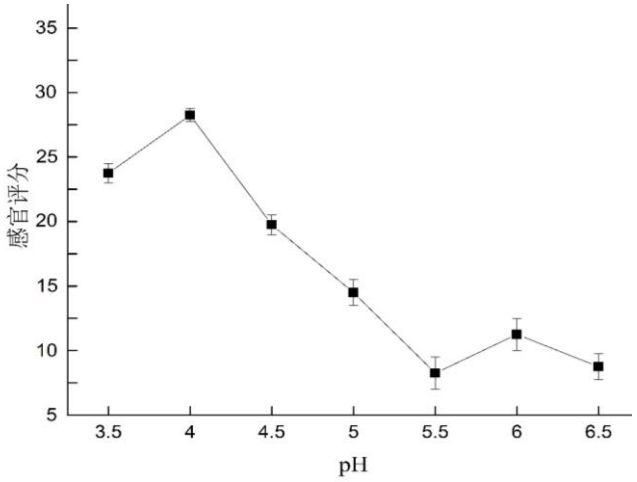


图 6-9 pH 值对蟠桃汁风味的影响

Fig. 6-9 Effects of pH Value on flavor of flat peach juice

向 100mL 杀菌处理后蟠桃汁中加入 0.10 g β-葡萄糖苷酶，并用缓冲液调节 pH 值分

别为 3.50、4.00、4.50、5.00、5.50、6.00、6.50，于 50℃的条件下反应 40min，随后对蟠桃汁进行各感官属性赋值。

由图 6-9 可发现，随着 pH 的上升，蟠桃汁的整体感官品质呈先上升后显著下降趋势，在 pH 值为 5.50-6.00 随后略微上升最后呈显著下降的趋势，pH 值升至 4.00 时蟠桃汁的感官得分最高，当 pH 在 4.00-5.05 之间，蟠桃汁整体感官得分呈明显下降趋势，而当 pH 超过 5.50 时蟠桃汁的感官总分有小幅上升后有下降，最终确定酶解蟠桃汁的最佳 pH 范围为 3.50-4.50。

6.3.5 响应面优化酶解技术参数

6.3.5.1 响应面试验结果

在单因素试验的基础上，运用 design-expert 8.0.6 软件，在根据 Box-Behnken 中心组合试验设计原理，以加酶量(A)、pH 值(B)、酶解温度(C)、酶解时间(D)设计 4 因素 3 水平共 29 组试验，设计方案与试验结果见表 6-2。

表 6-2　响应面试验方案及结果分析

Table 6-2 Response Surface Experiment Scheme and Result Analysis

试验序号	加酶量 A(g/100mL)	pH 值 B	温度 C/℃	时间 D/min	感官评分 vol
1	0.10	4.00	60.00	45.00	21.00
2	0.50	4.00	60.00	45.00	29.00
3	0.10	4.50	60.00	50.00	19.80
4	0.30	4.00	60.00	50.00	32.60
5	0.10	3.50	60.00	50.00	18.90
6	0.30	3.50	60.00	45.00	24.00
7	0.30	4.00	60.00	50.00	32.07
8	0.50	4.50	60.00	50.00	22.08
9	0.50	4.00	65.00	50.00	25.00
10	0.10	4.00	55.00	50.00	22.40
11	0.50	4.00	60.00	50.00	23.50
12	0.30	4.00	65.00	50.00	22.30
13	0.30	4.50	65.00	50.00	24.00
14	0.30	4.50	55.00	50.00	27.00
15	0.30	4.50	60.00	50.00	24.00
16	0.30	3.50	60.00	55.00	24.50
17	0.30	4.00	55.00	45.00	28.20
18	0.30	4.00	60.00	50.00	32.80

续表 6-2

19	0.50	4.00	55.00	50.00	26.00
20	0.30	3.50	65.00	50.00	24.40
21	0.30	4.00	60.00	50.00	32.60
22	0.30	4.00	65.00	55.00	25.80
23	0.30	4.00	65.00	45.00	26.90
24	0.10	4.00	60.00	55.00	24.60
25	0.30	4.50	60.00	45.00	26.00
26	0.30	4.00	55.00	55.00	26.00
27	0.30	4.00	60.00	50.00	32.80
28	0.50	3.50	60.00	50.00	24.50
29	0.30	3.50	55.00	50.00	24.60

6.3.5.2 回归模型的建立与验证

通过统计软件 Design-Expert.V8.0.6 对响应面试验结果进行多元回归拟合，对表 6-2 的数据进行回归分析，得到最佳酶解条件的初步回归模型为：

$Y=30.90+1.92A+0.023B-1.50C-0.81D-0.50AB+0.58AC-2.47AD-0.25BC-0.95BD+0.28CD-5.46A^2-3.98B^2-2.76C^2-1.97D^2$

表 6-3 回归方程方差分析

Table 6-3 Analysis of variance of regression equation

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	Pr>F	显著性
模型	349.03	14	24.93	4.91	0.0026	**
A	21.49	1	21.49	4.23	0.0589	**
B	0.066	1	0.066	0.013	0.9108	
C	13.89	1	13.89	2.73	0.1206	*
D	4.42	1	4.42	0.87	0.3670	**
AB	1.69	1	1.69	0.33	0.5733	*
AC	0.32	1	0.32	0.063	0.8061	
AD	17.59	1	17.59	3.46	0.0840	**
BC	1.96	1	1.96	0.39	0.5446	*
BD	1.64	1	1.64	0.32	0.5791	
CD	0.30	1	0.30	0.060	0.8108	
A2	186.95	1	186.95	36.78	< 0.0001	**

续表 6-3

B2	131.81	1	131.81	25.93	0.0002	**
C2	47.17	1	47.17	9.28	0.0087	*
D2	20.71	1	20.71	4.08	0.0631	*
残差	71.15	14	5.08			
失拟项	71.11	10	7.11	711.14	< 0.0001	
纯误差	0.040	4	1.000×10^{-2}			
总和	420.18	28			R2=0.8307	

注：*差异显著(p<0.05)；**差异极显著(p<0.01)

由表 6-3 可知，模型解释 p<0.01，表明回归模型极显著，失拟项 p<0.01，为极显著，且 R^2=0.8307，表明模型拟合程度良好试验误差小。模型的信噪比为 7.643＞4 说明可采用此优化模型对 β-葡萄糖苷酶酶解对蟠桃汁风味品质影响效果进行准确科学拟合。

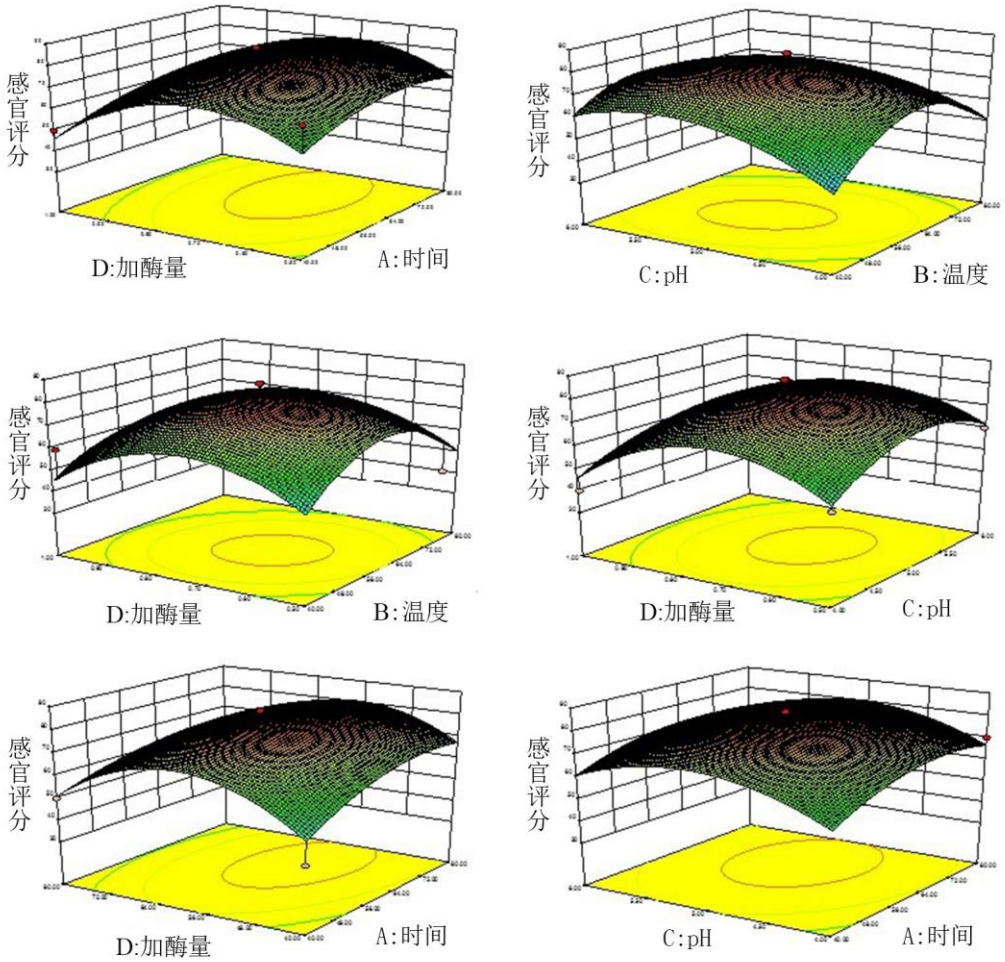


图 6-10 响应面法优化酶解增香工艺

Fig.6-10 Response surface of enzymatic hydrolysis reaction

回归方程的各项方差分析结果表明，在各因素中加酶量和酶解时间对蟠桃汁风味的影响极显著，酶解温度对蟠桃汁风味的影响显著，剔除掉不显著项后，得到优化后的方程 ：$Y=32.70+1.81A-0.48C-0.56D-0.65AB-2.28AD-0.70BC-5.77A^2-5.17B^2-2.92C^2-2.79D^2$。从表 6-3 回归方程系数显著性检验可知，加酶量和酶解时间对蟠桃汁风味的影响极显著($p<0.01$)，酶解温度对蟠桃汁风味的影响显著($p<0.05$)，二次项 AD、A^2、B^2、C^2、D^2 对蟠桃汁风味的影响极显著($p<0.01$)，二次项 AB、BC 对蟠桃汁风味的影响显著($p<0.05$)。

6.3.5.3 最优条件的确定及验证

采用响应面软件对酶解增香模型进行优化解析，以获得最优的提取条件。最终获得最佳的酶解件为：当酶解温度在 58.77℃、酶解时间 48.17min、pH 值为 4.02、酶添加量为 0.35g/100mL 时，预测 β-葡萄糖苷酶酶解效果及感官得分最佳，理论整体感官属性值总分为 31.47。结合实际操作情况，将酶解参数修正为酶解温度在 60℃，酶解时间 50min，pH 值为 4.00，酶添加量为 0.40 g/100mL 时，酶解效果及感官评分可达最佳，在此条件下进行验证试验所得蟠桃汁样品的感官总分为 35 分，重复 3 次试验，与理论值相差均小于 1.00%，响应面分析的优化结果与实际值相似性高，证明该响应面相关性预测模型建立科学合理，可作为指导模型对酶解工艺进行优化。

6.4 本章小结

（1）采用 GC-MS 技术解析鲜桃汁及不同处理后蟠桃汁挥发性物质，对各感官属性赋值结合化学计量法进行数据分析整理，对比巴氏杀菌及不同酶解条件下蟠桃汁中挥发性物质构成及感官属性差异，结果表明酯类与醇类含量在杀菌后明显降低，且感官属性中异味与蒸煮味在杀菌后得分显著上升，同时果香味、花香味属性得分显著降低。经过酶解增香后蒸煮味与异味感官强度有所降低，果香味与花香味等感官属性优化作用显著，部分关键挥发性物质含量相对于巴氏杀菌后蟠桃汁有显著增加，如丙位癸内酯的含量由杀菌的 0.02μg/100mL 显著提升至 1.03μg/100mL-2.94μg/100mL。

（2）基于 PLSR 构建风味预测模型确定了酯类、醇类物质是为蟠桃汁提供贡献正向感官属性的重要挥发性物质；而糠醛、2-辛酮、1-辛烯-3-酮、β-大马酮、3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇等与蒸煮味及异味属性等不良风味属性呈显著相关性，侧面证明 β-葡萄糖苷酶对蟠桃的风味品质改良具有积极的作用，尤其是对桃果香、花香味等感官属性上优化作用显著，并基于 PLS1 阐明各物质对感官属性贡献率，壬醛、乙酸戊酯、乙酸己酯、乙酸叶醇酯、芳樟醇及香叶醇等挥发性成分与正向感官属性呈显著相关性，同时与酶解组蟠桃汁呈显著正相关。

（3）在明确 β-葡萄糖苷酶对蟠桃汁增香机制的基础上，采用响应面优化 β-葡萄糖苷酶酶解杀菌后蟠桃汁技术参数，最终获得优化工艺参数为酶解温度为 60℃，酶解时间 50min，pH 值为 4.00，酶添加量为 0.40g/100mL，所得蟠桃汁感官评分为 35 分，在蒸煮味与异味显著降低同时具有蟠桃特征风味明显、果香味及花香味显著且整体香气协调自然等特点。

第七章 结论与展望

7.1 主要结论

本论文采用电子感官快速检测分析技术结合 PCA 预测模型为制汁蟠桃原料成熟度识别及采摘期确定提供科学评价依据，并对不同贮藏保鲜时间段蟠桃果实挥发性成分的种类与含量进行差异化比较，明确贮藏期内造成桃果实风味品质显著变化的挥发性物质，同时筛选出致使鲜汁与市售蟠桃汁风味品质差异的关键物质，基于已建立的蟠桃汁特征风味指纹图谱初步探究了热杀菌处理与特征性挥发性物质异变机制，并采用 PLSR 风味预测模型揭示 β-葡萄糖苷酶定向酶解增香效应机制及优化出一套酶解技术参数。主要结论如下：

（1）对蟠桃果实生长至成熟各阶段的理化指标检测，并采用已建立感官属性描述性词库结合描述性感官评价法将不同生长期蟠桃进行区分，通过聚类分析结果发现描述性感官评价作为评价蟠桃生长期一种手段在科学标准化确定采收期方面仍存在一定局限性；本研究采用电子舌味觉分析技术可实现不同成熟期蟠桃青涩味、苦味、甜味、酸味等感官属性的准确评价，同时结合聚类分析准确识别或区划不同生长阶段的蟠桃果实；利用 PCA 预测模型验证了电子舌技术作为蟠桃生长期快速识别的有效性与可靠性，有效解决采用人工鉴评成熟度及采收期受主观因素影响的局限性。

（2）利用 GC-MS 技术对不同贮藏保鲜期内蟠桃果实中挥发性物质组分种类及含量定性与定量。筛选出随蟠桃果实贮藏期延长对特征香气轮廓具有显著贡献，但呈下降或丧失的物质乙酸己酯、二氢-β-紫罗兰酮、戊醛、（E)-2-己烯-1-醇、庚醇等；以及可能对蟠桃香气轮廓起正向或负向影响的 2-苯基-2-丙醇、1-甲基萘、2-甲基-四氢化吡喃、2,6-二叔丁基对甲酚、邻苯二甲酸二异癸酯等新物质在蟠桃贮藏过程中也逐渐生成。

（3）将新鲜蟠桃汁与两种代表性市售蟠桃汁样品中挥发性物质组成对比发现，市售蟠桃汁的整体风味轮廓发生了显著变化。主要表现为两种市售蟠桃汁中酯类物质含量均呈下降趋势，而醛类与酮类物质含量呈上升趋势，醇类物质含量差异不显著；鉴定出三种桃汁样本从中共有酯类物质有 5 种分别为乙酸乙酯、丙位癸内酯、丁酸乙酯、α-庚基-γ-丁内酯、乙酸叶醇酯等，共有醇类物质包括（E)-2-己烯-1-醇、己醇、辛醇和（Z)-3-己烯-1-醇等 4 种，共有醛类有己醛、桃醛等 2 种。采用主成分分析结合聚类分析揭示出酯类物质与蟠桃汁中正向感官属性如花香味、果香味呈显著正相关，并再次验证酯类物质含量与种类的差异化是造成蟠桃汁加工后品质降低的重要因素；通过 PLSR 法构建酯类物质与各蟠桃汁样本间相关性预测模型，并揭示乙酸甲酯、乙酸丙酯、2-己烯-1-醇乙酸酯、辛酸乙酯、乙酸己酯、乙酸己酯、苯乙醇、乙酸乙酯和丙位癸内酯等物质含量差异，是导致蟠桃汁加工前后感官品质产生明显区划的关键挥发性成分。

（4）利用 GC-MS 技术结合化学计量学法筛选出蟠桃汁挥发性物质中具有风味呈现性的 14 种关键特征物质，并构建出准确可行的蟠桃汁特征挥发性风味物质指纹图谱。

依据所建立的指纹图谱结合主成分分析与 PLS-DA 风味品质判别模型，均验证了采用该指纹信息对新鲜蟠桃汁与其他桃汁准确区分可靠性，利用此判别模型可对新鲜蟠桃汁及其他桃汁样本的差异性进行有效识别，并明确了造成蟠桃汁产品产生明显差异性的关键物质为苯乙醇、乙醛、(E)-2-己烯-1 醇、正己醇、乙酸甲酯、乙酸丙酯。基于蟠桃汁挥发性物质共有模式所构建的蟠桃特征风味物质指纹图谱，为蟠桃汁的风味品质评价、真伪识别与后期蟠桃汁产品开发提供科学依据与方法。

（5）通过比较发现新鲜蟠桃汁与 3 种不同温度热杀菌处理后蟠桃汁样品中挥发性物质组成存在显著差异，且整体风味轮廓发生了明显变化。热杀菌处理后蟠桃汁酯类、醇类物质含量均呈降低趋势，其中酯类物质（新鲜桃汁中 63.15%）平均下降 2-3 倍，而酮、醛和烷烃类物质呈增加趋势。依据前期建立指纹图谱中特征物质对比新鲜蟠桃汁与杀菌处理后蟠桃汁，酯类中乙酸乙酯含量由 39.21%下降至 17.97%-22.57%，而乙酸丙酯和乙酸异丁酯在所有杀菌处理组中均未检出；醇类物质中己醇、(E)-2-己烯-1-醇、壬醇和苯乙醇的含量经不同温度杀菌处理后分别从 7.56%、0.47%、0.42%和 4.35%明显下降至 1.01%-1.20%、0.10%-0.26%、0.27%-0.39%和 0%-1.494%，以上特征风味物质含量差异会显著影响蟠桃汁中果香味、花香味和清香感的自然呈现。

（6）采用主成分分析（PCA）分析进一步揭示出新鲜蟠桃汁与特征风味物质中乙酸甲酯、乙酸乙酯、乙酸异丁酯、己醛、乙酸己酯、己醇、(E)-2-己烯-1-醇、苯乙醇具有显著正相关性，推测以上物质可能是造成新鲜桃汁与杀菌处理后风味品质差异化显著的关键成分。

（7）采用 GC-MS 技术解析鲜桃汁及热杀菌后蟠桃汁挥发性物质，结合感官评价结合化学计量法进行数据分析整理，结果表明酯类与醇类含量在杀菌后明显降低，同时感官属性中异味与蒸煮味不良属性得分在杀菌后显著上升，而果香味、花香味属性得分下降显著。经过酶解处理后蒸煮味与异味感官强度有所降低，果香味与花香味等感官属性得分有所提升，一些关键挥发性物质含量较巴氏杀菌后桃汁呈显著增加。

（8）采用 PLSR 构建风味预测模型揭示酯类、醇类物质是为蟠桃汁提供贡献正向感官属性的重要挥发性物质；而糠醛、2-辛酮、1-辛烯-3-酮、β-大马酮、3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇等与蒸煮味及异味呈显著相关性，证明 β-葡萄糖苷酶酶解对蟠桃的风味品质改良具有积极的作用，在桃果香、花香味等感官属性上优化作用显著，并基于 PLS1 阐明各物质对感官属性贡献率，壬醛、乙酸戊酯、乙酸己酯、乙酸叶醇酯、芳樟醇及香叶醇等挥发性成分与正向感官属性呈显著相关性，同时这些物质也与酶解组蟠桃汁间具有显著相关性。

（9）在明确 β-葡萄糖苷酶对蟠桃汁增香机制的基础上，采用响应面优化 β-葡萄糖苷酶酶解增香蟠桃汁工艺，最终获得优化工艺参数为酶解温度在 60 ℃，酶解时间 50min，pH 值为 4.00，酶添加量为 0.40g/100mL。获得增香后蟠桃汁样本整体感官得分最高且具有特征风味明显、果香味及花香味显著、整体香气协调自然等特点，可为后期采用酶解增香技术对蟠桃汁或其他果汁风味品质优化技术的创制提供思路和借鉴。

7.2 展望

本论文旨在开发高品质蟠桃汁以提高消费者认知度及拓宽蟠桃销售渠道为目的，预期为优质蟠桃资源精深加工的实施提供标准化的风味品质测评方法，并为产业化加工技术的改造提供应用理论基础与技术支持。在对蟠桃果实不同成熟期风味品质趋变规律研究后构建了各时期果实理化指标与电子响应值感官评价的相关性分析模型，所获得的相关研究结果可为蟠桃及其他水果果实风味品质的电子感官快速检测分析手段的建立提供借鉴，同时可依据果实不同生长阶段主要理化指标的表征反映出蟠桃整体品质，为果实生长期的鉴别及评价提供科学依据与方法。本论文主要研究内容是针对热杀菌过程中蟠桃汁风味品质异变问题进行整体挥发性物质的呈香轮廓解析，通过相关性预测模型筛选与蟠桃汁风味品质相关的特征呈味物质，建立特征风味指纹图谱及鉴别方法以期为蟠桃汁产品风味品质控制与鉴别提供有效手段；在所得指纹信息的基础上结合相关性判别模型较为透彻的明晰了热杀菌处理过程中造成蟠桃汁产生风味品质劣变的特征性挥发性物质；同时以风味品质预测模型为指导，采用酶解增香的方法对表征蟠桃汁感官属性的键合态酯类与醇类物质的释放进行了优化，明确了杀菌后蟠桃汁风味品质的控制策略，基于感官属性赋值优化了整套酶解增香技术参数，预期在本论文相关结果的集成与应用中，结合同位素示踪等技术验证并揭示蟠桃汁风味品质转变与异化机制，以及导致不良风味形成的整体历程，同时也为其他果蔬汁产品在产业化加工中风味品质控制提供借鉴。蟠桃汁中挥发性物质成分构成复杂，多种呈味物质与感官属性间的内在联系并非为简单的线性关系，仅针对某一类别或某一种物质往往不能系统科学地解释感官属性与挥发性物质间的关系，本论文在酶解增香研究部分采用 PLSR 与 PLS1 模型相结合的方法进行酶解增香与感官属性构效关系预测，较为深入的揭示了蟠桃汁中各种挥发性成分对感官属性的贡献率。

基于本论文研究结果充分阐述了热杀菌过程是造成蟠桃汁整体加工过程中风味品质劣变的主要因素，并初步明晰了热杀菌参数对蟠桃汁特征挥发性成分差异化的影响规律；基于该项研究内容的完整性及延伸性考虑，在本论文重点研究热杀菌过程对蟠桃汁中挥发性物质组成与感官属性差异变化的同时，蟠桃汁加工的各环节也势必存在风味品质劣变的趋势性发展过程，如前期的去皮漂烫、灭酶等预处理阶段过程也会导致果汁风味物质发生丧失与转化。另外，随着冷榨、超高压杀菌、脉冲电场杀菌、微波辅助杀菌等非热加工与杀菌技术的飞速发展，未来蟠桃汁或其他果汁加工技术创新的重点应该是如何将传统加工手段与非热杀菌处理技术科学有效融合，并基于同位素标记等技术对蟠桃汁整个加工过程中特征性呈味物质丧失及转化机制进行解析与追溯，同时以现代分析检测技术为基础，结合人工感官与电子感官等评价监测手段，在科学的解决果汁加工过程中风味品质异化问题基础上指导新型加工技术创制，诸如此类的延伸研究内容将在本论文研究后期设置详细的研究方案延续开展。

7.3 论文创新点

（1）建立了蟠桃汁特征风味指纹图谱及其品质鉴别方法，可对蟠桃汁加工技术优化及产品品质评价进行科学有效指导。

（2）通过构建各感官属性与理化指标 PCA 预测模型，验证了电子舌技术作为蟠桃生长期快速识别的有效性与可靠性。

（3）结合 PLSR 构建了蟠桃汁风味品质定量预测模型，有效解决了目前蟠桃汁在分子感官层面上进行风味轮廓定量定性判别的难点问题。

参考文献

[1] Ma R, Yu M, Du P, et al. Evaluation of germplasm resources and breeding of flat peach [J]. Acta Horticulturae, 2003(620):161-167.

[2] Picañol R, Eduardo I , Aranzana M J , et al. Combining linkage and association mapping to search for markers linked to the flat fruit character in peach[J]. Euphytica, 2013, 190(2):279-288.

[3] 杨斌. 新疆蟠桃产业化发展研究[硕士学位论文]. 石河子大学 2009.

[4] 宋方圆, 赵志永, 李冀新等. 蟠桃采后保鲜果实品质的研究进展[J]. 农产品加工, 2015(21):58-60.

[5] Evrendilek G A, Avsar Y K, Evrendilek F. Modelling stochastic variability and uncertainty in aroma active compounds of PEF-treated peach nectar as a function of physical and sensory properties, and treatment time [J]. Food Chemistry, 2016, 190:634-642.

[6] Kajiura, Ichiro. Ca storage and hypobaric storage of white peach ‘Okubo’ [J]. Scientia Horticulturae, 1975, 3(2):179-187.

[7] Jin P , Shang H , Chen J , et al. Effect of 1-Methylcyclopropene on Chilling Injury and Quality of Peach Fruit during Cold Storage [J]. Journal of Food Science, 2011, 76(8):7.

[8] Jin P, Wang K T, Shang H T, et al. Low-temperature conditioning combined with methyl jasmonate treatment reduces chilling injury of peach fruit [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 89(10):1690-1696.

[9] Ortiz A, Vendrell M, Lara I. Softening and cell wall metabolism in late-season peach in response to controlled atmosphere and 1-MCP treatment [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2015, 86(2):7.

[10] Murray R, Lucangeli C, Polenta G, et al. Combined pre-storage heat treatment and controlled atmosphere storage reduced internal breakdown of ‘Flavorcrest’ peach[J]. Postharvest Biology & Technology, 2007, 44(2):116-121.

[11] Jin P , Zhu H , Wang L , et al. Oxalic acid alleviates chilling injury in peach fruit by regulating energy metabolism and fatty acid contents[J]. Food Chemistry, 2014, 161:87-93.

[12] Zhou H J, Ye Z W, Su M S. Effects of MAP Treatment on Aroma Compounds and Enzyme Activities in Flat Peach during Storage and Shelf Life [J]. HortScience, 2018, 53(4):511-523.

[13] J.P Fernández-Trujilio, J.A Martínez, F Artés. Modified atmosphere packaging affects the incidence of cold storage disorders and keeps ‘flat' peach quality [J]. Food Research International, 1998, 31(8):571-579.

[14] Servili M, Selvaggini R, Taticchi A, et al. Relationships between the volatile compounds evaluated by solid phase microextraction and the thermal treatment of tomato juice: optimization of the blanching parameters [J]. Food Chemistry, 2000, 71(3):407-415.

[15] Garcia C V, Quek S Y, Stevenson R J, et al. Kiwifruit flavour: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2012, 24(2):82-91.

[16] 孙爱东. 苹果汁加工中典型芳香成分的形态、变化及香气调控的研究[博士学位论文]. 山东农业大学, 2002.

[17] Tian H, Wang P, Zhan P, et al. Effects of β-glucosidase on the aroma characteristics of flat peach juice as assessed by descriptive sensory analysis and gas chromatography and compared by partial least squares regression [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 82:113-120.

[18] Peng W, Ping Z, Tian H, et al. Characterization of the Influence of Thermal Sterilization on the Volatiles in Flat Peach Juice [J]. Analytical Letters, 2018:1-11.

[19] 柳青. 超高压技术对西瓜汁品质影响的研究[硕士学位论文]. 山西农业大学. 2015.
[20] 邱伟芬, 江汉湖. 食品超高压杀菌技术及其研究进展[J]. 食品科学, 2001, 1(5).
[21] Juarez-Enriquez E , Salmeron-Ochoa I , Gutierrez-Mendez N , et al. Shelf life studies on apple juice pasteurised by ultrahigh hydrostatic pressure[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 62(1):915-919.
[22] Yi J, Kebede B T, Dang D N H, et al. Quality change during high pressure processing and thermal processing of cloudy apple juice[J]. LWT, 2017, 75: 85-92.
[23] 马永昆, 刘威, 胡小松. 超高压处理对哈密瓜汁品质酶和微生物的影响[J]. 食品科学, 2005, 26(12):144-147.
[24] Liu Q , Wang R F , Zhang B B , et al. Protein Secondary Structure Changes of Watermelon Juice Treated with High Hydrostatic Pressure by FTIR Spectroscopy[J]. Journal of Food Process Engineering, 2014, 37(6):543-549.
[25] Liu Q , Wang R F , Zhao X Y , et al. Effect of High Hydrostatic Pressure Processing on Qualities of Strawberry Juice[J]. Advanced Materials Research, 2014, 894(11):305-310.
[26] 柳青, 赵晓燕, 张超, 等. 超高压处理对草莓汁贮藏期微生物及品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 11(14): 111-116.
[27] 柳青, 王丹, 马越, 等. 超高压处理对草莓汁品质酶和杀菌效果的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(18):144-148.
[28] 房子舒, 易俊洁, 张雅洁, 等. 超高压和高温瞬时杀菌对蓝莓汁品质影响的比较[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(12):7-10.
[29] Apichartsrangkoon A, Wongfhun P, Gordon M H. Flavor characterization of sugar-added pennywort (Centella asiatica L.) juices treated with ultra-high pressure and thermal processes. [J]. Journal of Food Science, 2010, 74(9):643-646.
[30] Knorr D. Novel approaches in food-processing technology: new technologies for preserving foods and modifying function [J]. Current Opinion in Biotechnology, 1999, 10(5):485-491.
[31] Tonello C, Wurtz P, Largeteau A, et al. Recent developments in the use of high hydrostatic pressures in food processing [J]. High Pressure Research, 1994, 12(4):205-213.
[32] Kebede B T , Grauwet T , Mutsokoti L , et al. Comparing the impact of high pressure high temperature and thermal sterilization on the volatile fingerprint of onion, potato, pumpkin and red beet [J]. Communications in agricultural and applied biological sciences, 2014, 56(2):218-225.
[33] Nakayama A, Yano Y, Kobayashi S, et al. Comparison of pressure resistances of spores of six bacillus strains with their heat resistances [J]. Appl. Environ. Microbiol, 1996, 62(10): 3897-3900.
[34] Black E P, Wei J, Atluri S, et al. Analysis of factors influencing the rate of germination of spores of Bacillus subtilis by very high pressure [J]. Journal of Applied Microbiology, 2010, 102(1):65-76.
[35] Black E P, Kasia K D, Dongsheng G, et al. Factors influencing germination of Bacillus subtilis spores via activation of nutrient receptors by high pressure [J]. Applied & Environmental Microbiology, 2005, 71(10):5879.
[36] Hayakawa I , Kanno T , Yoshiyama K , et al. Oscillatory Compared with Continuous High Pressure Sterilization on Bacillus stearothermophilus Spores[J]. Journal of Food Science, 1994, 59(1):4.
[37] Morild E. The theory of pressure effects on enzymes [J]. Advances in Protein Chemistry, 1981, 34(34):93.
[38] Weemaes C , Rubens P , Cordt S D , et al. Temperature Sensitivity and Pressure Resistance of Mushroom Polyphenoloxidase[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(2):6.

[39] Seyderhelm I, Boguslawski S, GüNTHER MICHAELIS, et al. Pressure Induced Inactivation of Selected Food Enzymes [J]. Journal of Food Science, 1996, 61(2):308-310.
[40] Asaka M, Hayashi R. Activation of Polyphenoloxidase in Pear Fruits by High Pressure Treatment [J]. Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan, 2014, 55(9):2439-2440.
[41] Navarro M, Verret C, Pardon P, et al. Changes in Volatile Aromatic Compounds of Strawberry Puree Treated by High-pressure During Storage [J]. High Pressure Research, 2002, 22(3-4):4.
[42] Lambert Y, Demazeau G, Largeteau A, et al. Changes in aromatic volatile composition of strawberry after high pressure treatment [J]. Food Chemistry, 1999, 67(1):7-16.
[43] Ramaswamy R, Balasubramaniam V M, Sastry S K. Thermal conductivity of selected liquid foods at elevated pressures up to 700 MPa [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 83(3):444-451.
[44] Leadley C. Novel Commercial Preservation Methods [M]// Food Biodeterioration and Preservation. 2008.
[45] Lung R B, Masanet E, Mckane A. The Role of Emerging Technologies in Improving Energy Efficiency: Examples from the Food Processing Industry [J]. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2006.
[46] Katiyo W, Yang R, Zhao W. Effects of combined pulsed electric fields and mild temperature pasteurization on microbial inactivation and physicochemical properties of cloudy red apple juice (Malus pumila Niedzwetzkyana (Dieck))[J]. Journal of Food Safety, 2017, 37(4): e12369.
[47] Gachovska T K , Kumar S , Thippareddi H , et al. Ultraviolet and Pulsed Electric Field Treatments Have Additive Effect on Inactivation of E. coli in Apple Juice[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(9):6.
[48] 殷涌光,闫琳娜,李玉娟.用高压脉冲电场对桃汁非热杀菌的研究[J].农业机械学报,2006(08):89-92
[49] Garde-Cerdán T, González-Arenzana L, López N, et al. Effect of different pulsed electric field treatments on the volatile composition of Graciano, Tempranillo and Grenache grape varieties[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013, 20: 91-99.
[50] Aguilar-Rosas S F, Ballinas-Casarrubias M L, Nevarez-Moorillon G V, et al. Thermal and pulsed electric fields pasteurization of apple juice: Effects on physicochemical properties and flavour compounds [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 83(1):41-46.
[51] Wang P , Zhan P , Tian H , et al. Characterization of the Influence of Thermal Sterilization on the Volatiles in Flat Peach Juice[J]. Analytical Letters, 2018:1-11.
[52] Toepfl S, Heinz V. Pulsed electric fields (PEF) applications in food processing - process and equipment design and cost analysis[C]// IEEE International Conference on Plasma Science. 2008.
[53] 王云阳, 岳田利, 张丽, 等. 食品杀菌新技术[J]. 农产品加工•学刊, 2007, 30(1):89-91.
[54] Saple V. Effect of pasteurization process and storage on color and shelf-life of pomegranate juices [J]. Lwt-food Science and Technology, 2013, 54(2):592-596.
[55] Iversen C K, Jakobsen H B, Olsen C E. Aroma Changes during Black Currant (\r, Ribes nigrum\r, L.) Nectar Processing [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(3):1132-1136.
[56] Yang Z Y, Ren J N, Dong M, et al. Changes in the Physicochemical Characteristics, Free and Bound Aroma Compounds in the Raspberry Juice during Storage [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(6):2834-2843.
[57] RezEk Jambrak A, imunek, Marina, Petrovi M, et al. Aromatic profile and sensory characterisation of ultrasound treated cranberry juice and nectar [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2016:S135041771630414X.

[58] Ingrid Aguiló-Aguayo, Marta Montero-Calderón, Soliva-Fortuny R, et al. Changes on flavor compounds throughout cold storage of watermelon juice processed by high-intensity pulsed electric fields or heat [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100(1):43-49.

[59] Baxter I A, Easton K, Schneebeli K, et al. High pressure processing of Australian navel orange juices: Sensory analysis and volatile flavor profiling [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2005, 6(4): 372-387.

[60] Moussa-Ayoub T E, Jäger H, Knorr D, et al. Impact of pulsed electric fields, high hydrostatic pressure, and thermal pasteurization on selected characteristics of Opuntia dillenii cactus juice[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 79: 534-542.

[61] Agcam E, AkyLdZ A, Evrendilek G A. Effects of PEF and heat pasteurization on PME activity in orange juice with regard to a new inactivation kinetic model [J]. Food Chemistry, 2014, 165:70-76.

[62] Chen X, Qin W, Ma L, et al. Effect of high pressure processing and thermal treatment on physicochemical parameters, antioxidant activity and volatile compounds of green asparagus juice[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 62(1):927-933.

[63] Valencia-Flores D C , Manuela Hernández-Herrero, Guamis B , et al. Comparing the Effects of Ultra-High-Pressure Homogenization and Conventional Thermal Treatments on the Microbiological, Physical, and Chemical Quality of Almond Beverages[J]. Journal of Food Science, 2013, 78(2):E199-E205.

[64] Pogorzelski E, Wilkowska A. Flavour enhancement through the enzymatic hydrolysis of glycosidic aroma precursors in juices and wine beverages: a review [J]. Flavour & Fragrance Journal, 2010, 22(4):251-254.

[65] Hernandez-Orte P , Cersosimo M , Loscos N , et al. Aroma development from non-floral grape precursors by wine lactic acid bacteria[J]. Food Research International, 2009, 42(7):0-781.

[66] Mcmahon H, Zoecklein B W, Fugelsang K, et al. Quantification of glycosidase activities in selected yeasts and lactic acid bacteria [J]. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 1999, 23(3):198-203.

[67] Van Rensburg P, Pretorius I S. Enzymes in winemaking: harnessing natural catalysts for efficient biotransformations-A review [J]. South African Journal for Enology and Viticulture, 2000, 21: 52-73.

[68] Fan G, Xu Y, Zhang X, et al. Characteristics of immobilised β-glucosidase and its effect on bound volatile compounds in orange juice [J]. International journal of food science & technology, 2011, 46(11): 2312-2320.

[69] Wang Y, Zhang C, Li J, et al. Different influences of β-glucosidases on volatile compounds and anthocyanins of Cabernet Gernischt and possible reason[J]. Food chemistry, 2013, 140(1-2): 245-254.

[70] Gueguen Y, Chemardin P, Janbon G, et al. A very efficient β-glucosidase catalyst for the hydrolysis of flavor precursors of wines and fruit juices [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(8): 2336-2340.

[71] Aganovic K, Grauwet T, Kebede B T, et al. Impact of different large scale pasteurisation technologies and refrigerated storage on the headspace fingerprint of tomato juice[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 26:431-444.

[72] Tezcan F, Mine Gültekin-zgüven, Diken T, et al. Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices [J]. Food Chemistry, 2009, 115(3):873-877.

[73] Dun Q, Yao L, Deng Z, et al. Effects of hot and cold-pressed processes on volatile compounds of peanut oil and corresponding analysis of characteristic flavor compounds [J]. LWT, 2018.

[74] Desrochers R, Keane P, Ellis S, et al. Expanding the sensitivity of conventional analytical techniques in quality control using sensory technology[J]. Food Quality & Preference, 2002, 13(6):397-407.
[75] Styger G, Prior B, Bauer F F. Wine flavor and aroma.[J]. J Ind Microbiol Biotechnol, 2011, 38(9):1145-1159.
[76] Polásková P, Herszage J, Ebeler S E. Wine flavor: chemistry in a glass [J]. Chemical Society Reviews, 2008, 37(11):2478-2489.
[77] Moon S Y, Ecy L C. Changes in aroma characteristics of simulated beef flavour by soy protein isolate assessed by descriptive sensory analysis and gas chromatography [J]. Food Research International, 2007, 40(10):1239-1248.
[78] Pang X, Guo X, Qin Z, et al. Identification of aroma-active compounds in Jiashi muskmelon juice by GC-O-MS and OAV calculation.[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2012, 60(60):4179-4185.
[79] Jacobson M, Koehler H H. Meat Flavor, Compounds of the Flavor of Lamb [J]. J.agric.food Chem, 1963, 11(4):336-339.
[80] Pisarnitskii A F. Formation of Wine Aroma: Tones and Imperfections Caused by Minor Compounds (Review) [J]. Applied Biochemistry & Microbiology, 2001, 37(6):552-560.
[81] Urbach G. The flavour of milk and dairy products: II. Cheese: contribution of volatile compounds [J]. International Journal of Dairy Technology, 2010, 50(3):79-89.
[82] Cadot Y, Caillé S, Samson A, et al. Sensory dimension of wine typicality related to a terroir by Quantitative Descriptive Analysis, Just About Right analysis and typicality assessment.[J]. Analytica Chimica Acta, 2010, 660(1):53-62.
[83] Liu F, Song S, Zhang X, et al. Effect of sterilization methods on ginger flavor beverage assessed by partial least squares regression of descriptive sensory analysis and gas chromatography–mass spectrometry[J]. European Food Research & Technology, 2014, 238(2):247-257.
[84] Santin, Márcia M, Treichel H, Valduga E, et al. Sensory analysis of enzyme- and membrane-treated peach juices [J]. Fruits, 2012, 67(6):451-461.
[85] Sílvia M Rocha, Rodrigues F, Coutinho P, et al. Volatile composition of Baga red wine: Assessment of the identification of the would-be impact odourants [J]. Analytica Chimica Acta, 2004, 513(1):257-262.
[86] Aubert C , Ambid C , Baumes R , et al. Investigation of Bound Aroma Constituents of Yellow-Fleshed Nectarines (Prunus persica L. Cv. Springbright). Changes in Bound Aroma Profile during Maturation [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(21):6280-6286.
[87] Brunschwig C, Senger-Emonnot P, Aubanel M L, et al. Odor-active compounds of Tahitian vanilla flavor [J]. Food Research International, 2012, 46(1): 148-157.
[88] CortéS S, DíAz E. Characterization of autochthonous monovarietal wines from red Brancellao L. cultivars [J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2011, 24(2):154-159.
[89] 林敬明. 半枝莲指纹图谱分析及其提取物抗肿瘤活性研究[博士学位论文]. 第一军医大学, 2006.
[90] 阴小林. 中药指纹图谱数据的统计分析[博士学位论文]. 东北师范大学, 2006.
[91] 苏永涛. 番茄栽培种 AFLP 指纹图谱的建立[硕士学位论文]. 上海交通大学, 2009.
[92] 田兰. 新疆额敏县红花品质研究及其指纹图谱的分析[硕士学位论文]. 新疆医科大学, 2006.
[93] 雷敬卫, 陈随清, 吴德康. 河南产山橿挥发油的指纹图谱研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2009, 15(10):1-3.
[94] 郑景峰. 高亚油酸黄红麻种质筛选与保健食用油精炼工艺研究[硕士学位论文]. 福建农林大学,

2008.
[95] Pripdeevech P, Machan T. Fingerprint of volatile flavour constituents and antioxidant activities of teas from Thailand [J]. Food Chemistry, 2011, 125(2):797-802.
[96] 汪文涛, 伍城颖, 马一华. 刺壳花椒 HPLC 指纹图谱的研究[J]. 中草药, 2009, 40(4):634-637.
[97] 孟江. 鱼腥草化学成份及其指纹图谱的研究[博士学位论文]. 成都中医药大学, 2006.
[98] 王平, 朱晓兰, 苏庆德. 色谱指纹图谱分析在香精香料质量控制中的应用[J]. 化工新型材料, 2010, 38(4):114-116.
[99] 石志红, 何建涛, 常文保. 中药指纹图谱技术[J]. 大学化学, 2004, 19(1):33-39.
[100] 盛龙生, 苏焕华, 郭丹滨. 色谱质谱联用技术[J]. 2006.
[101] Lv S D, Wu Y S, Song Y Z, et al. Multivariate analysis based on GC-MS fingerprint and volatile composition for the quality evaluation of Pu-erh green tea[J]. Food analytical methods, 2015, 8(2): 321-333.
[102] Vervoort L, Grauwet T, Kebede B T, et al. Headspace fingerprinting as an untargeted approach to compare novel and traditional processing technologies: A case-study on orange juice pasteurisation [J]. Food chemistry, 2012, 134(4): 2303-2312.
[103] Qiu S, Wang J. Application of Sensory Evaluation, HS-SPME GC-MS, E-Nose, and E-Tongue for Quality Detection in Citrus Fruits [J]. Journal of Food Science, 2015, 80(10):2296-2304.
[104] Capone S, Tufariello M, Francioso L, et al. Aroma analysis by GC/MS and electronic nose dedicated to Negroamaro and Primitivo typical Italian Apulian wines[J]. Sensors & Actuators B Chemical, 2013, 179(2):259-269.
[105] Brunschwig C, Senger-Emonnot P, Aubanel M L , et al. Odor-active compounds of Tahitian vanilla flavor[J]. Food Research International, 2012, 46(1):0-157.
[106] Mahmood N, Petraco N, He Y. Elemental fingerprint profile of beer samples constructed using 14 elements determined by inductively coupled plasma–mass spectrometry (ICP-MS): multivariation analysis and potential application to forensic sample comparison [J]. Analytical & Bioanalytical Chemistry, 2012, 402(2):861.
[107] Yang J, Xie S, Yoon S, et al. Fingerprint matching based on extreme learning machine[J]. Neural Computing and Applications, 2013, 22(3-4):435-445.
[108] Hakimzadeh N, Parastar H, Fattahi M. Combination of multivariate curve resolution and multivariate classification techniques for comprehensive high-performance liquid chromatography-diode array absorbance detection fingerprints analysis of Salvia reuterana extracts[J]. Journal of Chromatography A, 2014, 1326:63-72.
[109] Willems J L, Low N H. Structural identification of compounds for use in the detection of juice-to-juice debasing between apple and pear juices [J]. Food chemistry, 2018, 241: 346-352.
[110] Li X , He Y , Wu C , et al. Nondestructive measurement and fingerprint analysis of soluble solid content of tea soft drink based on Vis/NIR spectroscopy[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 82(3):316-323.
[111] Ghasemi-Varnamkhasti M, Mohtasebi S S, Siadat M, et al. Aging fingerprint characterization of beer using electronic nose[J]. Sensors & Actuators B Chemical, 2011, 159(1):51-59.
[112] Cano-Salazar J , Echeverría, Gemma, Crisosto C H , et al. Cold-Storage Potential of Four Yellow-Fleshed Peach Cultivars Defined by Their Volatile Compounds Emissions, Standard Quality Parameters, and Consumer Acceptance[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(5):1266-1282.

[113] Ortiz A , Graell J , M. Luisa López, et al. Volatile ester-synthesising capacity in ‘Tardibelle’ peach fruit in response to controlled atmosphere and 1-MCP treatment[J]. Food Chemistry, 2010, 123(3):698-704.

[114] Spadoni A, Cappellin L, Neri F, et al. Effect of hot water treatment on peach volatile emission and Monilinia fructicola development [J]. Plant Pathology, 2015, 64(5):1120-1129.

[115] Wu B H, Zhao J B, Chen J, et al. Maternal inheritance of sugars and acids in peach (*P. persica* (*L.*) *Batsch*) fruit [J]. Euphytica, 2012, 188(3):333-345.

[116] Zheng Y, Crawford G W, Chen X. Archaeological evidence for peach (Prunus persica) cultivation and domestication in China.[J]. Plos One, 2014, 9(9):106595.

[117] Yao Y , Chen H , Xie L , et al. Assessing the temperature influence on the soluble solids content of watermelon juice as measured by visible and near-infrared spectroscopy and chemometrics[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119(1):22-27.

[118] Camps C. Non-destructive Rapid determination of soluble solids content and Acidity of Black currant (Ribes nigrum L.) juice by Mid-infrared Spectroscopy performed in series [J]. LWT - Food Science and Technology, 2010, 43(7):1164-1167.

[119] Han J H , Cho J G , Son I C , et al. Effects of elevated carbon dioxide and temperature on photosynthesis and fruit characteristics of ‘Niitaka’ pear (Pyrus pyrifolia, Nakai)[J]. Horticulture Environment & Biotechnology, 2012, 53(5):357-361.

[120] Phat C, Moon B K, Lee C. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system [J]. Food Chemistry, 2016, 192:1068-1077.

[121] Codinachs L M I , Kloock J P , Michael J. Schöning, et al. Electronic integrated multisensor tongue applied to grape juice and wine analysis[J]. Analyst, 2008, 133.

[122] Hong X, Wang J, Qiu S. Authenticating cherry tomato juices—Discussion of different data standardization and fusion approaches based on electronic nose and tongue [J]. Food Research International, 2014, 60:173-179.

[123] Qiu S, Wang J, Gao L. Qualification and quantisation of processed strawberry juice based on electronic nose and tongue [J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 60(1):115-123.

[124] Gallardo J, Alegret S, Del Valle M. Application of a potentiometric electronic tongue as a classification tool in food analysis [J]. Talanta, 2005, 66(5):1303-1309.

[125] Raithore S , Dea S , Plotto A , et al. Effect of blending Huanglongbing (HLB) disease affected orange juice with juice from healthy orange on flavor quality[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 62(1):868-874.

[126] Qiu S, Wang J. Application of Sensory Evaluation, HS-SPME GC-MS, E-Nose, and E-Tongue for Quality Detection in Citrus Fruits [J]. Journal of Food Science, 2015, 80(10):S2296-S2304.

[127] GB/T 12295-1990, 水果、蔬菜制品 可溶性固形物含量的测定--折射仪法 [S].

[128] GB/T 5009.7-2003, 食品中还原糖的测定方法[S].

[129] GB 5009.8-2016, 食品中蔗糖的测定[S].

[130] Kobayashi Y , Habara M , Ikezazki H , et al. Advanced Taste Sensors Based on Artificial Lipids with Global Selectivity to Basic Taste Qualities and High Correlation to Sensory Scores[J]. SENSORS, 2010, 10(4):3411-3443.

[131] Tran T U, Suzuki K, Okadome H, et al. Analysis of the tastes of brown rice and milled rice with different milling yields using a taste sensing system. [J]. Food Chemistry, 2004, 88(4):557-566.

[132] Liu D , Li S , Wang N , et al. Evolution of Taste Compounds of Dezhou-Braised Chicken During

Cooking Evaluated by Chemical Analysis and an Electronic Tongue System[J]. Journal of Food Science, 2017.

[133] Macfie H J, Bratchell N, Greenhoff K, et al. DESIGNS TO BALANCE THE EFFECT OF ORDER OF PRESENTATION AND FIRST-ORDER CARRY-OVER EFFECTS IN HALL TESTS - MACFIE - 2007 - Journal of Sensory Studies - Wiley Online Library[J]. Journal of Sensory Studies, 2010, 4(2):129-148.

[134] He W, Hu X, Zhao L, et al. Evaluation of Chinese tea by the electronic tongue: Correlation with sensory properties and classification according to geographical origin and grade level [J]. Food Research International, 2009, 42(10):0-1467.

[135] Bleibaum R N, Stone H, Tan T, et al. Comparison of sensory and consumer results with electronic nose and tongue sensors for apple juices [J]. Food Quality and Preference, 2002, 13(6):409-422.

[136] Chen Q, Zhao J, Vittayapadung S. Identification of the green tea grade level using electronic tongue and pattern recognition [J]. Food Research International, 2008, 41(5):0-504.

[137] Xi W, Zhang Q, Lu X, et al. Improvement of flavour quality and consumer acceptance during postharvest ripening in greenhouse peaches by carbon dioxide enrichment [J]. Food Chemistry, 2014, 164(164):219-227.

[138] Wang Y, Tian S, Xu Y. Effects of high oxygen concentration on pro- and anti-oxidant enzymes in peach fruits during postharvest periods [J]. Food Chemistry, 2005, 91(1):99-104.

[139] YangE, Zhao Y, Qian M C. Effect of edible coating on volatile compounds of hardy kiwifruit during storage[C]//ACS symposium series. Oxford University Press, 2010, 1035: 79-94.

[140] Hatanaka A. The biogeneration of green odour by green leaves [J]. Phytochemistry, 1993, 34(5):1201-1218.

[141] Wang M Y, Wohlers M, Chen X, et al. Changes in Volatile Production and Sensory Quality of Actinidia arguta Fruit during Fruit Maturation [J]. Postharvest Biology & Technology, 2011, 59(1):16-24.

[142] Wang Y, Yang C, Li S, et al. Volatile characteristics of 50 peaches and nectarines evaluated by HP-SPME with GC-MS[J]. Food Chemistry, 2009, 116(1):356-364.

[143] Sumitani H, Suekane S, Nakatani A, et al. Changes In Composition of Volatile Compounds in High Pressure Treated Peach [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 42(3):785-790.

[144] Zhang C, Ding Z, Xu X, et al. Crucial roles of membrane stability and its related proteins in the tolerance of peach fruit to chilling injury[J]. Amino Acids, 2010, 39(1):181-194.

[145] A.V. Charles-Rodríguez, G.V. Nevárez-Moorillón, Zhang Q H , et al. Comparison of Thermal Processing and Pulsed Electric Fields Treatment in Pasteurization of Apple Juice[J]. Food and Bioproducts Processing: Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part C, 2007, 85(2):93-97.

[146] Mena P, Vegara S, Martí N, et al. Changes on indigenous microbiota, colour, bioactive compounds and antioxidant activity of pasteurised pomegranate juice [J]. Food Chemistry, 2013, 141(3):2122-2129.

[147] Xu Y X, Zhang M, Fang Z X, et al. How to improve bayberry (Myrica rubra Sieb. ET Zucc.) juice flavour quality: Effect of juice processing and storage on volatile compounds [J]. Food Chemistry, 2014, 151(4):40–46.

[148] Song SQ, Zhang XM, Hayat K, et al. Coordinating Fingerprint Determination of Solid Phase Micro Extraction Gas Chromatography–Mass Spectrometry and Chemometric Methods for Quality Control

of Oxidized Tallow [J]. Journal of Chromatography A, 2013, 1278: 145-152.
[149] 汪立平, 徐岩, 赵光鳌, 等. 顶空固相微萃取法快速测定苹果酒中的香味物质[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 22(1): 1-6.
[150] P. Jella, R. Rouseff, K. Goodner, et al. Determination of Key Flavor Compounds in Methylene Chloride Extracts from Processed Grapefruit Juice [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1998, 46(1):242.
[151] Bazemore R, Rouseff R, Naim M. Linalool in Orange Juice: Origin and Thermal Stability [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(1):196-199.
[152] 秦玲, 康文怀, 张志雯,等. HS-SPME-GC/MS 分析油桃果实 C6 醇醛挥发性成分变化[J]. 现代食品科技, 2015(8):301-307.
[153] Vallone S, Sivertsen H, Anthon G E, et al. An integrated approach for flavour quality evaluation in muskmelon (Cucumis melo L. reticulatus group) during ripening[J]. Food chemistry, 2013, 139(1-4): 171-183.
[154] Bai J, Manthey J A, Ford B L, et al. Effect of extraction, pasteurization and cold storage on flavonoids and other secondary metabolites in fresh orange juice.[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2013, 93(11):2771-2781.
[155] Yen G C, Lin H T. Changes in volatile flavor compounds of guava juice with high-pressure treatment and heat processing and during storage [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1999, 47(5):2082.
[156] Zhang Q H, Ayhan Z. Effects of Pulsed Electric Field Processing and Storage on the Quality and Stability of Single-Strength Orange Juice [J]. Journal of Food Protection, 2002, 65(10):1623.
[157] Karahadian C, Lindsay R C. Evaluation of compounds contributing characterizing fishy flavors in fish oils [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1989, 66(7): 953-960.
[158] K.C. Geőcze, Barbosa L C A, Fidencio P H, et al. Essential oils from pequi fruits from the Brazilian Cerrado ecosystem [J]. Food Research International, 2013, 54(1):1-8.
[159] 张晓萌. 桃果实成熟过程中香气成分形成及其生理机制研究 [硕士学位论文]. 浙江大学, 2005.
[160] 胡花丽, 王贵禧, 李艳菊. 桃果实风味物质的研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 280-287.
[161] 徐增慧,贾建会,吕晓莲, 等.高静压和热杀菌对桃汁香气成分的影响[J].食品科学, 2012, 33(5):25-28
[162] NARAIN N, HSIEH T C Y, JOHNSON C E. Dynamic Headspace Concentration and Gas Chromatography of Volatile Flavor Compounds in Peach [J]. Journal of Food Science, 1990, 55(5): 1303-1307.
[163] Song S , Yuan L , Zhang X , et al. Rapid measuring and modelling flavour quality changes of oxidised chicken fat by electronic nose profiles through the partial least squares regression analysis[J]. Food Chemistry, 2013, 141(4):4278-4288.
[164] 詹萍, 田洪磊, 李卫国, 等. 羊肉特征风味指纹图谱的构建[J]. 现代食品科技, 2013, 29(10): 2522-2527.
[165] 裴瑾, 颜永刚, 万德光, 等. 桃仁脂肪酸 GC-MS 指纹图谱研究[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(18): 2360-2363.
[166] 唐红霞, 王亚丽, 朱书强, 等. 不同产地党参药材的 HPLC 指纹图谱研究[J]. 中药材, 2009, 32(6): 856-860.
[167] 魏好程, 王贵禧, 梁丽松, 等. HS-SPME 在桃果实挥发性芳香物质分析中应用研究[J]. 食品科学, 2007, 28(7): 347-35

[168] Narain N, Hsieh TCY, Johnson CE. Dynamic Headspace Concentration and Gas Chromatography of Volatile Flavor Compounds in Peach [J]. Journal of Food Science, 1990, 55(5): 1303-1307.
[169] 肖丽梅. 新疆蟠桃保鲜技术的研究及应用[硕士学位论文]. 新疆大学, 2010.
[170] Zhu X, Gao Y, Chen Z, et al. Development of a Chromatographic Fingerprint of Tobacco Flavor by Use of GC and GC-MS [J]. Chromatographia, 2009, 69(7-8): 735-742.
[171] 李新蕊. 主成分分析、因子分析、聚类分析的比较与应用[J]. 山东教育学院学报, 2008, 22(6): 23-26.
[172] 管骁, 古方青, 刘静, 等. 基于 NIRS 的食用醋品牌溯源模型的建立与优化[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 200-203.
[173] Riu-Aumatell M , Castellari M , E. López-Tamames, et al. Characterisation of volatile compounds of fruit juices and nectars by HS/SPME and GC/MS[J]. Food Chemistry, 2004, 87(4):627-637.
[174] Tabilio M R, Fiorini D, and Marcantoni E, et al. Impact of the Mediterranean fruit fly (medfly) Ceratitis capitata on different peach cultivars: the possible role of peach volatile compounds [J]. Food Chemistry, 2013, 140(1-2):375-381.
[175] Manuela Cerdán-Calero, Luís Izquierdo, Sentandreu E. Valencia Late orange juice preserved by pulp reduction and high pressure homogenization: Sensory quality and gas chromatography–mass spectrometry analysis of volatiles [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 51(2):476-483.
[176] Eduardo I, Chietera G, Bassi D, et al. Identification of key odor volatile compounds in the essential oil of nine peach accessions [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 90(7):1146-1154.
[177] Song S , Tang Q , Hayat K , et al. Effect of enzymatic hydrolysis with subsequent mild thermal oxidation of tallow on precursor formation and sensory profiles of beef flavours assessed by partial least squares regression[J]. Meat Science, 2014, 96(3):1191-1200.
[178] Hadi E, Mohamed M A, Zhang, et al. Molecules, Advances in Fruit Aroma Volatile Research[J]. 2013, Vol. 18, 8200-8229:.
[179] Silva A M S, Sousa R M S, Jimeno M L, et al. Experimental measurements and theoretical calculations of the chemical shifts and coupling constants of three azines (benzalazine, acetophenoneazine and cinnamaldazine)[J]. Magnetic Resonance in Chemistry, 2008, 46(9): 859-864.
[180] Rouseff R , Bazemore R , Goodner K , et al. Gc-olfactometry with solid phase microextraction of aroma volatiles from heated and unheated orange juice.[J]. Oxygen Transport to Tissue XXXIII, 2001, 488(4):101-112.
[181] Wang Y, Zhang C, Li J, et al. Different influences of β-glucosidases on volatile compounds and anthocyanins of Cabernet Gernischt and possible reason[J]. Food chemistry, 2013, 140(1-2): 245-254.
[182] 孙倩茹. 柚子汁, 柠檬汁在加工关键单元操作及贮藏过程中香气物质变化的研究[硕士学位论文]. 华中农业大学, 2011.
[183] Schwab W, Davidovich‐Rikanati R, Lewinsohn E. Biosynthesis of plant‐derived flavor compounds [J]. The plant journal, 2008, 54(4): 712-732.
[184] Xi W P, Zhang B, Liang L, et al. Postharvest temperature influences volatile lactone production via regulation of Acyl-CoA oxidases in peach fruit [J]. Plant Cell & Environment, 2012, 35(3):534–545.
[185] Versari A , Castellari M , Parpinello G P , et al. Characterisation of peach juices obtained from cultivars Redhaven, Suncrest and Maria Marta grown in Italy [J]. Food Chemistry, 2002, 76(2):181-185.
[186] Dziadas M, Jeleń, Henryk H. Comparison of enzymatic and acid hydrolysis of bound flavor compounds in model system and grapes [J]. Food Chemistry, 2016, 190:412-418.

[187] Kang W, Xu Y, Qin L, et al. Effects of different β-d-glycosidases on bound aroma compounds in Muscat grape determined by HS-SPME and GC-MS[J]. Journal of the Institute of Brewing, 2010, 116(1): 70-77.

[188] 范刚, 王可兴, 潘思轶. 水果中糖苷键合态香气物质的研究进展[J]. 中国农业科学, 2010, 43(24): 5100-5111.

[189] Gunata Z, Bitteur S, Brillouet J M, et al. Sequential enzymic hydrolysis of potentially aromatic glycosides from grape[J]. Carbohydrate Research, 1988, 184: 139-149.

致谢

在研究生求学生涯即将结束之际，回顾过往感触颇深，有辛酸有喜悦，有挫败也有成功，但更多的是道不尽的感恩之情。藉此论文完成之际，在此特向指导和帮助过我的导师，家人，同学以及朋友们表达我无尽的感谢。

首先，由衷的感谢我的导师田洪磊教授和詹萍老师一直以来对我的悉心照顾和无限帮助。本论文的选题，实验设计，方案的拟定，确立和实施的整个过程中都离不开田老师和詹老师的精心指导。导师的渊博的知识、严谨的治学态度与宽厚仁慈的胸怀一直以来都是我学习的榜样。我将不负导师众望，在以后的学习和生活中，脚踏实地做人。

同时，在整个课题的研究过程中，还得到了食品学院院各位老师的大力支持以及课题组其他老师的悉心指导，在此一并感谢。

项目的顺利进行也离不开在整个实验过程中帮助我的师弟师妹们，由衷的感谢我所带的毕业设计小组成员赵晶晶，张瑶，徐雷，刘雨菲等本科同学对我实验支持与帮助。我们共同渡过的研究时光，将成为我人生中最美好的记忆。也感谢我研究生课题组的师弟师妹们对我实验及生活的大力帮助，我们如同一个大家庭这样的生活学习环境让紧张的研究过程也充满着幸福与温暖。感谢家人在求学期间对我的大力支持，家人给予我在精神上以及物质上源源不断的支持，家人是我开展科学研究的精神基础。

需要感谢的人还有很多。感谢所有关心、帮助和支持过我的以上提到和没有提到的所有领导、老师、同学、亲人和朋友，有你们的大力支持，在以后的人生路上我会怀抱感恩之情更加努力工作，最后，衷心的祝愿大家身体健康，万事如意。

作 者 简 介

王鹏，男，生于 1992 年 3 月 24 日，籍贯山东。2010 年毕业于石河子大学食品科学与工程专业，获工学学士学位。2014 年 9 月起至今在石河子大学食品学院硕博连读，主要研究方向为食品风味化学。

在学期间主要参与的研究项目

1.国家十三五重点研发计划项目：方便即食食品制造关键技术开发研究及新产品创制子课题(方便新型调味料的创制及其制造关键技术研发)，项目编号：2016YFD0400705，2016.1-2020.12，子课题参与；

2.国家自然科学基金: 新疆蟠桃特征香气指纹图谱构建及基于多重变量解析的香气丧失机制研究，项目编号：31460428，2015.1-2018.12，主研；

3.兵团科技攻关项目：蟠桃汁加工过程中风味品质控制关键技术探析，项目编号：2014BA016，2014.1-2015.12，主研；

4.兵团科学技术普及及学术交流计划：学会、学术交流-兵团现代农业研究青年学者论坛，项目编号：2015CE004，2015.1-2015.12，组织策划。

在学期间发表的文章

1. Peng Wang, Ping Zhan*, Honglei Tian*, Fang Zhang, Jiapei Xi, Characterization of the influence of thermal sterilization on the volatiles in flat peach juice, Analytical Letters, 2018, 51(15): 2340-2350. （一作）

2. Honglei Tian#, Peng Wang#, Ping Zhan*, Haiyan Yan, Wenjie Zhou, Fang Zhang, Effects of β-glucosidase on the aroma characteristics of flat peach juice as assessed by descriptive sensory analysis and gas chromatography and compared by partial least squares regression, LWT-Food Science and Technology, 2017, 82(9): 113-120.（并列一作）

3. 王鹏，周文杰，田洪磊*，张海轮，詹萍，张洪安，梁霞，张芳，基于GC-MS结合PCA技术探究β-葡萄糖苷酶对蟠桃汁增香效果的研究，现代食品科技，2017，33(2): 197-204.

4. 王鹏，田洪磊*，詹萍*，张海轮，梁霞，徐雷，张瑶，赵晶晶，采用 GC-MS 技术分析新疆蟠桃鲜果及其果汁制品中的挥发性物质，食品与发酵工业，2016，42(11): 199-205.

5. 王鹏，田洪磊*，张海轮，詹萍，谈思维，张洪安，基于GC-MS结合化学计量学方法的蟠桃鲜果指纹图谱的构建及应用，现代食品科技, 2016, 32(5): 258-263.

申请专利及授权情况等

1. 田洪磊，王鹏，颜海燕，詹萍，毛晓英，张海轮，张洪安，一种清香型蟠桃香精及

其制备方法和应用, 2018.10.09, 中国, ZL201511029748.5（已授权）

2. 田洪磊，詹萍，王鹏，张海轮，张洪安，吴江超，蟠桃汁增香的方法，2018.03.13, 中国, ZL201510534746.5（已授权）

获奖情况：

1. “创青春”全国大学生创业大赛创业实践挑战赛，国家级铜奖，项目负责人，2018 年；

2. 十五届“挑战杯”学术科技竞赛，名称：新疆蟠桃汁酶解增香方法研究，兵团一等奖(省部级)，第一，2017 年；

3. 新疆发明创造优秀大学生竞赛，新疆维吾尔自治区个人三等奖，2019 年；

3. “创青春”石河子大学大学生创业大赛，校级铜奖，第一，2018 年；

5. “创客中国”杯，新疆创新创业大赛，新疆维吾尔自治区三等奖，第二，2017 年；

6. 2017 年获“博士研究生国家奖学金”。

石河子大学博士研究生学位论文

导师评阅表

研究生姓名	王鹏	学制	3 年
专业	农业工程	研究方向	食品风味化学

学术评语：

论文采用电子感官快速检测分析技术结合 PCA 预测模型为制汁蟠桃原料生长期的识别提供科学评价依据，并对不同贮藏保鲜时间蟠桃果实挥发性成分的种类与含量进行差异化比较，明确贮藏期内造成蟠桃果实风味品质显著变化的挥发性物质。并采用 PLSR 风味预测模型揭示 β-葡萄糖苷酶定向酶解增香效应机制及优化酶解技术参数。论文的研究结果对解决蟠桃汁生产过程中风味品质劣变问题，以及建立蟠桃汁风味品质评价方法并提供了相关理论基础。

论文选题结合生产实际，具有科学指导意义。整体工作量大，试验方案设计合理，论文格式规范，语言表达准确，层次分明，论点清晰，论据充分，结果分析深入。总体评价该论文达到博士学位论文水准，具有独立从事科学研究工作的能力。

指导教师签字：

2019 年 5 月 28 日