

# 基于 GC-MS 结合 PCA 技术探究 $\beta$ -葡萄糖苷酶对蟠桃汁增香效果的研究

王鹏<sup>1</sup>, 周文杰<sup>1</sup>, 田洪磊<sup>1</sup>, 张海轮<sup>2</sup>, 詹萍<sup>1</sup>, 张洪安<sup>2</sup>, 梁霞<sup>3</sup>, 张芳<sup>1</sup>

(1. 石河子大学食品学院, 新疆石河子 832000) (2. 新疆石河子职业技术学院, 新疆石河子 832000)

(3. 石河子开发区神内食品有限公司, 新疆石河子 832000)

**摘要:** 为探究  $\beta$ -葡萄糖苷酶酶解作用对蟠桃汁风味变化的影响, 实验采用 GC-MS 检测技术对不同酶解处理方式的蟠桃汁中的挥发性成分进行分离鉴定, 并通过重复性实验、化学反应推断和主成分分析(PCA)构建了蟠桃汁中不同挥发性物质种类与感官属性间的相关性响应模型。结果表明: 单一的热反应对蟠桃汁的挥发性物质组成影响很大, 酯类、醇类物质丧失明显,  $\beta$ -葡萄糖苷酶酶解后能够较为明显的提高酯、醇类物质整体含量, 论证了  $\beta$ -葡萄糖苷酶对蟠桃汁增香作用的科学性和可行性。结合 PCA 分析发现大部分的酯类和醇类与优良感官属性如桃果香、花清香、香甜味呈现正相关性, 而烃类和杂环类物质则与不良风味属性(异味和蒸煮味)呈现较大响应度, 结果再次证实  $\beta$ -葡萄糖苷酶能够对蟠桃汁的风味品质优化起到积极作用, 适合引入到实际生产中作为蟠桃汁增香酶使用。

**关键词:**  $\beta$ -葡萄糖苷酶; 蟠桃汁; 风味优化

文章编号: 1673-9078(2017)2-197-204

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.2.030

## Effects of $\beta$ -Glycosidase on the Aroma Enhancement of Flat Peach Juice Using GC-MS Combined with PCA

WANG Peng<sup>1</sup>, ZHOU Weng-jie<sup>1</sup>, TIAN Hong-lei<sup>1</sup>, ZHANG Hai-lun<sup>2</sup>, ZHAN Ping<sup>1</sup>, ZHANG Hong-an<sup>2</sup>, LIANG Xia<sup>3</sup>, ZHANG Fang<sup>1</sup>

(1.College of Food, Shihezi University, Shihezi 832000, China) (2.Shihezi Vocational Technical College, Shihezi 832000, China) (3.Shihezi Development Zone Shennei Food Co. Ltd, Shihezi 832000, China)

**Abstract:** In order to explore how enzymatic hydrolysis using  $\beta$ -glycosidase affects the flavor of flat peach juice samples (FPSs), FPS volatiles collected after different enzymatic hydrolysis treatments were separated and identified using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Meanwhile, based on repeated experiments, chemical reaction inference, and principal component analysis (PCA), a response model of the correlation between the types of different volatile compounds and sensory attributes in FPSs was constructed. The results indicated that a single thermal reaction had a significant influence on the volatile composition of FPSs, and the contents of esters and alcohols were reduced dramatically. The overall content of esters and alcohols were increased after enzymolysis using  $\beta$ -glycosidase, which proved the scientificity and feasibility of using  $\beta$ -glycosidase to enhance the fragrance of flat peach juice. Combined with PCA, the results suggested that most of the esters and alcohols were positively correlated with fine sensory properties such as peach fragrance, floral fragrance, and sweet fragrance, while hydrocarbons and heterocyclic compounds exhibited a high responsiveness to the bad flavor properties (such as peculiar and cooking attributes). These findings further confirmed that  $\beta$ -glycosidase treatment could significantly improve the flavor and quality of FPS. Therefore,  $\beta$ -glycosidase is ideal to be used in actual production processes as a fragrance-enhancing enzyme for flat peach juice.

**Key words:**  $\beta$ -glycosidase; flat peach juice; flavor improvement

收稿日期: 2016-02-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(31460428); 兵团科技攻关项目(2014BA016); 八师石河子市工业科技攻关计划项目(2014GY05)

作者简介: 王鹏(1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品风味化学

通讯作者: 田洪磊(1979-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师; 詹萍(1981-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 食品风味化学

产于新疆地区的蟠桃果实, 凭借该地区独特的地理环境及气候条件, 使得蟠桃具有皮薄汁多和含糖量高等特点, 多以季节性鲜食为主(8月中旬至9月中旬), 采收期相对较为集中且极不易贮藏。在相应贮藏保鲜技术不完善的情况下, 蟠桃汁加工技术的研究越来越受到国内外果汁加工企业的重视。蟠桃属于呼吸

跃变型果实,且呈味物质具有较高的热敏性,蟠桃汁在加工过程中所经历的预煮和巴氏杀菌等热反应加工环节均存在不同程度的风味损失现象,甚至产生令人感觉不适的劣变现象<sup>[1]</sup>,严重影响相关产品的感官品质,因此保持或提升蟠桃汁风味品质迫在眉睫。然而目前受企业加工技术的限制及成本控制的原则,因此,如何高效安全的减少不良风味的含量且增强蟠桃汁原有风味目前已成为研究热点。

大量资料表明,果蔬中的风味物质主要以游离态和键合态的形式存在,其中键合态物质多以糖苷键结合而成,这类物质本身不具有挥发性,而当糖苷键被破坏,游离的芳香物质被释放出来时,即可增加、再生、强化以及改善食品的风味。近年来, $\beta$ -葡萄糖苷酶( $\beta$ -D-Glucosidase)作为增香酶被引入到葡萄酒、果汁增香优化的研究逐渐增多<sup>[2,3]</sup>,主要应用在果蔬、茶叶或一些果酒产品中,优化效果较为明显<sup>[4,5]</sup>。基于 $\beta$ -葡萄糖苷酶增香特点及已有相关研究成果,本研究将 $\beta$ -葡萄糖苷酶引入到蟠桃汁加工中,对不同处理方式(蟠桃原汁、巴氏杀菌蟠桃汁和不同酶解条件处理后的蟠桃汁)制备样本的感官特性及挥发性成分进行综合分析;同时结合主成分分析(PCA, principle component analysis)对 $\beta$ -葡萄糖苷酶对蟠桃汁香气成分影响的程度及规律进行了研究,初步探讨了 $\beta$ -葡萄糖苷酶对于蟠桃汁增香的效果及作用方式,为后期蟠桃汁酶解增香定向调控工艺提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

蟠桃果汁均选用完全成熟的鲜果样本,购于石河子市143团蟠桃种植基地,采摘后于0℃冷库保存待用; $\beta$ -葡萄糖苷酶(13.7 U/mg),REANTA 科学技术有限公司。

HS-SPME 取样装置(配有 SPME 手动进样手柄、75  $\mu$ m CAR/PDMS 萃取头),美国 Supleco 公司;SCION SQ 456-GC 气相色谱质谱联用仪,美国 Bruker 公司;HH-SBF11 原汁机,韩国 Hurom 公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 蟠桃果汁样本的制备(Flat peach juice samples, FPS)

为比较蟠桃汁加工过程中芳香组分的变化及 $\beta$ -葡萄糖苷酶对蟠桃果汁增香效果的影响,制备了五组不同处理条件的蟠桃汁样本,包括蟠桃鲜果果汁样本(FPS0)、巴氏杀菌样品(FPS1)和巴氏杀菌后不同温度

条件下经 $\beta$ -葡萄糖苷酶酶解果汁样本(FPS2-4),具体操作条件如下所述。FPS0:为防止蟠桃果汁制汁过程中由于温度的升高所导致样本风味的损失和褐变,将蟠桃鲜果从冷库取出后,迅速去除果皮及果核后,采用低速原汁机在低温(40 r/min)条件下榨汁,即可获得蟠桃鲜果果汁样本,此样本可切实反映蟠桃鲜果的初始风味品质;FPS1:将上述制备的FPS0样品置于65℃下杀菌20 min,即可获得巴氏杀菌样本;FPS2-4:将经巴氏杀菌后获得的FPS1样本pH调节至4.0后,加入0.1 g  $\beta$ -葡萄糖苷酶充分摇匀,分别在45℃、55℃和65℃水浴酶解60 min,在此条件下依次获得FPS2、FPS3和FPS4样本。

#### 1.2.2 HS-SPME法提取样品中挥发性成分

取5.0 mL FPS 样品加入顶空瓶内,萃取前预先将SPME 萃取纤维头(75  $\mu$ m CAR/PDMS)在GC-MS 进行老化,空白解析直至无色谱峰出现。将老化后的萃取头插入样品顶空部分,于45℃下平衡吸附30 min,将吸附后的萃取纤维头取出后立即插入GC-MS 进样口中,于250℃解吸7 min,同时启动仪器采集数据。

#### 1.2.3 GC-MS测定条件

色谱条件:色谱柱为DB-WAX 毛细管柱(30 m $\times$ 250  $\mu$ m, 0.25  $\mu$ m);柱初始温度为40℃,保持3 min,以5℃/min的速率升温至90℃,后以10℃/min的速率升温至230℃,保持7 min,进样口温度为250℃。载气(高纯He)流速0.9 mL/min,接口温度为250℃。

质谱条件:EI 电离源;载气为氦气,电子能量为70 eV;灯丝电流为80  $\mu$ A;电子倍增器电压为1000 V;离子源温度为200℃。

#### 1.2.4 感官评价体系建立

基于感官评价相关要求及相关研究所常运用的方法<sup>[6,7]</sup>,尽可能的消除感官评定人员、评定过程中存在差异对样品评定结果的影响。本实验风味的感官评定采用描述性感官分析的方法进行评定。具体操作如下:选取6名感官评价员组成感官评价小组,并对感官评定人员进行相关风味评价能力的针对性培训。首先由多次预闻实验制定风味感官评价的优质风味类别或者不良风味属性,统一聚类评价后,对已选择的6个感官属性(桃果香、花清香、香甜味、酸味、异味和蒸煮味)进行分值区域标准化,最后对样品进行评估<sup>[8]</sup>。总分均为100分,以10分为区分度,对于难以辨识区分则以5分细化其强弱属性,每个样品平行记录3次,统计评价结果,去除差异最高评分,统计综合结果。

### 1.3 数据处理

1.3.1 分析方法

采用 SPSS 18.0 及 Excel 2007 数据分析软件进行数据处理和相关性分析, Origin 8.5 及 ChemWin5.0 软件进行绘图。

1.3.2 定性定量分析

分离出的未知物与 NIST library 和 Wiley library 相匹配(仅选取匹配度大于 800 的鉴定结果); 为准确定量, 选取 2-辛醇为内标(5  $\mu$ L, 100 mg/L 溶剂乙醇), 根据每次测量中的峰面积大小与其质量大小等比例算

出每种待检测出物质的质量<sup>[9]</sup>。

2 结果与讨论

2.1 不同处理方式蟠桃样本挥发性物质分析

对不同处理条件下制备的 FPS 样本中的挥发性成分进行分析鉴定, 共检出 112 种化合物, 包括醇、醛、酮、酸和烃类及杂环类等化合物, 结果见表 1 所示。

表 1 不同处理方式蟠桃汁样本挥发性成分分析与鉴定

Table 1 Analysis and identification of volatile components of flat peach juice samples after different treatments ( $\mu$ g/mL)

| 编号  | 物质名称          | FPS0                | FPS1                | FPS2                | FPS3                | FPS4                | 显著性 |
|-----|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----|
| P1  | 乙醛            | 0.1529 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P2  | 乙酸异丙烯酯        | 0.0025 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P3  | 丙酮            | - <sup>a</sup>      | 0.0079 <sup>c</sup> | 0.0074 <sup>b</sup> | 0.0070 <sup>b</sup> | 0.0069 <sup>b</sup> | *** |
| P4  | 乙酸甲酯          | 0.4792 <sup>b</sup> | 0.0099 <sup>a</sup> | 0.0096 <sup>a</sup> | 0.0029 <sup>a</sup> | 0.0121 <sup>a</sup> | *** |
| P5  | 乙酸乙酯          | 2.7500 <sup>c</sup> | 0.2146 <sup>b</sup> | 0.2479 <sup>b</sup> | 0.0024 <sup>a</sup> | 0.2125 <sup>b</sup> | *** |
| P6  | 二氯甲烷          | - <sup>a</sup>      | 0.0992 <sup>b</sup> | 0.1323 <sup>c</sup> | 0.1294 <sup>c</sup> | 0.1240 <sup>c</sup> | *** |
| P7  | 乙酸丙酯          | 0.0100 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P8  | 戊醛            | - <sup>a</sup>      | 0.0629 <sup>d</sup> | 0.0506 <sup>c</sup> | 0.0425 <sup>b</sup> | 0.0533 <sup>c</sup> | *** |
| P9  | 乙酸异丁酯         | 0.0116 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P10 | 三氯甲烷          | - <sup>a</sup>      | 0.1231 <sup>c</sup> | 0.0354 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P11 | 1-戊烯-2-甲基-3-酮 | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0033 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P12 | 乙酸丁酯          | 0.0033 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | 0.0005 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P13 | 己醛            | 0.1871 <sup>b</sup> | 0.0115 <sup>a</sup> | 0.0064 <sup>a</sup> | 0.0074 <sup>a</sup> | 0.0070 <sup>a</sup> | *** |
| P14 | 乙酸异戊酯         | - <sup>a</sup>      | 0.0024 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P15 | 异丁醇           | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0009 <sup>b</sup> | *** |
| P16 | 碳酸二乙酯         | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0004 <sup>b</sup> | 0.0004 <sup>b</sup> | *** |
| P17 | 3-戊醇          | 0.0083 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P18 | (E)-2-戊烯醛     | - <sup>a</sup>      | 0.0038 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0019 <sup>b</sup> | *** |
| P19 | 1-己炔-3-醇      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0004 <sup>b</sup> | *** |
| P20 | 甲酸丁酯          | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0009 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P21 | 庚醛            | - <sup>a</sup>      | 0.0016 <sup>b</sup> | 0.0017 <sup>b</sup> | 0.0031 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P22 | 丁醇            | - <sup>a</sup>      | 0.0030 <sup>c</sup> | 0.0007 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P23 | (E)-2-己烯-1-醇  | 0.3042 <sup>b</sup> | 0.0131 <sup>a</sup> | 0.0117 <sup>a</sup> | 0.0113 <sup>a</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P24 | 乙酸戊酯          | 0.0033 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | 0.0045 <sup>d</sup> | 0.0025 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P25 | 1-戊烯-3-醇      | 0.0042 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0004 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P26 | 3-甲基-3-丁烯-1-醇 | 0.0033 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P27 | 戊醇            | 0.0025 <sup>a</sup> | 0.0141 <sup>c</sup> | 0.0250 <sup>d</sup> | 0.0109 <sup>b</sup> | 0.0015 <sup>a</sup> | *** |
| P28 | 2-己烯醛         | 0.1356 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0009 <sup>a</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P29 | 异戊醇           | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0026 <sup>b</sup> | 0.0037 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P30 | 2-戊烯醇乙酸酯      | 0.0033 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P31 | 己酸乙酯          | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0009 <sup>b</sup> | 0.0010 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |

转下页

接上页

|     |                    |                     |                     |                      |                      |                     |     |
|-----|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----|
| P32 | 2-正戊基呋喃            | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | 0.0003 <sup>b</sup>  | 0.0008 <sup>c</sup> | *** |
| P33 | 辛醛                 | - <sup>a</sup>      | 0.0020 <sup>c</sup> | 0.0017 <sup>b</sup>  | 0.0028 <sup>d</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P34 | 乙酸己酯               | 1.1458 <sup>b</sup> | 0.0013 <sup>a</sup> | 0.0019 <sup>a</sup>  | 0.0016 <sup>a</sup>  | 0.0105 <sup>a</sup> | *** |
| P35 | 2-辛酮               | - <sup>a</sup>      | 0.0088 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>       | 0.0017 <sup>b</sup> | *** |
| P36 | 3-羟基-2-丁酮          | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | 0.0011 <sup>b</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P37 | 仲辛酮                | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0132 <sup>c</sup>  | 0.0109 <sup>b</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P38 | 1-辛烯-3-酮           | - <sup>a</sup>      | 0.0113 <sup>d</sup> | 0.0030 <sup>b</sup>  | 0.0028 <sup>b</sup>  | 0.0106 <sup>c</sup> | *** |
| P39 | 乙酸叶醇酯              | 0.0083 <sup>c</sup> | 0.0047 <sup>b</sup> | 0.0043 <sup>b</sup>  | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>      | *** |
| P40 | 4-乙烯-1-醇           | 0.0100 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>       | 0.0148 <sup>e</sup> | *** |
| P41 | (E)-乙酸-2-己烯-1-醇酯   | 0.6292 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>      | *** |
| P42 | 甲基庚烯酮              | - <sup>a</sup>      | 0.0396 <sup>d</sup> | 0.0110 <sup>b</sup>  | - <sup>a</sup>       | 0.0135 <sup>c</sup> | *** |
| P43 | 2-己烯-1-醇乙酸酯        | 0.0150 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>      | *** |
| P44 | 己醇                 | 0.5292 <sup>b</sup> | 0.0094 <sup>a</sup> | 0.0080 <sup>a</sup>  | 0.0078 <sup>a</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P45 | (Z)-3-己烯醇          | - <sup>a</sup>      | 0.0056 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>       | 0.0074 <sup>c</sup> | *** |
| P46 | 乙酸庚酯               | 0.0025 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>       | 0.0044 <sup>c</sup> | *** |
| P47 | 叶醇                 | 0.0258 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | 0.0051 <sup>b</sup>  | 0.0052 <sup>b</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P48 | 壬醛                 | 0.0075 <sup>e</sup> | 0.0041 <sup>c</sup> | 0.0033 <sup>b</sup>  | 0.0048 <sup>d</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P49 | 环己甲醇               | 0.0033 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>      | *** |
| P50 | 2,4-己二烯醛           | 0.0033 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>      | *** |
| P51 | (E)-2-辛烯醛          | - <sup>a</sup>      | 0.0134 <sup>d</sup> | 0.0067 <sup>c</sup>  | 0.0014 <sup>b</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P52 | 辛酸乙酯               | 0.0050 <sup>d</sup> | 0.0034 <sup>c</sup> | 0.0033 <sup>c</sup>  | 0.0016 <sup>b</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P53 | 庚醇                 | 0.0025 <sup>b</sup> | 0.0029 <sup>c</sup> | 0.0044 <sup>d</sup>  | 0.0046 <sup>d</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P54 | 糠醛                 | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0521 <sup>b</sup>  | 0.0531 <sup>b</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P55 | 呋喃甲醛               | - <sup>a</sup>      | 0.0600 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>       | 0.0041 <sup>b</sup> | *** |
| P56 | 乙酸                 | 0.0033 <sup>b</sup> | 0.0323 <sup>e</sup> | 0.0294 <sup>d</sup>  | 0.0227 <sup>c</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P57 | 2-乙基己醇             | 0.0033 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>       | 0.0032 <sup>b</sup> | *** |
| P58 | (E)-2,4-庚二烯醛       | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0030 <sup>b</sup>  | 0.0034 <sup>c</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P59 | 癸醛                 | 0.0025 <sup>d</sup> | 0.0013 <sup>c</sup> | 0.0012 <sup>bc</sup> | 0.0011 <sup>b</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P60 | 2-乙酰基呋喃            | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0010 <sup>c</sup>  | 0.0009 <sup>b</sup>  | 0.0027 <sup>d</sup> | *** |
| P61 | 3-壬烯-2-酮           | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | 0.0006 <sup>b</sup>  | 0.0009 <sup>c</sup> | *** |
| P62 | (Z)-2-壬烯醛          | - <sup>a</sup>      | 0.0011 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>       | 0.0006 <sup>b</sup>  | 0.0089 <sup>d</sup> | *** |
| P63 | 芳樟醇                | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0107 <sup>d</sup>  | 0.0101 <sup>c</sup>  | 0.0010 <sup>b</sup> | *** |
| P64 | 辛醇                 | 0.0075 <sup>b</sup> | 0.0136 <sup>e</sup> | 0.0105 <sup>d</sup>  | 0.0096 <sup>c</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P65 | 5-甲基呋喃醛            | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | 0.0004 <sup>b</sup>  | 0.0098 <sup>c</sup> | *** |
| P66 | (E)-二辛烯-1-醇        | - <sup>a</sup>      | 0.0025 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>       | 0.0008 <sup>b</sup>  | 0.0008 <sup>b</sup> | *** |
| P67 | (Z)-2-癸烯醛          | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | 0.0008 <sup>b</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P68 | 壬醇                 | 0.0116 <sup>d</sup> | 0.0056 <sup>c</sup> | 0.0036 <sup>b</sup>  | 0.0034 <sup>b</sup>  | 0.0006 <sup>a</sup> | *** |
| P69 | 2,4-甲基-3-环己烯基-2-丙醇 | - <sup>a</sup>      | 0.0054 <sup>d</sup> | - <sup>a</sup>       | 0.0038 <sup>c</sup>  | 0.0033 <sup>b</sup> | *** |
| P70 | $\alpha$ -松油醇      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0026 <sup>b</sup>  | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>      | *** |
| P71 | 3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛   | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>       | 0.0002 <sup>b</sup>  | - <sup>a</sup>      | *** |
| P72 | 丙位己内酯              | 0.0292 <sup>d</sup> | 0.0007 <sup>a</sup> | 0.0056 <sup>c</sup>  | 0.0049 <sup>bc</sup> | 0.0040 <sup>b</sup> | *** |
| P73 | 柠檬醛二十烯醛            | - <sup>a</sup>      | 0.0014 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>       | - <sup>a</sup>      | *** |

转下页



接上页

|      |                       |                     |                     |                     |                     |                     |     |
|------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----|
| P74  | 癸醇                    | 0.0033 <sup>c</sup> | 0.0006 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | 0.0011 <sup>c</sup> | 0.0014 <sup>d</sup> | *** |
| P75  | 3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇   | - <sup>a</sup>      | 0.0037 <sup>d</sup> | 0.0010 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | 0.0019 <sup>c</sup> | *** |
| P76  | 丙位庚内酯                 | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0004 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P77  | (E)-2,4 癸二烯醛          | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0003 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P78  | 橙花醇                   | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0004 <sup>b</sup> | *** |
| P79  | 乙酸苯乙酯                 | 0.0033 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0007 <sup>b</sup> | *** |
| P80  | 茴香烯                   | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0021 <sup>d</sup> | 0.0013 <sup>c</sup> | 0.0012 <sup>b</sup> | *** |
| P81  | 2H-β-紫罗兰酮             | 0.0275 <sup>d</sup> | 0.0061 <sup>c</sup> | 0.0036 <sup>b</sup> | 0.0033 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P82  | 香叶醇                   | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0026 <sup>c</sup> | 0.0023 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P83  | 6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮 | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0022 <sup>b</sup> | *** |
| P84  | 香叶基丙酮                 | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0088 <sup>c</sup> | 0.0066 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P85  | 己酸                    | 0.0083 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0098 <sup>c</sup> | *** |
| P86  | 苯乙醇                   | 0.0075 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | 0.0007 <sup>b</sup> | 0.0007 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P87  | 丙位辛内酯                 | - <sup>a</sup>      | 0.0016 <sup>d</sup> | 0.0014 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | 0.0005 <sup>b</sup> | *** |
| P88  | 丁位辛内酯                 | 0.0150 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | 0.0021 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P89  | β-紫罗酮                 | 0.0100 <sup>e</sup> | 0.0030 <sup>d</sup> | - <sup>a</sup>      | 0.0022 <sup>c</sup> | 0.0011 <sup>b</sup> | *** |
| P90  | 辛酸                    | 0.0100 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0012 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P91  | 1,3-二羟基丙酮             | 0.0050 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P92  | 丙位癸内酯                 | 0.2750 <sup>c</sup> | 0.0294 <sup>b</sup> | 0.0246 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P93  | 对薄荷烯                  | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0095 <sup>b</sup> | 0.0192 <sup>c</sup> | *** |
| P94  | 丁位癸内酯                 | 0.1023 <sup>b</sup> | 0.0026 <sup>a</sup> | 0.0033 <sup>a</sup> | 0.0020 <sup>a</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P95  | 棕榈酸乙酯                 | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0002 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P96  | 二十酸甲酯                 | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0003 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | *** |
| P97  | 2,4-二叔丁基苯酚            | - <sup>a</sup>      | 0.0022 <sup>d</sup> | 0.0024 <sup>c</sup> | 0.0017 <sup>b</sup> | 0.0019 <sup>c</sup> | *** |
| P98  | 4-甲基-5-羟乙基噻唑          | 0.0042 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |
| P99  | 5-羟甲基糠醛               | 0.0200 <sup>c</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0027 <sup>b</sup> | *** |
| P100 | 邻苯二甲酸二异丁酯             | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | 0.0013 <sup>b</sup> | - <sup>a</sup>      | - <sup>a</sup>      | *** |

注：“-”表示未检出；“Px”为物质编号；\*\*\*为极显著；“abc”为 ANOVA 方差结果分析； $p>0.05^*$ ，表示差异性不显著； $0.01<p<0.05^{**}$ 表示差异性显著； $p<0.01^{***}$ 表示差异性极显著。

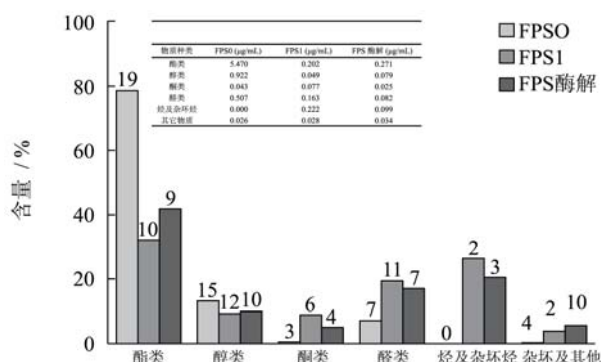


图1 不同处理方式 FPS 样本主要挥发性成分含量对比

Fig.1 Comparison of main volatile components in FPS samples after different treatments

注：图中柱状图上方数字为每类物质具体数量，图中表格所示为具体物质含量(μg/mL)。

对比表 1 所示不同处理的 FPS 样本发现，FPS0

与 FPS1 和 FPS2-4 的物质组成差异性较明显，采用显著性分析及分类看出 FPS2-4 大部分可分为一组且区别于 FPS0 与 FPS1，说明三种不同处理方法得出的样本物质种类及含量有较大差异性；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、辛醇和 2H-β-紫罗兰酮在 5 个样本中均存在，且其中部分含量未发生明显改变，表明这些物质在热反应条件下相对较为稳定，且以键合态存在的潜在风味成分未包含或仅少量包含上述物质。而经 β-葡萄糖苷酶酶解处理后的样本 FPS2-4 与鲜果果汁样本 FPS0 和巴氏杀菌样品 FPS1 相比，新生成了大量挥发性物质，如丙酮、戊醛、糠醛、2-乙酰基咪唑、丙位己内酯及橙花醇等；与此同时，酶解反应后亦存在多种物质不同程度的丧失，如乙酸丙酯、4-乙烯-1-醇、(E)-乙酸-2-乙烯-1-醇、环乙醇及 2,4-己二烯醛等。

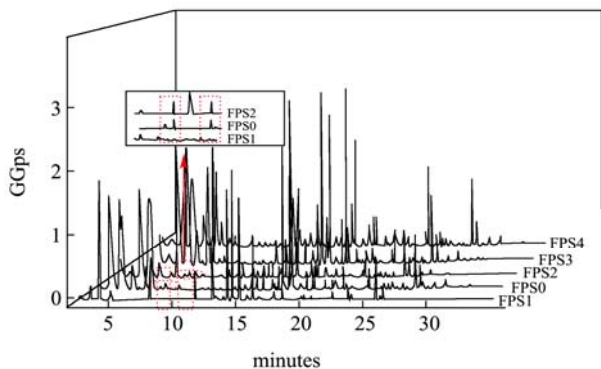


图2 不同处理方式蟠桃汁样本 GC-MS 分析图谱

Fig.2 GC-MS analysis of flat peach juice samples treated by different processing methods

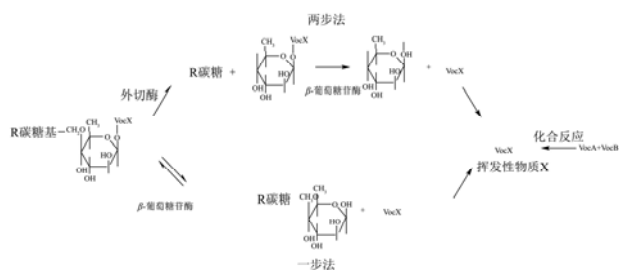


图3 化合反应及酶解糖苷键合态物质反应途径

Fig.3 Glycosidic bond reaction and the reaction pathways for the enzymatic hydrolysis of bound materials

相关资料表明桃类特征香气成分主要包括己醛、苯甲醛、 $\beta$ -紫罗兰酮、酯类和内酯类物质<sup>[10]</sup>；与桃类较为相似，蟠桃的特征香气也主要通过酯类(乙酸甲酯，乙酸乙酯，乙酸丙酯、丙位己内酯等)、醇类[己醇，(E)-2-己烯-1-醇，壬醇等]和酮类(二氢- $\beta$ -紫罗兰酮等)等物质进行表征。图1为不同条件制备的蟠桃果汁样本(FPS0-FPS4)中挥发性成分分布图，图中直观的体现出酶解前后蟠桃汁中挥发性物质构成发生了明显变化：蟠桃原汁样本FPS0中共检出48种物质，其中酯类19种，含量为5.470  $\mu\text{g/mL}$ ，其次依次为醇类15种(0.922  $\mu\text{g/mL}$ )，醛类7种(0.507  $\mu\text{g/mL}$ )，酮类3种(0.043  $\mu\text{g/mL}$ )，其它物质4种(0.026  $\mu\text{g/mL}$ )；与FPS0样本相比，巴氏杀菌样品FPS1共检出43种物质，其中酯类物质仅检出10种(0.202  $\mu\text{g/mL}$ )，蟠桃特征呈香物质如乙酸乙酯和乙酸己酯含量变化最为显著，分别下降至0.2146  $\mu\text{g/mL}$ 和0.0013  $\mu\text{g/mL}$ 。与此同时醇类、酮类、其它物质亦发生不同程度的改变，依次为12种(0.049  $\mu\text{g/mL}$ )、6种(0.077  $\mu\text{g/mL}$ )和2种(0.028  $\mu\text{g/mL}$ )。此外，在加热杀菌的过程中发现了大量杂环烃类物质的生成(0.222  $\mu\text{g/mL}$ )，这与孙倩茹<sup>[11]</sup>的研究较为一致，即烃类含量的增加可能与浓缩和热反应过程有关。蟠桃汁风味品质降低可能正是由于上述酯类等物质的丧失及烃类等物质的生成或含量的改变所

导致。

为了方便比较获得 $\beta$ -葡萄糖苷酶对蟠桃汁酶解效果的主要影响，筛选同时在两个FPS样本中存在的化合物，并将FPS2-4挥发性物质数据进行均一化处理，结果见图1所示。与巴氏杀菌FPS1样本相比，酶解后的FPS2-4样本中酯类含量呈现较大增幅(34.15%)，尤其是表征蟠桃特征风味的乙酸乙酯、乙酸甲酯、乙酸戊酯、丙位己内酯等，其中乙酸乙酯含量变化最为显著，约提高了15.51%，与蟠桃原汁FPS0样本中的物质含量整体轮廓最为接近。为了进一步说明 $\beta$ -葡萄糖苷酶酶解途径，以乙酸戊酯(9.384 min)和戊醇(11.541 min)为例，由图2可以看出在蟠桃原汁FPS0样本中含有的这两种物质，在巴氏杀菌FPS1并未检出，而经 $\beta$ -葡萄糖苷酶酶解后的FPS2-4样本中上述两种物质再次被检出，这与范刚<sup>[12]</sup>等研究结果较为一致，即水果中某些特征香气物质可能与糖类物质以糖苷键的形式结合存在，自身较为稳定不宜挥发，可通过适度酶解或酸解破坏其糖苷键释放出来，以此提升果汁风味品质。 $\beta$ -葡萄糖苷酶酶解可能通过一步法或两步法将结合态的挥发性物质进行解离，一步法即直接将其酶解为单糖和挥发性单体，两步法则可能是通过先将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<sup>[13]</sup>(见图3)，这些物质往往具有较低的风味阈值，对于产品特征风味的呈现具有重要的作用。综上所述，通过 $\beta$ -葡萄糖苷酶酶解可以弥补加热杀菌过程中香气物质的丧失同时遮蔽不良气味组分的负面效应，从而达到风味优化的目的。

## 2.2 不同处理FPS样本感官分析

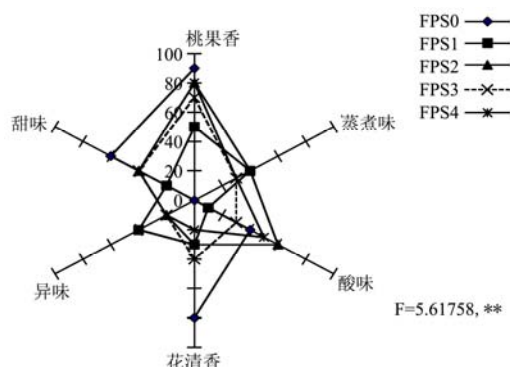


图4 不同处理蟠桃汁样本风味评价对比图

Fig.4 Comparison of flavor evaluations on flat peach juice samples after different treatment methods

不同处理条件的蟠桃汁样本(FPS0-4)感官分析结果见图4所示。

由图4风味雷达图可以看出，与巴氏杀菌未酶解

FPS1 样本相比, 酶解组 FPS2-4 的桃果香和甜味属性相对较强; 而 FPS1 由于在酸味和蒸煮味等异味方面评价分值的异常凸显, 使得果汁样品整体感官评价效果较低。通过对各感官属性进行方差分析可以看出蟠桃汁样本 FPS0-4 在各个风味属性上存在显著差异 ( $p < 0.01$ )。鉴于以上分析结果, 后期蟠桃汁风味优化重点可以集中在增加能够提高桃果香和香甜味等感官属性的风味物质上, 采用 PCA 分析可以将与这些属性相关性较大的挥发性物质筛选出来, 作为感官评价与风味品质变化的重点监控靶点物质。

### 2.3 主成分分析(principal component analysis, PCA)

PCA 多用于繁杂数据的简化降维处理, 可快速实现模式或关系的可视化识别<sup>[14]</sup>。实验对 5 个不同处理条件下获得的 FPS 样本中的挥发性成分及其 6 个感官属性进行 PCA 相关性分析, 结果见图 5 所示。

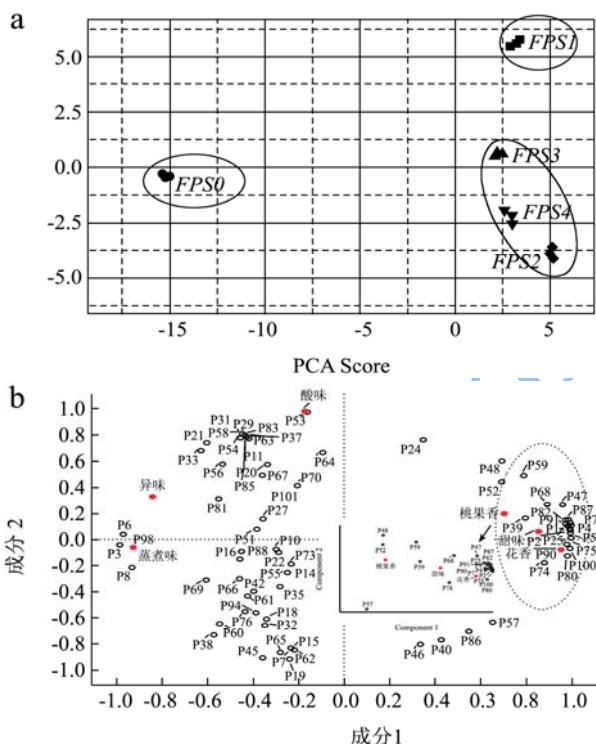


图5 不同FPS样本PCA分析

Fig.5 PCA analysis of different FPS samples

注: a 为得分图; b 为载荷图; P<sub>x</sub> 为表 1 中各物质编号。

图 5a 为不同 FPS 样本得分图, 其中 PC1 和 PC2 累计总方差贡献率为 69.955%, 基本能够反映样本的大部分信息, 因此对前两个主成分(PC1-PC2)进行分析。依据 PCA 基本原则, 即样品在得分图上距离越接近, 其香气组成及含量相似度就会越高。由图中可以看出, 不同处理获得的蟠桃汁样本分别聚集在得分图的不同区域, 其中空白样本 FPS0 位于得分图

的左侧, 空白样本 FPS0 位于得分图的左侧, 巴氏杀菌样本 FPS1 与酶解蟠桃汁样本 FPS2-4 则位于得分图右侧, 且间隔较大距离, 表明经  $\beta$ -葡萄糖苷酶酶解后产品与单纯巴氏杀菌样本 FPS1 间存在明显差异。此外, FPS2-4 位于坐标轴同侧且聚集较为紧密, 表明其在物质组成和感官属性上较为相近。为了更为明确的研究  $\beta$ -葡萄糖苷酶对蟠桃汁风味物质和感官特性的影响, 在上述 PCA 分析的基础上, 进行了 FPS0-4 的挥发性物质载荷分析, 结果如图 5b 所示。

由图 5b 可以看出几种感官属性分布于坐标系四个象限, 其中桃果香、花青香、香甜味聚集在坐标系右侧同一区域, 异味、蒸煮味、酸味集中在坐标系左侧; 整体分为两大类感官属性区间, 此分析结果亦再次验证了前期的实际感官评价结论。在无监督分析模式下通过图 5b 中二维空间的距离可以分析出各挥发性物质与感官属性的相关性大小。由图 5b 所示乙醛 (P1)、乙酸异丙酯 (P2)、乙酸甲酯 (P4)、乙酸乙酯 (P5)、(E)-2-己烯-1-醇 (P23)、乙酸叶醇酯 (P44)、辛酸乙酯 (P52)、2-乙基己醇 (P57)、壬醇 (P68) 等挥发性物质与桃果香、花清香、香甜味等 3 个感官属性周围, 表明这些物质与以上 3 种感官属性相关性较大, 可能对呈现这些气味起到正相关作用。相关资料显示乙酸乙酯、乙酸甲酯、(E)-2-己烯-1-醇具有果香或花草的清香<sup>[15]</sup>, 这与 PCA 分析结果一致; 而丙酮 (P3)、二氯甲烷 (P6)、戊醛 (P8)、4-甲基-5-羟乙基噻唑 (P98) 等物质聚集在了蒸煮味、异味、酸味周围, 表明这些挥发性物质可能与不良感官属性的呈现有一定相关性, 后期可利用 GC-MS-O 进行嗅闻测试进一步确认。结合 PCA 模型分析得出大部分酯类和醇类物质对优良感官属性的贡献较大, 前期实验分析表明  $\beta$ -葡萄糖苷酶通过断键酶解作用可以释放出部分键合态的酯类和醇类物质, 因此  $\beta$ -葡萄糖苷酶对优化蟠桃汁的风味起到积极作用, 能够达到提高蟠桃汁整体风味品质的目的。

### 3 结论

采用 GC-MS 技术对蟠桃原汁及不同处理方式后的蟠桃汁挥发性成分分离鉴定, 通过感官评价结合化学计量法进行数据分析整理, 得出不同处理方式前后蟠桃汁中挥发性物质构成差异明显。发现大部分酯类和醇类物质是为蟠桃汁贡献优良感官属性的重要挥发性物质; 并且在利用  $\beta$ -葡萄糖苷酶酶解后酯类、醇类物质的含量明显增加, 优良的感官属性评分提高, 整体综合感官体验改善明显, 基于以上成果得出  $\beta$ -葡萄糖苷酶对蟠桃的风味品质改良具有积极的作用, 尤其是对桃果香和清香等感官属性上优化作用明显, 因此  $\beta$ -葡萄糖苷酶可以作为增香酶运用到蟠桃果汁及相



关产品的风味优化中。

## 参考文献

- [1] 靳焯. 增香酶在食品工业中的应用[J]. 中国食品工业, 1995, 9:18-19  
JIN Ye. Application of enzymes in food industry [J]. China Food Industry, 1995, 9: 18-19
- [2] Gueguen Y, Chenardin P, Janbon G, et al. A very efficient  $\beta$ -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
- [3] 桑苇, 唐柯, 徐岩, 等. 黑曲霉  $\beta$ -葡萄糖苷酶对葡萄酒酶解增香调控及香气物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(5): 8-13  
SANG Wei, TANG Ke, XU Yan, et al. Effects of  $\beta$ -glucosidase from aspergillus niger on flavoring regulation and aroma compounds of wine [J]. Food and Fermentation Industry, 2015, 41(5): 8-13
- [4] 孙爱东, 葛毅强. 不同来源的增香酶酶解橙汁(皮)中键合态主要芳香物质的效果分析[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(11):1-4  
SUN Ai-dong, GE Yi-qiang. An analysis of the enzymolysis effect of  $\beta$ -glucosidase from different source on bound form aromatic components of sweet orange juice (peel) [J]. Food and Fermentation Industry, 2001, 27(11): 1-4
- [5] 谢爽.  $\beta$ -葡萄糖苷酶在食品增香中的应用[J]. 中外食品, 2004, 12:44-45  
XIE Shuang. Improvement of food aroma by  $\beta$ -glycosidase [J]. Raw Materials Ingredients, 2004, 12: 44-45
- [6] 谢建春, 孙宝国, 马洪亮, 等. 氧化猪脂-热反应制备猪肉香精研究[J]. 中国调味品, 2005, 12:49-53  
XIE Jian-chun, SUN Bao-guo, MA Hong-liang, et al. Study on pork flavor preparation by oxidized lard combining with maillard thermal reaction [J]. China Condiment, 2005, 12: 49-53
- [7] Moon S Y, Li-Chan E C Y. 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
- [8] 詹萍, 张晓鸣, 田洪磊. 羊骨蛋白酶解物热反应制备羊肉香精的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(1):286-289  
ZHAN Ping, Zhang Xiao-ming, TIAN Hong-lei. Study on mutton flavor synthesis by maillard reaction from sheep bone protein hydrolysates [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(1): 286-289
- [9] 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  
WANG Li-ping, XU Yan, ZHAO Guang-ao, et al. Rapid determination of aroma components in apple wine by head space solid-phase microextraction (HS-SPME) [J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 2003, 22(1): 1-6
- [10] 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):347-351  
WEI Hao-cheng, WANG Gui-xi, LIANG Li-song, et al. Study on headspace solid-phase microextraction for rapid analysis of volatile flavor compounds in peach fruits [J]. Food Science, 2007, 28(7): 347-351
- [11] 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[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011  
SUN Qian-ru. Study on the changes of aroma components during key processing units and storage in pomelo and lemon juice [D]. Wuhan: Hua Zhong Agricultural University, 2011
- [12] 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  
FAN Gang, WANG Ke-xing, PAN Si-yi. Advances in research of glycosidically bound aroma compounds in fruits [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(24): 5100-5111
- [13] 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
- [14] 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, 2007, 22(6):23-26  
LI Xin-Rui. Compare and application of principal component analysis, factor analysis and clustering analysis [J]. Journal of Shandong College of Education, 2007, 22(6): 23-26
- [15] 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  
XU Zeng-hui, JIA Jian-hui, LV Xiao-lian, et al. Effect of high hydrostatic pressure and heat sterilization on volatile components in peach juice [J]. Food Science, 2012, 33(5): 25-28