

# 紫色百香果果皮多酚存在形式及抗氧化活性

谭敏华, 廖志强, 冯卫华, 于立梅\*, 陈海光  
(仲恺农业工程学院 轻工食品学院, 广东 广州 510225)

**摘要:**以紫色百香果果皮为材料,采用两项溶剂萃取的方法提取分离百香果果皮的游离态、酯化态及结合态多酚,测定其多酚含量和体外抗氧化活性,并采用电喷雾电离质谱(electrospray ionization mass spectrometry, ESI-MS)对3种形式多酚进行成分分析。结果表明,百香果果皮中游离酚含量最多,为0.641 3 mg GAE/g DW;酯化酚次之,为0.529 0 mg GAE/g DW;结合酚最少,为0.153 3 mg GAE/g DW;游离酚、酯化酚和结合酚的DPPH自由基清除率分别为43.1%、39.5%、24.8%;铁离子还原能力(ferric ion reducing antioxidant powder, FRAP)值分别为140、117、86 mmol/L,羟基自由基清除率分别为24.0%、22.9%、18.3%。不同存在形式百香果果皮多酚的抗氧化能力大小表现为游离酚>酯化酚>结合酚;百香果果皮中3种形式多酚在种类和组分上存在着很大的差异。

**关键词:**百香果;游离酚;酯化酚;结合酚;抗氧化活性

## Existing Forms and Antioxidant Activities of Purple Passion Fruit Peel Polyphenols

TAN Min-hua, LIAO Zhi-qiang, FENG Wei-hua, YU Li-mei\*, CHEN Hai-guang

(College of Light Industry and Food Science, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, Guangdong, China)

**Abstract:** Purple passion fruit peels were used as the material. Two solvent extraction methods were used to extract and isolate the free, esterified and bound polyphenols from passion fruit peels. The polyphenol content and antioxidant activity *in vitro* were measured and component analysis of three forms of polyphenols using electrospray ionization mass spectrometry (ESI-MS). The results showed that passion fruit peels had the highest free phenol content, which was 0.641 3 mg GAE/g DW. The esterified phenol was the second, which was 0.529 0 mg GAE/g DW. The bound phenol was the least, which was 0.153 3 mg GAE/g DW. DPPH free radical scavenging rates of free phenol, esterified phenol and bound phenol were 43.1%, 39.5%, and 24.8%. The ferric ion reducing antioxidant powder (FRAP) values of iron ion reducing ability were 140, 117 and 86 mmol/L. Hydroxyl radical scavenging ability were 24.0%, 22.9% and 18.3%. The antioxidant capacity of the three forms of polyphenols in passion fruit peels were expressed as free phenol>esterified phenol>bound phenol. There are great differences in the types and components of the three forms of polyphenols in passion fruit peels.

**Key words:** passion fruit; free phenol; esterified phenol; bound phenol; antioxidant activity

引文格式:

谭敏华, 廖志强, 冯卫华, 等. 紫色百香果果皮多酚存在形式及抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(16): 53-58, 76.

TAN Minhua, LIAO Zhiqiang, FENG Weihua, et al. Existing Forms and Antioxidant Activities of Purple Passion Fruit Peel Polyphenols[J]. Food Research and Development, 2021, 42(16): 53-58, 76.

基金项目: 国家自然科学基金(D21620763); 广东省研究生教育创新计划(2017QTLXXM24); 2018年广东省联合培养研究生示范基地(粤教研函[2018]17号)

作者简介: 谭敏华(1994—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全。

\* 通信作者: 于立梅(1973—), 女(汉), 教授, 博士, 研究方向: 农产品贮藏加工, 功能食品化学。

百香果又称西番莲,有紫果和黄果两大类,主要集中在巴西、秘鲁、智利等地<sup>[1]</sup>。我国对于百香果的引入已有多年的历史,在国内多个地方都有栽培<sup>[2]</sup>。目前我国对于百香果的研究主要集中在果肉,而对其果皮的研究比较少<sup>[3]</sup>。百香果果皮占鲜果重的二分之一,所占比例较大,常造成百香果废弃果皮资源和环境污染等问题<sup>[4]</sup>。

多酚化合物含有一个或多个羟基基团的苯环结构,是百香果中含量最多的生物活性成分<sup>[5]</sup>。有研究表明,百香果果皮含有多种酚类、生氰和多糖等活性物质,这些物质与心血管疾病、高血糖和神经性疾病有关<sup>[6-8]</sup>。百香果具有抗焦虑、抗氧化和降压等作用,但其内在作用机理尚不明确<sup>[9-13]</sup>。试验采用两项溶剂萃取的方法对干燥的百香果果皮进行提取,并对所制备的样品进行体外抗氧化活性研究,为百香果果皮的综合利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

紫色百香果:产自广西桂林。

1,1-二苯基-2-苦基肼基(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、无水硫酸钠、邻菲罗啉、无水乙醇、硫酸亚铁、Folin 酚、没食子酸标准品、乙酸乙酯、无水乙醚、三吡啶基三嗪(tripirydiazine, TPTZ)、丙酮、氢氧化钠、抗坏血酸、无水碳酸钠、六水三氯化铁、甲醇、结晶乙酸钠、正己烷、冰醋酸、浓盐酸、过氧化氢:广州一马生物有限公司,以上试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

UV759 紫外可见分光光度计:上海精密科学仪器有限公司;DHG-9140 电热恒温干燥箱:上海市百典仪器厂;JJ500 电子天平:天津市顺诺仪器科技有限公司;DZW-8 恒温水浴锅:北京众星伟业仪器有限公司;MJ-BL25B2 粉碎机:美的集团有限公司;XHRE-52A 旋转蒸发仪:郑州豫华仪器制造有限公司;GENEX pH 计:上海宝予德科学仪器有限公司;CXJ-IIB 离心机:上海安亭科学仪器厂;SHZ-D(III)循环水式真空泵:邢台润联科技开发有限公司

### 1.3 方法

#### 1.3.1 原料预处理

选择大小均匀、无机械损伤和病虫害的百香果,取百香果果皮于 50℃ 恒温烘箱中干燥 36 h,使用粉碎机粉碎后密封于常温(25℃)保存备用。

#### 1.3.2 多酚化合物的提取

##### 1.3.2.1 游离态多酚的提取

参考 Krygier 等<sup>[14]</sup>和肖星凝等<sup>[15]</sup>的方法并稍作修

改。取 10.0 g 百香果果皮粉末用甲醇、丙酮和水提取液(体积比 7:7:6)于常温(25℃)暗处反应,重复 5 次,抽滤,然后用旋转蒸发仪 45℃ 浓缩,所得浓缩滤液用 6 mol/L HCl 调 pH 值至 2,抽滤。所得滤液与正己烷按体积比 1:1 混合萃取 5 次,去掉正己烷相,剩下的水相用乙酸乙酯和无水乙醚按体积比 1:1 混合,萃取 5 次,加入无水硫酸钠,用旋转蒸发仪 30℃ 浓缩干燥,最后加入甲醇定容至 25 mL,得到游离态多酚。

##### 1.3.2.2 酯化态多酚的提取

将上述抽滤后的残渣与无水乙醚和乙酸乙酯萃取后的水相混合,加入 4 mol/L NaOH 避光反应 4 h 并用 6 mol/L HCl 调 pH 值至 2,抽滤。所得滤液与正己烷按体积比 1:1 混合萃取 5 次,去掉正己烷相,剩下的水相用乙酸乙酯和无水乙醚按体积比 1:1:1 混合萃取 5 次,加入无水硫酸钠,用旋转蒸发仪 30℃ 浓缩干燥,最后加入甲醇定容至 25 mL,得到酯化态多酚。

##### 1.3.2.3 结合态多酚的提取

将上述抽滤后的滤渣加入 50 mL 4 mol/L NaOH 避光反应 4 h,并用 6 mol/L HCl 调 pH 值至 2,抽滤。所得滤液与正己烷按体积比 1:1 混合萃取 5 次,去掉正己烷相,剩下的水相用乙酸乙酯和无水乙醚按体积比 1:1:1 混合萃取 5 次,加入无水硫酸钠,用旋转蒸发仪 30℃ 浓缩干燥,最后加入甲醇定容至 25 mL,得到结合态多酚。

以上试验均重复 3 次,将试验得到的 3 种形式百香果果皮多酚在 -20℃ 密封储存。

### 1.3.3 多酚化合物含量的测定

参考 Singleton VL<sup>[16]</sup>、尚红梅等<sup>[17]</sup>和马士巧等<sup>[18]</sup>的方法并稍作修改。以没食子酸(gallic acid)为标品制作标准曲线: $y=0.0083x+0.0032$  ( $R^2=0.9989$ ),将标准曲线算出的结果换算为每克样品(干质量)中所含的多酚相当于没食子酸的毫克数,结果表示为 mg GAE/g DW。

#### 1.3.4 体外抗氧化活性测定

##### 1.3.4.1 DPPH 自由基清除能力测定

参照齐高强等<sup>[19]</sup>的方法并稍作修改。取 0.2 mL 百香果果皮提取液,加入 4 mL 0.1 mmol/L DPPH 溶液在常温(25℃)避光反应,从 0~1 h 每隔 10 min 测 1 次 517 nm 的吸光度  $A_{10}$ 。以甲醇作为对照,测 517 nm 的吸光度  $A_2$ 。以无水乙醇为空白。DPPH·清除率按如下公式计算。

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times 100$$

##### 1.3.4.2 铁离子还原能力测定

参照杨希娟等<sup>[20]</sup>的方法并稍作修改。取 1 mL TPTZ (10 mmol/L)、1 mL  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (20 mmol/L) 和 10 mL

pH3.6 醋酸盐缓冲液(0.3 mol/L)充分混匀得到铁离子还原能力(ferric ion reducing antioxidant power, FRAP)溶液,在 37 ℃恒温锅中贮藏备用。取 3.6 mL FRAP 溶液加入 0.36 mL 蒸馏水和 0.12 mL 百香果果皮提取液,充分混合后于 37 ℃水浴锅中避光放置,以蒸馏水代替百香果果皮提取液为空白,从 0~1 h 每隔 10 min 测 1 次 593 nm 的吸光度。以  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  为标品制作标准曲线回归方程为  $y=0.0072x+0.0659$  ( $R^2=0.9999$ ),根据标准曲线计算硫酸亚铁的浓度(mmol/L)。

#### 1.3.4.3 $\cdot\text{OH}$ 清除能力测定

参考周淑仪等<sup>[21]</sup>的方法。取 1 mL 邻菲罗啉溶液(1.865 mmol/L)加入 1 mL 百香果果皮提取液和 2 mL pH7.4 磷酸盐缓冲液,混合后加入 1 mL  $\text{FeSO}_4$  溶液(1.865 mmol/L),再次混合后加入 1 mL 0.03%的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,在 37 ℃恒温锅中反应 1 h,测 536 nm 的吸光度  $A_{\text{样}}$ 。用甲醇代替百香果果皮提取液,测 536 nm 的吸光度  $A_{\text{损}}$ 。以甲醇代替百香果果皮提取液、蒸馏水代替  $\text{H}_2\text{O}_2$  为空白,测 536 nm 的吸光度  $A_{\text{空}}$ 。 $\cdot\text{OH}$  清除率按如下公式计算。

$$\text{羟基自由基清除率}/\% = \frac{A_{\text{样}} - A_{\text{损}}}{A_{\text{空}} - A_{\text{损}}} \times 100$$

#### 1.4 百香果果皮中多酚化合物组成的检测

采用电喷雾电离质谱(electrospray ionization mass spectrometry, ESI-MS)检测百香果果皮中多酚化合物的组成。

质谱条件:采用 ESI 源,负离子模式,离子扫描范围:100 m/z~800 m/z;雾化气压力:0.28 MPa;干燥气流速:10.00 L/min;干燥气温度:350 ℃;最大累计时间:200 ms;碰撞诱导解离的 MS/MS 诱导碰撞能量为 1.0 V。

#### 1.5 数据处理

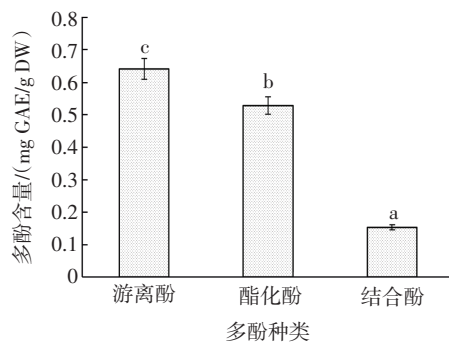
每组数据均平行 3 次,结果用平均值 $\pm$ 标准差表示。采用 Excel 2010 进行绘图;采用 SPSS 19.0 中单因素方差分析(one-way ANOVA)和邓肯氏多重比较进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 百香果果皮中多酚化合物含量

百香果果皮中 3 种形态多酚含量见图 1。

由图 1 可知,百香果果皮中游离态多酚含量最高,为 0.641 3 mg GAE/g DW,占总酚的 48.45%;酯化酚含量次之,为 0.529 0 mg GAE/g DW,占总酚的 39.97%;结合酚含量最少,为 0.153 3 mg GAE/g DW,占总酚的 11.58%;结果表明百香果果皮中 3 种不同形式多酚含量差异极显著( $p < 0.01$ )。由此可见,百香果果皮中多酚主要为游离酚和酯化酚。



不同小写字母表示差异极显著( $p < 0.01$ )。

图 1 百香果果皮中 3 种形态多酚含量

Fig.1 Contents of three polyphenols in passion fruit peel

### 2.2 百香果果皮中多酚的抗氧化能力分析

#### 2.2.1 DPPH 自由基清除能力分析

百香果果皮中 3 种形态多酚和混合酚清除 DPPH $\cdot$ 的动力学反应见图 2,游离酚、酯化酚、结合酚、混合酚和  $\text{V}_\text{C}$  的 DPPH $\cdot$ 清除能力见图 3。

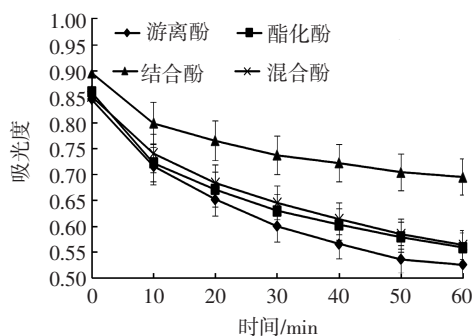
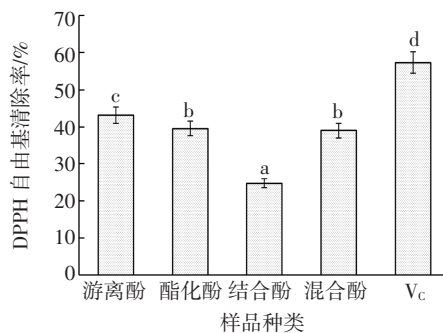


图 2 百香果果皮中 3 种形态多酚和混合酚清除 DPPH $\cdot$ 的动力学反应

Fig.2 Reaction of dynamics of scavenging DPPH free radicals by free phenol, esterified phenol, bound phenol and mixed phenol in passion fruit peel



不同小写字母表示差异极显著( $p < 0.01$ )。

图 3 百香果果皮中游离酚、酯化酚、结合酚、混合酚和  $\text{V}_\text{C}$  的 DPPH $\cdot$ 清除能力

Fig.3 DPPH free radical scavenging ability of free phenol, esterified phenol, bound phenol, mixed phenol and  $\text{V}_\text{C}$  in passion fruit peel

混合酚提取液为等浓度等体积的游离酚、酯化酚

和结合酚提取液的混合液。试验所用各样品的浓度均为  $92 \mu\text{g/mL}$ 。由图 2 可知,百香果果皮中游离酚、酯化酚、结合酚和混合酚的吸光度随着反应时间的延长而逐渐减少。样品中的吸光度越小,说明样品中的 DPPH 自由基清除能力越强。DPPH·清除率随着反应时间的延长而升高,反应时间到 50 min 基本达到稳态。由图 3 可知,百香果果皮中游离酚、酯化酚、结合酚和混合酚提取液的 DPPH·清除率与  $V_c$  相比差异极显著 ( $p < 0.01$ )。相同浓度的 5 种样液的 DPPH·清除率为  $V_c >$  游离酚  $>$  酯化酚  $>$  混合酚  $>$  结合酚。结果表明百香果果皮中游离酚和酯化酚的 DPPH·清除能力较强。

### 2.2.2 铁离子还原能力分析

百香果果皮中游离酚、酯化酚、结合酚和混合酚 FRAP 值的动力学反应见图 4,游离酚、结合酚、酯化酚、混合酚和  $V_c$  的铁离子还原能力见图 5。

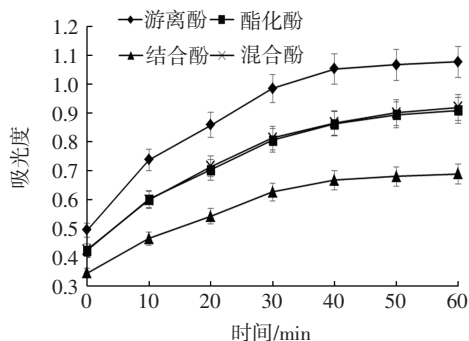
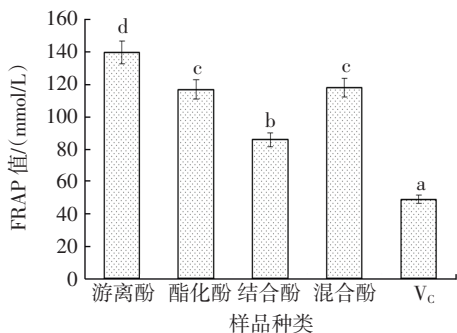


图 4 百香果果皮中游离酚、酯化酚、结合酚和混合酚 FRAP 值的动力学反应

Fig.4 Reaction of dynamics of FRAF value of free phenol, esterified phenol, bound phenol and mixed phenol in passion fruit peel



不同小写字母表示差异极显著 ( $p < 0.01$ )。

图 5 百香果果皮中游离酚、结合酚、酯化酚、混合酚和  $V_c$  的铁离子还原能力

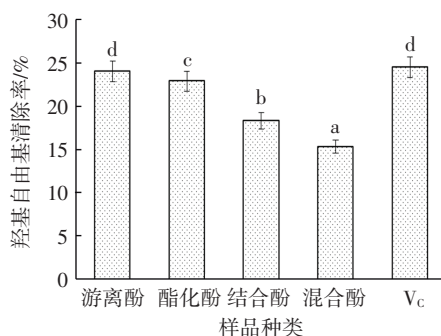
Fig.5 Iron ion reduction ability of free phenol, bound phenol, esterified phenol, mixed phenol and  $V_c$  in passion fruit peel

由图 4 可知,百香果果皮中游离酚、酯化酚、结合酚和混合酚的吸光度随着反应时间的延长而增加。样品中的吸光度越大,说明样品中的铁离子还原能力越

强。FRAP 值随着反应时间的延长而逐渐增大,反应时间到 50 min 基本达到稳态。由图 5 可知,百香果果皮游离酚、酯化酚、结合酚和混合酚提取液的铁离子还原能力与  $V_c$  相比差异极显著 ( $p < 0.01$ )。相同浓度的 5 种样液的铁离子还原能力为游离酚  $>$  混合酚  $>$  酯化酚  $>$  结合酚  $>$   $V_c$ 。结果表明百香果果皮多酚中游离酚和酯化酚的铁离子还原能力较强。

### 2.2.3 羟基自由基清除能力分析

百香果果皮中游离酚、结合酚、酯化酚、混合酚和  $V_c$  的  $\cdot\text{OH}$  清除能力见图 6。



不同小写字母表示差异极显著 ( $p < 0.01$ )。

图 6 百香果果皮中游离酚、结合酚、酯化酚、混合酚和  $V_c$  的  $\cdot\text{OH}$  清除能力

Fig.6  $\cdot\text{OH}$  scavenging ability of free phenol, bound phenol, esterified phenol, mixed phenol and  $V_c$  in passion fruit peel

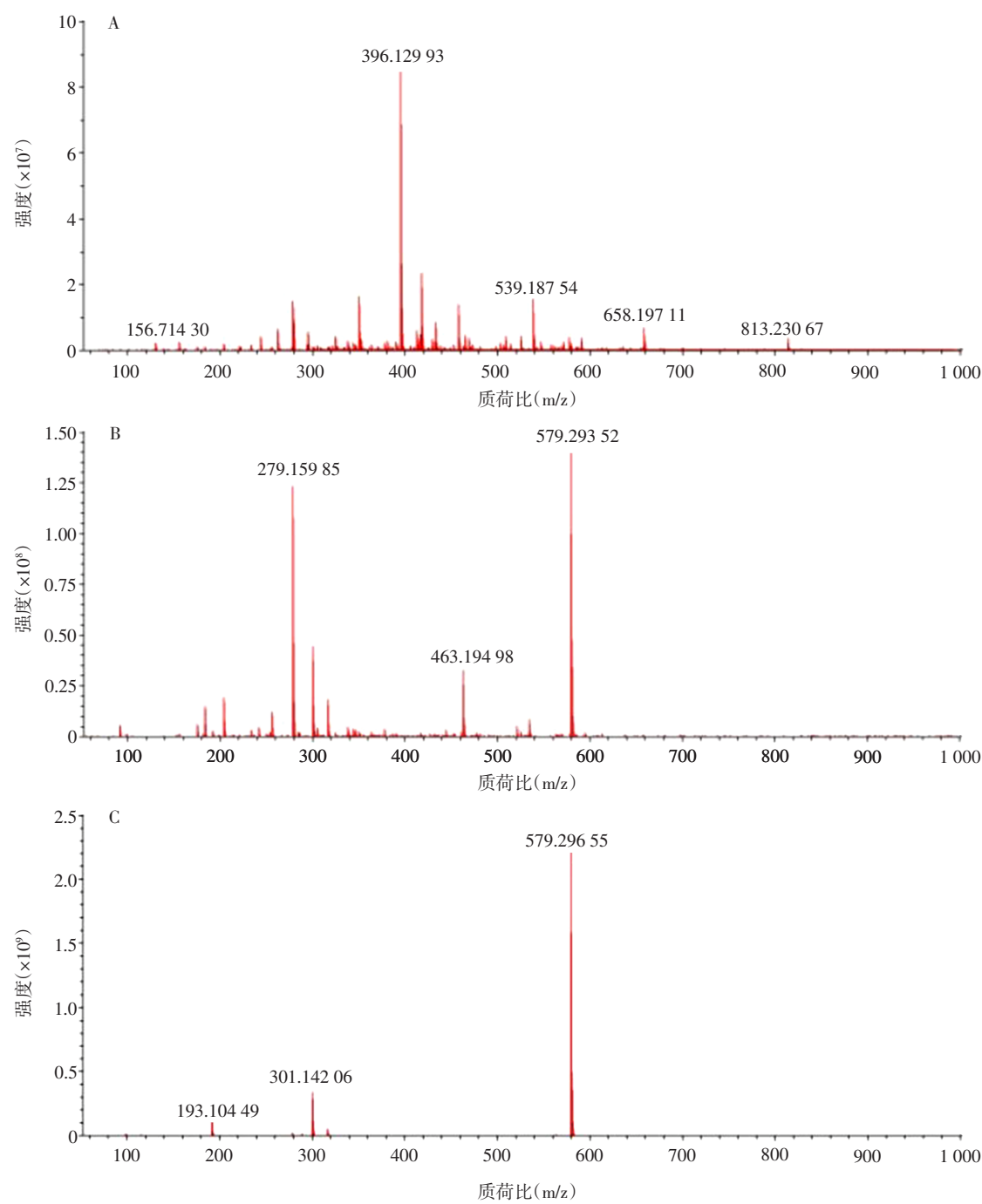
由图 6 可知,百香果果皮酯化酚、结合酚和混合酚提取液的羟基自由基清除能力与  $V_c$  相比差异极显著 ( $p < 0.01$ )。相同浓度的 5 种样液的  $\cdot\text{OH}$  清除率为  $V_c >$  游离酚  $>$  酯化酚  $>$  结合酚  $>$  混合酚。结果表明百香果果皮多酚中游离酚和酯化酚的羟基自由基清除能力较强。

通过查阅资料可知,评定一个样品的抗氧化活性至少需要两种方法进行综合评定<sup>[22-23]</sup>。本文通过测定百香果果皮提取液的 DPPH·清除能力、FRAP 值及  $\cdot\text{OH}$  清除能力 3 个指标,综合评定百香果果皮的抗氧化性,结果表明百香果果皮中游离酚的 3 个指标均比酯化酚高,结合酚最低。综上所述,百香果果皮中不同形式多酚的抗氧化能力大小为游离酚  $>$  酯化酚  $>$  结合酚。

### 2.3 百香果果皮中游离酚、酯化酚和结合酚的组分分析

百香果果皮中 3 种形态多酚的 ESI-MS 图谱见图 7,3 种形态多酚的质谱特征见表 1。

由图 7 可知,百香果果皮游离酚种类丰富,酯化酚、结合酚种类较少。由表 1 可知,百香果果皮中游离酚共检测出 5 种物质,相对分子质量分别为 158、398、541、660、815,酯化酚检测出 3 种物质,相对分子质量



A.游离酚;B.酯化酚;C.结合酚。

图7 百香果果皮游离酚、酯化酚及结合酚的 ESI-MS 图谱

Fig.7 ESI-MS spectra of passion phenol, esterified phenol and bound phenol

表 1 百香果果皮游离酚、酯化酚和结合酚的质谱特征

Table 1 Mass spectral characteristics of free phenol, esterified phenol and bound phenol in passion fruit peel

| 种类  | 组分 | 质谱特征(m/z)  | 响应值/mAu    | 相对分子质量 | 种类  | 组分 | 质谱特征(m/z)  | 响应值/mAu       | 相对分子质量 |
|-----|----|------------|------------|--------|-----|----|------------|---------------|--------|
| 游离酚 | 1  | 156.714 30 | 2 634 887  | 158    | 酯化酚 | 1  | 279.159 85 | 124 649 960   | 281    |
|     | 2  | 396.129 93 | 84 700 312 | 398    |     | 2  | 463.194 98 | 33 384 578    | 465    |
|     | 3  | 539.187 54 | 15 679 752 | 541    |     | 3  | 579.293 52 | 139 802 400   | 581    |
|     | 4  | 658.197 11 | 6 980 336  | 660    | 结合酚 | 1  | 193.104 49 | 54 560 644    | 195    |
|     | 5  | 813.230 67 | 3 788 533  | 815    |     | 2  | 301.142 06 | 342 525 284   | 303    |
|     |    |            |            |        |     | 3  | 579.296 55 | 2 216 786 176 | 581    |

为281、465、581,结合酚检测出3种物质,相对分子质量分别为195、303、581。由此可得出,百香果果皮中酯化酚和结合酚都检测出相对分子质量为581这个物质。综上所述,百香果果皮中3种形式多酚在种类和组分上存在着很大的差异。

### 3 结论

从百香果果皮中提取游离态、酯化态及结合态3种形态多酚,分别测定多酚含量和体外抗氧化活性,发现百香果果皮中游离酚、酯化酚和结合酚的含量分别为0.641 3、0.529 0、0.153 3 mg GAE/g DW,不同存在形式百香果果皮多酚的含量表现为游离酚>酯化酚>结合酚;百香果果皮中游离酚、酯化酚和结合酚的DPPH·清除率和FRAP值均与反应时间成正比,反应时间到50 min时达到稳态;不同存在形式百香果果皮多酚的抗氧化能力大小表现为游离酚>酯化酚>结合酚。同时,通过对3种形式多酚进行成分分析,表明百香果果皮中3种形式多酚在种类和组分上存在着很大的差异。

### 参考文献:

- [1] SADER M A, DIAS Y, COSTA Z P, et al. Identification of passion fruit (*Passiflora edulis*) chromosomes using BAC-FISH[J]. Chromosome Research, 2019, 27(4): 299–311.
- [2] 李荣章, 向文能. 探析百香果功能研究及其开发进展[J]. 农民致富之友, 2018(23): 62.  
LI Rongzhang, XIANG Wenneng. Analyze the research and development progress of passion fruit function[J]. Friends of Farmers Getting Rich, 2018(23): 62.
- [3] 张玲, 马于然, 李春海. 紫果西番莲果皮中多酚提取工艺的比较及优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 171–176.  
ZHANG Ling, MA Yuran, LI Chunhai. Comparison and optimization of extraction process of polyphenols from *Passiflora edulis* peel[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(16): 171–176.
- [4] 林增学. 百香果皮多糖的保健功能及生态旅游利用研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.  
LIN Zengxue. Study on health function and ecotourism application of polysaccharides of *Passiflora edulis* peel[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2019.
- [5] 何强, 董静雯. 果蔬中的多酚及其功能特性[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2019, 38(4): 37–44.  
HE Qiang, DONG Jingwen. Polyphenols in fruits and vegetables and its function [J]. Journal of Xihua University (Natural Science Edition), 2019, 38(4): 37–44.
- [6] HU Y, JIAO L, JIANG M H, et al. A new C-glycosyl flavone and a new neolignan glycoside from *Passiflora edulis* Sims peel[J]. Natural Product Research, 2018, 32(19): 2312–2318.
- [7] ZERAIK M L, YARIWAKE J H. Quantification of isoorientin and total flavonoids in *Passiflora edulis* fruit pulp by HPLC-UV/DAD[J]. Microchemical Journal, 2010, 96(1): 86–91.
- [8] ANTOGNONI F, ZHENG S P, PAGNUCCO C, et al. Induction of flavonoid production by UV-B radiation in *Passiflora quadrangularis* callus cultures[J]. Fitoterapia, 2007, 78(5): 345–352.
- [9] DO NASCIMENTO E M G C, MULET A, ASCHERI J L R, et al. Effects of high-intensity ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of passion fruit peel [J]. Journal of Food Engineering, 2016, 170: 108–118.
- [10] MOTA N S R S, KVICINSKI M R, ZEFERINO R C, et al. *In vivo* antitumor activity of by-products of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Rich in medium and long chain fatty acids evaluated through oxidative stress markers, cell cycle arrest and apoptosis induction[J]. Food and Chemical Toxicology, 2018, 118: 557–565.
- [11] GUPTA R K, KUMAR D, CHAUDHARY A K, et al. Antidiabetic activity of *Passiflora incarnata* Linn. in streptozotocin-induced diabetes in mice[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2012, 139(3): 801–806.
- [12] CLAUDIA SATO A, ANDRADE S A, BRITO M V, et al. Effects of compounds from *Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* juice on blood coagulation and on proteolytic enzymes [J]. Protein & Peptide Letters, 2012, 19(5): 501–508.
- [13] DE SOUZA M D S S, BARBALHO S M, DAMASCENO D C, et al. Effects of *Passiflora edulis* (yellow passion) on serum lipids and oxidative stress status of Wistar rats[J]. Journal of Medicinal Food, 2012, 15(1): 78–82.
- [14] KRYGIER K, SOSULSKI F, HOGGE L. Free, esterified, and insoluble-bound phenolic acids. 1. Extraction and purification procedure [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1982, 30(2): 330–334.
- [15] 肖星凝, 李苇舟, 石芳, 等. 不同品种李子多酚组成及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 31–37.  
XIAO Xingning, LI Weizhou, SHI Fang, et al. Antioxidant activity and phenolic contents of peel and pulp of different plum varieties[J]. Food Science, 2017, 38(15): 31–37.
- [16] SINGLETON V L. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1965, 16(3): 144–158.
- [17] 尚红梅, 陈诚, 刘祥, 等. Folin-Ciocalteu 比色法测定菊苣中多酚的含量[J]. 草业科学, 2013, 30(9): 1445–1448.  
SHANG Hongmei, CHEN Cheng, LIU Xiang, et al. Determination of polyphenol content in chicory by Folin-Ciocalteu colorimetry [J]. Pratacultural Science, 2013, 30(9): 1445–1448.
- [18] 马士巧, 马海乐, 潘忠礼, 等. 黑蜂蜂胶不同极性提取物的体外抗氧化活性[J]. 中国食品学报, 2016, 16(8): 53–58.  
MA Shiqiao, MA Haile, PAN Zhongli, et al. Antioxidant activities of propolis' s extracts by different solvents *in vitro* [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(8): 53–58.

(下转第76页)