

# 不同地区不同成熟度青梅有机酸的测定及相关性分析

Determination and correlation analysis of organic acids in green plum with different maturity in different regions

赵旭珠<sup>1</sup> 夏 陈<sup>1</sup> 朱永清<sup>1</sup> 陈 建<sup>1</sup> 陈 渝<sup>2</sup>

ZHAO Xu-zhu<sup>1</sup> XIA Chen<sup>1</sup> ZHU Yong-qing<sup>1</sup> CHEN Jian<sup>1</sup> CHEN Yu<sup>2</sup>

(1. 四川省农业科学院农产品加工研究所, 四川 成都 610066; 2. 四川丹梅生物科技有限公司, 四川 达州 635000)

(1. Institute of Agricultural Products Processing, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu, Sichuan, 610066, China; 2. Sichuan Danmei Biotechnology Co., Ltd., Dazhou, Sichuan 635000, China)

**摘要:**目的:对四川达州青梅有机酸含量进行测定并分析其相关性,为产品深加工提供基础数据。方法:采用高效液相色谱法测定成熟度不同的青梅中有机酸含量,并对草酸、酒石酸、苹果酸、抗坏血酸、L-乳酸、乙酸、柠檬酸、丁二酸、齐墩果酸、熊果酸进行相关性分析。结果:同一地区,景市镇全熟黄果中柠檬酸、苹果酸均高于七成熟绿果,百节镇和渡市镇七成熟绿果中的柠檬酸均高于全熟黄果,而苹果酸反之。相关性分析表明,柠檬酸与熊果酸、L-乳酸、乙酸、齐墩果酸存在显著变化,与苹果酸无显著变化。结论:四川达州不同地区青梅中有机酸含量最高的是柠檬酸(19.546%),其次是苹果酸(4.013%),较其他产区青梅的高。

**关键词:**青梅;有机酸;相关性分析;高效液相色谱

**Abstract:** Objective: The organic acid content of green plum was determined, and the correlation between them was analyzed to provide basic data for further processing of products in Dazhou, Sichuan. Methods: The content of organic acids in green plum with different maturity was determined by HPLC, and the correlation of oxalic acid, tartaric acid, malic acid, ascorbic acid, L-lactic acid, acetic acid, citric acid, succinic acid, oleanolic acid and ursolic acid was analyzed. Results: In the same area, citric acid and malic acid in the fully ripe green plum in Jingshi town were higher than those in the seven ripe green plum, and citric acid in seven ripe green plum in Baijie town and Dushi town was higher than that in ripe green plum, while the malic acid was op-

posite. Correlation analysis showed that citric acid changed significantly with ursolic acid, L-lactic acid, acetic acid and oleanolic acid, whereas no significant correlation was found with malic acid. Conclusion: Citric acid (19.546%) of green plum is the highest content of organic acids in different areas of Dazhou, Sichuan, followed by malic acid (4.013%), which is higher than that in the green plum from other areas.

**Keywords:** *Prunus mume*; organic acids; correlation analysis; high performance liquid chromatography

青梅(*Vatica mangachapoi* Blanco)又称酸梅子、果梅等,为蔷薇科李属,果实直径 2~3 cm,果皮颜色由绿色到黄色<sup>[1]</sup>。中国是青梅的原产地及世界上适合生产青梅地域最广的国家,广东、广西、四川、浙江、江苏、福建及台湾等 18 个省(自治区)均适合生产<sup>[2]</sup>。青梅营养价值和药用价值很高<sup>[3]</sup>,可以促进消化、改善肠道<sup>[4]</sup>、抗疲劳<sup>[5]</sup>、护肝<sup>[6]</sup>、预防心血管疾病<sup>[7]</sup>、抑菌、消炎<sup>[8]</sup>等。目前已有关于青梅中有机酸的相关研究报道,余洋洋等<sup>[1]</sup>对青梅中有机酸的种类进行了研究,发现青梅中有机酸含量最高的是柠檬酸和苹果酸,分别为 6.5%,3.4%;翟焕趁等<sup>[9]</sup>对福建青梅中有机酸含量进行了测定,发现青梅中有机酸含量最高的是柠檬酸和苹果酸,分别为 4.50%~4.83%,0.24%~0.67%。但未见文献对达州青梅中有机酸含量进行研究和分析。

青梅作为中国的特色果品之一,随着人们对其营养和价值的认识,青梅加工产品已成为科研开发和市场消费的热点<sup>[10]</sup>。达州作为“中国的乌梅之乡”,青梅的年均产量在 10 万 t 以上,但因为达州的鲜果转化成成品条件不足,对青梅中有机酸等功效成分的基础研究比较缺乏。试验拟对 10 种有机酸进行全面分析,以期对达州青梅功

**基金项目:**四川道地中药材创新团队项目(编号:SCCXTD-2020-19)

**作者简介:**赵旭珠,女,四川省农业科学院研究实习生。

**通信作者:**夏陈(1983—),男,四川省农业科学院副研究员,硕士。

E-mail: 154541462@qq.com

**收稿日期:**2021-03-02

效成分的深入研究、产品深加工提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;仪器

1.1.1 材料

鲜青梅样品(详见表 1);四川丹梅生物科技有限公司。

表 1 9 个不同区域同一品种青梅信息表

Table 1 Information table of the same variety of *Prunus mume* in 9 different regions

| 编号  | 颜色 | 成熟度 | 产地      |
|-----|----|-----|---------|
| D-1 | 绿  | 七成熟 | 四川达州百节镇 |
| D-2 | 黄  | 全熟  | 四川达州渡市镇 |
| D-3 | 绿  | 七成熟 | 四川达州渡市镇 |
| D-4 | 绿  | 七成熟 | 四川达州景市镇 |
| D-5 | 绿  | 七成熟 | 四川达州百节镇 |
| D-6 | 绿  | 七成熟 | 四川达州百节镇 |
| D-7 | 黄  | 全熟  | 四川达州百节镇 |
| D-8 | 黄  | 全熟  | 四川达州百节镇 |
| D-9 | 黄  | 全熟  | 四川达州景市镇 |

1.1.2 试剂

草酸、酒石酸、苹果酸、抗坏血酸、L-乳酸、乙酸、柠檬酸、丁二酸、齐墩果酸、熊果酸对照品:北京索莱宝科技有限公司;

甲醇、乙腈:色谱纯,美国 MREDA 公司;

磷酸、磷酸铵:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

试验用水均为超纯水。

1.1.3 主要仪器设备

电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9075A 型,上海齐欣科学仪器有限公司;

高速万能粉碎机:FW-100 型,北京科伟永兴仪器有限公司;

数控超声波清洗器:KQ-250DB 型,昆山市超声仪器有限公司;

低速离心机:TD-4Z 型,四川蜀科仪器有限公司;

高效液相色谱仪:1260 型,美国 Agilent 公司;

优普系列超纯水机:UPC-1-10T 型,成都超纯科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品前期处理 青梅样品经分拣、清洗,60℃烘干打粉,过 60 目筛,-18℃贮藏备用。

1.2.2 样品的制备

(1) 草酸、酒石酸、苹果酸、抗坏血酸、L-乳酸、乙酸、柠檬酸、丁二酸分析样品:称取青梅粉末 0.5 g,加 25 mL 超纯水溶解,于 40℃超声提取 40 min,4 000 r/min 离心 5 min,收集上清液,用水定容至 25 mL,以备用<sup>[11]</sup>。

(2) 齐墩果酸、熊果酸分析样品:称取青梅粉末 1 g,加 25 mL 甲醇溶解,于 40℃超声提取 40 min,4 000 r/min 离心 5 min,收集上清液,用水定容至 25 mL,以备用<sup>[11]</sup>。

1.2.3 标准品溶液的制备

(1) 草酸等 8 种有机酸标准品:称取一定量的草酸、酒石酸、苹果酸、抗坏血酸、L-乳酸、乙酸、柠檬酸、丁二酸,分别用超纯水定容至 10 mL 使标准品母液的质量浓度为 2.04,3.62,3.51,3.30,1.75,2.00,3.07,3.58 mg/mL,冷藏备用<sup>[12]</sup>。

(2) 齐墩果酸、熊果酸标准品:称取一定量的齐墩果酸、熊果酸,分别用甲醇溶解并定容至 10 mL,标准品母液质量浓度为 0.98 mg/mL,用 0.22 μm 微孔滤膜过滤,备用<sup>[12]</sup>。

1.2.4 色谱条件

(1) 分析草酸、酒石酸、苹果酸、抗坏血酸、L-乳酸、乙酸、柠檬酸、丁二酸的色谱条件:色谱柱为 Eclipse XDB-C<sub>18</sub> (3.0 mm×250 mm,5 μm);检测波长 214 nm;柱温 30℃;进样量 5 μL;流速 0.5 mL/min;流动相:0.5%磷酸二氢铵-水溶液(A),0.1%磷酸(B);等度洗脱:0~12.9 min,10% B<sup>[13]</sup>。

(2) 分析齐墩果酸、熊果酸的色谱条件:色谱柱为 Eclipse SB-C<sub>18</sub> (4.6 mm×250 mm,5 μm);检测波长 210 nm;柱温 30℃;进样量 20 μL;流速 1 mL/min;流动相:16 mmol/L 磷酸盐溶液(A),70%乙腈(B),等度洗脱:0~15 min,70% B<sup>[13]</sup>。

1.3 数据处理

所得数据均为 3 次重复试验的平均值,使用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理,并通过 SPSS 20.0 采用 Turkey 方法对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 有机酸标准品及青梅样品的 HPLC 图谱

从图 1 可以看出,有机酸的出峰时间均在 12 min 之内,而且各类物质得到了较好的分离。该方法分离效果较好,适合有机酸含量的测定。

2.2 标准曲线

以各有机酸的响应值为纵坐标(Y),对应的质量浓度为横坐标(X)绘制标准曲线。如表 2 所示,10 种有机酸的峰面积和质量浓度之间呈较好的线性关系,相关系数为 0.999 0~0.999 9。

2.3 有机酸含量

如表 3 所示,不同地区不同成熟度青梅中,有机酸含量最高的是景市镇全熟黄果中的柠檬酸,为 19.546%;其次是百节赵家全熟黄果中的苹果酸,为 4.013%;草酸、L-乳酸、乙酸、酒石酸、丁二酸、齐墩果酸含量相对较少,抗坏血酸、熊果酸含量极少。翟焕趁等<sup>[9]</sup>用高效液相色

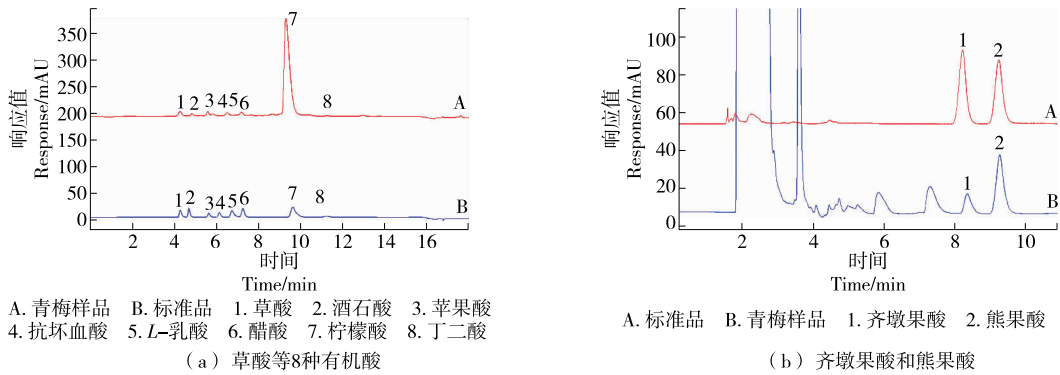


图 1 有机酸标准品和青梅样品 HPLC 图谱

Figure 1 HPLC spectra of organic acid standards and *Prunus mume* samples

谱法对福建青梅中有机酸含量进行了测定,发现青梅中有机酸含量最高的是柠檬酸,为 4.83%,其次是苹果酸,为 0.67%。达州青梅和福建青梅相比,达州青梅中柠檬酸、苹果酸的含量较高,可能是由产地和(或)成熟度不同导致。

2.4 相关性

如表 4 所示,齐墩果酸与熊果酸呈极显著正相关;L-乳酸与乙酸、柠檬酸呈显著正相关,与丁二酸呈极显著正相关;乙酸与柠檬酸呈显著正相关;柠檬酸与齐墩果酸、熊果酸呈显著正相关。有研究发现,有机酸会随着熟度的不同呈上升下降趋势<sup>[14-15]</sup>,其代谢也与多种酶有关<sup>[16]</sup>。

3 结论

对四川达州不同地区不同成熟度的青梅中 10 种有机酸含量进行了测定,结果发现,10 种有机酸中含量最高

表 2 10 种有机酸的出峰时间、回归方程、线性范围  
Table 2 Peak time, regression equation and linear range of 10 organic acid

| 成分   | 标准曲线                   | 相关系数    | 线性范围/<br>( $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) |
|------|------------------------|---------|-------------------------------------------------|
| 草酸   | $Y=16\ 912X+19.385$    | 0.999 9 | 1.35~270.00                                     |
| 酒石酸  | $Y=3\ 949.6X-2.503\ 7$ | 0.999 8 | 2.42~483.00                                     |
| 苹果酸  | $Y=1\ 632.9X+1.736\ 6$ | 0.999 8 | 2.34~468.00                                     |
| 抗坏血酸 | $Y=28\ 428X+9.093\ 4$  | 0.999 8 | 1.10~220.00                                     |
| L-乳酸 | $Y=60\ 378X+24.909$    | 0.999 7 | 0.59~117.00                                     |
| 乙酸   | $Y=68\ 349X-21.51$     | 0.999 9 | 0.67~133.00                                     |
| 柠檬酸  | $Y=3\ 923.8X+0.844\ 6$ | 0.999 9 | 3.07~614.00                                     |
| 丁二酸  | $Y=1\ 105.7X-10.883$   | 0.999 3 | 3.58~716.00                                     |
| 熊果酸  | $Y=8\ 565.4X+73.98$    | 0.999 0 | 2.45~980.00                                     |
| 齐墩果酸 | $Y=9\ 792.4X+53.142$   | 0.999 7 | 2.45~980.00                                     |

表 3 青梅中 10 种有机酸的质量分数<sup>†</sup>

Table 3 Mass fraction of 10 organic acids in *Prunus mume*

| 成分   | D-1                       | D-2                      | D-3                      | D-4                      | D-5                      |
|------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 草酸   | 0.09±0.00 <sup>cDE</sup>  | 0.05±0.00 <sup>fE</sup>  | 0.13±0.00 <sup>dC</sup>  | 0.23±0.01 <sup>dA</sup>  | 0.05±0.77 <sup>dE</sup>  |
| 酒石酸  | 0.16±0.01 <sup>dF</sup>   | 0.29±0.03 <sup>dB</sup>  | 0.38±0.01 <sup>cA</sup>  | 0.20±0.03 <sup>cD</sup>  | 0.22±0.02 <sup>dC</sup>  |
| 苹果酸  | 0.76±0.03 <sup>bDE</sup>  | 0.82±0.00 <sup>cDE</sup> | 0.50±0.05 <sup>cE</sup>  | 1.24±0.02 <sup>cD</sup>  | 0.90±1.12 <sup>cDE</sup> |
| 抗坏血酸 | 0.020±0.00 <sup>fgC</sup> | 0.02±0.00 <sup>hC</sup>  | 0.05±0.00 <sup>dBC</sup> | 0.06±0.00 <sup>hB</sup>  | 0.04±0.44 <sup>dBC</sup> |
| L-乳酸 | 0.01±0.00 <sup>gC</sup>   | 0.05±0.00 <sup>fB</sup>  | 0.04±0.00 <sup>dB</sup>  | 0.08±0.00 <sup>gA</sup>  | 0.03±0.41 <sup>dBC</sup> |
| 乙酸   | 0.02±0.00 <sup>fgBC</sup> | 0.04±0.00 <sup>gA</sup>  | 0.03±0.00 <sup>dAB</sup> | 0.03±0.00 <sup>iA</sup>  | 0.02±0.14 <sup>dCD</sup> |
| 柠檬酸  | 16.67±0.12 <sup>aD</sup>  | 18.00±0.13 <sup>aC</sup> | 18.28±4.50 <sup>aB</sup> | 17.86±0.27 <sup>aC</sup> | 16.45±1.59 <sup>aE</sup> |
| 丁二酸  | 0.53±0.43 <sup>cD</sup>   | 2.04±0.03 <sup>bB</sup>  | 1.46±0.04 <sup>bC</sup>  | 2.90±0.16 <sup>bA</sup>  | 1.46±6.84 <sup>bC</sup>  |
| 熊果酸  | 0.04±0.01 <sup>fA</sup>   | 0.03±0.00 <sup>gC</sup>  | 0.04±0.00 <sup>dA</sup>  | 0.03±0.01 <sup>fE</sup>  | 0.02±0.00 <sup>dG</sup>  |
| 齐墩果酸 | 0.17±0.01 <sup>dB</sup>   | 0.14±0.02 <sup>eF</sup>  | 0.15±0.01 <sup>dE</sup>  | 0.15±0.02 <sup>fD</sup>  | 0.12±0.01 <sup>dH</sup>  |
| 成分   | D-6                       | D-7                      | D-8                      | D-9                      |                          |
| 草酸   | 0.16±0.0 <sup>4eB</sup>   | 0.08±0.07 <sup>fDE</sup> | 0.10±0.04 <sup>dCD</sup> | 0.09±0.03 <sup>eDE</sup> |                          |
| 酒石酸  | 0.18±0.06 <sup>dE</sup>   | 0.17±0.19 <sup>dE</sup>  | 0.15±0.01 <sup>cF</sup>  | 0.18±0.05 <sup>dE</sup>  |                          |
| 苹果酸  | 3.04±0.20 <sup>bB</sup>   | 4.01±0.42 <sup>bA</sup>  | 3.00±0.15 <sup>bB</sup>  | 1.45±0.58 <sup>bC</sup>  |                          |
| 抗坏血酸 | 0.16±0.05 <sup>eA</sup>   | 0.03±0.01 <sup>gC</sup>  | 0.02±0.01 <sup>fC</sup>  | 0.03±0.02 <sup>fBC</sup> |                          |
| L-乳酸 | 0.03±0.02 <sup>fBC</sup>  | 0.02±0.02 <sup>gC</sup>  | 0.01±0.00 <sup>fC</sup>  | 0.05±0.00 <sup>fB</sup>  |                          |

续表 3

|      |                          |                          |                          |                          |
|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 乙酸   | 0.01±0.05 <sup>fD</sup>  | 0.02±0.01 <sup>gCD</sup> | 0.02±0.01 <sup>iCD</sup> | 0.03±0.01 <sup>fAB</sup> |
| 柠檬酸  | 17.86±0.12 <sup>aC</sup> | 15.28±0.86 <sup>aF</sup> | 14.74±0.63 <sup>aG</sup> | 19.55±0.29 <sup>aA</sup> |
| 丁二酸  | 1.93±0.33 <sup>eB</sup>  | 0.52±0.03 <sup>eD</sup>  | /                        | 1.15±0.00 <sup>eC</sup>  |
| 熊果酸  | 0.03±0.01 <sup>fB</sup>  | 0.02±0.00 <sup>gF</sup>  | 0.01±0.01 <sup>fH</sup>  | 0.03±0.00 <sup>fD</sup>  |
| 齐墩果酸 | 0.18±0.00 <sup>deA</sup> | 0.13±0.02 <sup>eG</sup>  | 0.07±0.01 <sup>eI</sup>  | 0.17±0.03 <sup>dC</sup>  |

† 小写字母不同表示 10 种有机酸的组内差异显著( $P<0.05$ );大写字母不同表示青梅的组间差异显著( $P<0.05$ );/表示未检出。

表 4 相关性分析<sup>†</sup>

Table 4 Correlation analysis

| 有机酸  | 草酸     | 酒石酸    | 苹果酸      | 抗坏血酸   | L-乳酸      | 乙酸      | 柠檬酸     | 丁二酸   | 熊果酸       | 齐墩果酸  |
|------|--------|--------|----------|--------|-----------|---------|---------|-------|-----------|-------|
| 草酸   | 1.000  |        |          |        |           |         |         |       |           |       |
| 酒石酸  | -0.045 | 1.000  |          |        |           |         |         |       |           |       |
| 苹果酸  | 0.071  | -0.557 | 1.000    |        |           |         |         |       |           |       |
| 抗坏血酸 | 0.517  | -0.037 | 0.259    | 1.000  |           |         |         |       |           |       |
| L-乳酸 | 0.551  | 0.372  | -0.426   | 0.123  | 1.000     |         |         |       |           |       |
| 乙酸   | 0.180  | 0.523  | -0.674 * | -0.306 | 0.761 *   | 1.000   |         |       |           |       |
| 柠檬酸  | 0.229  | 0.432  | -0.550   | 0.307  | 0.672 *   | 0.670 * | 1.000   |       |           |       |
| 丁二酸  | 0.538  | 0.370  | -0.397   | 0.461  | 0.871 * * | 0.516   | 0.623   | 1.000 |           |       |
| 熊果酸  | 0.196  | 0.435  | -0.489   | 0.267  | 0.374     | 0.517   | 0.715 * | 0.425 | 1.000     |       |
| 齐墩果酸 | 0.266  | 0.100  | -0.318   | 0.465  | 0.390     | 0.330   | 0.738 * | 0.496 | 0.896 * * | 1.000 |

† \*. 显著相关( $P<0.05$ ), \* \*. 极显著相关( $P<0.01$ )。

的是柠檬酸,为 19.546%,其次是苹果酸,为 4.013%,比其他产区青梅<sup>[9]</sup>的分析结果高。四川达州有“中国的乌梅之乡”之美称,但因为达州对鲜果转化成品条件不足,对青梅中有机酸等功效成分的研究比较缺乏,因此有必要对达州青梅的功效成分等进行深入研究,为产品深加工提供依据。

参考文献

[1] 余洋洋,徐玉娟,余元善,等.青梅中有机酸的种类及营养健康效应研究进展[J].中国果菜,2020,40(12):24-28.  
YU Yang-yang, XU Yu-juan, YU Yuan-shan, et al. Research progress on the types and nutritional health effects of organic acids in *Prunus mume*[J]. China Fruits and Vegetables, 2020, 40(12): 24-28.  
[2] 刘功德,苏艳兰,黄富宇,等.青梅的功能价值及加工研究进展[J].农业研究与应用,2018,31(4):1-8.  
LIU Gong-de, SU Yan-lan, HUANG Fu-yu, et al. Research progress on the functional value and processing of *Prunus mume*[J]. Agricultural Research and Application, 2018, 31(4): 1-8.  
[3] 钱敏,白卫东,沈棚,等.发酵型全果青梅酒的研制[J].中国酿造,2013,32(11):151-155.  
QIAN Min, BAI Wei-dong, SHEN Peng, et al. Development of fermented whole-fruit *Prunus mume* wine[J]. China Brewing, 2013, 32(11): 151-155.  
[4] SENEVIRATNE C J, WONG RW K, HÄGG U, et al. *Prunus mume* extract exhibits antimicrobial activity against pathogenic oral bacteria[J]. International Journal of Paediatric Dentistry, 2011, 21

(4): 299-305.  
[5] WEN Jun, SHI Weng-ting. Revision of the maddenia clade of *prunus* (Rosaceae)[J]. Phyto Keys, 2012(11): 39-59.  
[6] PAN J H, LEE K Y, KIM J H, et al. *Prunus mume* Sieb. et Zucc. fruit ameliorates alcoholic liver injury in mice by inhibiting apoptosis and inflammation through oxidative stress[J]. Journal of Functional Foods, 2016, 25: 135-148.  
[7] KANG J S, KIM D J, KIM G Y, et al. Ethanol extract of *Prunus mume* fruit attenuates hydrogen peroxide-induced oxidative stress and apoptosis involving Nrf2/HO-1 activation in C2C12 myoblasts[J]. Revista Brasileira De Farmacognosia, 2016, 26(2): 184-190.  
[8] XIA Dao-zong, WU Xiao-qin, SHI Jia-yi, et al. Phenolic compounds from the edible seeds extract of Chinese Mei (*Prunus mume* Sieb. et Zucc) and their antimicrobial activity[J]. Food Science and Technology, 2011, 44(1): 347-349.  
[9] 翟焕趁,史怀,宋亚娜,等.反相 HPLC 法同时测定青梅中的 7 种有机酸[J].福建农业学报,2007(4):414-417.  
ZHAI Huan-chen, SHI Huai, SONG Ya-na, et al. Simultaneous determination of 7 organic acids in *Prunus mume* by reversed-phase HPLC method[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2007(4): 414-417.  
[10] 黄伟素,潘秋月,高一勇.青梅产品的开发现状和发展趋势[J].食品工业科技,2011,32(11):519-521,524.  
HUANG Wei-su, PAN Qiu-yue, GAO Yi-yong. Development status and development trend of *Prunus mume* products [J]. Food Industry Science and Technology, 2011, 32(11): 519-521, 524.

(下转第 43 页)

- [20] 李中正. 山河陈醋大曲糖化力强化技术研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2018: 3.  
LI Zhong-zheng. Study on saccharifying power enhancement technology of Shanhe aged vinegar Daqu[D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2018: 3.
- [21] 冉玉兵, 刘磊, 张名位, 等. 乳酸菌发酵对龙眼果浆中糖和酚类物质的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(8): 116-122.  
RAN Yu-bing, LIU Lei, ZHANG Ming-wei, et al. Effects of lactic acid bacteria fermentation on sugar and phenols in longan fruit pulp[J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(8): 116-122.
- [22] 杨小幸, 周家春, 陈启明, 等. 苹果酵素天然发酵过程中代谢产物的变化规律[J]. 食品科学, 2017, 38(24): 15-19.  
YANG Xiao-xing, ZHOU Jia-chun, CHEN Qi-ming, et al. Changes of metabolites during natural fermentation of apple enzyme[J]. Food Science, 2017, 38(24): 15-19.
- [23] 王何柱, 朱勇, 朱怡, 等. 7种芸豆中酚类化合物组成及其抗氧化活性[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(9): 28-33.  
WANG He-zhu, ZHU Yong, ZHU Yi, et al. Composition and antioxidant activity of phenolic compounds in 7 kidney beans[J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2020, 35(9): 28-33.
- [24] 王清爽, 高珊, 朱灵灵, 等. 干酪乳杆菌发酵对脱脂薏米营养品质的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(3): 146-152.  
WANG Qing-shuang, GAO Shan, ZHU Ling-ling, et al. Effect of *Lactobacillus casei* fermentation on nutritional quality of defatted job's tears[J]. Chinese Journal of Food, 2021, 21(3): 146-152.
- [25] DI C R, CODA R, DE A M, et al. Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation [J]. Food Microbiology, 2013, 33(1): 1-10.
- [26] 陈小伟, 程勇杰, 蒋立新, 等. 草莓酵素发酵过程中代谢产物及抗氧化性的变化研究 [J]. 中国食品学报, 2020, 20(5): 157-165.  
CHEN Xiao-wei, CHENG Yong-jie, JIANG Li-xin, et al. Changes of metabolites and antioxidation during strawberry enzyme fermentation[J]. Chinese Journal of Food, 2020, 20(5): 157-165.
- [27] 李紫薇, 曹庸, 苗建银. 大豆异黄酮及其苷元的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20): 348-355.  
LI Zi-wei, CAO Yong, MIAO Jian-yin. Research progress of soybean isoflavones and their aglycones[J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(20): 348-355.
- [28] LU X, BIN D, BAO J X. A systematic, comparative study on the beneficial health components and antioxidant activities of commercially fermented soy products marketed in China [J]. Food Chemistry, 2015, 174: 202-213.
- [29] SHAHAT A N E, AZEEM A M A, MEKAWAY H M S, et al. Studying the effect of g-irradiated celery leaves on antioxidant status and cardiac enzymes in hypercholesterolemic rats [J]. Indian Journal of Animal Research, 2018, 52(4): 502-507.
- [30] 范昊安, 沙如意, 方晟, 等. 苹果梨酵素发酵过程中的褐变与抗氧化活性[J]. 食品科学, 2020, 41(14): 116-123.  
FAN Hao-an, SHA Ru-yi, FANG Sheng, et al. Browning and antioxidant activity during apple pear enzyme fermentation[J]. Food Science, 2020, 41(14): 116-123.
- [31] 刘洋, 郭宇星, 潘道东. 4种乳酸菌体外抗氧化能力的比较研究[J]. 食品科学, 2012, 33(11): 25-29.  
LIU Yang, GUO Yu-xing, PAN Dao-dong. Comparative study on antioxidant capacity of four lactic acid bacteria in vitro[J]. Food Science, 2012, 33(11): 25-29.
- [32] 贾丽丽, 冀利, 孙曙光, 等. 冬枣酵素发酵过程中生物学特性和抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(4): 30-33.  
JIA Li-li, JI Li, SUN Shu-guang, et al. Study on biological characteristics and antioxidant activity of winter jujube enzyme during fermentation[J]. Food and Fermentation Technology, 2014, 50(4): 30-33.
- (上接第 37 页)
- [11] 郭根和, 潘葳, 苏德森, 等. 反相高效液相色谱法同时测定枇杷中的某些有机酸[J]. 福建农业学报, 2005(3): 198-201.  
GUO Gen-he, PAN Wei, SU De-sen, et al. Simultaneous determination of some organic acids in loquat by reversed-phase high performance liquid chromatography[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2005(3): 198-201.
- [12] 徐玉涛, 李珂珂, 王贺新, 等. 高效液相色谱法对蓝莓果实中 8 个有机酸含量的测定[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 127-131.  
XU Yu-tao, LI Ke-ke, WANG He-xin, et al. Determination of 8 organic acids in blueberry fruits by high performance liquid chromatography[J]. Food Science, 2015, 36(18): 127-131.
- [13] 陈战国, 恩伯提, 张志琪. RP-HPLC 同时测定乌梅中 8 种有机酸含量[J]. 中国中药杂志, 2006(21): 1 783-1 786.  
CHEN Zhan-guo, EN Ber-ti, ZHANG Zhi-qi. Simultaneous determination of 8 organic acids in black *Prunus mume* by RP-HPLC[J]. Chinese Journal of Chinese Materia Medica, 2006(21): 1 783-1 786.
- [14] 严红光, 林莉, 符洋, 等. 不同成熟度青梅实发酵果酒品质分析[J]. 食品科技, 2019, 44(8): 83-87.  
YAN Hong-guang, LIN Li, FU Yang, et al. Quality analysis of *Prunus mume* fermented fruit wine with different maturity [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(8): 83-87.
- [15] 畅晓洁. 不同成熟度红枣的酚类物质、有机酸、三萜酸、V<sub>C</sub>含量及其抗氧化活性研究[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(2): 28-32.  
CHANG Xiao-jie. Study on the content of phenolic substances, organic acids, triterpene acids, V<sub>C</sub> and their antioxidant activity in red dates with different maturity[J]. Fresh-keeping and Processing, 2021, 21(2): 28-32.
- [16] 周先艳, 朱春华, 李进学, 等. 果实有机酸代谢研究进展[J]. 中国南方果树, 2015, 44(1): 120-125.  
ZHOU Xian-yan, ZHU Chun-hua, LI Jin-xue, et al. Research progress in fruit organic acid metabolism[J]. South China Fruit Tree, 2015, 44(1): 120-125.