

不同成熟度红枣的酚类物质、有机酸、三萜酸、VC 含量及其抗氧化活性研究

畅晓洁

(运城学院生命科学系, 山西 运城 044000)

摘要:为探究红枣枣果在成熟过程中相关品质及抗氧化活性的变化规律,以不同成熟度(未成熟青白果、四成熟微红果、八成熟半红果和成熟全红果)的狗头枣枣果为研究材料,探究其不同成熟阶段酚类物质、有机酸、三萜酸、VC 含量及抗氧化活性(DPPH 自由基清除能力,总还原力)的差异性。结果表明:4 个不同成熟度红枣共检测出 8 种酚类物质、4 种有机酸、3 种三萜酸,其中儿茶素、阿魏酸、绿原酸为主要的酚类物质,柠檬酸和苹果酸为主要的有机酸,白桦脂酸和熊果酸为主要的三萜酸。4 个成熟度红枣总酚含量为 556.7~963.7 mg/100 g,总黄酮含量为 412.7~866.7 mg/100 g,VC 含量为 335.5~665.5 mg/100 g,这 3 种物质含量皆在青白果时期最高,且随着成熟度的提高呈下降趋势;枣果的抗氧化能力由高到低为未成熟青白果>四成熟微红果>八成熟半红果>成熟全红果。枣果在未成熟青白果时的 VC、总酚、总黄酮含量最高,抗氧化活性最强,可作为获取天然抗氧化活性物质的原材料。
关键词:红枣;不同成熟阶段;营养品质;抗氧化活性

Study on Contents of Phenolics, Organic Acids, Triterpene Acids, Vitamin C of Red Jujube with Different Maturity and Their Antioxidant Activities

CHANG Xiao-jie

(Department of Life Science, Yuncheng University, Yuncheng 044000, China)

Abstract: To explore the variation laws of nutritional quality and antioxidant activity of red jujube fruits during ripening, the differences of phenolics, organic acids, triterpene acids, vitamin C contents and antioxidant activities (DPPH free radical scavenging capacity, total reducing power) of Goutou jujube at four ripening stages (immature green white fruit, 1/4 red maturity with about 25% red peel, half red maturity with about 50% red peel, red maturity with completely red peel) were investigated. The results showed that a total of 8 phenolics, 4 organic acids and 3 triterpenoid acids were detected in four maturity jujube fruits, among which catechins, ferulic acid and chlorogenic acid were the main phenolics, citric acid and malic acid were the main organic acids, betulinic acid and ursolic acid were the main triterpenic acids. The contents of total phenols, total flavonoids and vitamin C in the jujubes were in the range of 556.7~963.7 mg/100 g, 412.7~866.7 mg/100 g and 335.5~665.5 mg/100 g, respectively. The contents of all three substances were the highest at green maturity stage and decreased with the increase of maturity, and the antioxidant activity of the jujube fruit showed the same change trend as well. Jujube fruit at green maturity stage had the highest contents of vitamin C, total phenol and total flavonoids and the strongest an-

基金项目:山西省重点学科建设经费资助(FSKSC)

作者简介:畅晓洁(1987—),女,汉族,硕士,讲师,研究方向:农产品加工与储藏。

tioxidant activity, which could be used as raw materials for natural antioxidant active compounds.

Key words: *Ziziphus jujuba* Mill.; different maturity stages; nutritional quality; antioxidant activity

中图分类号:S665.1;S609 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2021.02.005

红枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)是鼠李科枣属植物枣树的成熟果实,原产于我国,栽培历史悠久,主要分布于黄河中下游地区,是我国的特产品。枣果营养丰富,肉脆味美,酸甜可口,鲜果富含酚类物质、有机酸、三萜酸、VC,具有较高的天然抗氧化活性^[1-3],食用价值与药用价值较高^[4]。

长期以来,枣果的消费主要以干制为主,国内95%以上的鲜果被干制后再进行后续的加工储藏^[5],这虽能有效克服鲜果贮藏期短的问题,但随着鲜食品种不断被开发以及消费者对于新鲜水果需求量的增加,使得营养流失及口感不佳的干制果品难以满足消费者的需求。因此,营养丰富、酸甜可口的鲜枣果仍占有极高的市场份额。狗头枣(*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Goutou jujube)由西北农林科技大学和延川县枣业局从延川县庄头村的地方品种——“狗头枣”(狗脑枣)中优选而来,该枣既可鲜食也可干制,这极大地拓宽了产品的销售范围。因其市场需求量大,种植范围相对较小,因而成为市场中经济价值较高的红枣品种。

由于红枣的主要营养品质是在成熟过程中形成的^[6],因此探究其主要营养品质在成熟过程中的变化则显得尤为重要。目前,苟茜等^[7]针对不同成熟度红枣探究了其环磷酸腺苷、可溶性糖及矿物质元素含量的变化,但其成熟过程中单体酚类、三萜酸类、VC含量及其抗氧化活性的关系尚未见相关报道。本文以不同成熟度的延川狗头枣为试验材料,对不同成熟度(未成熟青白果、四成熟微红果、八成熟半红果和成熟全红果)狗头枣的酚类物质、有机酸、三萜酸、VC含量及其抗氧化活性的变化进行系统研究,以期枣果成熟过程中营养品质的形成和营养特性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料与试剂

以狗头枣(干基含水率208.21%)为试验材料,采自陕西省延川县,随机摘取大小一致且无病虫害的各成熟期枣果,不同分级细节见表1。枣果采摘完毕后及时预冷并贮藏于温度(0±1)℃、相对湿度85%~90%

表1 狗头枣成熟度分级标准

Table 1 Grading standards for Goutou jujube at various maturity stages

| 成熟度 | 标准 | 单果质量/g | 果形指数 |
|--------|-------------|------------|-------------|
| 未成熟青白果 | 全绿硬果 | 13.1±0.2 d | 0.61±0.02 b |
| 四成熟微红果 | 枣果表皮约 1/4 红 | 17.8±0.3 c | 0.70±0.03 a |
| 八成熟半红果 | 枣果表皮约 1/2 红 | 18.5±0.2 b | 0.72±0.03 a |
| 成熟全红果 | 果皮全红 | 19.6±0.2 a | 0.75±0.05 a |

注:同列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

的冰箱中。

甲醇、乙醇、磷酸、磷酸二氢铵、槲皮素、没食子酸,购于上海源叶生物科技有限公司;儿茶素、芦丁、绿原酸、表儿茶素、对香豆酸、阿魏酸、丁香酸、咖啡酸、苹果酸、柠檬酸、富马酸、琥珀酸、白桦脂酸、熊果酸、齐墩果酸、VC,购于上海一基生物试剂有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、Trolox、福林酚试剂,购于Sigma公司。

1.1.2 仪器与设备

游标卡尺,德国安度公司;JD400-3型电子分析天平,国华电器有限公司;KQ-700DE型数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;Waters 600E型高压液相色谱仪,美国Waters公司;UV-1600型紫外-可见分光光度计,上海美普达仪器有限公司;RE-52AA型旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂。

1.2 方法

1.2.1 酚类物质的测定

利用高效液相色谱法(HPLC)测定枣果中的酚酸类物质的含量,其提取与测定条件参考文献[8]。设定的液相色谱条件为:Waters Symmetry ODS C₁₈(4.6 mm×150 mm, 5 μm)色谱柱,检测柱温30℃,进样量5 μL,紫外检测波长280 nm,流速0.8 mL/min;流动相A为甲醇,流动相B为pH 2.6的磷酸水溶液。梯度洗脱程序:0~15 min 15% A, 15~25 min 25% A, 25~65 min 75% A, 65~70 min 15% A,梯度为线性变化。

1.2.2 有机酸含量的测定

准确称取果肉2 g,充分研磨后加入100 mL超纯水,超声波提取30 min后以8 000 r/min的转速低温

离心 15 min, 收集上清液, 提取步骤重复 3 次, 合并上清液将其旋蒸至干, 用超纯水定容至 15 mL, 然后过 0.45 μm 水系滤膜。

测定有机酸的 HPLC 条件: Waters 色谱系统配备 2487 UV-Vis 检测器, 采用 Symmetry C₁₈ 色谱柱 (4.6 mm×250 mm, 5 μm), 检测波长为 210 nm, 柱温为 30 ℃, 进样量 20 μL, 流速 1 mL/min, 流动相是 pH 2.6 的磷酸二氢铵溶液。

1.2.3 三萜酸含量的测定

准确称取 2 g 果肉, 充分研磨后加入 40 mL 80% 甲醇溶液, 冰浴超声提取 45 min 后以 8 000 r/min 离心 20 min, 收集上清液, 提取步骤重复 3 次, 合并上清液后旋转蒸发至干, 用超纯水定容至 25 mL, 过 0.45 μm 滤膜。

三萜酸含量测定利用高效液相色谱法 (HPLC) 定量分析^[9], 色谱条件参考文献[2]并加以改动。采用 Symmetry C₁₈ 色谱柱 (4.6 mm×250 mm, 5 μm), 流动相 A 为体积比 1:1 的甲醇与乙腈混合液, 流动相 B 为 0.5% 乙酸铵溶液, 流速为 0.4 mL/min, 温度为 25 ℃, 检测波长为 210 nm, 进样量 5 μL。梯度洗脱程序: 0~2 min 76% A, 2~12 min 77% A, 梯度为线性变化。

1.2.4 VC 含量的测定

参照 GB 5009.86—2016^[10]中的方法进行测定。

1.2.5 总酚、总黄酮含量的测定

枣果中总酚、总黄酮的提取及测定方法参考文献[11], 将枣果提取物稀释至适宜倍数后进行测定, 总酚含量测定以没食子酸为标准品, 总黄酮含量测定以槲皮素为标准品。

1.2.6 抗氧化能力的测定

抗氧化物质的提取参考文献[12]并加以改动。

准确称取 4 g 果肉, 充分研磨后加入 20 mL 80% 甲醇溶液, 冰浴超声提取 30 min, 以 6 000 r/min 离心 20 min, 收集上清液, 提取步骤重复 3 次, 合并上清液后用 80% 甲醇定容至 100 mL, 用于抗氧化能力的测定。

参照 Kou 等^[13]的方法采用自由基清除法 (DPPH) 及铁离子还原法 (FRAP) 对枣果的抗氧化能力进行测定, DPPH 自由基清除能力测定使用 Trolox 作为标准对照品, 试验结果以 mmol TE/100 g DW 表示, FRAP 铁还原能力的测定使用 VC 作为标准对照品, 试验结果以 mg AAE/100 g DW 表示。

1.2.7 数据处理

采用 SPSS 19.0 软件进行数据分析, 每组试验重复 3 次, 测定结果以均值±标准偏差表示, 指标间的相关性采用皮尔逊法。

2 结果与分析

2.1 不同成熟度枣果的酚类物质含量比较

狗头枣中的酚酸类物质十分丰富, 本文对枣果成熟过程中四个阶段的果肉进行测定, 并比较了 8 种酚类物质的含量。由表 2 可知: 芦丁、绿原酸、儿茶素为狗头枣成熟过程中的主要酚类物质, 各成熟期的果肉中, 芦丁、绿原酸、儿茶素的含量范围分别为 6.1~58.8、3.3~42.5、3.6~32.9 mg/100 g DW, 这 3 种主要的酚类物质含量皆在四成熟微红果时最高, 其含量随着枣果的成熟呈先升高后降低的变化趋势, 其中芦丁、丁香酸含量在未成熟青白果与成熟全红果之间无显著性差异。枣果的酚类物质中占比较小的对香豆酸、表儿茶素含量皆在八成熟半熟果时达到最高, 而阿魏酸、丁香酸、咖啡酸含量在四成熟微红果时达到最高。

表 2 不同成熟度枣果的酚类物质含量比较
Table 2 Comparison of phenolics in jujube fruits at different ripening stages

单位: mg·100 g⁻¹ DW

| 成熟度 | 儿茶素 | 芦丁 | 绿原酸 | 表儿茶素 | 对香豆酸 | 阿魏酸 | 丁香酸 | 咖啡酸 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 未成熟青白果 | 5.5±0.2 c | 6.1±0.3 c | 3.3±0.2 d | 1.3±0.2 d | 0.1±0.01 d | 0.3±0.01 d | 0.2±0.01 b | 1.2±0.10 c |
| 四成熟微红果 | 32.9±2.1 a | 58.8±0.9 a | 42.5±1.2 a | 12.7±0.4 b | 2.5±0.10 b | 3.9±0.20 a | 3.6±0.20 a | 8.3±0.30 a |
| 八成熟半红果 | 26.8±2.4 b | 52.8±1.3 b | 35.5±1.7 b | 15.4±0.3 a | 3.4±0.20 a | 3.1±0.10 b | 3.4±0.10 a | 6.3±0.20 b |
| 成熟全红果 | 3.6±0.3 d | 6.2±0.3 c | 4.6±0.1 c | 2.2±0.4 c | 0.2±0.01 c | 0.4±0.02 c | 0.3±0.02 b | 0.8±0.03 d |

2.2 不同成熟度枣果的有机酸含量比较

有机酸是红枣中的重要风味物质, 摄入该类物质可促进消化腺的活动, 改善食欲^[14]。有机酸含量影响水果的营养与风味, 因此探究枣果成熟过程中有机酸含量的变化对于了解其风味的形成具有重要意义。关

于红枣在成熟过程中有机酸含量变化的文献较少, 表 3 对不同成熟度狗头枣枣果的 4 种有机酸含量进行比较分析得出, 柠檬酸为狗头枣中最主要的有机酸, 这与 Gao 等^[15]对枣果中有机酸组成的研究结果一致。成熟全红果中主要有机酸含量最高 (柠檬酸含量为

115.4 mg/100 g DW), 枣果中有机酸的含量随着成熟度的提高呈先下降后上升趋势, 苹果酸与富马酸两种有机酸在未成熟青白果与四成熟微红果之间和八成熟半红果与成熟全红果之间含量变化不显著, 琥珀酸含量在八成熟半红果中最高(6.3 mg/100 g DW)。

表3 不同成熟度红枣有机酸组分变化

Table 3 Organic acids contents of jujube fruits at different ripening stages 单位 mg·100 g⁻¹ DW

| 成熟度 | 苹果酸 | 柠檬酸 | 琥珀酸 | 富马酸 |
|--------|------------|-------------|-----------|-----------|
| 未成熟青白果 | 7.5±0.2 b | 42.1±0.7 b | 2.3±0.1 c | 4.1±0.2 b |
| 四成熟微红果 | 7.3±0.3 b | 40.8±4.7 b | 1.9±0.2 c | 3.8±0.2 b |
| 八成熟半红果 | 13.7±1.3 a | 109.8±4.2 a | 6.3±0.3 a | 7.8±0.7 a |
| 成熟全红果 | 14.4±0.8 a | 115.4±4.3 a | 5.5±0.3 b | 8.2±0.4 a |

2.3 不同成熟度枣果的三萜酸含量比较

本文研究了狗头枣中主要的3种三萜酸(白桦脂酸、熊果酸、齐墩果酸)在不同成熟阶段的变化规律, 结果如表4所示。结果显示: 白桦脂酸、熊果酸含量较高, 为狗头枣各成熟阶段的主要三萜酸化合物, 不同成熟状态下白桦脂酸含量为56.1~116.5 mg/kg DW, 熊果酸含量为84.3~148.8 mg/kg DW, 齐墩果酸含量为10.5~35.8 mg/kg DW。经对比分析可得: 枣果中的

3种三萜酸含量均随着成熟度的提高呈先升高后降低的趋势, 枣果中主要的三萜酸含量在八成熟时均为最高, 这说明狗头枣中三萜酸化合物主要在枣果的半红成熟阶段积累。

表4 不同成熟度红枣三萜酸含量变化

Table 4 Triterpenic acids contents of jujube fruits at different ripening stages 单位 mg·100 g⁻¹ DW

| 成熟度 | 白桦脂酸 | 熊果酸 | 齐墩果酸 |
|--------|-------------|-------------|------------|
| 未成熟青白果 | 56.1±4.7 d | 84.3±5.4 d | 10.5±1.2 c |
| 四成熟微红果 | 72.3±3.8 c | 102.5±2.8 c | 13.2±1.7 c |
| 八成熟半红果 | 116.5±4.7 a | 148.8±3.4 a | 35.8±3.5 a |
| 成熟全红果 | 85.1±4.7 b | 126.5±4.7 b | 21.4±1.3 b |

2.4 枣果不同成熟度的VC、总酚、总黄酮含量及抗氧化活性比较

由表5可见, 不同成熟阶段的枣果中VC含量为335.5~665.5 mg/100 g DW, 随着成熟度的提高, 狗头枣枣果的VC含量呈下降趋势, 且在八成熟半红果后含量趋于平稳, 由未成熟青白果生长到八成熟半红果过程中枣果的VC含量显著降低($P<0.05$), 八成熟半红果与成熟全红果之间VC含量无显著性差异, 成熟全红果较未成熟青白果的VC含量降低了49.6%。

表5 不同成熟度红枣的营养成分及抗氧化活性比较

Table 5 Comparison of nutrients and antioxidant activity of jujube at different ripening stages

| 成熟度 | VC/ (mg·100 ⁻¹ g DW) | 总酚/ (mg·100 ⁻¹ g DW) | 总黄酮/ (mg·100 ⁻¹ g DW) | DPPH 自由基清除能力/ (mmol TE·100 g ⁻¹ DW) | FRAP/ (mg AAE·100 g ⁻¹ DW) |
|--------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| 未成熟青白果 | 665.5±10.2 a | 963.7±21.3 a | 866.7±20.3 a | 13.6±0.3 a | 1 042.6±30.3 a |
| 四成熟微红果 | 426.7±13.3 b | 639.8±11.2 b | 718.6±10.8 b | 9.8±0.7 b | 788.6±18.7 b |
| 八成熟半红果 | 342.7±11.3 c | 593.4±10.3 c | 512.3±8.7 c | 4.2±0.4 c | 562.5±5.8 c |
| 成熟全红果 | 335.5±11.2 c | 556.7±12.3 d | 412.7±5.3 d | 3.8±0.3 c | 525.6±4.3 d |

如表5所示, 不同成熟度狗头枣枣果的总酚、总黄酮含量皆存在显著性差异($P<0.05$), 所测得总酚含量范围为556.7~963.7 mg/100 g DW, 总黄酮含量范围为412.7~866.7 mg/100 g DW, 总酚、总黄酮含量皆在未成熟青白果时期最高, 同时总酚、总黄酮含量随着成熟度的提高不断下降, 成熟全红果的狗头枣中总酚、总黄酮含量分别为未成熟青白果的57.8%、47.6%。念红丽等^[6]在对成熟期冬枣多酚含量及抗氧化活性的研究中发现, 冬枣果实半红期的多酚含量最高, 这与本研究狗头枣枣果青白时期总酚含量最高有所不同, 可能是品种差异造成的。

对不同成熟度枣果果肉提取物抗氧化能力进行

了测定, 结果显示: 通过对枣果不同抗氧化体系的分析比较, 不同成熟阶段的狗头枣果肉皆显示出良好的抗氧化活性。在对DPPH自由基清除能力测定中, 枣果的DPPH自由基清除能力随着成熟度的提高而下降, 最后趋于平稳, 八成熟半红果与成熟全红果之间对DPPH自由基的清除能力无显著性差异, 未成熟青白枣果对DPPH自由基清除能力最强, 是成熟全红果的3.58倍, 二者间呈显著差异($P<0.05$), 这也与这一成熟阶段枣果中VC、总酚、总黄酮的含量较高有关; 在还原力测定中, 随着枣果的成熟, 其总还原力呈现下降的趋势, 这也与红枣对DPPH自由基的清除能力变化趋势一致, 且不同成熟阶段枣果的还原力存在

显著性差异($P < 0.05$) ,未成熟青白果的还原力最强 ,是成熟全红果的 1.98 倍。

3 结论

通过对 4 个不同成熟度(青白、微红、半红、全红)狗头枣的酚类物质、VC、有机酸、三萜酸、总酚、总黄酮含量及其抗氧化活性进行比较分析。结果表明 :4 个不同成熟度的狗头枣枣果共检测出 8 种酚类物质、4 种有机酸、3 种三萜酸 ,其中芦丁、儿茶素、绿原酸为主要的酚类物质 ,柠檬酸和苹果酸为主要的有机酸 ,白桦脂酸和熊果酸为主要的三萜酸 ;不同成熟度枣果的 VC、总酚、总黄酮含量随着成熟度的提高而降低 ,未成熟青白果的 VC、总酚、总黄酮含量最高 ;不同成熟度的枣果皆显示出较高的抗氧化能力 ,其中未成熟青白果对 DPPH 自由基的清除能力和总还原力最强 ,因此未成熟青白果作为获取天然抗氧化活性物质的原材料较为合适。

参考文献 :

- [1] SHI Q Q, ZHANG Z, SU J J, et al. Comparative analysis of pigments, phenolics, and antioxidant activity of chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) during fruit development[J]. *Molecules* (Basel, Switzerland), 2018, 23(8): 1917. DOI: 10.3390/molecules23081917.
- [2] WOJDYLO A, FIGIEL A, LEGUA P, et al. Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method [J]. *Food Chemistry*, 2016, 207:170 -179. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.03.099.
- [3] GAO Q H, WU C S, WANG M. The jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit: A review of current knowledge of fruit composition and health benefits[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(14): 3351-3363. DOI: 10.1021/jf4007032.
- [4] FANG S Z, WANG Z F, HU X S, et al. Hot-air drying of whole fruit Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Miller): Physico-chemical properties of dried products[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2009, 44(7): 1415-1421. DOI:10.1111/j.1365-2621.2009.01972.x.
- [5] 陈文敏,彭星星,孙田奎,等. 红外温度对超声处理红枣的干燥特性及品质影响[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(6): 224-229,235. DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.6.035.
- [6] ZOZIO S, SERVENT A, CAZAL G, et al. Changes in antioxidant activity during the ripening of jujube (*Ziziphus mauritiana* Lamk)[J]. *Food Chemistry*, 2014,150: 448-456. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.11.022.
- [7] 苟茜,王敏,冀晓龙,等. 不同成熟度灵武长枣食用及营养品质研究[J]. *现代食品科技*, 2014,30(11):98-104. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.11.019.
- [8] GAO Q H, WU C S, YU J G, et al. Textural characteristic, antioxidant activity, sugar, organic acid, and phenolic profiles of 10 promising jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) selections[J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(11): C1218-C1225. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2012.02946.x.
- [9] GUO S, DUAN J A, QIAN D W, et al. Content variations of triterpenic acid, nucleoside, nucleobase, and sugar in jujube (*Ziziphus jujuba*) fruit during ripening[J]. *Food Chemistry*, 2015, 167: 468-474. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.07.013.
- [10] 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定: GB 5009.86—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [11] GAO Q H, WU P T, LIU J R, et al. Physico-chemical properties and antioxidant capacity of different jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars grown in loess plateau of China[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 130(1): 67-72 .DOI: 10.1016/j.scienta.2011.06.005.
- [12] DEWANTO V, WU X Z, ADOM K K, et al. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(10): 3010-3014. DOI: 10.1021/jf0115589.
- [13] KOU X H, CHEN Q, LI X H, et al. Quantitative assessment of bioactive compounds and the antioxidant activity of 15 jujube cultivars[J]. *Food Chemistry*, 2015, 173: 1037-1044. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.10.110.
- [14] WOJDYLO A, CARBONELL-BARRACHINA Á A, LEGUA P, et al. Phenolic composition, ascorbic acid content, and antioxidant capacity of Spanish jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruits[J]. *Food Chemistry*, 2016, 201: 307-314. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.01.090.
- [15] GAO Q H, WU C S, WANG M, et al. Effect of drying of jujubes (*Ziziphus jujuba* Mill.) on the contents of sugars, organic acids, α -Tocopherol, β -Carotene, and phenolic compounds[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 61(19): 9642-9648. DOI: 10.1021/jf3026524.
- [16] 念红丽,曹建康,薛自萍,等. 成熟期对冬枣多酚含量及其抗氧化活性的影响[J]. *食品工业科技*,2009,30(11):65-67,71.

收稿日期 2020-06-08