

网络出版时间:2015-12-02 14:25

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2016.01.029

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20151202.1425.058.html

红枣乳酸发酵饮料的抗氧化活性

靳玉红,李志西,乔艳霞,杨 智,李 瑞,张 强

(西北农林科技大学 食品科学与工程学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】研究红枣乳酸发酵饮料的体外抗氧化活性,为红枣乳酸发酵饮料的进一步开发提供参考。

【方法】测定红枣乳酸发酵饮料不同发酵阶段体外 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力、 Fe^{3+} 还原能力及总抗氧化能力,并与枣酒、原枣汁、枣酪饮料及酸枣汁饮料的抗氧化性进行比较。【结果】在所选定的 5 种枣饮料中,红枣乳酸发酵饮料的抗氧化能力最高,其 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力、 Fe^{3+} 还原能力的 Vc 抗氧化当量(VCEAC)依次为(223.8 ± 2.4) mg/L、($1\ 126.64 \pm 40.00$) mg/L、($1\ 007.2 \pm 40.0$) mg/L,总抗氧化能力 T-AOC 值为(56.98 ± 0.41);其次是枣酒,其 4 种抗氧化能力的 VCEAC 依次为(158.6 ± 1.7) mg/L、(920.44 ± 8.27) mg/L、(592.5 ± 10.2) mg/L、(48.44 ± 1.05);酸枣汁饮料的抗氧化能力最低,其 4 种抗氧化能力的 VCEAC 依次为(81.9 ± 0.7) mg/L、(30.67 ± 1.07) mg/L、(156.2 ± 10.5) mg/L、(23.45 ± 0.30)。红枣乳酸发酵饮料的抗氧化活性与多酚类物质含量有显著相关性($P < 0.05$)。在乳酸发酵初期(0~12 h),红枣乳酸发酵饮料的抗氧化能力显著增强($P < 0.05$),发酵 12~72 h 时其 DPPH 自由基清除能力和 Fe^{3+} 还原能力无显著变化($P > 0.05$);发酵 12~48 h 其 ABTS 自由基清除能力无显著变化,发酵 48~72 h 时其 ABTS 自由基清除能力显著增强。【结论】红枣乳酸发酵饮料具有较强的抗氧化活性,且具有乳酸发酵特有的香味,口感柔和,是值得开发的一种枣饮料产品。

【关键词】 红枣;乳酸发酵饮料;枣饮料;抗氧化活性

【中图分类号】 TS275.4

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2016)01-0199-07

Antioxidant activity of jujube beverage fermented with lactic acid bacteria

JIN Yu-hong, LI Zhi-xi, QIAO Yan-xia, YANG Zhi, LI Rui, ZHANG Qiang

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The antioxidant activity of jujube beverage fermented with lactic acid bacteria (JBFLAB) was studied to provide reference for further development of JBFLAB. 【Method】 The antioxidant properties of JBFLAB and its intermediate products *in vitro* (DPPH scavenging activity, ABTS⁺ scavenging activity, Fe^{3+} reducing power and total antioxidant capacity) at different fermentation stages were investigated and compared with that of jujube wine, jujube juice without fermented, jujube yogurt juice, and wild jujube juice. 【Result】 JBFLAB exhibited the highest antioxidant activities with DPPH, ABTS and reducing power VCEAC values of (223.8 ± 2.4) mg/L, ($1\ 126.64 \pm 40.00$) mg/L, and ($1\ 007.2 \pm 40.0$) mg/L and total antioxidant capacity (T-AOC) of (56.98 ± 0.41). JBFLAB was followed by jujube wine, which had VCEAC of (158.6 ± 1.7) mg/L, (920.44 ± 8.27) mg/L and (592.5 ± 10.2) mg/L and T-AOC of (48.44 ± 1.05). Juice of wild jujube showed the lowest antioxidant capacities with VCEAC of ($81.9 \pm$

【收稿日期】 2014-05-06

【基金项目】 陕西省农业科技创新项目(2012NKC02-02)

【作者简介】 靳玉红(1986—),女,河北沧州人,在读硕士,主要从事微生物发酵研究。E-mail: xixiwangziyuhong@163.com

【通信作者】 李志西(1958—),男,陕西临潼人,教授,博士,博士生导师,主要从事谷物功能食品及发酵食品研究。

E-mail: lzx580721@yahoo.com.cn

0.7) mg/L, (30.67±1.07) mg/L and (156.2±10.5) mg/L, and T-AOC of (23.45±0.30). There was significant correlation between antioxidant capacity and total polyphenols content ($P>0.05$) in JBFLAB. The antioxidant capacity of JBFLAB increased significantly ($P<0.05$) at fermentation prophase (0–12 h). At 12–72 h, DPPH free radical scavenging activity and reducing power had no significant change ($P>0.05$). At 12–48 h, ABTS⁺ scavenging activity had no significant change at 12–48 h ($P>0.05$), but increased significantly ($P<0.05$) at 48–72 h. 【Conclusion】JBFLAB not only had strong antioxidant capacity, but also had the unique aroma of lactic acid fermentation. It also tasted smooth and soft and merited development.

Key words: jujube; lactic acid fermentation; jujube beverage; antioxidant activity

红枣(*Zizyphus jujube* Mill.)是鼠李科(Rhamnaceae)枣属(*Zizyphus* Mill.)植物的果实^[1]。红枣是中国特有的经济果品,栽培面积约 100 hm²,年产量约 400 万 t^[2]。枣果富含多种营养成分和抗氧化成分,其主要营养物质有多糖、有机酸、蛋白质、维生素 B₁ 和 B₂、V_C、V_A 及钙、磷、铁等微量元素,鲜枣 V_C 含量 400~600 mg/kg^[3]。枣果含有较丰富的黄酮、多酚等抗氧化物质,不同地区不同品种的红枣中多酚类物质的含量有所不同;韩志萍^[4]研究表明,陕北不同产区枣果中黄酮类化合物的总量(以芦丁当量计)为 2.972~7.646 mg/g;Li 等^[5]研究表明,我国 5 种红枣的总多酚含量(以每克干枣中含有相当没食子酸的毫克数表示)为 5.18~8.53 mg/g。

目前关于枣酒、枣醋抗氧化活性的研究报道较多^[6-8],而对红枣乳酸发酵饮料体外抗氧化活性研究的报道尚较为少见。本研究以新疆大枣为原料,采用混合乳酸菌种子液生产红枣乳酸发酵饮料(Ju-jube beverage fermented with lactic acid bacteria, JBFLAB),研究红枣乳酸发酵饮料在不同发酵阶段的体外抗氧化活性,以期对红枣乳酸发酵饮料的进一步研发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

红枣,新疆和田枣;种子菌液,对实验室自制的

酸菜汁进行净化处理和菌相稳定驯化后得到的混合菌液,其中优势菌为干酪乳杆菌和鼠李糖乳杆菌;枣酒,实验室自制,干枣加 4 倍水进行酒精发酵 7 d 得到酒精发酵醪,酒精度 8°,补糖后二次发酵 30 d 得到枣酒,酒精度 11°;原枣汁,干枣去核加 4 倍水,榨汁机压榨,离心分离得到未经发酵的原枣汁;枣酪饮料、酸枣汁饮料,新乡市及时雨饮品有限公司产品;福林酚试剂,上海荔达生物科技有限公司产品。

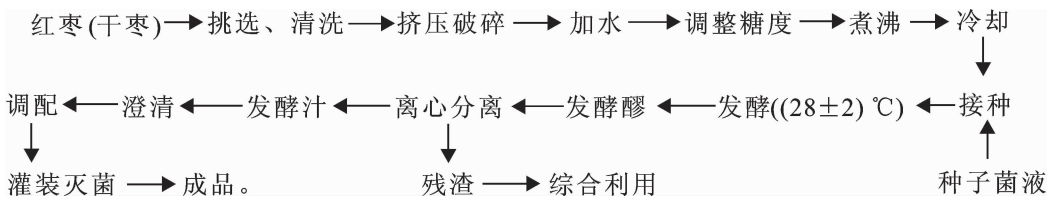
其他主要试剂有:芦丁、没食子酸、DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)、ABTS(2,2'-连氮基双(3-乙基苯并噻唑啉)-6-磺酸),均购于美国 Sigma 公司;亚硫酸钠、氢氧化钠、氯化钾、磷酸、磷酸二氢钾、无水乙醇、无水碳酸钠、抗坏血酸、K₂S₂O₈ 等,均为国产分析纯。

1.2 试验仪器

恒温培养箱(150A 型),江苏常州华普达教学仪器有限公司;紫外-可见分光光度计(UV-1700 型),日本岛津公司;双光束紫外分光光度计(UV-2550 型),日本岛津公司;台式离心机(TD5A 型),湖南凯达科学仪器有限公司;干燥箱(202-00 型),北京化玻联医疗器械有限公司;超声波清洗器(KH5200B 型),昆山禾创超声仪器有限公司;混匀器(QL-901 ZORTEX 型),海门市其林贝尔仪器制造有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 红枣乳酸发酵饮料的制备 制备流程为:



1.3.2 DPPH 自由基清除能力测定^[9] 准确吸取稀释一定倍数的红枣乳酸发酵饮料、枣酒、酸枣汁饮料、枣酪饮料及原枣汁各 100 μL,用去离子水补至 2

mL,再加入 2 mL 0.1 mmol/L 的 DPPH 溶液,混匀,避光放置 30 min 后用无水乙醇作参比液,在波长 510 nm 处测定其吸光度 A_i,然后测定 2 mL 0.1

mmol/L DPPH 溶液与 2 mL 无水乙醇混合后的吸光度 A_c ,同时测定 2 mL 相应质量浓度的样品溶液与 2 mL 无水乙醇混合后的吸光度 A_i ,按下式计算 DPPH 自由基清除率:

$$\text{DPPH 自由基清除率} = \left(1 - \frac{A_i - A_c}{A_c}\right) \times 100\%.$$

样品的 DPPH 自由基清除能力以 Vc 抗氧化当量 (Vitamin C equivalent antioxidant capacity, VCEAC)表示^[10],以 Vc 质量浓度(x)为横坐标,Vc 对 DPPH 自由基的清除率(y)为纵坐标作图得标准曲线,线性回归方程为: $y = 10.304x - 0.088$ ($R^2 = 0.9988$).

1.3.3 ABTS 自由基清除能力测定^[10] 将 5 mL 7 mmol/L 的 ABTS 溶液和 88 μ L 140 mmol/L 的 $K_2S_2O_8$ 水溶液避光反应 24 h 后生成 ABTS 自由基。使用时先用无水乙醇稀释至 734 nm 处吸光度为 1.00 ± 0.02 ,稀释液当天使用。分别取稀释一定倍数的样品溶液 200 μ L,与 4.8 mL ABTS 稀释液混匀,避光反应 15 min,以无水乙醇为对照,在波长 734 nm 处测定吸光度,空白以相同体积甲醇代替样品反应,按下式计算样品的 ABTS 自由基清除率:

$$\text{ABTS 自由基清除率} = \frac{A_c - A_i}{A_c} \times 100\%.$$

式中: A_c 为同体积甲醇代替样品反应的吸光度; A_i 为样品反应的吸光度。

以 Vc 溶液为标准对照,测定不同质量浓度 Vc 对 ABTS 自由基的清除率,以 Vc 质量浓度(x)为横坐标,Vc 对 ABTS 自由基的清除率(y)为纵坐标作图得标准曲线,线性回归方程为: $y = 6.278x - 1.996$ ($R^2 = 0.9981$)。样品的 ABTS 自由基清除能力用 Vc 抗氧化当量(VCEAC)表示。

1.3.4 Fe^{3+} 还原能力测定^[11] 分别取稀释一定倍数的样品溶液 1 mL,加入 2.5 mL 磷酸缓冲液(0.2 mol/L,pH 6.6)混匀,再加入 10 g/L 的铁氰化钾溶液 2.5 mL;50 $^{\circ}$ C 水浴恒温 20 min 后,加入 100 g/L 的三氯乙酸溶液 1 mL,3 000 r/min 离心 10 min,取上清液 2.5 mL,加去离子水 2.5 mL 以及 1 g/L 三氯化铁溶液 0.5 mL,在波长 700 nm 处测定吸光度。用 Vc 溶液为标准对照,测定不同质量浓度 Vc 反应所得吸光度,以 Vc 质量浓度(x)为横坐标,吸光度(y)为纵坐标作图得标准曲线,线性回归方程为: $y = 0.101x - 0.006$ ($R^2 = 0.9994$)。样品还原 Fe^{3+} 能力用 Vc 抗氧化当量(VCEAC)表示。

1.3.5 总多酚含量的测定^[12] 以没食子酸为标准

品,准确配制 0.1 mg/mL 的没食子酸标准溶液,分别吸取此标准溶液 0,0.2,0.4,0.6,0.8,1.0 mL 于 10 mL 容量瓶中,依次加入 Folin-Ciocalteu 试剂 2.0 mL 和 75 g/L 的碳酸钠溶液 2.0 mL,去离子水定容至 10 mL,摇匀后显色反应 2 h,在波长 765 nm 处测定吸光度。以没食子酸质量浓度(x ,mg/mL)为横坐标,吸光度(y , $A_{765\text{ nm}}$)为纵坐标绘制标准曲线,得到线性回归方程: $y = 88.429x + 0.001$ ($R^2 = 0.9994$)。

将各样品稀释适当倍数,配成样品溶液,准确吸取各样品溶液 100 μ L,分别置于 10 mL 容量瓶中,按上述方法分别测定吸光度(A),代入回归方程计算样品中的总多酚含量。

1.3.6 总黄酮含量的测定^[13] 以芦丁为标准品,将芦丁于 120 $^{\circ}$ C 干燥至恒质量,准确配制 0.4 mg/mL 的标准溶液,吸取此标准溶液 0,0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 mL 于 10 mL 容量瓶中,加入 50 g/L 亚硝酸钠溶液 0.5 mL 混合均匀,放置 6 min,然后加入 100 g/L 硝酸铝溶液 0.5 mL 混合均匀,放置 6 min,最后加入 40 g/L 氢氧化钠溶液 4 mL,蒸馏水定容,放置 15 min,测定 510 nm 处吸光度。以芦丁质量浓度(x ,mg/mL)为横坐标,吸光度(y , $A_{510\text{ nm}}$)为纵坐标绘制标准曲线,得到线性回归方程: $y = 12.324x + 0.011$ ($R^2 = 0.9997$)。

将各样品稀释适当倍数,配成样品溶液,准确吸取各样品溶液 1 mL,分别置于 10 mL 容量瓶中,按上述方法分别测定吸光度(A),代入回归方程计算样品中的总黄酮含量。

1.3.7 总抗氧化能力(T-AOC)的测定 按照试剂盒说明进行测定,依据下述公式计算抗氧化值:

$$\text{T-AOC 值} =$$

$$\frac{A_{\text{测定}} - A_{\text{对照}}}{0.01} \div 30 \times \frac{\text{反应液总体积}}{\text{取样量}} \times$$

测试前稀释倍数。

式中: $A_{\text{测定}}$ 为测定管吸光度; $A_{\text{对照}}$ 为对照管吸光度。

1.4 数据分析

每个样品进行 3 次平行试验,结果以“ $\bar{x} \pm s$ ”表示,使用 DPS v7.05 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同枣饮品 DPPH 自由基清除能力的比较

图 1 为不同枣饮品 DPPH 自由基清除能力的 Vc 抗氧化当量(VCEAC)测定结果。由图 1 可以看出,不同枣饮品的 DPPH 自由基清除能力有极显著

差异($P<0.01$)。各样品的 DPPH 自由基清除能力由强到弱的顺序为:红枣乳酸发酵饮料>枣酒>原枣汁>枣酪饮料>酸枣汁饮料。其中红枣乳酸发酵饮料、枣酒 DPPH 自由基清除能力的 Vc 抗氧化当量分别为(223.8 ± 2.4) mg/L 和(158.6 ± 1.7) mg/L。

由图 1 还可以看出,枣酒和红枣乳酸发酵饮料的 DPPH 自由基清除能力均较原枣汁的 DPPH 自由基清除能力有所提高,这说明不同微生物的发酵

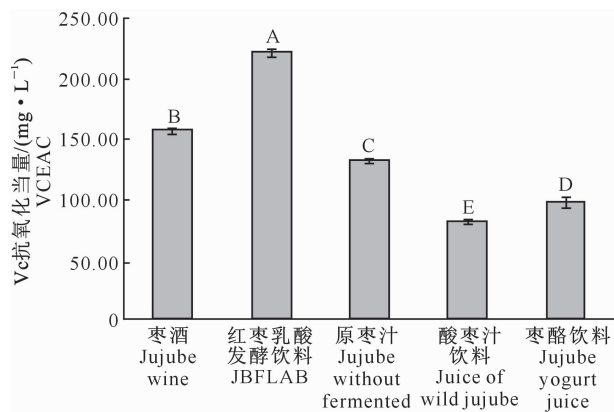


图 1 不同枣饮品 DPPH 自由基清除能力的比较

图中不同大写字母表示差异达极显著水平($P<0.01$)。下同

Fig. 1 Comparison of DPPH radical scavenging capacities among different jujube beverage products
Different capital letters in the figure mean highly significant difference ($P<0.01$). The same below

2.2 不同枣饮品 ABTS 自由基清除能力的比较

图 2 是不同枣饮品对 ABTS 自由基清除能力的 Vc 抗氧化当量(VCEAC)测定结果。由图 2 可知,不同枣饮品对 ABTS 自由基的清除能力存在差异($P<0.05$)。各饮品的 ABTS 自由基清除能力由强到弱的顺序为:红枣乳酸发酵饮料>枣酒>原枣汁>枣酪饮料>酸枣汁饮料。红枣乳酸发酵饮料的 ABTS 自由基清除能力极显著高于枣酒、原枣汁($P<0.01$),这可能是由于乳酸发酵使得红枣乳酸发酵饮料中的酚类物质含量增加,从而增强了该饮料的抗氧化能力。红枣乳酸发酵饮料、枣酒 ABTS 自由基清除能力的 Vc 抗氧化当量分别为($1\,126.64\pm40.00$) mg/L 和(920.44 ± 8.27) mg/L。

2.3 不同枣饮品 Fe^{3+} 还原能力的比较

图 3 是不同枣饮品 Fe^{3+} 还原能力的 Vc 抗氧化当量(VCEAC)测定结果。

作用在不同程度上提高了原料的 DPPH 自由基清除能力。这可能是由于在微生物的作用下,红枣中的酚类物质发生了复杂的变化,使其结构、组成和含量随着发酵状态发生相应的改变。同时,不同的酚类物质对抗氧化能力的贡献也不尽相同^[14]。调配型饮料(枣酪饮料和酸枣汁饮料)的抗氧化能力极显著低于原枣汁,这可能是由于在调配和物理加工过程中对枣的酚类物质破坏较大所致。

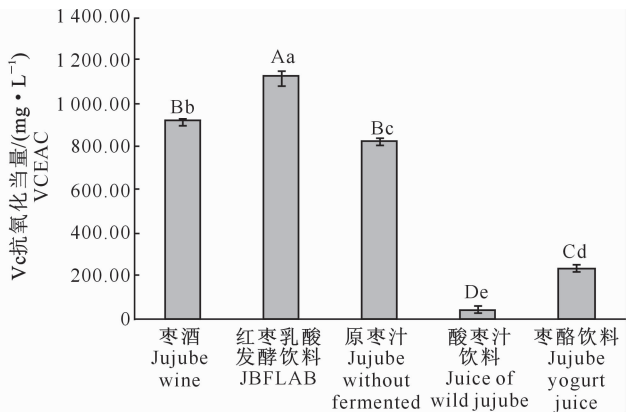


图 2 不同枣饮品 ABTS 自由基清除能力的比较

图中不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。下同

Fig. 2 Comparison of ABTS radical scavenging capacities among different jujube beverage products
Different small letters mean significant difference ($P<0.05$). The same below

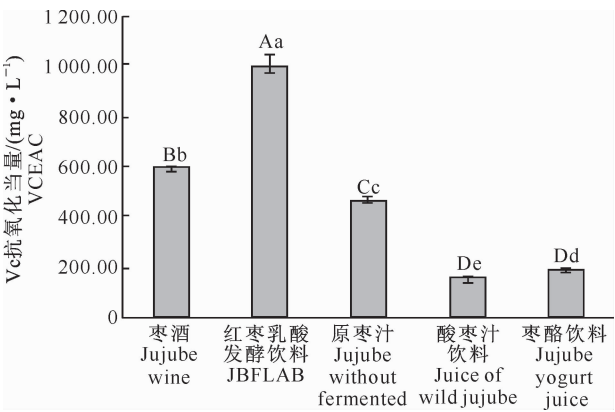


图 3 不同枣饮品 Fe^{3+} 还原能力的比较

Fig. 3 Comparison of Fe^{3+} reducing powers among different jujube beverage products

由图 3 可知,各种枣饮品的 Fe^{3+} 还原能力存在差异,5 种枣饮品的 Fe^{3+} 还原能力由强到弱依次为红枣乳酸发酵饮料>枣酒>原枣汁>枣酪饮料>酸枣汁饮料。红枣乳酸发酵饮料的 Fe^{3+} 还原能力极显著高于其他各种枣饮品($P<0.01$),其中红枣乳

酸发酵饮料、枣酒的 Fe^{3+} 还原能力的 Vc 抗氧化当量分别为 $(1\ 007.2 \pm 40.0)\text{ mg/L}$ 和 $(592.5 \pm 10.2)\text{ mg/L}$ 。这可能是由于乳酸发酵过程中酚类物质经过一系列复杂的变化后,所产生的新的酚类物质对 Fe^{3+} 的还原能力较强,而酒精发酵的这种作用相对较弱。

2.4 不同枣饮品总多酚和总黄酮含量的比较

不同枣饮品总多酚和总黄酮含量的测定结果见表 1。由表 1 可以看出,不同枣饮品中总多酚和总黄酮含量存在差异,总多酚含量由高到低依次为红枣乳酸发酵饮料>枣酒>原枣汁>枣酪饮料>酸枣汁饮料,该顺序与 DPPH 自由基清除能力的顺序相同。红枣乳酸发酵饮料的总多酚含量极显著高于原枣汁($P<0.01$),枣酒与原枣汁中总多酚含量无显著差异($P>0.05$),而枣酪饮料和酸枣汁饮料中总多酚含量极显著低于原枣汁($P<0.01$)。

表 1 不同枣饮品中总多酚和总黄酮含量的比较
Table 1 Comparison of total polyphenols and flavonoids contents among different jujube beverage products

样品 Sample	总多酚/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) Total polyphenols	总黄酮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) Total flavonoids
枣酒 Jujube wine	752.9 ± 11.5 Bb	208.6 ± 4.7 Cc
红枣乳酸发酵饮料 JBFLAB	878.4 ± 11.3 Aa	405.5 ± 27.3 Aa
原枣汁 Jujube without fermented	722.3 ± 7.9 Bb	277.8 ± 4.8 Bb
酸枣汁饮料 Juice of wild jujube	160.9 ± 5.0 Dd	87.3 ± 2.1 De
枣酪饮料 Jujube yogurt juice	359.7 ± 11.5 Cc	168.3 ± 3.2 Cd

注:同列不同大写字母表示差异达极显著水平($P<0.01$),不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。
Note: Different capital letters in the table mean highly significant difference ($P<0.01$), and different small letters mean significant difference ($P<0.05$).

由表 1 还可以看出,5 种枣饮品中总黄酮含量由高到低依次为红枣乳酸发酵饮料>原枣汁>枣酒>枣酪饮料>酸枣汁饮料,其中红枣乳酸发酵饮料的总黄酮含量极显著高于原枣汁($P<0.01$),而枣酒中总黄酮含量极显著低于原枣汁($P<0.01$),这可能是由于酚类物质在乳酸发酵过程中转化成黄酮类物质,在酒精发酵过程中部分黄酮类物质转化成其他酚类物质,从而使得红枣乳酸发酵饮料中总黄酮含量增加而枣酒中总黄酮含量减少。而枣酪饮料和酸枣汁饮料在调配或其他物理加工过程中黄酮类物质及酚类物质均会有一定程度的损失,从而使得这 2 款饮品中总多酚及总黄酮含量均较低。

2.5 不同枣饮品总抗氧化能力的比较

由图 4 可知,不同枣饮料产品的总抗氧化能力

有显著差异($P<0.05$)。各饮料产品的总抗氧化能力由强到弱依次为红枣乳酸饮料>枣酒>原枣汁>枣酪饮料>酸枣汁饮料。这一顺序与各饮料 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力、总多酚含量的顺序相同。由此可知,5 种枣饮料中红枣乳酸发酵饮料的体外抗氧化能力最强,而枣酒的体外抗氧化能力次之,酸枣汁饮料的体外抗氧化能力最弱。

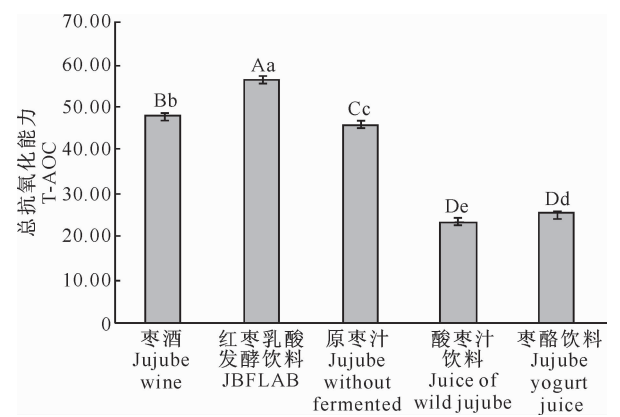


图 4 不同枣饮品总抗氧化能力的比较
Fig. 4 Comparison of total antioxidant capacities among different jujube beverage products

2.6 红枣乳酸发酵饮料不同发酵阶段抗氧化能力的变化

图 5 表示红枣乳酸发酵饮料在不同发酵阶段抗氧化能力(包括 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力及 Fe^{3+} 的还原能力)的变化趋势。由图 5 可以看出,在发酵初期(0~12 h),发酵醪的 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力及 Fe^{3+} 还原能力均有显著增强($P<0.05$),这可能是因为发酵初期由于浸渍作用红枣中的多酚类物质不断溶出,使得 ABTS 自由基清除能力开始增强;发酵 12~48 h,在乳酸菌的作用下多酚类物质的组成和含量处于动态变化中,使得发酵醪对 ABTS 自由基的清除能力在总体上无显著变化($P>0.05$);发酵 48 h 后,多酚类物质在乳酸菌的作用下发生降解、重组等变化,又使得 ABTS 自由基清除能力得到不断增强。发酵醪的 DPPH 自由基清除能力和 Fe^{3+} 还原能力在发酵 12~72 h 内无显著变化($P>0.05$),这可能是由于在乳酸发酵过程中,首先由于浸渍作用使得红枣中的酚类物质开始溶出,从而增强了发酵醪的 DPPH 自由基清除能力和 Fe^{3+} 还原能力;随后在乳酸菌的作用下发酵醪的多酚类物质会发生一些动态变化,但这些变化在所测定时间内对 DPPH 自由基的清除能力和 Fe^{3+} 还原能力的影响并不显著($P>0.05$)。

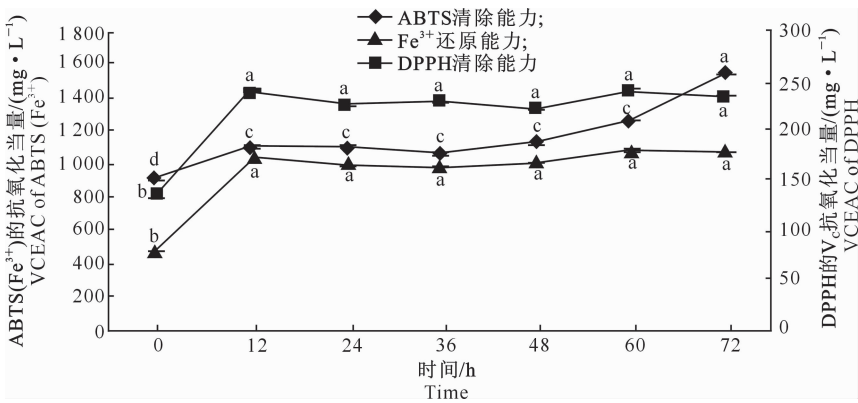


图 5 红枣乳酸发酵饮料发酵过程中抗氧化能力的变化

Fig. 5 Antioxidant capacity of jujube beverage fermented with lactic acid bacteria during fermentation process

2.7 红枣乳酸发酵饮料中总多酚和总黄酮含量与抗氧化能力的相关性

将红枣乳酸发酵饮料 4 种抗氧化能力的 Vc 抗氧化当量(VCEAC)分别与其总多酚含量、总黄酮含量进行相关性分析,结果如表 2 所示。由表 2 可以看出,红枣乳酸发酵饮料的总多酚含量与其 ABTS 自由基清除能力、总抗氧化能力极显著相关($P<$

0.01),与 DPPH 自由基清除能力、 Fe^{3+} 还原能力显著相关($P<0.05$);红枣乳酸发酵饮料的总黄酮含量与其 DPPH 自由基清除能力、 Fe^{3+} 还原能力极显著相关($P<0.01$),与 ABTS 自由基清除能力、总抗氧化能力显著相关($P<0.05$)。由此说明多酚类物质、黄酮类物质对样品的抗氧化能力有显著影响($P<0.05$)。

表 2 红枣乳酸发酵饮料的抗氧化能力与其总多酚及总黄酮含量的相关分析

Table 2 Correlation analysis between antioxidant activity and total polyphenols and total flavonoids contents in JBFLAB

指标 Index	DPPH 自由基清除能力 DPPH radical scavenging capacities	ABTS 自由基清除能力 ABTS radical scavenging capacities	Fe^{3+} 还原能力 Fe^{3+} reducing power	总抗氧化能力 Total antioxidant capacity
总多酚 Total polyphenols	0.900 3 *	0.996 3 * *	0.898 9 *	0.978 0 * *
总黄酮 Total flavonoids	0.989 7 * *	0.912 8 *	0.974 2 * *	0.913 4 *

注: * 相关性极显著($P<0.01$), * 相关性显著($P<0.05$)。
Note: * * means highly significant difference ($P<0.01$) and * means significant difference ($P<0.05$).

3 结论与讨论

本研究比较了红枣乳酸发酵饮料与原枣汁、枣酒、酸枣汁饮料、枣酪饮料的 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力、 Fe^{3+} 还原能力、总多酚和总黄酮含量以及总抗氧化能力,结果表明:5 种不同枣饮料的体外抗氧化能力存在显著差异($P<0.05$),其体外抗氧化能力的强弱顺序依次表现为:红枣乳酸发酵饮料>枣酒>原枣汁>枣酪饮料>酸枣汁饮料,而总黄酮含量有所不同,其由多到少的次序为:红枣乳酸发酵饮料>原枣汁>枣酒>枣酪饮料>酸枣汁饮料。枣酒中黄酮含量极显著低于原枣汁($P<0.01$),这可能是由于在酒精发酵过程中黄酮类物质被微生物分解为其他物质,从而使得总黄酮含量降低。在 5 种枣饮料产品中,红枣乳酸发酵饮料的体外抗氧化能力最强,枣酒次之,而未经过微生物发酵作用的枣酪饮料和酸枣汁饮料体外抗氧化能力均显著低于原枣汁($P<0.05$)。由此可知,微

生物的发酵作用能有效提高枣饮料的抗氧化能力。本研究中红枣乳酸发酵饮料的抗氧化能力显著高于枣酒($P<0.05$),这可能与不同微生物的发酵机理有关,不同微生物的发酵作用对于发酵醪中多酚类物质的结构、组成及含量可能具有不同的影响,同时微生物的中间代谢产物也可能对发酵醪的抗氧化性有所影响,但这种影响作用的机理还有待进一步研究。

在乳酸发酵的不同阶段,对红枣乳酸发酵饮料的 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力和 Fe^{3+} 还原能力进行了监测,结果显示,在发酵 0~12 h 内,乳酸发酵醪的抗氧化活性随发酵时间的延长而显著增强($P<0.05$);在发酵 12~72 h 时,发酵醪的 DPPH 自由基清除能力和 Fe^{3+} 还原能力均无显著变化($P>0.05$),而发酵醪对 ABTS 自由基的清除能力在 12~48 h 内无显著变化($P>0.05$),在 48~72 h 内随发酵时间的延长 ABTS 自由基清除能力不断增强。在发酵 12 h 时,红枣乳酸发酵饮料

的抗氧化能力基本达到最大值,但此时其酸度较低,乳酸发酵特有的香气和口感还不明显;发酵 48 h 时,发酵醪液的体外抗氧化能力较发酵 12 h 的醪液无显著变化($P>0.05$),但口感更加丰富柔和,因此确定最佳的发酵时间为 48 h。有研究表明,乳酸菌菌体表面的某些成分同样具有一定的抗氧化性,不同菌体表面的抗氧化性物质也不相同^[15]。而本研究所选用的混合乳酸菌是否为高抗氧化活性菌株,是否对发酵醪的抗氧化性有一定的贡献,还有待于进一步研究。

[参考文献]

[1] 梁 洪. 中国红枣及红枣产业的发展现状、存在问题和对策的研究 [D]. 西安:陕西师范大学,2006.
Liang H. On the actuality, existing problems and solutions to the industry of the Chinese jujube [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2006. (in Chinese)

[2] 闫忠心, 鲁周民, 刘 坤, 等. 我国红枣资源加工利用研究现状与展望 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38 (6): 102-108.
Yan Z X, Lu Z M, Liu K, et al. The present situation and prospect of Chinese jujube resource in processing and utilization [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Sciences Edition, 2010, 38(6): 102-108. (in Chinese)

[3] 傅 力, 胡丽红, 古丽娜孜, 等. 红枣醋生产中醋酸发酵阶段最佳工艺条件的研究 [J]. 中国调味品, 2009, 34(8): 72-75.
Fu L, Hu L H, Gu L N Z, et al. Study on fermentation technology of acetic acid in Chinese jujube vinegar production [J]. China Condiment, 2009, 34(8): 72-75. (in Chinese)

[4] 韩志萍. 陕北红枣中总黄酮的提取及含量比较 [J]. 食品科学, 2006, 27(12): 560-562.
Han Z P. Extraction and comparison of flavonoids of Chinese dates produced in Shaanxi Province [J]. Food Science, 2006, 27 (12): 560-562. (in Chinese)

[5] Li J W, Ding S D, Ding X L. Comparison of antioxidant capacities of extracts from five cultivars of Chinese jujube [J]. Process Biochemistry, 2005, 40(11): 3607-3613.

[6] 牟建楼, 曹宝忠, 王 颀, 等. 液态深层发酵酿造枣醋工艺研究 [J]. 中国酿造, 2009(12): 143-145.
Mou J L, Cao B Z, Wang J, et al. Liquid submerged fermentation technology of jujube vinegar [J]. China Brewing, 2009 (12): 143-145. (in Chinese)

[7] 任 琪, 寻华凤, 程江华, 等. 枣酒发酵工艺条件的研究 [J]. 中国酿造, 2009(5): 167-169.
Ren Q, Xun H F, Cheng J H, et al. Fermentation technology of jujube wine [J]. China Brewing, 2009 (5): 167-169. (in Chinese)

[8] 金 杰, 张 锋. 桑椹醋及不同食醋对二苯代苦味酰基自由基 (DPPH ·) 清除作用的研究 [J]. 中国调味品, 2011, 36(10): 42-47.
Jin J, Zhang F. Antioxidant activity tests if mulberry vinegar and different vinegar by DPPH · method [J]. China Condiment, 2011, 36(10): 42-47. (in Chinese)

[9] 叶挺祥. 丹酚酸 B 对血管内皮细胞 NO 合成的影响 [D]. 天津: 天津大学, 2006.
Ye T X. Effects of salvianolic acid B on NO production in vascular endothelial cells [D]. Tianjin: Tianjin University, 2006. (in Chinese)

[10] Re R, Pellegrini N, Proteggente A, et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay [J]. Free Radical Biology and Medicine, 1999, 26(9/10): 1231-1237.

[11] Oyaizu M. Studies on product of browning reaction prepared from glucose amine [J]. Japanese Journal of Nutrition, 1986, 44: 307-315.

[12] Cai Y Z, Luo Q, Sun M, et al. Antioxidant activity and phenolic compounds of traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer [J]. Life Sciences, 2004, 74 (17): 2157-2184.

[13] 李利华. 柑橘皮中总黄酮的含量测定及体外自由基清除作用研究 [J]. 西北药学杂志, 2009, 24(5): 261-263.
Li L H. Research on total flavonoids determination and free radical scavenging of citrus peel [J]. Northwest Pharmaceutical Journal, 2009, 24(5): 261-263. (in Chinese)

[14] 楚文靖. 紫甘薯酒的加工和抗氧化活性研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2008.
Chu W J. Research on the antioxidant activity of purple sweet potato wine [D]. Nanning: Guangxi University, 2008. (in Chinese)

[15] 吴祖芳, 洪松虎, 沈锡权, 等. 乳酸菌高抗氧化活性菌株的筛选及鉴定 [J]. 中国食品学报, 2010, 10(1): 73-78.
Wu Z F, Hong S H, Shen X Q, et al. Screening and identification of lactic acid bacteria strains with high antioxidative activity [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2010, 10(1): 73-78. (in Chinese)