

液体深层发酵提高粤北大果山楂发酵液中 主要活性成分含量及其抗氧化能力

程天德¹, 陈清乐¹, 李雪平²

(1. 清远职业技术学院食品药品学院, 广东清远 511510) (2. 华南理工大学土木与交通学院, 广东广州 510640)

摘要: 本文研究了液体深层发酵对粤北大果山楂发酵液中主要活性成分及其抗氧化活性的影响。采用鼠李糖乳杆菌 (LGG) 对粤北三个不同产区的大果山楂进行液体深层发酵, 测定不同发酵时间粤北大果山楂发酵液中的总酚、总黄酮、总三萜含量及其氧自由基吸收能力 (ORAC)、氧自由基清除能力 (PSC)、DPPH 自由基清除率和 ABTS 自由基清除率。结果显示: 粤北三个不同产区大果山楂发酵液中的主要活性成分和抗氧化活性没有显著性差异, 且变化趋势比较接近。总酚和总三萜含量随发酵的进行先出现小幅上升, 第 3~4 周达到最高, 之后缓慢下降; 总黄酮含量随发酵的进行逐渐上升, 至第 6 周达到顶峰, 最大增幅达到 49.93%, 之后总黄酮含量小幅下降。粤北大果山楂发酵液的 ORAC、PSC、DPPH 自由基清除能力和 ABTS 自由基清除能力均随发酵时间的延长而逐渐提高, 但第 1~4 周提高较快, 随后提高的速度逐渐减缓, ORAC 最大增幅为 6.81%, PSC 最大增幅为 9.29%, DPPH 最大增幅为 56.42%, ABTS 最大增幅为 102.30%。研究表明: 采用鼠李糖乳杆菌 (LGG) 对粤北大果山楂进行液体深层发酵, 能提高发酵液中的总酚、总黄酮、总三萜等主要活性成分的含量及其抗氧化能力。

关键词: 液体深层发酵; 大果山楂; 活性成分; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2020)12-111-117

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.12.0606

Deep Liquid Fermentation Increased the Content of Main Active Components and Antioxidant Capacity in the Fermentation Broth of *Malus doumeri* Fruits from Northern Guangdong Province

CHENG Tian-de¹, CHEN Qing-le¹, LI Xue-ping²

(1. School of Food and Drug, Qingyuan Polytechnic, Qingyuan 511510, China)

(2. School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The effect of deep liquid fermentation on the main active components and their antioxidant activities of fermented liquid of *Malus doumeri* fruits was investigated in this work. The deep liquid fermentation of *Malus doumeri* fruits from three different areas in northern Guangdong province was carried out by using LGG. The contents of total phenols, total flavones, total triterpenes, ORAC values, PSC, DPPH and ABTS radicals scavenging activities of fermented liquid of *Malus doumeri* fruits at different fermentation time were determined. There was no significant difference in the main active components and antioxidant activities of fermented liquid of *Malus doumeri* fruits from three different areas in northern Guangdong province and their trends were similar. The content of total phenols and triterpenes increased slightly with

引文格式:

程天德, 陈清乐, 李雪平, 等. 液体深层发酵提高粤北大果山楂发酵液中主要活性成分含量及其抗氧化能力[J]. 现代食品科技, 2020, 36(12): 111-117

CHENG Tian-de, CHEN Qing-le, LI Xue-ping, et al. Deep liquid fermentation increased the content of main active components and antioxidant capacity in the fermentation broth of *Malus doumeri* fruits from northern Guangdong province [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12): 111-117

收稿日期: 2020-06-30

基金项目: 广东省普通高校特色创新项目 (自然科学) (2018GKTSCX116)

作者简介: 程天德 (1980-), 男, 副教授, 研究方向: 功能食品加工技术

通讯作者: 李雪平 (1978-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 统计学、力学研究

the increase of fermentation time, reached the maximum after 3~4 weeks, and then decreased slowly. The contents of total flavonoids increased gradually with the increase of fermentation time, and reached the maximum after 6 weeks (increased by 49.93% compared to control), then the content of total flavonoids decreased slightly. The ORAC value, PSC, DPPH and ABTS free radicals scavenging activities of fermented liquid of *Malus doumeri* fruits increased gradually with the prolongation of fermentation time. The increase rate was high during initial four weeks, and then the increase rate gradually slowed down. The maximum increase rate of ORAC, PSC, DPPH and ABTS free radical scavenging activity were 6.81%, 9.29%, 56.42% and 102.30%, respectively. The deep liquid fermentation of *Malus doumeri* fruits which produced in northern Guangdong province was conducted by LGG, which can increase the contents of total phenols, total flavones, total triterpenes and increase their antioxidant capacities.

Key words: deep liquid fermentation; *Malus doumeri* fruits; the main active components; antioxidant activities

大果山楂是我国南方的一种药食两用水果,也是非常重要的食品加工原料^[1]。目前我国南方种植的大果山楂树种主要是台湾林檎^[2],其果实性味甘、酸、涩、味温,有理气健脾和消食导滞的功效,与我国传统中药山楂(北山楂)有相似的成分和功效^[3]。大果山楂中的多酚、黄酮和叁萜类化合物含量丰富,具有抗氧化、抑制自由基和降低血脂血症的效果。大果山楂提取物可以有效预防或治疗Ⅱ型糖尿病,还可以显著降低高脂小鼠的肝脏重量、血清总胆固醇、肝脏甘油三酯、低密度脂蛋白和总脂质水平,可以作为膳食补充剂用于预防脂肪肝和氧化损伤,持续摄入大果山楂提取物可以作为饮食治疗来预防肥胖和心血管疾病,大果山楂提取物在开发功能性食品改善胆固醇等方面具有很大的潜力。在中国,高脂血症病例较多,大果山楂因其具有低毒、高效等优点而越来越受关注,有望成为一种适合长期食用的原材料。近年来,大果山楂的种植面积不断增大,产量逐年上升,但其深加工产品较少,开发发酵型大果山楂食品,保留大果山楂中的天然活性物质,并对其抗氧化活性进行研究,既可以加深人们对大果山楂资源的了解、提高大果山楂产品的科技附加值、促进农民增收,又可以为大果山楂发酵食品的开发提供理论依据,为其进一步在功能食品行业中的应用奠定基础。

液体深层发酵大果山楂,国内外鲜有报道,与之类似的陈皮、胡萝卜等原料的发酵有一些研究报道,并有一系列饮料和保健食品上市销售^[4,5]。本研究采用液体深层发酵技术,以粤北大果山楂为主要发酵原料,采用鼠李糖乳杆菌(LGG)进行发酵,测定了发酵前后其抗氧化活性及主要活性成分(总酚、总黄酮和总三萜)含量的变化,为粤北大果山楂资源的开发提供了一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 主要原材料

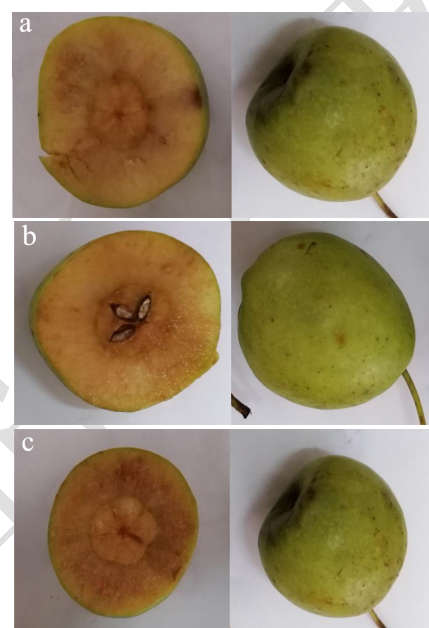


图1 粤北不同产地大果山楂的外形及切面图

Fig.1 Shape and section of *Malus doumeri* fruits from different areas in northern Guangdong province

注: a: 连山大果山楂; b: 英德大果山楂; c: 乳源大果山楂。

表1 粤北不同产地大果山楂的特征及水分含量

Table 1 Characteristics and moisture content of *Malus doumeri* fruits from different areas in northern Guangdong province

产地	特征	水分含量/%
连山	近似苹果形, 绿中带黄, 有褐色小斑点, 直径 4.50~5.50 cm	79.13±0.33 ^a
英德	近似梨形, 绿中带黄, 有褐色小斑点, 直径 4.50~6.00 cm	79.52±0.27 ^a
乳源	近似苹果形, 绿中带黄, 有褐色小斑点, 直径 4.00~5.00 cm	78.38±0.41 ^b

注: 表中不同上标字母表示显著性差异 ($p<0.05$)。

粤北大果山楂分别采摘于广东省连山县某大果山楂种植基地、广东省英德市某大果山楂种植基地和广东省乳源县某大果山楂种植基地(均采摘于 2019 年 10 月),其外形及切面如图 1 所示,鲜大果山楂采

摘后于 4℃冰箱中保存待用。使用前测定大果山楂的水分含量,如表 1 所示。

1.2 主要仪器与试剂

1.2.1 主要仪器设备

高速组织捣碎机(DS-1),上海精科;高压灭菌锅(LDZF-50L-III),上海申安;多功能提取浓缩机组,杭州恩创;发酵罐(ZY-800),上海紫裕;离心机(TGL-20M),湖南湘仪;分光光度计(UV1800),上海菁华;氮吹仪(PGG-01G),天津艾维欧;旋涡混合仪(MS1),德国 IKA 公司;多功能酶标仪(Filter Max F),美国 Molecular 公司。

1.2.2 主要试剂

福林酚试剂(分析纯),Sigma 公司;没食子酸(标准品),Sigma 公司;硼氢化钠(分析纯),上海生工;四氯对苯醌(分析纯),上海生工;儿茶素(标准品),Sigma 公司;熊果酸(标准品),上海纯晶生化;Trolox(标准品),Sigma 公司;抗坏血酸(标准品),上海纯晶生化;2,2-联苯基-1-苦基肼基 DPPH(分析纯),Sigma 公司;2,2-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)(分析纯),Sigma 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 粤北大果山楂发酵液的制备

基本工艺:

大果山楂→洗净→去核→打浆→调配→灭菌→接种→发酵

操作要点:将鼠李糖乳杆菌(LGG CBS98073)接入摇瓶中(MRS 培养基)于 28℃培养 7 d,然后按 5%的接种量(种子液体积与培养基体积之比)接种至发酵罐中进行发酵,发酵培养基的组成及含量(质量体积比)分别为:大果山楂 20%、葡萄糖 5%、蛋白胨 2%、酵母膏 1%,自然 pH 值,28℃发酵 56 d,转速为 150 r/min。发酵结束后离心,收集发酵液,于 4℃存贮备用。

1.3.2 总酚含量的测定

采用 Folin-Ciocalteu 比色法^[6]进行测定,分别采用 50、100、150、200、250、300 μg/mL 的没食子酸溶液在 760 nm 下制备没食子酸标准曲线。线性回归方程为: $y=0.376x+0.032$, $R^2=0.9992$ 。发酵液中的总酚含量根据测得的吸光度,结合线性回归方程计算得出,横坐标为吸光度、纵坐标以每克大果山楂干重中所含的没食子酸毫克数来表示。

1.3.3 总黄酮含量的测定

采用硼氢化钠-四氯苯醌(SBC)比色法^[7]进行测

定,分别采用 0.50、1.00、1.50、2.00、2.50、3.00 mg/mL 的儿茶素标准溶液在 490 nm 下制作儿茶素标准曲线。线性回归方程为: $y=0.4817x+0.0053$, $R^2=0.9989$ 。发酵液中的总黄酮含量根据测得的吸光度,结合线性回归方程计算得出,横坐标为吸光度、纵坐标以每克大果山楂干重中所含的儿茶素毫克数来表示。

1.3.4 总三萜含量的测定

参考 O.M.Khishova 等^[8]的方法进行测定,分别采用 10、20、30、40、50 μg/mL 的熊果酸标准溶液在 548 nm 下制作熊果酸标准曲线。线性回归方程: $y=0.0112x-0.056$, $R^2=0.9956$ 。发酵液中的总三萜含量根据测得的吸光度,结合线性回归方程计算得出,横坐标为吸光度、纵坐标以每克大果山楂干重中所含的熊果酸毫克数来表示。

1.3.5 总抗氧化能力的测定

1.3.5.1 氧自由基吸收能力(ORAC)的测定

参考 Huang、Wen 等^[9,10]的方法进行测定,以 Trolox(维生素 E 水溶性类似物)为标准品制作标准曲线,每个样品平行测定 3 次取平均值。样品的 ORAC 值表示为每克大果山楂干重的 Trolox 当量(μmol Trolox equivalents (TE)/g fruit, DW)。

1.3.5.2 过氧自由基清除能力(PSC)的测定

参考 Adom 等^[11]的方法进行测定,以现配的抗坏血酸(Vc)和没食子酸(GA)为抗氧化标准物质,以磷酸缓冲溶液代替抗氧化物质进行空白实验,每个样品平行测定 3 次取平均值。样品的 PSC 值表示为每克大果山楂干重的 Vc 当量(μmol vitamin C equivalents (VCE)/g fruit, DW)。

1.3.5.3 DPPH 自由基清除率的测定

参考 Blois 等^[12]的方法进行测定,将待测样品溶液与 2×10^{-4} mol/L 的 2,2-联苯基-1-苦基肼基(DPPH)溶液等体积混合,室温下静置 30 min,以蒸馏水作为参比,于 517 nm 下测定吸光度,通过计算得出 DPPH 自由基清除率(%)。

1.3.5.4 ABTS 自由基清除率的测定

参考王存堂等^[13]的方法进行测定,取 5 mL 7×10^{-3} mol/L 的 ABTS [2,2-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)],加入 8.8 μL 1.4 mol/L 的 $K_2S_2O_8$,充分混合后静置 16 h 即得 ABTS 工作液。分别取 50 μL 待测液(相同浓度发酵液)和 5 mL ABTS 工作液于试管中,摇匀静置 10 min 后于 734 nm 处测定吸光度,以不加样品的 ABTS 工作液作为参比,平行测定 3 次取平均值,通过计算得出 ABTS 自由基清除率(%)。

1.3.6 数据分析

采用 Excel 软件进行数据的统计分析,用 SPSS

21.0 统计软件进行方差分析和显著性比较,当 $p<0.05$ 时,表明具有显著性差异,各组实验结果数据均以平均数 $\pm$ 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 液体深层发酵对粤北大果山楂发酵液中

总酚含量的影响

张晓波等^[14]研究显示,酚类物质是大果山楂中的主要活性成分,实验跟踪检测了粤北不同产区大果山楂发酵液中总酚含量随发酵时间的变化,每7 d 取样1次测定发酵液中的总酚含量,制作总酚含量随发酵时间的变化曲线,如图2所示。

由图2可知,随着发酵的进行,粤北不同产区大果山楂发酵液中的总酚含量均呈现先升后降、最后趋于平稳的趋势,乳源山楂发酵液中的总酚含量显著高于连山和英德山楂发酵液。发酵0~28 d,发酵液中的总酚含量快速升高,英德大果山楂发酵液中总酚含量升幅最高,达到69.92 mg 没食子酸/g 大果山楂干重,比发酵前提高了12.09%,连山大果山楂发酵液中总酚含量升幅最低,为70.02 mg 没食子酸/g 大果山楂干重,比发酵前提高了10.76%。从第28 d开始,发酵液中的总酚含量开始下降,且下降速度逐渐减缓,至发酵结束时(第56 d),各发酵液中的总酚含量仍均高于发酵前。

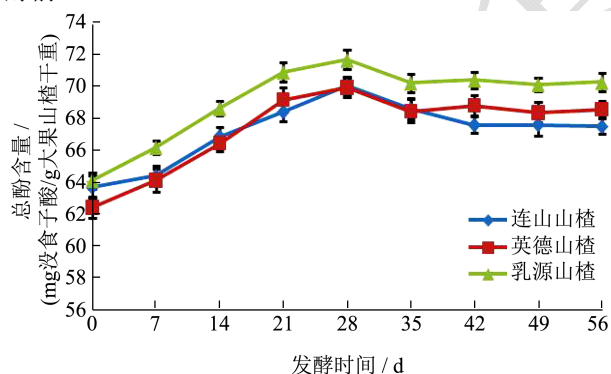


图2 粤北大果山楂发酵液中的总酚含量变化

Fig.2 Changes in total phenol content of fermented liquid of *Malus doumeri* fruits from different areas in northern Guangdong province

2.2 液体深层发酵对粤北大果山楂发酵液中

总黄酮含量的影响

黄欣欣等^[15]研究显示,黄酮类物质是大果山楂中的主要活性成分,实验跟踪检测了粤北不同产区大果

山楂中总黄酮含量随发酵时间的变化,每7 d 取样1次测定发酵液中的总黄酮含量,制作总黄酮含量随发酵时间的变化曲线,如图3所示。

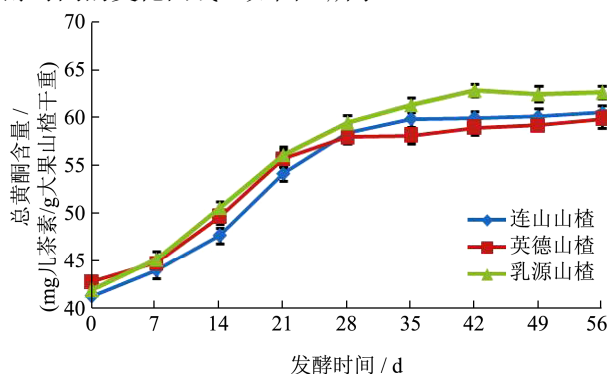


图3 粤北大果山楂发酵液中的总黄酮含量变化

Fig.3 Changes in total flavonoids content of fermented liquid of *Malus doumeri* fruits from different areas in northern Guangdong province

由图3可知,随着发酵的进行,粤北不同产区大果山楂发酵液中的总黄酮含量均呈现先上升后逐渐趋于平稳的趋势,产地之间有差异但不显著。发酵0~28 d,不同产区大果山楂发酵液中的总黄酮含量均快速升高。从第28 d开始,升速减缓且不同产区的升幅之间开始出现差异,英德大果山楂发酵液中总黄酮含量升速最慢,至发酵结束时(第56 d),总黄酮含量为59.87 mg 儿茶素/g 大果山楂干重,较发酵前增加了39.85%,乳源大果山楂发酵液中总黄酮含量升速最快,至发酵结束时(第56 d),总黄酮含量为62.66 mg 儿茶素/g 大果山楂干重,较发酵前增加了46.53%。

2.3 液体深层发酵对粤北大果山楂发酵液中

总三萜含量的影响

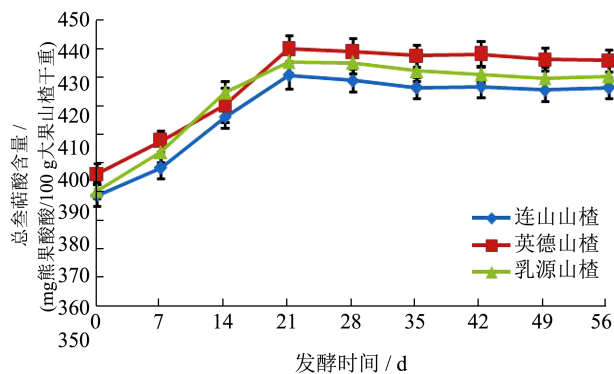


图4 粤北大果山楂发酵液中的总三萜含量变化

Fig.4 Changes of total triterpene acid content of fermented liquid of *Malus doumeri* fruits from different areas in northern Guangdong province

黎海彬等^[16]研究显示,三萜类物质是大果山楂中

的主要活性成分,实验跟踪检测了粤北不同产区大果山楂中总叁萜含量随发酵时间的变化,每7 d取样1次测定发酵液中的总三萜含量,制作总叁萜含量随发酵时间的变化曲线,如图4所示。

由图4可知,随着发酵的进行,粤北不同产区大果山楂发酵液中的总叁萜含量均呈现先上升后缓慢下降直至逐渐平稳的趋势,产地之间有差异但不显著。发酵0~21 d,粤北不同产区大果山楂发酵液中的总叁萜含量均快速升高,至第21 d达到顶峰,其中乳源大果山楂发酵液中的总三萜含量升至435.25 mg熊果酸/100 g大果山楂干重,增幅最大,达到10.22%。从第21 d开始,各发酵液中的总三萜含量逐渐下降,到第49 d时基本趋于平稳,至发酵结束时(第56 d),各发酵液中的总三萜含量仍均高于发酵前。

2.4 液体深层发酵对粤北大果山楂发酵液抗氧化能力的影响

2.4.1 大果山楂发酵液的氧自由基吸收能力(ORAC)

实验跟踪检测了不同发酵时间段粤北不同产区大果山楂发酵液的氧自由基吸收能力,每7 d取样1次测定发酵液的氧自由基吸收能力,制作了粤北不同产区大果山楂发酵液的氧自由基吸收能力变化图,如图5所示。

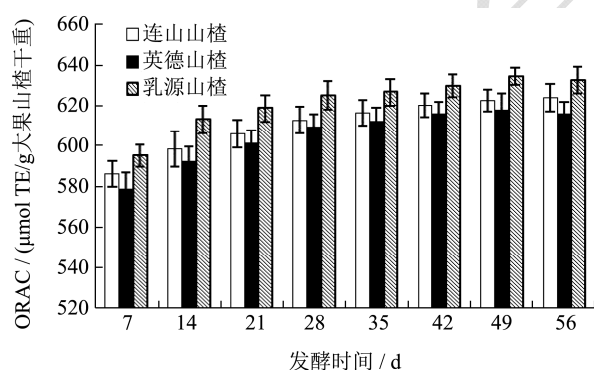


图5 粤北不同产区大果山楂发酵液的氧自由基吸收能力变化

Fig.5 Change in ORAC of fermented liquid of *Malus doumeri* fruits from different areas in northern Guangdong province

由图5可知,粤北不同产区大果山楂发酵液的氧自由基吸收能力均随发酵时间的延长逐渐增加,产地之间有差异,乳源大果山楂发酵液的ORAC显著高于英德大果山楂发酵液,ORAC:乳源山楂>连山山楂>英德山楂。第0~28 d,不同发酵液的氧自由基吸收能力均快速增加,此后增速减缓。从第49 d开始,乳源和英德产大果山楂发酵液的氧自由基吸收能力出现小幅下降,但仍明显高于发酵前。发酵过程中,英德大

果山楂发酵液的氧自由基吸收能力峰值为617.92 μmol TE/g大果山楂干重,在不同产区间增幅最大,较发酵前增加了6.80%。至发酵结束时(第56 d),其氧自由基吸收能力有所下降,但仍较发酵前增加了6.43%。

2.4.2 大果山楂发酵液的氧自由基清除能力(PSC)

实验跟踪检测了不同发酵时间段粤北不同产区大果山楂发酵液的氧自由基清除能力,每7 d取样1次测定发酵液的氧自由基清除能力,制作了粤北不同产区大果山楂发酵液的氧自由基清除能力变化图,如图6所示。

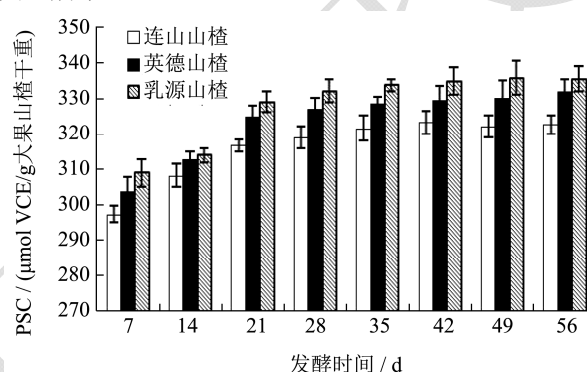


图6 粤北不同产区大果山楂发酵液的氧自由基清除能力

Fig.6 Change in PSC of fermented liquid of *Malus doumeri* fruits from different areas in northern Guangdong province

由图6可知,粤北不同产区大果山楂发酵液的氧自由基清除能力均随发酵时间的延长逐渐增加,产地之间有差异但不显著,PSC:乳源山楂>英德山楂>连山山楂,第0~21 d,不同发酵液的氧自由基清除能力均快速增加,此后增速减缓,至第49 d时,连山产大果山楂发酵液的氧自由基清除能力出现了小幅下降,但仍明显高于发酵前。至发酵结束时(第56 d),英德大果山楂发酵液的氧自由基清除能力增幅最大,为331.98 μmol VCE/g大果山楂干重,较发酵前增加了9.29%。

2.4.3 大果山楂发酵液的DPPH自由基清除率

实验跟踪检测了不同发酵时间段粤北不同产区大果山楂发酵液的DPPH自由基清除率,每7 d取样1次测定发酵液的DPPH自由基清除率,制作了粤北不同产区大果山楂发酵液的DPPH自由基清除率变化图,如图7所示。

由图7可知,第0~42 d,粤北不同产区大果山楂发酵液的DPPH自由基清除率均随发酵时间的延长逐渐增加,产地之间有差异但不显著,乳源大果山楂发酵液的DPPH自由基清除率增幅最大,为79.85%,较发酵前增加了56.42%。从第42 d开始,乳源和连山

产大果山楂发酵液的 DPPH 自由基清除率开始出现小幅下降, 英德产大果山楂发酵液的 DPPH 自由基清除率从第 49 d 开始出现小幅下降, 但至发酵结束时 (第 56 d), 仍均显著高于发酵前。

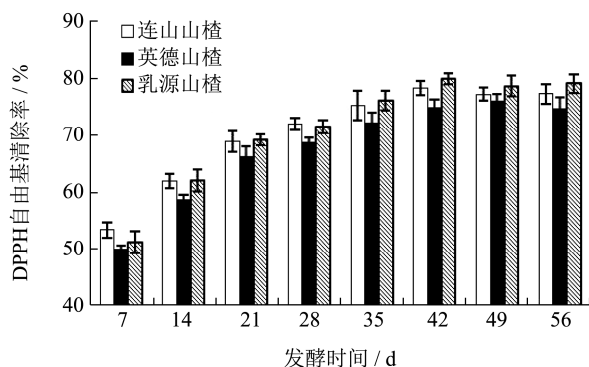


图7 粤北不同产区大果山楂发酵液的 DPPH 自由基清除率

Fig.7 Change in DPPH of fermented liquid of *Malus doumeri* fruits from different areas in northern Guangdong province

2.4.4 大果山楂发酵液的 ABTS 自由基清除率

实验跟踪检测了不同发酵时间段粤北不同产区大果山楂发酵液的 ABTS 自由基清除率, 每 7 d 取样 1 次测定发酵液的 ABTS 自由基清除率, 制作了粤北不同产区大果山楂发酵液的 ABTS 自由基清除率变化图, 如图 8 所示。

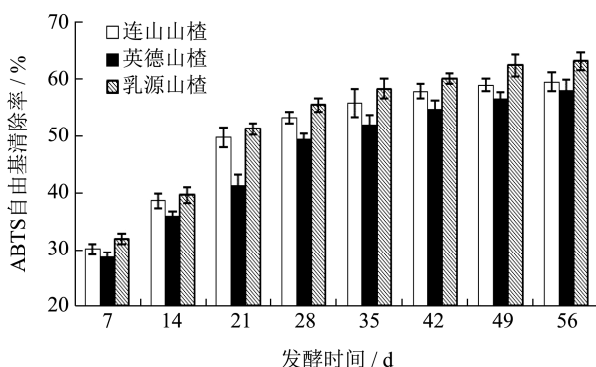


图8 粤北不同产区大果山楂发酵液的 ABTS 自由基清除率

Fig.8 Change in ABTS of fermented liquid of *Malus doumeri* fruits from different areas in northern Guangdong province

由图 8 可知, 粤北不同产区大果山楂发酵液的 ABTS 自由基清除率均随发酵时间的延长而增加, 第 0~21 d, 连山和乳源产大果山楂发酵液的 ABTS 自由基清除率快速增加, 之后增速减缓, 而英德产大果山楂发酵液的 ABTS 自由基清除率在第 0~28 d 内快速增加, 之后才出现增速减缓现象。至发酵结束时 (第 56 d), 各发酵液的 ABTS 自由基清除率均明显高于发酵前, 其中英德产大果山楂发酵液的 ABTS 自由基清除率增幅最大, 达到 57.96%, 较发酵前增加了 102.30%, 乳源和连山产大果山楂发酵液的 ABTS 自由基清除率也有很大增幅, 达到 63.25%和 59.56%, 分别较发酵

前增加了 98.40%和 98.01%。

3 结论

3.1 液体深层发酵对粤北大果山楂主要活性

成分的影响

本研究所使用的大果山楂为同一品种, 但粤北不同地区种植出的果实大小和水分含量有差异, 乳源产的大果山楂比英德和连山产的略小, 这与果实中的水分含量差异有关, 因为水分供给量可能会影响大果山楂的果实大小, 这与温玲蓉等^[17]的研究观点相似。粤北三个产区大果山楂发酵液中的主要活性成分没有显著性差异, 随发酵的进行, 其变化趋势比较接近。总酚含量在第 28 d 达到顶峰, 之后开始小幅下降, 至发酵结束时 (第 56 d), 各发酵液中的总酚含量仍均高于发酵前; 总三萜含量随发酵的进行先上升, 至第 21 d 达到顶峰, 之后开始小幅下降, 至发酵结束时 (第 56 d), 各发酵液中的总三萜含量仍均高于发酵前; 总黄酮含量随发酵的进行逐渐上升, 从第 21 d 开始, 升速减缓且不同产区的升幅之间出现差异, 英德大果山楂发酵液中总黄酮含量升速最慢, 至发酵结束时 (第 56 d), 总黄酮含量较发酵前增加了 39.85%, 乳源大果山楂发酵液中总黄酮含量升速最快, 至发酵结束时 (第 56 d), 总黄酮含量较发酵前增加了 46.53%。发酵过程中大果山楂发酵液中主要活性成分含量的增加可能是由于细胞破裂, 这些物质不断溶出所造成的, 也有可能是由于原本的大分子物质被分解成小分子, 从而在检测结果上显示出含量增加的现象^[18]。发酵后期, 这些主要活性成分含量出现了小幅下降的现象, 可能是由于被氧化或被降解造成的, 后续研究还可以延长发酵时间, 进一步观察这些活性成分的变化规律, 分析其变化的原因。

3.2 液体深层发酵对粤北大果山楂抗氧化活性的影响

粤北大果山楂发酵液的 ORAC、PSC、DPPH 和 ABTS 自由基清除率均随发酵时间的延长而逐渐提高, 但第 0~21 d 提高较快, 随后提高的速度逐渐减缓, ORAC 最大增幅为 6.80%, PSC 最大增幅为 9.29%, DPPH 自由基清除率最大增幅为 56.42%, ABTS 自由基清除率最大增幅为 102.30%。可以看出, 大果山楂发酵液的抗氧化能力变化与其中的主要活性成分变化规律呈现正相关, 特别是 DPPH 和 ABTS 自由基清除

率增幅都很大,说明总酚、总黄酮和总三萜等物质的含量很可能是 DPPH 和 ABTS 自由基清除率变化的重要因素。通过对大果山楂发酵液抗氧化活性的研究,有利于确定大果山楂发酵的合适周期,为大果山楂发酵类产品的开发提供一定的理论依据。

参考文献

- [1] 张巧,叶春玲,商飞飞,等.大果山楂酵素的多菌种发酵工艺研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2019,40(5): 70-76
ZHANG Qiao, YE Chun-ling, SHANG Fei-fei, et al. Study on the multi-strain fermentation technology of *Malus domeri* (Bois) Chev. enzyme [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2019, 40(5): 70-76
- [2] 潘莹,张林丽.大果山楂的研究进展[J].时珍国医国药, 2007,18(12):2972-2973
PAN Ying, ZHANG Lin-li. Research progress of hawthorn fruit [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2007, 18(12): 2972-2973
- [3] 广西壮族自治区卫生厅.广西中药材标准(1990 年版)[M]. 广西:广西科学技术出版社,1992.35-36.
The Health Department of Guangxi Zhuang Autonomous Region. Standard for Chinese Medicinal Materials of Guangxi (Version of 1990) [M]. 1992, Guangxi: Science and Technology Press of Guangxi. 1992, 35-36.
- [4] 陈亚楠,汪云阳,王德行,等.植物乳杆菌发酵陈皮柑饮料的工艺优化与分析[J].饮料工业,2019,22(5):28-34.
CHEN Ya-nan, WANG Yun-yang, WANG De-hang, et al. Optimization and analysis of Chenpi Citrus beverage fermented by *Lactobacillus plantarum* [J]. The Beverage Industry, 2019, 22(5): 28-34.
- [5] 孙佳静,李貌,孙志洪,等.胶红酵母产类胡萝卜素固态发酵工艺[J].中国农业科学,2018,51(10):1982-1994
SUN Jia-jing, LI Mao, SUN Zhi-hong, et al. The solid-state fermentation process of *Rhodotorula mucilaginosa* for producing carotenoids [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(10): 1982-1994
- [6] Wen L, Yang B, Cui C, et al. Ultrasound-assisted extraction of phenolics from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit seed with artificial neural network and their antioxidant activity [J]. Food Analytical Methods, 2012, 5(6): 1244-1251
- [7] He X, Liu D, Liu R H. Sodium borohydride/chloranil-based assay for quantifying total flavonoids [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(20): 9337-9344
- [8] O M Khishova, N V Dubashinskaya, Yu A Golyak. Quantitative determination of total triterpenoidsaponins in *Polemonium caeruleum* rhizomes and roots [J]. Pharmaceutical Chemistry Journal, 2008, 42(8): 456-459
- [9] Huang D J, Ou B X, Hampsch Woodill M, et al. High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(16): 4437-4444
- [10] Wen L, Gao Q, Ma C-w, et al. Effect of polysaccharides from *Tremella fuciformis* on UV-induced photoaging [J]. Journal of Functional Foods, 2016, 20: 400-410
- [11] Adom K K, Liu R H. Rapid peroxy radical scavenging capacity (PSC) assay for assessing both hydrophilic and lipophilic antioxidants [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(17): 6572-6580
- [12] Blois M S. Antioxidant determination by use of stable free radicals [J]. Nature, 2016, 29(4617): 1199-1200
- [13] 王存堂,高增明,姜辰昊,等.黄色洋葱皮不同溶剂多酚提取物的总酚、总黄酮含量及抗氧化活性[J].食品工业科技,2019,40(20):325-328,339
WANG Cun-tang, GAO Zeng-ming, JIANG Chen-hao, et al. Content of total phenols, flavonoids and its antioxidant activities of various solvent polyphenol extracts from yellow onion peel [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(20): 325-328, 339
- [14] 张晓波,邓捷,温玲蓉,等.不同品种山楂活性成分及其抗氧化活性的研究[J].现代食品科技,2017,33(9):91-95,292
ZHANG Xiao-bo, DENG Jie, WEN Ling-rong, et al. Bioactive compounds of different hawthorn cultivars and their antioxidant activities [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(9): 91-95, 292
- [15] 黄欣欣,叶志青,郭兵兵,等.响应面法优化回流提取大果山楂总黄酮工艺[J].南方农业学报,2015,46(6): 1089-1095
HUANG Xin-xin, YE Zhi-qing, GUO Bing-bing, et al. Reflux extraction process optimization of total flavonoids from *Malus domeri* (Bois) Chev. fruits by response surface methodology [J]. Journal of Southern Agriculture, 2015, 46(6): 1089-1095
- [16] 黎海彬.山楂中有效成分含量测定的研究[J].食品科学, 2008,29(8):475-477
LI Hai-bin. Study on Determination of effective ingredients in *Crataegus pinatigide* Bge [J]. Food Science, 2008, 29(8): 475-477