

“藜麦加工、营养与品质调控” 特约专栏文章之四

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.04.004

李梦瑶, 石俊如, 布合加尔·克热木尼亚孜, 等. 藜麦固态发酵及其产物的体外抗氧化性质研究[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(4): 30-36.
LI M Y, SHI J R, BUHEJIAER K, et al. Research on in vitro antioxidant properties of quinoa solid-state fermentation and its products[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(4): 30-36.

藜麦固态发酵及其产物的体外 抗氧化性质研究

李梦瑶, 石俊如, 布合加尔·克热木尼亚孜, 曹洪伟, 黄凯, 李森, 管骁✉

(上海理工大学 医疗器械与食品学院, 上海 200093)

摘要: 筛选不同颜色藜麦营养价值较高的品种并揭示藜麦品种间抗氧化性质的差异。以红藜、白藜、黑藜三种不同颜色种类的藜麦为原料, 对其进行固态发酵, 从总糖、总酸、氨基酸态氮、pH 值四个方面评价藜麦固态发酵产物的营养价值, 对总酚含量进行测定, 以 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 自由基清除率、铁离子的还原能力等为外抗氧化指标, 通过单因素实验探究不同颜色的藜麦品种对固态发酵产物抗氧化性的影响。结果表明: 以大米为参照, 在相同发酵条件下, 大米的总糖含量明显高于藜麦 ($P<0.05$), 不同颜色的藜麦总糖含量存在差异; 黑藜和红藜的总酸含量明显高于白藜 ($P<0.05$); 藜麦的氨基酸态氮含量高于大米 ($P<0.05$), 且黑藜与红藜相近略高于白藜; 黑藜的 DPPH 清除率高于红藜与白藜; 藜麦的铁离子还原能力远高于大米, 且红黑藜的还原能力较强。在三种藜麦中, 黑藜与红藜的抗氧化性较强, 营养价值也更高, 白藜在总糖与总酸上更为均衡化。

关键词: 藜麦; 抗氧化性; 固态发酵; 自由基清除率

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)04-0030-07

网络首发时间: 2021-07-02 11:28:10

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20210702.1054.013.html>

Research on Vitro Antioxidant Properties of Quinoa Solid-State Fermentation and its Products

LI Meng-yao, SHI Jun-ru, BUHEJIAER Kerremuniyazi,

CAO Hong-wei, HUANG Kai, LI Sen, GUAN Xiao✉

(School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to filter quinoa varieties with higher nutritional value and reveal the differences in antioxidant properties between quinoa varieties, this paper used red quinoa, white quinoa and black quinoa as raw materials, and conducted solid-state fermentation on quinoas. The total sugar content, total acid content, amino acid nitrogen content and pH value in fermentation products were considered to evaluate the nutritional

收稿日期: 2021-04-22

基金项目: 上海市青年科技英才扬帆计划 (34-20-308-004); 上海市科委地方高校能力建设项目 (20060502100)

Supported by: Shanghai Sailing Program (No.34-20-308-004); Capacity building project of local universities of Shanghai Science and Technology Commission (No.20060502100)

作者简介: 李梦瑶, 女, 1994 年出生, 在读研究生, 研究方向为谷物精深加工。E-mail: 1142040084@qq.com.

通讯作者: 管骁, 男, 1979 年出生, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为谷物加工与营养。E-mail: gnxo@163.com.

value of quinoa solid-state fermentation products. The total phenol content was examined, scavenging activity to DPPH free radicals. Iron ion reduction ability were as the antioxidant index, while the effect of different colors of quinoa varieties on the antioxidant properties of solid-state fermentation products was explored through single factor experiments. Taking rice as a reference, under the same fermentation conditions, the total sugar content of rice was significantly higher than that of quinoa ($P < 0.05$), while the total sugar content of quinoa of different colors was also different. The total acid content of black quinoa and red quinoa was significantly higher than that of white quinoa ($P < 0.05$). The amino acids nitrogen content of quinoa was higher than that of rice ($P < 0.05$), and black quinoa and red quinoa were slightly higher than white quinoa. The scavenging activity to DPPH free radicals of black quinoa was higher than that of red quinoa and white quinoa. The iron reduction ability of quinoa was much higher than that of rice, and red and black quinoa were stronger. Among the three types of quinoa, the black quinoa and red quinoa had stronger antioxidant properties and higher nutritional value, but the white quinoa was more balanced in total sugar and total acid.

Key words: quinoa; solid-state fermentation; antioxidant activity; free radical scavenging rate

藜麦 (*Chenopodium quinoa Willd*) 是一种原产于南美洲安第斯山脉地区的农作物, 属苋科藜属的一年生双子叶植物^[1], 其种子颜色主要有黑、红、白几种颜色^[2]。藜麦营养价值丰富, 富含氨基酸、优质蛋白质以及多酚、皂苷等生物活性物质^[3-5], 其蛋白质氨基酸比例均衡, 可调节机体的脂肪代谢, 进而起到降低血脂的作用; 与其他谷物相比, 藜麦具有很高的抗氧化能力, 可作为天然抗氧化剂的来源, 也被推荐为最适合人类的完美全营养食品^[6], 现已被多个国家引进种植, 我国在 1987 年将其引进西藏地区并开始种植, 自 2015 年更是在山西、内蒙、青海等多个地区开始种植^[7]。

近年来, 藜麦已经引起各类研究者、生产者及普通消费者广泛的关注, 但藜麦作为有待普及和推广的新兴作物, 对藜麦的理论研究和开发利用尚有待深入。固态发酵 (Solid State Fermentation, SSF) 是指利用不溶性固体基质来培养微生物的过程, 培养基呈固态, 含水丰富, 但没有或几乎没有自由流动水的状态下进行的一种或多种微生物发酵过程, 底物 (基质) 是不溶于水的聚合物, 它不仅可以提供微生物所需碳源、氮源、无机盐、水及其它营养物质, 还是微生物生长的场所^[8-9]。固态发酵是一种经济高效的绿色发酵方式^[10], 有文献表明固态发酵可以提高谷物营养价值^[11], 但目前对藜麦进行固态发酵的研究较少。

本研究以三种不同颜色种类的藜麦为原料,

对其进行固态发酵, 测定其发酵产物中总糖、总酸、氨基酸态氮含量, 并测定其 pH 值, 筛选出营养价值高的藜麦品种; 并研究藜麦固态发酵后发酵产物的抗氧化活性, 以 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 自由基清除率和铁离子还原能力为指标, 筛选抗氧化性能最优的藜麦品种, 旨在全面揭示不同颜色藜麦品种之间抗氧化性质的差异, 同时为藜麦食品的开发利用提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

黑色藜麦、红色藜麦、白色藜麦: 山西五台山; 麦曲、块曲: 上海金枫酒业有限公司; 酵母: 安琪酵母股份有限公司。

亚铁氰化钾三水合物、无水硫酸铜、甲基红、亚甲基蓝、酒石酸钾钠、D-无水葡萄糖、三氯乙酸: 上海维塔化学试剂有限公司; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH)、没食子酸: 上海阿拉丁生物科技股份有限公司; 福林酚、氢氧化钠、盐酸、六氰合铁酸钠、二水合磷酸二氢钠、十二水合磷酸氢二钠、无水三氯化铁、甲醛: 国药集团有限公司。

1.2 主要仪器与amp;设备

霉菌培养箱: 上海一恒科学仪器有限公司; Himac CR22N 高速冷冻离心机: 日本日立公司; L550 台式低速大容量离心机: 长沙湘仪离心机仪器有限公司; UV-2800A 型紫外可见分光光度计:

美国尤尼柯公司; WK2102T 电磁炉: 美的集团有限公司; IKA RO5 多点磁力搅拌器: 艾卡仪器设备有限公司; FE20 pH 计: 梅特勒-托利多仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 藜麦预处理

将 160 g 藜麦在 320 mL 蒸馏水中浸泡 1 h, 沥干水分, 然后放入垫有四层纱布的蒸锅上蒸煮 30 min, 将蒸熟的藜麦放在铁盘中平铺开凉至温度 30 °C 以下备用。

1.3.2 固态发酵

将藜麦、128 mL 蒸馏水、4 g 麦曲、12 g 块曲、酵母液 (0.16 g 酵母溶于 16 mL 糖水中, 在 35 °C 水浴加热 15 min) 混合均匀, 四层纱布封口放入霉菌培养箱中, 温度设定为 28 °C。

分别取 12、24、36、48、60、72、84、96 h 的发酵液。将发酵完的藜麦在 4 000 r/min 条件下离心 30 min, 并用滤纸过滤, 取得原液, 在 4 °C 保存, 备用待测。

1.3.3 总糖的测定

总糖的测定: 根据国标 GB/T 13662—2018 《黄酒》采用亚铁氰化钾滴定法测定。预先配好费林试剂甲、乙液, 葡萄糖标准溶液 (1 g/L), 6 mol/L HCl 溶液, 200 g/L NaOH 溶液, 1 g/L 甲基红指示液。

吸取费林甲溶液和费林乙溶液各 5 mL 于 100 mL 锥形瓶中, 加入葡萄糖标准溶液 9 mL, 摇匀后加入 2 粒沸石, 置于电炉上加热, 在 2 min 内沸腾, 然后用葡萄糖标准溶液滴定, 直至蓝色消失变为黄色, 记作滴定终点, 记录消耗的葡萄糖标准溶液的体积 V_1 。

1.3.3.1 制样 吸取试样 5 mL 于 100 mL 容量瓶中, 加入蒸馏水 30 mL 和 HCl 溶液 5 mL, 在 70 °C 水浴中加热 15 min, 冷却, 加入两滴甲基红指示液, 用 NaOH 溶液中和至红色消失。加水定容 100 mL, 摇匀, 过滤, 作为试样水解液备用。

1.3.3.2 预滴定 吸取费林甲液、乙液及试样水解液各 5 mL 于 100 mL 锥形瓶中, 摇匀后加入 2 粒沸石置于电炉上加热至沸腾, 用葡萄糖标准溶液滴定至终点, 记录消耗的葡萄糖标准溶液的体积 V_2 。

1.3.3.3 滴定 吸取费林甲液、乙液及试样水解液各 5 mL 于 100 mL 锥形瓶中, 加入比预滴定少 1.00 mL 的葡萄糖标准溶液, 摇匀后加入 2 粒沸石置于电炉上加热至沸腾, 用葡萄糖标准溶液滴定至终点。记录消耗的葡萄糖标准溶液的体积 (V_3)。

试样中总糖含量 X 计算为:

$$X = \frac{(V_1 - V_3) * \rho * n}{5} * 1000$$

式中:

ρ ——葡萄糖标准溶液的浓度, 单位为 g/mL;

n ——试样的稀释倍数。

1.3.4 总酸和氨基酸态氮的测定

参照刘安康^[12]等实验方法并调整, 吸取试样 10 mL 于 100 mL 锥形瓶中, 加入蒸馏水 50 mL。锥形瓶中放入磁力搅拌子, 置于磁力搅拌器上搅拌。用 0.1 mol/L NaOH 标准滴定液滴定, 开始时快速滴定至 pH 7.00, 此后放慢滴定速度, 直至 pH 8.20 为终点, 记录消耗 NaOH 标准滴定溶液的体积 V_1 。加入甲醛溶液 10 mL, 继续用 NaOH 标准滴定溶液滴定至 pH 9.20, 记录消耗 NaOH 标准滴定溶液的体积 V_2 。同时做空白实验, 分别记录不加甲醛溶液及加入甲醛溶液时, 空白实验实验所消耗 NaOH 标准滴定溶液的体积 V_3 、 V_4 。

总酸含量 X_1 如下:

$$X_1 = \frac{(V_1 - V_3) * c * 90}{V_0}$$

酸态氮含量 X_2 如下:

$$X_2 = \frac{(V_2 - V_4) * c * 14}{V_0}$$

式中:

X_1 ——试样中总酸的含量, 单位为 g/L;

X_2 ——试样中氨基酸态氮的含量, 单位为 g/L;

c ——NaOH 标准滴定溶液的浓度, 单位为 mol/L;

V_0 ——吸取试样的体积, 单位为 mL。

1.3.5 总酚含量的测定

吸取 2 mL 离心发酵液上清, 加入 10 mL 80% 甲醇溶液, 45 °C 条件下水浴 1 h, 4 000 r/min 离心 10 min 收集上清。采用 Folin-酚试剂测定多酚

含量^[13]，取 1 mL 提取液，加入 0.5 mL 福林酚试剂，混匀后静置 5 min，然后加入 1.5 mL 20% Na₂CO₃ 溶液，去离子水定容至 10 mL，混匀后避光静置 1 h，在 760 nm 下测定吸光度。以没食子酸为标准品绘制标准曲线。总酚含量以没食子酸当量 μg GAE/mL DW 表示。

1.3.6 体外抗氧化指标测定

1.3.6.1 DPPH 自由基清除活性 参照 Ye 等^[14]方法，并进行调整。配置 DPPH 溶液：用无水乙醇配制 0.1 mmol/L 的 DPPH 溶液，避光保存。将 1 mL 测试样品溶液及 1 mL DPPH 溶液加入到同一试管中，摇匀，室温下暗处静置 30 min 后以 3 000 r/min 离心 10 min，测定其吸光度 A_{sample}，同时测定 1 mL DPPH 溶液与 1 mL 乙醇混合后的吸光度 A_{control}，以及 1 mL 测试样品溶液与 1 mL 无水乙醇混合后的吸光度 A_{blank}。

自由基清除能力的表示：

$$\text{清除率}(\%) = 1 - \frac{A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}}}{A_{\text{control}}} * 100\%$$

1.3.6.2 还原能力测定 参照 Oyaizu^[15]方法，并作调整。取 0.4 mL 样品和 1 mL 磷酸缓冲液 (0.1 mol/L, pH 7.4) 以及 1 mL 1% 铁氰化钾溶液混合，于 50 °C 水浴中加热 20 min，冷却到室温后加入 1 mL 10% TCA 混匀，静置 15 min。取 1 mL 上清液，加入 0.2 mL 0.1% 三氯化铁溶液和 1 mL 水。10 min 后，在 700 nm 处测吸光度。

1.4 数据分析

使用 Excel 对数据进行处理，并用 Origin 2018 软件进行绘图分析，采用单因素方差分析中的 Duncan 多重比较法分析结果间的显著差异 ($P < 0.05$ 表示具有显著性差异)。每组实验重复 3 次，结果以 (平均值±标准差) 表示。

2 结果与分析

2.1 总糖含量变化

发酵过程中黑藜、红藜、白藜总糖含量的变化见图 1，从图 1 可以看出，大米在发酵过程中总糖的含量显著高于藜麦 ($P < 0.05$)，这是由于大米所含碳水化合物尤其是淀粉含量相对较高所导致，藜麦中淀粉含量通常为 60%^[16]，而大米淀粉含量可高达 75% 以上^[17]。研究发现，藜麦与大米

在发酵过程中均出现了总糖含量先升高后降低的趋势，这是因为发酵前期淀粉被霉菌及其他一些细菌分泌的淀粉酶、糖化酶等大量分解导致了总糖的升高和相应微生物的增殖，但随着总糖含量达到一定高度，酵母菌开始大量增殖且不断消耗产生的还原糖，从而导致总糖含量的降低。其中藜麦的总糖含量在发酵 24 h 时达到最高，而大米则需发酵 36 h。藜麦的发酵随着时间的延长，在 48 h 总糖含量趋于稳定，且白藜的总糖含量要高于黑、红藜，大米的总糖含量则持续降低，此现象与酵母的增殖与藜麦、大米中淀粉含量相关。

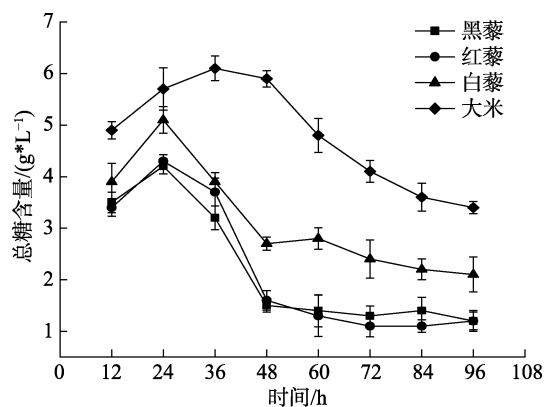


图 1 发酵过程中黑藜、红藜、白藜总糖含量的变化
 Fig. 1 Changes of total sugar content of black quinoa, red quinoa and white quinoa during fermentation

2.2 总酸含量变化

发酵过程中黑藜、红藜、白藜总酸含量的变化见图 2，从图 2 可以看出，大米及藜麦在发酵前期总酸含量持续上升，是整个菌群环境不断调整的结果。不适应酸性环境的菌体生长受到抑制，能够适应酸性环境的菌体开始不断增殖并形成优势菌群。结合总糖含量的变化规律，发现总酸含量在 48 h 时趋于稳定，与总糖含量变化趋于稳定的时间点相吻合，是弱势菌群持续产酸而优势菌群则以已产的有机酸为底物继续发酵，导致了总酸含量变化减缓。相比较于藜麦，大米总酸持续增加，是因为其淀粉含量较高，从而淀粉水解时间过长。藜麦淀粉的颗粒相对较小，粒径仅几微米甚至纳米级^[18-19]，而大米淀粉颗粒则高达几十微米，此因素也可能导致大米淀粉的水解时间相对延长，从而产酸持续增加。此外，藜麦发酵中总酸含量显著高于大米，有可能是发酵初期，藜

麦中乳酸菌增殖相对较高。

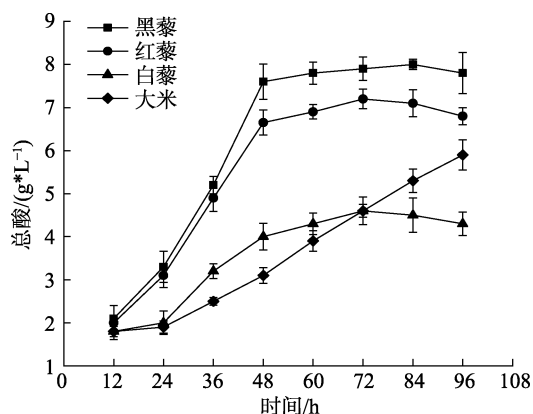


图 2 发酵过程中黑藜、红藜、白藜总酸含量的变化

Fig. 2 Changes of total acid content of black quinoa, red quinoa and white quinoa during fermentation

2.3 pH 的变化

在发酵过程中，藜麦的 pH 变化总体呈下降趋势，而大米的 pH 则先降低再平稳最后略有上升的趋势，结果如图 3 所示。相较于大米，藜麦发酵过程中 pH 的变化相对较小，由于所用发酵剂为酒曲，其中富含霉菌、酵母、乳酸菌等各类微生物，均可以产生各类酸类物质，从而可以导致 pH 的降低，但相比较于藜麦，大米在发酵过程中由于淀粉含量的相对较高，发酵后期能够通过酵母的增殖不断将有机酸转化为酒精，因此，pH 的变化会呈现后期相对平稳甚至上升的趋势。对于藜麦的 pH 持续下降，是因为发酵后期蛋白酶对于蛋白的持续分解，由于蛋白质氨基酸组成的差异，导致游离出的氨基酸所带酸碱性差异，从而导致了大米、藜麦的 pH 值存在一定区别。

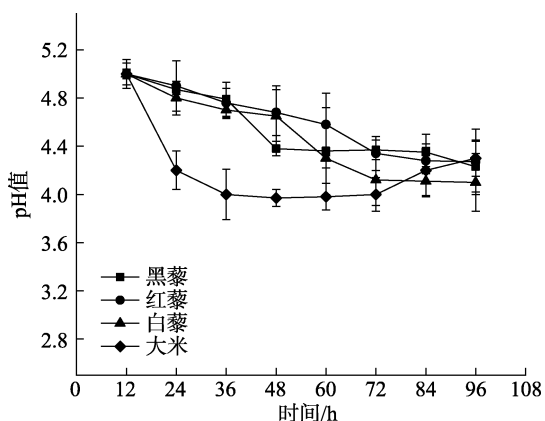


图 3 发酵过程中黑藜、红藜、白藜 pH 的变化

Fig. 3 pH changes of black quinoa, red quinoa and white quinoa during fermentation

2.4 氨基酸态氮含量变化

氨基酸态氮是指以氨基酸形式存在的氮元素的含量，可以用来判断发酵程度。如图 4 所示，随着发酵的进行，藜麦发酵产物中氨基酸态氮总体变化呈上升趋势，而大米则呈现先增加后稳定的趋势。由于藜麦中蛋白质含量几乎是大米的两倍^[20]，因此，随着微生物分泌的蛋白酶不断酶解蛋白，藜麦的氨基酸态氮要高于大米，发酵前期，原料中的蛋白质大都被一些高产蛋白酶微生物，如霉菌类，进行分解形成低分子的肽和游离氨基酸，因此其氨基酸态氮含量上升较快。

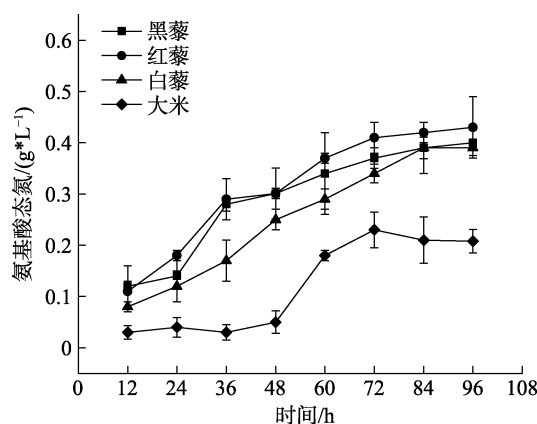


图 4 发酵过程中黑藜、红藜、白藜氨基酸态氮含量的变化

Fig. 4 Changes of amino acid nitrogen content in black quinoa, red quinoa and white quinoa during fermentation

2.5 总酚含量变化

谷物中存在大量的多酚黄酮类抗氧化物质，主要以游离态、可溶酯化态和不溶结合态形式存在^[21]，但谷物中可游离出的酚类或黄酮类物质含量相对较低，Raj 等^[22]研究发现固态发酵（5 d）可以显著提高玉米总酚（游离酚）含量及抗氧化活性。通过微生物发酵法可有效释放谷物中与淀粉、蛋白等物质结合的酚类物质，从而能有效提升抗氧化效果。如图 5 所示，随着发酵时间的延长，藜麦与大米的总酚含量不断增加，但当发酵时间超过 48 h，总酚含量呈下降趋势。发酵前期总酚含量的增加是蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶等酶的不断增加，从而有效的释放结合酚的结果。但随着发酵时间的延长，微生物会消耗所产生的酚类物质，导致含量降低。此外，藜麦发酵中总酚含量显著高于大米 ($P < 0.05$)，一方面，大米经加工后，大量的酚类物质随着脱壳、脱皮处理造

成了流失，而藜麦未经过精细加工，从而保留了大部分的酚类物质；另一方面，藜麦本身的酚类物质含量就高于大米，从而在发酵释放过程中总酚含量也高于大米。

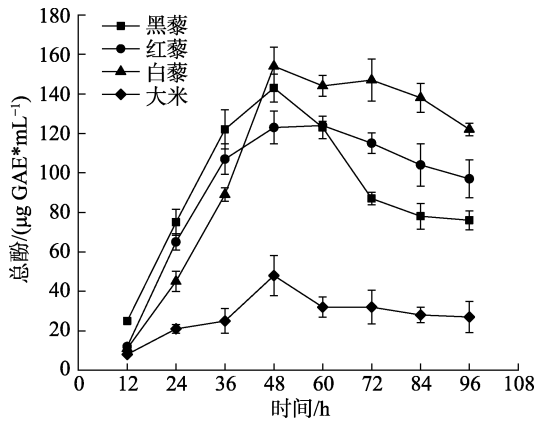


图 5 发酵过程中黑藜、红藜、白藜总酚含量的变化

Fig. 5 Changes of total phenols content in black quinoa, red quinoa and white quinoa during fermentation

2.6 DPPH 自由基清除率

选用三种不同颜色的藜麦，并以大米为参照，经固态发酵后，测其发酵产物的 DPPH 自由基清除率，结果如图 6 所示。可以看出在相同发酵条件下藜麦的 DPPH 自由基清除率要高于大米，在发酵 48 h 时，黑藜发酵产物的 DPPH 自由基清除率达到 80%，这与其发酵后总酚含量在 48 h 含量达到最高呈现一致趋势，整体来说黑藜的 DPPH 自由基清除率比其他品种高。由结果知藜麦发酵产物的 DPPH 自由基清除率的变化趋势与其总酚含量的变化相近，从而验证了固态发酵释放酚类

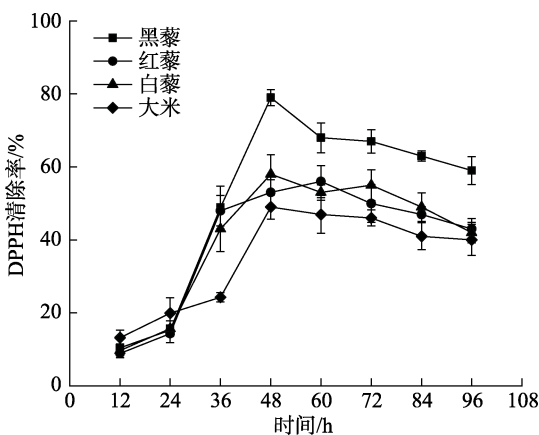


图 6 发酵过程中黑藜、红藜、白藜 DPPH 自由基清除能力的变化

Fig. 6 Changes of DPPH radical scavenging ability of black quinoa, red quinoa and white quinoa during fermentation

物质可提高发酵产物的抗氧化性能。

2.7 还原能力

发酵过程中黑藜、红藜、白藜还原能力的变化见表 7，从图 7 可以看出在相同发酵条件下藜麦发酵产物的还原能力要高于大米，与 DPPH 自由基清除能力的变化相比，藜麦和大米发酵产物的还原能力几乎都在 48 h 达到最高，仅有黑藜在 60 h 达到最高。藜麦发酵产物的还原能力变化趋势与其对 DPPH 自由基清除能力的变化趋势成一一致性，这主要是由于其酚类物质含量的变化引起的，且黑藜的酚类含量高，故其还原能力也强。因此再一次验证了固态发酵释放酚类物质可提高发酵产物的抗氧化性能。

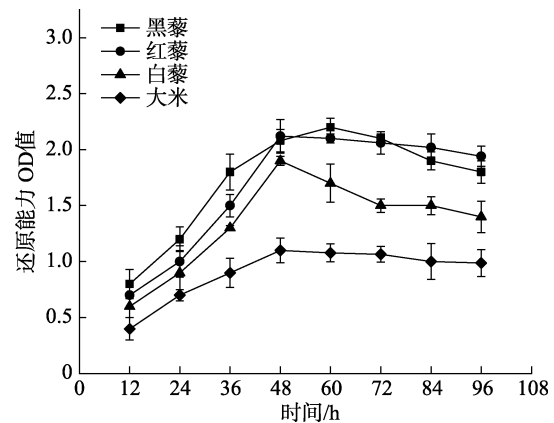


图 7 发酵过程中黑藜、红藜、白藜还原能力的变化

Fig. 7 Changes of reducing ability of black quinoa, red quinoa and white quinoa during fermentation

3 结论

本研究通过对藜麦固态发酵过程中各项指标进行检测，以大米作为参照，研究藜麦发酵过程中 pH、总酸、总糖、氨基酸态氮含量的变化，这些变化与藜麦中淀粉、蛋白质含量有关并与发酵过程中微生物种群类别、数量息息相关，从实验结果来看，黑藜与红藜相较于白藜营养价值更高。研究发现，在发酵过程中，48 h 时藜麦的总酚含量达到最高，且发酵产物的抗氧化能力与酚类物质含量高低呈现一致性，其中黑藜通过固态发酵的效果最好，其 DPPH 自由基清除率最高达到 80%，可知通过固态发酵技术，能有效释放藜麦中的结合酚类物质，提高总酚含量，从而提升发酵产物的抗氧化能力。

参考文献:

- [1] 李赫, 周浩纯, 张健, 等. 藜麦蛋白及肽的研究进展[J]. 食品科技, 2020, 45(3): 43-48.
LI H, ZHOU H C, ZHANG J, et al. Research progress of quinoa protein and its peptides[J]. Food Technology, 2020, 45(3): 43-48.
- [2] 党斌. 青海藜麦资源酚类物质及其抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 30-37.
DANG B. Analysis on phenols and antioxidant activities of quinoa resources Qinghai[J]. Food Industry Technology, 2019, 40(17): 30-37.
- [3] 金茜, 杨发荣, 黄杰, 等. 我国藜麦籽实的研究与开发利用进展[J]. 农业科技与信息, 2018(10): 36-41.
JIN Q, YANG F R, HUANG J, et al. Research and development of quinoa seeds in China[J]. Agricultural Science and Technology and Information, 2018(10): 36-41.
- [4] 孙宇星, 迟文娟. 藜麦推广前景分析[J]. 绿色科技, 2017(7): 197-198.
SUN Y X, CHI W J. Analysis on the promotion prospect of quinoa[J]. Green Technology, 2017(7): 197-198.
- [5] CARCIOCHI R A, MANRIQUE G D, DIMITROV K. Optimization of antioxidant phenolic compounds extraction from quinoa (chenopodium quinoa) seeds[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(7): 4396-4404.
- [6] 肖正春, 张广伦. 藜麦及其资源开发利用[J]. 中国野生植物资源, 2014, 33(2): 62-66.
XIAO Z C, ZHANG G L. Development and utilization of chenopodium quinoa wild[J]. Wild Plant Resources in China, 2014, 33(2): 62-66.
- [7] 韩瑞胜. 藜麦黄酒制备工艺研究[D]. 吉林农业大学, 2018.
HAN R S. Study on preparation process of Quinoa Chinese rice wine[D]. Jilin Agriculture University, 2018.
- [8] 徐福建, 陈洪章, 李佐虎. 固态发酵工程研究进展[J]. 生物工程进展, 2002(1): 44-48.
XU F J, CHEN H Z, LI Z H. New developments in engineering aspects of solid-state fermentation[J]. Progress in Bioengineering, 2002(1): 44-48.
- [9] 李雪琪. 固态发酵工程技术的研究应用分析[J]. 科技资讯, 2019, 17(11): 219-220.
LI X Q. Research and application of solid state fermentation engineering technology[J]. Science and Technology Information, 2019, 17(11): 219-220.
- [10] LI S L, JIN Z Y, HU D J, et al. Effect of solid-state fermentation with *Lactobacillus casei* on the nutritional value, isoflavones, phenolic acids and antioxidant activity of whole soybean flour [J]. LWT-Food Science and Technology, 2020(3): 125.
- [11] 翟飞红, 燕平梅, 赵文婧, 等. 姬松茸和双孢蘑菇固态发酵对小米蛋白质和多酚的影响[J/OL]. 食品工业科技, 2021, 42(6): 1-17.
ZHAI F H, YAN P M, ZHAO W J, et al. Effects of *Agaricus blazei* and *Agaricus bisporus* on protein and polyphenols of millet fermented in solid-state[J/OL]. Food Industry Technology, 2021, 42(6): 1-17.
- [12] 刘安康, 卢美珍, 陈慧, 等. 鸡骨泥酶解和发酵产物的成分分析及抗氧化活性比较[J]. 中国调味品, 2017, 42(1): 72-75.
LIU A K, LU M Z, CHEN H, et al. Comparison of component analysis and antioxidant activity of chicken bone paste processed by enzymolysis and fermentation[J]. China Condiment, 2017, 42(1): 72-75.
- [13] GUO X D, MA Y J, JOHN P, et al. Phenolics content and antioxidant activity of tartary buckwheat from different locations [J]. Molecules, 2011, 16: 9850-9867.
- [14] YE C L, HU W L, DAI D H. Extraction of polysaccharides and the antioxidant activity from the seeds of *Plantago asiatica* L[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2011, 49(4): 466-470.
- [15] OYAZU M. Studies on products of browning reactions: Antioxidative activities of Pn of browning reaction prepared from glucosamine[J]. Japanese Journal of Nut, 1986, 44: 307-315.
- [16] 申瑞玲, 张文杰, 董吉林, 等. 藜麦的主要营养成分、矿物元素及植物化学物质含量测定[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2015, 30(Z2): 17-21.
SHEN R L, ZHANG W J, DONG J L, et al. Determination of main nutritional component, mineral element and phytochemical in *Chenopodium quinoa* Willd[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Light Industry (Natural Science Edition), 2015, 30(Z2): 17-21.
- [17] 杨柳, 郭长婕, 梁斌. 基于直链淀粉含量的大米食味品质评价[J]. 现代食品, 2019(19): 171-174.
YANG L, GUO C J, LIANG B. The evaluation of the rice eating quality basing on amylose content[J]. Modern food, 2019(19): 171-174.
- [18] LI G T, ZHU F. Quinoa starch: Structure, properties, and applications[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 181: 851-861.
- [19] 刘月瑶, 路飞, 高雨晴, 等. 藜麦的营养价值、功能特性及其制品研究进展[J]. 包装工程, 2020, 41(5): 56-65.
LIU Y Y, LU F, GAO Y Q, et al. Research progress of nutritive value, functional characteristics and products of quinoa[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(5): 56-65.
- [20] 王艳萍, 任婷, 王童童. 藜麦与燕麦、糙米等 5 种谷物营养成分的测定与比较[J]. 现代食品, 2019(22): 164-166.
WANG Y P, REN T, WANG T T. Determination and comparison of nutritive components of quinoa and other grains[J]. Modern Food, 2019(22): 164-166.
- [21] 张名位. 全谷物酚类物质及其抗氧化活性研究进展[J]. 粮食加工, 2016, 41(1): 28-36.
ZHANG M W. Research progress of phenols and their antioxidant activities in whole grains[J]. Grain Processing, 2016, 41(1): 28-36.
- [22] RAJ K S, MILAN C, VLASTA B. Modulation of phenolic content and antioxidant activity of maize by solid state fermentation with *Thamnidium elegans* CCF 1456[J]. Biotechnology and Bioprocess Engineering, 2012, 17(1): 109-116. 完