

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.08.005

不同粒色藜麦营养品质及多酚组成与抗氧化活性比较分析

Comparative analysis of nutrient quality and polyphenol composition and antioxidant activity of different colored quinoa

赵萌萌¹ 杨希娟^{1,2,3} 党斌^{1,2,3}

ZHAO Meng-meng¹ YANG Xi-juan^{1,2,3} DANG Bin^{1,2,3}

张杰^{1,2,3} 张文刚^{1,2,3}

ZHANG Jie^{1,2,3} ZHANG Wen-gang^{1,2,3}

(1. 青海大学农林科学院, 青海 西宁 810016; 2. 青海省青藏高原农产品加工重点实验室, 青海 西宁 810016; 3. 青海省农林科学院, 青海 西宁 810016)

(1. Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China; 2. Qinghai Province Tibetan Plateau Laboratory of Agric-Product Processing, Xining, Qinghai 810016, China; 3. Qinghai Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Xining, Qinghai 810016, China)

摘要:以青白藜 1 号(白粒)、贡扎 4 号(红粒)和青藜 2 号(黑粒)藜麦为原料,探究不同粒色藜麦营养物质含量、多酚品质与组成及抗氧化性间的差异性。结果表明:3 种粒色藜麦营养品质差异显著($P < 0.05$),其中黑藜纤维、灰分与总氨基酸、白藜粗蛋白、红藜淀粉与脂肪含量分别最高。多酚以游离型为主要形式且含量存在显著差异($P < 0.05$),游离酚和结合酚含量依次为黑色 > 红色 > 白色,黄酮较少。共 19 种酚类被检出,其中 *p*-香豆酸最丰富,没食子酸均未检出。3 种藜麦结合型 DPPH·清除力均较强,黑色结合型、白色和红色游离型 FRAP 和 ABTS⁺·清除力较强,黑藜多酚抗氧化相较最高;藜麦粗纤维、蛋白含量与游离酚、黄酮及其结合型 FRAP 和 ABTS⁺·清除力显著相关,可用来评估藜麦多酚含量与抗氧化性高低。

关键词:藜麦;粒色;营养品质;多酚组成;抗氧化活性

Abstract: Differences of nutrient content, polyphenol profile and antioxidant activity of quinoa were explored from different grains quinoa of Qingbaili 1 (white grain), Gongza 4 (red grain) and

Qingli 2 (black grain). Results showed that there were significant differences in nutritional quality among the three kinds of quinoa ($P < 0.05$), among them, crude protein content of white quinoa, fat and starch content of red quinoa, and crude fiber, ash and total amino acid content of black quinoa was the highest, respectively. Main type of quinoa polyphenols was free form and their contents were significantly different ($P < 0.05$), with the contents of free phenol and bound phenol followed black > red > white and less flavonoids. A total of 19 phenols were detected, among them *p*-coumaric acid was the most abundant and gallic acid was not detected. DPPH· scavenging ability of different quinoa's bound phenols was stronger, ABTS⁺· scavenging ability and FRAP of black quinoa bound phenols, white and red free phenols were stronger, and the black quinoa had the relatively strongest antioxidant activity. Quinoa crude fiber and protein were significantly correlated with free phenols, flavonoids and their bound FRAP and ABTS⁺· scavenging power, and it could be used to assess the content of quinoa polyphenols as well as the level of antioxidant activity.

Keywords: quinoa; grain color; nutrient quality; phenolic composition; antioxidant capacity

基金项目:青海省农林科学院专项科研项目(编号:2018-NKY-009);青海省青藏高原农产品加工重点实验室建设项目(编号:2020-ZJ-Y14)

作者简介:赵萌萌,女,青海大学在读硕士研究生。

通信作者:张文刚(1993—),男,青海大学实习研究员,硕士。

E-mail: 869137089@qq.com

收稿日期:2020-03-28

藜麦(*Chenopodium quinoa* Willd.)又称奎藜、藜谷等,是印加土著居民的主要传统食物。中国自 1980 年开始引进藜麦种植,目前主要分布在青海、西藏、山西、内蒙、甘肃、浙江、吉林等地^[1-2]。藜麦含有丰富的蛋白质、

氨基酸、纤维素、矿物质、多酚、类胡萝卜素、维生素 C 等营养与功能成分,其中蛋白质、氨基酸、维生素 C 含量较高于大多数常见谷物^[3],可以满足人体的全部基本营养需求,被联合国组织(FAO)誉为“太空食品”和“全营养食品”^[4]。

彩色藜麦是一种珍贵的藜麦种质资源^[5],现代分子营养学研究^[6]显示,食物天然色泽可能与其营养功能品质存在紧密相关,一般而言颜色愈深,其营养愈丰富、结构更平衡合理。彩色藜麦富含花青素、多酚、甜菜素等化合物,具有延缓衰老、预防心血管疾病、抗癌等多种生理功效,是加工新型健康食品及保健医药品的理想谷物原料之一^[6-8]。藜麦营养物质含量与功能成分组成及活性受到籽粒色泽与基因型的影响,已有研究^[9]显示,不同粒色藜麦因受品种及栽培条件等影响,其淀粉、蛋白质、脂质、粗纤维、氨基酸等的含量存在较大差异,而酚类化合物的种类和含量也存在明显不同,黑色和红色藜麦中多酚种类和含量普遍均高于白色藜麦。目前,有关彩色藜麦的研究主要集中在对其营养品质评价、活性物质提取与含量分析、保健食品开发等方面,而针对不同粒色藜麦主要营养品质和多酚组成与抗氧化活性上的差异性研究鲜有报道。研究拟选择青白藜 1 号(白粒)、贡扎 4 号(红粒)和青藜 2 号(黑粒)为不同粒色藜麦代表,检测其基本营养、多酚(结合酚、游离酚)含量与组成及其抗氧化活性,并分析品种间的差异性,以期对彩色藜麦的资源评价和综合开发提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

青白藜 1 号(白粒)、贡扎 4 号(红粒)和青藜 2 号(黑粒)藜麦:青海省农林科学院;

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、三吡啶三吡嗪(TPTZ)、水溶性维生素 E(Trolox)、2,2'-联氮-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS):美国 Sigma 公司;

没食子酸、根皮酚、原儿茶酸、绿原酸、2,4-二羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、*p*-香豆酸、阿魏酸、水杨酸、苯甲酸、藜芦酸、邻香豆酸、芦丁、柚皮苷、橙皮苷、杨梅素、槲皮素、柚皮素、山柰酚标准品:纯度 $\geq 98.0\%$,上海源叶生物科技有限公司;

福林一酚:优级纯,北京索莱宝科技有限公司;

硫酸铜、硫酸钾、氢氧化钠、碳酸氢钠、碳酸钠:分析纯,天津市百世化工有限公司;

95%乙醇、丙酮、正己烷、甲醇、乙酸乙酯:分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;

TOTALSTARCH 试剂盒:爱尔兰 Megazyme 公司;

试验中使用的水:去离子水。

1.2 仪器与设备

手提式万能粉碎机:HK-04A 型,广州市旭朗机械设

备有限公司;

电子天平:AL204 型,梅特勒—托利多仪器有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-4 型,国华电器有限公司;

数控超声波清洗器:KQ-500DE 型,昆山市超声波仪器有限公司;

低速冷冻离心机:DL-5M 型,湖南长沙湘仪离心机仪器有限公司;

旋转蒸发器:Retavapor R-215 型,瑞士布奇有限公司;

紫外线可见分光光度计:N4S 型,上海仪电分析仪器有限公司;

氨基酸分析仪:S433D 型,德国赛卡姆公司。

1.3 方 法

1.3.1 藜麦游离酚提取 参照文献^[10]和文献^[11]²²的方法并略有改动:称取不同粒色藜麦全粉 1 g,分别加入 80%丙酮 20 mL,室温条件下 500 W 超声波处理 30 min,离心(3 000 r/min,25 min),收集上清液,残渣用同样方法提取 2 次,合并 3 次上清液,45 °C 减压旋转蒸干,沉淀物用甲醇定容至 10 mL,0.45 μm 有机膜过滤,得藜麦游离酚类物质提取液,-20 °C 避光保存。

1.3.2 藜麦结合酚提取 向提取过游离酚的残渣(1 g)中加入 20 mL 正己烷,离心(2 000 r/min,5 min)弃去上清液,向沉淀物中加入 15 mL 10% 甲醇—盐酸溶液,70 °C 水浴 1 h。加入 20 mL 乙酸乙酯萃取 5 次,离心(2 000 r/min,5 min),合并乙酸乙酯萃取相,在 45 °C 条件下旋转蒸发至干,用甲醇定容至 10 mL,0.45 μm 有机膜过滤,得藜麦结合酚提取液,-20 °C 避光保存^[12]。

1.3.3 营养品质测定

(1)水分含量:按 GB 5009.3—2010 执行。

(2)脂肪含量:按 GB/T 5009.6—2003 执行。

(3)膳食纤维含量:按 GB/T 5009.88—2008 执行。

(4)灰分含量:按 GB 5009.4—2010 执行。

(5)总淀粉含量:采用 TOTALSTARCH 试剂盒。

(6)蛋白质含量:按 GB 2905—82 执行。

(7)氨基酸含量:按 GB/T 5009.124—2003 执行。

1.3.4 酚类物质测定

(1)多酚含量测定:采用 Folin-Ciocalteu 法^[12-13]并略有改动:吸取样品提取液 125 μL 于试管中,再加入 500 μL 蒸馏水和 125 μL 福林—酚试剂,摇匀,反应 6 min 后加入 1.25 mL 7% Na_2CO_3 溶液,再加入 1 mL 蒸馏水,室温条件下避光放置 1.5 h 后,以甲醇代替样品提取液为空白调零,测定 760 nm 处吸光度,重复 3 次。配制不同浓度梯度的没食子酸标准品制作标准曲线。多酚含量以每 100 g 提取物(干基)中没食子酸当量计(mg/100 g)。

(2)黄酮含量的测定:采用 $\text{NaNO}_2 - \text{Al}(\text{NO}_3)_3 -$

NaOH 比色法^[12-13]并略有改动。吸取 100 μL 样品提取液于试管中,加入 5% NaNO_2 溶液 200 μL ,摇匀,6 min 后加入 10% $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液 200 μL ,摇匀,6 min 后再加入 4% NaOH 溶液 2 mL,室温避光放置 15 min 后,以甲醇代替样品提取液为空白调零,测定 510 nm 处吸光度,重复 3 次。配制不同溶度梯度的儿茶素标准品制作标准曲线。黄酮含量以每 100 g 提取物(干基)中儿茶素当量计(mg/100 g)。

(3) 多酚组成分析:采用高效液相质谱联用色谱法,具体的色谱条件参考文献[14]并稍作改动。 C_{18} 制备色谱柱(250 mm \times 4.6 mm,5 μm);流动相 A 为 0.1% 冰醋酸,流动相 B 为含 0.1% 冰醋酸的乙腈;梯度洗脱:0 min,5% B,95% A;2 min,10% B,90% A;27 min,30% B,70% A;50 min,90% B,10% A;52~56 min,100% B;56~60 min,8% B,92% A。流速 0.8 mL/min;紫外检测波长 280 nm;进样量 10 μL 。根据色谱保留时间与峰面积分别定性定量,结果以干基表示($\mu\text{g/g}$)。

1.3.5 抗氧化活性测定 参考文献[15—17]并稍作修改。

(1) DPPH·清除能力:取 1 mL 多酚提取液,加入 0.1 mmol/L DPPH 甲醇溶液 4.5 mL,避光反应 30 min,以甲醇替代样液于 517 nm 处测定吸光度,重复测定 3 次。根据标准曲线计算 DPPH·清除能力,以每 100 g 提取物(干基)中 Trolox 当量计($\mu\text{mol}/100\text{ g}$)。

(2) 铁还原能力(FRAP):取 1 mL 多酚提取液与 4.5 mL FRAP 工作液(TPTZ 与 FeCl_3 浓度 1:2)混合均匀,避光反应 30 min,以甲醇空白调零,在波长 593 nm 下测定吸光度,重复 3 次。根据标准曲线计算出样品提取液的 FRAP,以每 100 g 提取物(干基)中 Trolox 当量计($\mu\text{mol}/100\text{ g}$)。

(3) ABTS^+ ·清除能力:取 200 μL 藜麦多酚提取液与 4.5 mL ABTS 反应液混匀,避光反应 30 min,以甲醇为空白调零,在波长 734 nm 下测定吸光度,重复 3 次。根据标准曲线计算出样品提取液清除 ABTS^+ ·能力,以每 100 g 提取物(干基)中 Trolox 当量计($\mu\text{mol}/100\text{ g}$)。

1.4 数据处理

利用 Excel 和 SPSS 19.0 软件进行数据统计分析及绘图,显著性差异采用 LSD 多重比较法,相关性分析采用

Pearson 双侧检验法。

2 结果与分析

2.1 营养品质

由表 1 可知,3 种颜色藜麦营养成分的含量差异均显著($P<0.05$)。3 种藜麦均具有较高的淀粉和粗蛋白含量,与于跃等^[18]研究结果一致。脂肪含量最高的是红色藜麦 $[(6.94\pm 0.06)\%]$,黑色最少。黑色藜麦的粗纤维含量最高为 $[(10.38\pm 0.16)\%]$,红色次之,白色最少。白色藜麦中粗蛋白含量最高为 $[(18.81\pm 1.02)\%]$,红色次之,黑色最小。因此,经比较分析可知藜麦籽粒颜色可能对其营养品质存在较明显的影响,该结果与赵亚东^[11]的报道较一致。

氨基酸是衡量食品质量的重要指标之一,其含量与食品的营养和风味密切相关^[19]。由表 2 可知,3 种不同粒色藜麦中氨基酸含量差异显著($P<0.05$),氨基酸含量依次为黑色 $>$ 红色 $>$ 白色。白、红、黑藜中氨基酸总量分别是 $(9.820\pm 1.821)\%$, $(8.594\pm 0.384)\%$, $(10.673\pm 1.769)\%$ 。白、红、黑藜均以谷氨酸,分别占其总量的 25.88%,26.10%,25.44%,其次均是天冬氨酸、精氨酸含量较高。3 种藜麦均含有 17 种氨基酸,包括 7 种必需氨基酸,必需氨基酸含量占总氨基酸含量的比例分别是 28.83%,30.40%,29.09%,以天冬氨酸、谷氨酸、精氨酸含量较高,蛋氨酸含量最少。精氨酸是人体半必需氨基酸,具有保护肝脏缺血^[20]、免疫营养^[21]等作用,天冬氨酸和谷氨酸是神经系统中的兴奋性氨基酸,具有神经递质作用^[22]。因此,3 种藜麦均富含容易被人体吸收氨基酸且种类齐全、配比合理,其中黑色藜麦蛋白价值相对较高。

2.2 酚类物质含量

由表 3 可知,不同粒色藜麦之间酚类物质含量存在显著差异($P<0.05$)。不同藜麦中多酚含量约是黄酮的 5 倍,说明多酚是藜麦中主要的酚类物质。3 种粒色藜麦中多酚、黄酮及总酚平均含量依次为黑色 $>$ 红色 $>$ 白色。白色、红色、黑色藜麦中总酚含量分别为 (351.55 ± 20.36) , (366.58 ± 15.90) , (513.49 ± 17.25) mg/100 g,黑色藜麦分别高出白色、红色藜麦 46.06%和 40.08%,说明酚类物质含量与种子的颜色密切相关,与陈树俊等^[23]报道基本一致。此外,藜麦游离型多酚含量显著高于其结

表 1 不同粒色藜麦的营养成分(干基)[†]

Table 1 Nutrients of quinoa with different grain colors

粒色	水分含量	脂肪	粗纤维	灰分	总淀粉	粗蛋白
白色	9.19 \pm 0.72 ^c	4.79 \pm 0.03 ^b	5.20 \pm 0.02 ^c	1.33 \pm 0.01 ^c	53.32 \pm 10.93 ^b	20.71 \pm 1.02 ^a
红色	9.33 \pm 0.65 ^b	6.94 \pm 0.06 ^a	5.35 \pm 0.01 ^b	2.27 \pm 0.01 ^b	56.88 \pm 18.92 ^a	16.81 \pm 2.84 ^b
黑色	9.82 \pm 0.18 ^a	4.12 \pm 0.01 ^c	10.38 \pm 0.16 ^a	2.73 \pm 0.02 ^a	46.58 \pm 19.73 ^c	16.46 \pm 1.98 ^c

[†] 同列中字母不同表示有显著性差异($P<0.05$)。

表 2 不同粒色藜麦氨基酸的种类及含量[†]

Table 2 Types and contents of amino acids in quinoa with different grain colors mg/100 g

粒色	天冬氨酸	苏氨酸	丝氨酸	谷氨酸	甘氨酸	丙氨酸
白色	0.846±0.022 ^b	0.404±0.011 ^b	0.431±0.001 ^b	2.541±0.283 ^b	0.428±0.004 ^b	0.662±0.012 ^b
红色	0.785±0.011 ^c	0.376±0.001 ^c	0.395±0.001 ^c	2.243±0.206 ^c	0.379±0.001 ^c	0.601±0.011 ^c
黑色	0.944±0.009 ^a	0.448±0.001 ^a	0.481±0.001 ^a	2.715±0.111 ^a	0.446±0.002 ^a	0.737±0.009 ^a
粒色	胱氨酸	缬氨酸	蛋氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	酪氨酸
白色	0.217±0.001 ^b	0.522±0.015 ^b	0.148±0.001 ^b	0.291±0.002 ^b	0.636±0.014 ^b	0.291±0.001 ^b
红色	0.136±0.001 ^c	0.492±0.006 ^c	0.131±0.001 ^c	0.266±0.001 ^c	0.577±0.013 ^c	0.286±0.001 ^c
黑色	0.227±0.001 ^a	0.583±0.005 ^a	0.151±0.004 ^a	0.327±0.003 ^a	0.703±0.011 ^a	0.308±0.003 ^a
粒色	苯丙氨酸	组氨酸	赖氨酸	精氨酸	脯氨酸	合计
白色	0.297±0.003 ^b	0.446±0.001 ^b	0.533±0.003 ^b	0.796±0.012 ^b	0.331±0.001 ^b	9.820±1.821 ^b
红色	0.269±0.002 ^c	0.234±0.001 ^c	0.502±0.015 ^c	0.692±0.010 ^c	0.230±0.001 ^c	8.594±0.384 ^c
黑色	0.311±0.001 ^a	0.476±0.002 ^a	0.582±0.014 ^a	0.845±0.023 ^a	0.389±0.002 ^a	10.673±1.769 ^a

† 同列中字母不同表示有显著性差异(P<0.05)。

表 3 不同粒色藜麦中多酚物质含量[†]

Table 3 Content of polyphenols in quinoa with different grain colors mg/100 g

粒色	游离酚	结合酚	游离黄酮	结合黄酮	总酚
白色	189.69±8.32 ^c	92.08±10.62 ^c	26.47±2.94 ^c	29.50±2.01 ^c	351.55±20.36 ^c
红色	198.14±6.90 ^b	120.89±9.40 ^b	31.47±3.26 ^b	29.53±3.02 ^b	366.58±15.90 ^b
黑色	265.20±5.91 ^a	155.23±8.94 ^a	31.81±1.55 ^a	61.36±1.98 ^a	513.49±17.25 ^a

† 同列中字母不同表示有显著性差异(P<0.05)。

合型;其中黑藜麦多酚含量最高,红色次之,白色最少,该结果与党斌^[24]、相启森等^[25]研究结果一致。除多酚外,3种粒色藜麦中还存在较少以游离和结合型存在的黄酮类化合物,含量总体为黑色>红色>白色。黑、白藜麦中结合黄酮含量显著高于其游离黄酮,分别达到游离黄酮的1.93和1.11倍,而红藜麦中游离黄酮含量高于结合型,表明黑、白藜麦以结合黄酮为主,红色藜麦以游离黄酮为主。

2.3 酚类物质组成

由表4可知,3种粒色藜麦在多酚组成与含量上存在一定差异。白、红、黑藜麦中共检出酚酸分别为11,11,12种,检出黄酮分别为6,6,7种。除根皮酚、阿魏酸以外,其他所测酚类物质种类均以游离型存在形式为主。*p*-香豆酸为参试藜麦中含量最高的酚酸,在白色和红色藜麦中高达(1 290.80±73.11),(990.32±50.24) μg/g,显著高于Tang等^[26]报道的加拿大安大略省种植不同颜色藜麦中*p*-香豆酸的含量,可能是由于种植区域及品种等不同所导致。此外,香草酸(22.91~36.60 μg/g)和水杨酸(4.77~17.02 μg/g)在参试藜麦游离型提取物中含量均较高,综上所述可知,*p*-香豆酸、香草酸和水杨酸是藜麦中存在的主要游离型酚酸。黑色藜麦游离型提取物中原儿茶酸(29.05 μg/g)较高,其余酚酸含量较低;参试藜麦结

合型提取物中阿魏酸、苯甲酸、藜芦酸含量相对较高,且在红色藜麦中的含量高于其他颜色,是参试藜麦中存在的主要结合型酚酸。在检出的7种黄酮类物质中,槲皮素、山奈酚和芦丁在参试3种藜麦的游离型提取物中含量均较高,是参试藜麦游离型提取物中存在的主要黄酮物质,且在白色藜麦中含量高于红色和黑色藜麦;同时山奈酚也是参试藜麦中存在的主要结合型黄酮物质,其含量为11.18~15.18 μg/g,其余黄酮物质未检出或含量较低。

2.4 酚类物质抗氧化活性

不同粒色藜麦的酚类物质DPPH·清除能力差异显著(P<0.05),且结合酚优于游离酚(见图1),其中黑色、红色藜麦结合酚清除DPPH·能力分别达到(5 770.15±200.91),(5 420.28±120.72) μmol/100 g,明显高于白色藜麦。不同粒色藜麦游离型DPPH·清除能力差异不显著。黑色藜麦相对最高[(2 300.68±100.52) μmol/100 g],红色、白色藜麦次之,表明总酚含量和抗氧化活性与种子的颜色相关。这与杨希娟等^[27]报道青稞的结合酚类提取物的DPPH·清除能力显著高于其游离型提取物的结果一致。综上所述,相比白色和红色藜麦,黑色藜麦籽粒中总多酚含量更高且抗氧化活性也更高,与Tang等^[26]和Hirose等^[28]的研究一致。

表 4 不同粒色藜麦酚类化合物的组成及含量[†]

Table 4 Composition and content of phenolic compounds in quinoa with different grain colors μg/g

多酚形态	种类	白色藜麦		红色藜麦		黑色藜麦	
		游离	结合	游离	结合	游离	结合
酚酸	根皮酚	0.14±0.01 ^b	5.78±0.13 ^b	0.14±0.01 ^b	11.25±2.01 ^a	0.19±0.01 ^a	1.64±0.01 ^c
	没食子酸	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	原儿茶酸	2.56±0.10 ^b	0.46±0.01 ^b	1.00±0.01 ^c	0.58±0.02 ^a	29.05±1.25 ^a	0.47±0.01 ^b
	绿原酸	0.45±0.01 ^a	ND	0.38±0.01 ^c	ND	0.42±0.01 ^b	ND
	2,4-二羟基苯甲酸	1.41±0.04 ^a	3.27±0.02 ^a	1.30±0.02 ^b	3.09±0.04 ^b	1.42±0.03 ^a	3.08±0.03 ^b
	香草酸	22.91±3.92 ^c	ND	36.60±5.38 ^a	ND	25.50±2.96 ^b	ND
	丁香酸	3.08±0.16 ^b	ND	2.50±0.05 ^c	ND	7.36±1.13 ^a	ND
	p-香豆酸	1 290.80±73.11 ^a	ND	990.32±50.24 ^b	ND	123.01±10.03 ^c	ND
	阿魏酸	ND	14.53±0.57 ^c	ND	19.56±2.01 ^a	17.37±2.16 ^a	16.95±1.03 ^b
	水杨酸	17.02±2.01 ^a	1.53±0.01 ^c	4.77±0.15 ^c	1.82±0.01 ^a	12.61±1.89 ^b	1.74±0.02 ^b
	苯甲酸	4.76±0.18 ^b	12.44±3.02 ^b	4.85±0.23 ^a	20.25±3.96 ^a	4.41±0.21 ^c	10.19±2.01 ^c
	邻香豆酸	1.82±0.01 ^a	1.88±0.01 ^a	1.39±0.11 ^c	ND	1.55±0.01 ^b	1.89±0.02 ^a
	藜芦酸	7.26±1.01 ^b	6.10±0.21 ^c	1.18±0.01 ^c	20.93±3.02 ^b	26.14±5.32 ^a	21.12±3.97 ^a
	柚皮苷	1.03±0.01 ^b	ND	1.05±0.01 ^b	ND	1.31±0.14 ^a	ND
	橙皮苷	ND	ND	ND	ND	0.16±0.01 ^a	ND
	杨梅素	1.61±0.21 ^a	ND	1.39±0.02 ^c	ND	1.50±0.01 ^b	ND
黄酮	槲皮素	42.79±5.92 ^a	1.18±0.02 ^b	19.29±2.96 ^b	1.32±0.03 ^a	11.80±1.38 ^c	1.09±0.01 ^c
	柚皮素	1.38±0.02 ^c	ND	1.54±0.05 ^b	ND	1.87±0.01 ^a	ND
	山奈酚	11.56±2.56 ^a	15.18±0.18 ^a	11.19±1.92 ^b	12.93±0.09 ^b	9.10±1.01 ^c	11.18±0.04 ^c
	芦丁	26.56±2.94 ^a	ND	25.41±2.50 ^b	ND	22.57±2.39 ^c	ND
总酚酸		1 398.20±90.68 ^b		1 121.91±80.91 ^a		306.11±50.01 ^c	
总黄酮		101.29±8.45 ^a		74.12±5.03 ^b		60.58±5.72 ^c	
多酚总计		1 499.49±108.76 ^a		1 196.03±84.92 ^b		366.69±20.31 ^c	

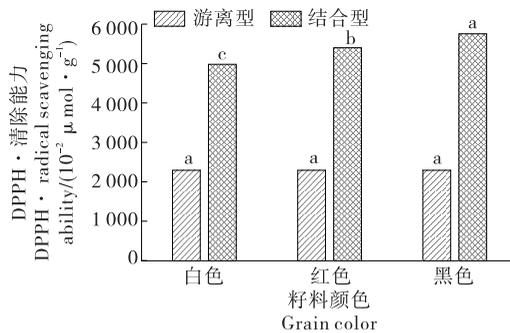
† 同行中字母不同表示差异显著(P<0.05);ND表示未检出。

黑色藜麦结合酚清除 ABTS⁺·能力[(1 450.94 ± 50.04) μmol/100 g]和 FRAP 铁还原能力[(3 210.95 ± 90.96) μmol/100 g]均最强,显著高于游离酚和其他粒色藜麦,而白色和红色藜麦游离酚清除 ABTS⁺·能力和 FRAP 铁还原能力强于结合酚,与 Dykes 等^[29]报道的小麦等谷物的游离型酚类物质的 FRAP 铁还原能力远远强于结合型酚类物质的结果一致;3 种粒色藜麦游离型酚清除 ABTS⁺·能力差异不显著,而其 FRAP 铁还原能力差异显著(P<0.05),以黑色藜麦游离酚的 FRAP 铁还原能力最强。这可能与不同粒色藜麦中不同形态的酚类化合物单体多酚组成与含量差异有关,研究^[30]显示,不同单体酚对不同自由基的清除能力具有一定选择性。综合分析可知,黑色藜麦的游离酚和结合酚在试验选择的抗氧化指标中表现出最强的抗氧化活性。

2.5 藜麦营养成分、多酚含量与抗氧化能力的相关性

由表 5 可知,藜麦中粗纤维含量与游离酚、结合黄酮、结合型 ABTS⁺·清除能力呈显著正相关(P<0.05),

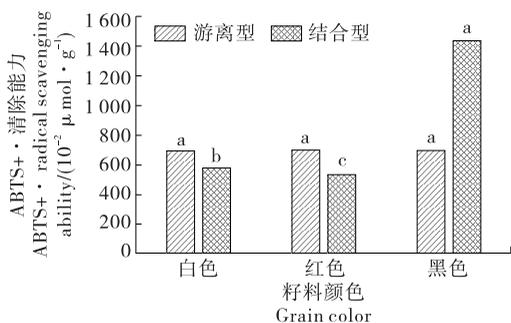
与结合型 FRAP 铁还原能力呈极显著正相关(P<0.01),说明藜麦中粗纤维含量越高,其游离酚、结合黄酮含量及抗氧化能力越高;粗蛋白含量与游离黄酮含量呈显著负



字母不同表示有显著性差异(P<0.05)

图 1 不同粒色藜麦的 DPPH·清除能力

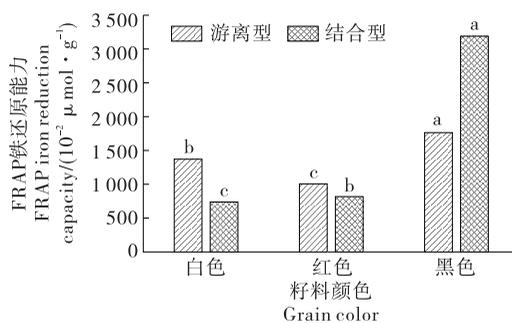
Figure 1 DPPH·radical scavenging ability of different quinoa grains



字母不同表示有显著性差异(P<0.05)

图 2 不同粒色藜麦的 ABTS⁺·清除能力

Figure 2 ABTS⁺·radical scavenging ability of different quinoa grains



字母不同表示有显著性差异(P<0.05)

图 3 不同粒色藜麦的 FRAP 还原能力

Figure 3 FRAP-reduce ability of different grain colors quinoa

表 5 藜麦营养成分、多酚含量与抗氧化活性的相关性[†]

Table 5 Relationship of quinoa nutrients with polyphenol content and antioxidant activities

指标	游离酚	游离黄酮	结合黄酮	结合 FRAP	结合 ABTS ⁺ ·
粗纤维	0.997*	0.570	1.000*	1.000**	0.998*
粗蛋白	-0.644	-1.000*	-0.654	-0.584	-0.530
游离酚	1.000	0.631	0.995	0.997*	0.990
结合黄酮			1.000	1.000*	0.999*
结合 FRAP				1.000	0.998*

[†] **表示在 0.01 水平(双侧)显著相关,*表示在 0.05 水平(双侧)显著相关。

相关(P<0.05),说明粗蛋白含量越高,其游离黄酮含量越低。游离酚含量与结合型 FRAP 铁还原能力呈显著正相关(P<0.05),说明游离酚含量越高藜麦多酚铁还原力也越高;结合黄酮含量与结合型 FRAP 铁还原能力、ABTS⁺·清除能力呈显著负相关(P<0.05),表明结合型黄酮含量越高,结合酚清除 ABTS⁺·能力及铁还原力越低。另外,结合型 FRAP 铁还原能力与结合型 ABTS⁺·清除能力也呈显著正相关(P<0.05),说明结合酚 FRAP 铁还原能力一定程度上决定着 ABTS⁺·清除能力。与梁雨荷等^[31]报道的萌发青稞营养成分与抗氧化活性关系相似。综上所述,多酚化合物是 3 种藜麦不同形态多酚提取物抗氧化活性的主要来源,而藜麦游离型和结合型酚类物质含量与抗氧化活性可根据其主要营养成分(粗纤维、粗蛋白)含量高低进行评估。

3 结论

藜麦粒色对其水分、脂肪、粗纤维、灰分、淀粉、粗蛋白、氨基酸等主要营养成分有显著影响。藜麦的酚类组成较丰富(19 种)并以游离酚为主要存在形式,平均含量为结合酚的 1.56 倍。黑粒藜麦抗氧化能力最突出,白粒和红粒藜麦较低;不同形态多酚在自由基清除力和铁还原力上表现出一定选择性,3 种粒色藜麦结合酚 DPPH·清除力均最高,而白色、红色藜麦游离酚对 ABTS⁺·清除力及

FRAP 相对较强。藜麦粗纤维和粗蛋白含量与酚酸、黄酮及其抗氧化活性存在相关,可作为评估藜麦多酚含量与抗氧化特性的指标。后续可进一步扩大不同粒色藜麦样本量并对其他营养成分的差异开展探究,从而为彩色藜麦加工适宜性评价及健康食品开发提供一定理论支持。

参考文献

[1] 任妍婧, 谢薇, 江帆, 等. 藜麦粉营养成分及抗氧化活性研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(3): 13-18.

[2] 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.

[3] VEGA-GALVEZ A, MIRANDA M, VERGARA J, et al. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient andean grain: A review[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 90(15): 2 541-2 547.

[4] 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.

[5] 王明明. 浅谈黑大麦的开发利用[J]. 甘肃科技纵横, 2010, 39(5): 60-61, 46.

[6] 王晨静, 赵习武, 陆国权, 等. 藜麦特性及开发利用研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(2): 296-301.

[7] BAZILE D, JACOBSEN S E, VERNIAU A. The global expansion of quinoa: Trends and limits[J]. Frontiers in Plant

- Science, 2016, 7(622): 1-6.
- [8] 王启明, 张继刚, 郭仕平, 等. 藜麦营养功能与开发利用进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 340-346, 354.
- [9] PELLEGRINI M, LUCAS-GONZALEZ R, FERNÁNDEZ-LÓPEZ J, et al. Bioaccessibility of polyphenolic compounds of six quinoa seeds during in vitro gastrointestinal digestion[J]. Journal of Functional Foods, 2017, 38: 77-88.
- [10] LIM J G, PARK H M, YOON K S. Analysis of saponin composition and comparison of the antioxidant activity of various parts of the quinoa plant (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(1): 694-702.
- [11] 赵亚东. 青海藜麦资源营养品质评价及功能成分与抗氧化活性研究[D]. 西宁: 青海大学, 2018.
- [12] 华艳宏, 庞春花, 张永清, 等. 藜麦种子不同溶剂提取物及其抗氧化活性[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(20): 225-228.
- [13] DINI I, TENORE G C, DINIA. Antioxidant compound contents and antioxidant activity before and after cooking in sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(3): 447-451.
- [14] KIM M J, HYUN J N, KIM J A, et al. Relationship between phenolic compounds, anthocyanins content and antioxidant activity in colored barley germplasm[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(12): 4 802-4 809.
- [15] 陈银焕, 杨修仕, 郭慧敏, 等. 不同品种藜麦粉对馒头品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(2): 157-164.
- [16] 张雪春, 廖靖怡, 谢颖欣, 等. 藜麦提取物的抗氧化活性及藜麦红豆复合饮料的研制[J]. 生物加工过程, 2018, 16(3): 91-101.
- [17] 赵亚东, 党斌, 杨希娟, 等. 青海藜麦皂苷超声提取工艺及抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2017, 38(19): 45-51, 62.
- [18] 于跃, 顾音佳. 藜麦的营养物质及生物活性成分研究进展[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(5): 4-6.
- [19] 杨春霞. 柱后衍生高效阳离子交换色谱法测定宁夏枸杞及枸杞花粉中氨基酸含量[J]. 食品科学, 2011, 32(18): 239-242.
- [20] 陈亚军, 齐玉梅. 精氨酸免疫营养作用的研究进展[J]. 中国临床营养杂志, 2007(5): 310-314.
- [21] 杨彬, 阮长春, 刘志, 等. 柱前衍生一反相高效液相色谱法测定柞蚕蛹蜕中氨基酸[J]. 食品科学, 2010, 31(16): 213-216.
- [22] RAFAEL O G, ERNANI L R, CARLOS T C, et al. Pharmacological preconditioning using intraportal infusion of *L*-Arginine protects against hepatic ischemia reperfusion injury[J]. Journal of Surgical Research, 2008, 155(2): 244-253.
- [23] 陈树俊, 胡洁, 庞震鹏, 等. 藜麦营养成分及多酚抗氧化活性的研究进展[J]. 山西农业科学, 2016, 44(1): 110-114, 122.
- [24] 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.
- [25] 相启森, 张丽华, 姜亭亭, 等. 藜麦提取物体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(2): 78-80.
- [26] TANG Yao, LI Xi-hong, ZHANG Bing, et al. Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. Genotypes[J]. Food Chemistry, 2015, 166(1): 380-388.
- [27] 杨希娟, 党斌, 徐菲, 等. 不同粒色青稞酚类化合物含量与抗氧化活性的差异及评价[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(9): 34-42.
- [28] HIROSE Y, FUJITA T, ISHII T, et al. Antioxidative propertise and flavnoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan[J]. Food Chemistry, 2010, 119(4): 1 300-1 306.
- [29] DYKES L, ROONEY L W. Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits[J]. Cereal Foods World, 2007, 52(3): 105-111.
- [30] 胡一晨, 赵钢, 秦培友, 等. 藜麦活性成分研究进展[J]. 作物学报, 2018, 44(11): 1 579-1 591.
- [31] 梁雨荷, 党斌, 杨希娟, 等. 萌发青稞营养成分、多酚含量及抗氧化活性研究[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(2): 70-81.

信息窗

欧亚经济联盟修订《食品添加剂、香精香料和加工助剂安全》技术法规标准清单

欧亚经济委员会新闻中心 8 月 25 日消息: 欧亚经济委员会理事会批准对《食品添加剂、香精香料和加工助剂安全》技术法规所采用的标准清单, 该清单包含应用及评估技术法规适用范围内产品合规性所必须的规则和研究方法。

据悉, 本次修订清单包括经认证的测量方法 MVI. MN 6028—2018《测定明胶中亚硫酸的质量浓度(以

SO₂ 计)》以及修订清单中另外 2 种测量方法的应用时间, 包括 MVI. MN 806—98《通过高效液相色谱法测定食品中山梨酸和苯甲酸的浓度》和 MVI. MN 3239—2009《测定特殊食品中的 β-胡萝卜素》, 此类标准将于相关国际标准被纳入技术法规标准清单中正式应用。

(来源: <http://news.foodmate.net>)