

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.06.016

刘建垒, 张东, 王文娟, 等. 4种颜色藜麦的营养价值比较[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(6): 134-142.

LIU J L, ZHANG D, WANG W J, et al. Comparison of the nutritional values of quinoa in four different colors[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(6): 134-142.

4种颜色藜麦的营养价值比较

刘建垒, 张东, 王文娟, 杨维巧, 孙辉, 段晓亮✉

(国家粮食和物资储备局科学研究院 粮食品质营养研究所, 北京 102629)

摘要: 为比较不同颜色藜麦的营养价值, 选取我国藜麦主产省的白、黑、红、灰藜麦主要品种样品各4份, 比较其营养成分含量, 用层次聚类分析对样品和营养指标分类。结果表明, 同小麦粉、大米等主粮及燕麦、荞麦、小米、青稞等杂粮相比, 藜麦具有更高的粗蛋白、粗脂肪、灰分、不溶性膳食纤维 (IDF)、P、K、Zn 和更低的总淀粉含量; 藜麦维生素 B₁、B₂ 高于小麦粉和小米, 但低于荞麦、小米和青稞。不同颜色藜麦相比, 灰藜麦同其它3种颜色藜麦的区分度最大, 红藜麦和黑藜麦的相似度最高。总膳食纤维 (TDF)、IDF、Cu、Zn、总淀粉、Mn 和 K 这7种组分在黑色和红色等深色藜麦中含量较高; 维生素 B₁、可溶性膳食纤维 (SDF) 和 Se 在灰色和白色等浅色藜麦中含量较高; 总黄酮、Fe、粗脂肪在灰色和红色藜麦中含量较高; 维生素 B₂、粗蛋白在白色和红色藜麦中的含量较高; Ca、Mg 和 P 在灰色和黑色藜麦中含量较高。综上, 不同颜色藜麦的营养特性有一定的互补性, 混合颜色的藜麦可提供更全面的营养。

关键词: 藜麦; 颜色; 粗蛋白; 粗脂肪; 膳食纤维; 维生素; 总黄酮; 矿物元素

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)06-0134-09

网络首发时间: 2024-11-07 11:53:21

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20241107.0933.006>

Comparison of the Nutritional Values of Quinoa in Four Different Colors

LIU Jian-lei, ZHANG Dong, WANG Wen-juan, YANG Wei-qiao, SUN Hui, DUAN Xiao-liang✉

(Institute of Grain Quality and Nutrition, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 102629, China)

Abstract: To compare the nutritional values of different colored quinoa, four main varieties of white, black, red, and gray quinoa from China's major quinoa-producing provinces were selected. Their nutrient contents were comprehensively compared, and hierarchical cluster analysis was further used to classify the samples and nutritional indicators. The results showed that compared with staple foods such as wheat flour and rice, as well as other grains like oats, buckwheat, millet, and highland barley, quinoa had higher crude protein, crude fat, ash, insoluble dietary fiber (IDF), P, K, Zn, and lower total

收稿日期: 2024-03-14

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (ZX2409); “中国好粮油”行动项目 (HLY2003)

Supported by: Fundamental Research Funds of the Central Research Institutes (No. ZX2409); “The Grain and Oil Products of China” Action Project (No. HLY2003)

第一作者: 刘建垒, 男, 1987年出生, 博士, 副研究员, 研究方向为粮食品质与标准, E-mail: ljl@ags.ac.cn

通信作者: 段晓亮, 男, 1984年出生, 博士, 研究员, 研究方向为粮食标准与数据库, E-mail: dxl@ags.ac.cn

starch content. Quinoa had higher vitamin B₁ and B₂ levels than wheat flour and rice but lower levels than buckwheat, millet, and highland barley. Among the different colored quinoa, gray quinoa had the greatest distinction from the other three colors, while red and black quinoa were the most similar. The contents of total dietary fiber (TDF), IDF, Cu, Zn, total starch, Mn, and K were higher in dark-colored quinoa such as black and red varieties. The contents of vitamin B₁, soluble dietary fiber (SDF), and Se were higher in light-colored quinoa such as gray and white varieties. The contents of total flavonoids, Fe, and crude fat were higher in gray and red quinoa. The contents of vitamin B₂ and crude protein were higher in white and red quinoa. The contents of Ca, Mg, and P were higher in gray and black quinoa. In summary, the nutritional characteristics of different colored quinoa were complementary to some extent, and a mixture of different colored quinoa could provide more comprehensive nutritional profiles.

Key words: quinoa; color; crude protein; crude fat; dietary fiber; vitamins; total flavonoids; mineral elements

藜麦作为一种全谷物,因其独特的营养价值和保健功能,被誉为“超级食物”^[1],它还具有宜人的草香气味和良好的质地,群体接受度较高^[2],在食品工业中有广阔的应用前景。大多数藜麦种子是白色的,也有一些品种呈红色或黑色等不同颜色。不同颜色藜麦的营养价值是消费者、育种专家和食品加工企业关注的重要问题。

目前,国内外对不同颜色藜麦的营养价值有一些报道,但研究的结果并不一致。很多报道对每种颜色的藜麦仅选取一个样品进行比较^[3-5],样品的代表性不足;也有研究报道了 30~60 份藜麦样品的营养成分,但多数为国外品种^[6-7],或国内品种的某一类营养指标^[8]。且以上的研究只对比了白、黑和红这 3 种颜色藜麦的部分营养成分,对营养成分分析的不够全面,同时也缺乏对灰藜麦营养成分的报道及不同颜色藜麦营养价值的整体评价。

藜麦的营养受品种、地理环境、播种时间、水肥管理等众多因素的影响^[1]。本研究选取我国藜麦主产省的白、黑、红、灰藜麦主要品种样品各 4 份,在全面分析它们营养成分含量的基础上,进一步用层次聚类分析对样品和营养指标进行分类。综合比较不同颜色藜麦的营养成分含量,可以为消费者从感官特性上挑选所需的藜麦产品提供科学依据,并为藜麦品种选育及产品开发提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

依托中国作物学会藜麦专业委员会各省专家,于 2019—2020 年从藜麦主产省份甘肃、内蒙古、青海、山西、云南、河北收集了新收获的白、黑、红、灰藜麦主要品种样品各 4 份,共 16 份样品,样品信息见表 1。

表 1 实验收集藜麦样品的品种及采集地点
 Table 1 Varieties and collection locations of quinoa samples in this experiment

类别	编号	采集地点	品种	收获年份/年
白藜麦	W1	云南省昆明市寻甸回族彝族自治县	昆明大粒白藜*	2020
	W2	内蒙古自治区乌兰察布市察哈尔右翼中旗	内蒙大白藜*	2020
	W3	青海省海西蒙古族藏族自治州乌兰县	青藜 3 号	2020
	W4	山西省忻州市静乐县	山西白藜*	2020
黑藜麦	B1	云南省昆明市寻甸回族彝族自治县	昆明黑藜*	2020
	B2	云南省丽江市玉龙纳西族自治县	丽江黑藜*	2020
	B3	青海省海西蒙古族藏族自治州都兰县	青海黑藜*	2020
	B4	山西省忻州市岢岚县	山西黑藜*	2020

续表 1

类别	编号	采集地点	品种	收获年份/年
红藜麦	R1	云南省昆明市寻甸回族彝族自治县	昆明红藜 [*]	2020
	R2	青海省海西蒙古族藏族自治州都兰县	青海红藜 [*]	2020
	R3	云南省丽江市玉龙纳西族自治县	丽江红藜 [*]	2019
	R4	云南省昆明市寻甸回族彝族自治县	昆明大粒红藜 [*]	2019
灰藜麦	G1	河北省张家口市沽源县	冀藜 6 号	2020
	G2	云南省迪庆藏族自治州香格里拉市	云南大粒灰藜 [*]	2019
	G3	青海省海西蒙古族藏族自治州乌兰县	青藜 1 号	2020
	G4	甘肃省临夏回族自治州东乡族自治县	陇藜 1 号	2020

注: *根据采集地点命名, 非官方命名。

Note: *Named according to the collection location, unofficial name.

1.2 实验方法

1.2.1 试样准备

藜麦试样的扦样、分样按 GB/T 5491—1985《粮食、油料检验 扦样、分样法》执行, 样品经人工除杂后再手工搓洗去除果皮, 进一步挑选去除带壳粒、碎米及破损粒、未熟粒等不完善粒。室温下自然晾干后, 得到藜麦米样品, 于 4 °C 密封储存, 并于收获 3 个月内完成测定。

1.2.2 营养成分检测方法

水分按 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》第一法测定; 粗蛋白按 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》第一法测定; 粗脂肪按 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》第一法测定; 总淀粉按 GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》第二法测定; 直链淀粉按 GB/T 15683—2008《大米 直链淀粉含量的测定》法测定; 灰分按 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》第一法测定; 膳食纤维按 GB 5009.88—2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》法测定; 维生素 B₁ 按 GB 5009.84—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B₁ 的测定》第一法测定; 维生素 B₂ 按 GB 5009.85—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B₂ 的测定》第一法测定; 总黄酮按 NY/T 1295—2007《荞麦及其制品中总黄酮含量的测定》法测定; 矿物元素按 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》法测定, 其中铁铜锌硒锰按第一法测定, 钾钠钙镁磷按第二法

测定。结果均以干基表示。

1.3 数据处理

每个实验重复两次, 结果以平均值表示。数据采用 Minitab (Version 21.1, 美国 Minitab 有限责任公司) 软件进行单因素方差分析, 进一步用 Tukey 多重比较确定各组数据间的显著性差异, 显著水平设定为 $P < 0.05$ 。采用 MetaboAnalyst 6.0 (<https://www.metaboanalyst.ca>)^[9] 对数据进行 Ward 法层次聚类分析, 对样品和营养指标进行分类。

2 结果与分析

2.1 粗蛋白、粗脂肪、总淀粉、直链淀粉和灰分含量

所测藜麦样品的粗蛋白含量范围为 12.7~18.2 g/100 g, 平均值为 15.1 g/100 g (表 2), 高于小麦粉 (12.4 g/100 g) 和 大米 (7.9 g/100 g) 等主粮及燕麦 (10.1 g/100 g)、荞麦 (9.3 g/100 g)、小米 (9.0 g/100 g) 和青稞 (8.1 g/100 g) 等杂粮^[10]。平均粗蛋白含量由高到低依次为红藜麦>白藜麦>黑藜麦>灰藜麦, 但差异不显著 ($P < 0.05$) (表 2)。赵萌萌等^[4]、Pereira 等^[6]及石振兴等^[7]分别报道蛋白质含量最高的为白、红、黑藜麦, 本研究结果与其不完全一致, 可能主要与样品的采集地点和品种不同有关; 且有的报道中每种颜色的藜麦样品仅有 1 个^[4], 样品代表性不足。平均粗蛋白含量变异系数最大的为黑藜麦, 最小的为白藜麦 (表 2), 表明不同黑藜麦样品之间的粗蛋白含量差异最大, 而白藜麦样品之间粗蛋白含量的一致性最高。

表 2 4 种颜色藜麦的粗蛋白、粗脂肪、总淀粉、直链淀粉和灰分含量
 Table 2 Crude protein, crude fat, total starch, amylose and ash content of quinoa in four different colors

类别	编号	粗蛋白/(g/100g)	粗脂肪/(g/100g)	总淀粉/(g/100g)	直链淀粉/%	灰分/(g/100g)
白藜麦	W1	16.0	4.1	67.4	20.7	2.1
	W2	15.9	4.6	59.7	15.7	2.3
	W3	15.6	4.3	52.1	13.8	2.3
	W4	14.8	4.1	49.0	10.6	2.7
	平均值	15.6	4.3	57.1	15.2	2.4
	变异系数/%	3.2	4.8	12.5	24.1	8.2
	黑藜麦	B1	15.6	3.9	57.5	17.1
B2		12.7	4.9	55.8	17.6	2.1
B3		14.0	3.9	57.7	14.7	2.4
B4		16.3	4.1	70.2	15.3	2.6
平均值		14.6	4.2	60.3	16.2	2.4
变异系数/%		9.6	9.5	9.6	7.5	7.8
红藜麦		R1	15.2	5.3	63.4	9.9
	R2	14.3	3.6	59.8	12.9	2.3
	R3	15.7	5.1	59.0	11.0	2.2
	R4	18.2	3.6	60.5	16.9	2.9
	平均值	15.8	4.4	60.7	12.7	2.4
	变异系数/%	9.1	17.9	2.7	21.0	11.2
	灰藜麦	G1	14.2	5.2	58.8	6.8
G2		16.2	3.8	62.7	15.6	2.9
G3		12.7	4.8	54.7	9.0	2.4
G4		14.3	4.5	55.2	9.9	2.3
平均值		14.4	4.6	57.9	10.3	2.5
变异系数/%		8.6	10.9	5.6	31.5	9.3
全部藜麦		平均值	15.1	4.4	59.0	13.6
	变异系数/%	9.0	12.3	8.8	26.8	9.7

注：不同颜色藜麦各指标的平均值中，不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)，相同字母或无字母表示差异不显著 ($P>0.05$)。下表同。

Note: Within the average values of each indicator of quinoa of different colors, different letters represented significant differences ($P<0.05$), while the same letters or no letters represented no significant differences ($P>0.05$). The same below.

所测藜麦样品的粗脂肪含量范围为 3.6~5.3 g/100 g，平均值为 4.4 g/100 g（表 2），高于小麦粉（1.7 g/100 g）、大米（0.9 g/100 g）等主粮及燕麦（0.2 g/100 g）、荞麦（2.3 g/100 g）、青稞（1.5 g/100 g）^[10]、小米（3.3 g/100 g）^[11]等杂粮。平均粗脂肪含量由高到低依次为灰藜麦>红藜麦>白藜麦>黑藜麦，但差异不显著 ($P<0.05$)（表 2）。祖力皮牙·买买提等^[3]和赵萌萌等^[4]均发现粗脂肪含量最高的为红藜麦；而 Pereira^[6]等和石振兴等^[7]均报道国外黑、红和白 3 种颜色藜麦的粗脂肪含量之间无显著差异，本研究结果与以上报道均一致。

所测藜麦样品的总淀粉含量范围为 49.0~70.2 g/100 g，平均值为 59.0 g/100 g（表 2），低于

小麦粉（65.4 g/100 g）^[12]、大米（86.6 g/100 g）^[13]等主粮及燕麦（60.2 g/100 g）^[14]、甜荞麦（75.7 g/100 g）、苦荞麦（68.1 g/100 g）^[15]和小米（69.9 g/100 g）^[11]等杂粮，而高于青稞（55.1 g/100 g）^[16]。平均总淀粉含量由高到低依次为红藜麦>黑藜麦>灰藜麦>白藜麦，但差异不显著 ($P<0.05$)（表 2）。祖力皮牙·买买提等^[3]和赵萌萌等^[4]报道的总淀粉含量最高的分别为白藜麦和红藜麦；石振兴等^[7]也发现白色和红色藜麦的淀粉含量显著高于黑藜麦；而 Pereira^[6]等研究发现秘鲁和西班牙的红藜麦的碳水化合物（淀粉为主）平均含量显著低于黑藜麦和白藜麦。本研究结果与以上报道不完全一致，可能主要与样品的来源不同有关。

直链淀粉含量影响谷物的食用品质,特别是适口性^[17]。所测藜麦样品的直链淀粉质量分数范围为 6.8%~20.7%,平均值为 13.6%,较大米(10.8%)^[13]高,较小米(20.4%)^[17]低。直链淀粉含量平均值由高到低依次为黑藜麦>白藜麦>红藜麦>灰藜麦,但差异并不显著($P<0.05$)(表 2)。祖力皮牙·买买提等^[3]报道了 3 种颜色藜麦中直链淀粉含量由高到低依次为白藜麦>黑藜麦>红藜麦,本研究结果与其不一致,可能与样品的代表性不足有关。此外,我们前期的研究表明小米粥的适口性与小米籽粒直链淀粉含量呈极显著正相关关系^[17],但有关藜麦直链淀粉含量与其食用品质的关系尚缺乏报道,还需进一步深入研究。

所测藜麦样品的灰分含量范围为 2.1~2.9 g/100 g,平均值为 2.4 g/100 g(表 2),高于小麦粉(0.7 g/100 g)、大米(0.7 g/100 g)等主粮及燕麦(2.1 g/100 g)和小米(1.2 g/100 g)等杂粮,同荞麦(2.4 g/100 g)相当,但低于青稞(3.0 g/100 g)的灰分含量^[10]。平均灰分含量最高的为灰藜麦(2.5 g/100 g),其他 3 种颜色藜麦的平均灰分含量相当,且无显著性差异($P<0.05$),这与 Pereira^[6]等和石振兴等^[7]报道结果一致;而祖力皮牙·买买提等^[3]和赵萌萌等^[4]报道的灰分含量最高的分别为白藜麦和黑藜麦,本研究结果与其不一致,可能与其样品的代表性不足有关。

2.2 膳食纤维含量

所测藜麦样品的不溶性膳食纤维(Insoluble dietary fiber, IDF)、可溶性膳食纤维(Soluble dietary fiber, SDF)和总膳食纤维(Total dietary fiber, TDF)含量范围分别为 6.27~9.34 g/100 g、0.12~0.56 g/100 g、6.53~9.63 g/100 g,不溶性膳食纤维占总膳食纤维的比例(IDF/TDF)范围在 92.2%~98.7%(表 3)。藜麦 IDF 平均含量高于小麦粉(0.8 g/100 g)、大米(0.6 g/100 g)等主粮及燕麦(6.0 g/100 g)、荞麦(6.5 g/100 g)、青稞(1.8 g/100 g)^[10]和小米(3.2 g/100 g)^[11]等杂粮。本研究中 IDF/TDF 较 Li 等^[18]报道的 86.8%和 Pedrali 等^[19]报道的 56%~87%均高,主要可能还是与样品的来源不同有关。

4 种颜色藜麦的平均 IDF、TDF 含量及 IDF/

TDF 由高到低均为黑藜麦>红藜麦>白藜麦>灰藜麦;平均 SDF 含量由高到低依次为灰藜麦>白藜麦>红藜麦>黑藜麦。其中,黑色和灰色藜麦的 IDF 和 TDF 含量的差异均达到显著水平($P<0.05$),而 SDF 含量及 IDF/TDF 的差异均不显著($P<0.05$)(表 3)。Pedrali 等^[19]报道深色藜麦的膳食纤维含量较浅色藜麦高,Guardianelli 等^[20]报道了阿根廷 1 个商品红藜麦的 TDF 较白藜麦高,本研究结果与其一致。从变异系数来看,红藜麦的各项膳食纤维指标变异系数均最小,表明红藜麦膳食纤维含量的一致性最高。

2.3 维生素 B₁、B₂ 和总黄酮含量

所测藜麦样品的维生素 B₁ 含量范围为 0.099~0.459 mg/100 g,平均值为 0.229 mg/100 g(表 3),高于小麦粉(0.20 g/100 g)、大米(0.15 g/100 g)等主粮,但低于燕麦(0.46 g/100 g)、荞麦(0.28 g/100 g)、小米(0.33 g/100 g)和青稞(0.34 g/100 g)等杂粮^[10]。平均维生素 B₁ 含量由高到低依次为灰藜麦>白藜麦>红藜麦>黑藜麦,且差异达到显著水平($P<0.05$)(表 3)。所测藜麦样品的维生素 B₂ 含量范围为 0.063~0.154 mg/100 g,平均值为 0.086 mg/100 g(表 3),高于小麦粉(0.06 g/100 g)、大米(0.04 g/100 g)和燕麦(0.07 g/100 g),但低于荞麦(0.16 g/100 g)、小米(0.10 g/100 g)和青稞(0.11 g/100 g)等杂粮^[10]。平均维生素 B₂ 含量由高到低依次为红藜麦>白藜麦>黑藜麦=灰藜麦,但差异不显著($P<0.05$)(表 3)。维生素 B₁、B₂ 含量变异系数最小的均为黑藜麦(表 3),表明黑藜麦的维生素 B₁、B₂ 含量的一致性最高,且处在较低水平。Chen 等^[21]分析了国外 30 个藜麦样品的维生素含量,发现种皮颜色深的藜麦维生素 B₁ 含量更高,而种皮颜色浅的藜麦维生素 B₂ 含量更高。本研究结果与其不完全一致。

所测藜麦样品的总黄酮质量分数范围在 0.055%~0.180%,平均值为 0.106%(表 3),低于甜荞麦(1.09%~1.72%)和苦荞麦(1.47%~4.38%)^[22]。总黄酮平均值由高到低依次为灰藜麦>红藜麦>黑藜麦>白藜麦,但差异不显著($P<0.05$)(表 3)。这与向卓亚等^[5]、祖力皮牙·买买提等^[3]、

表 3 4 种颜色藜麦的膳食纤维、维生素 B₁、B₂ 和总黄酮含量
 Table 3 Dietary fiber, vitamin B₁, B₂ and total flavonoids content of quinoa in four different colors

类别	编号	不溶性膳食纤维/ (g/100g)	可溶性膳食纤维/ (g/100g)	总膳食纤维/ (g/100g)	IDF/ TDF/%	维生素 B ₁ / (mg/100g)	维生素 B ₂ / (mg/100g)	总黄酮 (以芦丁计)/%
白藜麦	W1	7.12	0.53	7.65	93.1	0.223	0.107	0.097
	W2	6.27	0.26	6.53	96.1	0.328	0.086	0.093
	W3	8.48	0.40	8.88	95.5	0.288	0.088	0.064
	W4	7.08	0.31	7.39	95.8	0.364	0.082	0.095
	平均值	7.24 ^{ab}	0.37	7.61 ^{ab}	95.1	0.301 ^{ab}	0.090	0.087
	变异系数/%	10.98	27.63	11.05	1.3	17.33	10.76	15.32
	黑藜麦	B1	8.44	0.26	8.70	97.0	0.110	0.078
B2		8.98	0.12	9.10	98.7	0.137	0.082	0.076
B3		7.47	0.32	7.80	95.8	0.099	0.075	0.103
B4		9.34	0.28	9.63	97.1	0.140	0.082	0.156
平均值		8.56 ^a	0.25	8.81 ^a	97.2	0.121 ^c	0.079	0.105
变异系数/%		8.24	31.16	7.59	1.0	14.23	3.65	29.37
红藜麦		R1	7.12	0.37	7.49	95.1	0.137	0.078
	R2	8.06	0.31	8.36	96.3	0.117	0.081	0.110
	R3	8.08	0.33	8.41	96.1	0.216	0.063	0.104
	R4	7.75	0.25	8.00	96.8	0.213	0.154	0.055
	平均值	7.75 ^{ab}	0.31	8.07 ^{ab}	96.1	0.171 ^{bc}	0.094	0.112
	变异系数/%	5.02	13.54	4.60	0.7	25.92	37.55	39.31
	灰藜麦	G1	6.61	0.56	7.17	92.2	0.233	0.087
G2		7.07	0.23	7.30	96.9	0.459	0.067	0.058
G3		7.35	0.49	7.85	93.7	0.280	0.082	0.162
G4		6.37	0.27	6.64	95.9	0.317	0.080	0.180
平均值		6.85 ^b	0.39	7.24 ^b	94.7	0.322 ^a	0.079	0.121
变异系数/%		5.63	36.07	5.92	2.0	26.21	9.65	41.94
全部藜麦		平均值	7.60	0.33	7.93	95.8	0.229	0.086
	变异系数/%	11.52	33.99	10.63	1.6	44.19	23.21	37.27

Han 等^[23]及石振兴等^[7]报道的结果均一致。总黄酮含量变异系数最大的为灰藜麦，变异系数最小的为白藜麦（表 3），进一步表明白藜麦的总黄酮含量普遍偏低。

2.4 常量元素和微量元素含量

所测藜麦样品的 5 种常量元素 Ca、Mg、P、K 和 Na 的含量范围分别为 282~1 811 mg/kg、1 611~2 667 mg/kg、3 208~5 818 mg/kg、6 784~12 080 mg/kg 和 54.2~199.0 mg/kg（表 4）。同小麦粉、大米等主粮及燕麦、荞麦、小米、青稞等杂粮^[10]相比，藜麦的 P 和 K 平均含量最高，Ca 平均含量仅低于青稞、Mg 平均含量仅低于荞麦、Na 平均含量低于小麦粉和青稞。灰藜麦的 Ca、Mg、P 平均含量最高，红藜麦的 K 和 Na 平均含量最高；红藜麦的 Ca 和 Mg 平均含量最低，P、

K 和 Na 平均含量最低的分别为白色、灰色和黑色藜麦；仅灰藜麦和红藜麦的 Mg 平均含量的差异达到显著水平 ($P < 0.05$)，而 Mg 平均含量在其它颜色藜麦之间的差异及其它 4 种常量元素平均含量在不同颜色藜麦中的差异均不显著 ($P < 0.05$)。不同藜麦常量元素含量变异系数最大的为 Ca，变异系数最小的为 Mg（表 4）。张国香和胡秋霞^[8]比较了来自山西、山东、青海等地的黑、白、红藜麦共 30 份样品的矿物质元素含量，发现 Ca 和 Mg 的平均含量在黑藜麦中最高，K 平均含量在白藜麦中最高，但差异均不显著，本研究结果与其不完全一致。

所测藜麦样品的 5 种人体必需的微量元素 Fe、Zn、Se、Cu 和 Mn 的含量范围分别为 45.9~106.6 mg/kg、22.4~85.7 mg/kg、未检出~

0.039 mg/kg、4.15~17.14 mg/kg 和 14.5~72.3 mg/kg (表 4)。同小麦粉、大米等主粮及燕麦、荞麦、小米、青稞等杂粮^[10]相比,藜麦的 Zn 平均含量最高,Fe 和 Cu 平均含量仅低于青稞,Mn 平均含量仅低于燕麦,Se 含量相对不足。黑藜麦的 Zn 和 Cu 平均含量最高,Fe、Se 和 Mn 平均含量最高的分别为灰色、白色和红色藜麦;白藜麦的 Fe 和 Zn 的平均含量最低,灰藜麦的 Cu 和 Mn 的平

均含量最低,黑藜麦的 Se 平均含量最低;但差异均不显著 ($P<0.05$)。不同藜麦微量元素含量变异系数最大的为 Se,变异系数最小的为 Fe (表 4)。张国香和胡秋霞^[8]研究发现 Zn 平均含量在红藜麦中最高;且 3 种颜色藜麦之间微量元素的平均含量差异也均不显著,本研究结果与其不完全一致,可能主要与样品的种植土壤环境和品种不同有关。

表 4 4 种颜色藜麦的常量元素和微量元素含量

Table 4 Macroelement and trace element content of quinoa in four different colors

mg/kg

类别	编号	常量元素					微量元素				
		Ca	Mg	P	K	Na	Fe	Zn	Se	Cu	Mn
白藜麦	W1	282	1 686	3 681	7 528	62.5	45.9	33.4	0.039	8.61	35.1
	W2	447	1 657	3 308	8 286	62.7	54.5	22.4	—	4.48	14.5
	W3	671	2 298	5 081	8 117	72.9	66.8	32.3	—	8.49	23.2
	W4	695	1 847	3 231	7 262	86.9	70.3	27.6	0.031	5.38	16.1
	平均值	524	1 872 ^{ab}	3 825	7 798	71.3	59.4	28.9	0.017	6.74	22.2
	变异系数/%	32.5	13.7	19.5	5.4	14.0	16.4	15.0	101.2	27.3	36.6
黑藜麦	B1	698	1 956	4 785	8 676	72.2	73.2	32.5	—	9.25	72.3
	B2	802	1 699	3 436	7 311	54.2	61.7	28.5	—	17.14	44.3
	B3	572	2 176	4 652	8 113	78.9	63.8	85.7	—	7.95	25.7
	B4	549	1 792	3 208	10 705	60.5	68.2	31.9	—	6.78	21.1
	平均值	656	1 906 ^{ab}	4 020	8 701	66.4	66.7	44.6	—	10.28	40.9
	变异系数/%	15.6	9.5	17.5	14.4	14.6	6.7	53.2	—	39.5	49.3
红藜麦	R1	426	1 617	3 354	8 225	78.1	66.8	34.4	0.034	7.59	49.8
	R2	424	2 078	4 231	6 828	64.5	70.1	27.8	—	5.66	15.8
	R3	693	1 611	3 550	8 484	199.0	77.2	38.5	—	6.07	42.0
	R4	365	1 677	4 423	12 080	177.0	65.3	58.2	—	9.27	56.6
	平均值	477	1 746 ^b	3 890	8 904	129.7	69.9	39.7	0.009	7.15	41.1
	变异系数/%	26.7	11.1	11.5	21.8	45.5	6.6	28.5	173.2	19.9	37.7
灰藜麦	G1	1811	2 403	3 706	6 784	71.4	58.1	23.9	—	4.15	17.7
	G2	739	2 043	5 226	8 352	146.0	80.9	46.4	—	5.81	19.4
	G3	519	2 667	5 818	7 501	74.1	53.4	28.2	—	6.30	19.0
	G4	744	2 161	3 900	7 086	60.3	106.6	31.6	0.038	8.08	24.3
	平均值	953	2 318 ^a	4 663	7 431	87.9	74.7	32.5	0.010	6.09	20.1
	变异系数/%	52.8	10.3	19.0	7.9	38.6	28.3	26.0	173.2	23.0	12.4
全部藜麦	平均值	652	1 960	4 100	8 209	88.8	67.7	36.5	0.009	7.56	31.1
	变异系数/%	51.2	15.7	19.2	16.5	48.1	19.6	41.9	174.1	38.7	53.7

注:“—”表示低于定量限 0.03 mg/kg。

Note: “—” indicated below the limit of quantification 0.03 mg/kg.

2.5 不同颜色藜麦及其营养成分平均值的聚类分析

为更直观的比较不同颜色藜麦的营养价值差异,对不同颜色藜麦营养成分平均值进行聚类分析,结果显示,红藜麦和黑藜麦的相似度最高,

灰藜麦与其它 3 种颜色藜麦的相似度最低(图 1),表明深色藜麦同浅色藜麦的营养存在较大差异。TDF、IDF、Cu、直链淀粉、Zn、总淀粉、Mn 和 K 这 8 种营养成分可以很好的聚为一类,记为 I;其中前 4 种又可聚为一个亚类,记为 IA;后 4 种

为另一个亚类, 记为 IB。IA 和 IB 多数在黑藜麦和红藜麦中的含量高于灰藜麦和白藜麦, 其中 IA 在黑藜麦中的含量最高, IB 除 Zn 外在红藜麦中含量最高。其余 13 种营养成分可聚为第二大类, 记为 II, 其中总黄酮、Fe、灰分、粗脂肪、Mg、Ca 和 P 这 7 种营养成分可聚为一个亚类, 记为 IIA; 其余 6 种营养成分可聚为另一亚类, 记为 IIB。

IIA 在灰藜麦中的含量最高, IIB 除粗蛋白外在黑藜麦中的含量最低。IIB 又可分为两个亚亚类, 其中维生素 B₂、粗蛋白和 Na 在红藜麦中的含量最高; 维生素 B₁、SDF 和 Se 在灰藜麦和白藜麦中的含量较黑藜麦和红藜麦高, 且白藜麦中仅 Se 的含量最高(图 1)。聚类分析结果表明不同颜色藜麦的营养价值各有优劣。

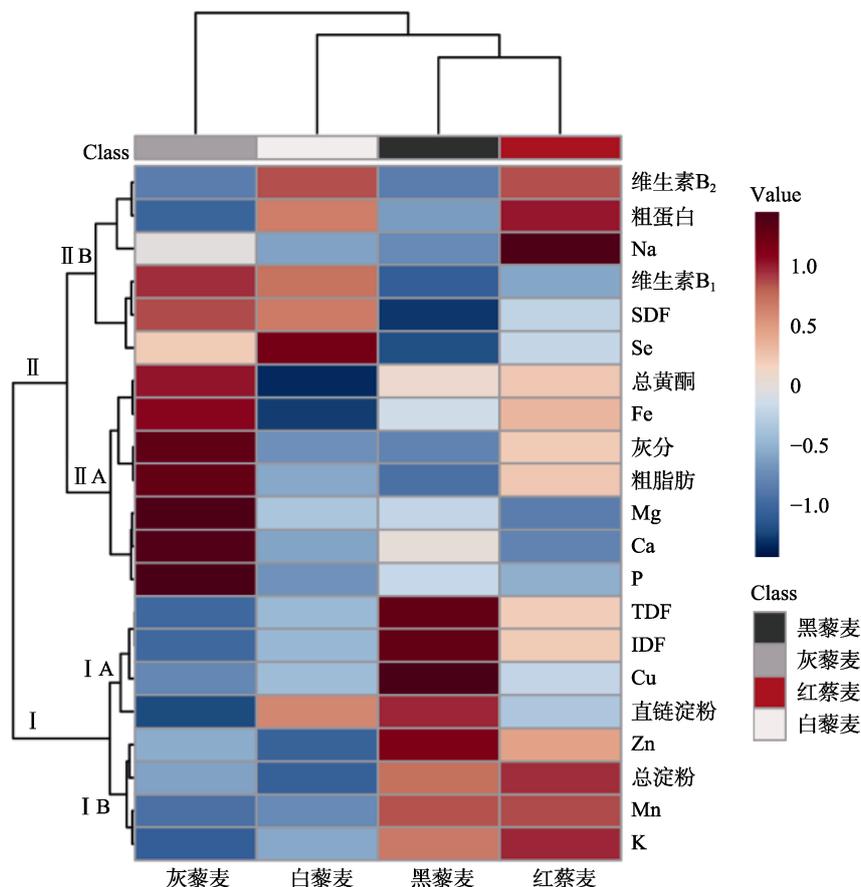


图 1 4 种颜色藜麦营养成分平均值的层次聚类热图

Fig. 1 Hierarchical clustering heatmap of the average nutrient content of quinoa in four different colors

3 结论

同小麦粉、大米等主粮及燕麦、荞麦、小米、青稞等杂粮相比, 藜麦具有更高的粗蛋白、粗脂肪、灰分、IDF 和更低的总淀粉含量; 藜麦维生素 B₁、B₂ 高于小麦粉和小米等主粮, 但低于荞麦、小米和青稞等杂粮; 藜麦的各种矿物元素含量较多数主粮和杂粮高, 且 P、K、Zn 含量最突出。不同颜色藜麦相比, 灰藜麦同其它 3 种颜色藜麦的区分度最大, 红藜麦和黑藜麦的相似度最高。TDF、IDF、Cu、Zn、总淀粉、Mn 和 K 这 7 种营养成分在黑色和红色等深色藜麦中含量较高; 维

生素 B₁、SDF 和 Se 在灰色和白色等浅色藜麦中含量较高。不同颜色藜麦的营养特性有一定的互补性, 混合颜色的藜麦可提供更全面的营养。本研究初步阐明了藜麦的营养禀赋, 为我国藜麦品质营养资源数据库构建、藜麦品种选育、藜麦基食品的加工和产品开发提供数据支撑。

致谢: 感谢中国作物学会藜麦专业委员会专家在样品采集及前处理方面提供的大力支持。

参考文献:

[1] CHAUDHARY N, WALIA S, KUMAR R. Functional

- composition, physiological effect and agronomy of future food quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A review[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 118: 105192.
- [2] WU G Y, ROSS C F, MORRIS C F, et al. Lexicon development, consumer acceptance, and drivers of liking of quinoa varieties[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(4): 993-1005.
- [3] 祖力皮牙·买买提, 毛红艳, 岳丽, 等. 三色藜麦抗氧化活性及体外消化特性[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(10): 2461-2469.
- ZULUPIYA M M T, MAO H Y, YUE L, et al. Study on in vitro antioxidant activities and digestive characteristics of tricolor quinoa[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2023, 60(10): 2461-2469.
- [4] 赵萌萌, 杨希娟, 党斌, 等. 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[J]. 食品与机械, 2020, 36(8): 29-35.
- ZHAO M M, YANG X J, DANG B, et al. Comparative analysis of nutrient quality and polyphenol composition and antioxidant activity of different colored quinoa[J]. Food & Machinery, 2020, 36(8): 29-35.
- [5] 向卓亚, 邓俊琳, 陈建, 等. 藜麦体外模拟消化过程中酚类物质含量及抗氧化活性的变化[J]. 中国食品学报, 2021, 21(8): 283-290.
- XIANG Z Y, DENG J L, CHEN J, et al. The changes of phenolic contents and antioxidant activity of quinoa during simulated in vitro digestion[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(8): 283-290.
- [6] PEREIRA E, ENCINA-ZELADA C, BARROS L, et al. Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa) grains: A good alternative to nutritious food[J]. Food Chemistry, 2019, 280: 110-114.
- [7] 石振兴, 杨修仕, 么杨, 等. 60份国内外藜麦材料子粒的品质性状分析[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(1): 88-93.
- SHI Z X, YANG X S, YAO Y, et al. Quality characters analysis of the seed of 60 domestic and overseas quinoa accessions[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(1): 88-93.
- [8] 张国香, 胡秋霞. 三种不同颜色藜麦的矿物质元素含量分析[J]. 云南化工, 2023, 50(9): 67-71.
- ZHANG G X, HU Q X. Analysis of mineral elements in three different colors of quinoa[J]. Yunnan Chemical Technology, 2023, 50(9): 67-71.
- [9] PANG Z Q, CHONG J, ZHOU G Y, et al. MetaboAnalyst 5.0: narrowing the gap between raw spectra and functional insights[J]. Nucleic Acids Research, 2021, 49(W1): W388-W396.
- [10] 杨月欣. 中国食物成分表标准版(第六版)第一册[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2018: 28-38.
- YANG Y X. China food composition tables-standard edition (sixth edition) volume 1[M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2018: 28-38.
- [11] 刘建垒, 王文娟, 王瑞杰, 等. 全国主要谷子品种的营养及食用品质分析[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(11): 227-235.
- LIU J L, WANG W J, WANG R J, et al. Nutrition and eating quality of main foxtail millet varieties in China[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(11): 227-235.
- [12] ZHANG J, GUO Z, REN Z, et al. Rapid determination of protein, starch and moisture content in wheat flour by near-infrared hyperspectral imaging[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 117: 105134.
- [13] 姚哲, 张辉, 彭金龙, 等. 不同品种大米营养组分与糊化、酶解特性的相关性分析[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(13): 173-180.
- YAO Z, ZHANG H, PENG J L, et al. Correlation analysis between nutrient components, pasting properties and enzymatic hydrolysis properties of different varieties of rice[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(13): 173-180.
- [14] 秦琳, 李曦, 赵珊, 等. 裸燕麦膳食纤维组成含量研究及优异资源筛选[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(6): 729-737.
- QIN L, LI X, ZHAO S, et al. Study of dietary fiber composition content in naked oat (*Avena nuda* L.) and superior germplasm selection[J]. Journal of Triticeae Crops, 2023, 43(6): 729-737.
- [15] 张广峰, 陈喜明, 韩云丽, 等. 31个荞麦品种的经济性状及品质分析[J]. 种子, 2020, 39(5): 85-87+91.
- ZHANG G F, CHEN X M, HAN Y L, et al. Analysis of economic traits and quality of 31 identified buckwheat varieties in China[J]. Seed, 2020, 39(5): 85-87+91.
- [16] 牛小霞, 陈娟, 柳小宁, 等. 40份青稞种质资源农艺和品质性状的综合评价及评价指标筛选[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(3): 88-93.
- NIU X X, CHEN J, LIU X N, et al. Comprehensive evaluation and evaluation index screening of agronomic and quality characters of 40 highland barley germplasm resources[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(3): 88-93.
- [17] 刘建垒, 常柳, 洪宇, 等. 小米粥食用品质与米粒感官品质及营养成分的相关性分析[J]. 中国食品学报, 2023, 23(8): 406-416.
- LIU J L, CHANG L, HONG Y, et al. Correlation between the porridge eating quality, kernel sensory quality and nutrients of milled foxtail millet[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(8): 406-416.
- [18] LI L K, LIETZ G, SEAL C J. Phenolic, apparent antioxidant and nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(7): 3245-3254.
- [19] PEDRALI D, GIUPPONI L, De la PEÑA-ARMADA R, et al. The quinoa variety influences the nutritional and antioxidant profile rather than the geographic factors[J]. Food Chemistry, 2023, 402: 133531.
- [20] GUARDIANELLI L M, SALINAS M V, BRITES C, et al. Germination of white and red quinoa seeds: Improvement of nutritional and functional quality of flours[J]. Foods, 2022, 11(20): 3272.
- [21] CHEN X, ZHANG Y Y, CAO B E, et al. Assessment and comparison of nutritional qualities of thirty quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed varieties[J]. Food Chemistry: X, 2023, 19: 100808.
- [22] 张佳冰, 梁啸天, 曲毅鹏, 等. 荞麦种子的种皮颜色与类黄酮含量的关系[J/OL]. 分子植物育种, 2024. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.s.20240308.1538.008>.
- ZHANG J B, LIANG X T, QU Y P, et al. Relationship between seed coat color and flavonoid content of buckwheat seeds[J/OL]. Molecular Plant Breeding, 2024. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.s.20240308.1538.008>.
- [23] HAN Y M, CHI J W, ZHANG M W, et al. Characterization of saponins and phenolic compounds: antioxidant activity and inhibitory effects on alpha-glucosidase in different varieties of colored quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2019, 83(11): 2128-2139. 
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。