

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2025.01.001

## 不同粒色藜麦氨基酸组成及营养评价

赖运平<sup>1</sup>, 刘思怡<sup>2</sup>, 王智强<sup>1</sup>, 向达兵<sup>2</sup>, 韦献雅<sup>1</sup>, 冯宗云<sup>3</sup>, 邹亮<sup>1,2\*</sup>

(1. 成都农业科技职业学院杂粮研究所, 四川 成都 611130; 2. 成都大学农业农村部杂粮加工重点实验室, 四川 成都 610106; 3. 四川农业大学农学院, 四川 成都 611130)

**摘要:** [目的] 系统评价不同籽粒颜色藜麦品系氨基酸营养特征。[方法] 采用高效液相色谱法测定籽粒中氨基酸组成和质量分数, 结合联合国粮农组织(FAO)理想模式和氨基酸比值系数法进行营养综合评价。[结果] 供试藜麦品系均检出17种氨基酸, 其中必需氨基酸7种。黑色藜麦总氨基酸质量分数显著高于红色和白色品系( $P < 0.05$ )。3种粒色藜麦的必需氨基酸平均占比34.4%。药用氨基酸质量分数占比达71.9%。黑色藜麦的氨基酸比值系数分(SRCAA)和必需氨基酸指数值(EAAI)最高, 分别为92.88和1.15, 均接近FAO推荐阈值。[结论] 不同粒色藜麦均具有优异营养价值, 以黑色藜麦为最优, 且缬氨酸是藜麦的第1限制氨基酸。

**关键词:** 藜麦; 粒色; 氨基酸; 营养评价; 营养价值

中图分类号: TS210.1 文献标志码: A 文章编号: 1673-1891(2025)01-0001-07

## On the Composition and Nutritional Evaluation of Amino Acid of Quinoa with Different Grain Colors

LAI Yunping<sup>1</sup>, LIU Siyi<sup>2</sup>, WANG Zhiqiang<sup>1</sup>, XIANG Dabing<sup>2</sup>, WEI Xianya<sup>1</sup>,  
FENG Zongyun<sup>3</sup>, ZOU Liang<sup>1,2\*</sup>

(1. Institute of Coarse Cereal, Chengdu Agricultural College, Chengdu 611130, Sichuan, China; 2. Key Laboratory of Coarse Cereal Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu University, Chengdu 610106, Sichuan, China; 3. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan, China)

**Abstract:** [Objective] To systematically evaluate the nutritional characteristics of amino acid of quinoa lines with different grain colors. [Method] The composition of amino acid was determined by high-performance liquid chromatography, and the nutritional value was assessed using the FAO ideal model combined with the amino acid ratio coefficient method. [Result] Seventeen amino acids were detected in all tested quinoa lines, including seven essential amino acids. The total amino acid content of black quinoa was significantly higher than that of the red and white lines ( $P < 0.05$ ). The average percentage of essential amino acids in the three grain colors of quinoa was 34.4%. The medicinal amino acid content was 71.9%. Black quinoa had the highest amino acid ratio coefficient score (SRCAA) and essential amino acid index value (EAAI) of 92.88 and 1.15, respectively, which were close to the FAO recommended threshold. [Conclusion] Quinoa of different grain colors has excellent nutritional value, especially black quinoa, and valine is the first limiting amino acid of quinoa.

**Keywords:** quinoa; grain color; amino acid; nutritional evaluation

收稿日期: 2024-07-15

基金项目: 农业农村部杂粮加工重点实验室开放基金课题(2024CC006); 天府粮仓现代农业产教联合体课题(2024LHT); 四川杂粮创新团队杂粮营养与安全评价技术研究与应用岗位项目(SCCXTD-2024-20)。

作者简介: 赖运平(1982—), 男, 江西寻乌人, 副教授, 博士, 研究方向: 藜麦种质资源创新与利用, e-mail: laiyp2003@sina.com。

\*通信作者: 邹亮(1979—), 男, 四川威远人, 教授, 博士, 研究方向: 食品营养功能与安全评价, e-mail: zouliangcd@126.com。

## 0 引言

藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd.) 为原产南美洲安第斯山脉及其附近的苋科“假谷物”作物,因其籽粒具有丰富的营养保健物质如蛋白、多糖、维生素及矿物质<sup>[1-2]</sup>,被联合国粮农组织(FAO)列为唯一可以满足人类所需全部营养需求的食粮<sup>[3-4]</sup>。其独特的营养成分,也是一种良好的医疗保健、美容化工及饲料工业的后备原料<sup>[5-6]</sup>。同时藜麦具有较强的环境适应性,已成为我国西部边疆地区恶劣自然环境下种植业调整的重要粮食与经济作物<sup>[7-8]</sup>。

氨基酸是构成生物蛋白质的基本组成,在生物体内具有重要生理调节作用<sup>[9]</sup>。王威丽等<sup>[10]</sup>发现谷氨酸对于缓解中枢系统的神经元损伤引起的机体记忆和认知功能减退有良好的功效。氨基酸质量分数多少与品种和环境因素相关<sup>[11-12]</sup>,相关研究<sup>[13]</sup>发现,产地因素对藜麦籽粒氨基酸质量分数变异有着重要的影响。同时氨基酸质量分数不同,对其加工用途有着显著影响。王晨静等<sup>[14]</sup>认为藜麦食品的开发不应只考虑相关保健元素质量分数多少,还需要考虑藜麦原始天然色泽引起的产品外观对消费者的吸引力。因此,研究不同粒色的藜麦氨基酸质量分数变异,可以为藜麦氨基酸相关保健产品的研制与开发提供理论基础,同时也为藜麦产业深度开发提供实践指导。

本研究以 3 个不同籽粒颜色藜麦高代品系为试验对象,采用高效液相色谱法测定其氨基酸质量分数,并对其必需氨基酸、滋味氨基酸、功能性氨基酸等质量分数进行分析,开展氨基酸营养评价,以期对藜麦氨基酸保健食品加工原料筛选和经济价值发掘提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与试剂

试验材料采用 3 个不同籽粒颜色藜麦,为成都

农业科技职业学院选育的高代品系。2023 年 4 月 15 日在康定雅拉乡试验基地播种,2023 年 8 月 17 日收获,其编号、粒色和名称如表 1 所示。

表 1 供试材料粒色和名称

编号	粒色	名称
1	白色	KD22-286-12
2	红色	KD22-285-6
3	黑色	KD22-287-2

试验中使用的硼酸和盐酸均为分析纯,购自成都市科龙化工试剂厂;混合氨基酸标准液和 6-氨基喹啉基-N-羟基琥珀酰亚氨基甲酸酯(AQC)均为色谱纯,购自美国 Waters 公司。

### 1.2 主要仪器

DFY 系列高速万能粉碎机(上海利闻科学仪器有限公司);EYELA 真空旋转蒸发、HQ-60 涡旋混合器、EYELA FD-1 冷冻干燥机(日本东京理化公司);配有二极管阵列检测器和色谱工作站的 1260 Infinity II 高效液相色谱仪系统(美国安捷伦公司)。

### 1.3 试验方法

对藜麦样品各氨基酸组分进行萃取、检测,重复 3 次。

#### 1.3.1 标准品溶液处理

移取 10  $\mu\text{L}$  的 400  $\mu\text{mol/L}$  氨基酸标准溶液,加入 70  $\mu\text{L}$  硼酸盐缓冲溶液,涡旋混合 10 s 后,将 10  $\mu\text{L}$  的 AQC 衍生试剂溶液边涡旋边加入到样品管中,用封口膜密封样品管,室温放置 1 min,于 55  $^{\circ}\text{C}$  加热 20 min,取出冷却至室温后将 10  $\mu\text{L}$  样品进样至色谱仪进行分析。

#### 1.3.2 萃取条件

准确称取 0.5 g 样品粉末,置于 10 mL 离心管中,加入 5 mL 20 mmol/L 的盐酸溶液,超声或震荡萃取 1 h,取出摇匀后静止。进一步进行萃取反应,其反应方法与标准品溶液处理方法相同。

#### 1.3.3 色谱条件

色谱柱:AccQ Tag 氨基酸分析柱(150 mm $\times$ 4.6

mm×5 μm)。以 Waters 公司的 AccQ Tag 衍生试剂盒 A 用超纯水稀释 10 倍,流动相 B:60% 乙腈水溶液,梯度洗脱,流速 1 mL/min;柱温:35 °C。

#### 1.4 蛋白质氨基酸营养价值评价

计算不同粒色藜麦的各氨基酸质量分数和总氨基酸(TAA),根据黄永桥等<sup>[15]</sup>对树莓氨基酸的营养评价方法,对不同藜麦品种的氨基酸进行营养特性、味觉特性和功能特性进行分类和计算组成比例。利用联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)所提出的必需氨基酸(essential amino acids, EAA)模型以及中国预防医学院提出的鸡蛋蛋白质氨基酸评估模型<sup>[16-17]</sup>,计算不同粒色藜麦的必需氨基酸评估分数( $a_1$ )、化学评估分数( $a_2$ )、氨基酸的比值系数( $a_3$ )、氨基酸的比值系数分( $a_4$ )和必需氨基酸指数值( $a_5$ ),分别如式(1)、式(2)、式(3)、式(4)和式(5)所示。

$$a_1 = \frac{m_1}{m_2} \quad (1)$$

$$a_2 = \frac{m_1}{m_3} \quad (2)$$

$$a_3 = \frac{a_1}{m_4} \quad (3)$$

$$a_4 = (1 - c_v(a_3)) \times 100 \quad (4)$$

$$a_5 = \sqrt[7]{\sum_{n=1}^7 (a_{1_n})} \quad (5)$$

式(1)~(5)中: $m_1$ 表示藜麦蛋白质中某种必需氨基酸质量分数; $m_2$ 表示 FAO/WHO 评分系统中,相应必需氨基酸质量分数; $m_3$ 表示鸡蛋蛋白评分系统中相应必需氨基酸质量分数; $m_4$ 表示样品中所有必需氨基酸评估分数平均值; $c_v$ 表示氨基酸的比值系数的变异系数。

必需氨基酸(EAA)包括赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸与缬氨酸;非必需氨基酸(NEAA)包括甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸、酪氨酸、丝氨酸、胱氨酸、天冬氨酸、谷氨酸与组氨酸;酸味氨基酸(SAA)包括天冬氨酸、谷氨酸与组氨酸;甜味氨基酸(SwAA)包括甘氨酸、丙氨酸、丝氨

酸、苏氨酸与脯氨酸;苦味氨基酸(BAA)包括缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、蛋氨酸、酪氨酸、精氨酸、苯丙氨酸与组氨酸;鲜味氨基酸(FAA)包括赖氨酸、谷氨酸与天冬氨酸;芳香族氨基酸(ArAA)包括苯丙氨酸、酪氨酸与半胱氨酸;药用氨基酸(MAA)包括天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、赖氨酸与精氨酸;支链氨基酸(BcAA)包括缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸。

#### 1.5 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据整理,利用 SPSS 17.0 软件进行方差分析和多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 藜麦籽粒氨基酸分析

#### 2.1.1 藜麦籽粒氨基酸组成及质量分数分析

3个不同粒色藜麦品系的氨基酸质量分数结果如表2所示。黑色籽粒总氨基酸平均质量分数(12.356 g/100 g)显著高于白色籽粒(11.697 g/100 g)和红色籽粒(11.462 g/100 g)藜麦( $P < 0.05$ )。该结果与陈志婧等<sup>[18]</sup>、李美凤等<sup>[13]</sup>的研究结果较一致。对17种氨基酸质量分数进行分析,谷氨酸、天冬氨酸和精氨酸在所有藜麦样品中的质量分数均大于1 g/100 g,而胱氨酸、酪氨酸、蛋氨酸在所有藜麦样品中的质量分数均小于0.5 g/100 g,与李美凤等<sup>[13]</sup>、杨春霞等<sup>[19]</sup>的研究结果相近。综上所述,粒色可能会影响藜麦的氨基酸质量分数,进而导致藜麦在氨基酸营养成分上出现差异。

#### 2.1.2 必需氨基酸质量分数分析

必需氨基酸是指人体不能合成或合成速度不足以满足需要,必须由食物蛋白供给,在机体内承担着重要作用的一类氨基酸。试验结果表明,黑色、红色、白色藜麦籽粒的必需氨基酸平均质量分数分别为4.371 g/100 g、3.866 g/100 g和4.002 g/100 g,其质量分别占总氨基酸质量的为35.367%、33.729%和34.214%,EAA/TAA(必需氨基酸/总氨基

表 2 不同粒色藜麦氨基酸质量分数

g/100 g

氨基酸类型	黑色藜麦	红色藜麦	白色藜麦	平均值
丝氨酸	0.651 ± 0.029a	0.458 ± 0.102b	0.423 ± 0.042b	0.511 ± 0.111
谷氨酸	2.249 ± 0.019a	2.228 ± 0.032a	2.257 ± 0.128a	2.245 ± 0.067
天冬氨酸	1.255 ± 0.036a	1.099 ± 0.091b	1.145 ± 0.069ab	1.166 ± 0.088
甘氨酸	0.681 ± 0.020b	0.570 ± 0.071c	0.748 ± 0.043a	0.666 ± 0.083
组氨酸	0.440 ± 0.021b	0.458 ± 0.027b	0.525 ± 0.019a	0.474 ± 0.043
精氨酸	1.015 ± 0.003c	1.163 ± 0.086a	1.077 ± 0.023b	1.085 ± 0.065
苏氨酸	0.560 ± 0.027a	0.500 ± 0.026b	0.518 ± 0.003b	0.526 ± 0.030
丙氨酸	0.517 ± 0.008a	0.472 ± 0.039a	0.500 ± 0.081a	0.496 ± 0.051
脯氨酸	0.498 ± 0.036a	0.619 ± 0.132a	0.541 ± 0.065a	0.553 ± 0.078
胱氨酸	0.345 ± 0.017a	0.263 ± 0.048b	0.231 ± 0.015c	0.280 ± 0.052
酪氨酸	0.335 ± 0.023a	0.266 ± 0.050b	0.247 ± 0.041b	0.283 ± 0.046
缬氨酸	0.651 ± 0.010a	0.463 ± 0.108b	0.367 ± 0.037c	0.494 ± 0.127
蛋氨酸	0.201 ± 0.017b	0.246 ± 0.036a	0.158 ± 0.004c	0.202 ± 0.039
赖氨酸	0.862 ± 0.033a	0.799 ± 0.072a	0.918 ± 0.078a	0.860 ± 0.076
异亮氨酸	0.561 ± 0.025a	0.475 ± 0.034b	0.596 ± 0.034a	0.544 ± 0.062
亮氨酸	0.983 ± 0.042a	0.853 ± 0.068b	0.950 ± 0.015a	0.929 ± 0.065
苯丙氨酸	0.552 ± 0.009a	0.530 ± 0.015b	0.495 ± 0.001c	0.526 ± 0.027
总氨基酸	12.356 ± 0.138a	11.462 ± 0.464b	11.697 ± 0.217b	11.838 ± 0.430

注:数字后不同字母表示同一列数据间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

酸×100%)平均值为 34.4%,该结果与世界卫生组织提倡的人体每日所需 EAA/TAA (40%)接近。非必需氨基酸平均质量分数分别为 7.986 g/100 g、7.596 g/100 g 和 7.694 g/100 g。必需氨基酸与非必需氨基酸的比值分别为 54.7%、50.9% 和 52.0%, EAA/NEAA (必需氨基酸/非必需氨基酸×100%)平均 52.5%,此结果与世界卫生组织提倡的人体每日所需 EAA/NEAA (60%)接近。上述结果表明,藜麦含有较丰富的氨基酸,是补充人体必需氨基酸的理想来源。

### 2.1.3 滋味氨基酸质量分数分析

自然界存在的氨基酸属于左旋氨基酸,由于其具有特殊的化学性质,该类氨基酸呈现出一定滋味性。滋味氨基酸包括酸味氨基酸(SAA)、甜味氨基酸(SwAA)、苦味氨基酸(BAA)、鲜味氨基酸(FAA)

和芳香族氨基酸(ArAA)5类<sup>[20]</sup>。如表 3 所示,藜麦籽粒滋味氨基酸的质量分数依次为苦味氨基酸>鲜味氨基酸>酸味氨基酸>甜味氨基酸>芳香族氨基酸,此结果与张琦等<sup>[20]</sup>对不同季节收获的藜麦籽粒的氨基酸测定结果相似。对比不同颜色籽粒藜麦可知,白色藜麦的鲜味氨基酸、酸味氨基酸占总氨基酸比例最高,黑色藜麦的甜味氨基酸、芳香族氨基酸的占总氨基酸比例最高,红色藜麦的苦味氨基酸占总氨基酸比例为最高。不同粒色藜麦的滋味氨基酸组成存在着一定差异,可能会对藜麦的口感产生一定差别。

### 2.1.4 功能性氨基酸质量分数分析

功能性氨基酸是指除了作为蛋白质合成的基本原料外,还具有独特的生物学功能,能在调节机体代谢、维持生理功能、提高免疫力、促进生长发育

表 3 不同籽粒颜色藜麦滋味氨基酸平均质量分数及其占总氨基酸平均质量分数比例

籽粒颜色	SAA	SAA/TAA	SwAA	SwAA/ TAA	BAA	BAA/ TAA	FAA	FAA/TAA	ArAA	ArAA/ TAA
黑色	3.944	31.920	2.907	23.527	4.738	38.346	4.366	35.335	1.232	9.971
红色	3.785	33.022	2.619	22.849	4.454	38.859	4.126	35.997	1.059	9.239
白色	3.927	33.573	2.73	23.339	4.415	37.745	4.320	36.933	0.973	8.318
平均	3.885	32.838	2.752	23.238	4.536	38.317	4.271	36.088	1.088	9.176

等方面发挥重要作用的一类氨基酸,包括药用氨基酸和支链氨基酸<sup>[20]</sup>。由表 4 得知,黑色、红色和白色藜麦籽粒的药用氨基酸质量分数分别为 8.694 g/100 g、8.229 g/100 g 和 8.591 g/100 g,分别占总氨基酸质量分数 70.363%、71.794% 和 73.446%,和张琦等<sup>[20]</sup>对不同季节收获的藜麦功能性氨基酸含量接近,远高于天竺黄(*Bambusae Concretio Silicea*)<sup>[21]</sup>、蓝莓(*Vaccinium spp.*)<sup>[22]</sup>。说明藜麦含有较丰富的药用氨基酸,是一种较好的药用原料。

表 4 不同粒色藜麦功能性氨基酸平均质量分数及其占总氨基酸平均质量分数比例

籽粒颜色	MAA 质量 分数/ (g·100 g <sup>-1</sup> )	MAA 与 TAA 之 比/%	BcAA 质 量分数/ (g·100 g <sup>-1</sup> )	BcAA 与 TAA 之 比/%
黑色	8.694	70.363	2.195	17.765
红色	8.229	71.794	1.791	15.626
白色	8.591	73.446	1.913	16.355
平均	8.505	71.868	1.966	16.582

黑色、红色和白色藜麦籽粒的支链氨基酸质量分数分别为 2.195 g/100 g、1.791 g/100 g 和 1.913 g/100 g,分别占总氨基酸质量的 17.8%、15.6% 和 16.4%(表 4),均低于张琦等<sup>[20]</sup>报道的 12 份藜麦支链氨基酸含量,可能与试验品种、种植条件的差异有关。通常认为支链氨基酸具有良好的药用作用<sup>[23]</sup>,在植物逆境胁迫中也发挥着积极的作用<sup>[24]</sup>。综上结果,可以认为藜麦是一种具有良好食品保健功效和逆境胁迫调节功能的作物。

## 2.2 藜麦籽粒氨基酸评价

由表 5 可知,3 种粒色藜麦必需氨基酸(EAA)占总氨基酸(TAA)的百分比之和(SIT)为 38.301~40.870,其中以黑色藜麦为最高,白色为最低,均高于 FAO/WHO 推荐值(35.7),但低于中国预防医学院提出的卵清蛋白标准(47.3),与文莉芳等<sup>[25]</sup>对白色藜麦氨基酸研究结果一致。从单个氨基酸来看,黑色籽粒的所有 EAA/TAA 均高于 FAO/WHO 推荐值;红色籽粒除了缬氨酸,其余 EAA/TAA 均高于 FAO/WHO 推荐值;白色籽粒除了缬氨酸、蛋氨酸+胱氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸,其余 EAA/TAA 均高于 FAO/WHO 推荐值。

利用必需氨基酸(EAA)含量及其比例计算出必需氨基酸评估分数(AAS)、化学评估分数(CS)、氨基酸的比值系数(RC)和氨基酸的比值系数分(SRCAA),对不同粒色藜麦的营养特征进行评价。因含量偏低而具有重要地位的氨基酸,被习惯称作“限制性氨基酸”。依据含量偏低的程度,它们可进一步划分为第一限制性氨基酸、第二限制性氨基酸等<sup>[20]</sup>。本研究发现,缬氨酸的比值系数值(RC)在不同粒色藜麦中小于 1,且均比其余必需氨基酸的 RC 值小(表 6),与文莉芳等<sup>[25]</sup>的研究结果一致,说明缬氨酸可能是藜麦的第一限制氨基酸。赖氨酸在 3 种藜麦籽粒中均表现出较高的 RC 值(即 RC>1),说明本研究供试材料的赖氨酸相对丰富,是良好的赖氨酸食源。

3 种粒色藜麦氨基酸比值系数分(SRCAA)差异较大,黑色藜麦的 SRCAA 最高(92.880),红色次之

表 5 不同粒色藜麦必需氨基酸与不同模式谱比较分析

%

氨基酸类型	必需氨基酸质量分数			FAO/WHO 模式	卵清模式
	黑色	红色	白色		
苏氨酸	4.532	4.362	4.428	4.1	4.7
缬氨酸	5.269	4.039	3.138	5.0	6.6
蛋氨酸+胱氨酸	4.419	4.441	3.326	3.5	5.7
赖氨酸	6.976	6.971	7.848	5.5	7.0
异亮氨酸	4.540	4.144	5.095	4.0	5.4
亮氨酸	7.956	7.442	8.122	7.0	8.6
苯丙氨酸+酪氨酸	7.178	6.945	6.344	6.5	9.3
SIT	40.870	38.344	38.301	35.6	47.3

(85.513), 白色藜麦最低(76.005)(表 6), 但均远高于传统药食同源植物铁皮石斛<sup>[26]</sup>, 因此, 藜麦具有进行食药开发的潜力。

必需氨基酸指数值(EAAI)也是评价蛋白质质

量的评价体系之一, 一般认为 EAAI 值大于 0.95, 为优质蛋白质<sup>[27]</sup>。本研究发现, 3 种颜色藜麦的 EAAI 值均大于 1(表 6), 说明 3 个藜麦品系均适于做优质蛋白源。

表 6 不同粒色藜麦品种必需氨基酸评价

籽粒颜色	AAS/CS/RC	苏氨酸	缬氨酸	蛋氨酸+胱氨酸	赖氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	苯丙氨酸+酪氨酸	SRCAA	EAAI
黑色	AAS	1.105	1.054	1.263	1.268	1.135	1.137	1.104	92.880	1.150
	CS	0.964	0.798	0.775	0.997	0.841	0.925	0.772		
	RC	0.959	0.915	1.096	1.101	0.985	0.986	0.958		
红色	AAS	1.064	0.808	1.269	1.267	1.036	1.063	1.068	85.513	1.071
	CS	0.928	0.612	0.779	0.996	0.767	0.865	0.747		
	RC	0.983	0.746	1.172	1.171	0.957	0.982	0.987		
白色	AAS	1.080	0.628	0.950	1.427	1.274	1.160	0.976	76.005	1.041
	CS	0.942	0.475	0.584	1.121	0.944	0.944	0.682		
	RC	1.009	0.586	0.888	1.333	1.190	1.084	0.912		
平均	AAS	1.083	0.83	1.161	1.321	1.148	1.12	1.049	84.799	1.087
	CS	0.945	0.628	0.713	1.038	0.851	0.911	0.734		
	RC	0.984	0.749	1.052	1.202	1.044	1.017	0.952		

### 3 结论

白色、红色、黑色 3 种颜色藜麦中, 谷氨酸含量最高, 蛋氨酸、酪氨酸和胱氨酸含量相对偏低。黑色藜

麦的总氨基酸和必需氨基酸含量最高, 红色藜麦的总氨基酸和必需氨基酸含量最低。藜麦的苦味氨基酸含量占滋味氨基酸的比例最高, 芳香味氨基酸的比例最低。缬氨酸可能是藜麦的第一限制氨基酸。

## 参考文献:

- [1] ESCUREDO O, MARTÍN M I G, MONCADA G W, et al. Amino acid profile of the quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using near infrared spectroscopy and chemometric techniques[J]. Journal of Cereal Science, 2014, 60(1): 67-74.
- [2] KOZIOL M J. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 1992, 5(1): 35-68.
- [3] 林春,刘正杰,董玉梅,等.藜麦的驯化栽培与遗传育种[J].遗传,2019,41(11):1009-1022.
- [4] MARMOUZI I, El MADANI N, CHARROUF Z, et al. Proximate analysis, fatty acids and mineral composition of processed Moroccan *Chenopodium quinoa* Willd. and antioxidant properties according to the polarity[J]. Phytothérapie, 2015, 13(2): 110-117.
- [5] 管晓,马志敏,宋洪东,等.萌发藜麦的营养及其功能特性研究进展[J].粮油食品科技,2021,29(4):1-11.
- [6] 梁嘉琪,刘瑞香,郭占斌.藜麦的饲用价值及对育成牛生长性能与经济效益的影响[J].中国饲料,2024(5):143-148.
- [7] 王洋,潘晓为,社会石,等.藜麦植物资源开发利用与抗逆性研究进展[J].吉林师范大学学报(自然科学版),2023,44(4): 118-122.
- [8] 李娜娜,丁汉凤,郝俊杰,等.藜麦在中国的适应性种植及发展展望[J].中国农学通报,2017,33(10):31-36.
- [9] TOYOTA M, SPENCER D, SAWAI-TOYOTA S, et al. Glutamate triggers long-distance, calcium-based plant defense signaling[J]. Science, 2018, 361(6407): 1112-1115.
- [10] 王威丽,宋沧桑.阿尔兹海默病发病机制的研究进展及临床用药[J].中国药物评价,2019,36(3):204-209.
- [11] 王洁,周思璇,常诗洁,等.不同品种藜麦营养与功能活性成分比较及应用[J].食品安全质量检测学报,2022,13(3): 681-687.
- [12] 张琪,陆靖英,谢广明,等.不同藜麦品种农艺性状、产量及品质分析研究[J].中国农学通报,2023,39(18):26-33.
- [13] 李美凤,刘雨诗,王丽媛,等.不同产地藜麦籽粒氨基酸组成及其营养价值评价[J].食品工业科技,2019,40(18):289-292+308.
- [14] 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.
- [15] 黄永桥,高亮,张群英,等.树莓中氨基酸、矿物元素及维生素含量分析与营养评价[J].食品与发酵工业,2022,48(15):295-302.
- [16] 朱圣陶,吴坤.蛋白质营养价值评价——氨基酸比值系数法[J].营养学报,1988(2):187-190.
- [17] 杨月欣,王光亚,潘兴昌.中国食物成分表2002[M].北京:北京大学医学出版社,2002.
- [18] 陈志婧,廖成松.7个不同品种藜麦营养成分比较分析[J].食品工业科技,2020,41(23):266-271.
- [19] 杨春霞,王晓静,赵子丹,等.藜麦中氨基酸含量分析[J].宁夏农林科技,2018,59(3):48-50+59.
- [20] 张琦,高娅,潘鑫,等.成都平原两季收获的藜麦中氨基酸的组成及其营养评价[J].食品与发酵工业,2023,49(24):290-301.
- [21] 孔祥河,任广喜,徐裕彬,等.基于天竺黄中15种蛋白质氨基酸含量分析的营养价值评价[J].中国中药杂志,2024,49(7):1809-1817.
- [22] 吴志界,张立杰,谢丽雪,等.12个蓝莓品种果实氨基酸含量及组成分析[J].中国南方果树,2023,52(3):149-153.
- [23] 魏志宏,赵帅,秦绪军,等.支链氨基酸代谢机制研究进展[J].心脏杂志,2023,35(2):213-217.
- [24] SUN Y, ZHOU Y, LONG Q, et al. *O<sub>s</sub>BCAT2*, a gene responsible for the degradation of branched-chain amino acids, positively regulates salt tolerance by promoting the synthesis of vitamin B5[J]. New Phytologist, 2024, 241: 2558-2574.
- [25] 文莉芳,杨超,张学俭,等.不同产地白色藜麦营养成分及氨基酸含量评价[J].食品与发酵工业,2024,50(19):257-264.
- [26] 王晓媛,王彦兵,陈玉芹,等.6种石斛属植物氨基酸组成及营养价值评价[J].天然产物研究与开发,2019,31(4): 601-607.
- [27] 陈巧玲,李忠海,陈素琼.5种地产食用菌氨基酸组成比较及营养评价[J].食品与机械,2014,30(6):43-46+81.