

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250220001

引用格式: 谢婷婷, 林滢, 杜子默, 等. 福建薏米氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(12): 303–310.

XIE TT, LIN H, DU ZM, *et al.* Analysis of amino acid composition and evaluation of nutritional value of *Coix lacryma-jobi* in Fujian Province [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(12): 303–310. (in Chinese with English abstract).

福建薏米氨基酸组成分析及营养价值评价

谢婷婷^{1*}, 林滢¹, 杜子默¹, 杨海清²

(1. 福建省粮油质量监测所, 福州 350012; 2. 福建省仙游县金沙食品有限公司, 莆田 351100)

摘 要: **目的** 探明福建薏米氨基酸组成特征及营养价值差异。**方法** 以福建南平、福建莆田、福建三明、辽阳、贵州和云南地区薏米为试验材料, 采用酸水解法, 使用氨基酸自动分析仪测定薏米氨基酸含量。以联合国粮食及农业组织和世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, FAO/WHO)推荐的蛋白模式和鸡蛋蛋白标准模式为参照, 计算并比较薏米的氨基酸比值系数分(score of ratio coefficients of amino acids, SRC)。同时研究贮藏 10 个月前后不同地区薏米氨基酸变化, 探讨贮藏期间薏米氨基酸变化机制。**结果** 6 个地区薏米均检测出 17 种氨基酸, 其氨基酸总量为 7.34~17.97 g/100 g。辽阳地区薏米的氨基酸含量最高, 其次是莆田地区, 三明地区薏米含量最低。贮藏 10 个月薏米氨基酸变化结果为南平地区薏米氨基酸总量基本保持稳定, 其他地区薏米氨基酸总量则呈现不同程度的下降趋势, 而三明地区薏米氨基酸总量从 7.34 g/100 g 显著增加至 11.17 g/100 g, 增幅达 52.2%。薏米中必需氨基酸总量(total essential amino acids, TEAA)为 1087~2389 mg/g N, 必需氨基酸与总氨基酸的比值(essential to total amino acid ratio, E/T)、必需氨基酸与非必需氨基酸的比值(essential to non-essential amino acid ratio, E/N)分别为 33.82%~39.29%、51.09%~64.71%, 辽阳地区薏米 TEAA 最高, 三明地区薏米 TEAA 最低, 均低于鸡蛋蛋白模式。莆田和辽阳地区薏米 TEAA、E/T、E/N 均高于 FAO/WHO 标准模式。6 个地区薏米 SRC 为 39.71~48.30, 评分最高的为南平地区薏米, 最低的为辽阳地区薏米。赖氨酸为第一限制性氨基酸, 其次是甲硫氨酸+胱氨酸。**结论** 薏米的氨基酸种类齐全, 具有较大的开发利用价值, 可对福建薏米的质量评价提供依据。

关键词: 薏米; 氨基酸; 营养价值; 贮藏

Analysis of amino acid composition and evaluation of nutritional value of *Coix lacryma-jobi* in Fujian Province

XIE Ting-Ting^{1*}, LIN Huang¹, DU Zi-Mo¹, YANG Hai-Qing²

(1. Institute of Grain and Oil Quality Supervision and Test of Fujian Province, Fuzhou 350012, China;
2. Fujian Xianyou Jinsha Food Co., Ltd., Putian 351100, China)

ABSTRACT: Objective To find out the characteristics of amino acid composition and the differences of nutritional value of *Coix lacryma-jobi* in Fujian Province. **Methods** Taking *Coix lacryma-jobi* from Nanping, Putian, Sanming,

收稿日期: 2025-02-20

基金项目: 福建省地方标准制订项目(闽质监[2018]263 号)

第一作者/*通信作者: 谢婷婷(1988—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为粮油饲料卫生安全检测。E-mail: 119372602@qq.com

Liaoyang, Guizhou and Yunnan as experimental materials, the amino acid content of *Coix lacryma-jobi* was determined by acid hydrolysis method and automatic amino acid analyzer. Based on the protein model recommended by Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (FAO/WHO) and the egg protein standard model, score of ratio coefficients of amino acids (SRC) of *Coix lacryma-jobi* was calculated and compared. At the same time, the changes of amino acids in *Coix lacryma-jobi* in different areas before and after storage for 10 months were studied, and the mechanism of amino acid changes in *Coix lacryma-jobi* during storage was discussed. **Results** There were 17 kinds of protein amino acids in *Coix lacryma-jobi* in 6 areas, with the total amino acids of 7.34–17.97 g/100 g. The amino acid content of *Coix lacryma-jobi* in Liaoyang area was the highest, followed by Putian area *Coix lacryma-jobi*, while Sanming area *Coix lacryma-jobi* exhibited the lowest levels. After 10 months of storage, the total amino acid content of Nanping area *Coix lacryma-jobi* remained relatively stable. In contrast, *Coix lacryma-jobi* from other regions showed varying degrees of decline in total amino acids. Notably, Sanming area *Coix lacryma-jobi* demonstrated a significant increase in the total amino acid content from 7.34 g/100 g to 11.17 g/100 g, representing a 52.2% rise. The total essential amino acids (TEAA) in *Coix lacryma-jobi* ranged from 1087 to 2389 mg/g N. The essential to total amino acid ratio (E/T, 33.82%–39.29%) and essential to non-essential amino acid ratio (E/N, 51.09%–64.71%) indicated that Liaoyang area *Coix lacryma-jobi* had the highest TEAA, whereas Sanming area *Coix lacryma-jobi* had the lowest, with both falling below the egg protein reference pattern. However, Putian and Liaoyang area *Coix lacryma-jobi* surpassed the FAO/WHO reference standards in terms of TEAA, E/T and E/N ratios. The SRC of *Coix lacryma-jobi* was 39.71–48.30 from 6 origins, and the highest score was *Coix lacryma-jobi* in Nanping area and the lowest was *Coix lacryma-jobi* in Liaoyang area. Lysine was the first restrictive amino acid, followed by methionine and cystine. **Conclusion** *Coix lacryma-jobi* contains a complete range of amino acids, giving it significant development and utilization potential. This can serve as a basis for evaluating the quality of Fujian *Coix lacryma-jobi*.

KEY WORDS: *Coix lacryma-jobi*; amino acid; nutritional value; storage

0 引言

薏米(*Coix lacryma-jobi*), 又称薏苡仁, 是一种重要的药食同源经济作物, 广泛种植于亚洲热带及亚热带地区。近年来, 因其显著的药用价值^[1-2], 如抗肿瘤^[3]、去湿消肿^[4]、镇痛等功效及丰富的营养成分, 全球市场需求持续增长。我国作为薏米主产国之一, 种植区域覆盖贵州、云南、福建、江西等多个省份, 其中福建薏米因其独特品质被列入“福九味”道地药材。与普通谷物相比, 薏米具有更高的蛋白质(12%~18%)、脂肪(5%~7%)及膳食纤维含量^[5-6], 且其蛋白质组分(α -、 β -、 γ -及 δ -薏苡仁蛋白)富含脯氨酸、丙氨酸及谷氨酰胺等氨基酸^[7], 尤其是赖氨酸和含硫氨基酸(蛋氨酸、半胱氨酸)含量显著高于其他谷物^[8], 营养价值突出。然而, 薏米的营养成分存在显著的品种及地域差异。现有研究多集中于贵州地区^[9-10], 对福建特色品种(如糯薏米与普通薏米)的系统分析仍较匮乏。值得注意的是, 薏米胚乳以支链淀粉为主, 而糯薏米因支链淀粉含量更高, 其氨基酸代谢可能与普通薏米存在差异。此外, 谷物贮藏过程中氨基酸含量的动态变化, 如大米贮藏后氨基酸总量下降^[11]可能进一步影响其营养品质, 但针对薏米(尤其是福建主

栽品种)贮藏期间氨基酸演变规律的研究鲜见报道。

福建省薏米种植面积达 10 万亩, 主产区集中于南平、莆田及三明等地, 产业发展潜力巨大。然而, 目前对该地区薏米氨基酸组成及贮藏稳定性的系统评估较为缺乏, 制约了其高值化利用。因此, 本研究以福建三大主产区的代表性薏米品种为对象, 通过分析其蛋白质氨基酸组成及贮藏稳定性, 结合营养评价体系, 旨在: (1)阐明福建薏米的氨基酸营养特征; (2)揭示不同品种(糯薏米与普通薏米)在贮藏过程中的氨基酸代谢差异; (3)为薏米品质改良及贮藏工艺优化提供理论依据。研究结果将为区域特色薏米资源的深度开发及产业链升级奠定科学基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

薏米采购自福建省 3 个薏米主产区(莆田仙游、南平浦城、三明宁化), 具体信息见表 1。贵州、辽宁、云南薏米均从当地超市购买。

盐酸、柠檬酸钠(优级纯)、苯酚(分析纯)(国药集团化学试剂有限公司); 乙醇[色谱纯, 默克化工技术(上海)有限公司]; 17 种氨基酸混合标准溶液(天冬氨酸、苏氨酸、丝氨

酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、组氨酸和精氨酸浓度均为 1.00 mmol/L、亮氨酸浓度为 0.99 mmol/L、赖氨酸和脯氨酸浓度为 1.01 mmol/L, 上海安谱瑞世标准技术服务有限公司)。

表 1 不同地区薏米的品种

Table 1 Varieties of *Coix lacryma-jobi* in different regions

薏米	品种	生长方式	糯或非糯
莆田薏米	仙薏 1 号	改良品种	非糯
南平薏米	蒲薏 6 号	自然生长	非糯
三明薏米	翠薏 1 号	自然生长	糯

1.2 仪器与设备

福斯 Kjelttec 8400 全自动定氮仪[福斯华(北京)科贸有限公司]; L-8900 日立氨基酸自动分析仪(日本 HITCHI 公司); DZF-6090 真空干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); AB204-L 电子天平(精度 0.1 mg, 瑞士梅特勒-托利多公司)。

1.3 方 法

1.3.1 薏米样品的制备

按照 GB/T 5491《粮食、油料检验 扦样、分样法》规定的方法进行分样, 选取代表性薏米样品不少于 500 g, 用粉碎机将待测样品粉碎至全部通过 20 目筛, 充分混合均匀。

1.3.2 薏米蛋白质含量的测定

参考 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》测定薏米蛋白质含量。

1.3.3 薏米氨基酸的测定

称取 0.2 g 左右的样品于 20 mL 水解管中, 加入浓度为 6 mol/L 的盐酸溶液 10 mL 以及 3~4 滴苯酚, 抽真空(接近 0 Pa)后充氮气, 拧紧螺丝盖。放置于 110 °C 恒温干燥箱内, 水解 22~24 h 后, 用超纯水将水解液定容至 50 mL, 取 1 mL 溶液至试管中在 60 °C 于真空干燥箱内蒸干后, 加 1 mL 超纯水继续蒸干, 取 1.0 mL 0.2 mol/L 柠檬酸钠缓冲溶液复溶, 过 0.22 μm 滤膜, 待测。

1.4 氨基酸营养价值评价方法

以鸡蛋蛋白为标准蛋白, 并以联合国粮食及农业组织和世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, FAO/WHO)推荐的氨基酸参考模式为评价标准, 这是对评价食品营养价值比较常见的方法^[11-12]。参照王允茹等^[13]和王梦阁等^[14]的方法, 对不同品种不同收获年份的福建薏米氨基酸进行营养价值评价, 计算样品中必需氨基酸(essential amino acids, EAA)占总氨基酸(total amino acids, TAA)的质量分数、氨基

酸比值(amino acid ratio, RAA)、氨基酸比值系数(ratio coefficients, RC)和氨基酸比值系数分(score of ratio coefficients of amino acids, SRC), 并对计算结果进行分析, 具体计算如公式(1)~(3)。

$$RAA = \frac{\text{样品蛋白质中某-EAA含量}}{\text{FAO / WHO标准模式中相应EAA含量}} \quad (1)$$

$$RC = \frac{\text{某-EAA的RAA}}{\text{RAA均数}} \quad (2)$$

$$SRC = 100 - \frac{RC\text{标准差}}{RC\text{均数}} \quad (3)$$

1.5 数据处理

对数据进行统计分析, 采用 Excel 2017 和 SPSS 26.0 软件进行单因素方差分析检验差异显著性、多重比较分析, 用 Graphpad Prism 9.0 分析作图。

2 结果与分析

2.1 薏米氨基酸测定结果分析

2.1.1 不同产地薏米氨基酸种类及含量

蛋白质是由氨基酸组成的长链分子, 氨基酸是蛋白质的基本单元, 也是影响食物营养品质的重要指标之一^[15]。分别对福建省内莆田、南平、三明地区的薏米与辽阳、云南、贵州的薏米进行氨基酸组成和含量的测定, 结果如表 2 所示。由表 2 可知, 莆田、南平、三明、辽阳、云南和贵州 6 个地区的薏米均检测出 17 种氨基酸, 其中包括 7 种 EAA 和 10 种 NEAA^[16-17]。6 个地区中总氨基酸含量为 7.34~17.97 g/100 g, 其中辽阳地区的薏米总氨基酸含量最高, 其次是莆田薏米, 均高于小米^[18-19]、大米^[20]等谷物类。三明薏米氨基酸的含量均低于其他 5 个地区的薏米含量, 这可能是因为三明薏米本身是糯薏米, 直链淀粉含量较少, 含有较多的支链淀粉。支链淀粉易于消化分解, 相对来说食味品质反而会更好^[21], 口感软糯。6 个地区薏米中含量最高的为谷氨酸和脯氨酸, 分别为 1.78~3.36 g/100 g 和 0.75~4.06 g/100 g, 其次是亮氨酸和丙氨酸, 含量分别为 1.00~2.36 g/100 g、0.83~1.52 g/100 g, 与贾青慧等^[9]、雷裕等^[22]研究成果一致。薏米中脯氨酸含量最高, 它不仅提供了合成蛋白质的重要原料, 而且为促进生长、正常代谢、维持生命提供了物质基础, 可作为营养增补剂、风味剂。可见, 薏米中蛋白质含量丰富, 氨基酸种类齐全, 优于大部分谷物类产品^[11], 但不同地区的薏米氨基酸含量差异明显。

2.1.2 不同产地薏米呈味氨基酸含量及组成

不同产地的薏米中呈味氨基酸含量及组成存在显著差异。呈味氨基酸是指食物在烹饪或加工过程中, 蛋白质降解产生的能够刺激味蕾并呈现特定风味特征的氨基酸和小分子肽类物质^[23]。根据呈味特性, 氨基酸分为甜味、苦

味、鲜味和无味氨基酸 4 大类^[18]。由表 3 数据分析可知, 云南、贵州地区的薏米组间差异均不显著($P>0.05$), 这可能是与其相似的地理位置有关。其他地区的薏米 EAA 和 NEAA 的占比相近, 但其总量存在显著性差异, 因此, 在相同摄入量条件下, 可基于氨基酸总量进行择优选择。值得注意的是, 辽阳地区的甜味氨基酸和苦味氨基酸的总量显著高于其他地区, 这主要归因于其丙氨酸、亮氨酸、脯氨酸、苯丙氨酸等特征氨基酸的含量显著升高的结果。

2.2 贮藏期间氨基酸组成及含量

一般市售薏米规定的保质期在 12 个月左右, 本研究将购买到的薏米在冷冻条件($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$)下贮藏 10 个月后测其

氨基酸变化, 结果见图 1。不同产地的薏米在贮藏过程中表现出显著的氨基酸动态变化。南平地区薏米氨基酸总量基本保持稳定, 莆田、云南、辽阳、贵州地区薏米氨基酸总量则呈现不同程度的下降趋势。三明地区薏米氨基酸总量从 $7.34\text{ g}/100\text{ g}$ 显著增加至 $11.17\text{ g}/100\text{ g}$, 增幅达 52.2%。其中酪氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸的增幅最为显著, 分别提高了 124%、84%、68%。此外, EAA 总量增加了 66%, NEAA 总量增加了 46%。这一现象可能与三明地区薏米(糯薏米)的生化特性有关, 糯薏米可能含有较低水平的蛋白酶抑制剂(如胰蛋白酶抑制剂), 贮藏期间内源性蛋白酶(半胱氨酸蛋白酶、天冬氨酸蛋白酶)更易激活, 促进贮藏蛋白降解为

表 2 不同产地薏米氨基酸含量($n=3, \text{g}/100\text{ g}$)
Table 2 Amino acid content of *Coix lacryma-jobi* from different origins ($n=3, \text{g}/100\text{ g}$)

氨基酸	莆田	南平	三明	辽阳	云南	贵州
天冬氨酸 Δ	0.85 ± 0.02^b	0.75 ± 0.03^c	0.46 ± 0.03^d	0.95 ± 0.03^a	0.75 ± 0.02^c	0.74 ± 0.02^c
苏氨酸*	0.35 ± 0.01^b	0.34 ± 0.02^{bc}	0.21 ± 0.02^d	0.40 ± 0.01^a	0.33 ± 0.01^c	0.35 ± 0.01^b
丝氨酸 Δ	0.58 ± 0.02^b	0.55 ± 0.02^c	0.34 ± 0.01^d	0.66 ± 0.02^a	0.54 ± 0.01^c	0.52 ± 0.02^c
谷氨酸 Δ	3.09 ± 0.06^b	2.64 ± 0.09^c	1.78 ± 0.06^d	3.36 ± 0.09^a	2.63 ± 0.05^c	2.64 ± 0.08^c
甘氨酸 Δ	0.28 ± 0.01^b	0.30 ± 0.02^b	0.16 ± 0.05^c	0.32 ± 0.01^a	0.30 ± 0.01^b	0.30 ± 0.01^b
丙氨酸 Δ	1.38 ± 0.03^b	1.21 ± 0.04^c	0.83 ± 0.07^c	1.52 ± 0.04^a	1.18 ± 0.02^{cd}	1.14 ± 0.03^d
胱氨酸 Δ	0.03 ± 0.00^a	0.02 ± 0.00^b	0.02 ± 0.00^b	0.03 ± 0.00^a	0.03 ± 0.00^a	0.03 ± 0.00^a
缬氨酸*	0.72 ± 0.01^a	0.57 ± 0.02^c	0.38 ± 0.04^d	0.79 ± 0.00^a	0.64 ± 0.01^b	0.63 ± 0.02^b
甲硫氨酸*	0.25 ± 0.00^c	0.22 ± 0.01^d	0.15 ± 0.01^c	0.28 ± 0.01^{ab}	0.29 ± 0.01^a	0.27 ± 0.01^b
异亮氨酸*	0.55 ± 0.01^a	0.41 ± 0.02^c	0.27 ± 0.05^d	0.59 ± 0.00^a	0.46 ± 0.01^b	0.45 ± 0.01^b
亮氨酸*	2.23 ± 0.04^a	1.46 ± 0.07^c	1.00 ± 0.09^d	2.36 ± 0.08^a	1.82 ± 0.03^b	1.80 ± 0.05^b
酪氨酸 Δ	0.37 ± 0.00^b	0.23 ± 0.05^c	0.13 ± 0.03^d	0.50 ± 0.02^a	0.35 ± 0.01^b	0.32 ± 0.01^b
苯丙氨酸*	0.82 ± 0.01^a	0.47 ± 0.05^c	0.35 ± 0.07^d	0.87 ± 0.02^a	0.70 ± 0.01^b	0.70 ± 0.02^b
赖氨酸*	0.26 ± 0.00^b	0.19 ± 0.03^c	0.11 ± 0.02^d	0.30 ± 0.01^a	0.29 ± 0.01^a	0.29 ± 0.01^a
组氨酸 Δ	0.40 ± 0.00^b	0.21 ± 0.03^c	0.16 ± 0.04^d	0.43 ± 0.01^a	0.40 ± 0.01^b	0.40 ± 0.01^b
精氨酸 Δ	0.45 ± 0.01^c	0.52 ± 0.03^{ab}	0.24 ± 0.05^d	0.55 ± 0.02^a	0.49 ± 0.02^{bc}	0.47 ± 0.01^c
脯氨酸 Δ	3.68 ± 0.04^b	1.06 ± 0.05^d	0.75 ± 0.03^c	4.06 ± 0.13^a	3.32 ± 0.06^c	3.24 ± 0.08^c

注: *表示 EAA; Δ 表示非必需氨基酸(nonessential amino acid, NEAA); 同行不同小写字母表示具有显著性差异($P<0.05$), 表 3 同。

表 3 不同产地薏米呈味氨基酸含量($n=3, \text{g}/100\text{ g}$)
Table 3 Taste amino acid content in *Coix lacryma-jobi* from different origins ($n=3, \text{g}/100\text{ g}$)

氨基酸	莆田	南平	三明	辽阳	云南	贵州
总量	16.27 ± 0.28^b	11.15 ± 0.56^d	7.34 ± 0.16^c	17.97 ± 0.26^a	14.52 ± 0.27^c	14.29 ± 0.39^c
EAA	5.22 ± 0.08^b	3.52 ± 0.23^d	2.43 ± 0.10^c	5.62 ± 0.15^a	4.61 ± 0.08^c	4.54 ± 0.12^c
EAA 占比%	32.1	31.6	33.0	31.2	31.7	31.8
NEAA	11.05 ± 0.19^d	7.63 ± 0.34^c	4.92 ± 0.11^c	12.36 ± 0.11^a	9.91 ± 0.19^b	9.75 ± 0.27^b
NEAA 占比%	47.3	46.2	49.4	45.5	46.5	46.6
鲜味氨基酸	3.93 ± 0.08^b	3.39 ± 0.13^c	2.23 ± 0.06^d	4.30 ± 0.12^a	3.38 ± 0.07^c	3.39 ± 0.10^c
甜味氨基酸	5.69 ± 0.08^b	2.92 ± 0.12^d	1.94 ± 0.09^c	6.31 ± 0.07^a	5.12 ± 0.09^c	5.03 ± 0.13^c
苦味氨基酸	4.96 ± 0.08^b	3.34 ± 0.20^d	2.32 ± 0.08^c	5.32 ± 0.14^a	4.32 ± 0.07^c	4.25 ± 0.11^c

注: 甜味类氨基酸: 苏氨酸、丙氨酸、甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸^[24]; 苦味类氨基酸: 异亮氨酸、亮氨酸、甲硫氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸、组氨酸、精氨酸^[25]; 鲜味类氨基酸: 天冬氨酸、谷氨酸^[26]。

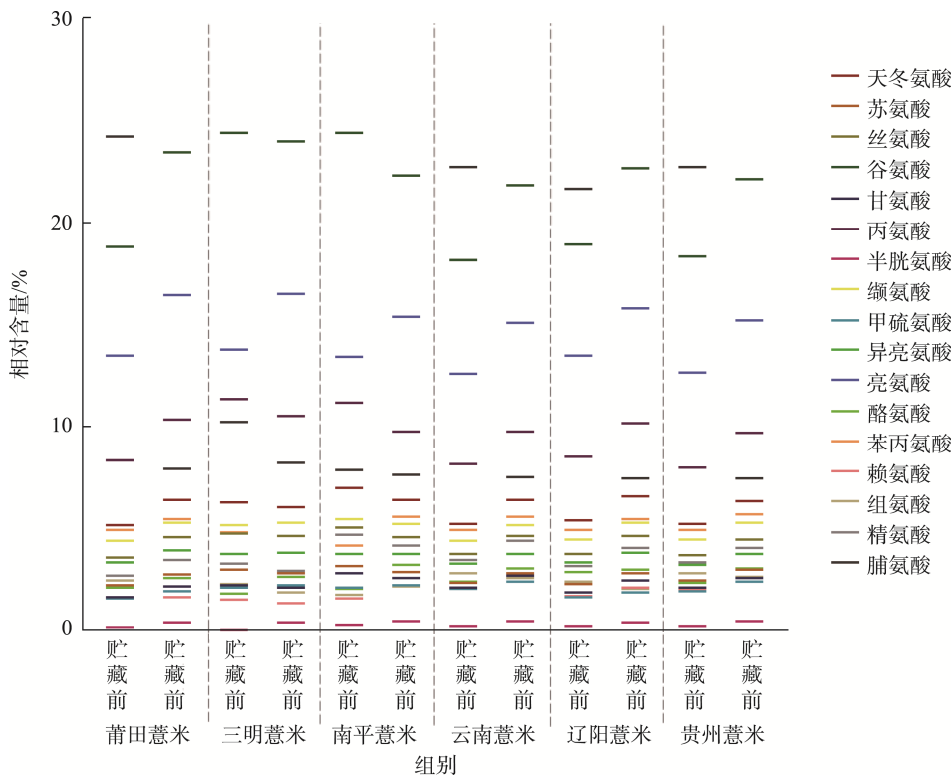


图 1 薏米贮藏前后氨基酸含量变化
Fig.1 Changes of amino acid content of *Coix lacryma-jobi* before and after storage

游离氨基酸^[27-28],也可能归因于糯薏米蛋白质组成特性,其醇溶蛋白与谷蛋白比例较高(约 60%~70%),其疏水结构在贮藏温湿度波动下更易发生构象变化,暴露酶切位点,致使氨基酸总量增加^[29-30]。除三明、南平和贵州地区薏米外,其他地区的薏米 EAA 总量均呈下降趋势;同时,除三明地区薏米外,其他地区 NEAA 总量也普遍降低。这一变化可能是在贮藏过程中部分氨基酸的降解或转化为其他代谢产物,进而影响薏米的风味及营养价值。部分氨基酸含量的增加可能是由于贮藏过程中蛋白质阶段性降解并积累所致^[11]。综上所述,尽管部分氨基酸在贮藏过程中可能出现短暂积累,但多数地区的薏米氨基酸总量随贮藏时间延长呈下降趋势。这一研究为薏米的贮藏稳定性及品质变化提供了重要参考依据。

2.3 氨基酸营养价值评价

食物蛋白质营养价值的高低主要取决于 EAA 的种类、含量及组成比例^[28-31]。6 个地区的薏米中的 EAA 含量(以氨基酸含量×62.5/蛋白质的百分含量计算)、鸡蛋蛋白标准模式和 FAO/WHO 标准模式的每克氮中 EAA 的毫克数如表 4 所示。薏米中 TEAA 为 1087~2389 mg/g N, E/T、E/N 分别为 33.82%~39.29%、51.09%~64.71%, 辽阳地区薏米 TEAA 最高, 三明地区薏米 TEAA 最低, 均低于鸡蛋蛋白标准模式, 莆田和辽阳地区薏米 TEAA、E/T、E/N 均高于 FAO/WHO 标准模式。具体而言, 亮氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸占 EAA 的质

量分数均明显高于 FAO/WHO 标准模式, 而缬氨酸的质量分数与 FAO/WHO 标准模式非常接近。这些结果表明, 薏米蛋白质具有较优的氨基酸组成特征, 可作为优质的植物蛋白资源, 适合用于开发高营养价值的功能性食品。

氨基酸比值系数法(amino acid score, AAS)是基于氨基酸平衡理论设计的蛋白质营养价值评价方法。其中 SRC 以 FAO/WHO 推荐的理想蛋白参考模式为评价标准^[32]。本研究对 6 个地区薏米的氨基酸组成进行分析, 计算 RC、RCAA 及 SRC(见表 5)。结果表明, 不同地区薏米中 SRC 为 39.71~48.30, 其中南平地区的薏米评分最高, 辽阳地区薏米最低。从 RC 分析结果来看, 所有地区薏米中异亮氨酸、苏氨酸、赖氨酸、甲硫氨酸+胱氨酸的 RC 值均小于 1, 表明这些氨基酸相对不足。其中, 赖氨酸为第一限制性氨基酸, 其次是甲硫氨酸+胱氨酸。值得注意的是, 除三明地区薏米外, 其他地区薏米中亮氨酸的 RC 值均大于 1, 表示其相对过剩。缬氨酸的 RC 值大多接近 1.00, 表明其组分比例与 FAO/WHO 推荐模式较为接近。为提高薏米蛋白质的营养利用率, 建议采用蛋白质互补策略, 将其与富含赖氨酸的食物搭配食用。例如, 动物性食物(如鸡肉^[14])或豆类(如红豆、绿豆等^[33])可作为理想的互补食材。通过科学搭配, 可优化氨基酸组成, 提高蛋白质的生物利用率, 从而更好地满足人体的营养需求。这一研究结果为薏米的合理膳食应用提供了理论依据, 并为后续功能性食品开发提供了参考方向。

表 4 不同地区薏米中 TEAA 与鸡蛋蛋白标准模式、FAO/WHO 标准模式的比较(mg/g N)
Table 4 Comparison of TEAA and egg protein standard patterns, FAO/WHO standard patterns in *Coix lacryma-jobi* from different regions (mg/g N)

名称	莆田	南平	三明	辽阳	云南	贵州	鸡蛋蛋白标准 模式	FAO/WHO 标准 模式
异亮氨酸	215	168	119	230	181	178	331	250
亮氨酸	873	598	431	921	717	712	534	440
赖氨酸	112	78	37	117	114	115	441	340
甲硫氨酸+胱氨酸	120	98	69	121	126	119	386	220
苯丙氨酸+酪氨酸	511	287	170	535	414	404	565	380
苏氨酸	150	139	96	156	130	139	292	250
缬氨酸	309	233	165	308	252	249	411	310
氨基酸总量	58.31	45.67	31.27	61.34	57.18	56.56	/	/
蛋白质/(g/100 g)	17.44	15.26	13.63	18.31	15.87	15.79	/	/
TEAA(mg/g N)	2291	1601	1087	2389	1934	1916	2960	2190
E/T (%)	39.29	35.07	34.75	38.95	33.82	33.87	49.80	36.35
E/N (%)	64.71	54.01	53.26	63.80	51.09	51.22	99.22	57.11

注: /表示无数据; 必需氨基酸总量(total essential amino acids, TEAA)。

表 5 不同地区薏米中 EAA 营养价值评分
Table 5 Nutritional scores of EAA in *Coix lacryma-jobi* from different origins

产地	RC/RCAA	FAO/WHO							SRC
		异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	甲硫氨酸+ 胱氨酸	苯丙氨酸+ 酪氨酸	苏氨酸	缬氨酸	
莆田	RC	0.86	1.98	0.33	0.55	1.35	0.60	1.00	40.97
	RCAA	0.90	2.08	0.35	0.58	1.42	0.63	1.05	
南平	RC	0.67	1.36	0.23	0.45	0.75	0.56	0.75	48.30
	RCAA	0.99	1.99	0.34	0.66	1.11	0.82	1.10	
三明	RC	0.48	0.98	0.11	0.31	0.45	0.39	0.53	42.39
	RCAA	1.03	2.12	0.23	0.68	0.96	0.83	1.15	
辽阳	RC	0.92	2.09	0.34	0.55	1.41	0.62	0.99	39.71
	RCAA	0.93	2.11	0.35	0.56	1.42	0.63	1.00	
云南	RC	0.72	1.63	0.34	0.57	1.09	0.52	0.81	46.77
	RCAA	0.89	2.01	0.41	0.71	1.34	0.64	1.00	
贵州	RC	0.71	1.62	0.34	0.54	1.06	0.55	0.80	47.02
	RCAA	0.89	2.01	0.42	0.67	1.32	0.69	1.00	

3 结论与讨论

氨基酸组成是评估薏米营养价值的关键指标之一。本研究对福建薏米主产区(莆田、南平、三明)及辽阳、贵州、云南地区薏米进行分析, 结果均含有 17 种氨基酸, 包括 7 种 EAA 和 10 种 NEAA, 其中脯氨酸和谷氨酸含量最为突出。不同地区薏米总蛋白质含量为 13.63~18.31 g/100 g, 氨基酸总量为 7.34~17.97 g/100 g。辽阳地区薏米 TEAA 最高, 而三明地区薏米 TEAA 最低, 均低于鸡蛋蛋白的参考标准。值得注意的是, 莆田和辽阳地区薏米 TEAA、E/T、E/N 均超过 FAO/WHO 推荐的标准模式, SRC 分析结果显示, 6

个地区薏米 SRC 为 39.71~48.30, 其中南平地区的薏米的评分最高, 辽阳地区薏米最低。进一步分析表明, 赖氨酸为薏米的第一限制性氨基酸, 其次是甲硫氨酸+胱氨酸。

在贮藏过程中, 南平地区薏米氨基酸总量保持相对稳定, 莆田、云南、辽阳、贵州地区薏米氨基酸总量呈下降趋势。与之相反, 三明地区薏米总量从 7.34 g/100 g 增加至 11.17 g/100 g, 增幅达 52.2%。然而, 本研究尚未阐明贮藏过程中氨基酸变化的生化机制, 未来可借助蛋白质组学和代谢组学技术, 深入探究其分子调控机制, 从而为优化薏米贮藏工艺提供理论依据。此外, 薏米的氨基酸组成较为全面, 具有较高的营养价值和开发潜力, 可为福建薏米

的深加工及综合利用提供科学支撑。综上所述, 薏米富含多种氨基酸, 具备良好的营养特性和应用前景。未来研究需结合多学科技术手段, 进一步揭示其营养代谢机制, 以推动薏米在贮藏、加工及产业化领域的科学应用。

参考文献

- [1] 黄锁义, 李容, 潘勇, 等. 薏苡研究的新进展[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(11): 223–227.
HUANG SY, LI R, PAN Y, *et al.* Study new progress of *Coix lachryma-jobi* L. [J]. Food Research and Development, 2012, 33(11): 223–227.
- [2] 杨爽, 王李梅, 王妹麒, 等. 薏苡化学成分及其活性综述[J]. 中药材, 2011, 34(8): 1306–1312.
YANG S, WANG LM, WANG ZQ, *et al.* Chemical constituents and activities of *Coix Lacrima-jobi* [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2011, 34(8): 1306–1312.
- [3] 李大鹏. 康莱特注射液抗癌作用机制研究进展[J]. 中药新药与临床药理, 2001, 12(2): 122–124.
LI DP. Research progress on *anticancer* mechanism of injection [J]. Traditional Chinese Drug Research and Clinical Pharmacology, 2001, 12(2): 122–124.
- [4] 田雪萍. 不同产地薏苡仁的质量评价[J]. 中医临床研究, 2011, 3(7): 4–6.
TIAN XP. Quality evaluation of coix seed from different producing areas [J]. Clinical Journal of Chinese Medicine, 2011, 3(7): 4–6.
- [5] 沈晓霞, 孙健, 王志安. 不同产地薏苡仁食味品质分析[J]. 科技通报, 2021, 37(6): 25–26.
SHEN XX, SUN J, WANG ZAN. Comprehensive evaluation of edible quality of parboiled Job's tears [*Coix Lacryma-jobi* L. Var. *Mayuan* (Roman.) Stapf] from different producing areas [J]. Bulletin of Science and Technology, 2021, 37(6): 25–26.
- [6] 谢婷婷. 薏米谷功能成分及储藏技术研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(5): 49–50.
XIE TT. Research progress on functional components and storage technology of coix millet [J]. Cereal & Food Industry, 2020, 27(5): 49–50.
- [7] 王辰, 刘虹, 陈雁, 等. 薏苡仁的营养成分和生物活性研究进展[J]. 农产品加工, 2019(6): 62–64.
WANG C, LIU H, CHEN Y, *et al.* Research advances on nutrient composition and bioactivity of coix seed [J]. Farm Products Processing, 2019(6): 62–64.
- [8] LEITE A, NETO GC, VETTORE AL, *et al.* The prolamins of sorghum, coix and millets [Z]. 1999.
- [9] 贾青慧, 陈莉, 王珍, 等. 薏米及薏米糠氨基酸组成分析及营养评价[J]. 食品工业, 2017, 38(4): 185–188.
JIA QH, CHEN L, WANG Z, *et al.* Amino acid composition and nutritional evaluation of coix seed and rice bran [J]. The Food Industry, 2017, 38(4): 185–188.
- [10] 李样栋, 章洁琼, 潘虹, 等. 18 份薏苡自交系的主要氨基酸及脂肪酸组分评价[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(21): 159–164.
LI XD, ZHANG JQ, PAN H, *et al.* Evaluation of the main amino acid and fatty acid components of 18 self-pollinated lines of *Coix lachryma-jobi* [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(21): 159–164.
- [11] 邵亮亮, 苏秀榕, 李妍妍, 等. 大米贮藏过程中氨基酸含量的变化研究[J]. 食品科技, 2009, 34(7): 125–127.
SHAO LL, SU XR, LI YY, *et al.* Study on changes of amino acid content of rice during storage [J]. Food Science and Technology, 2009, 34(7): 125–127.
- [12] 陈洁, 刘俨娇, 马强, 等. 不同干燥方式对地参氨基酸类成分的影响及营养价值评价[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(2): 249–257.
CHEN J, LIU YJ, MA Q, *et al.* Effects of different drying methods on amino acid composition and nutritional evaluation of *Lycopus lucidus* Turcz. var. *hirtus* regel [J]. Food and Fermentation Industries, 2025, 51(2): 249–257.
- [13] 王允茹, 蔡秋杏, 张晨晓, 等. 北部湾海区三种常见牡蛎的蛋白质及氨基酸营养分析与评价[J]. 食品工业科技, 2022, 43(7): 310–316.
WANG YR, CAI QX, ZHANG CX, *et al.* Analysis and evaluation of protein and amino acid nutrition of three common oysters in Beibu Gulf [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(7): 310–316.
- [14] 王梦阁, 何业春, 李进, 等. 湖南石门县地方品种鸡肉氨基酸组成分析及蛋白质营养价值评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(1): 264–273.
WANG MG, HE YC, LI J, *et al.* Analysis of amino acid composition and evaluation of protein nutritional value of chicken of local breeds in Shimen County, Hunan Province [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(1): 264–273.
- [15] 马庆华, 董辰希, 曹晗, 等. 3 种野生大型真菌营养成分分析与评价[J]. 中国食用菌, 2020, 39(7): 35–40.
MA QH, DONG CX, CAO H, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional ingredients of three wild major fungi species [J]. Edible Fungi of China, 2020, 39(7): 35–40.
- [16] 赵静. 全麦粉营养成分分析与抗氧化活性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2022.
ZHAO J. Study on nutritional composition analysis and antioxidant activity of whole wheat flour [D]. Urumqi: Xinjiang Medical University, 2022.
- [17] 邢铨, 高进, 王永波, 等. 三叶唇鱼和横带唇鱼肌肉主要营养成分分析[J]. 水产科学, 2025, 44(1): 136–143.
XING C, GAO J, WANG YB, *et al.* Analysis of the main nutritional components in the muscles of three leaf lip fish and horizontal banded lip fish [J]. Fisheries Science, 2025, 44(1): 136–143.
- [18] 柳利龙, 张爱琴, 徐瑞, 等. 甘肃省陇中地区小米游离氨基酸组成及综合评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(13): 281–291.
LIU LL, ZHANG AIQ, XU R, *et al.* Composition and comprehensive evaluation of free amino acids in millet from Longzhong Area in Gansu Province [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(13): 281–291.
- [19] 黄伟, 王德权, 裴晶晶, 等. 不同小米品种主要营养成分及氨基酸组分分析[J]. 东北农业科学, 2023, 48(1): 91–96.
HUANG W, WANG DQ, PEI JJ, *et al.* Evaluation of main nutrients and amino acid of different millet varieties [J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2023, 48(1): 91–96.
- [20] 于玲, 刘志敏, 曾海英, 等. 不同大米营养价值分析[J]. 现代食品, 2020(24): 183–186.

- YU L, LIU ZM, ZENG HY, *et al.* Analysis of nutritional value of different rice varieties [J]. *Modern Food*, 2020(24): 183–186.
- [21] 姚姝, 陈涛, 赵春芳, 等. 低谷蛋白半糯型粳稻品种(品系)的氨基酸组分含量及淀粉理化性质[J]. *江苏农业学报*, 2023, 39(8): 1617–1626.
- YAO S, CHEN T, ZHAO CF, *et al.* Amino acid component content and physicochemical properties of starch in low gluten semi-waxy japonica rice [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 39(8): 1617–1626.
- [22] 雷裕, 陆燕, 林忠宁, 等. 福建 4 种薏苡营养成分的分析比较[J]. *现代食品*, 2022, 28(3): 196–199.
- LEI Y, LU C, LIN ZN, *et al.* Analysis and comparison of nutritional components of Four *Coix Lacryma-jobi* in Fujian [J]. *Modern Food*, 2022, 28(3): 196–199.
- [23] 刘培基, 崔文甲, 王文亮, 等. 食用菌风味物质及其在美拉德反应中的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(15): 188–193.
- LIU PJ, CUI WJ, WANG WL, *et al.* Research progress of edible fungi flavor substances and their application in Maillard reaction [J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(15): 188–193.
- [24] ZHAO CJ, SCHIEBER A, GAENZLE MG, *et al.* Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations-a review [J]. *Food Research International*, 2016, 89(1): 39–47.
- [25] MAHASHI K, MATANO M, WANG H, *et al.* Bitter peptides activate hTAS2Rs, the human bitter receptors [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2008, 365(4): 851–855.
- [26] SCHLICHTERLE-CERNY H, AMADO R. Analysis of taste-active compounds in an enzymatic hydrolysate of deamidated wheat gluten [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(6): 1515–1522.
- [27] SHAHKOOMAHALLY S, SARKHOSH A, RICHMOND CLM, *et al.* Physiological responses and quality attributes of muscadine grape (*Vitis rotundifolia* Michx) to CO₂-enriched atmosphere storage [J]. *Postharvest Biology and Technology*. *Food Research International*, 2021, 173: 111428.
- [28] ZHANG Y, WANG L, CHEN X, *et al.* Physicochemical properties and starch digestibility of glutinous coix seeds (*Coix lacryma-jobi* L.) in relation to structural changes during storage [J]. *Food Chemistry*, 2018, 242: 1–9.
- [29] WANG J, LI H, ZHANG Q, *et al.* Protease inhibitors and storage protein stability in *Coix lacryma-jobi* L.: Impact on amino acid release during postharvest processing [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(15): 4567–4575.
- [30] LI M, ZHOU T, WEI F, *et al.* Hydrophobic protein composition and conformational changes in glutinous coix seeds under fluctuating storage conditions [J]. *Food Research International*, 2019, 120: 108–117.
- [31] 颜孙安, 林香信, 刘文静, 等. 福建名特花生氨基酸营养价值评价[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(17): 316–321.
- YAN SAN, LIN XX, LIU WJ, *et al.* Assessment of amino acid nutrition in the several peanut (*Arachis hypogaea* L.) varieties from Fujian, China [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(17): 316–321.
- [32] 侯成立, 李欣, 王振宇, 等. 不同部位牦牛肉氨基酸、脂肪酸含量分析与营养价值评价[J]. *肉类研究*, 2019, 33(2): 52–57.
- HOU CL, LI X, WANG ZY, *et al.* Analysis of amino acid and fatty acid contents and nutritional value evaluation of different parts of yak meat [J]. *Meat Research*, 2019, 33(2): 52–57.
- [33] 李金华, 李博. 我国 3 种杂豆的蛋白质营养综合评价[J]. *食品科技*, 2021, 46(1): 172–177.
- LI JH, LI B. Comprehensive evaluation of protein nutrition in three kinds of legume seeds in China [J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(1): 172–177.

(责任编辑: 于梦娇 安香玉)