杨春霞. 宁夏枸杞蛋白氨基酸产地差异与营养价值评价 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(16): 346−356. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060266

YANG Chunxia. Regional Differences in Protein Amino Acids and Nutritional Value Evaluation of Ningxia *Lycium barbarum* L.[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(16): 346−356. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060266

·分析检测·

宁夏枸杞蛋白氨基酸产地差异与营养价值评价

杨春霞

（宁夏农产品质量标准与检测技术研究所, 宁夏银川 750002）

摘　要: 采集宁夏产区枸杞并测定 17 种蛋白氨基酸含量。在 FAO/WHO 推荐的氨基酸模式基础上，以氨基酸评分（AAS）、化学评分（CS）、氨基酸比值系数（RC）、氨基酸比值系数分（SRC）为指标，结合相关分析、主成分分析、聚类分析综合评价蛋白氨基酸营养价值及产地差异。结果表明：宁夏枸杞含 7 种必需氨基酸（EAA）、9 种药用氨基酸（MAA）、5 种呈味氨基酸。总氨基酸（TAA）含量在 7.500~9.490 g/100 g 之间，EAA 含量在 1.545~2.276 g/100 g 之间，EAA/TAA 含量在 19.38%~26.11% 之间，必需氨基酸占非必需氨基酸（EAA/NEAA）含量在 24.03%~35.34% 之间，EAA/TAA 和 EAA/NTAA 低于 FAO 提出的理想蛋白质值 40% 和 60%；TMAA 含量在 4.314~5.886 g/100 g 之间，占氨基酸总量的 56.59%~62.40%，药用价值高；呈味氨基酸含量在 1.557~2.341 g/100 g 之间，占氨基酸总量的 19.53%~26.04%。除同心与中卫、固原枸杞的 TAA 含量有显著性差异外，其他产区间 TAA、EAA、NEAA、MAA、呈味氨基酸含量差异不显著（$P>0.05$）；EAA/TAA、EAA/NEAA、药用氨基酸总含量（TMAA）及呈味氨基酸总含量呈显著差异性（$P<0.05$）。宁夏枸杞关键氨基酸为 Gly、Asp、Glu、Met、Thr、Val、Phe、Leu、Ile、Lys，胱氨酸+蛋氨酸（Cys+Met）为第一限制氨基酸。AAS 在 58.2~102.8，CS 在 66.5~98.6，SRC 在 71.1~84.9，以中卫、固原、银川、海原、中宁地区的枸杞氨基酸综合品质较佳，SRC 评价结果相对均衡，更接近于 FAO/WHO 推荐模式。聚类分析显示宁夏产区枸杞以青铜峡和同心，月牙湖、贺兰和红寺堡，海原与中宁，固原、银川和中卫聚为四类。试验结果可较好地体现宁夏枸杞蛋白氨基酸产地差异与营养价值，为枸杞深加工提供参考价值。

关键词: 宁夏枸杞, 氨基酸, 组成, 产地差异, 营养价值

中图分类号: R151.3　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)16−0346−11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060266

本文网刊:

Regional Differences in Protein Amino Acids and Nutritional Value Evaluation of Ningxia *Lycium barbarum* L.

YANG Chunxia

（Quality Standards and Testing Institute of Agricultural Technology, Yinchuan 750002, China）

Abstract: In this study, we collected *Lycium barbarum* L. from different areas in Ningxia and determined the contents of 17 protein amino acids. Based on the amino acid pattern recommended by FAO/WHO, we comprehensively evaluated the nutritional value of protein amino acids and regional differences using indicators, such as amino acid score (AAS), chemical score (CS), amino acid ratio coefficient (RC), and amino acid score of ratio coefficient (SRC), combined with correlation, principal component, and cluster analyses. The results revealed that Ningxia *Lycium barbarum* L. contained seven, nine, and five kinds of essential, medicinal, and flavor amino acids (EAA, MAA, and FAA), respectively. The total amino acid (TAA) and EAA contents ranged from 7.500 to 9.490 and 1.545 to 2.276 g/100 g, respectively. The EAA/TAA and essential-to-non-essential amino acid (EAA/NEAA) ratios were between 19.38%~26.11% and 24.03%~35.34%, respec-

收稿日期: 2025−06−23

基金项目: 2021 年自治区青年拔尖人才计划项目；宁夏回族自治区农业科技自主创新资金农业高质量发展和生态保护科技创新示范项目（NKYGZL-2026-05）。

作者简介: 杨春霞（1983−）, 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 农产品质量安全与营养, E-mail: xia0113@126.com。

tively. Both the EAA/TAA and EAA/NTAA values were lower than the ideal protein reference values (i.e., 40 % and 60 %, respectively) given by the FAO. The total medicinal amino acid (TMAA) content ranged from 4.314 to 5.886 g/100 g, accounting for 56.59%~62.40% of the TAA, indicating high medicinal value. The total FAA content ranged from 1.557 to 2.341 g/100 g, accounting for 19.53%~26.04% of the TAA. We observed no significant differences (P>0.05) in the TAA, EAA, NEAA, MAA, and FAA contents among the different Ningxia producing areas, except for the significantly different TAA content between Tongxin and both Zhongwei and Guyuan. However, we detected significant differences (P<0.05) in the EAA/TAA and EAA/NEAA ratios as well as in the total TMAA and FAA contents. The key amino acids we identified were Gly, Asp, Glu, Met, Thr, Val, Phe, Leu, Ile, and Lys, and the combination of cysteine and methionine (Cys+Met) was the first limitation. The AAS, CS, and SRC values ranged ranged from 58.2 to 102.8, from 66.5 to 98.6, and from 71.1 to 84.9, respectively. *L. barbarum* L. from Zhongwei, Guyuan, Yinchuan, Haiyuan, and Zhongning regions exhibited superior comprehensive amino acid quality, with SRC evaluation results indicating a more balanced composition closer to the FAO/WHO-recommended pattern. Cluster analysis categorized the *Lycium barbarum* L. from Ningxia producing areas into four distinct groups: Qingtongxia and Tongxin; Yueyahu, Helan, and Hongsibao; Haiyuan and Zhongning; Guyuan, Yinchuan, and Zhongwei. The experimental results effectively reflect the regional differences in protein amino acids and the nutritional value of Ningxia *Lycium barbarum* L., providing a valuable reference for deep processing.

Key words: *Lycium barbarum* L.; amino acid; composition; regional difference; nutritional value

氨基酸是人体代谢中一种重要物质[1]，也是评价食品营养价值的重要指标之一[2−3]。氨基酸含量不足或过多都会影响食物的营养价值。食品的氨基酸营养评价已成为指导人群膳食营养、食品组合加工、分级管理、预示互补规律等方面的重要参考依据[4−6]。目前在枸杞[7]、马铃薯[8]、玉米[9]、食用菌[10]、核桃[11]、茶叶[12]、蔬菜[13−14]、水果[15−16] 等氨基酸的组成及营养价值评定方面已取得一定的进展。

宁夏为枸杞道地产区，原料的道地性和产地生态环境是影响质量的重要指标。近年来，围绕宁夏枸杞功能营养品质成分的研究有很多，诸如总糖[17−19]、枸杞多糖[20−22]、甜菜碱[23−24]、类胡萝卜素[25−26]、多酚[27−28]、黄酮类化合物[28] 等。有关氨基酸方面的研究杨春霞[29−30] 采用柱后衍生阳离子交换色谱法测定了枸杞中氨基酸组成及含量，比较了红果枸杞与黑果枸杞中氨基酸的差异性。王亚军等[31] 对自培育的不同品系枸杞果实中药用氨基酸和增香剂型氨基酸组成及含量进行差异性比较。张晓煜等[32] 考察了地域环境对枸杞氨基酸组成的影响。还有研究[33−35] 比较分析了新疆主栽品种和青海枸杞的氨基酸组成及营养价值。发现枸杞产地与环境差异是影响枸杞蛋白质合成、氨基酸代谢的关键因素。宁夏枸杞作为药食同源物种，其氨基酸评价是营养价值的关键指标之一，目前，有关系统且全面评价宁夏产区枸杞蛋白氨基酸产地差异与营养价值方面的研究鲜少。

为发掘和利用宁夏枸杞蛋白氨基酸营养价值，拟开展宁夏产区枸杞蛋白氨基酸含量及组成的分析研究，并采用 FAO/WHO 推荐的氨基酸模式谱，结合相关分析、主成分分析、聚类分析进行综合评价，系统地对宁夏产区枸杞蛋白氨基酸营养价值评定及产地差异性进行分析，为科学合理地开发利用枸杞资源提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

‘宁杞 7 号’枸杞　采集夏果第三茬次，每个样本收集 3 个重复。在宁夏青铜峡、月牙湖、红寺堡、海原、贺兰、银川、中宁、中卫、同心、固原枸杞种植基地采集。枸杞鲜果经晾晒干后，在 55 ℃ 烘箱中烘干，高速粉碎至粉末状，置于样品瓶中放入干燥器中保存，试验样品为绝干样。样品信息见表 1；17 种氨基酸混合标准品（苏氨酸 Thr、缬氨酸 Val、苯丙氨酸 Phe、蛋氨酸 Met、异亮氨酸 Ile、亮氨酸 Leu、赖氨酸 Lys、天冬氨酸 Asp、丝氨酸 Ser、谷氨酸 Glu、甘氨酸 Gly、丙氨酸 Ala、胱氨酸 Cys、酪氨酸 Tyr、组氨酸 His、精氨酸 Arg、脯氨酸 Pro）（纯度>99.9%）美国 Sigma-Aldrich Chemical Company；二水合柠檬酸三钠、柠檬酸、氢氧化钠、硼酸、苯酚均为优级

表 1　样品信息

Table 1　Sample information

地区编号	样本编号	采样地址	数量
青铜峡A	A1、A2	青铜峡市峡口镇黄羊坡村	2
月牙湖B	B1、B2	月牙湖宝丰农场东北角	2
红寺堡C	C1、C2、C3	红寺堡大河乡麻黄沟村百瑞源基地	3
海 原D	D1、D2、D3	海原县三河镇四营村金红园枸杞合作社	3
贺 兰E	E1、E2、E3、E4、E5、E6、E7、E8、E9、E10、E11	贺兰百瑞源枸杞种植基地	11
银 川F	F1、F2、F3、F4、F5、F6、F7、F8	银川园林场、南梁枸杞种植基地	8
中 宁G	G1、G2、G3、G4、G5、G6、G7、G8、G9、G10、G11、G12、G13、G14、G15、G16、G17、G18、G19、G20、G21、G22、G23	中宁核心产区	23
中 卫H	H1、H2、H3	中卫沙坡头区兴仁镇郝集村	3
同 心I	I1、I2、I3、I4、I5、I6、I7、I8	同心县菊花台庄园、同心润德枸杞基地、同心县下马关镇南村	8
固 原J	J1、J2、J3、J4、J5、J6、J7、J8、J9、J10、J11、J12	固原市原州区三营镇甘沟村正杞红枸杞基地	12

纯、乙二胺二乙酸钠(分析纯)、甲醇(色谱纯) 国药集团上海试剂公司;茚三酮(分析纯)、三水乙酸钠、乙酸钾、乙酸(均为优级纯) 广东光华化学试剂有限公司;液氮(纯度为 99.99% 以上) 宁夏宁丰制氧厂;水为一级水 实验室自制。

S-433D 氨基酸全自动分析仪 德国 Sykam 公司;DHG-9246A 电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;TVE-1000 试管浓缩仪 EYELA 东京理化;GM 0.33A 无油真空泵 上海楚柏实验室设备有限公司;Milli-Q 超纯水机 德国默克公司。

1.2 实验方法

1.2.1 氨基酸含量测定 参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》[36] 方法测定枸杞中蛋白质含量,参照 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》[37] 方法测定枸杞中 17 种氨基酸含量。称取含蛋白质 15~20 mg 枸杞样品于 20 mL 冷冻安培管中,加入 10 mL 1∶1 的 HCl 溶液,于液氮中冷冻至完全凝固后抽真空封管。将封好口的安培管于 110 ℃ 恒温干燥箱中水解 24 h,水解后的样液过滤,取适量滤液在试管浓缩仪中浓缩至干,然后加入 3~5 mL pH2.2 的样品稀释液复溶,用 0.45 μm 滤膜过滤后,供上机测定使用。每个样品做 3 个重复,测定结果取平均值。

色谱条件:LCA K06/Na 阳离子交换柱(4.6 mm×150 mm);流动相:pH3.45、pH10.85 缓冲液;检测器:集成双波长光度计(570、440 nm);洗脱泵流速 0.45 mL/min,衍生泵流速 0.25 mL/min;梯度控温,柱温 58~74 ℃;反应器温度 130 ℃;分析周期 56 min。

1.2.2 蛋白质质量评价方法

1.2.2.1 氨基酸评分(Amino Acid Score, AAS) 采用 1973 年联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)建议的每克氮氨基酸评分标准模式计算:AAS 值越大,氨基酸评分越高,表示该蛋白质的氨基酸营养价值越高[38]。计算公式如下:

$$AAS(\%)=\frac{\text{样品中氨基酸含量}}{\text{FAO/WHO模式中相应EAA含量}}\times 100 \quad \text{式(1)}$$

1.2.2.2 化学评分(Chemical Score, CS) 采用 FAO[39] 推荐的标准进行化学评分,用来评价样品中某一必需氨基酸的相对含量与其必需氨基酸总量之比与标准鸡蛋蛋白中相应必需氨基酸相对含量的接近程度[40]。计算公式如下:

$$CS(\%)=\frac{\text{样品中必需氨基酸含量}}{\text{鸡蛋蛋白模式中相应EAA含量}}\times 100 \quad \text{式(2)}$$

1.2.2.3 氨基酸比值系数(Ration Coefficient of Amino acid, RC) 根据朱圣陶等[41] 的模型计算。RC 反映食物中蛋白氨基酸组成、含量与氨基酸模式的偏离程度。RC>1,表示这种必需氨基酸的含量相对过剩;RC<1,表示这种必需氨基酸的含量相对缺乏;RC=1 表明其组成比例与模式谱一致;RC 最小值表示该种必需氨基酸是食物中的限制性氨基酸。计算公式如下:

$$RC_i=\frac{RAA_i}{\overline{RAA}} \quad \text{式(3)}$$

式中:RC_i 为被测食物蛋白质的第 i 种 EAA 的比值系数($1\leqslant i\leqslant 7$);RAA_i 为被测食物蛋白质中的第 i 种 EAA 评分值($1\leqslant i\leqslant 7$);$\overline{RAA}$为被测食物蛋白质中的第 i 种 EAA 评分值的均值。

1.2.2.4 氨基酸比值系数分(Score of Ration Coefficient of Amino Acid, SRC) 根据朱圣陶等[41] 的模型计算。SRC 表示食物中蛋白质的相对营养价值,用各种必需氨基酸偏离氨基酸模式的离散度来评价蛋白质质量及氨基酸的均衡性。100−SRC 的值越小,表明必需氨基酸在氨基酸生理平衡方面做出的贡献越大,即营养价值越高,反之,则营养价值越低。计算公式如下:

$$SRC=100-CV\times 100 \quad \text{式(4)}$$

式中:CV 为 RC 的变异系数,CV=标准差/均数。

1.3 数据处理

不同产区样本数量依据表 1,每个样本重复三次测定取均值。采用 Excel 对数据进行整理。采用 Origin 2024 进行相关分析,采用 SPSS23.0 进行差异性分析、主成分分析、聚类分析,$P<0.05$ 表示有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 蛋白质氨基酸组成及含量分析

由表 2 可知,宁夏枸杞含有 7 种 EAA(Thr、Val、Phe、Met、Ile、Leu、Lys)和 10 种 NEAA(Asp、Ser、Glu、Gly、Ala、Cys、Tyr、His、Arg、Pro)。10 个产地枸杞中氨基酸平均含量排前 3 的均为 Asp、Glu、Pro,其次为 His、Arg、Ala、Ser,Cys 和 Met 含量较低。10 个产地的枸杞中 Met(除银川)、Ala、His(除银川)、Tyr(除青铜峡与中卫)之间不存在显著差异外,其余氨基酸含量之间均存在一定差异性。青铜峡枸杞中 Thr、Val、Ser 含量与月牙湖、海原、中宁、中卫、固原的含量呈显著差异($P<0.05$),与其他产地无显著差异,中卫枸杞中 Ile、Leu 含量与青铜峡、贺兰、同心枸杞含量呈显著差异($P<0.05$),固原枸杞 Lys、Glu 含量与同心、贺兰、红寺堡、月牙湖、青铜峡枸杞含量呈显著差异($P<0.05$),同心与青铜峡、月牙湖、贺兰、中宁、中卫、固原枸杞 Asp 含量呈显著差异($P<0.05$),贺兰与青铜峡、海原、中卫、固原枸杞 Phe 含量差异显著($P<0.05$),银川与同心、中卫枸杞 Cys 含量与其他产地差异显著($P<0.05$),青铜峡与海原、中宁、中卫、固原枸杞 Gly 含量呈显著差异($P<0.05$),与其他产地无显著差异,月牙湖与

表 2　宁夏产区枸杞中氨基酸含量(mg/g)

Table 2　Amino acid content of *Lycium barbarum* L. from the Ningxia production area (mg/g)

氨基酸		青铜峡	月牙湖	红寺堡	海原	贺兰	银川	中宁	中卫	同心	固原
必需氨基酸 EAA	Thr	0.279±0.018^{a}	0.367±0.007^{cd}	0.327±0.079^{abc}	0.369±0.023^{cd}	0.273±0.024^{a}	0.303±0.037^{ab}	0.353±0.036^{bc}	0.415±0.018^{d}	0.326±0.058^{abc}	0.387±0.037^{cd}
	Val	0.252±0.0092^{a}	0.328±0.054^{bc}	0.319±0.052^{ab}	0.388±0.040^{c}	0.256±0.022^{a}	0.302±0.045^{ab}	0.337±0.045^{bc}	0.388±0.040^{c}	0.305±0.050^{ab}	0.342±0.047^{bc}
	Phe	0.284±0.126^{bc}	0.244±0.017^{abc}	0.253±0.063^{abc}	0.298±0.020^{bc}	0.209±0.025^{a}	0.241±0.048^{abc}	0.270±0.040^{abc}	0.311±0.022^{c}	0.235±0.048^{ab}	0.291±0.052^{bc}
	Met	0.0456±0.022^{a}	0.0500±0.007^{a}	0.0497±0.010^{a}	0.0568±0.007^{a}	0.0666±0.006^{a}	0.0945±0.031^{b}	0.0554±0.023^{a}	0.0552±0.004^{a}	0.0451±0.012^{a}	0.0580±0.012^{a}
	Ile	0.176±0.039^{a}	0.241±0.018^{abcd}	0.242±0.059^{abcd}	0.289±0.012^{cd}	0.209±0.022^{ab}	0.245±0.046^{bcd}	0.251±0.052^{bcd}	0.296±0.017^{d}	0.226±0.045^{abc}	0.278±0.038^{cd}
	Leu	0.333±0.046^{a}	0.430±0.028^{bcd}	0.429±0.076^{bcd}	0.490±0.025^{cd}	0.377±0.037^{ab}	0.432±0.076^{bcd}	0.462±0.050^{bcd}	0.514±0.065^{d}	0.400±0.073^{abc}	0.480±0.061^{cd}
	Lys	0.176±0.050^{a}	0.237±0.021^{ab}	0.228±0.062^{ab}	0.311±0.028^{c}	0.235±0.040^{ab}	0.255±0.036^{bc}	0.260±0.046^{bc}	0.296±0.014^{bc}	0.232±0.053^{ab}	0.306±0.043^{c}
非必需氨基酸 NEAA	Asp	1.652±0.084^{cd}	1.584±0.282^{cd}	1.194±0.283^{ab}	1.281±0.095^{abc}	1.548±0.286^{bcd}	1.357±0.176^{abcd}	1.526±0.239^{bcd}	1.630±0.266^{cd}	1.154±0.242^{a}	1.661±0.189^{d}
	Ser	0.357±0.027^{a}	0.494±0.021^{cde}	0.426±0.090^{abc}	0.459±0.026^{bcd}	0.354±0.031^{a}	0.388±0.041^{ab}	0.478±0.052^{cde}	0.534±0.039^{de}	0.426±0.081^{abc}	0.556±0.056^{c}
	Glu	1.417±0.076^{ab}	1.415±0.070^{ab}	1.254±0.311^{a}	1.501±0.112^{abc}	1.401±0.164^{ab}	1.771±0.515^{bc}	1.586±0.245^{abc}	1.557±0.219^{abc}	1.228±0.213^{a}	1.941±0.449^{c}
	Gly	0.213±0.042^{a}	0.280±0.025^{abcd}	0.282±0.061^{abcd}	0.338±0.021^{cd}	0.246±0.028^{ab}	0.284±0.061^{abcd}	0.300±0.042^{bcd}	0.347±0.025^{d}	0.266±0.053^{abc}	0.329±0.054^{cd}
	Ala	0.547±0.034^{a}	0.589±0.089^{a}	0.555±0.037^{a}	0.489±0.060^{a}	0.595±0.082^{a}	0.553±0.048^{a}	0.624±0.107^{a}	0.607±0.015^{a}	0.499±0.095^{a}	0.630±0.101^{a}
	Cys	0.099±0.007^{ab}	0.106±0.011^{ab}	0.109±0.014^{abc}	0.115±0.007^{abc}	0.112±0.013^{abc}	0.136±0.027^{c}	0.113±0.021^{abc}	0.124±0.009b^{c}	0.091±0.012^{a}	0.115±0.015^{abc}
	Tyr	0.147±0.022^{a}	0.153±0.014^{ab}	0.152±0.050^{ab}	0.170±0.019^{ab}	0.166±0.019^{ab}	0.194±0.034^{ab}	0.172±0.039^{ab}	0.203±0.011^{b}	0.152±0.035^{ab}	0.182±0.026^{ab}
	His	0.368±0.069^{a}	0.310±0.012^{a}	0.308±0.047^{a}	0.360±0.016^{a}	0.380±0.047^{a}	0.481±0.097^{b}	0.349±0.055^{a}	0.394±0.062^{a}	0.306±0.046^{a}	0.331±0.037^{a}
	Arg	0.512±0.019^{a}	0.574±0.066^{ab}	0.597±0.126^{ab}	0.708±0.066^{bc}	0.570±0.066^{ab}	0.630±0.092^{ab}	0.639±0.089^{ab}	0.817±0.118^{c}	0.602±0.125^{ab}	0.636±0.089^{ab}
	Pro	1.117±0.134^{ab}	1.337±0.251^{b}	1.119±0.156^{ab}	0.807±0.095^{a}	1.028±0.141^{ab}	0.837±0.136^{a}	0.960±0.195^{a}	1.001±0.141^{ab}	1.006±0.209^{ab}	0.907±0.380^{a}
TAA(g/100 g)		7.974±0.026^{a}	8.736±0.312^{ab}	7.844±1.251^{a}	8.429±0.459^{ab}	8.027±0.837^{a}	8.502±1.134^{ab}	8.734±0.828^{ab}	9.490±0.757^{b}	7.500±1.172^{a}	9.433±0.681^{b}
EAA(g/100 g)		1.545±0.003^{a}	1.895±0.123^{abcde}	1.848±0.393^{abcd}	2.201±0.116^{de}	1.626±0.165^{ab}	1.827±0.314^{abcd}	1.989±0.244^{bcde}	2.276±0.174^{e}	1.768±0.324^{abc}	2.143±0.269^{cde}
NEAA(g/100 g)		6.429±0.029^{ab}	6.841±0.435^{ab}	5.997±0.858^{a}	6.228±0.347^{ab}	6.400±0.699^{ab}	6.631±0.911^{ab}	6.745±0.673^{ab}	7.214±0.583^{b}	5.731±0.884^{a}	7.290±0.735^{b}
EAA/TAA(%)		19.38±0.097^{a}	21.69±2.19^{abc}	23.56±1.18^{bcd}	26.11±0.352^{d}	20.26±1.06^{ab}	22.02±2.18^{abc}	22.77±1.92^{bc}	23.98±0.147^{cd}	23.57±1.63^{bcd}	22.72±3.35^{bc}
EAA/NEAA(%)		24.03±0.149^{a}	27.70±3.57^{abc}	30.82±2.04^{bcd}	35.34±0.644^{d}	25.41±1.07^{ab}	28.23±3.49^{abc}	29.49±3.14^{bc}	31.55±0.255^{cd}	30.85±2.79^{bcd}	29.40±5.37^{bc}

注: 同一行中不同字母代表差异显著(P<0. 05), 表3、表4同。

海原、银川、中宁、固原枸杞 Pro 含量差异显著(P<0.05), 青铜峡与海原、中卫枸杞 Arg 含量呈显著差异(P<0.05)。TAA 在 7.500~9.490 g/100g 之间,EAA 含量在 1.545~2.276 g/100 g 之间, EAA/TAA 在 19.38%~26.11% 之间; NEAA 含量在 5.731~7.290 g/100 g 之间, EAA/NEAA 含量在 24.03%~35.34% 之间。中卫枸杞 TAA 含量最高, 同心最低。各地 EAA 含量由高到低依次为: H>D>J>G>B>C>F>I>E>A, EAA 含量以 Ile 和 Thr 的较高, Lys、Phe、Ile、Val 基本接近, Met 含量最低。青铜峡、同心与中卫、固原的 TAA 含量有显著性差异(P<0.05), 青铜峡的 EAA 含量与月牙湖、红寺堡、贺兰、银川、同心的 EAA 含量差异不显著, 与海原、中宁、中卫、固原地区的 EAA 呈显著差异(P<0.05), 中卫、固原的 NEAA 含量与红寺堡和同心含量差异显著(P<0.05), 青铜峡与海原的 EAA/TAA、EAA/NEAA 含量呈显著差异性(P<0.05)。10 个产地枸杞的 EAA/TAA 和 EAA/NTAA 与 FAO[38] 提出的理想蛋白质条件(EAA/TAA 和 EAA/NTAA 分别为 40% 和 60%)存在一定差距, 表明枸杞中氨基酸的营养价值不够均衡。与文献 [42] 比较, 青海枸杞 Glu、Pro 突出, 甘肃枸杞 Arg 含量较高, 宁夏枸杞必需氨基酸比例高, 不同产地枸杞氨基酸含量差异与环境因素土壤、降水量、温度及生长期等多因素协同影响。

2.2　药用氨基酸组成及含量分析

依据文献 [31], 枸杞药用氨基酸主要包括 Asp、Glu、Gly、Met、Leu、Tyr、Lys、Phe、Arg。由表 3 和图 1 可知, 宁夏枸杞中 MAA 种类齐全, 其中 4 种 EAA, Tyr 为半必需氨基酸。TMAA 在 4.314~5.886 g/100 g 之间, 平均值达 5.063 g/100 g。各产地 TMAA 含量依次为: 固原>中卫>中宁>银川>海原>月牙湖>贺兰>青铜峡>红寺堡>同心。从组分来看, 各产区的 Asp、Glu、Arg、Leu 含量高, 平均含量分别达到 1.459、1.507、0.628 和 0.435 g/100 g, 分别

表 3　宁夏产区枸杞药用氨基酸含量(g/100 g)

Table 3　Medicinal amino acid content of *Lycium barbarum* L.from the Ningxia production area (g/100 g)

MAA	青铜峡	月牙湖	红寺堡	海原	贺兰	银川	中宁	中卫	同心	固原	平均值
Asp	1.652±0.084	1.584±0.282	1.194±0.283	1.281±0.095	1.548±0.286	1.357±0.176	1.526±0.239	1.630±0.266	1.154±0.242	1.661±0.189	1.459
Glu	1.417±0.076	1.415±0.070	1.254±0.311	1.501±0.112	1.401±0.164	1.771±0.515	1.586±0.245	1.557±0.219	1.228±0.213	1.941±0.449	1.507
Gly	0.213±0.042	0.280±0.025	0.282±0.061	0.338±0.021	0.246±0.028	0.284±0.061	0.300±0.042	0.347±0.025	0.266±0.053	0.329±0.054	0.288
Met	0.0456±0.022	0.0500±0.007	0.0497±0.010	0.0568±0.007	0.0666±0.006	0.0945±0.031	0.0554±0.023	0.0552±0.004	0.0451±0.012	0.0580±0.012	0.0577
Leu	0.333±0.046	0.430±0.028	0.429±0.076	0.490±0.025	0.377±0.037	0.432±0.076	0.462±0.050	0.514±0.065	0.400±0.073	0.480±0.061	0.435
Phe	0.284±0.126	0.244±0.017	0.253±0.063	0.298±0.020	0.209±0.025	0.241±0.048	0.270±0.040	0.311±0.022	0.235±0.048	0.291±0.052	0.264
Tyr	0.147±0.022	0.153±0.014	0.152±0.050	0.170±0.019	0.166±0.019	0.194±0.034	0.172±0.039	0.203±0.011	0.152±0.035	0.182±0.026	0.169
Lys	0.176±0.050	0.237±0.021	0.228±0.062	0.311±0.028	0.235±0.040	0.255±0.036	0.260±0.046	0.296±0.014	0.232±0.053	0.306±0.043	0.254
Arg	0.512±0.019	0.574±0.066	0.597±0.126	0.708±0.066	0.570±0.066	0.630±0.092	0.639±0.089	0.817±0.118	0.602±0.125	0.636±0.089	0.628
总量TMAA(g/100 g)	4.780±0.081^{ab}	4.965±0.217^{abc}	4.439±1.03^{a}	5.153±0.299^{abc}	4.820±0.587^{ab}	5.258±0.788^{abc}	5.270±0.624^{abc}	5.745±0.543^{bc}	4.314±0.724^{a}	5.886±0.462^{c}	5.063
MAA/TAA(%)	59.94±1.22^{bc}	56.83±0.451^{ab}	56.59±3.97^{a}	61.13±1.42^{c}	60.05±1.47^{bc}	61.84±1.74^{c}	60.34±2.69^{bc}	60.54±1.68^{bc}	57.52±1.85^{ab}	62.40±2.30^{c}	59.72

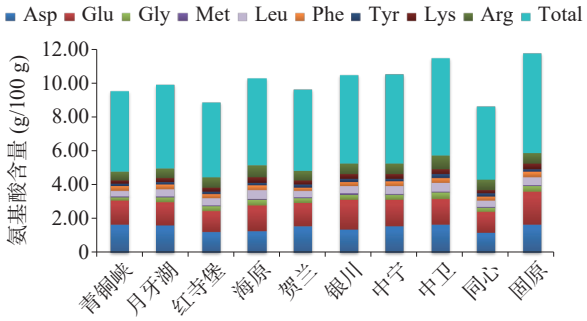


图 1 枸杞中药用氨基酸含量比较

Fig.1 Comparison of medicinal amino acid content of *Lycium barbarum* L.

占 MAA 的 28.82%、29.76%、12.42% 和 8.59%，四者总量占 MAA 的 79.59%。Met 含量最低，平均含量为 0.0577 g/100 g。Gly、Tyr、Lys、Phe 平均含量接近。各产区枸杞的 MAA 含量差异不显著（P>0.05），部分产地 TMAA 含量差异显著（P<0.05）。MAA/TAA 在 56.59%~62.40% 之间，远高于靖远县(55.46%)、玉门市(53.59%)、乌兰县(53.43%)枸杞[42] MAA/TAA 含量，进一步反映了宁夏枸杞氨基酸药用价值高。

2.3 呈味氨基酸组成及含量分析

枸杞中呈味氨基酸有 Val、Leu、Phe、Lys、Arg（见表 4），其中 Val、Leu、Arg 呈现苦味，Phe 呈现芳香味，Lys 呈现鲜味。呈味氨基酸总含量在 1.557~2.341 g/100 g 之间，平均值达 1.904 g/100 g，占 TAA 的 19.53%~26.04%。结合表 4 和图 2 可知：各产区呈味氨基酸总含量高低顺序依次为：中卫>海原>固原>中宁>银川>红寺堡>月牙湖>同心>贺兰>青铜峡，各产区间呈味氨基酸组分相同，含量呈显著差异性。以氨基酸组分含量来看，各产地呈味氨基酸平均含量依次为：Arg>Leu>Val>Phe>Lys，分别占呈味氨基酸总量的 32.98%、22.85%、16.91%、13.87% 和 13.39%，呈现苦味的 Val、Leu、Arg 在枸杞呈味特征中发挥关键作用，呈现芳香味和鲜味的氨基酸贡献率基本接近。各地枸杞的呈味氨基酸总含量除青铜峡与月牙湖、红寺堡、贺兰、银川、同心差异不显著外，其它各地差异显著（P<0.05）。

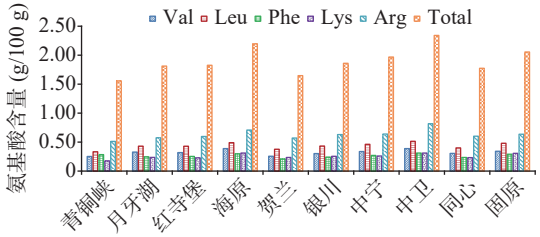


图 2 枸杞中呈味氨基酸含量比较

Fig.2 Comparison of flavor amino acids in *Lycium barbarum* L.

2.4 宁夏枸杞蛋白氨基酸营养价值评价

2.4.1 AAS 评分 根据 AAS 计算方法得出，宁夏枸杞蛋白氨基酸的 AAS 值分别为青铜峡(58.2)、月牙湖(78.0)、红寺堡(75.4)、海原(100.0)、贺兰(76.9)、银川(84.3)、中宁(86.0)、中卫(102.8)、同心(76.7)、固原(98.0)。中卫种植区的枸杞蛋白氨基酸 AAS 评分最高，与评分模式氨基酸组成越接近，蛋白质价值就越高。除青铜峡的最低，其他种植区的比较均衡。结果见表 5。

2.4.2 CS 法 由表 6 可知，宁夏产区的枸杞氨基酸 CS 顺序依次为银川(98.6)、贺兰(96.8)、青铜峡(84.8)、红寺堡(77.7)、中宁(76.3)、月牙湖(74.4)、固原(72.9)、中卫(71.1)、同心(69.5)、海原(66.5)。以银川、贺兰、青铜峡种植的枸杞氨基酸组成更接近

表 4 宁夏产区枸杞呈味氨基酸含量(g/100 g)

Table 4 Content of flavor amino acids in *Lycium barbarum* L. from the Ningxia production area (g/100 g)

呈味氨基酸	青铜峡	月牙湖	红寺堡	海原	贺兰	银川	中宁	中卫	同心	固原	平均值
Val	0.252±0.0092	0.328±0.054	0.319±0.052	0.388±0.040	0.256±0.022	0.302±0.045	0.337±0.045	0.388±0.040	0.305±0.050	0.342±0.047	0.322
Leu	0.333±0.046	0.430±0.028	0.429±0.076	0.490±0.025	0.377±0.037	0.432±0.076	0.462±0.050	0.514±0.065	0.400±0.073	0.480±0.061	0.435
Phe	0.284±0.126	0.244±0.017	0.253±0.063	0.298±0.020	0.209±0.025	0.241±0.048	0.270±0.040	0.311±0.022	0.235±0.048	0.291±0.052	0.264
Lys	0.176±0.050	0.237±0.021	0.228±0.062	0.311±0.028	0.235±0.040	0.255±0.036	0.260±0.046	0.296±0.014	0.232±0.053	0.306±0.043	0.255
Arg	0.512±0.019	0.574±0.066	0.597±0.126	0.708±0.066	0.570±0.066	0.630±0.092	0.639±0.089	0.817±0.118	0.602±0.125	0.636±0.089	0.628
总量	1.557±0.021^{a}	1.812±0.185^{abcd}	1.826±0.376^{abcd}	2.195±0.104^{cd}	1.647±0.184^{ab}	1.860±0.287^{abcd}	1.968±0.227^{bcd}	2.341±0.100^{d}	1.774±0.341^{abc}	2.055±0.253^{cd}	1.904
T/TAA(%)	19.53±0.196^{a}	20.74±2.86^{ab}	23.28±1.08^{bcd}	26.04±0.529^{d}	20.52±1.34^{ab}	21.88±2.17^{abc}	22.53±1.56^{abc}	24.67±1.75^{cd}	23.65±1.99^{bcd}	21.79±3.27^{abc}	22.46

表 5 宁夏产区枸杞的氨基酸评分

Table 5 Amino acid scores of *Lycium barbarum* L. from the Ningxia production area

产地	青铜峡	月牙湖	红寺堡	海原	贺兰	银川	中宁	中卫	同心	固原	FAO/WHO推荐模式(g/100 g)
Ile	110.0	150.6	151.3	180.6	130.6	153.1	156.9	185.0	141.3	173.8	4.0
Leu	68.0	87.8	87.6	100.0	76.9	88.2	94.3	104.9	81.6	98.0	7.0
Lys	58.2	78.0	75.4	102.8	77.7	84.3	86.0	102.8	76.7	101.2	5.5
Cys+Met	118.4	127.3	129.8	140.4	146.1	187.8	137.1	146.1	111.0	141.2	3.5
Phe+Tyr	119.7	110.3	112.5	130.0	104.2	120.8	122.8	142.8	107.5	131.4	6.0
Thr	174.4	229.4	204.4	230.6	170.6	189.4	220.6	259.4	203.8	241.9	4.0
Val	100.8	131.2	127.6	155.2	102.4	120.8	134.8	155.2	122.0	136.8	5.0
AAS	58.2	78.0	75.4	100.0	76.9	84.3	86.0	102.8	76.7	98.0	

表 6　宁夏产区枸杞的氨基酸化学评分

Table 6　Amino acid chemical scores of *Lycium barbarum* L. from the Ningxia production area

氨基酸	青铜峡	月牙湖	红寺堡	海原	贺兰	银川	中宁	中卫	同心	固原	FAO/WHO推荐全鸡蛋模式(g/100 g)
Ile	85.8	95.8	98.6	98.9	96.8	98.6	95.0	97.9	96.3	97.7	6.6
Leu	123.6	128.2	131.1	125.7	130.9	130.3	131.2	127.5	127.8	126.5	8.8
Lys	88.5	97.1	95.8	109.7	112.2	105.8	101.5	101.0	101.9	110.9	6.4
Cys+Met	84.8	74.4	77.7	66.5	99.5	111.5	76.3	71.1	69.5	72.9	5.5
Phe+Tyr	138.6	104.1	108.9	105.7	114.6	115.5	110.4	112.2	108.8	109.7	10.0
Thr	176.0	188.7	172.4	163.4	163.6	157.7	173.0	177.7	179.7	176.0	5.1
Val	111.0	117.8	117.5	120.0	107.2	109.8	115.4	116.1	117.4	108.7	7.3
CS	84.8	74.4	77.7	66.5	96.8	98.6	76.3	71.1	69.5	72.9	

于鸡蛋蛋白模式，营养价值高；红寺堡、中宁、月牙湖、固原、中卫的枸杞氨基酸营养价值相对较高且均衡，同心和海原的枸杞氨基酸营养价值相对较低。

2.4.3　RC 及 SRC 法　由表 7 中 RC 值可知，青铜峡、贺兰、银川、固原的枸杞中必需氨基酸 Phe+Tyr、Thr 相对过多，Ile、Leu、Val、Cys+Met、Lys 相对缺乏，Cys+Met 为第一限制性氨基酸（数值最低的氨基酸或氨基酸组即为“第一限制氨基酸”）；红寺堡、海原枸杞中必需氨基酸 Ile、Leu、Phe+Tyr、Thr、Val 相对过多，Cys+Met 为第一限制性氨基酸；月牙湖、中宁枸杞必需氨基酸 Leu、Phe+Tyr、Thr、Val 相对过多，Ile、Cys+Met、Lys 相对缺乏，Cys+Met 为第一限制性氨基酸；中卫、同心枸杞必需氨基酸 Phe+Tyr、Thr、Val 相对过多，Ile、Leu、Cys+Met、Lys 相对缺乏。从 SRC 值来看，各种植区枸杞的必需氨基酸比值系数分在 71.1~84.9 之间，以银川和贺兰的最高，达到 84.9 和 84.7，青铜峡和月牙湖的相对较低，为 71.1 和 72.5。除了 Cys+Met、Lys，其余必需氨基酸

表 7　枸杞氨基酸的比值系数及比值系数分比较

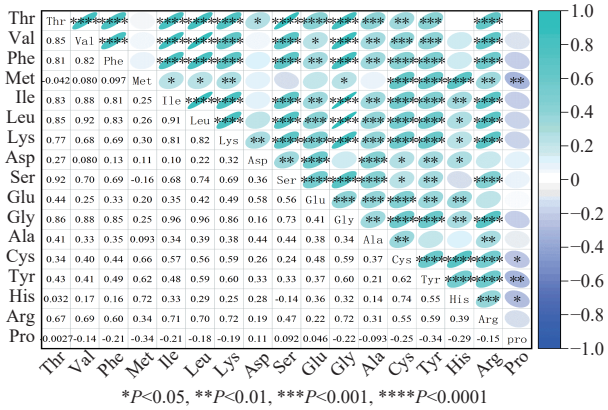
Table 7　Ratio coefficient and ratio coefficient score comparison of *Lycium barbarum* L amino acids

蛋白质特性		FAO/WHO推荐必需氨基酸组成							SRC
		Ile	Leu	Lys	Cys+Met	Phe+Tyr	Thr	Val	
青铜峡	RAA	0.04	0.05	0.03	0.04	0.07	0.07	0.05	71.1
	RC	0.86	0.93	0.63	0.81	1.41	1.37	0.99	
月牙湖	RAA	0.06	0.06	0.04	0.04	0.07	0.09	0.07	72.5
	RC	0.98	1.00	0.70	0.68	1.08	1.50	1.07	
红寺堡	RAA	0.06	0.06	0.04	0.04	0.07	0.08	0.06	77.2
	RC	1.01	1.02	0.69	0.74	1.12	1.36	1.06	
海原	RAA	0.07	0.07	0.06	0.05	0.08	0.09	0.08	78.2
	RC	1.03	1.00	0.80	0.65	1.11	1.31	1.10	
贺兰	RAA	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.07	0.05	84.7
	RC	0.96	0.99	0.78	0.94	1.15	1.25	0.94	
银川	RAA	0.06	0.06	0.05	0.07	0.07	0.08	0.06	84.9
	RC	0.97	0.97	0.73	1.04	1.14	1.20	0.95	
中宁	RAA	0.06	0.07	0.05	0.05	0.07	0.09	0.07	77.9
	RC	0.97	1.02	0.73	0.74	1.14	1.36	1.04	
中卫	RAA	0.07	0.07	0.06	0.05	0.09	0.10	0.08	76.4
	RC	0.99	0.98	0.76	0.69	1.15	1.39	1.04	
同心	RAA	0.06	0.06	0.04	0.05	0.06	0.08	0.06	79.4
	RC	0.96	0.97	0.71	0.86	1.09	1.38	1.03	
固原	RAA	0.07	0.07	0.06	0.05	0.08	0.10	0.07	77.8
	RC	1.00	0.99	0.80	0.71	1.13	1.39	0.98	

配比比较合理，有较高的食用价值。联合国粮农组织（FAO）通过的“理想蛋白质氨基酸模式”明确了成年人（18~64 岁）对 Cys+Met 需求阈值为 2.5 g/100 g 蛋白质[38]，由表 2 可知，宁夏产区枸杞 Cys+Met 值在 0.1234~0.2305 g/100 g 之间，低于需求阈值，进一步确认为枸杞限制氨基酸。

2.5　枸杞中氨基酸主成分分析与蛋白综合营养评价

2.5.1　不同种植区枸杞氨基酸的相关分析　由图 3 可知，除 Pro 与 Thr、Val、Phe、Ile、Leu、Lys、Asp、Ser、Glu、Gly、Ala、Arg，His 与 Thr、Val、Phe、Ser、Ala，Ala 与 Tyr，Met 与 Asp、Ser、Glu、Ala、Thr、Val、Phe，Arg 与 Asp、Glu，Gly 与 Asp 无相关性外，其余各氨基酸之间均存在正相关或负相关，绝大部分呈极显著正相关（P<0.01）。Gly 与 Ile、Leu，Val 与 Leu、Ser 与 Thr、Leu 与 Ile 相关系数在 0.9 以上呈正相关。Thr、Val、Phe、Ile、Leu、Gly 之间相关系数在 0.8 以上呈正相关，Lys 与 Ile、Leu 之间相关系数在 0.8 以上呈正相关。不同种植地枸杞中各氨基酸间相关性较强。



*P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001, ****P<0.0001

图 3　氨基酸相关性分析

Fig.3　Amino acid correlation analysis

2.5.2　氨基酸主成分分析　由表 8 可知，特征值大于 1 的成分有 3 个，其中主成分 1 的特征值为 8.745，贡献率为 51.441%；主成分 2 的特征值为 2.675，贡献率为 15.736%；主成分 3 的特征值为 1.732，贡献率为 10.187%。3 个主成分的累积方差贡献率 77.364%，基本能够代表所有指标的大部分信息。

表 8 主成分起始特征值及累积贡献率

Table 8 Initial eigenvalues of principal component and cumulative contribution rate

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差(%)	累积(%)	总计	方差(%)	累积(%)
1	8.745	51.441	51.441	8.745	51.441	51.441
2	2.675	15.736	67.177	2.675	15.736	67.177
3	1.732	10.187	77.364	1.732	10.187	77.364
4	0.852	5.012	82.376			

17 种氨基酸指标在 3 个主成分上的特征向量与载荷矩阵见表 9 和图 4。主成分 1 中载荷值较高且正相关的有 Gly、Leu、Ile、Lys、Thr、Val、Phe、Arg、Ser 等，以药用氨基酸 Gly 载荷值 0.956 为最大，以必需氨基酸为主(Thr、Val、Phe、Leu、Ile、Lys)。第 2 主成分主要反映 Met、His、Cys、Tyr 等的变异信息，以药用氨基酸 Met 载荷值 0.827 为最大，非必需氨基酸为主(His、Cys、Tyr)。第 3 主成分的载荷值

表 9 主成分载荷矩阵与特征向量

Table 9 Principal component loading matrix and eigenvectors

氨基酸	主成分1		主成分2		主成分3	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷
Thr	0.100	0.872	−0.159	−0.426	0.019	0.032
Val	0.098	0.856	−0.108	−0.289	−0.148	−0.256
Phe	0.096	0.842	−0.086	−0.229	−0.105	−0.181
Met	0.039	0.345	0.309	0.827	−0.054	−0.094
Ile	0.105	0.916	−0.041	−0.109	−0.133	−0.230
Leu	0.108	0.948	−0.046	−0.123	−0.071	−0.123
Lys	0.101	0.887	−0.012	−0.031	0.011	0.019
Asp	0.039	0.341	0.048	0.128	0.460	0.797
Ser	0.087	0.760	−0.195	−0.521	0.144	0.249
Glu	0.062	0.540	0.041	0.110	0.376	0.651
Gly	0.109	0.956	−0.038	−0.102	−0.104	−0.180
Ala	0.055	0.481	−0.014	−0.038	0.254	0.440
Cys	0.078	0.683	0.210	0.561	0.039	0.067
Tyr	0.078	0.684	0.171	0.458	−0.009	−0.015
His	0.047	0.407	0.299	0.799	0.032	0.055
Arg	0.090	0.787	0.032	0.086	−0.096	−0.166
Pro	−0.025	−0.219	−0.152	−0.405	0.241	0.417

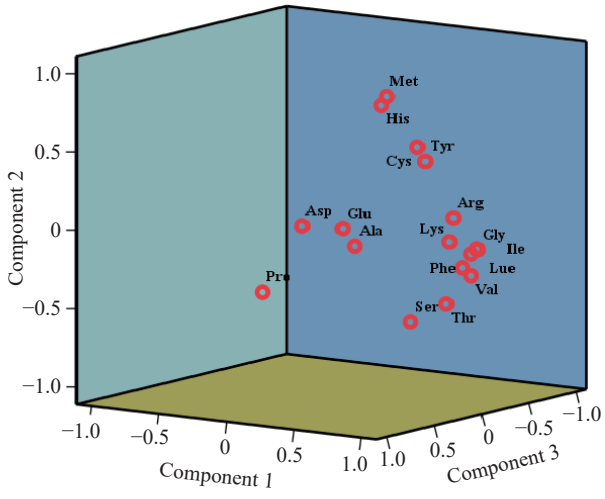


图 4 主成分因子荷载图

Fig.4 Factor load diagram of principal component

最大的前 2 位是药用氨基酸 Asp、Glu。第 1、第 2 和第 3 主成分基本反映了宁夏不同产地枸杞中药用氨基酸和必需氨基酸含量的差异性。宁夏产区枸杞中关键氨基酸为药用氨基酸 Gly、Asp、Glu、Met 和必需氨基酸 Thr、Val、Phe、Leu、Ile、Lys。

2.5.3 宁夏产区枸杞氨基酸的综合评价 利用前 3 个主成分进行宁夏产区枸杞蛋白氨基酸营养价值综合评价。3 个主成分线性关系分别为：

$$F_1=0.100X_1+0.098X_2+0.096X_3+0.039X_4+0.105X_5+0.108X_6+0.101X_7+0.039X_8+0.089X_9+0.062X_{10}+0.109X_{11}+0.055X_{12}+0.078X_{13}+0.078X_{14}+0.047X_{15}+0.090X_{16}-0.025X_{17}$$

$$F_2=-0.159X_1-0.108X_2-0.086X_3+0.039X_4-0.041X_5-0.046X_6-0.012X_7+0.048X_8-0.195X_9+0.041X_{10}-0.038X_{11}-0.014X_{12}+0.210X_{13}+0.171X_{14}+0.299X_{15}+0.032X_{16}-0.152X_{17}$$

$$F_3=0.019X_1-0.148X_2-0.105X_3-0.054X_4-0.133X_5-0.071X_6+0.011X_7+0.460X_8+0.144X_9+0.376X_{10}-0.104X_{11}+0.254X_{12}+0.039X_{13}-0.009X_{14}+0.032X_{15}-0.096X_{16}+0.241X_{17}$$

其中，X_1~X_{17} 代表 17 种氨基酸，分别为 Thr、Val、Phe、Met、Ile、Leu、Lys、Asp、Ser、Glu、Gly、Ala、Cys、Tyr、His、Arg、Pro。

以 3 个主成分对应的方差相对贡献率为权重，将主成分得分进行权重加和，建立综合评价函数 $F_{综}=0.665F_1+0.203F_2+0.132F_3$，计算各产区枸杞氨基酸的综合得分。综合得分高低可以反映枸杞中氨基酸综合品质的高低，得分越高说明综合品质越好。由表 10 可知，综合排名前 10 的依次为中宁(G20)>银川(F5)>中宁(G21)>中卫(H1)>银川(F6)>银川(F1)>固原(J5)>固原(J11)>固原(J6)>银川(F2)，中宁种植区的得分最高为 1.348。75 个枸杞样本中综合得分值为正值的有 38 个，负值的有 37 个。其中综合得分为正值的以中宁、固原、银川的枸杞样本居多，分别占 31.6%、28.9%、15.8%。综合得分为负值的以银川、贺兰、同心的枸杞样本居多，分别占 29.7%、24.3%、18.9%，说明这些地区种植的枸杞中氨基酸含量低于平均水平。

将各地区样本主成分分析矩阵中主要氨基酸在各个主成分矩阵中的权重系数综合得分取均值进行排序，各种植区枸杞蛋白质氨基酸营养价值综合排名依次为中卫(H)>固原(J)>银川(F)>海原(D)>中宁(G)>月牙湖(B)>贺兰(E)>红寺堡(C)>青铜峡(A)>同心(I)。中卫(H)、固原(I)、银川(F)、海原(D)、中宁(G)的枸杞氨基酸综合得分均为正值，综合品质较佳。结果见表 11。

2.5.4 宁夏产区枸杞氨基酸的聚类分析 图 5 为宁夏 10 个产区枸杞间聚类图，可聚为四类：第一类为 A(青铜峡)、I(同心)，TAA、EAA、MAA、增香剂型

表 10　氨基酸权重后综合得分及排名

Table 10　Principal component scores and comprehensive assessment of amino acids in *Lycium barbarum* L.

类别	F1	F2	F3	权重综合得分	排序	类别	F1	F2	F3	权重综合得分	排序
G20	1.248	1.822	1.122	1.348	1	G1	−0.259	−0.626	0.559	−0.226	39
F5	1.306	2.367	−0.279	1.313	2	D2	0.301	−0.164	−1.746	−0.064	40
G21	1.043	1.777	1.16	1.208	3	G18	0.308	−0.867	−0.753	−0.071	41
H1	1.754	−0.219	0.44	1.180	4	G2	−0.107	−0.749	0.244	−0.191	42
F6	1.145	2.212	−0.423	1.155	5	B1	0.012	−0.939	−0.082	−0.194	43
F1	0.945	2.572	−0.535	1.081	6	E8	−0.528	1.093	−0.647	−0.214	44
J5	1.428	0.1	−0.216	0.941	7	G11	−0.317	−0.646	0.448	−0.283	45
J11	1.478	−1.024	1.143	0.925	8	I3	−0.187	−0.424	−0.636	−0.295	46
J6	1.252	0.056	0.583	0.921	9	E3	−0.827	0.948	0.42	−0.302	47
F2	0.762	2.37	−0.622	0.907	10	B2	−0.499	−0.933	1.237	−0.359	48
G5	1.462	−0.403	−0.203	0.864	11	E1	−0.97	0.887	0.677	−0.375	49
G10	0.678	1.782	−0.284	0.776	12	E4	−0.97	0.887	0.677	−0.375	50
G8	1.225	−0.249	−0.054	0.757	13	I8	−0.395	−0.728	0.179	−0.387	51
J2	1.382	−0.504	−0.566	0.742	14	G6	−0.35	−0.193	−0.95	−0.397	52
J12	0.74	−0.888	1.757	0.543	15	E9	−0.841	1.05	−0.685	−0.436	53
C3	1.097	−0.58	−0.533	0.541	16	A2	−1.071	0.931	0.557	−0.449	54
I6	1.247	−0.632	−1.33	0.525	17	E2	−1.071	0.931	0.557	−0.449	55
J3	0.918	−0.588	0.257	0.524	18	E5	−1.071	0.931	0.557	−0.449	56
G12	0.894	−0.475	−0.104	0.484	19	G9	−0.417	−0.548	−0.918	−0.509	57
J9	0.69	−0.906	1.487	0.471	20	G13	−0.578	−0.278	−0.86	−0.554	58
H3	0.895	−0.495	−0.377	0.445	21	G22	−1.312	0.34	1.781	−0.569	59
E7	0.15	0.815	1.359	0.444	22	J10	−1.467	−0.832	3.552	−0.677	60
E6	0.188	0.626	1.255	0.417	23	F8	−1.068	0.716	−0.989	−0.695	61
H2	0.898	−0.373	−0.834	0.412	24	C2	−0.868	−0.259	−0.682	−0.72	62
G23	0.946	−2.498	2.131	0.402	25	G15	−1.063	−0.399	0.419	−0.733	63
G19	0.828	−0.994	0.264	0.383	26	G14	−0.856	−0.782	−0.066	−0.737	64
D1	0.966	−0.677	−1.212	0.345	27	I7	−0.715	−0.999	−0.485	−0.742	65
J7	0.812	−0.177	−1.251	0.339	28	I5	−0.666	−0.361	−1.866	−0.762	66
G17	0.773	−0.416	−0.784	0.326	29	I4	−0.809	−0.642	−0.99	−0.799	67
J4	0.483	0.218	−0.36	0.318	30	G16	−0.861	−0.527	−0.975	−0.808	68
G3	0.556	−0.596	0.168	0.27	31	F7	−1.25	0.542	−1.099	−0.866	69
J8	0.361	−0.846	1.249	0.232	32	E11	−1.507	0.316	0.216	−0.909	70
J1	0.717	−0.994	−0.525	0.206	33	A1	−1.357	−0.671	0.831	−0.929	71
D3	0.575	−0.196	−1.221	0.182	34	E10	−1.587	0.46	0.017	−0.959	72
G4	0.106	−0.129	0.589	0.122	35	I1	−1.554	−0.824	−0.073	−1.21	73
G7	0.437	−0.619	−0.656	0.078	36	C1	−1.558	−0.86	−0.923	−1.333	74
F3	−0.657	1.642	0.94	0.021	37	I2	−2.64	−0.517	−2.115	−2.139	75
F4	−0.754	1.854	1.076	0.017	38						

表 11　枸杞中氨基酸权重后综合得分及排名

Table 11　Principal component scores and comprehensive assessment of amino acids in *Lycium barbarum* L.

地区	样本权重综合得分均值	排名	地区	样本权重综合得分均值	排名
中卫H	0.679	1	月牙湖B	−0.277	6
固原J	0.457	2	贺兰E	−0.328	7
银川F	0.367	3	红寺堡C	−0.504	8
海原D	0.155	4	青铜峡A	−0.689	9
中宁G	0.084	5	同心I	−0.726	10

氨基酸含量均低于平均值(该平均值为每一类氨基酸所有地区的平均值, 同下); 第二类为 B(月牙湖)、E(贺兰)、C(红寺堡), TAA、EAA、MAA、增香剂型氨基酸含量接近或低于平均值; 第 3 类为 D(海原)、G(中宁), TAA、EAA、MAA、增香剂型氨基酸含量均高于或接近平均值; 第 4 类为 J(固原)、F(银川)、H(中卫)。J(固原)、H(中卫)TAA、EAA、MAA、增香剂型氨基酸含量均高于平均值, F(银川)TAA、EAA、MAA、增香剂型氨基酸含量接近于平均值。结合表 11 的样本权重综合得分均值, 聚类分析可较

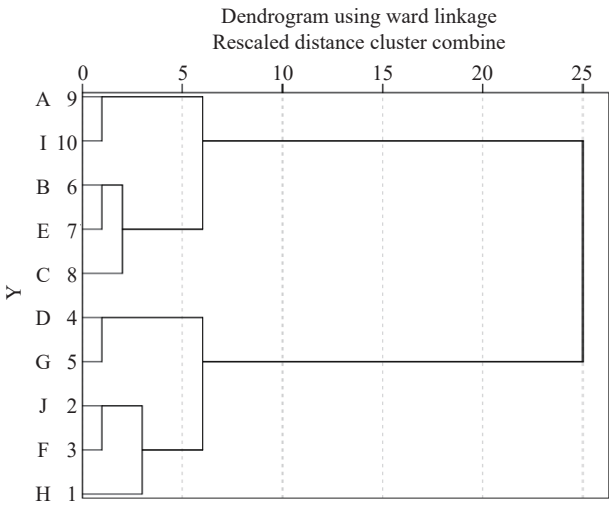


图 5　宁夏产区枸杞聚类分析图

Fig.5　Dendrogram from cluster analysis of *Lycium barbarum* L. in different planting areas in Ningxia

好地体现宁夏产区间枸杞氨基酸含量的差异性。

3 结论

试验对宁夏 10 个产区 75 个枸杞样本中 17 种蛋白氨基酸组成、含量、构成比例及营养价值评价。宁夏枸杞氨基酸种类齐全，Gly、Asp、Glu、Met、Thr、Val、Phe、Leu、Ile 是关键氨基酸，但 EAA/TAA 和 EAA/NTAA 低于 FAO 提出的理想蛋白质 EAA/TAA 和 EAA/NTAA 值 40% 和 60%，药用氨基酸含量高，MAA/TAA 在 56.59%~62.40% 之间。除同心与中卫、固原的 TAA 含量有显著性差异外，其他各产区的 TAA、EAA、NEAA 含量差异不显著，呈味氨基酸含量差异不显著，EAA/TAA、EAA/NEAA、TMAA 及呈味氨基酸总含量呈显著差异性。胱氨酸+蛋氨酸（Cys+Met）为第一限制性氨基酸。AAS、CS、SRC 分别在 58.2~102.8、66.5~98.6、71.1~84.9 之间，SRC 法评价结果更接近于 FAO/WHO 推荐模式。宁夏枸杞蛋白质氨基酸营养价值呈现地区差异性，可分为四类，分别为青铜峡和同心一类，月牙湖、贺兰和红寺堡一类，海原、中宁和固原一类，银川和中卫一类，其中中卫、同心、银川、海原、中宁地区的枸杞蛋白质氨基酸综合品质较佳。聚类分析可较好地体现宁夏产区间枸杞氨基酸含量的差异性。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] van DER MEIJ B S, TELENI L, ENGELEN M P K J, et al. Amino acid kinetics and the response to nutrition in patients with cancer[J]. International Journal of Radiation Biology, 2019, 95(4): 480−492.

[2] PHILLIPS S M, CHEVALIER S, LEIDY H J. Protein "requirements" beyond the RDA: Implications for optimizing health [J]. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 2016, 41(5): 565−572.

[3] 班俊, 褚孟嫄. 中国李幼果生长发育初期氨基酸的变化[J]. 果树科学, 1989, 6(1): 13−16. [BAN Jun, CHU Mengyuan. Study on the changes of amino acids during initial stage of development of young plum (*Prunus* salieina Lindl.)fruit[J]. Journal of Fruit Science, 1989, 6(1): 13−16.]

[4] MATTILA P, SUONPÄÄ K, PIIRONEN V. Functional properties of edible mushrooms[J]. Nutrition, 2000, 16(7−8): 694−696.

[5] BALBI M E, FABENI F, LAZINSKI L M, et al. Nutritional analysis and amino acid profile of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*, Agaricaceae)[J]. Visã o Acadêmica, 2013, 14(4): 49−61.

[6] BARROS L, CRUZ T, BAPTISTA P, et al. Wild and commercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals[J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(8): 2742−2747.

[7] 吴韶梅, 哈婧, 冀亚敏. 枸杞总黄酮的提取及抗氧化作用研究[J]. 中国食品添加剂, 2013, 24(5): 133−137. [WU Shaomei, HA Jing, JI Yamin. Study on the extraction method and antioxidation ability of flavonoids in *Lycium barbarum* L[J]. China Food Additives, 2013, 24(5): 133−137.]

[8] 赵凤敏, 李树君, 张小燕, 等. 不同品种马铃薯的氨基酸营养价值评价[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(9): 13−18. [ZHAO Fengmin, LI Shujun, ZHANG Xiaoyan, et al. Nutritional evaluation of amino acids in different potato gultivars[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(9): 13−18.]

[9] 徐鑫, 毛红艳, 韩登旭, 等. 新疆不同玉米品种氨基酸营养价值评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(6): 244−249. [XU Xin, MAO Hongyan, HAN Dengxu, et al. Nutritional value evaluation of amino acids of different corn cultivars in Xinjiang[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(6): 244−249.]

[10] 李治平, 刘娟汝, 陈艳, 等. 不同产地香菇氨基酸组成及营养价值评价[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(3): 167−172. [LI Zhiping, LIU Juanru, CHEN Yan, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of *Lentinus edodes* from different habitats [J]. Storage and Process, 2020, 20(3): 167−172.]

[11] 杨旭昆, 汪禄祥, 叶艳萍, 等. 7 种云南产核桃中 17 种氨基酸含量测定与必需氨基酸模式分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(6): 1889−1894. [YANG Xukun, WANG Luxiang, YE Yanping, et al. Quantitative determination of 17 kinds of amino acids and pattern analysis of essential amino acids in 7 local walnut varieties in Yunnan Province[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(6): 1889−1894.]

[12] 詹歌, 孙梦媛, 李军, 等. 不同产地 5 种菊花氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. 安徽农业大学学报, 2019, 46(6): 908−914. [ZHAN Ge, SUN Mengyuan, LI Jun, et al. Analysis of amino acid composition and nutritive value of five cultivars of *Chrysanthemum morifolium* from different producing areas[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2019, 46(6): 908−914.]

[13] 顾晓敏, 童川, 韩延超, 等. 不同品种莲藕游离氨基酸多样性分析[J]. 食品科学, 2022, 43(4): 183−189. [GU Xiaomin, TONG Chuan, HAN Yanchao, et al. Diversity of free amino acids among different lotus rhizomes[J]. Food Science, 2022, 43(4): 183−189.]

[14] 原远, 王春政, 周贤玉, 等. 六种菜心氨基酸组成及营养价值评价[J]. 南方农业学报, 2019, 50(10): 2271−2277. [YUAN Yuan, WANG Chunzheng, ZHOU Xianyu, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of six kinds of flowering Chinese cabbages(*Brassica* campestris L. ssp. Chinensis var. Utilis Tsen et Lee)[J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(10): 2271−2277.]

[15] 林媚, 张伟清, 王天玉, 等. 15 个杂交柑橘品种的果实游离氨基酸组成及其对风味品质的影响[J]. 果树学报, 2022, 39(3): 352−365. [LIN Mei, ZHANG Weiqing, WANG Tianyu, et al. Study on the composition of free amino acid and the effects on fruit fla-vor quality in 15 hybrid *Citrus* varieties[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(3): 352−365.]

[16] 陈守一, 罗昌国, 王红林, 等. 贵州晚熟李的氨基酸组成及营养价值评价[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(24): 34−40. [CHEN Shouyi, LUO Changguo, WANG Honglin, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of late mature plums in Guizhou[J]. Food Research and Development, 2021, 42(24): 34−40.]

[17] 许生陆, 高媛, 胡国梁, 等. 基于有效波长选择的近红外光谱枸杞总糖含量快速检测[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 105−109. [XU Shenglu, GAO Yuan, HU Guoliang, et al. Rapid determination of total sugar content of Goji berries (*Lycium barbarum*) by

near infrared spectroscopy with effective wavenumber selection[J]. Food Science, 2016, 37(12): 105−109.]
[18] 于慧春, 王润博, 殷勇, 等. 基于不同波段的枸杞多糖及总糖高光谱成像检测[J]. 食品科学, 2017, 38(8): 191−197. [YU Huichun, WANG Runbo, YIN Yong, et al. Detection of polysaccharides and total sugar in Chinese wolfberry based on hyperspectral imaging in different wavebands[J]. Food Science, 2017, 38(8): 191−197.]
[19] 于慧春, 王润博, 殷勇, 等. 基于高光谱图像光谱与纹理信息的枸杞多糖及总糖含量检测[J]. 核农学报, 2018, 32(3): 523−531. [YU Huichun, WANG Runbo, YIN Yong, et al. Prediction of polysaccharide and total sugar in wolfberry based on spectral and texture information from hyperspectral image[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(3): 523−531.]
[20] 谢文, 陈华国, 赵超, 等. 枸杞多糖的生物活性及作用机制研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 349−359. [XIE Wen, CHEN Huaguo, ZHAO Chao, et al. Recent progress in understanding the bioactivity and mechanism of action of *Lycium barbarum* polysaccharide[J]. Food Science, 2021, 42(5): 349−359.]
[21] 张喜康, 赵宇慧, 刘军, 等. 枸杞不同生长期多糖的理化特性及结构分析[J]. 食品科学, 2020, 41(16): 158−164. [ZHANG Xikang, ZHAO Yuhui, LIU Jun, et al. Physicochemical properties and structural analysis of *Lycium barbarum* L. Polysaccharides at different growth stages[J]. Food Science, 2020, 41(16): 158−164.]
[22] 刘鹏, 李达, 纪海玉, 等. 枸杞多糖的提取及其体外抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(10): 111−116. [LIU Peng, LI Da, JI Haiyu, et al. Purification and antioxidant activity characterization of fructus lycii polysaccharides[J]. Food Research and Development, 2022, 43(10): 111−116.]
[23] 贺天雨, 乐胜锋, 杜宁, 等. 液相色谱法在枸杞甜菜碱含量测定中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(11): 3444−3451. [HE Tianyu, LE Shengfeng, DU Ning, et al. Application of liquid chromatography in the determination of betaine in *Lycii fructus*[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(11): 3444−3451.]
[24] 廖国玲, 张自萍, 郭荣. 宁夏枸杞甜菜碱提取物高效液相色谱指纹图谱研究[J]. 分析科学学报, 2007, 23(6): 642−646. [LIAO Guoling, ZHANG Ziping, GUO Rong. Study on high performance liquid chromatography fingerprint of betaine from *Lycium barbarum* L[J]. Journal of Analytical Science, 2007, 23(6): 642−646.]
[25] 米佳, 禄璐, 戴国礼, 等. 枸杞色泽与其类胡萝卜素含量和组成的相关性[J]. 食品科学, 2018, 39(5): 81−86. [MI Jia, LU Lu, DAI Guoli, et al. Correlations between skin color and carotenoid contents in wolfberry[J]. Food Science, 2018, 39(5): 81−86.]
[26] 王静, 王杰, 阿娜尔, 等. 枸杞类胡萝卜素指纹图谱的建立及其抗氧化活性谱效关系研究[J]. 中国药房, 2022, 33(5): 575−578. [WANG Jing, WANG Jie, A Naer, et al. Establishment of carotenoid fingerprint in *Lycium barbarum* and study on its antioxidant activity spectrum-effect relationship[J]. China Pharmacy, 2022, 33(5): 575−578.]
[27] 杨岱琳, 莫仁楠, 柳文媛. 黑果枸杞的多酚类化合物组成及体外抗氧化活性的比较研究[J]. 中南药学, 2020, 18(9): 1488−1493. [YANG Dailin, MO Rennan, LIU Wenyuan. Composition and antioxidant activity of polyphenols in *Lycium ruthenicum* Mrr[J]. Central South Pharmacy, 2020, 18(9): 1488−1493.]
[28] 杨春霞, 李彩虹, 杨静, 等. 宁夏产区不同品种枸杞中总酚含量分析[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(8): 183−187. [YANG Chunxia, LI Caihong, YANG Jing, et al. Analysis of polyphenols content in different varieties of *Lycium barbarum* L. in Ningxia producing area[J]. Food Research and Development, 2020, 41(8): 183−187.]
[29] 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. [YANG Chunxia. Simultaneous determination of amino acids in Chinese wolfberry fruit and pollen by high performance cation exchange chromatography with post-column derivatization[J]. Food Science, 2011, 32(18): 239−242.]
[30] 杨春霞. 黑果枸杞与红果枸杞氨基酸含量的差异性研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(4): 34−37,75. [YANG Chunxia. Comparative analysis of amino acid contents in *Lycium ruthenicum* Murr. and red wolfberry[J]. Food Research and Development, 2017, 38(4): 34−37,75.]
[31] 王亚军, 安巍, 袁立勇, 等. 不同品系枸杞果实中氨基酸含量的比较分析[J]. 广东农业科学, 2011, 38(20): 124−125. [WANG Yajun, AN Wei, YUAN Liyong, et al. Comparative analysis on amino acid content in different strains of wolfberry fruit[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(20): 124−125.]
[32] 张晓煜, 刘静, 袁海燕, 等. 不同地域环境对枸杞蛋白质和药用氨基酸含量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 100−104. [ZHANG Xiaoyu, LIU Jing, YUAN Haiyan, et al. Effect of surrounding conditions on protein and pharmacological amino acid of *Lycium barbarum* L[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(3): 100−104.]
[33] 刘凤兰, 王建友, 毛金梅, 等. 新疆主栽枸杞品种蛋白质与氨基酸含量及组分分析[J]. 北方园艺, 2016(4): 146−150. [LIU Fenglan, WANG Jianyou, MAO Jinmei, et al. Analysis of content and composition about proteins and amino acids of Xinjiang's main Chinese wolfberry varieties[J]. Northern Horticulture, 2016(4): 146−150.]
[34] 杨仁明, 景年华, 王洪伦, 等. 青海不同地区枸杞营养成分与活性成分含量分析[J]. 食品科学, 2012, 33(20): 265−269. [YANG Renming, JING Nianhua, WANG Honglun, et al. Analysis and evaluation of nutritional composition and bioactive composition in Chinese wolfberry (*Lycium barbarum* L.) fruits from different regions of Qinghai Province[J]. Food Science, 2012, 33(20): 265−269.]
[35] 王益民, 王玉, 任晓卫, 等. 不同枸杞品种氨基酸含量分析研究[J]. 食品科技, 2014, 39(2): 74−77. [WANG Yimin, WANG Yu, REN Xiaowei, et al. Comparison of amino acid contents in different cultivars of *Lycium barbarum* L. Fruit[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(2): 74−77.]
[36] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1−3. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard determination of protein in food: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1−3.]
[37] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准. 食品中氨基酸的测定: GB

5009.124-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1−6. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard - determination of amino acids in food: GB 5009.124-2016 [S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1−6.]

[38] FAO/WHO. Energy and protein requirements[R]. Geneva: World health organization, 1973.

[39] FOOD, Agriculture Organization of the United Nations. Amino acid content of foods and biological data on proteins: 24[R]. Rome, Italy: Food Policy and Food Science Service, Nutrition Division, FAO, 1970.

[40] 姜萍萍, 韩烨, 顾赛红, 等. 五种食用菌氨基酸含量的测定及营养评价[J]. 氨基酸和生物资源, 2009, 31(2): 67−71. [JIANG Pingping, HAN Ye, GU Saihong, et al. Determination of amino acids in five edible fungi and their nutritional evaluation[J]. Amino Acids and Biotic Resources, 2009, 31(2): 67−71.]

[41] 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, 10(2): 187−190. [ZHU Shengtao, WU Kun. Evaluation of nutritional value in protein: Amino acid ratio coefficient method[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1988, 10(2): 187−190.]

[42] 朱教胜, 胡杨, 罗欣, 等. 四个产地枸杞中 16 种氨基酸含量分析及营养价值评价[J]. 中南农业科技, 2025, 46(2): 53−58. [ZHU Jiaosheng, HU Yang, LUO Xin, et al. Content analysis and nutritional value evaluation of 16 amino acids in *Lycium barbarum* from four producing areas[J]. South-Central Agricultural Science and Technology, 2025, 46(2): 53−58.]