杨哲, 陈妮, 彭丽辉, 等. 8种石斛属植物营养价值比较分析与评价 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(2): 308−318. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025010047

YANG Zhe, CHEN Ni, PENG Lihui, et al. Comparative Analysis and Evaluation of Nutritional Value in Eight *Dendrobium* Species[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(2): 308−318. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025010047

· 分析检测 ·

8 种石斛属植物营养价值比较分析与评价

杨　哲[1,2], 陈　妮[1,2], 彭丽辉[2], 江海都[2], 隆丽梅[3], 蒋　强[4], 韦宇静[2], 熊忠臣[2], 韦　霄[2], 柴胜丰[2,*]

（1.桂林理工大学旅游与风景园林学院, 广西桂林 541006;
2.广西植物功能物质与资源持续利用重点实验室, 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西桂林 541006;
3.广西龙虎山自然保护区管理处, 广西南宁 532715;
4.广西雅长兰科植物国家级自然保护区管理中心, 广西百色 533209）

摘　要: 大部分石斛属植物为传统药食两用植物，具有很高的营养价值，了解不同石斛种类营养价值的差异，可为其开发利用提供理论依据。本研究对梳唇石斛（*D. strongylanthum*）、束花石斛（*D. chrysanthum*）、鼓槌石斛（*D. chrysotoxum*）、喇叭唇石斛（*D. lituiflorum*）、滇桂石斛（*D. scoriarum*）、钩状石斛（*D. aduncum*）、重唇石斛（*D. hercoglossum*）和罗河石斛（*D. lohohense*）8 种石斛属植物的一般营养成分、矿物质元素、药效成分及氨基酸组成与含量进行了测定和分析，并对其营养价值进行综合评价。结果显示：8 种石斛均表现出低脂肪（含量范围 0.98%~1.74%）的营养特点，且富含 Mg（1.03×10^3~6.06×10^3 mg/kg）、K（0.39×10^4~1.66×10^4 mg/kg）、Ca（0.3×10^4~2.33×10^4 mg/kg）等多种矿物质元素。梳唇石斛与喇叭唇石斛的多糖含量较高（分别为 51.11% 和 38.91%）；除钩状石斛外，其余石斛种类的醇溶性浸出物含量均高于 6.5%。8 种石斛氨基酸种类齐全，氨基酸总量介于 1.395%~3.883%，必需氨基酸总含量质量分数介于 36.00%~41.12%，表明它们是优质的氨基酸来源。氨基酸总量与必需氨基酸（r=0.92，P<0.01）、药用氨基酸呈极显著正相关（r=0.89，P<0.01）；与氨基酸评分显著相关（r=0.68，P<0.05），但与药效成分无显著相关性（P>0.05）。聚类分析显示，同组内不同石斛营养成分亦存在较大差异性。8 种石斛分为Ⅲ大类，其中梳唇石斛与喇叭唇石斛具有较高的品质被归为Ⅰ类，其不仅在多糖含量上表现优异，氨基酸总量（3.041% 和 3.530%）亦较高，可作为优先选育和利用的优质石斛资源。

关键词: 石斛属, 营养成分, 矿物质元素, 氨基酸含量, 营养评价

中图分类号: TS201.4　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)02−0308−11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025010047　　本文网刊:

Comparative Analysis and Evaluation of Nutritional Value in Eight *Dendrobium* Species

YANG Zhe[1,2], CHEN Ni[1,2], PENG Lihui[2], JIANG Haidu[2], LONG Limei[3], JIANG Qiang[4], WEI Yujing[2], XIONG Zhongchen[2], WEI Xiao[2], CHAI Shengfeng[2,*]

（1.College of Tourism and Landscape Architecture, Guilin University of Technology, Guilin 541006, China;
2.Guangxi Key Laboratory of Plant Functional Phytochemicals and Sustainable Utilization, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China;
3.Guangxi Longhushan Nature Reserve Management Office, Nanning 532715, China;
4.Yachang Orchid National Nature Reserve Management Center, Baise 533209, China）

Abstract: *Dendrobium* species had been traditionally utilized for their medicinal properties and nutritional benefits.

收稿日期: 2025−01−06

基金项目: 国家重点研发计划项目（2022YFF1300700）; 广西林业局项目（2024LYKJ01）; 广西林业科技推广示范项目（2023LYKJ03 and [2022]GT23）; 广西植物功能物质与资源持续利用重点实验室项目（ZRJJ2023-6）。

作者简介: 杨哲（2000−）, 男, 硕士研究生, 研究方向: 珍稀植物保育及其园林应用, E-mail: 642186971@qq.com。

*** 通信作者:** 柴胜丰（1980−）, 男, 博士, 研究员, 研究方向: 珍稀濒危植物保育及可持续利用研究, E-mail: sfchai@163.com。

Understanding the nutritional variations among different *Dendrobium* species was crucial for their optimal utilization. This study systematically evaluated eight *Dendrobium* species (*D. strongylanthum*, *D. chrysanthum*, *D. chrysotoxum*, *D. lituiflorum*, *D. scoriarum*, *D. aduncum*, *D. hercoglossum*, and *D. lohohense*) by analyzing their general nutritional components, mineral elements, bioactive constituents, and amino acid profiles. The results revealed that all eight *Dendrobium* species exhibited a low-fat nutritional characteristic (ranging from 0.98% to 1.74%) and high levels of Mg (ranging from 1.03×10^3 to 6.06×10^3 mg/kg), K (ranging from 0.39×10^4 to 1.66×10^4 mg/kg), and Ca (ranging from 0.3×10^4 to 2.33×10^4 mg/kg). *D. strongylanthum* and *D. lituiflorum* contained higher polysaccharide contents (51.11% and 38.91%, respectively). Moreover, the alcohol-soluble extract contents of all *Dendrobium* species were above 6.5%, with the exception of *D. aduncum*. All species contained a complete profile of amino acids, with total amino acid content ranging from 1.395% to 3.883%, and essential amino acids accounting for 36.00% to 41.12% of the total, indicating their potential as high-quality protein sources. Statistical analysis demonstrated a highly significant positive correlation between total amino acids and essential amino acids (r=0.92, P<0.01) as well as medicinal amino acids (r=0.89, P<0.01). A significant correlation was observed with the amino acid score (r=0.68, P<0.05). Whereas no significant association was found with bioactive constituents (P>0.05). Cluster analysis categorized the eight species into three distinct groups, revealing substantial nutritional heterogeneity even within closely related taxa. *D. strongylanthum* and *D. lituiflorum* (Group I) emerged as superior cultivars, exhibiting not only exceptional polysaccharide content but also markedly higher total amino acid levels (3.041% and 3.530%, respectively) compared to other species. These findings position them as priority candidates for selective breeding and development as premium *Dendrobium* resources.

Key words: *Dendrobium*; nutritional components; mineral elements; amino acid content; nutritional evaluation

石斛属（*Dendrobium*）作为中国传统中药材的重要组成部分，自古以来便因其独特的药用价值和丰富的营养成分而备受瞩目[1]。在《本草纲目》等古籍中，石斛被详细记载并广泛应用于多种疾病的预防与治疗，被誉为“强阴益精，久服厚肠胃”的佳品。随着现代科学技术的发展，对石斛属植物的研究不断深入，其化学成分及药理作用逐渐被揭示，并且其丰富的药理活性在保健食品领域内引发了广泛的研究，目前，许多研究致力于探索石斛的保健功能和营养成分，为石斛属植物保健产品的开发提供了重要的理论依据[2−4]。

石斛营养成分组成较为复杂，营养价值高，其丰富的营养成分与矿物质元素，是强化身体机能、提升健康水平不可或缺的基石。不同种石斛具有的营养成分也有所不同，营养成分含量上的差异性会对石斛的药理作用造成一定程度的影响[5−6]。石斛多糖、醇溶性浸出物及石斛碱作为石斛中的关键活性成分，各自在医疗保健领域展现出重要价值。石斛多糖具有增强免疫力、降血糖、抗肿瘤、抗氧化、抗衰老等多重功效，是提升人体健康水平、预防疾病和促进康复的宝贵资源[7]；醇溶性浸出物是石斛属植物中的重要活性成分，主要包括多酚、黄酮、生物碱等。多酚和黄酮具有较强的抗氧化活性，能够清除自由基，延缓细胞衰老，并具有抗炎、抗菌和免疫调节等作用[8]。生物碱则表现出显著的抗肿瘤和神经保护活性[9]。这些成分的存在不仅丰富了石斛的营养价值，还为其在功能性食品、保健品及医药领域的开发提供了科学依据。石斛多糖及醇溶性浸出物的含量和成分分析对于评价石斛的综合利用价值具有重要意义。而石斛碱作为石斛中特殊存在的生物碱成分，则以其抗疲劳、增强记忆力、促进生长发育及抑制肿瘤细胞生长等独特作用，为改善神经系统功能、辅助治疗癌症及促进儿童成长发育提供了有力支持。三者相辅相成，共同诠释了石斛在中医药领域的独特魅力和广泛应用前景。氨基酸在人体机体内发挥着至关重要的生理功能[10−11]，石斛属植物中含有丰富的氨基酸，尤其是多种人体不能自动合成的必需氨基酸，这些成分对于维持人体健康、促进生长发育、增强免疫力等方面具有不可替代的作用。因此，研究石斛属植物营养价值，分析其含量及组成成分，不仅有助于了解其药用保健价值，还能为石斛资源的合理开发与利用提供科学依据[12]。

石斛属植物一直作为药食两用的营养植物被人们知晓，目前，针对石斛属植物的营养价值研究主要集中在某些单一品种上，如铁皮石斛（*D. officinale*）[13−14]、霍山石斛（*D. huoshanensee*）[15]、梵净山石斛（*D. fanjingshanense*）[16]、金钗石斛（*D. nobile*）[17]、翅萼石斛（*D. cariniferum*）[18] 等，同时也包括针对同一地区[19−20] 或同一石斛组[21] 中的营养成分研究。然而，针对本研究涉及的 8 种石斛属植物—瘦轴组的钩状石斛（*D. aduncum*）和重唇石斛（*D. hercoglossum*），顶叶组的鼓槌石斛（*D. chrysotoxum*），石斛组的束花石斛（*D. chrysanthum*）、喇叭唇石斛（*D. lituiflorum*）、滇桂石斛（*D. scoriarum*）、罗河石斛（*D. lohohense*）以及草叶组的梳唇石斛（*D. strongylanthum*）的营养成分分析则未见相关报道。仅有曲继旭等[22] 对鼓槌石斛的氨基酸含量进行了研究。本研究旨在针对上述 8 种石斛属植物，进行更为全面和深入的营养成分分析和评价，其中多数为传统药用石斛或具有潜在开发价值，既包含相对常见种，也包含具有保护价值的物种。通过研究这些具有典型性和差异性的物种，可为全面认识石斛属植物的营养

特征和开发利用提供科学依据。

依据现代植物分类学体系，石斛属目前已确立 12 个分类组，一般来说，在石斛分类中被归为同组别的石斛在药理作用、营养成分等方面有一定相似性[21,23]。本研究以 4 个不同组别的 8 种石斛为研究对象，通过现代分析技术，系统研究其营养成分组成和含量，并对其营养价值进行全面评价。通过分析比较同组不同种及不同组之间石斛营养成分的差异，探讨营养成分与系统组别之间的关系，为石斛属植物的药用价值挖掘、营养保健品开发以及资源可持续利用提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

石斛　共 8 种（梳唇石斛、束花石斛、鼓槌石斛、喇叭唇石斛、滇桂石斛、钩状石斛、重唇石斛、罗河石斛），分别由广西、云南等地引进（详见表 1），由广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所（以下简称广西植物研究所）熊忠臣研究员鉴定。

表 1　石斛样品来源

Table 1　Source of *Dendrobium* samples

物种	来源	鉴定人	鉴定单位
梳唇石斛	云南保山市	熊忠臣	广西植物研究所
束花石斛	广西德保县	熊忠臣	广西植物研究所
鼓槌石斛	云南景洪市	熊忠臣	广西植物研究所
喇叭唇石斛	云南普洱市	熊忠臣	广西植物研究所
滇桂石斛	广西天峨县	熊忠臣	广西植物研究所
钩状石斛	广西德保县	熊忠臣	广西植物研究所
重唇石斛	广西灵川县	熊忠臣	广西植物研究所
罗河石斛	广西恭城县	熊忠臣	广西植物研究所

L-8900 氨基酸自动分析仪　日本日立公司；K1160 全自动凯氏定氮仪　海能未来技术集团股份有限公司；XPR226DR/AC 电子分析天平　美国梅特勒—托利多公司；CR22G 高速冷冻离心机　日本日立公司；IRIS Intrepid 2 XSP010 等离子体发射光谱仪、X7 Series 等离子体质谱仪　赛默飞世尔科技（中国）有限公司；ZEEnit 700 原子吸收光谱仪　耶拿分析仪器（北京）有限公司；SA-10 原子荧光形态分析仪　北京吉天仪器有限公司；TU-1810 紫外可见光分光光度计　北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1　样品预处理　将各类石斛进行预处理，首先彻底去除其附着的叶片和根部，仅保留茎干部分。随后，用清水仔细清洗茎干，确保表面洁净无杂质。清洗完成后，将石斛沥干水分，置于 60 ℃ 的烘箱中，持续烘干至恒重状态。烘干完成后，将干燥的石斛样品取出，使用研磨仪进行粉碎处理，直至样品颗粒度达到 60 目（0.25 mm）以下的标准。将粉碎后的样品粉末密封保存于干燥避光的容器中，以备后续实验使用。

1.2.2　营养成分及矿质元素的测定　水分含量的测定参考 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》；灰分含量的测定参考 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》；脂肪含量的测定采用 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法；蛋白质含量的测定采用 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法；粗纤维的含量的测定采用 GB/T 8310-2013《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》中的重量法测定；总多糖的含量的测定参照 2015 年《中华人民共和国药典》（第一部）铁皮石斛项下的多糖含量测定方法进行测定；醇溶性浸出物参照 2015 年《中华人民共和国药典》（第一部）通则 2201 项下的热浸法进行测定；石斛碱参照 2015 年《中华人民共和国药典》（第一部）金钗石斛项目下的测定方法进行测定；氨基酸含量的测定参照 GB/T 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》；矿物质元素磷（P）、钾（K）、钙（Ca）、锰（Mn）、镁（Mg）、铁（Fe）、硼（B）、锌（Zn）、铜（Cu）及钠（Na）的检测参照 GB 5009.268-2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》（利用 IRIS Intrepid 2 XSP010 电感耦合等离子体发射光谱仪进行测定）；硒（Se）的测定参照 GB 5009.93-2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》（采用 X7 Series 等离子质谱仪测定）。

1.2.3　氨基酸营养价值评价方法　氨基酸比值系数法参考世界卫生组织/联合国粮食及农业组织修订的氨基酸模式谱[24]，即 WHO/FAO 推荐模式，进行 8 种石斛属植物的氨基酸营养价值评价，计算公式如下：

$$\text{必需氨质量分数(EAMF,\%)} = \frac{\text{某样品中某必需氨基酸(EAA)的含量}}{\text{某样品中总氨基酸(TAA)的含量}} \times 100$$

$$\text{必需氨基酸比值(RAA)} = \frac{\text{某样品中某必需氨基酸的含量}}{\text{WHO/FAO模式下该必需氨基酸含量}}$$

$$\text{必需氨基酸比值系数(RC)} = \frac{\text{必需氨基酸比值(RAA)}}{\text{必需氨基酸比值(RAA)的平均值}}$$

$$\text{必需氨基酸比值系数分(SRC)} = 100 - 100\text{CV},\quad \text{CV} = \frac{\text{必需氨基酸比值系数(RC)的标准差}}{\text{必需氨基酸比值系数(RC)的平均值}}$$

1.3 数据处理

使用 Origin 2021 软件进行图表绘制，利用 Excel 2020 对实验数据进行初步处理，并通过 IBM SPSS Statistics 27 进行单因素方差分析（ANOVA），采用 Duncan 法进行多重比较。此外，对药效成分及氨基酸成分进行相关性分析，并运用系统聚类方法对数据进行聚类分析。

2　结果与分析

2.1　营养成分分析

2.1.1　一般营养成分　8 种石斛属植物一般营养成分测定结果见表 2。各石斛种类水分含量分布为 8.26%~13.62%，其中喇叭唇石斛（13.62%）和梳唇石斛（13.00%）的水分含量显著（$P<0.05$）高于其他种类，而重唇石斛（8.26%）含量显著（$P<0.05$）低于其他种类。灰分含量分布为 2.66%~6.47%，滇桂石斛（6.47%）的灰分含量最高，其次为喇叭唇石斛（5.35%）和钩状石斛（5.28%），鼓槌石斛（2.66%）含量最低。粗纤维含量分布为 9.61%~49.95%，其中罗河石斛（49.95%）的粗纤维含量显著（$P<0.05$）高于其他种类，而喇叭唇石斛（14.57%）与梳唇石斛（9.61%）的含量显著（$P<0.05$）低于其他种类。脂肪含量分布为 0.98%~1.74%，其中钩状石斛（1.74%）、束花石斛（1.69%）和滇桂石斛（1.67%）的脂肪含量较高，均超过 1.65%，而重唇石斛（0.98%）的脂肪含量最低，显著（$P<0.05$）低于其他种类。蛋白质含量分布为 3.77%~5.68%，其中梳唇石斛（5.68%）、鼓槌石斛（5.57%）和喇叭唇石斛（5.63%）的蛋白质含量较高，均超过 5.50%，显著（$P<0.05$）高于其他种类，而钩状石斛（3.77%）、罗河石斛（3.77%）、滇桂石斛（3.94%）含量较低。

2.1.2　矿物质元素含量　8 种石斛属植物矿物质元素含量测定结果见表 3。结果显示各类石斛中除喇叭唇石斛未检测出 Se 外（定量限为 0.006 mg/kg），其余均含有被检测的 11 种矿物质元素，其含量高低基本表现为：K>Ca>Mg>P>Na>Fe>Mn>Zn>B>Cu>Se。

不同石斛种类的矿质元素含量呈现显著差异（$P<0.05$）：滇桂石斛在磷（175.32 mg/kg）、镁（6.06×10^3 mg/kg）、钙（1.19×10^4 mg/kg）、铜（16.34 mg/kg）和钠（495.02 mg/kg）含量上表现突出，尤其是钠含量显著（$P<0.05$）大于其他物种，其高钠-高铜特征提示在电解质平衡和抗氧化方面具有开发价值。喇叭唇石斛富含铁（241.67 mg/kg）、锌（66.69 mg/kg）和锰（242.00 mg/kg），铁含量达到普通蔬菜的 3~5 倍，是潜在的天然补铁原料。而重唇石斛的锰含量最高（303.33 mg/kg），作为超氧化物歧化酶（SOD）的重要组分，显示出抗氧化产品开发潜力。束花石斛的钙含量（2.33×10^4 mg/kg）显著（$P<0.05$）高于其他物种，且硒含量（0.052 mg/kg）达富硒标准，是优质的植物性钙硒补充剂原料。钩状石斛和罗河石斛的硒含量同样较高（分别为 0.050 mg/kg 和 0.046 mg/kg），在增强免疫力方面具有优势。

2.1.3　药效成分含量　8 种石斛属植物药效成分含量测定结果见表 4。结果显示，所有石斛属植物均未检测出石斛碱。石斛多糖含量在 3.66%~51.11% 之间，其中梳唇石斛（51.11%）的多糖含量最高，显著（$P<0.05$）高于其他种类，而束花石斛（3.66%）的多糖含量最低，两者相差近 14 倍。石斛多糖排序依次为：梳唇石斛>喇叭唇石斛>鼓槌石斛>钩状石斛>滇桂石斛>重唇石斛>罗河石斛>束花石斛。中国药典

表 2　8 种石斛属植物中的一般营养成分组成及含量

Table 2　General nutritional composition and content in 8 species of *Dendrobium* plants

物种	水分(%)	灰分(%)	粗纤维(%)	脂肪(%)	蛋白质(%)
梳唇石斛	13.00±0.72^{cd}	3.49±0.26^{b}	9.61±0.81^{a}	1.32±0.22^{b}	5.68±0.32^{c}
束花石斛	10.59±0.80^{b}	2.83±0.26^{ab}	37.88±5.36^{b}	1.69±0.17^{cd}	4.96±0.38^{bc}
鼓槌石斛	11.49±0.63^{bc}	2.66±0.27^{a}	33.47±3.76^{b}	1.43±0.23^{bc}	5.57±0.57^{c}
喇叭唇石斛	13.62±1.16^{d}	5.35±0.41^{d}	14.57±1.78^{a}	1.46±0.13^{bcd}	5.63±0.31^{c}
滇桂石斛	11.74±0.90^{bc}	6.47±0.44^{e}	34.67±3.53^{b}	1.67±0.14^{cd}	3.94±0.30^{a}
钩状石斛	11.43±0.88^{bc}	5.28±0.48^{d}	33.64±4.02^{b}	1.74±0.17^{d}	3.77±0.34^{a}
重唇石斛	8.26±0.88^{a}	4.52±0.26^{c}	39.18±5.87^{b}	0.98±0.06^{a}	4.80±0.61^{b}
罗河石斛	8.59±0.88^{a}	4.38±0.60^{c}	49.95±4.32^{c}	1.31±0.10^{b}	3.77±0.20^{a}

注：同列不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）；表3~表5同。

表 3　8 种石斛属植物中的矿物元素组成及含量

Table 3　Mineral element composition and content in 8 species of *Dendrobium* plants

物种	常量元素(mg/kg)				微量元素(mg/kg)						
	P	Mg	K	Ca	Fe	Zn	B	Mn	Cu	Se	Na
梳唇石斛	169.00±13.53^{d}	1.11×10^3±0.13^{ab}	1.11×10^4±1.40^{c}	3.00×10^3±0.19^{a}	55.70±5.61^{a}	24.79±3.63^{a}	11.72±1.34^{c}	96.24±9.47^{b}	4.21±0.63^{ab}	0.007±0.001^{ab}	119.46±18.99^{b}
束花石斛	60.19±9.13^{ab}	3.03×10^3±0.29^{d}	6.19×10^3±0.71^{b}	2.33×10^4±0.23^{e}	128.67±12.50^{b}	21.46±1.83^{a}	8.80±0.52^{ab}	16.02±2.31^{a}	7.66±0.80^{c}	0.052±0.008^{e}	25.15±3.80^{a}
鼓槌石斛	72.58±5.82^{bc}	1.49×10^3±0.17^{ab}	3.88×10^3±0.38^{a}	8.15×10^3±0.82^{b}	175.67±14.57^{c}	34.56±3.04^{b}	7.70±0.57^{a}	23.72±2.68^{a}	2.64±0.30^{a}	0.010±0.003^{bc}	45.23±6.05^{a}
喇叭唇石斛	88.76±6.38^{c}	1.69×10^3±0.14^{bc}	1.06×10^4±0.10^{c}	1.17×10^4±0.10^{c}	241.67±19.50^{e}	66.69±8.98^{d}	8.07±0.85^{ab}	242.00±15.10^{c}	4.47±0.88^{b}	–	259.89±14.19^{d}
滇桂石斛	175.32±20.48^{d}	6.06×10^3±0.86^{e}	5.07×10^3±0.40^{ab}	1.19×10^4±0.11^{c}	114.00±8.54^{b}	46.64±5.42^{c}	9.50±0.69^{b}	94.18±8.91^{b}	16.34±1.93^{e}	0.028±0.003^{d}	495.02±42.62^{e}
钩状石斛	52.14±7.09^{a}	1.03×10^3±0.09^{a}	1.50×10^4±0.10^{de}	1.71×10^4±0.18^{d}	135.00±17.09^{b}	22.20±3.09^{a}	8.64±0.55^{ab}	20.28±1.82^{a}	3.08±0.40^{ab}	0.050±0.007^{e}	42.21±6.07^{a}
重唇石斛	54.69±3.39^{ab}	2.23×10^3±0.22^{c}	1.66×10^4±0.16^{e}	1.10×10^4±0.12^{c}	68.92±7.05^{a}	47.71±4.58^{c}	11.08±1.11^{c}	303.33±18.23^{d}	7.57±0.76^{c}	0.016±0.002^{c}	133.67±17.94^{bc}
罗河石斛	50.88±6.45^{a}	1.16×10^3±0.12^{ab}	1.36×10^4±0.18^{d}	7.47×10^3±0.49^{b}	205.33±14.64^{d}	39.49±4.48^{bc}	8.50±0.69^{ab}	27.68±2.41^{a}	7.85±0.91^{c}	0.046±0.006^{e}	158.97±14.51^{c}

注：“–”表示未检出。

中规定的铁皮石斛多糖含量不得少于 25%[25], 梳唇石斛和喇叭唇石斛多糖含量均超过 25%, 表明其具有较高的多糖含量, 可为石斛多糖提取的优质原料。

表 4 8 种石斛属植物药效成分含量(%)

Table 4 Content of pharmacologically active ingredients in 8 species of *Dendrobium* plant (%)

物种	石斛多糖	醇溶性浸出物	石斛碱
梳唇石斛	51.11±6.02^{e}	13.67±1.66^{c}	–
束花石斛	3.66±0.48^{a}	18.37±2.05^{d}	–
鼓槌石斛	20.59±3.03^{c}	14.34±1.92^{c}	–
喇叭唇石斛	38.91±4.31^{d}	9.87±1.31^{b}	–
滇桂石斛	14.52±1.79^{b}	12.46±1.40^{bc}	–
钩状石斛	19.34±2.14^{bc}	6.28±0.72^{a}	–
重唇石斛	5.72±0.39^{a}	10.81±1.01^{b}	–
罗河石斛	4.64±0.46^{a}	11.92±1.48^{bc}	–

注: “–”表示未检出。

醇溶性浸出物含量在 6.28%~18.37% 之间, 其中束花石斛(18.37%)含量最高, 显著(P<0.05)高于其他种类, 而钩状石斛(6.28%)的含量最低, 两者相差近 3 倍, 醇溶性浸出物从高到低依次为: 束花石斛>鼓槌石斛>梳唇石斛>滇桂石斛>罗河石斛>重唇石斛>喇叭唇石斛>钩状石斛。醇溶性浸出物作为石斛主要药效成分的指标之一, 其含量的高低与其药理特性与作用有重要联系, 按照中国药典中铁皮石斛的醇溶性浸出物不得少于 6.5%[25] 的规定为标准对比 8 种石斛属植物, 除钩状石斛外(6.28%), 其他石斛的醇溶性浸出物含量均表现出含量丰富的特点, 表明其在药效成分方面具有较高的开发潜力。

2.2 氨基酸组成及评价

2.2.1 氨基酸组成及含量 8 种石斛属植物的氨基酸组成及含量的测定结果如表 5 所示。8 种石斛均含有被检测的 16 种氨基酸, 包括有 7 种必需氨基酸 EAA(Thr、Val、Met、Ile、Leu、Phe、Lys)、9 种非必需氨基酸 NEAA(Tyr、Asp、Ser、Glu、Pro、Gly、Ala、His、Arg)。8 种石斛属植物的氨基酸总量 TAA 介于 1.395~3.883 g/100 g, 其中束花石斛的氨基酸总含量最高(3.883%), 同为瘦轴组的钩状石斛、重唇石斛之间无显著差异, 而同为石斛组的束花石斛、喇叭唇石斛、滇桂石斛、罗河石斛之间存在一定差异性, 鼓槌石斛的氨基酸含量最低(1.395%)。根据 WHO/FAO 提出的蛋白质氨基酸理想模式[26], 即必需氨基酸 EAA 占总氨基酸百分数含量的 40%, 占非必需氨基酸 NEAA 百分数含量的 60%。在本实验中, 8 种石斛的两种比值范围分布在 33.8%~36.9% 和 51.0%~56.6%, 其中 3 种石斛接近理想模式, 分别是束花石斛、喇叭唇石斛、滇桂石斛, 说明这 3 种石斛是相对优质的蛋白质来源, 具有较大的开发潜力。

8 种石斛属植物均含有 4 种鲜味氨基酸 DAA(Asp、Glu、Gly、Ala)、8 种苦味氨基酸 BAA(Val、Met、Ile、Leu、Tyr、Phe、His、Arg)和 9 种药用氨基酸 MAA(Asp、Glu、Gly、Arg、Met、Phe、Leu、Lys、Tyr)。一般情况下药用氨基酸在植物中的含量较少[27], 然而, 本研究发现, 8 种石斛属植物的药用氨基酸与总氨基酸的比值为 62.7%~71.1%, 平均值为 67.5%, 含量由高到低依次排序为: 钩状石斛>梳唇石斛>鼓槌石斛>重唇石斛>喇叭唇石斛>束花石斛>滇

表 5 8 种石斛属植物氨基酸组成及含量(g/100 g)

Table 5 Amino acid composition and content in 8 species of *Dendrobium* plants (g/100 g)

氨基酸	梳唇石斛	束花石斛	鼓槌石斛	喇叭唇石斛	滇桂石斛	钩状石斛	重唇石斛	罗河石斛
Asp	0.426±0.028^{cd}	0.532±0.059^{e}	0.150±0.017^{a}	0.596±0.057^{e}	0.458±0.048^{d}	0.309±0.049^{b}	0.381±0.028^{bc}	0.363±0.33^{bc}
Thr	0.140±0.023^{cd}	0.222±0.021^{e}	0.061±0.006^{a}	0.150±0.012^{e}	0.132±0.015^{cd}	0.099±0.007^{b}	0.121±0.006^{bc}	0.138±0.010^{cd}
Ser	0.122±0.014^{b}	0.221±0.025^{e}	0.076±0.011^{a}	0.169±0.019^{cd}	0.141±0.008^{bc}	0.113±0.017^{b}	0.121±0.007^{b}	0.180±0.019^{d}
Glu	0.724±0.082^{d}	0.503±0.056^{c}	0.182±0.019^{a}	0.566±0.085^{c}	0.393±0.036^{b}	0.311±0.049^{b}	0.400±0.055^{b}	0.348±0.016^{b}
Pro	0.106±0.006^{bc}	0.139±0.016^{d}	0.040±0.006^{a}	0.111±0.011^{c}	0.144±0.008^{d}	0.087±0.012^{b}	0.123±0.010^{cd}	0.103±0.016^{bc}
Gly	0.177±0.006^{b}	0.248±0.026^{d}	0.082±0.012^{a}	0.214±0.030^{c}	0.172±0.009^{b}	0.146±0.022^{b}	0.163±0.011^{b}	0.179±0.021^{b}
Ala	0.144±0.009^{c}	0.199±0.021^{e}	0.071±0.011^{a}	0.165±0.017^{cd}	0.183±0.026^{de}	0.108±0.015^{b}	0.141±0.014^{c}	0.203±0.024^{e}
Val	0.172±0.010^{cd}	0.222±0.025^{e}	0.084±0.011^{a}	0.200±0.023^{de}	0.161±0.012^{bc}	0.137±0.011^{b}	0.151±0.013^{bc}	0.180±0.011^{cd}
Met	0.011±0.002^{a}	0.011±0.003^{a}	0.011±0.002^{a}	0.014±0.002^{a}	0.033±0.004^{b}	0.011±0.002^{a}	0.010±0.001^{a}	0.011±0.003^{a}
Ile	0.164±0.024^{de}	0.201±0.023^{f}	0.052±0.008^{a}	0.190±0.017^{ef}	0.158±0.013^{cd}	0.112±0.016^{b}	0.132±0.012^{bc}	0.140±0.008^{bcd}
Leu	0.255±0.020^{b}	0.341±0.035^{c}	0.111±0.013^{a}	0.350±0.059^{c}	0.242±0.012^{b}	0.211±0.033^{b}	0.239±0.015^{b}	0.222±0.026^{b}
Tyr	0.093±0.007^{b}	0.121±0.015^{c}	0.060±0.009^{a}	0.149±0.018^{d}	0.102±0.011^{bc}	0.091±0.009^{b}	0.100±0.008^{bc}	0.103±0.015^{bc}
Phe	0.179±0.008^{cd}	0.211±0.026^{e}	0.102±0.013^{a}	0.212±0.027^{de}	0.183±0.028^{cd}	0.160±0.009^{bc}	0.160±0.013^{bc}	0.138±0.015^{b}
Lys	0.106±0.008^{b}	0.201±0.022^{d}	0.051±0.003^{a}	0.186±0.017^{d}	0.119±0.016^{bc}	0.104±0.015^{b}	0.141±0.007^{c}	0.141±0.019^{c}
His	0.070±0.005^{a}	0.081±0.008^{a}	0.203±0.030^{d}	0.091±0.004^{a}	0.131±0.007^{b}	0.179±0.011^{c}	0.121±0.006^{b}	0.142±0.019^{b}
Arg	0.151±0.011^{b}	0.422±0.048^{f}	0.059±0.008^{a}	0.167±0.018^{b}	0.091±0.019^{a}	0.365±0.051^{e}	0.303±0.018^{d}	0.242±0.028^{c}
TAA	3.041±0.219^{c}	3.883±0.427^{d}	1.395±0.176^{a}	3.530±0.26^{d}	2.841±0.249^{bc}	2.551±0.284^{b}	2.809±0.150^{bc}	2.846±0.181^{bc}
EAA	1.028±0.092^{c}	1.419±0.154^{d}	0.471±0.054^{a}	1.302±0.156^{d}	1.026±0.095^{c}	0.843±0.074^{b}	0.954±0.006^{bc}	0.970±0.035^{bc}
NEAA	2.013±0.127^{bc}	2.464±0.273^{d}	0.924±0.123^{a}	2.228±0.105^{cd}	1.815±0.155^{b}	1.708±0.211^{b}	1.855±0.144^{b}	1.876±0.147^{b}
EAA/TAA	33.802%	36.532%	33.787%	36.895%	36.125%	33.031%	33.974%	34.079%
EAA/NEAA	51.063%	57.559%	51..027%	58.467%	56.556%	49.322%	51.456%	51.698%

注: TAA, 氨基酸总量; EAA, 必需氨基酸; NEAA, 非必需氨基酸。

桂石斛>罗河石斛(图 1)。与其他植物相比，石斛属植物的药用氨基酸含量更为丰富，表明其在药用价值方面具有显著优势。

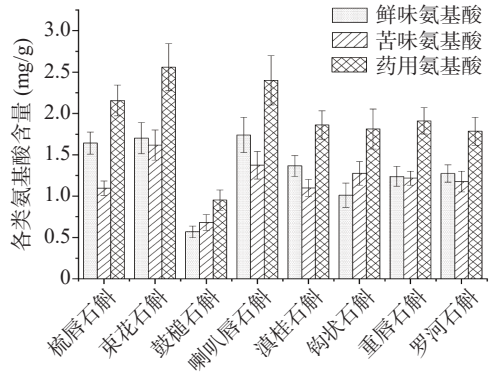


图 1　8 种石斛属植物各类氨基酸含量

Fig.1　Content of various amino acids in eight species of *Dendrobium* plants

2.2.2　氨基酸营养价值评价

2.2.2.1　必需氨基酸组成成分分析　根据氨基酸平衡理论，蛋白质的营养价值取决于其氨基酸组成与参考标准的接近程度。具体而言，当待评估蛋白质的氨基酸模式与 WHO/FAO 推荐标准或卵清蛋白模式相似时，其质量更优[28]。这一理论特别强调氨基酸比例的均衡性对蛋白质营养评价的重要性。在具体评估中，考虑到酪氨酸(Tyr)可由苯丙氨酸(Phe)代谢转化，而半胱氨酸(Cys)可由蛋氨酸(Met)合成，因此通常将 Phe 与 Tyr、Met 与 Cys 合并计算，以更准确地反映蛋白质的氨基酸组成。

由表 6 可知，8 种石斛属植物的必需氨基酸质量分数和氨基酸评分存在一定差异。8 种石斛属植物的必需氨基酸总含量质量分数在 36.00%~41.12% 范围分布，均高于 WHO/FAO 模式值(35%)，表明其必需氨基酸含量较优。其中，喇叭唇石斛、滇桂石斛和束花石斛的必需氨基酸总含量质量分数分别为 41.12%、39.71% 和 39.63%，含量较高。此外，这三种石斛的苯丙氨酸+酪氨酸(Phe+Tyr)含量分别为 10.22%、10.03% 和 8.78%，远高于 WHO/FAO 模式值(6.00%)，进一步凸显了其氨基酸组成的优越性。然而，所有 8 种石斛属植物的赖氨酸、蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys)含量均低于 WHO/FAO 模式值，表明这些氨基酸是限制性氨基酸。综合分析表明，喇叭唇石斛、滇桂石斛和束花石斛在必需氨基酸含量组成上表现较优，具有更均衡的必需氨基酸组成和更高的营养价值。

表 6　8 种石斛属植物必需氨基酸质量分数与 WHO/FAO 推荐模式比较(%)

Table 6　Comparison of the mass fractions of essential amino acids in 8 species of *Dendrobium* plants with the WHO/FAO recommended pattern (%)

物种	Thr	Met+Cys	Val	Ile	Phe+Tyr	Leu	Lys	合计
梳唇石斛	4.60	0.36	5.67	5.38	8.94	8.40	3.50	36.85
束花石斛	5.71	0.29	5.70	5.17	8.78	8.78	5.19	39.63
鼓槌石斛	4.35	0.81	6.01	3.73	11.55	7.97	3.64	38.06
喇叭唇石斛	4.24	0.40	5.66	5.39	10.22	9.92	5.28	41.12
滇桂石斛	4.66	1.17	5.60	5.56	10.03	8.50	4.20	39.71
钩状石斛	3.89	0.42	5.36	4.39	9.82	8.65	4.06	36.00
重唇石斛	4.31	0.36	5.39	4.70	9.24	8.51	5.02	37.52
罗河石斛	4.85	0.38	6.31	4.92	8.46	7.79	4.97	37.69
WHO/FAO 模式值	4.00	3.50	5.00	4.00	6.00	7.00	5.50	35.00
卵清蛋白模式值	5.10	5.50	7.30	6.60	10.00	8.80	6.40	49.70

2.2.2.2　必需氨基酸比值系数　根据 WHO/FAO 的必需氨基酸模式，采用必需氨基酸比值系数法评估 8 种石斛属植物的氨基酸组成质量(表 7)。分析结果显示，这些石斛的必需氨基酸比例存在差异。其中，亮氨酸(Leu)、缬氨酸(Val)、苯丙氨酸+酪氨酸(Phe+Tyr)的比值系数(RC)普遍高于参照值 1，表明这些氨基酸相对过剩；而赖氨酸(Lys)和蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys)的 RC 值低于 1，说明其含量相对不足。此外，蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys)的 RC 均值最低(0.142)，是 8 种石斛属植物的第一限制氨基酸，可能影响其整体蛋白质营养价值。这一结果与 WHO/FAO 模式值的对比表明，8 种石斛属植物在氨基酸组成上存在优化空间，尤其是需补充含限制性氨基酸以提升其营养均衡性。

表 7　8 种石斛属植物必需氨基酸的 RAA、RC、SRC 比较

Table 7　Comparison of RAA, RC, and SRC of essential amino acids in 8 species of *Dendrobium* plants

物种	参数	必需氨基酸种类							SRC
		Thr	Met+Cys	Val	Ile	Phe+Tyr	Leu	Lys	
梳唇石斛	RAA	0.035	0.003	0.034	0.041	0.045	0.036	0.019	52.504
	RC	1.141	0.102*	1.124	1.333	1.478	1.190	0.632	
束花石斛	RAA	0.055	0.003	0.044	0.050	0.057	0.049	0.037	56.219
	RC	1.315	0.077*	1.050	1.190	1.347	1.153	0.868	
鼓槌石斛	RAA	0.015	0.003	0.017	0.013	0.027	0.016	0.009	49.222
	RC	1.060	0.226*	1.172	0.909	1.877	1.110	0.646	
喇叭唇石斛	RAA	0.037	0.004	0.040	0.048	0.060	0.050	0.034	54.824
	RC	0.959	0.104*	1.025	1.220	1.542	1.282	0.868	
滇桂石斛	RAA	0.033	0.010	0.032	0.040	0.047	0.035	0.022	54.481
	RC	1.064	0.306*	1.023	1.271	1.528	1.10	0.698	
钩状石斛	RAA	0.025	0.003	0.027	0.028	0.042	0.032	0.019	52.270
	RC	0.991	0.122*	1.091	1.118	1.667	1.258	0.752	
重唇石斛	RAA	0.030	0.003	0.030	0.033	0.043	0.034	0.026	56.010
	RC	1.062	0.100*	1.062	1.158	1.519	1.198	0.900	
罗河石斛	RAA	0.035	0.003	0.036	0.035	0.040	0.032	0.026	57.752
	RC	1.172	0.104*	1.221	1.190	1.363	1.076	0.873	

注："*"为第一限制性氨基酸；RC：必需氨基酸比值系数；RAA：必需氨基酸比值；SRC：必需氨基酸比值系数分。

SRC 是根据 WHO/FAO 评价模式建立的蛋白质必需氨基酸评判标准指标。8 种石斛属植物的 SRC 值由高到低排序依次为：罗河石斛>束花石斛>重唇石斛>喇叭唇石斛>滇桂石斛>梳唇石斛>钩状石斛>鼓槌石斛。所有石斛属植物的 SRC 值均高于

49，其中罗河石斛的蛋白质质量最优(57.752)，鼓槌石斛虽为最低值(49.222)，但仍达到基本营养标准。

2.3 药效成分及氨基酸营养价值相关性评价

为探究 8 种石斛药效成分与氨基酸成分之间是否存在潜在联系，本研究对药效成分(多糖、醇溶性浸出物)及氨基酸成分的特征性指标进行了相关性分析(图 2)。通过相关性分析，旨在揭示初级代谢产物(氨基酸)与次生代谢产物(药效成分)之间的内在关联，为理解石斛药用价值的物质基础提供科学依据。相关性分析表明，氨基酸成分内部各指标之间存在显著或极显著的正相关关系，氨基酸总量与氨基酸比值系数评分呈显著(P<0.05)正相关，与必需氨基酸、非必需氨基酸、药用氨基酸呈极显著(P<0.01)正相关；必需氨基酸与氨基酸比值系数评分呈显著(P<0.05)正相关，与非必需氨基酸、药用氨基酸呈极显著(P<0.01)正相关；非必需氨基酸与氨基酸比值系数评分呈显著(P<0.05)正相关，与药用氨基酸呈极显著(P<0.01)正相关。然而，氨基酸成分各项指标与药效成分之间均无显著(P>0.05)相关性。这一结果为进一步研究石斛属植物中不同成分的功能特性及其相互作用提供了重要参考，同时也揭示药效成分与氨基酸成分(次生代谢与初级代谢)存在分流可能通过不同的代谢途径发挥作用，值得在后续研究中深入探讨。

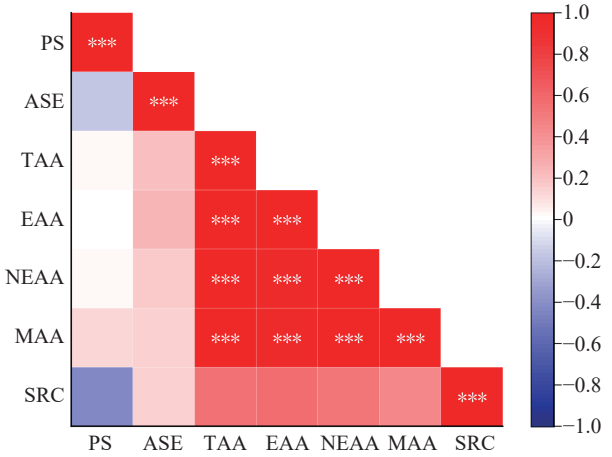


图 2 8 种石斛属植物药效成分相关性分析

Fig.2 Correlation analysis of pharmacologically active ingredients in 8 species of *Dendrobium* plants

注：*表示显著相关(P<0.05)；**表示极显著相关(P<0.01)；***表示高度极显著相关(P<0.01)；PS：石斛多糖，ASE：醇溶性浸出物，TAA：氨基酸总量，EAA：必需氨基酸；NEAA：非必需氨基酸；MAA：药用氨基酸；SRC：氨基酸比值系数评分。

2.4 综合评价与聚类分析

仅通过单独对比难以准确评估不同种类石斛的营养价值，因为不同指标之间往往难以精确且全面地体现出各自营养价值的真实优良程度。利用主成分分析法对 8 种石斛属植物的脂肪、灰分、粗纤维、醇溶性浸出物、蛋白质、多糖、氨基酸总含量等 7 个指标进行综合评价。7 个指标标准化后分别设定为 X_1、X_2、X_3、……、X_7，进行主成分分析，计算特征向量系数，构建评价函数计算综合得分，进行综合评价，计算公式如下。

$$\text{特征向量系数(EC)} = \frac{\text{各指标的成分载荷}}{\sqrt{\text{对应主成分的特征值}}}$$

根据各主成分系数和标准化后的主要营养成分数据得到 3 个主成分得分为：

$$Y_1=0.574X_1-0.539X_2+0.510X_3-0.266X_4+0.174X_5+0.063X_6-0.119X_7$$

$$Y_2=-0.60X_1-0.336X_2+0.364X_3+0.593X_4-0.586X_5+0.075X_6+0.169X_7$$

$$Y_3=-0.072X_1-0.089X_2-0.052X_3+0.072X_4+0.370X_5+0.707X_6+0.585X_7$$

根据各类主成分方差百分比和主成分得分计算综合得分为：

$$Y=0.378Y_1+0.269Y_2+0.180Y_3$$

将初始特征值超过 1 为提取的准则，以各主成分的方差贡献率(表 8)为特征向量系数进行线性加权构建出针对 8 种石斛属植物的评价函数，得到各主成分的因子得分，并以各主成分的方差贡献率作为权重系数构建综合评价模型，计算综合得分，最后根据综合得分进行综合评价(表 9)，结果显示综合评价排名依次为：梳唇石斛>喇叭唇石斛>钩状石斛>滇桂石斛>束花石斛>鼓槌石斛>重唇石斛>罗河石斛。

聚类分析采用系统聚类的方式，情况如图 3 所示，按照区域密集程度，在欧式距离值等于 15 处将

表 8 8 种石斛属植物总方差解释结果

Table 8 Explanatory table for total variance of 8 species of *Dendrobium* plants

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比	累积(%)	总计	方差百分比	累积(%)
1	2.646	37.798	37.798	2.646	37.798	37.798
2	1.886	26.944	64.742	1.866	26.944	64.742
3	1.265	18.066	82.808	1.265	18.066	82.808
4	0.847	12.096	94.903			
5	0.217	3.103	98.007			
6	0.128	18.32	99.839			
7	0.011	0.161	100			

表 9 8 种石斛属植物因子得分及综合得分排名

Table 9 Ranking of principal component scores and composite scores of 8 species of *Dendrobium* plants

物种	主成分Y_1得分	主成分Y_2得分	主成分Y_3得分	综合得分	排名
梳唇石斛	2.78	0.34	−0.05	1.13	1
束花石斛	−0.02	−1.99	2.09	−0.17	5
鼓槌石斛	0.83	−1.47	−1.41	−0.34	6
喇叭唇石斛	1.59	1.57	0.45	1.11	2
滇桂石斛	−1.36	1.01	0.70	−0.12	4
钩状石斛	−1.41	1.68	−0.13	−0.10	3
重唇石斛	0.58	−0.52	−1.29	−0.59	7
罗河石斛	−1.83	−0.64	−0.36	−0.93	8

8 种石斛属植物分为三大类群，第一类为梳唇石斛、喇叭唇石斛；第二类为鼓槌石斛、重唇石斛、罗河石斛；第三类为滇桂石斛、钩状石斛、束花石斛。

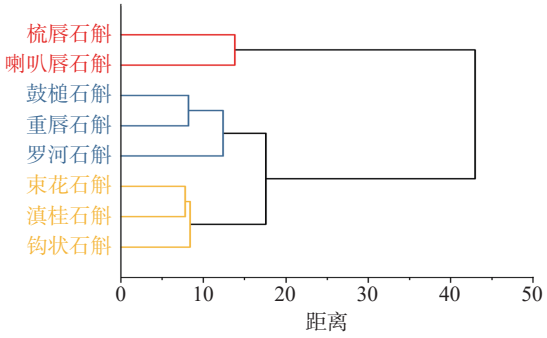


图 3　8 种石斛属植物聚类分析

Fig.3　Cluster analysis of 8 species of *Dendrobium* plants

结合 8 种石斛属植物的综合评价和聚类分析结果，第 Ⅰ 类石斛营养成分含量丰富、品质较为优秀，为梳唇石斛、喇叭唇石斛；第 Ⅱ 类石斛营养成分适当、品质较为良好，为滇桂石斛、钩状石斛、束花石斛；第 Ⅲ 类石斛营养成分含量不均衡，品质较为一般，为鼓槌石斛、重唇石斛、罗河石斛。通过聚类情况分析能够更好的反映出各类石斛属植物种间的差异性。第 Ⅰ 类石斛表现优异，可作为优秀的营养成分来源，为今后石斛针对性的营养价值研究以及品种选育提供有价值的理论指导。

3　讨论

3.1　一般营养成分

金钗石斛是石斛属植物典型的药用珍稀石斛，对比陆礼和等[29] 对金钗石斛营养成分的分析研究结果，本研究 8 种石斛的一般营养成分中的粗纤维、蛋白质、灰分、脂肪均超过金钗石斛，是良好的营养价值来源石斛，同时，当食品中脂肪含量≤3 g·100 g^{-1} 时，可声称“低脂肪”[30]，而本研究中 8 种石斛的脂肪含量均低于 1.74%，因此 8 种石斛还符合“低脂肪”的营养成分特点，适合作为健康食品原料。

3.2　矿物质元素

香蕉作为众所周知的钾含量高的水果，是快速补充钾元素的理想选择，且钾元素具有维持心脏和肌肉正常功能、调节水平和的作用，只佳增等[31] 测定云南香蕉的含钾量值在 403~439 mg/100 g，本实验中 8 种石斛属植物的钾含量分布在 388~1660 mg/100 g 范围内，均高于或接近云南香蕉的钾含量，故其表现出较高的营养价值。且根据 2013 年世界卫生组织（WHO）倡导的高钾低钠健康饮食原则，8 种石斛属植物在常量元素组成上普遍展现出钾元素含量占据主导地位的特点，而钠元素的含量则相对较低。这意味着这些石斛属植物有助于维持人体内钾钠平衡，在改善高血压患者的血压水平方面有着良好作用，能够促进身体健康[32]。吴庆生等[33] 对安徽霍山 3 种石斛的矿物质元素做了研究分析，其结果表明石斛中的 Ca、Mg 和 K 元素含量较高。且石斛几乎含有人体所需的必要元素 Fe、Mn、Zn、Cu、Se 元素，Fe 元素是血红蛋白的核心组成部分，血红蛋白负责在血液中运输氧气，缺铁会导致贫血，影响身体的氧气供应。Zn 在人体中扮演着多重关键角色，其首要贡献在于稳固机体的免疫防线，确保免疫系统的高效运作。Se 是人体内多种抗氧化酶的重要组成成分，具有显著的抗癌潜力，能够增强人体的免疫功能，提高机体对病原体的抵抗能力，降低感染的风险[34]。综合 8 种石斛属植物所测的 11 类矿物质元素来看，对比其矿物质排列分布顺序，与吴庆生等[33] 的研究结果一致，这些矿物质元素的丰富含量进一步提升了石斛的营养价值，适合开发和利用成功能性食品或药品。不同石斛属植物在矿物质元素含量上存在显著差异（P<0.05），这可能与其生长环境、遗传特性及代谢途径有关。例如，滇桂石斛和重唇石斛在 K、Ca、Mg 等常量元素以及 Mn、Zn 等微量元素方面表现突出，表明其在营养补充和功能性食品开发中具有较高潜力。此外，Se 作为一种重要的微量元素，在束花石斛和钩状石斛中含量较高，进一步凸显了其在抗氧化和抗癌方面的应用价值。

3.3　药效成分

石斛多糖具有增强免疫力、抗氧化等功效的重要作用，而醇溶性浸出物作为石斛药效成分的主要成分，包含黄酮类等多种有效物质。对比张本厚等[35] 对铁皮石斛多糖方面的测定研究，梳唇石斛与喇叭唇石斛均超过其最高值，并且以中国药典所规定的铁皮石斛多糖（≥25%）及醇溶性浸出物（≥6.5%）为标准，梳唇石斛和喇叭唇石斛也超过其规定值，提示其在抗炎、抗菌等药理作用方面具有独特优势，具有一定的药理价值。石斛碱是从石斛属植物金钗石斛的茎中分离提取得到的生物类生物碱，具有高效的药理作用和研究开发价值[36]，但石斛生物碱的含量一般较低，在本研究中的 8 种石斛属植物均未发现，可能需要进一步探求其生长环境、种植方式、生长期等因素是否影响石斛碱的合成和积累。

3.4　氨基酸组成及含量

石斛一直以来都是药食两用的营养植物，其氨基酸价值可见一斑，通过测定，其氨基酸种类齐全，均含有 16 种氨基酸，且含量较为丰富，包括 6 种必需氨基酸，4 种鲜味氨基酸，8 种苦味氨基酸，9 种药用氨基酸，其中束花石斛的氨基酸总含量最高（3.883%），而氨基酸含量最低的鼓槌石斛仅有 1.395%，结合普冉等[37] 对同为顶叶组的密花石斛（*Dendrobium densiflorum*）氨基酸成分分析，其值为 1.78%，初步推测可能顶叶组的氨基酸含量在石斛属中相对较低。药用氨基酸中以天门冬氨酸（Asp）和谷氨酸（Glu）的含量为最高，Asp 主要参与蛋白质合成、调节神经递质以及能量代谢等方面；而 Glu 则主要作为神经递质参与神经元的兴奋传递过程，并参与

新陈代谢和临床应用等方面，因此富含各种药用氨基酸的石斛属植物可作为药用价值较高的植物蛋白来源。本研究结果显示，8 种石斛属植物的必需氨基酸质量分数均达到或超过 WHO/FAO 模式值，其中，苯丙氨酸+酪氨酸（Phe+Tyr）的含量尤为突出，质量分数达到 8.46%~11.55%，显著高于 WHO/FAO 模式值（6%）。这一特征表明石斛属植物不仅含有丰富的必需氨基酸，其氨基酸组成比例也较为理想，证实了石斛属植物作为优质植物蛋白源的潜力，其较高的营养价值在食品开发和营养补充剂研制方面具有重要应用前景。草药薏苡（*Coix lacryma*-jobi）是一种营养价值较高的植物蛋白来源，Li 等[38] 测量其 SRC 平均值为 48.01，8 种石斛属植物 SRC 值分布范围为 49.22~57.75，均大于薏苡 SRC 值，说明各类石斛蛋白质营养价值相对均衡，更容易被人体吸收，具有较好的开发和利用前景。但在氨基酸比值系数（RC）中蛋氨酸+半胱氨酸（Met+Cys）的 RC 均值最低，平均值为 0.142，是 8 种石斛属植物的第一限制氨基酸，如何进一步提高其数值仍是今后营养成分需要探究的方向。

3.5 综合评价与相关性分析

根据 8 种石斛属植物的营养成分含量进行综合评价和聚类分析，将不同种类的石斛归为Ⅲ类。结果表明第Ⅰ类中的梳唇石斛、喇叭唇石斛营养成分含量丰富、品质相对优秀，可作为优秀的天然保健品或功能性食品的原料来源。聚类分析结果显示，同组石斛间营养成分存在较大差异，如瘦轴组石斛中的钩状石斛与重唇石斛并未在同一类，同为石斛组的喇叭唇石斛、滇桂石斛、束花石斛、罗河石斛同样分布于三个不同类别。相关性分析表明，氨基酸营养成分之间存在显著相关性（P<0.05），但氨基酸营养成分与药效成分之间并无显著（P>0.05）相关性，揭示其可能通过不同的代谢途径发挥作用。

4 结论

本研究对 8 种石斛属植物的一般营养成分、药效成分和氨基酸含量等多项指标进行了系统测定与分析。结果显示，8 种石斛均具有典型“低脂肪”的营养成分特点，同时富含多种矿物质元素，氨基酸种类齐全，是优质的氨基酸来源。梳唇石斛和喇叭唇石斛的石斛多糖含量很高，束花石斛、鼓槌石斛和梳唇石斛醇溶性浸出物含量较高，这几种石斛可能具有较高的药用价值。

综合评价和聚类分析表明，梳唇石斛与喇叭唇石斛作为Ⅰ类石斛，不仅具有丰富的多糖含量及醇溶性浸出物，且在各方面表现均优异，具有较高的营养价值，可作为选种育种或开发利用的良好来源。本研究还发现，同组内不同石斛间营养价值也存在较大差异，阐明了石斛属植物在营养组分结构上的复杂性和多样性。本研究首次系统揭示了 8 种石斛属植物的营养成分含量及组成，不仅为药用石斛的质量评价提供了科学依据，也为开发针对不同功能需求（如免疫调节、抗氧化等）的石斛产品指明了方向。

© 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] 顺庆生, 魏刚, 何祥林. 中药石斛研究的回顾与展望[J]. 中国现代中药, 2024, 26(7): 1111−1118. [SHUN Qingsheng, WEI Gang, HE Xianglin. Review and prospect of the research on chinese medicine *Dendrobium*[J]. Chinese Modern Traditional Medicine, 2024, 26(7): 1111−1118.]

[2] 王珊珊, 刘佳萌, 孙晶, 等. 药用石斛属植物石斛碱研究进展[J]. 中国食物与营养, 2020, 26(12): 9−15. [WANG Shanshan, LIU Jiameng, SUN Jing, et al. Progress in the study of *Dendrobium* alkaloids from the medicinal genus *Dendrobium*[J]. China Food and Nutrition, 2020, 26(12): 9−15.]

[3] 黄位年, 曾华兰, 华丽霞, 等. 内生木霉菌与石斛相互作用关系的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(13): 57−61. [HUANG Weinian, ZENG Hualan, HUA Lixia, et al. Research progress on the interaction relationship between *Endophytic xylomycetes* and *Dendrobium*[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2020, 48(13): 57−61.]

[4] 王东晖, 范蓓, 孙晶, 等. 石斛属植物化学成分的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2019, 25(3): 12−18. [WANG Donghui, FAN Bei, SUN Jing, et al. Progress of chemical composition of *Dendrobium* spp[J]. China Food and Nutrition, 2019, 25(3): 12−18.]

[5] 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. [WANG Xiaoyuan, WANG Yanbing, CHEN Yuqin, et al. Evaluation of amino acid composition and nutritional value of six *Dendrobium* species[J]. Natural Products Research and Development, 2019, 31(4): 601−607.]

[6] 李洪潮, 常征, 丁长春, 等. 32 种石斛属植物的氨基酸分析及营养价值评定[J]. 文山学院学报, 2020, 33(3): 5−11. [LI Hongchao, CHANG Zheng, DING Changchun, et al. Amino acid analysis and nutritional value evaluation of 32 species of *Dendrobium* species[J]. Journal of Wenshan College, 2020, 33(3): 5−11.]

[7] 郭晓萍, 张海波, 张志强, 等. 铁皮石斛多糖抗肿瘤作用研究进展[J]. 肿瘤预防与治疗, 2024, 37(9): 800−808. [GUO Xiaoping, ZHANG Haibo, ZHANG Zhiqiang, et al. Progress of anti-tumor effects of *Dendrobium officinale* polysaccharides[J]. Tumor Prevention and Treatment, 2024, 37(9): 800−808.]

[8] 黄琴, 沈杨霞, 张成静, 等. 铁皮石斛多酚和黄酮含量及与抗氧化活性的相关性[J]. 应用与环境生物学报, 2014, 20(3): 438−442. [HUANG Q, SHEN Y X, ZHANG C J, et al. Contents of polyphenols and flavonoids in *Dendrobium officinale* and their correlation with antioxidant activity[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2014, 20(3): 438−442.]

[9] 梁艳田, 刘佳萌, 鲁为, 等. 石斛生物碱类成分药理活性及其作用机制研究进展[J]. 中国食物与营养, 2023, 29(4): 40−47. [LIANG Yantian, LIU Jiameng, LU Wei, et al. Progress of pharmacological activity and mechanism of action of alkaloidal components of *Dendrobium*[J]. China Food and Nutrition, 2023, 29(4): 40−47.]

[10] 马艳春, 吴文轩, 胡建辉, 等. 当归的化学成分及药理作用研究进展[J]. 中医药学报, 2022, 50(1): 111−114. [MA Yanchun,

WU Wenxuan, HU Jianhui, et al. Progress in the study of chemical composition and pharmacological effects of *Angelica sinensis*[J]. Journal of Traditional Chinese Medicine, 2022, 50(1): 111−114.]
[11] 郭春燕, 詹克慧. 蛋白质组学技术研究进展及应用[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2010, 25(4): 583−591. [GUO Chunyan, ZHAN Kehui. Progress and application of proteomics technology[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science Edition), 2010, 25(4): 583−591.]
[12] 刘峻麟, 俞年军, 邢丽花, 等. 基于 UHPLC-QTRAP-MS/MS 的石斛中氨基酸和核苷类成分分析与评价[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(16): 3890−3899. [LIU Junlin, YU Nianjun, XING Lihua, et al. Analysis and evaluation of amino acid and nucleoside constituents in *Dendrobium* based on UHPLC-QTRAP-MS/MS[J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2020, 45(16): 3890−3899.]
[13] 杨天友, 杨传东, 杨文明, 等. 梵净山人工栽培铁皮石斛营养成分分析[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(6): 146−149,154. [YANG Tianyou, YANG Chuandong, YANG Wenming, et al. Nutrient composition analysis of artificially cultivated *Dendrobium officinale* in Fanjing Mountain[J]. Grain and Oil, 2021, 34(6): 146−149,154.]
[14] 魏静, 谷满屯, 姬彦羽, 等. 海南与浙江产铁皮石斛主要营养成分分析比较[J]. 热带作物学报, 2015, 36(6): 1059−1066. [WEI Jing, GU Mantun, JI Yanyu, et al. Comparison of major nutrient analysis between *Dendrobium officinale* from Hainan and Zhejiang[J]. Journal of Tropical Crops, 2015, 36(6): 1059−1066.]
[15] 马贤炳, 何祥林, 何家轩, 等. 霍山石斛栽培技术及活性成分药理学研究进展[J]. 现代农业科技, 2023(17): 67−71,79. [MA Xianbing, HE Xianglin, HE Jiaxuan, et al. Progress of cultivation technology and pharmacological research on active ingredients of *Dendrobium huoshanense*[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2023(17): 67−71,79.]
[16] 杨天友, 杨文明, 杨业勤, 等. 梵净山石斛营养成分分析与评价[J]. 食品工业, 2020, 41(7): 344−348. [YANG Tianyou, YANG Wenming, YANG Yeqin, et al. Analysis and evaluation of the nutrient composition of *Dendrobium fanjingshanense*[J]. Food Industry, 2020, 41(7): 344−348.]
[17] 任红, 刘扬, 白大娟, 等. 不同栽培模式下金钗石斛主要营养成分分析[J]. 中国热带农业, 2019(3): 34−36,59. [REN Hong, LIU Yang, BAI Dajuan, et al. Analysis of the main nutrient components of *Dendrobium nobile* Lindl under different cultivation modes[J]. China Tropical Agriculture, 2019(3): 34−36,59.]
[18] 李兆云, 王志远, 王昭, 等. 不同产地翅萼石斛氨基酸营养成分分析及评价[J]. 中国食品工业, 2021(14): 43−45. [LI Zhaoyun, WANG Zhiyuan, WANG Zhao, et al. Analysis and evaluation of amino acid nutrient composition of *Dendrobium carniferum* Rchb. f. from different origins[J]. China Food Industry, 2021(14): 43−45.]
[19] 周方, 张洋. 大别山产 4 种石斛的比较研究进展[J]. 食品工业, 2023, 44(8): 249−252. [ZHOU Fang, ZHANG Yang. Comparative research progress of four species of *Dendrobium* species produced in Dabie Mountain[J]. Food Industry, 2023, 44(8): 249−252.]
[20] 杨晓娜, 邵国建, 邵左清. 龙陵产 4 种石斛的微量元素与营养成分差异[J]. 农技服务, 2017, 34(18): 3−4. [YANG Xiaona, SHAO Guojian, SHAO Zuoqing. Differences in trace elements and nutrient composition of four *Dendrobium* species produced in Longling[J]. Agricultural Technology Service, 2017, 34(18): 3−4.]
[21] 王彦兵, 周侯光, 尹红星, 等. 黑毛组 6 种石斛药效成分分析及营养价值评价[J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(1): 95−102. [WANG Yanbing, ZHOU Houguang, YIN Hongxing, et al. Analysis of pharmacodynamic components and evaluation of nutritional value of six *Dendrobium* species from the Sect. *Formosae*[J]. Natural Products Research and Development, 2020, 32(1): 95−102.]
[22] 曲继旭, 贺雨馨, 陈龙, 等. 3 种石斛氨基酸组成及营养评价[J]. 辽宁中医药大学学报, 2018, 20(2): 60−62. [QU Jixu, HE Yuxin, CHEN Long, et al. Amino acid composition and nutritional evaluation of three *Dendrobium* species[J]. Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2018, 20(2): 60−62.]
[23] 于力文, 蔡永萍, 张鹤英, 等. 安徽霍山 3 种石斛营养成分分析及其分布规律[J]. 安徽农业科学, 1996(4): 82−83. [YU Liwen, CAI Yongping, ZHANG Heying, et al. Analysis of nutrient composition of three *Dendrobium* species from Huoshan, Anhui Province and their distribution pattern[J]. Anhui Agricultural Science, 1996(4): 82−83.]
[24] 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. [ZHU Shengtao, WU Kun. Evaluation of the nutritional value of proteins—Amino acid ratio coefficient method[J]. Journal of Nutrition, 1988(2): 187−190.]
[25] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 二部[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2010: 265−266. [National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: Part II[M]. Beijing: China Press of Traditional Chinese Medicine, 2010: 265−266.]
[26] FAO/WHO/UNU. Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation[M]. WHO Technical Report Series, 2007.
[27] 李洪兵, 安丽华. 中药材的氨基酸含量测定与分析技术研究现状[J]. 农村经济与科技, 2019, 30(16): 101−103. [LI Hongbing, AN Lihua. Current status of research on amino acid content determination and analytical techniques of Chinese herbal medicines[J]. Rural Economy and Science and Technology, 2019, 30(16): 101−103.]
[28] Word Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations University. Energy and protein equirement[R]. Geneva: WHO, 1973.
[29] 陆礼和, 杜艳妮, 张艳, 等. 金钗石斛营养成分分析研究[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2013, 33(1): 60−63. [LU Lihe, DU Yanni, ZHANG Yan, et al. Analytical study on the nutrient composition of *Dendrobium nobile*[J]. Journal of Yunnan Normal University (Natural Science Edition), 2013, 33(1): 60−63.]
[30] 刘彩珍, 吴伯文, 吴杨, 等. 棕榈丝栽培玉木耳的营养成分分析[J]. 农业与技术, 2024, 44(16): 33−35. [LIU Caizhen, WU Bowen, WU Yang, et al. Nutrient analysis of jade fungus cultivated with palm silk[J]. Agriculture and Technology, 2024, 44(16): 33−35.]
[31] 只佳增, 胡永亮, 杜浩, 等. 云南特色香蕉果实营养成分差异研究[J]. 广东农业科学, 2022, 49(2): 151−157. [ZHU Jiazeng, HU Yongliang, DU Hao, et al. Study on the differences in nutrient composition of specialty banana fruits in Yunnan[J]. Guangdong Agricultural Science, 2022, 49(2): 151−157.]
[32] 中国高血压防治指南(2018 年修订版)[J]. 中国心血管杂志, 2019, 24(1): 24−56. [Chinese guidelines for the prevention and treatment of hypertension (2018 revision)[J]. Chinese Cardiovascular Journal, 2019, 24(1): 24−56.]
[33] 吴庆生, 丁亚平, 杨道麒, 等. 安徽霍山三种石斛中游离氨基酸分析[J]. 安徽农业科学, 1995(3): 268−269,271. [WU Qingsheng, DING Yaping, YANG Daoqi, et al. Analysis of free amino acids in three kinds of *Dendrobium* species from Huoshan, Anhui

Province[J]. Anhui Agricultural Science, 1995(3): 268−269,271.]
[34] 黄作明, 黄珣. 微量元素与人体健康[J]. 微量元素与健康研究, 2010, 27(6): 58−62. [HUANG Zuoming, HUANG Xun. Trace elements and human health[J]. Trace Elements and Health Research, 2010, 27(6): 58−62.]
[35] 张本厚, 胡燕花, 金磊磊, 等. 铁皮石斛组培体药用和营养成分含量的比较[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 324−327. [ZHANG Benhou, HU Yanhua, JIN Leilei, et al. Comparison of medicinal and nutrient contents of *Dendrobium officinale*[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2015, 43(10): 324−327.]
[36] 李亚芳, 张晓华, 孙国明. 石斛中总生物碱和多糖的含量测定[J]. 中国药事, 2002(7): 42−44. [LI Yafang, ZHANG Xiaohua, SUN Guoming. Determination of total alkaloids and polysaccharides in *Dendrobium*[J]. China Pharmaceutical Affairs, 2002(7): 42−44.]
[37] 普冉, 赫京生, 吴雅文, 等. 6 种石斛的化学成分对比分析与质量评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(20): 71−77. [PU Ran, HE Jingsheng, WU Yawen, et al. Comparative analysis and quality evaluation of the chemical composition of six *Dendrobium* species[J]. Journal of Food Safety and Quality Testing, 2023, 14(20): 71−77.]
[38] LI Jixin, ZHANG Chao. Progress of L-phenylalanine manufacture andapplication[J]. Amino Acid & Biotic Res, 2006, 28(2): 51−56.