

## ◆ 濒危植物化学成分多样性 ◆

雅长铁皮石斛原生种与选育种的营养成分对比分析<sup>\*</sup>杨一山<sup>1</sup>, 唐健民<sup>1\*\*</sup>, 邓振海<sup>2</sup>, 罗亚进<sup>2</sup>, 邹 蓉<sup>1</sup>, 柴胜丰<sup>1</sup>, 韦 霄<sup>1</sup>

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西植物功能物质与资源持续利用重点实验室, 广西桂林 541006; 2. 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:**为科学、合理地开发利用雅长铁皮石斛(*Yachang's Dendrobium officinale*)资源,本研究对其原生种和选育种的基本营养成分、氨基酸和矿质元素进行测定,并采用氨基酸比值系数法对两种铁皮石斛进行营养价值评价。研究表明:两种铁皮石斛中共检测出4种常量元素和6种微量元素。除了B、Fe以外,原生种中的4种常量元素(Na、Mg、K、Ca)和4种微量元素(Zn、Mn、Cu、Se)含量均显著高于选育种。两种铁皮石斛中均以K的含量最高,分别为4 430、3 650 mg/kg,且都表现出“高钾低钠”的特点,原生种中K含量约是Na含量的103.5倍,选育种约为187.2倍。两种铁皮石斛共检测出16种氨基酸,包括6种必需氨基酸(EAA),4种鲜味氨基酸(DAA),8种苦味氨基酸(BAA)和9种药用氨基酸(MAA)。原生种和选育种氨基酸总量(TAA)分别为0.85、0.68 g/100 g。原生种氨基酸总量、必需氨基酸总量、药用氨基酸总量均显著高于选育种,两种铁皮石斛的第一限制氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys)。两种铁皮石斛的必需氨基酸营养价值差距不大,其必需氨基酸比值系数分(SRC)分别为54.9(原生种)、56.2(选育种)。在基本营养成分方面,原生种中除粗纤维和粗蛋白的含量显著高于选育种之外,其他成分含量的差异性均不显著。综上,雅长铁皮石斛原生种在基本营养成分、矿质元素和氨基酸含量方面均优于选育种,其中矿质元素含量的差异最大。因此,原生种的整体营养价值高于选育种。

**关键词:**雅长铁皮石斛;矿质元素;氨基酸含量;营养价值;基本营养成分

中图分类号:S567 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2023)06-1217-09

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20240125.020

铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)系兰科(Orchidaceae)石斛属(*Dendrobium*)多年生草本植物,其以新鲜茎或干燥茎入药<sup>[1]</sup>,主要分布在云南、广西、广东、安徽等海拔为1 600 m山地的半阴湿岩石上<sup>[2]</sup>,

收稿日期:2023-04-04

修回日期:2023-05-09

\* 广西壮族自治区林业局林业改革发展资金项目“广西兰科植物数据库信息系统的构建和保育技术研究”(2023LYKJ03),西南喀斯特植物资源的保护与可持续利用战略研究项目(桂科院 ZL202302),国家重点研发计划项目(2022YFF1300703),中国科学院“西部之光”计划(2022),广西林业科技推广示范项目((2022)GT23,桂林护发[2023]4号)和广西植物研究所业务项目“天坑濒危植物资源调查研究”(桂植发 019)资助。

## 【第一作者简介】

杨一山(1998-),男,硕士,研究实习员,主要从事药用植物化学成分分析研究,E-mail:1214104853@qq.com。

## 【\*\*通信作者简介】

唐健民(1988-),男,副研究员,主要从事喀斯特濒危植物保护与可持续利用研究,E-mail:690814668@qq.com。

## 【引用本文】

杨一山,唐健民,邓振海,等.雅长铁皮石斛原生种与选育种的营养成分对比分析[J].广西科学,2023,30(6):1217-1225.

YANG Y S, TANG J M, DENG Z H, et al. Comparative Analysis of Nutritional Components between Wild Species and Breeding Species of *Yachang's Dendrobium officinale* [J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(6): 1217-1225.

具有“中华九大仙草”之首的美誉<sup>[3]</sup>。铁皮石斛性甘、微寒,归胃经、肾经。《神农本草经》中记载铁皮石斛具有除痹、下气、补五脏虚劳的功效,久服可厚肠胃,轻身延年<sup>[4]</sup>。现代研究表明,铁皮石斛具有抗氧化、降血糖、增强机体免疫力和治疗胃肠道炎症等功效<sup>[5,6]</sup>。铁皮石斛作为“药食两用”的植物资源,除了具有很高的药用价值之外,其食品保健价值也很高。刘雪娜等<sup>[7]</sup>通过对我国保健食品的统计发现,截至2021年1月,有关部门收集了包括118种铁皮石斛在内的共17774种保健食品,其中铁皮石斛相关产品占0.66%。由此可以看出,铁皮石斛在保健食品中也占据着较高的份额。另外,随着生活水平的提高,保健养生日益成为主流,进一步刺激了铁皮石斛等中药材市场。但在自然环境中,铁皮石斛主要为无性繁殖并且其种子的萌发率极低,野生资源稀少,加之人们对其灭绝式采挖和自然环境的破坏,其野生资源面临着巨大的威胁<sup>[8]</sup>,从而导致野生铁皮石斛资源不能满足市场需求。因此,为保护这一重要的野生植物资源及满足市场需求,铁皮石斛的组织培养等人工繁育技术被应用于生产中。

广西百色市乐业县位于云贵高原东南麓,其优越的地理位置和丰富的林业资源,为兰科植物的生长创造了极为有利的条件。雅长铁皮石斛(*Yachang's D. officinale*)作为该区域内重要的兰科植物资源,前人通过组织培养技术已获得大量的组培选育体,但目前还未见有雅长铁皮石斛营养成分等食品方面的研究。笔者在前期资源调查时发现,乐业县当地的居民在日常食用雅长铁皮石斛时常选择口感和风味较好的选育种,而在治疗疾病时则选用其原生种。但两者之间具体的活性成分含量差异未见相关报道,因此,两者在使用上存在差异的内在原因还不明确。铁皮石斛作为植物类中药材,其活性成分含量、性状特征等常常受到种质、自然环境及栽培方式等多种因素的影响<sup>[9,10]</sup>。因此,为指导人工繁育与栽培,使人工选育品种更好地代替原生种,两者之间的活性成分含量等方面的对比就显得尤为重要。高建平<sup>[11]</sup>研究发现,铁皮石斛组织培养原球茎和原药材具有相似强度的提高免疫功能的作用。何铁光等<sup>[12]</sup>研究发现,铁皮石斛原球茎中的多糖DCPP1a-1具有较强的抗氧化活性,认为对铁皮石斛原球茎的开发可为石斛多糖类产品的开发提供新的途径。诸燕等<sup>[13]</sup>以人工栽培的铁皮石斛为材料来探究种质、采收年限等因素对其多糖含量的影响,研究结果指出人工栽培的铁皮石

斛中的多糖含量普遍高于野生药材。许春萱等<sup>[14]</sup>研究发现,与天然的铁皮石斛相比,人工栽培的铁皮石斛中Zn、Fe、Mn、Cu等微量元素的含量存在一定差距。杨天友等<sup>[15]</sup>通过对梵净山人工栽培的铁皮石斛中的营养成分分析发现,此地区人工栽培的铁皮石斛具有较高的营养价值。但就目前的研究来看,在同一自然条件下铁皮石斛原生种与组培体或选育种的营养成分的对比分析较少,同时关于雅长铁皮石斛的研究也处于空白阶段。因此,本研究以同一栽培环境下的雅长铁皮石斛原生种和组织培养的选育种为材料,采用常规食物的营养成分测定方法,测定并比较两种铁皮石斛的基本营养物质、矿质元素和氨基酸的组成、含量及营养价值,探究选育种与原生种在营养成分方面的相同点及各自差异特点,以期为雅长铁皮石斛未来的栽培管理及开发利用提供科学的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

雅长铁皮石斛原生种及其选育种均于2021年12月在广西壮族自治区百色市乐业县花坪镇雅长兰科植物繁育中心采集。两种铁皮石斛均生长于同一环境下,定植培养2年,培养期间光照、水肥管理等外界环境均保持一致。采集时,分别于两种铁皮石斛的生长区域内,随机选取10盆,用枝剪剪取无病虫害且生长状况健康的枝条。相比之下,原生种的茎条较为短小,颜色为暗绿色,质地较为粗糙且硬,叶片较大且颜色较深;选育种的茎条细长,颜色为翠绿色,质地较脆,叶片较小且颜色较浅。由中国科学院广西植物研究所韦霄研究员鉴定为雅长铁皮石斛(*Yachang's Dendrobium officinale* Kimura et Migo)。

### 1.2 主要仪器

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),高效液相色谱系统[沃特世科技(上海)有限公司],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],ZEEEnit 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 紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)等。

### 1.3 原材料处理

除去两种铁皮石斛上存留的叶片和根,洗净后,沥干水分,放入 60 ℃烘箱中,烘干至恒重。将烘干后的样品粉碎后过 60 目筛,制成样品粉末备用。

### 1.4 营养成分测定方法

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》;粗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》中的索式抽提法;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;粗多糖的含量的测定采用硫酸-苯酚法<sup>[16]</sup>。维生素 A、E 采用 GB 5009. 82 - 2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》中的高效液相色谱法测定;维生素 C 采用 GB 14754 - 2010《食品安全国家标准 食品添加剂 维生素 C(抗坏血酸)》中的高效液相色谱法测定;氨基酸按照 GB/T 5009. 124 - 2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》使用 L-8900 氨基酸自动分析仪测定;微量元素磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、锰(Mn)、镁(Mg)、铁(Fe)、锌(Zn)、铜(Cu)、钠(Na)的测定参照 GB 5009. 268 - 2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》,采用 IRIS Intrepid 2 XSP010 电感耦合等离子体发射光谱仪测定,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。

### 1.5 氨基酸营养价值的评价

参考联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(FAO/WHO)推荐模式并采用氨基酸比值系数法<sup>[17]</sup>对两种铁皮石斛的氨基酸进行营养价值评价。主要运用到的计算公式:

必需氨基酸比值(RAA) =

$$\frac{\text{样品中某必需氨基酸含量(mg/g)}}{\text{FAO/WHO 模式中该必需氨基酸含量(mg/g)}}$$

氨基酸比值系数(RC) =

$$\frac{\text{必需氨基酸比值(RAA)}}{\text{必需氨基酸比值平均值(RAA)}}$$

$$\text{标准差(SD)} = \sqrt{\frac{\Delta \sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

其中  $X_i$  为各氨基酸比值系数,  $\bar{X}$  为氨基酸比值系数均值(RC),  $N = 7$ 。

$$\text{变异系数(CV)} = \frac{\text{SD}}{\text{RC}} \times 100\%$$

必需氨基酸比值系数分(SRC) = (1 - CV) × 100。

氨基酸比值系数(RC)是与模式氨基酸相当量的一份食物的氨基酸比值<sup>[18]</sup>。RC = 1,表明食品中的氨基酸含量与模式氨基酸含量一致;RC < 1,表明该种氨基酸含量低于模式氨基酸,即该种氨基酸含量相对不足;RC > 1,表明该种氨基酸含量高于模式氨基酸,即该种氨基酸含量相对过剩。RC 值最低的氨基酸被称为第一限制氨基酸。必需氨基酸比值系数分(SRC)的意义:如果食物中的氨基酸组成及含量与模式氨基酸一致,则变异系数(CV) = 0, SRC = 100;反之,如果该食品中的氨基酸与模式氨基酸差异越大,则变异系数(CV)越大, SRC 值越小。

### 1.6 数据处理

本研究所测定的项目结果均为平行实验 3 次后得出,并以“平均值 ± 标准差”表示。使用 Excel 2016 软件进行数据的统计,采用 SPSS 19.0 软件进行 T 检验,并运用 Duncan 检验法检验各个指标差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 雅长铁皮石斛原生种与选育种的矿质元素含量

在两种铁皮石斛中共检测出 10 种矿质元素,其中包括 Na、Mg、K、Ca 4 种常量元素,Fe、Zn、B、Mn、Cu、Se 6 种微量元素(表 1)。在常量元素中,K 含量最高,Ca 含量次之。通过对比可知,雅长铁皮石斛原生种中 4 种常量元素的含量均显著高于选育种( $P < 0.05$ ),原生种的 Na 含量约是选育种的 2.2 倍,K 约为 1.2 倍,Ca 约为 2.3 倍。在微量元素中,两种铁皮石斛都是以 Mn 含量最高。此外,还检测出少量的 Se。除 Fe 之外,其他微量元素均存在显著性差异( $P < 0.05$ )。原生种中的 Zn、Mn、Cu 和 Se 含量均显著高于选育种( $P < 0.05$ ),其中原生种的 Zn 含量约是选育种的 1.3 倍,Mn 约为 4.4 倍,Cu 约为 4.0 倍,Se 约为 4.3 倍。选育种中的 B 含量则显著高于原生种( $P < 0.05$ ),其含量约是原生种的 1.2 倍。从矿质元素检测结果来看,雅长铁皮石斛原生种中 4 种常量元素及 Zn、Mn 在内的 4 种微量元素含量均显著高于选育种,表明原生种在矿质元素类产品开发方面更具优势,选育种在未来的栽培种植中可通过适当增施相关肥料等改进栽培技术,提高其矿质元素含量。



表 1 雅长铁皮石斛原生种与选育种中矿质元素组成及含量

Table 1 Composition and content of mineral elements in wild species and breeding species of Yachang's *D. officinales*

种类 Species	常量元素 / (mg/kg) Macroelement / (mg/kg)				微量元素 / (mg/kg) Microelement / (mg/kg)					
	Na	Mg	K	Ca	Fe	Zn	B	Mn	Cu	Se
Wild species	42.80 ± 1.74b	238 ± 1.44b	4.43 × 10 <sup>3</sup> ± 4.36b	1.81 × 10 <sup>3</sup> ± 7.81b	7.97 ± 0.11a	13.90 ± 0.75b	1.55 ± 0.13a	50.90 ± 1.18b	4.01 ± 0.18b	0.13 ± 0.01b
Breeding species	19.50 ± 0.87a	231 ± 4.36a	3.65 × 10 <sup>3</sup> ± 9.85a	0.79 × 10 <sup>3</sup> ± 7.94a	7.86 ± 0.09a	10.70 ± 0.53a	1.88 ± 0.08b	11.60 ± 0.70a	1.01 ± 0.21a	0.03 ± 0.01a

Note: different letters represented significant difference ( $P < 0.05$ ).

## 2.2 雅长铁皮石斛原生种与选育种的氨基酸组成及含量

原生种与选育种的氨基酸组成及含量的测定结果见表 2。两种铁皮石斛中共检测出 16 种氨基酸, 其中包括 7 种必需氨基酸(EAA), 4 种鲜味氨基酸(DAA), 8 种苦味氨基酸(BAA) 和 9 种药用氨基酸(MAA)。原生种和选育种氨基酸总量(TAA)分别为(0.850 ± 0.017)、(0.680 ± 0.053) g/100 g, 原生种氨基酸总量显著高于选育种( $P < 0.05$ )。此外, 原生种的必需氨基酸总量也显著高于选育种( $P < 0.05$ ), 但两者的必需氨基酸在氨基酸总量中的占比(EAA/TAA)无显著差异( $P > 0.05$ ), 分别为(39.529 ± 0.029)%、(38.382 ± 0.023)%。两种铁皮石斛中鲜味氨基酸和苦味氨基酸含量基本一致, 且无显著性差异( $P > 0.05$ ), 但这两类氨基酸的占比(DAA/TAA、BAA/TAA)存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

在两种铁皮石斛中, 天门冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、丙氨酸(Ala)和亮氨酸(Leu)4 种氨基酸的含量最高, 这 4 种氨基酸也是药用氨基酸。通过比较可知, 两种铁皮石斛中药用氨基酸的含量存在显著性差异( $P < 0.05$ ), 原生种中此类氨基酸含量较高, 但两种铁皮石斛的药用氨基酸占比(MAA/TAA)无显著性差异( $P > 0.05$ )。从氨基酸组成及含量上来看, 原生种中的必需氨基酸和药用氨基酸的含量高于选育种, 但选育种中鲜味氨基酸和苦味氨基酸的占比高于原生种。总体上来看, 原生种在氨基酸含量方面的表现要优于选育种。

## 2.3 雅长铁皮石斛原生种与选育种的氨基酸营养价值评价

两种铁皮石斛必需氨基酸质量分数及 FAO/WHO 推荐模式见表 3。与 FAO/WHO 推荐模式相比, 两种铁皮石斛中不同的氨基酸所表现出来的特点有所差异。但总体上来看, 两种铁皮石斛中的异亮氨

表 2 雅长铁皮石斛原生种与选育种中氨基酸组成及含量

Table 2 Composition and content of amino acid in wild species and breeding species of Yachang's *D. officinales*

氨基酸 Amino acid	Unit: g/100 g		
	原生种 Wild species	选育种 Breeding species	P 值 P value
Asp ●※	0.130 ± 0.005a	0.092 ± 0.01b	0.004
Thr*	0.042 ± 0.003b	0.032 ± 0.003a	0.015
Ser	0.038 ± 0.003a	0.033 ± 0.002a	0.059
Glu ●※	0.100 ± 0.020a	0.096 ± 0.006a	0.758
Pro	0.031 ± 0.003a	0.025 ± 0.005a	0.163
Gly ●※	0.059 ± 0.004b	0.045 ± 0.004a	0.013
Ala ●	0.095 ± 0.004b	0.085 ± 0.005a	0.047
Val* ▲	0.056 ± 0.006a	0.046 ± 0.006a	0.093
Met* ▲※	0.000a	0.002 ± 0.000b	0.000
Ile* ▲※	0.049 ± 0.007b	0.038 ± 0.004a	0.078
Leu* ▲※	0.084 ± 0.005b	0.063 ± 0.004a	0.005
Tyr ▲	0.000a	0.003 ± 0.000b	0.000
Phe* ▲※	0.043 ± 0.012a	0.034 ± 0.004a	0.287
Lys* ※	0.060 ± 0.002b	0.046 ± 0.004a	0.004
His ▲	0.023 ± 0.004a	0.018 ± 0.003a	0.165
Arg ▲※	0.033 ± 0.004b	0.024 ± 0.001a	0.026
TAA	0.850 ± 0.017b	0.680 ± 0.053a	0.006
EAA	0.336 ± 0.013b	0.261 ± 0.005a	0.001
NEAA	0.514 ± 0.010b	0.419 ± 0.008a	0.000
DAA	0.384 ± 0.011a	0.381 ± 0.009a	0.721
BAA	0.288 ± 0.009a	0.288 ± 0.001a	0.986
MAA	0.558 ± 0.005b	0.440 ± 0.004a	0.000
EAA/TAA/%	39.529 ± 0.029a	38.382 ± 0.023a	0.493
DAA/TAA/%	45.176 ± 0.018a	56.029 ± 0.022b	0.003
BAA/TAA/%	33.882 ± 0.017a	42.353 ± 0.019b	0.005
MAA/TAA/%	65.647 ± 0.025a	64.705 ± 0.032a	0.530
EAA/NEAA/%	65.370 ± 0.036a	63.291 ± 0.002a	0.208

Note: \*, essential amino acid; ●, delicious amino acid; ▲, bitter amino acid; ※, medicinal amino acid; different letters represented significant difference ( $P < 0.05$ ).

酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、缬氨酸(Val)的质量分数均大于 FAO/WHO 推荐模式。蛋氨酸 + 半胱氨酸(Met + Cys)和苯丙氨酸 + 酪氨酸(Phe + Tyr)表现不佳,低于 FAO/WHO 推荐模式。

两种铁皮石斛氨基酸的必需氨基酸比值平均值、必需氨基酸比值系数及其比值系数分见表 4。由表 4 可知,原生种和选育种中异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)和赖氨酸(Lys)的含量均相对过剩,蛋氨酸和半胱氨酸(Met + Cys)与

苯丙氨酸和酪氨酸(Phe + Tyr)的含量均相对不足,其中这两种铁皮石斛中的蛋氨酸和半胱氨酸(Met + Cys)的 RC 值均最低,所以在这两种铁皮石斛中蛋氨酸和半胱氨酸(Met + Cys)均为第一限制氨基酸。由必需氨基酸比值系数分(SRC)可以看出两种铁皮石斛的分值均大于 50,且原生种 < 选育种,但相差不大,说明雅长铁皮石斛选育种的蛋白质营养价值要略高于原生种。

表 3 雅长铁皮石斛原生种、选育种必需氨基酸质量分数与 FAO/WHO 推荐模式比较

Table 3 Comparison of essential amino acid content in wild species and breeding species of Yachang's *D. officinales* and FAO/WHO recommended model

种类 Species	Unit: mg/gN							
	Ile	Leu	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Val	Lys	合计 Total
Wild species	57.65	98.82	2.47	50.59	49.41	65.88	70.59	395.41
Breeding species	44.71	74.12	2.71	40.00	37.65	54.12	54.12	307.41
FAO/WHO	40.00	70.00	35.00	60.00	40.00	50.00	55.00	350.00

表 4 雅长铁皮石斛原生种与选育种的必需氨基酸比值平均值、必需氨基酸比值系数及其比值系数分

Table 4 The value of  $\overline{RAA}$ , RC and SRC of wild species and breeding species of Yachang's *D. officinales*

种类 Species	$\overline{RAA}$	RC							SRC
		Ile	Leu	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Val	Lys	
Wild species	1.07	1.35	1.32	0.07	0.79	1.16	1.12	1.20	54.9
Breeding species	0.85	1.32	1.25	0.09	0.79	1.11	1.28	1.16	56.2

## 2.4 雅长铁皮石斛原生种和选育种的基本营养成分

两种铁皮石斛中的基本营养成分的分析结果见表 5。由表 5 可知,原生种除粗纤维和粗蛋白的含量显著高于选育种( $P < 0.05$ )之外,其他成分的差异性均不显著( $P > 0.05$ )。原生种粗蛋白的含量约是选育种的 2 倍。灰分含量均约为 1%;粗脂肪含量大致相当,分别为(0.40 ± 0.05)%和(0.30 ± 0.02)%。总

多糖的含量无显著性差异( $P > 0.05$ ),分别为(48.30 ± 0.58)%和(48.40 ± 0.70)%。维生素 A 的含量相近,分别为(10.60 ± 0.48)、(11.02 ± 1.06)  $\mu\text{g}/100\text{g}$ 。维生素 C 的含量分别为(2.51 ± 0.16)、(2.72 ± 0.07)  $\text{mg}/100\text{g}$ 。维生素 E 含量分别为(2.04 ± 0.12)和(2.10 ± 0.09)  $\text{mg}/100\text{g}$ 。

表 5 雅长铁皮石斛原生种与选育种中的基本营养成分组成及含量

Table 5 Composition and content of basic nutrients in wild species and breeding species of Yachang's *D. officinales*

种类 Species	灰分/% Ash/%	粗脂肪/% Crude fat/%	总多糖/% Total polysaccharide/%	粗蛋白/% Crude protein/%	粗纤维/% Crude fiber/%	维生素 A/ ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) Vitamin A/ ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )	维生素 C/ ( $\text{mg}/100\text{g}$ ) Vitamin C/ ( $\text{mg}/100\text{g}$ )	维生素 E/ ( $\text{mg}/100\text{g}$ ) Vitamin E/ ( $\text{mg}/100\text{g}$ )
Wild species	1.03 ± 0.27a	0.40 ± 0.05a	48.30 ± 0.58a	1.39 ± 0.13b	7.5 ± 0.43b	10.60 ± 0.48a	2.51 ± 0.16a	2.04 ± 0.12a
Breeding species	1.00 ± 0.17a	0.30 ± 0.02a	48.40 ± 0.70a	0.69 ± 0.07a	4.7 ± 0.08a	11.02 ± 1.06a	2.72 ± 0.07a	2.10 ± 0.09a

Note: different letters represented significant difference ( $P < 0.05$ ).

### 3 讨论

#### 3.1 原生种中矿质元素含量高于选育种

香蕉作为“天然的钾矿”,其K含量为373.53 mg/100 g,约占正常成年人每天推荐摄入量的1/5<sup>[19]</sup>。相比之下,雅长铁皮石斛无论是原生种还是选育种,其K含量都可以与香蕉相媲美。值得注意的是,这两种铁皮石斛中的Na含量都远远低于K含量,表现出“低钠高钾”的特征。原生种中K含量约是Na含量的103.5倍,选育种约为187.2倍。陈夏威等<sup>[20]</sup>研究表明,膳食中的钠钾比每增加一个单位,罹患高血压的风险就会增加0.341倍。此外,也有研究表明含钾低钠盐可以有效降低人体血压且具有较好的依从性<sup>[21]</sup>。因此,雅长铁皮石斛选育种相比原生种在应用于开发预防高血压等“高钾低钠”产品方面更具优势。除K以外,这两种雅长铁皮石斛中的Ca含量也较为丰富,原生种中的Ca约为选育种的2.3倍。随着社会人口老龄化,骨质疏松等老年性疾病的发病率日益增长。Ca作为构成骨骼和牙齿的重要元素,直接影响着骨的形态与质量。Ca缺乏不仅会导致骨质疏松等常见疾病,还会影响人体的凝血系统,使血液的黏稠度增加,从而提高罹患血栓等疾病的风险<sup>[22]</sup>。雅长铁皮石斛原生种中较高含量的Ca,表明其原生种在富钙类产品开发方面具有一定的优势。另外,野生环境下生长并含有高水平的Ca,还表明该物种对原生环境下土壤中的Ca有一定的富集作用,所以在人工栽培时,还应注意钙肥的施用。

在微量元素方面,原生种中Mn、Zn、Cu、Se 4种微量元素的含量均显著高于选育种,其中相差最大的为Mn,其次是Zn和Cu。有研究表明,动脉硬化患者的主动脉及心脏处的Mn低于健康的人<sup>[23]</sup>。Mn在稳定核酸的性质和结构等方面发挥着重要的作用<sup>[24]</sup>。雅长铁皮石斛选育种中的Mn含量为11.60 mg/kg,远低于贵州省梵净山地区人工栽培的铁皮石斛中Mn的含量(50.2 mg/kg)<sup>[15]</sup>。这可能是因为梵净山地区的锰矿较多,该地区的植物对土壤中Mn的富集要优于其他地区的植物。说明种质资源来源的不同是造成两种人工栽培铁皮石斛中Mn含量相差较大的原因之一。

Zn在人体免疫系统、生殖遗传等方面发挥着重要的作用,被称为“生命之源”<sup>[25]</sup>。“富锌水果”苹果的Zn含量约为0.11 mg/100 g<sup>[26]</sup>。相比之下,雅长铁皮石斛原生种和选育种中Zn含量均明显高于苹

果,分别为苹果的12.6和9.1倍。由此说明,雅长铁皮石斛在富锌类产品的开发方面极具潜力。此外,两种铁皮石斛中都检测出了少量的Se。研究表明,Se在人体生长发育以及生殖繁衍等方面发挥着重要的作用<sup>[27]</sup>。Se缺乏会使人体处于易感病状态,从而增加人体患天花、肝炎等疾病的风险<sup>[28]</sup>。但目前,我国居民整体水平上Se摄入量不足,对“富硒”类产品的需求量较大。因此,结合本研究结果,可以通过人工选育等手段,进一步探究雅长铁皮石斛中Se的富集机制,促进其“富硒”类产品的开发。除以上4种微量元素外,本研究发现雅长铁皮石斛原生种和选育种中的Fe含量无显著性差异( $P > 0.05$ )。但许春莹等<sup>[14]</sup>在人工栽培和天然铁皮石斛中矿质元素含量的对比分析中指出,天然铁皮石斛中Fe含量为5480  $\mu\text{g/g}$ ,约为人工栽培的8.5倍。本研究认为,种质资源和栽培基质的差异都可能是造成该现象的原因。由矿质元素测定的结果来看,雅长铁皮石斛中矿质元素的含量与是否为野生有较大的关系,但其具体的影响因素还有待分析。

#### 3.2 选育种中必需氨基酸的营养价值优于原生种

两种雅长铁皮石斛中共检测出16种氨基酸,种类齐全且含量丰富。含量最高的前4种氨基酸均为药用氨基酸,这说明雅长铁皮石斛中氨基酸的组成及含量对其药效功能的发挥具有一定的促进作用。药用氨基酸一般在植物中含量较少,人体不能自身合成,但在维持人体氮平衡方面发挥巨大作用,包括天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、精氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、异亮氨酸等9种氨基酸<sup>[29]</sup>。本研究发现,原生种中的药用氨基酸总量显著高于选育种,但两者占比基本一致,这可能是因为原生种中氨基酸总量整体高于其选育种。铁皮石斛作为“药食两用”的中药材,除药用价值外,在食品加工和利用方面也极具潜力。有研究认为,游离氨基酸含量可以作为评价食物鲜美度的指标<sup>[30]</sup>。除此之外,一些特征氨基酸也会影响食物的口感,比如鲜味氨基酸、甜味氨基酸和苦味氨基酸等。鲜味氨基酸包括天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸。氨基酸侧链R基团疏水性的大小是氨基酸呈味的关键。当R基团的疏水性较小时,氨基酸呈甜味,例如甘氨酸、丙氨酸;疏水性较大时,氨基酸呈苦味,例如组氨酸、精氨酸、酪氨酸<sup>[31]</sup>。研究结果表明,两种雅长铁皮石斛中的鲜味氨基酸和苦味氨基酸的总量无显著性差异,但选育种中这两类氨基酸的占比均高于原生种,这可能是人们



在日常保健中常选择风味更好的选育种的原因之一。衡量食品中氨基酸营养价值的高低,不仅取决于一类或几类氨基酸的含量高低,更重要的是其相对含量与构成比例。根据 FAO/WHO 的建议,优质食品中必需氨基酸总量与氨基酸总量的比值应大于 40%,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值应大于 60%<sup>[32,33]</sup>。原生种和选育种的 EAA/TAA 均接近 40%,EAA/NEAA 均超过 60%,证明这两种铁皮石斛均具有一定的营养价值。必需氨基酸比值系数分常用来综合衡量食品中必需氨基酸的营养价值,本研究结果表明选育种中必需氨基酸营养价值要高于其原生种。但两者总体上与 FAO/WHO 推荐模式有一定的差距,其蛋白质的相对营养价值不太理想,蛋氨酸和半胱氨酸(Met + Cys)均为第一限制氨基酸,所以在今后的生产加工中应适当补充含硫氨基酸,以平衡其氨基酸组成比例和提高其产品的营养价值。

### 3.3 原生种的基本营养成分含量高于选育种

在基本营养成分方面,两种雅长铁皮石斛中含量最高的均为总多糖。石斛多糖是铁皮石斛中的主要活性物质,《中华人民共和国药典(二部)》<sup>[1]</sup>规定铁皮石斛中的石斛多糖含量不得低于 25%。目前,多糖含量的高低已成为评价铁皮石斛质量好坏的标准之一。大量研究指出,石斛多糖是一种多功能的活性物质,在抗氧化<sup>[34,35]</sup>、免疫调节<sup>[36,37]</sup>、抗肿瘤<sup>[12]</sup>等医疗保健方面具有很好的表现。本研究发现,两种雅长铁皮石斛中总多糖含量分别为 48.3%、48.4%,不仅远高于国家标准,而且还高于新疆<sup>[38]</sup>、浙江<sup>[17]</sup>、海南<sup>[17]</sup>等地所产的铁皮石斛的总多糖含量。由此可见,两种雅长铁皮石斛在总多糖的提取加工等方面具有巨大潜力。乐业地处云贵高原东南麓,昼夜温差较大,且全年日照时间较长,这可能是该地铁皮石斛总多糖含量高于其他地区的原因之一。

在两种雅长铁皮石斛中,粗纤维的含量仅次于总多糖,但两者存在显著差异,原生种的含量更高。粗纤维作为构成植物细胞壁的主要物质,包括纤维素、半纤维素、木质素和角质等。粗纤维素含量的多少会直接影响人们的口感体验。乔旭光等<sup>[39]</sup>在大白菜(*Brassica pekinensis*)的营养品质和感官品质的相关性研究中表明,大白菜中的粗纤维对感官品质起负向作用。因此,相比于选育种,原生种较高含量的粗纤维可能是导致其口感较差的原因之一。粗纤维是继糖类、蛋白质等之后的“第七大营养物质”,又称为“膳食纤维”,虽然不可被人肠道吸收和利用,但越来越多

的研究发现,膳食纤维在人体健康和糖尿病等慢性病的治疗方面起着重要的作用<sup>[40]</sup>。目前,膳食纤维主要来源于植物性食物,玉米、小麦、荞麦等杂粮类膳食纤维的含量最高。在常见的各类蔬菜中,圆白菜膳食纤维含量为 1.67%、芹菜为 1.64%、空心菜为 1.0%、韭菜为 1.1%、木耳为 7%<sup>[41]</sup>。本研究发现,雅长铁皮石斛原生种中的粗纤维含量为 7.5%,约为选育种的 1.6 倍,由此可见,在铁皮石斛其他营养成分或药用成分被加工利用后,其剩余的高含量膳食纤维也具有潜在的开发利用价值。另外,两种雅长铁皮石斛中的粗蛋白含量存在显著差异,原生种约为选育种的 2.0 倍。在同一栽培环境下,两种雅长铁皮石斛是否因种质资源不同而产生粗蛋白和粗纤维含量方面的显著差异值得进一步探究。

## 4 结论

本研究对雅长铁皮石斛原生种和选育种的营养成分进行了综合对比分析,发现原生种的基本营养成分、矿质元素含量等均优于选育种,其中两者的矿质元素含量差异最大。说明雅长铁皮石斛原生种营养价值更高,但选育种粗纤维含量低、口感好,这使得选育种在产品商业化方面更具优势。对雅长铁皮石斛的原生种和选育种进行营养价值的对比分析,不仅明确了选育种与原生种之间的差距,还可为未来的育种栽培、产品开发等提供科学依据。但本研究只是对同一时期的两种铁皮石斛的营养成分和价值进行对比分析,其营养成分的动态变化还需进一步研究,以确定最佳采收期,为实现该植物资源的产业化提供科学的理论依据。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第一卷[M]. 北京:科学出版社,1999:117.
- [3] FAN Y, HE X, ZHOU S, et al. Composition analysis and antioxidant activity of polysaccharide from *Dendrobium denmanum* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2009, 45(2): 169-173.
- [4] 蔡光先, 李娟, 李顺祥, 等. 铁皮石斛古代与现代的应用概况[J]. 湖南中医药大学学报, 2011, 31(5): 77-81.
- [5] 吕圭源, 颜美秋, 陈素红. 铁皮石斛功效相关药理作用研究进展[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(4): 489-493.
- [6] 赵琦, 张飞, 刘杰民, 等. 基于网络药理学和分子对接方法探究铁皮石斛治疗慢性萎缩性胃炎的作用机制[J]. 现代药物与临床, 2022, 37(4): 692-699.

- [7] 刘雪娜, 吴雪娇, 刘顺航, 等. 铁皮石斛的药理作用及其保健食品研发进展[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(10): 144-150.
- [8] VELLUPILLAI M, SWARUP S, GOH C J. Histological and protein change during early stages of seed germination in the orchid, *Dendrobium crumenatum* [J]. Journal of Horticultural Science, 1997, 72(6): 941-948.
- [9] 丁玉莲, 林李雁, 陈丹青, 等. 一测多评法结合双波长法分析不同产地、栽培和加工铁皮石斛黄酮类成分的含量[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(14): 3605-3613.
- [10] HU J, HUANG W X, ZHANG F T, et al. Variability of volatile compounds in the medicinal plant *Dendrobium officinale* from different regions [J]. Molecules, 2020, 25(21): 5046.
- [11] 高建平, 金若敏, 吴耀平, 等. 铁皮石斛原球茎与原药材免疫调节作用的比较研究[J]. 中药材, 2002, 25(7): 487-489.
- [12] 何铁光, 杨丽涛, 李杨瑞, 等. 铁皮石斛原球茎多糖 DCP1a-1 的理化性质及抗肿瘤活性[J]. 天然产物研究与开发, 2007, 19(4): 578-583.
- [13] 诸燕, 斯金平, 郭宝林, 等. 人工栽培铁皮石斛多糖含量变异规律[J]. 中国中药杂志, 2010, 35(4): 427-430.
- [14] 许春莹, 钟黎, 杜献洲, 等. 人工栽培铁皮石斛中微量元素的测定[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2002, 15(4): 411-412.
- [15] 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.
- [16] 李佳, 杨晓丽, 杨小丹, 等. 响应面法优化铁皮石斛多糖的提取及其成分分析[J]. 热带农业科学, 2021, 41(10): 39-49.
- [17] 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.
- [18] REYNOLDS A, MANN J, CUMMINGS J, et al. Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses [J]. Lancet, 2019, 393(10170): 434-445.
- [19] WATHARKAR R B, PU Y F, ISMAIL B B, et al. Change in physicochemical characteristics and volatile compounds during different stage of banana (*Musa nana* Lour vs. Dwarf Cavendish) ripening [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14(4): 2040-2050.
- [20] 陈夏威, 蔡春生, 何彬洪, 等. 中山市 18 岁及以上居民膳食钠钾摄入状况与高血压相关性分析[J]. 华南预防医学, 2018, 44(6): 518-522.
- [21] 张高辉. 食用低钠富钾替代盐和健康教育对农村社区人群血压影响的现场观察[D]. 济南: 山东大学, 2012.
- [22] 孟惠平, 李冬莉, 杨延哲. 钙与人体健康[J]. 微量元素与健康研究, 2010, 27(5): 65-67.
- [23] 杨心乐, 王桂兰, 张忠诚. 锰与人体健康[J]. 医学综述, 2006, 12(18): 1134-1136.
- [24] 吴茂江. 锰与人体健康[J]. 微量元素与健康研究, 2007, 24(6): 69-70.
- [25] 张金尧, 汪洪. 锌肥施用与人体锌素营养健康[J]. 肥料与健康, 2020, 47(1): 11-16, 36.
- [26] KALKISIM O, OZDES D, OKCU Z, et al. Determination of pomological and morphological characteristics and chemical compositions of local apple varieties grown in Gumushane, Turkey [J]. Erwerbs-Obstbau, 2016, 58(1): 41-48.
- [27] 黄冰霞, 支添添, 赵志刚, 等. 硒元素与人类健康[J]. 宜春学院学报, 2019, 41(9): 95-101.
- [28] 刘振锋, 东方, 季宇彬, 等. 硒多糖药理活性研究进展[J]. 北京联合大学学报(自然科学版), 2011, 25(4): 36-40.
- [29] 冯耐红, 侯东辉, 杨成元, 等. 不同品种小米主要营养成分及氨基酸组分评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(8): 224-229.
- [30] OSAKO K, FUJII A, RUTTANAPORNVAREESA-KUL Y, et al. Differences in free amino acid composition between testis and ovary of sea urchin *Anthodaris crassispina* during gonadal development [J]. Fisheries Science, 2007, 73(3): 660-667.
- [31] 武彦文, 欧阳杰. 氨基酸和肽在食品中的呈味作用[J]. 中国调味品, 2001, 26(1): 21-24.
- [32] 唐成林, 杨斌, 陶光灿, 等. 八月瓜果实营养成分分析和评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 299-303.
- [33] 周丹蓉, 王小安, 叶新福, 等. 辣木氨基酸分析与营养评价研究[J]. 热带作物学报, 2017, 38(2): 278-282.
- [34] 黄琼, 何燕萍. 铁皮石斛叶多糖提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(9): 48-53.
- [35] 王丽霞, 刘孟宗, 王芳, 等. 铁皮石斛多糖提取及抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2019, 30(2): 85-90.
- [36] 李胜立, 陈程, 杨思林, 等. 霍山石斛类原球茎免疫调节活性的有效部位及其毒理安全性评价[J]. 药物评价研究, 2012, 35(5): 321-327.
- [37] 陈璋辉, 陈云龙, 吴涛, 等. 细茎石斛多糖 DMP4a-1 的结构特性及免疫活性研究[J]. 中国药学杂志, 2005, 40(23): 1781-1784.
- [38] 纪照红, 芮鸿飞, 黎天天, 等. 新疆不同种植年限铁皮石斛营养成分分析与评价[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(11): 152-156.
- [39] 乔旭光, 蒋健箴, 沈征言. 大白菜感官品质与营养品质相关性研究[J]. 园艺学报, 1991, 18(2): 138-142.
- [40] 张颖, 马立飞. 膳食纤维调节糖尿病降血糖作用的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(11): 4583-4588.
- [41] 冯梅武. 什么食物中含膳食纤维最多[J]. 江苏调味副食品, 2008, 25(1): 16.



## Comparative Analysis of Nutritional Components between Wild Species and Breeding Species of Yachang's *Dendrobium officinale*

YANG Yishan<sup>1</sup>, TANG Jianmin<sup>1\*</sup>, DENG Zhenhai<sup>2</sup>, LUO Yajin<sup>2</sup>, ZOU Rong<sup>1</sup>,  
CHAI Shengfeng<sup>1</sup>, WEI Xiao<sup>1</sup>

(1. Guangxi Key Laboratory of Functional Phytochemicals Research and Utilization, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. Guangxi Yachang Orchid National Nature Reserve Management Center, Baise, Guangxi, 533209, China)

**Abstract:** In order to scientifically and rationally exploit the resources of Yachang's *Dendrobium officinale*, the basic nutritional components, amino acids and mineral elements of its wild and breeding species were determined, and the nutritional value of two species of *D. officinale* was evaluated by the amino acid ratio coefficient method. The results showed that four major elements and six trace elements were detected in the two species. Except for B and Fe, the contents of four major elements (Na, Mg, K, Ca) and four trace elements (Zn, Mn, Cu, Se) were significantly higher in the wild species than in the breeding species. The content of K was the highest in the two species, which was 4 430 and 3 650 mg/kg, respectively, and both of them showed the characteristics of 'high potassium and low sodium'. In the wild species, the content of K was approximately 103.5 times higher than Na content, while in the breeding species it was about 187.2 times. Sixteen amino acids were detected, including six essential amino acids (EAA), four umami amino acids (DAA), eight bitter amino acids (BAA), and nine medicinal amino acids (MAA). The total amino acid (TAA) of wild specie and breeding specie were 0.85 and 0.68 g/100 g, respectively. Overall levels of amino acids, essential amino acids and medicinal amino acids were significantly higher in the wild species than in the breeding species. The first limiting amino acid in both species was Methionine + Cysteine (Met + Cys). There was no significant difference in the nutritional value of essential amino acids between the two species, and the essential amino acid ratio coefficient score (SRC) was 54.9 and 56.2, respectively. The wild species had significantly higher levels of crude fiber and crude protein compared to the breeding species in terms of basic nutrients. However, there were no significant differences in the other components. In summary, wild species of *D. officinale* was found to be superior to breeding species in basic nutrients, mineral elements and amino acid content, with particularly significant differences in mineral element content. Consequently, the overall nutritional value of the wild species is higher than that of the breeding species.

**Key words:** Yachang's *Dendrobium officinale*; mineral elements; amino acids content; nutritional value; basic nutritional components