

中国沙棘雄花花被和花粉蛋白质营养评价

成春亚¹, 马艳珠¹, 张文广¹, 李冉¹, 吴海旭¹, 亢琪年¹,
王麒权¹, 邵晶^{1,2,3*}, 崔治家^{1,2,3*}

(1. 甘肃中医药大学药学院, 兰州 730000; 2. 西北中藏药省部共建协同创新中心, 兰州 730000;
3. 甘肃省中医药研究中心, 兰州 730000)

摘要: **目的** 分析中国沙棘雄花花被及花粉蛋白质含量和氨基酸组成及其营养均衡性。**方法** 采用凯氏定氮法和柱后衍生阳离子交换色谱方法分析中国沙棘雄花花被及花粉中蛋白质和氨基酸的含量, 并结合国际上通用的营养价值评价方法对其蛋白质含量、化学评分(chemical score, CS)、氨基酸评分(amino acid score, AAS)、必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)、氨基酸比值系数分(score of ratio coefficient of amino acid, SRCAA)、生物价(biological value, BV)和营养指数(nutritional index, NI)等进行综合评价。**结果** 中国沙棘雄花花被及花粉蛋白质含量分别为 16.07%、20.45%; 中国沙棘雄花花被及花粉中氨基酸含量无显著差异, 17 种氨基酸总含量分别为 13.59 g/100 g、17.06 g/100 g; 蛋白质营养评价表明, 中国沙棘雄花花被及花粉中总必需氨基酸分别为 31.14 g/100 g、33.10 g/100 g, 接近于联合国粮农组织与世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, FAO/WHO)模式(35.0 g/100 g)而低于全鸡蛋模式(49.7 g/100 g)。CS 和 AAS 显示, 含硫氨基酸(蛋氨酸+半胱氨酸)为中国沙棘雄花花被及花粉的第一限制性氨基酸; 两个样品氨基酸比值系数分别为 99.51、98.07, 均接近于 FAO/WHO 模式氨基酸分值(100), 营养价值高; 必需氨基酸指数为 52.80、61.20。**结论** 中国沙棘雄花花被及花粉氨基酸含量丰富, 种类较齐全, 可作为理想的蛋白质来源, 并与其他日常膳食搭配作为氨基酸补充剂应用。

关键词: 中国沙棘; 雄花; 花粉; 蛋白质; 营养评价

Protein nutrition evaluation of the tepals and pollen of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi male flower

CHENG Chun-Ya¹, MA Yan-Zhu¹, ZHANG Wen-Guang¹, LI Ran¹, WU Hai-Xu¹,
KANG Qi-Nian¹, WANG Qi-Quan¹, SHAO Jing^{1,2,3*}, CUI Zhi-Jia^{1,2,3*}

(1. School of Pharmaceutical Sciences, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China;
2. Collaborative Innovation Center for Traditional Chinese Medicine of Northwest China, Lanzhou 730000,
China; 3. Research Center of Chinese Medicine of Gansu, Lanzhou 730000, China)

基金项目: 甘肃省科技计划东西协作专项(鲁甘科技协作项目)(22CX8NA068)、甘肃省高等学校科研项目青年博士基金项目(2022QB-090)、甘肃省教育厅双一流科研重点项目(甘学位函〔2021〕4号)

Fund: Supported by the Special Project for East-west Cooperation of Gansu Science and Technology Program (Lugan Science and Technology Cooperation Project) (22CX8NA068), the Young Doctor Foundation Project of Higher Education Research Project of Gansu Province (2022QB-090), and the Double First-class Key Research Project of Gansu Provincial Education Department (Gan Xueweihean〔2021〕No.4)

*通信作者: 邵晶, 博士, 教授, 主要研究方向为中药药效物质基础及其质量控制与产品开发研究。E-mail: cn221@163.com

崔治家, 硕士, 教授, 主要研究方向为药用植物多样性及中药资源开发利用。E-mail: zhijiacui@126.com

*Corresponding author: SHAO Jing, Ph.D, Professor, Gansu University of Chinese Medicine, No.35, Dingxi East Road, Chengguan District, Lanzhou 730000, China. E-mail: cn221@163.com

CUI Zhi-Jia, Master, Professor, Gansu University of Chinese Medicine, No.35, Dingxi East Road, Chengguan District, Lanzhou 730000, China. E-mail: zhijiacui@126.com

ABSTRACT: Objective To analyze the protein content, amino acid composition and nutritional balance of the tepals and pollen of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi male flowers. **Methods** Used a method of Keldahl nitrogen determination and cation-exchange column method for the analysis of protein and amino acids in the tepals and pollen of male flowers of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi. The protein content, chemical score (CS), amino acid score (AAS), essential amino acid index (EAAI), score of ratio of amino acids (SRCAA), biological value (BV) and nutritional index (NI) and amino acid nutritional balance were measured by the international common nutritional evaluation method. **Results** The content of protein in tepals and pollen of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi was 16.07% and 20.45%, respectively. There was no significant difference in tepals and pollen of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi. The total content of 17 kinds of amino acids were 13.59 g/100 g and 17.06 g/100 g. Protein nutrition evaluation showed that the total essential amino acid in the tepals and pollen of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi was 31.14 g/100 g and 33.10 g/100 g, which was close to the Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (FAO/WHO) model (35.0 g/100 g) but lower than the whole egg model (49.7 g/100 g). CS and AAS showed that sulfur amino acid (methionine+cysteine) was the first limiting amino acid in the male tepals and pollen of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi. The amino acid ratio coefficients of the two samples were 99.51 and 98.07, respectively, which were close to the amino acid score of FAO/WHO model (100), indicating high nutritional value. The essential amino acid index were 52.80 and 61.20, respectively. **Conclusion** The tepals and pollen of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi are rich in amino acids, which can be used as an ideal source of protein, and can be used as amino acid supplement with other daily diets.

KEY WORDS: *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi; male flower; pollen; protein; nutritional evaluation

0 引言

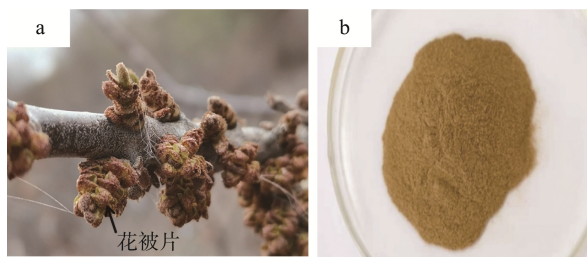
中国沙棘(*Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi)为胡颓子科沙棘属雌雄异株的落叶灌木或小乔木, 占我国沙棘属植物资源的 85%左右, 广泛分布于西藏东南部、四川西部及青海、甘肃、陕西、山西、宁夏、内蒙古、河北、北京、辽宁、吉林等省区^[1]。作为一种药食同源资源, 沙棘的茎、叶、果实、种子均含有丰富的营养物质与生物活性物质, 具有抗炎、抗氧化、保肝、抗衰老、增强免疫力等多重功效, 广泛用于食品、药品、保健品、化妆品和饲料等产品的开发^[2-6]。据统计, 中国沙棘雄株占总资源的 60%以上, 资源量大, 其雄株花序密集, 花量多, 单花花粉量大, 每朵花中平均含(81443±23175)粒的花粉粒, 资源十分丰富, 且雄株比雌株生长势更强、生物量更高^[7]。花及花粉中富含多种氨基酸、矿物元素等常规营养成分, 广泛用于食品、保健品及绿色饲料等方面的开发^[8-10]。而对于中国沙棘雄花花被及花粉开发利用的研究鲜有报道, 因此, 有必要对中国沙棘雄花花被及花粉中基本营养食用价值进行系统的研究。蛋白质是人体必需的营养素, 具有多种生理功能, 氨基酸作为蛋白质的组成部分, 其含量和组成直接影响食品蛋白质的质量^[11]。现代营养理论表明, 氨基酸是食品营养价值评价的重要指标, 其缺乏或过量都会影响食物的营养价值, 蛋白质营养价值评价指标主要根据必需氨基酸模式, 对氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)、必需氨基酸指数(essential amino acid

index, EAAI)、氨基酸比值系数和氨基酸比值系数分等多种参数进行评价^[12]。为揭示中国沙棘雄花营养特性, 本研究以中国沙棘雄花花被和花粉为研究对象, 通过国标法和传统的营养价值评价体系对其蛋白质含量和氨基酸组成进行分析和系统评价, 以期为中国沙棘雄花花被及花粉资源在食品及保健品开发等领域的研究提供基础理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

中国沙棘雄花于 2021 年 4 月采自兰州市榆中县和平镇官滩沟, 海拔 2740 m, 将采集雄花自然干燥, 捡净, 通过过筛及吸附的方法分离雄花花被及花粉, 得到纯净的花被与花粉样品, 经甘肃中医药大学崔治家教授鉴定为 *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi。于-20℃储藏后备用(图 1)。



注: a: 中国沙棘雄花花被及花; b: 中国沙棘花粉。

图 1 中国沙棘雄花、花被及花粉

Fig.1 Male flower, tepals and pollen of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi

1.2 仪器与试剂

Kjeltec™8400 凯氏定氮仪、FOSS Tecator 消化炉(美国 FOSS 公司); FW135 型中草药粉碎机(天津泰斯特仪器有限公司); BS224S 型万分之一天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司); HGZN-11-43 型恒温干燥箱(上海跃进医疗器械有限公司); SYKAM S-433D 氨基酸全自动分析仪、LCAK06/Na 型磺酸基强酸性阳离子交换树脂色谱柱(150 mm×4.6 mm, 5 μm)(德国赛卡姆公司)。

硫酸、氢氧化钠、乙醇、甲醇(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 超纯水(实验室自制); 17 种氨基酸混合标准品(2.5 μmol/mL)、茚三酮(优级纯)(美国 Sigma-Aldrich 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品预处理

取中国沙棘雄花花被及花粉实验材料, 粉碎, 过 80 目筛, 粉末密封, -20℃保存, 备用。

1.3.2 水分含量测定

参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中直接干燥法, 称取 3 g 经过预处理的中国沙棘雄花花被和花粉样品(精确至 0.0001 g), 平行 3 份, 于 105℃烘箱中干燥至恒重, 计算水分含量。

1.3.3 蛋白质含量测定

参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法, 称取 0.2~2.0 g 样品(精确至 0.001 g), 在 FOSS Tecator 消化炉中消化至溶液呈淡蓝色澄清透明后, 使用全自动凯氏定氮仪测定氮含量, 并换算为蛋白质含量(换算系数为 6.25)。

1.3.4 氨基酸含量测定

(1) 试液制备

缓冲液 A: 称取柠檬酸三钠 11.8 g 及柠檬酸 6 g, 加入约 300 mL 的水溶解, 再加入乙醇 65 mL 和浓盐酸 5.6 mL, 用水稀释至 1 L(调节 pH 至 3.45), 溶液过 0.45 μm 微孔滤膜。

缓冲液 B: 称取柠檬酸三钠 19.6 g 及氢氧化钠 3.1 g, 硼酸 5.0 g, 加水溶解并稀释至 1 L(调节 pH 至 10.85), 溶液过 0.45 μm 微孔滤膜。

再生液 C: 取氢氧化钠 20 g, 乙二胺四乙酸(ethylenediamine tetraacetic acid, EDTA) 0.2 g, 用水溶解并稀释至 1 L, 用 0.45 μm 微孔滤膜过滤, 即得。

(2) 供试品制备

参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》方法, 称取粉碎后的样品 0.1 g(精确至 0.0001 g)于安培管中, 加入 6 mol/L 的盐酸(含 0.1% 的苯酚)10 mL 进行水解, 缓慢注入氮气将安培管中的空气排出后拧紧管盖, 密封, 置于烘箱中, 于 110℃水解 22 h, 水解完成后冷却至室温, 过滤, 取 0.5 mL, 重复蒸干, 用 3~5 mL 样品稀释液溶解, 过 0.22 μm 微孔滤膜, 即得。

(3) 色谱条件

色谱柱: LCAK06/Na 型色谱柱(150 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: 缓冲液 A、缓冲液 B、再生液 C; 衍生化试剂: 茚三酮; 梯度洗脱程序见表 1; 流速: A 泵(洗脱泵)0.45 mL/min, M 泵(衍生泵)0.25 mL/min; 检测波长: 440 nm(脯氨酸)和 570 nm(其余氨基酸); 进样量: 50 μL。

表 1 梯度洗脱程序
Table 1 Gradient elution programs

时间/min	缓冲液 A/%	缓冲液 B/%	再生液 C/%
0.00	100.0	0.0	0.0
4.00	100.0	0.0	0.0
11.00	85.0	15.0	0.0
17.00	80.0	20.0	0.0
23.00	67.0	33.0	0.0
27.00	20.0	80.0	0.0
29.00	20.0	80.0	0.0
30.00	0.0	100.0	0.0
42.00	0.0	100.0	0.0
42.10	0.0	0.0	100.0
45.10	0.0	0.0	100.0
45.20	100.0	0.0	0.0
58.20	100.0	0.0	0.0
58.30	100.0	0.0	0.0

(4) 氨基酸的测定

精密吸取混合对照品溶液和供试品溶液各 50 μL, 按 1.3.4(3)项下色谱条件进行检测, 分别于 440 nm 和 570 nm 的检测波长下对混合对照品和供试品中氨基酸成分进行分离^[14]。

1.3.5 蛋白质营养价值评价

CS 和 AAS 采用联合国粮食及农业组织(1973)推荐的方法^[14], 按公(1)、(2)计算:

$$CS = \frac{A_x \times E_e}{A_e \times E_x} \times 100 \quad (1)$$

$$AAS = \frac{A_x}{A_s} \times 100 \quad (2)$$

式中, A_x 为待评蛋白质中某一必需氨基酸的含量, g/100 g; A_e 为待评蛋白质中必需氨基酸的总含量, g/100 g; E_x 为标准鸡蛋蛋白中相应必需氨基酸含量, g/100 g; E_e 为标准鸡蛋中必需氨基酸总含量, g/100 g; A_s 为联合国粮农组织与世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, FAO/WHO)评分模式氨基酸含量。

EAAI 参照黄新球等^[15]的方法, 按公式(3)计算:

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{Lys^t}{Lys^s} \times \frac{Val^t}{Val^s} \times \dots \times \frac{Leu^t}{Leu^s}} \times 100 \quad (3)$$

式中, 上标 t 为待评蛋白质的氨基酸; s 为标准鸡蛋蛋白氨基酸; n 为测定的氨基酸种数。

氨基酸比值系数分(score of ratio coefficient of amino acid, SRCAA)参考张莉等^[16]的方法, 以 FAO/WHO 的氨基酸模式进行蛋白质评价, 按公式(4)~(6)计算:

氨基酸比值=待测蛋白质中氨基酸含量/模式蛋白氨基酸含量 (4)

氨基酸比值系数=氨基酸比值/氨基酸比值平均数 (5)

SRCAA=100-CV×100 (6)

式中, CV 为氨基酸比值系数的变异系数。

生物价(biological value, BV)参照采用 OSER^[17]提出的方法, 按公式(7)计算:

BV=1.09×EAAI-11.7 (7)

营养指数(nutritional index, NI)参照张金振等^[18]采用的方法, 按照公式(8)计算:

$$NI = \frac{EAAI \times PP}{100}$$
 (8)

式中, PP 为蛋白质百分含量, %。

1.4 数据处理

采用 Excel 2013、SPSS 26.0 和 Origin 9.1 等软件进行数据处理与图表制作。水分、蛋白质含量均表示为平均值±标准偏差($n=3$), 氨基酸测定结果中采用外标一点法计算各氨基酸和总氨基酸含量, 样品平行测定 2 次。

2 结果与分析

2.1 中国沙棘雄花花被及花粉中蛋白质及氨基酸含量分析

通过测定, 中国沙棘雄花花被及花粉中水分含量为(9.67±0.17)%、(5.91±0.06)%, 蛋白含量分别为(16.07±0.3)%、(20.45±0.7)%, 若以 GB 31636—2016《食品安全国家标准 花粉》中规定的蛋白质含量不小于 15%的限定值判断, 则中国沙棘花粉合格。

由表 2 可知, 中国沙棘雄花花被及花粉中均含有 17 种氨基酸, 总含量分别为 13.59 g/100 g、17.06 g/100 g, 其中 7 种为必需氨基酸, 必需氨基酸色氨酸由于在酸性条件下被降解, 未检测到。中国沙棘雄花花被及花粉中 TEAA 含量分别为 4.99 g/100 g、6.75 g/100 g, 花粉中含量较高。其次, 除了精氨酸外, 中国沙棘花粉中各氨基酸组分含量

均高于中国沙棘雄花花被, 尤其是谷氨酸含量, 谷氨酸作为机体代谢不可或缺的氨基酸, 在保护肝脏、改进维持大脑机能和治疗神经损伤等各方面具有重要作用^[19]。

表 2 中国沙棘雄花花被片及花粉中蛋白质及氨基酸含量
Table 2 Content of protein and amino acids of tepals and pollen in male flowers of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi

氨基酸	花被/(g/100 g)	花粉/(g/100 g)
天冬氨酸(Asp)	2.86	3.00
丝氨酸(Ser)	0.54	0.69
苏氨酸(Thr)*	0.78	1.09
谷氨酸(Glu)	1.32	2.06
甘氨酸(Gly)	0.72	0.84
丙氨酸(Ala)	0.60	0.89
半胱氨酸(Cys)*	0.04	0.08
缬氨酸(Val)*	0.70	0.87
甲硫氨酸(Met)*	0.02	0.09
异亮氨酸(Ile)*	0.57	0.77
亮氨酸(Leu)*	0.89	1.24
酪氨酸(Tyr)*	0.49	0.58
苯丙氨酸(Phe)*	0.58	0.78
组氨酸(His)	0.56	0.65
赖氨酸(Lys)*	0.94	1.27
精氨酸(Arg)	0.76	0.64
脯氨酸(Pro)	1.26	1.54
TAA/%	13.59	17.06
TEAA/%	4.99	6.75
(TEAA/TAA)/%	36.64	39.54
(TEAA/NEAA)/%	57.84	65.43
PP/%	16.07±0.3	20.45±0.7

注: *必需氨基酸; 总氨基酸(total amino acid, TAA); 必需氨基酸(essential amino acid, EAA); 总必需氨基酸(total essential amino acid, TEAA); 非必需氨基酸总量(total non-essential amino acids, NEAA)。

采用样本 T 检验对中国沙棘雄花花被及花粉中氨基酸含量进行显著性分析(表 3), 结果表明中国沙棘雄花花被及花粉的各氨基酸含量统计检验结果均未达到显著水平($P>0.05$), 无统计学意义。

表 3 中国沙棘雄花花被及花粉样本 T 检验结果

Table 3 T test results of tepals and pollen in male flowers of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi

样品	平均值	标准偏差	方差方程的 Levene 检验		t	df	Sig. (2-tailed)	差值 95%置信区间	
			F	显著性				下限	上限
花被	1.0029	0.7032	0.419	0.522	0.887	32	0.381	-0.26285	0.66873
花粉	0.8000	0.6280							

为分析不同样品中氨基酸成分差异, 根据已有文献数据^[20-22], 利用 Origin 软件对 11 种不同种植物花粉及中国沙棘雄花花被及花粉中 17 种氨基酸含量进行聚类分析, 结果见图 2, 上侧树状为不同样品间聚类, 左侧为不同种类的氨基酸含量聚类, 从左侧氨基酸聚类来看, 17 种氨基酸大致可分为 EAA 和 NEAA。其次, 根据氨基酸含量高低, 不同植物来源的样品和不同样品的氨基酸成分均呈现出一定的聚类特性; 其中, 中国沙棘雄花花被和花粉及不同植物来源花粉中含量较高的氨基酸依次为: 天冬氨酸>谷氨酸>脯氨酸>赖氨酸>亮氨酸>苏氨酸, 半胱氨酸和甲硫氨酸含量最低, 可适当配伍动物类蛋白食用补充人体所需^[23]; 其次, 不同品种的植物源花粉氨基酸含量存在差异, 而同一植物的不同部位中氨基酸含量相近, 这一结果与 TAHA 等^[24]和邢炳媛等^[25]研究报道相似。

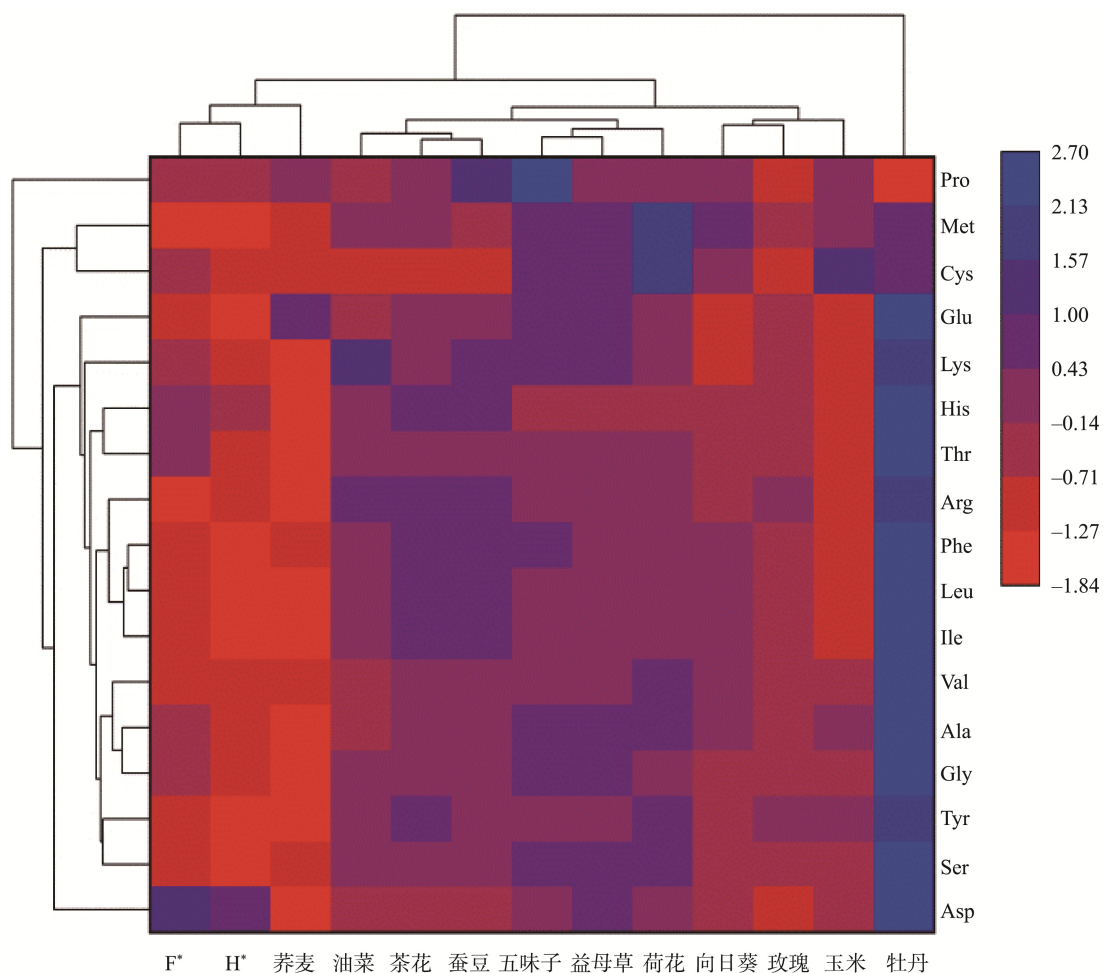
根据 WHO/FAO 模式, 理想蛋白质中必需氨基酸/总必需氨基酸(TEAA/TAA)比值应在 40%左右, TEAA/NEAA 的值约为 60%^[14]。本研究测定的中国沙棘雄花花被及花粉

TEAA/TAA 分别为 36.64%、39.54%, TEAA/NEAA 分别为 57.84%、65.43%(表 2), 均接近或符合 FAO/WHO 提出的理想蛋白模式, 蛋白质比例均符合人体所必需氨基酸比例, 说明中国沙棘花被及花粉均能够有效提供必需氨基酸, 在营养学上具有一定的利用价值, 可以考虑作为开发食用原料或保健品的重要蛋白资源。

2.2 中国沙棘雄花花被及花粉蛋白质营养评价

2.2.1 中国沙棘雄花花被及花粉 CS 和 AAS

研究发现^[26], 必需氨基酸的组成比例、种类和数量决定蛋白质的营养价值, 当某种必需氨基酸缺乏时, 将会导致蛋白质中其他氨基酸不能被充分利用。按照 FAO/WHO 氨基酸模式, 理想蛋白质的 TEAA 含量需达到 35 g/100 g, 将中国沙棘雄花花被及花粉中氨基酸含量转化为每 100 g 蛋白质中该氨基酸的含量, 以 FAO/WHO 模式(35.0 g/100 g)和全鸡蛋蛋白质(49.7 g/100 g)^[27]为参比蛋白, 比较分析了中国沙棘雄花花被及花粉蛋白的必需氨基酸含量特征, 见表 4。结果表明



注: H*、F*分别表示中国沙棘雄花花被及花粉样品。

图 2 中国沙棘雄花花被及不同品种花粉中氨基酸聚类分析热图

Fig.2 Amino acid cluster analysis thermogram of male tepals of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi and pollen of different species

表 4 中国沙棘雄花花被及花粉蛋白的必需氨基酸组成(g/100 g pro)

Table 4 Essential amino acid composition of protein in tepals and pollen in male flowers of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi (g/100 g pro)

样品	蛋白中必需氨基酸含量							TEAA 含量
	Thr	Val	Met+Cys	Ile	Leu	Phe+Tyr	Lys	
花被	4.85	4.36	0.37	3.55	5.54	6.66	5.85	31.14
花粉	5.33	4.25	0.83	3.77	6.06	6.65	6.21	33.10
FAO/WHO 模式	4.0	5.0	3.5	4.0	7.0	6.0	5.5	35.0
全鸡蛋模式	4.7	6.6	5.7	5.4	8.6	9.3	7.0	47.3

中国沙棘雄花花被及花粉中总必需氨基酸均接近于 FAO/WHO 模式值; 其中 Thr、Lys、Phe+Tyr 含量均高于 FAO/WHO 模式, 单种氨基酸含量均低于全鸡蛋模式, Met+Cys 含量比例最低, 而 Thr、Phe+Tyr 和 Lys 含量相对过剩, 在使用中可以搭配 Met+Cys 均相对过剩、Lys 相对不足的食用菌类^[28]或 Thr、Phe+Tyr 相对缺乏的谷物类^[29], 达到互补作用, 从而提高蛋白质的营养价值。

AAS 和 CS 的评分值越接近 100, 表明其与模式蛋白的组成越接近, 营养价值则越高。中国沙棘雄花花被的 CS 为 10.02~156.24, 平均值为 99.89; AAS 为 10.72~120.63, 平均值为 86.07, 其评分值均接近或低于 100。中国沙棘花粉的 CS 为 20.89~161.91, 平均值为 100.59; AAS 为 23.72~132.63, 平均值为 92.01, 其评分值接近或超过 100(表 5)。其次, 氨基酸 CS 数据显示, 中国沙棘雄花花被及花粉第一限制性氨基酸均为甲硫氨酸(Met)+半胱氨酸(Cys), 即含硫氨基酸, 第二限制性氨基酸为缬氨酸(Val), 这与国内外已有研究报道的花粉中第一限制性氨基酸为含硫氨基酸相同^[18,30]。

表 5 中国沙棘雄花花被及花粉蛋白的 CS 和 AAS

Table 5 CS and AAS of pollen and tepals in male flowers of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi

氨基酸	花被		花粉	
	CS	AAS	CS	AAS
Thr	156.24	120.63	161.91	132.63
Val	100.05	87.20	91.91	88.60
Met+Cys	10.02	10.72	20.89	23.72
Ile	100.06	88.75	99.32	93.50
Leu	97.50	78.72	100.73	86.29
Phe+Tyr	108.66	110.67	102.17	110.42
Lys	126.53	105.82	127.25	112.91

2.2.2 中国沙棘雄花花被及花粉必需氨基酸指数、必需氨基酸系数、生物价及营养指数评价

以第一限制性 AAS 作为中国沙棘雄花花被及花粉蛋白的评分值, 则中国沙棘花粉的 AAS 和 CS 均较高(表 6), 因此, 如果从第一限制性氨基酸与全鸡蛋蛋白及 FAO/WHO 模式接近程度判断, 则花粉蛋白营养更接近于全鸡蛋蛋白及 FAO/WHO 模式。

表 6 中国沙棘雄花花被及花粉蛋白质营养评价

Table 6 Nutritional evaluation of tepals and pollen in male flowers of *H. rhamnoides* subsp. *Sinensis* Rousi

样品	CS	AAS	EAAI	SRCAA	BV	NI
花被	10.02	10.72	52.80	99.51	45.85	7.37
花粉	20.89	23.72	61.20	98.07	55.00	11.24

EAAI 反映了样品蛋白质与参比蛋白质(全鸡蛋蛋白质)的相对营养价值, 指数越高, 表明被评价蛋白质与全鸡蛋模式的必需氨基酸组成越接近^[31]。由表 6 可见, 中国沙棘花粉中必需氨基酸组成接近于全鸡蛋模式, 中国沙棘雄花花被必需氨基酸含量虽然不如中国沙棘花粉, 但因其含有优势氨基酸(如 Phe+Tyr), 因此亦可作为优良蛋白质来源。

根据氨基酸平衡理论, 当食物中氨基酸的 SRCAA 越集中, 表示这些氨基酸在氨基酸平衡上做的贡献越大, SRCAA 越大, 营养价值则越高^[30]。本次研究氨基酸比值系数根据氨基酸平衡理论, 利用 FAO/WHO 提出的氨基酸模式(SRC=100)对中国沙棘雄花花被及花粉蛋白质进行营养评价。结果可得出中国沙棘花被 SRCAA 平均值为 99.51, 花粉 SRCAA 平均值为 98.07, 说明两者营养均衡性均较好, 营养价值较高。

BV 反映了机体消化吸收及利用食物蛋白质的程度, BV 越高, 则蛋白质消化利用程度越高。中国沙棘雄花花被及花粉的 BV 值为 45.85、55.00, 花粉明显高于花被, 表明中国沙棘花粉中蛋白质在消化吸收后的利用程度更高。相比于 CS、AAS、EAAI 等仅考虑了样品蛋白质的氨基酸组成, NI 综合考虑了食物中蛋白质含量和必需氨基酸组成两个因素, NI 值越高, 食品中蛋白质的百分含量越高; EAAI 越大, NI 就越高, 则食物中质营养越丰富^[32]。中国沙棘花粉的 NI 评分(11.24)高于中国沙棘雄花花被(7.37)。综上, 从蛋白质营养价值来看, 中国沙棘花粉高于中国沙棘雄花花被。

3 结论

通过测定得出中国沙棘花粉蛋白含量高于 GB 31636—2016 标准中蛋白质含量限定值(不小于 15%)。方差检验得出, 中国沙棘雄花花被及花粉中氨基酸含量并无显著差异, 说明中国沙棘雄花花被及花粉氨基酸种类齐全、含量丰富, 均含有 17 种氨基酸, 可作为一种重要的蛋白质

资源开发利用。除精氨酸外,中国沙棘花粉中各氨基酸含量均高于中国沙棘雄花花被,其中中国沙棘雄花花被EAA/TAA(36.64%)和EAA/NEAA(57.84%)、花粉EAA/TAA(39.54%)和EAA/NEAA(65.43%)均与FAO/WHO模式值接近,具有较高的食用价值。中国沙棘雄花花被及花粉总氨基酸含量占比中必需氨基酸组成含量明显接近于FAO/WHO模式值(35.0 g/100 g),单个氨基酸含量中苯丙氨酸+酪氨酸含量丰富,接近全鸡蛋模式值,综上中国沙棘雄花花被及花粉具有较高的营养价值和食品开发潜能。通过蛋白质含量、CS、AAS、EAAI、SRCAA、BV和NI值等不同评价指标对中国沙棘雄花花被及花粉中蛋白质进行营养评价,结果除SCRAA外,各评分结果均显示为中国沙棘花粉高于雄花花被,其中主要显示为半胱氨酸+蛋氨酸含量偏低,建议应用中可与牛奶、鸡蛋等动物蛋白结合,进一步提高其营养价值。综合分析发现,中国沙棘花粉营养价值较中国沙棘雄花花被更高,营养价值相对更全面,可作为食品、保健品等开发的主要原料,而花被中蛋白质和氨基酸指数比花粉虽低,但在之后的应用中可作为其他途径开发,如动物饲料,或可与其他日常膳食搭配使用,以达到机体氨基酸的平衡补充。

本研究的不足之处在于中国沙棘雄花花被及花粉样品采样量及采样范围较单一,今后需扩大采样量和采样范围,尤其针对不同地区、不同海拔中国沙棘雄花氨基酸含量开展进一步研究,明确环境因素对其蛋白质营养价值的影响,为合理开发、全面评价中国沙棘雄花提供更多依据。现代营养学研究表明,食物蛋白质的营养价值主要取决于蛋白质的含量和质量,食物蛋白质质量的高低主要取决于必需氨基酸的种类、含量及组成比例^[33]。中国沙棘雄花花被及花粉蛋白质营养丰富,可开发为一种新型植物蛋白源,通过与其他动植物蛋白结合互补,既能提供较高的营养成分,又可丰富现有的植物蛋白资源。后期还需要进行更多的研究,以确定将中国沙棘雄花花被及花粉中蛋白质、氨基酸安全有效地纳入食品、保健品、饲料等应用中的最佳方法。本研究为中国沙棘雄花资源的合理开发和高效利用提供了理论依据,同时也为其用于食品膳食添加剂、保健品、饲料等产品的开发提供了科学依据。

参考文献

- [1] 李旻辉,刘勇,廉永善,等.沙棘[M].北京:中国医药科技出版社,2016.
LI MH, LIU Y, LIAN YS, et al. Seabuckthorn [M]. Beijing: Medicine Science and Technology Press of China, 2016.
- [2] 崔立柱,付依依,刘士伟,等.沙棘营养价值及产业发展概况[J].食品研究与开发,2021,42(11):218-224.
CUI LZ, FU YY, LIU SW, et al. Nutritional value and industry development of seabuckthorn [J]. Food Res Dev, 2021, 42(11): 218-224.
- [3] KUBCZAK M, KHASSENOVA AB, SKALSKI B, et al. *Hippophae rhamnoides* L. leaf and twig extracts as rich sources of nutrients and bioactive compounds with antioxidant activity [J]. Sci Rep, 2022, 12(1): 1095.
- [4] IVANIŠOVÁ E, BLAŠKOVÁ M, TERENTJEVA M, et al. Biological properties of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) derived products [J]. Acta Sci Pol Technol Aliment, 2020, 19(2): 195-205.
- [5] PUNDIR S, GARG P, DVIWEDI A, et al. Ethnomedicinal uses, phytochemistry and dermatological effects of *Hippophae rhamnoides* L.: A review [J]. J Ethnopharmacol, 2021, 266: 113434.
- [6] WANG NN, ZHENG WH, ZHANG KX, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of seabuckthorn and prediction of its Q-markers [J]. China J Chin Mater Med, 2021, 46(21): 5522-5532.
- [7] 哈吉德苏仁.蒙古国蒙古沙棘生长特征及经营研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
HA JDSR. Study on the growth characteristics and management of Mongolian seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* Linn subsp. Mongolica Rousi) in Mongolia [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021.
- [8] LIU X, WANG S, CUI L, et al. Flowers: Precious food and medicine resources [J]. Food Sci Human Well, 2023, 12(4): 1020-1052.
- [9] KOSTIĆ AŽ, MILINČIĆ DD, BARAĆ MB, et al. The Application of pollen as a functional food and feed ingredient-the present and perspectives [J]. Biomolecules, 2020, 10(1): 84.
- [10] KOMOSINSKA-VASSEV K, OLCZYK P, KAŹMIERCZAK J, et al. Bee pollen: Chemical composition and therapeutic application [J]. Evid Based Comp Alter Med, 2015, 2015: 297425.
- [11] LI Z, LIU J, CHEN Y, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of *Lentinus edodes* from different habitats [J]. Storage Process, 2020, 20(3): 167-172.
- [12] LI Z, HONG T, SHEN G, et al. Amino acid profiles and nutritional evaluation of fresh sweet-waxy corn from three different regions of China [J]. Nutrients, 2022, 14(19): 3887.
- [13] 李运,邱国玉,石晓峰,等.柱后衍生阳离子交换色谱法测定甘肃紫斑牡丹花粉氨基酸含量[J].药物分析杂志,2017,37(6):988-993.
LI Y, QIU GY, SHI XF, et al. Determination of amino acids in *Paeonia rockii* pollen by post-column derivatization cation-exchange chromatography [J]. China J Pharm Anal, 2017, 37(6): 988-993.
- [14] Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization Expert Consultation. Protein quality evaluation report of the joint FAO/WHO expert consultation held in Bethesda [Z].
- [15] 黄新球,杨有仙,卢焕仙,等.5种云南产蜂花粉矿物质元素分析及蛋白质营养评价[J].西南农业学报,2020,33(5):980-986.
HUANG XQ, YANG YX, LU HX, et al. Element analysis and protein nutrition evaluation of five bee pollens from Yunnan province [J]. J Southwest Agric, 2020, 33(5): 980-986.
- [16] 张莉,袁丽娟,向建军,等.江西省菜用大豆蛋白营养评价及地区差异比较[J].大豆科学,2023,42(2):138-146.
ZHANG L, YUAN LJ, XIANG JJ, et al. Nutritional evaluation and regional difference of vegetable soybean protein in Jiangxi Province [J]. Soybean Sci, 2023, 42(2): 138-146.
- [17] OSER BL. An intergrated essential amino acid index for prediction the biological value of protein/albanese AA (ed.) protein and amino acid

- nutrition [M]. New York: Academic Press, 1959.
- [18] 张金振, 吴黎明, 赵静, 等. 13种植物源蜂花粉蛋白质的营养学评价[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 254-257.
ZHANG JZ, WU LM, ZHAO J, *et al.* Nutritional evaluation of bee pollen proteins from 13 different plant species [J]. Food Sci, 2014, 35(1): 254-257.
- [19] SHI L, HAO G, CHEN J, *et al.* Nutritional evaluation of Japanese abalone (*Haliotis discus hannai* Ino) muscle: Mineral content, amino acid profile and protein digestibility [J]. Food Res Int, 2020, 129: 108876.
- [20] YANG K, WU D, YE X, *et al.* Characterization of chemical composition of bee pollen in China [J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(3): 708-718.
- [21] 张孟琴, 孙亚真, 范一霖. 牡丹花粉营养成分评价及相关性分析[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(15): 154-160.
ZHANG MQ, SUN YZ, FAN YL. Evaluation and correlation analysis on nutrition contents of pollen from six different species *Paeonia suffruticosa* [J]. Food Res Dev, 2018, 39(15): 154-160.
- [22] 高丽娇, 刘佳霖, 程尚, 等. 四种花粉的营养成分及含量分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016, (20): 175-177.
GAO LJ, LIU JL, CHENG S, *et al.* Analysis of nutritional components and contents on four kinds of pollens [J]. Heilongjiang Anim Sci Vet Med, 2016, (20): 175-177.
- [23] 尚秀华, 张沛健, 刘果, 等. 木本蔬菜卡亚幼嫩枝叶营养价值分析及评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2023, (8): 1-9.
SHANG XH, ZHANG PJ, LIU G, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional value of tender branches and leaves of woody vegetable *Cnidioscolus aconitifolius* [J]. J Northwest Agric Fore Univ (Nat Sci Ed), 2023, (8): 1-9.
- [24] TAHA EA, AL-KAHTANI S, TAHA R. Protein content and amino acids composition of bee pollens from major floral sources in Al-Ahsa, eastern Saudi Arabia [J]. Saudi J Biol Sci, 2019, 6(2): 232-237.
- [25] 邢炳媛, 郭新森, 潘欣然, 等. 3个桑树品种花粉与叶、皮、花序的蛋白质、氨基酸含量及热值比较[J]. 分子植物育种, 2021, 19(1): 285-290.
XING BY, GUO XM, PAN XR, *et al.* Comparison of protein, amino acid content and calorific value of pollen and leaf bark and tidbits of three mulberry cultivars [J]. Mol Plant Breed, 2021, 19(1): 285-290.
- [26] SHEWRY PR, HEY SJ. The contribution of wheat to human diet and health [J]. Food Energy Secur, 2015, 4: 178-202.
- [27] 姚清华, 苏德森, 颜孙安, 等. 不同种菲律宾鳗肌肉脂肪酸及氨基酸组成特征比较[J]. 中国食品学报, 2016, 16(4): 244-250.
YAO QH, SU DS, YAN SAN, *et al.* Comparison of composition mode of fatty acid and amino acid in *Anguilla bicolor* Pacifica and *Anguilla marmorata* muscle [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2016, 16(4): 244-250.
- [28] 颜孙安, 林香信, 李巍, 等. 闽产食用菌的氨基酸组成特征及其营养评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(19): 7723-7731.
YAN SAN, LIN XX, LI W, *et al.* Amino acid composition characteristics and nutritional evaluation of edible fungi produced in Fujian [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(19): 7723-7731.
- [29] 王婧, 李小平, 刘柳, 等. 燕麦等五种谷物的氨基酸含量综合评价[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(4): 438-445.
WANG J, LI XP, LIU L, *et al.* Principal component analysis and comprehensive evaluation of amino acids of oat and other 4 crops [J]. J Triticeae Crops, 2019, 39(4): 438-445.
- [30] LI QQ, WANG K, MARIAC M, *et al.* Nutrient-rich bee pollen: A treasure trove of active natural metabolites (review) [J]. J Funct Food, 2018, 49: 472-484.
- [31] 李倩倩, 刘玥玥, 李凡, 等. 六种市售禽蛋蛋清氨基酸主成分分析与综合评价[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(1): 224-229.
LI QQ, LIU YY, LI F, *et al.* Principal component analysis and comprehensive evaluation of amino acids in egg white from six kinds of eggs [J]. Food Ferment Ind, 2018, 44(1): 224-229.
- [32] CRISAN EV, SANDS A. Nutritional value the biology and cultivation of edible mushrooms [M]. New York: Academic Press, 1978.
- [33] 宋文俊, 邓海平, 刘丹, 等. 油茶壳栽培富硒香菇的营养评价与分析[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(5): 147-151.
SONG WJ, DENG HP, LIU D, *et al.* Nutritional evaluation and analysis of selenium-enriched *Lentinus edodes* cultivated in *Camellia oleifera* shell [J]. Cere Oils, 2022, 35(5): 147-151.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



成春亚, 硕士研究生, 主要研究方向为中药资源评价、保护与可持续利用研究。
E-mail: ugszyccy@163.com

邵晶, 博士, 教授, 主要研究方向为中药药效物质基础及其质量控制与产品开发研究。
E-mail: cn221@163.com

崔治家, 硕士, 教授, 主要研究方向为药用植物多样性及中药资源开发利用。
E-mail: zhijiacui@126.com