

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.03.017

韩玮, 曾里, 张梦瑞, 等. 大米胚芽营养特性研究[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(3): 156-162.

HAN W, ZENG L, ZHANG M R, et al. Research on nutritional characteristics of rice germ[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(3): 156-162.

# 大米胚芽营养特性研究

韩 玮<sup>1</sup>, 曾 里<sup>1</sup>, 张梦瑞<sup>1</sup>, 李梦阳<sup>1</sup>, 卢洪强<sup>2</sup>, 冉 旭<sup>1</sup>✉

(1. 四川大学 轻工科学与工程学院, 四川 成都 610065;

2. 遂宁永荣高科技有限公司, 四川 遂宁 629000)

**摘要:** 大米胚芽富含多种营养成分, 但目前大多作为大米加工副产物用于饲料或被浪费丢弃, 深加工利用程度不高, 经济效益低。分析了大米胚芽的基础营养成分, 结果表明大米胚芽中有大量蛋白质, 氨基酸种类丰富, 脯氨酸、丝氨酸、天冬氨酸、精氨酸、亮氨酸含量较高; 微量元素种类丰富, 锰(Mn)、铁(Fe)、锌(Zn)的含量显著高于精米; 脂肪酸含量高于小麦胚芽和玉米胚芽, 且饱和脂肪酸占比较高, 营养品质较好, 有较高的开发利用价值; X衍射结果表明胚芽淀粉是典型的A型淀粉, 具有较高的直/支链淀粉比, 有良好的消化性。对大米胚芽的营养成分物质进行测定, 并和市售普通种类主粮进行对比研究, 能够帮助进一步了解其营养特性, 为大米胚芽的开发利用提供科学参考。

**关键词:** 大米胚芽; 营养成分; 脂肪酸; 氨基酸; 微量元素

**中图分类号:** TS201.4    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007-7561(2022)03-0156-07

## Research on Nutritional Characteristics of Rice Germ

HAN Wei<sup>1</sup>, ZENG Li<sup>1</sup>, ZHANG Meng-rui<sup>1</sup>, LI Meng-yang<sup>1</sup>, LU Hong-qiang<sup>2</sup>, RAN Xu<sup>1</sup>✉

(1. College of Biomass Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China;

2. Suining Yongrong High Technology Corporation, Suining, Sicuan 629000, China)

**Abstract:** Rice germ is rich in a variety of nutrients, but at present, most of that is used as a by-product of rice processing for feed or wasted by discarding. The degree of deep processing and utilization is not high, and the economic benefit is low. Through the study about basic nutrients of rice germ, the results showed that there were a lot of proteins composed of abundant kinds of amino acids with high contents of proline, serine, aspartic acid, arginine and leucine. The contents of Mn, Fe and Zn were significantly higher than that of milled rice. The content of fatty acid was higher than that of wheat germ and corn germ, and the proportion of unsaturated fatty acid was higher, so the nutritional quality was better with higher development and utilization value. X-ray diffraction results showed that germ starch was a typical type A starch, with high amylopectin/amylopectin ratio and good digestibility. Through the determination of the nutritional components of rice germ and the comparative study with the common staple food on the market, we can further understand its nutritional characteristics and provide scientific reference for the development and

收稿日期: 2021-11-29

基金项目: 四川大学-遂宁校市合作专项资金省重点研发和成果转化项目(2020CDSN-20)

Supported by: Sichuan University-Suining City Cooperation Fund Provincial Key Research and Development and Achievement Transfer and Transformation Project (No. 2020CDSN-20)

作者简介: 韩玮, 女, 1997年出生, 在读硕士生, 研究方向为食品工程。E-mail: vivahan@vip.qq.com.

通讯作者: 冉旭, 男, 1968年出生, 博士, 副教授, 研究方向为食品工程。E-mail: ranxu01@sina.com.

utilization of rice germ.

**Key words:** rice germ; nutritional components; fatty acid; amino acid; microelement

胚芽是植物胚的组成部分, 有较高的营养价值。大米胚芽是精白米生产的副产物, 富含蛋白质、不饱和脂肪酸、维生素、矿物质等营养成分<sup>[1]</sup>。受制米工艺限制, 生产精白米时, 胚芽、糠层、碎米等被脱去, 造成大量营养成分损失, 胚芽的利用率不高, 未能实现经济利益最大化。小麦胚芽是小麦加工副产物, 有高营养价值, 其深加工产业已历经数年发展, 综合利用程度得到了一定的提高, 仍存在大量商用小麦胚芽在市场流通中难以储存的问题<sup>[2]</sup>。玉米胚芽的脂肪含量达到46%, 且富含优质脂肪酸, 多用于玉米胚芽油的生产, 利用率较高<sup>[3]</sup>。与小麦胚芽和玉米胚芽相比, 大米胚芽的综合利用率较低, 与之相关的基础研究和深加工工艺研究也较少, 难以为其大规模产业化发展提供理论支持。

现有大米胚芽由于工艺加工条件不足, 脱除时与碎米混合情况严重, 难以分离, 致使针对胚芽营养成分的深入研究不足, 主要是简单的营养素含量检测, 分析得出的结论区间范围差值较大, 且受到不同品种、产地的影响, 对企业生产的指导意义不足, 同时由于其不饱和脂肪含量高, 难以长期保存, 对深加工利用提出了更高的要求。

对大米胚芽的基础营养成分如蛋白质、氨基酸、淀粉、脂肪酸进行深入研究, 并将其微量元素与普通大米进行对比, 脂肪酸含量与小麦胚芽和玉米胚芽进行对比, 能够加深对于大米胚芽营养价值的认识, 同时对大米胚芽的深加工综合利用具有指导意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

大米胚芽: 四川三家米业有限公司; 小麦胚芽: 枣庄美乐嘉食品有限公司; 玉米胚芽: 沈阳新佳食品销售有限公司。

盐酸 (HCl)、焦性没食子酸 (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>)、乙醚 (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O)、石油醚、氢氧化钠 (NaOH)、硫酸钠 (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)、氯化钠 (NaCl)、硫酸氢钠 (NaHSO<sub>4</sub>)、氢氧化钾 (KOH)、乙醇 (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O),

95%、甲醇 (CH<sub>3</sub>OH)、正庚烷 [CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>CH<sub>3</sub>], 色谱纯: 成都科龙化工试剂厂; 三氟化硼甲醇溶液, 15%、十一碳酸甘油三酯标准品、37种脂肪酸甲酯混标标准品: Nuchek; G2003-50T SDS-PAGE 凝胶制备试剂盒: 武汉赛维尔生物科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

等离子体质谱仪 Agilent 7700 ICP-MS: 安捷伦科技有限公司; 氨基酸分析仪 A300: 德国曼默博尔公司; 气相色谱质谱联用仪 GC-2010 Plus、自动进样器 auto injector AOC-20i: 日本岛津公司; EMPYREAN X 射线衍射仪: 荷兰帕纳科公司; HH-6 数显恒温水浴锅、TG16-WS 高速离心机: 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司; PowerPac Basic 电泳仪: Bio-Rad Laboratories; ChemiScope 化学发光成像系统: 上海勤翔科学仪器有限公司;  $\mu$ Quant 光谱仪: BioTek 美国伯腾。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 GC 色谱条件

脂肪酸含量的测定参照 GB5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》中的第一法内标法, 脂肪酸甲酯化后利用气相色谱进行分析。色谱柱: PEG20M 弹性石英毛细管柱 (30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25  $\mu$ m); 升温程序: 进样口温度 250  $^{\circ}$ C, 起始柱温 40  $^{\circ}$ C, 保持 3 min 后, 以 10  $^{\circ}$ C/min 升温至 160  $^{\circ}$ C, 不保持, 再以 5  $^{\circ}$ C/min 升温至 240  $^{\circ}$ C, 保持 21 min; 载气 (He); 恒压 35 kPa; 不分流, 进样量: 1  $\mu$ L。

#### 1.3.2 氨基酸含量测定

大米胚芽磨粉后过 100 目筛, 称取 300 mg 样品加入水解管中, 再加入 6 mol/L HCl 10 mL, 水解管封管后于 110  $^{\circ}$ C 水解 24 h。水解完成后加入 10 mol/L NaOH 溶液中和定容至 50 mL, 双层滤纸过滤, 10 000 r/min 离心 10 min, 取上清液过 0.45  $\mu$ m 膜用全自动氨基酸分析仪 A300 进行氨基酸分析<sup>[4]</sup>。

#### 1.3.3 微量元素测定

大米胚芽磨粉后过 100 目筛, 称取 0.200 g 样品加入微波消解管中, 再加入 5 mL 质量分数为

65%的硝酸，加盖，放置 1 h。在全能型微波工作化学平台中对样品进行消解。消解完毕后，100 °C 加热赶酸 30 min<sup>[5]</sup>。样液定容后利用 ICP-MS 仪器全扫测定。

### 1.3.4 蛋白质分子量测定

大米胚芽磨粉后过 100 目筛，称取 20.0 g，按 1 : 8 的固液比加入蒸馏水，用 1 mol/L NaOH 溶液调 pH 值为 11 左右，60 °C 恒温搅拌碱液浸提 90 min，在 4 000 r/min 条件下离心 20 min，取上清液，用 1 mol/L HCl 溶液调 pH 值为 7，加入适量硫酸铵至 80%饱和度，在室温条件下进行盐析后，在 4 000 r/min 条件下离心 10 min，沉淀于 50 °C 干燥即得大米胚芽蛋白<sup>[6]</sup>。所得蛋白进行凝胶渗透色谱 (GPC) 和聚丙烯酰胺凝胶电泳 (SDS-PAGE) 分析。

### 1.3.5 淀粉晶型测定

大米胚芽磨粉后过 100 目筛，称取 100.0 g，按 1 : 4 的固液比加入 0.2 % NaOH 溶液，室温下

过夜静置 15 h，纱布粗滤，滤液在 4 000 r/min 条件下离心 5 min，去上清液保留白色沉淀物，重复清洗 3 次，沉淀于 45 °C 干燥即得大米胚芽淀粉。所得淀粉进行 X 衍射分析。

## 1.4 数据分析

蛋白质分子量图为 GPC 系统自带形成谱图，X 衍射实验采用 origin 2021 软件绘制图，不同主粮中脂肪酸含量重复三次，选用可信度较高的一组数据，采用 origin 2021 软件绘制图，结果以平均值±标准差 (SD) 表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 蛋白质相对分子量分布

图 1 和表 1 分别为蛋白质分子量分布图和蛋白质具体分子量分布情况。表中 Mn 表示数均分子量，Mw 表示重均分子量，Mz 表示更高的平均分子量，Mp 表示峰分子量；Mw/Mn 为多分散性指数，用于表征高分子分散度。

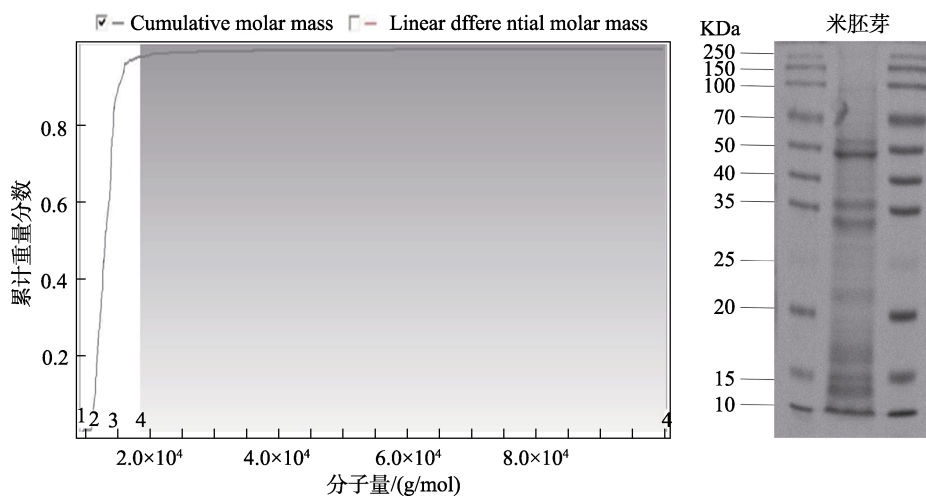


图 1 蛋白质分子量分布图

Fig.1 Protein molecular weight distribution

表 1 大米胚芽蛋白质分子量分布情况

Table 1 Molecular weight distribution of rice germ protein		
	研究项目	数据结果
分子量	Mw/Mn	1.177
	Mz/Mn	11.464
	Mn/(g/mol)	$7.579 \times 10^3$
	Mp/(g/mol)	$5.576 \times 10^3$
	Mw/(g/mol)	$8.922 \times 10^3$
	Mz/(g/mol)	$8.689 \times 10^4$
分子量分布/%	3 650.0~5 500.0 g/mol	0.7
	5 500.0~8 500.0 g/mol	66.8
	8 500.0~13 000.0 g/mol	30.2
	13 000.0~95 662.0 g/mol	2.3

结合图表中各项数据可以看出，大米胚芽蛋白质的分子量均大于 1 kDa，属于生物大分子物质，分子量分布在  $3.65 \times 10^3 \sim 9.566 2 \times 10^4$  g/mol 之间，且分布区间较宽，不同蛋白质间分子量差值较大，在凝胶电泳条带中大范围分布在 10~150 kDa，其中 50 kDa 和 10 kDa 条带清晰显著，为含量较高的蛋白质分子量，这与 GPC 色谱结果一致。分子量在  $3.65 \times 10^3 \sim 5.5 \times 10^3$  g/mol 之间的蛋白质占总量 0.7%；分子量在  $5.5 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^4$  g/mol 之间的蛋白质占总量 97%，这两类蛋白质分子量

在大分子蛋白内属于较小分子量蛋白,易于消化吸收,其中分子量在 $5.5 \times 10^3 \sim 8.5 \times 10^3$  g/mol之间的蛋白质占总量的66.8%;分子量在 $8.5 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^4$  g/mol之间的蛋白质占总量的30.2%; $1.3 \times 10^4 \sim 9.5662 \times 10^4$  g/mol蛋白分子量较大,占总量的2.3%且均大于53 kDa,属于较大分子蛋白质。

大米蛋白中分子峰尖分子量为 $5.576 \times 10^3$  g/mol,数均分子量为 $7.579 \times 10^3$  g/mol,平均分子量为 $8.689 \times 10^4$  g/mol,多分散性指数为1.177。多分散性指数差异越大标志着分子量分布越宽越不集中。结合各类蛋白主要分子量不同,说明大米胚芽蛋白主要以 $5.5 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^4$  g/mol的蛋白质和蛋白亚基为主<sup>[7]</sup>,这与大米蛋白的特征一致。同时多分散性指数差异较小,说明分子量分布的较为集中,出现较小分子量蛋白的原因可能是大米胚芽本身具有少量较小分子蛋白或是由于在提取过程中蛋白质被碱水解,使得小分子蛋白质占比增加。

## 2.2 氨基酸含量测定结果

利用氨基酸自动分析仪对水解后大米胚芽的游离氨基酸进行各类含量测定,结果如表2所示,使用文献方法<sup>[4]</sup>测定氨基酸含量,在20种日常氨基酸种类中,大米胚芽可以测出18种氨基酸,其中必需氨基酸8种,非必需氨基酸10种,氨基酸种类比较齐全,未检出谷氨酸<sup>[8]</sup>和色氨酸,色氨酸在过往研究中均无发现,但谷氨酸在过往研究种一般在大米、小麦中含量较高,这与实验结果有了冲突,可能和强酸水解处理的实验方法以及使用的仪器灵敏度有关,色氨酸只能通过碱水解测出。酸水解得到的是L-氨基酸,同时色氨酸被沸酸完全破坏,含有羟基的氨基酸如丝氨酸或苏氨酸有一小部分被水解,天门冬酰胺和谷氨酰胺侧链的酰胺基被水解成了羧基。碱水解的产物是D-型和L-型氨基酸,色氨酸在水解中不受破坏但过程中许多氨基酸都受到不同程度的破坏,产率不高<sup>[10]</sup>。

大米胚芽中,脯氨酸、丝氨酸、天冬氨酸、精氨酸、亮氨酸等含量均在0.8%以上,含量较高,对于免疫调节等生理活动具有一定的辅助调节功能<sup>[9]</sup>。苏氨酸、缬氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸和异

亮氨酸作为必需氨基酸含量也较高,在0.367%~0.686%之间,赖氨酸为大米的第一限制氨基酸,含量在大米胚芽中高于精米;甘氨酸、丙氨酸、酪氨酸、甲基组氨酸作为非必需氨基酸,含量在0.331%~0.771%之间,可认为大米胚芽能够提供较为全面的氨基酸来源;胱氨酸、组氨酸、羟基脯氨酸和蛋氨酸含量较低,在0.1%左右浮动,可以考虑检测条件对其检出具有一定的影响;羟基脯氨酸为胶原中特有的氨基酸,在大米胚芽中含量低可能是因为蛋白组成不同,本身在植物蛋白中此类氨基酸含量较低。

在大米胚芽蛋白组分中,含硫氨基酸(蛋氨酸和半胱氨酸)含量比较低,这主要是因为氨基酸测定中酸水解引起这两种氨基酸损失<sup>[10]</sup>。大米胚芽中必需氨基酸的含量为3.887%,非必需氨基酸含量为8.475%,必需氨基酸含量与总氨基酸含量的比值(E/T)为0.31,加上未检出的色氨酸,接近于FAO/WHO标准所推荐的0.4;必需氨基酸与非必需氨基酸的含量比(E/N)为0.46,低于FAO/WHO标准所推荐的0.6<sup>[11-14]</sup>。

表2 大米胚芽中氨基酸的含量

Table 2 Contents of amino acids in rice germ g/100g 胚芽			
氨基酸	含量	氨基酸	含量
天冬氨酸	1.002	苏氨酸*	0.584
谷氨酸	-	缬氨酸*	0.686
丝氨酸	1.608	蛋氨酸*	0.146
甘氨酸	0.619	苯丙氨酸*	0.486
精氨酸	0.930	异亮氨酸*	0.367
丙氨酸	0.771	亮氨酸*	0.885
酪氨酸	0.449	赖氨酸*	0.624
胱氨酸	0.133	色氨酸*	-
脯氨酸	2.597	组氨酸*	0.109
甲基组氨酸	0.331		
羟基脯氨酸	0.035	总氨基酸	12.52

注:带“\*”表示为必需氨基酸。

Note: The “\*” indicate essential amino acids.

## 2.3 微量元素含量测定结果

对微量元素含量进行测定,结果由表3可知,大米胚芽中微量元素种类丰富,富含K、Ca、Mg、Na、Fe、Cu、Zn等人体必需微量元素,其中Mn、Fe、Zn、Sn、Sb、Hg等元素的含量显著高于精米,其他微量元素含量也略高于精米。这是由于大米的营养成分主要集中于胚芽部分,而大米精

制过程脱去谷壳、种皮和胚芽，使得糙米中的微量元素大量流失，同时在胚芽的加工过程中，稻谷外壳难以脱除干净、糊粉层极易残留，致使胚芽内的金属元素含量很高。K、Ca、Mg 可以促进牙齿、骨骼的发育。Fe 元素能够预防和治疗缺铁性贫血症的发生。根据 2009—2010 年 NHANES 的数据：300 g 大米胚芽中所含的 K 可以满足婴儿和成人每天对矿质元素的需要，三餐食用大米胚芽能提供一半的 Ca 元素需求，剩余需要其他饮食支持才能达标<sup>[15-16]</sup>。此外，胚芽中含有的硒 (Se) 元素，作为热点元素物质，具有抗氧化<sup>[17]</sup>、抗肿瘤<sup>[18]</sup>等功能，对人体健康的维持起到重要作用。

表 3 大米胚芽中微量元素的含量

Table 3 Contents of trace elements in rice germ

元素	精米内含量 <sup>[5]</sup>	胚芽内含量
硼 B/(mg/kg)	1.06±0.08	0.75
钠 Na/(mg/kg)	11.00±2.50	32.43
镁 Mg/(g/kg)	0.53±0.02	2.14
铝 Al/(g/kg)	(0.59)	0.04
钾 K/(g/kg)	1.40±1.00	9.84
钙 Ca/(g/kg)	0.13±0.02	1.02
钛 Ti/(mg/kg)	(2.7)	0.04
铬 Cr/(mg/kg)	0.17±0.05	0.14
锰 Mn/(mg/kg)	11.50±0.60	115.23
铁 Fe/(mg/kg)	14.40±2.00	89.05
镍 Ni/(mg/kg)	0.21±0.06	0.07
铜 Cu/(mg/kg)	2.60±0.10	7.77
锌 Zn/(mg/kg)	14.60±0.60	93.45
砷 As/(mg/kg)	0.12±0.03	0.04
硒 Se/(mg/kg)	(0.03)	0.36
锶 Sr/(mg/kg)	0.29±0.05	0.22
镉 Cd/(mg/kg)	0.02±0.00	0.01
锡 Sn/(μg/kg)	(9)	188.40
锑 Sb/(μg/kg)	(5.8)	81.18
钡 Ba/(mg/kg)	0.75±0.09	2.32
汞 Hg/(μg/kg)	2.20±0.50	21.39
铅 Pb/(mg/kg)	0.09±0.03	0.06

注：括号内数据表示在以往实验中曾检出。

Note: The data in parentheses indicate that it has been detected in previous experiments.

## 2.4 不饱和脂肪酸含量的测定

利用 GC 对甲酯化后不饱和脂肪酸进行检测，结果如图 2 所示。

根据气相色谱研究结果显示，大米胚芽中含有丰富的脂肪酸，且不饱和脂肪酸占比较高，营养品质较好。其中，亚油酸和油酸均为人体必需

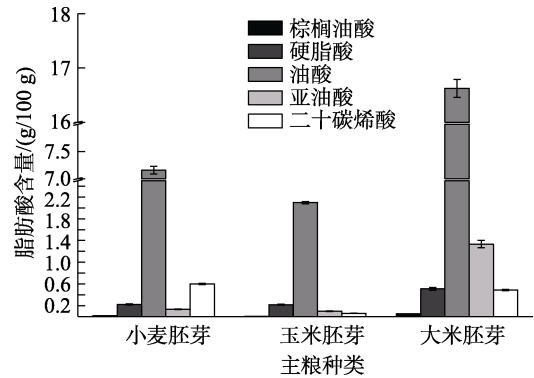


图 2 不饱和脂肪酸含量对比图

Fig.2 Comparison chart of unsaturated fatty acid content

脂肪酸，且人体不能自主合成亚油酸，具有降血脂<sup>[19]</sup>、调节免疫<sup>[20]</sup>、抗炎<sup>[21]</sup>等功能。大米胚芽中亚油酸含量为约为 1.334 8 g/100 g，油酸含量为 16.625 8 g/100 g，均显著高于市售的小麦胚芽和玉米胚芽，这可能是由于现有市售的胚芽产品在加工后不饱和脂肪酸被大量损失，同时由于生产日期过长，不饱和脂肪酸可能被氧化。棕榈油酸属单不饱和脂肪酸，具有调节脂肪代谢、血糖代谢的功能，对于慢性代谢综合症、糖尿病等有一定的辅助治疗作用<sup>[22]</sup>。大米胚芽中棕榈油酸含量约为 0.048 5 g/100 g，高于小麦胚芽和玉米胚芽。此外，大米胚芽中油酸与亚油酸的比值 (O/L 值) 较高，≥10，表明其具有保质期长、营养价值高、更适合加工、食用品质较好的特点。与小麦胚芽和玉米胚芽相比，大米胚芽中的脂肪酸种类和含量更丰富，且比例更优，因此大米胚芽拥有较好的开发利用价值。

## 2.5 淀粉晶型分析

由图 3 可知，大米胚芽淀粉在 2θ 为 15°、17°、18°和 23°处均有较强的衍射峰，呈现典型 A 型结

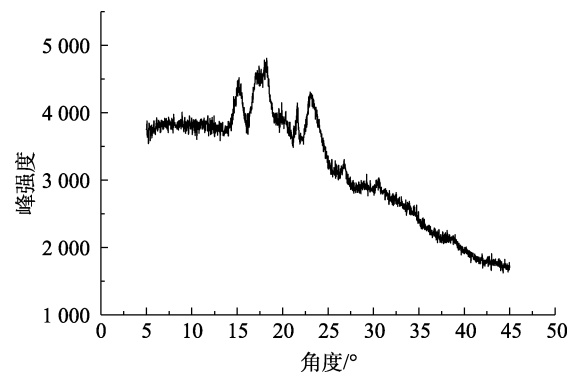


图 3 大米胚芽淀粉晶型 XRD 图

Fig.3 XRD pattern of rice germ starch crystal

晶结构<sup>[23-24]</sup>, 而图中在  $2\theta=20^\circ$  出现的峰是由直链淀粉-脂质复合物产生的, 直链淀粉分子线状过长, 难以形成结晶结构, 而淀粉的结晶结构主要依靠支链淀粉, 因此可以推断出大米胚芽淀粉直链淀粉含量较高, 具有良好的可消化性, 可作为良好的淀粉来源补充能量。

### 3 结论

对大米胚芽主要营养元素含量和成分进行测定, 结果表明, 大米胚芽中的蛋白质以分子量在  $5.5 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^4$  g/mol 之间的蛋白质为主, 与大米蛋白的特征一致, 同时蛋白质分子量分布主要集中在 10 kDa 和 50 kDa 附近; 氨基酸种类较为齐全, 含量较高, 必需氨基酸含量与总氨基酸含量的比值 (E/T) 为 0.31, 必需氨基酸与非必需氨基酸的含量比 (E/N) 为 0.46; 微量元素种类丰富, 富含 K、Ca、Mg、Na、Fe、Cu、Zn 等元素, 且 Mn、Fe、Zn 等元素含量显著高于精米; 胚芽中的淀粉为典型的 A 型淀粉, 具有较好的消化性; 优质脂肪酸含量丰富, 米胚芽中亚油酸含量为约为 1.334 8 g/100 g, 油酸含量为 16.625 8 g/100 g, 棕榈油酸含量约为 0.048 5 g/100 g, 均高于小麦胚芽和玉米胚芽, 具有较高的营养品质和开发利用价值。但与市售生产技术较为成熟的小麦胚芽和玉米胚芽相比, 大米胚芽生产的关键技术研究、深加工利用工艺研究还较少, 亟待解决副产物浪费和胚芽生产过程中难分离、易氧化、难储存等问题。本研究对大米胚芽的营养成分进行深入探讨, 为后续深度研究大米胚芽稳定性和商业生产提供理论参考。

### 参考文献:

- [1] 茅林春. 大米胚芽及其开发利用[J]. 食品工业科技, 1990(4): 47.  
MAO L, Development and utilization of rice germ[J]. Science and Technology of Food Industry, 1990(4): 47.
- [2] 徐斌, 苗文娟, 董英, 等. 中国小麦胚芽资源分布及深加工相关品质[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 244-249.  
XU B, MIAO W, DONG Y, et al. Resource distribution and processing quality of commercial wheat germ in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(2): 244-249.
- [3] 任婷婷, 李书国. 玉米胚芽的营养保健价值及其食品的研究开发[J]. 粮食加工, 2012, 37(2): 60-64.  
REN T, LI S. Review on nutritive value and health function of corn germ and its food development[J]. Grain Processing, 2012, 37(2): 60-64.
- [4] 邓杰, 赵钢, 徐漪沙, 等. 四川地区 2 种藜麦营养成分的比较分析[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(2): 43-46.  
DENG J, ZHAO G, XU Y, et al. Comparison and analysis of nutritional component of two kinds of quinoa in Sichuan[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(2): 43-46.
- [5] 董丹丹, 周谦, 张宜明, 等. 基于电感耦合等离子体质谱检测市售大米中 22 种元素[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(5): 201-205.  
DONG D, ZHOU Q, ZHANG Y, et al. Detection of 22 elements in rice marketed based on inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(5): 201-205.
- [6] 王巍杰, 尹丹. 大米碎米提取大米蛋白和制备淀粉基脂肪替代物的工艺研究[J]. 农业机械, 2011(2): 94-96.  
WANG W, YING D. Study on extraction of rice protein from shredded rice and preparation of starch - based fat substitute[J]. Farm Machinery, 2011(2): 94-96.
- [7] 孙媛. 改良 Osborne 法分级分离四种小麦蛋白的研究[D]. 华南理工大学, 2015.  
SUN Y. Modification of Osborne method for fractionation of four wheat bran proteins[D]. South China University of Technology, 2015.
- [8] 李军, 陈芳远, 易小平, 等. 激光和  $\gamma$  射线复合处理对水稻胚芽中 17 种氨基酸含量的影响[J]. 激光生物学, 1994(3): 489-493.  
LI J, CHEN F, YI X, et al. Effect on 17 kinds of amino acid content of rice bud by laser and  $\gamma$ -ray[J]. Acta Laser Biology Sinica, 1994(3): 489-493.
- [9] 魏旭, 肖志刚, 冯秋娟, 等. 玉米胚芽分离蛋白提取率及氨基酸组分分析[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(11): 51-57.  
WEI X, XIAO Z, FENG Q, et al. Extraction rate of protein isolate in corn germ and its amino acid composition[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(11): 51-57.
- [10] 贾俊强, 马海乐, 骆琳, 等. 脱脂小麦胚芽蛋白分类及其氨基酸组成分析[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(2): 40-45.  
JIA J, MA H, LUO L, et al. Classification of defatted wheat germ protein and amino acid analysis[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(2): 40-45.
- [11] 曹秀娟, 熊键, 印铁, 等. 稻谷加工副产物的营养及功能成分分析[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(1): 5.  
CAO X, XIONG J, YIN T, et al. Analysis on the nutritional and functional components in by-products of rice processing[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2014, 22(1): 5.
- [12] 李静, 佟恩杰, 李慧, 等. 麦芽根营养成分分析及其应用前景[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(3): 141-146.  
LI J, TONG E, LI H, et al. Analysis of Malt Root Nutritional Components and Its Application Prospect[J]. Science and

- Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(3): 141-146.
- [13] 邓媛元, 魏振承, 池建伟, 等. 黑色粮油营养羹的营养成分测定与评价[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 240-243.  
 DENG Y, WEI Z, CHI J, et al. Determination and evaluation of nutritional components in black cereal and oil paste[J]. Food Science, 2012, 33(9): 240-243.
- [14] 王小生. 必需氨基酸对人体健康的影响[J]. 中国食物与营养, 2005(7): 48-49.  
 WANG X. Effects of essential amino acids on human health[J]. Food and Nutrition in China, 2005(7): 48-49.
- [15] 魏爱春, 杨修仕, 么杨, 等. 藜麦营养成分及生物活性研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 272-276.  
 WEI A, YANG X, ME Y, et al. Progress in research on nutritional and functional components and bioactivity of quinoa(chenopodium quinoa wild.)[J]. Food Science, 2015, 36(15): 272-276.
- [16] JULIE H, JOANNE S. Snacking for a cause: nutritional insufficiencies and excesses of U. S. children, a critical review of food consumption patterns and macronutrient and micronutrient intake of U. S. children[J]. Nutrients, 2014, 6(11).
- [17] 秦芸, 石沛霖, 刘维维, 等. 富硒大米肽体内抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(17): 305-309.  
 QIN Y, SHI P, LIU W, et al. Antioxidant activity of the selenium-riched rice peptides in vivo[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(17): 305-309.
- [18] 师雪, 何琪杨. 硒预防肿瘤及机制研究进展[J]. 中国公共卫生, 2018, 34(6): 934-936.  
 SHI X, HE Q. Research progress of selenium in tumor prevention and mechanism[J]. Chinese Journal of Public Health, 2018, 34(6): 934-936.
- [19] 戚登斐, 张润光, 韩海涛, 等. 核桃油中亚油酸分离纯化技术研究及其降血脂功能评价[J]. 中国油脂, 2019, 44(2): 104-108.  
 QI D, ZHANG R, HAN H, et al. Separation and purification of linoleic acid from walnut oil and its hypolipidemic function evaluation[J]. China Oils and Fats, 2019, 44(2): 104-108.
- [20] 曾芸芸. 不同比例的亚麻酸/亚油酸对草鱼幼鱼消化吸收能力和肠道免疫功能的影响及其调控机制[D]. 四川农业大学, 2015.  
 ZENG Y. The effects of different dietary alpha-linolenic acid/linoleic acid ratios on the digestive and absorptive capacity, intestinal immune function and itsregulation mechanism of juvenile grass carp (Ctenopharyngodon idellus)[D]. Sichuan Agricultural University, 2015.
- [21] 赵敏. 亚油酸及亚油酸甲酯的抗炎作用研究[D]. 西南交通大学, 2012.  
 ZHAO M. The research on anti-inflammation of linoleic acid and methyl linoleate[D]. Southwest Jiaotong University, 2012.
- [22] 唐俊. 棕榈油酸与中国儿童青少年肥胖和高血压的关系及机理研究[D]. 浙江大学, 2018.  
 TANG J. Relationship and mechanism of palmitic acid with obesity and hypertension in Chinese children and adolescents[D]. Zhejiang University, 2018.
- [23] 刘延奇, 毛自荐. 超高压处理对淀粉结晶结构的影响研究进展[J]. 食品科技, 2008(9): 13-16.  
 LIU Y, MAO Z. Advances of effect of ultra high pressure treatment on crystal structure of starch[J]. Food Science and Technology, 2008(9): 13-16.
- [24] 杨景峰, 罗志刚, 罗发兴. 淀粉晶体结构研究进展[J]. 食品工业科技, 2007, (7): 240-243.  
 YANG J, LUO Z, LUO F. Research progress on crystal structure of starch[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, (7): 240-243. 完