

# 山西小米资源开发利用的研究 —小米营养蛋白粉制备技术

王丽霞<sup>1</sup>, 孙海峰<sup>1</sup>, 赵海云<sup>2</sup>, 李文德<sup>1\*</sup>

(1. 山西大学谷物化学及品质鉴定实验室, 山西太原 030006;

2. 山西省农业科学院经济作物研究所, 山西汾阳 032200)

**摘要:** 小杂粮是山西的资源优势, 山西小杂粮产量占全国的10%左右, 其中小米是山西最主要的小杂粮谷物, 具有品质好的优点, 开发利用其作为功能食品具有很广泛的应用前景和发展潜力。本文研究小米营养蛋白粉的制备技术, 采用碱法提取小米蛋白, 提取的适合条件为: 提取碱液浓度为 0.1mol/L, 提取时间为 2h, 提取温度为 25℃, 料液比为 1.5~1.6。提取中发现小米蛋白质提取率对提取温度的影响敏感, 所得小米营养蛋白粉产品的纯度达 75%以上。

**关键词:** 小杂粮, 小米, 蛋白粉, 碱法, 提取

**Abstract:** Minor special grains are the preponderant resource in Shanxi, and its yield occupies about 10% of total millet yield of China. The millet is one of the most important minor special grains in Shanxi, and its exploitation as functional food has very extensive application foreground and development potential. The preparation technology of millet nutrition protein powder was studied in this article. The alkaline method was used to extract millet protein, and its appropriate extracting conditions were alkaline concentration (0.1mol/L), extracting time (2h), extracting temperature (25℃), ratio of material to alkaline solution (1.5~1.6). The extracting rate of the millet protein was sensitivity to the extracting temperature. The purity of the millet nutrition protein powder was above 75%.

**Key words:** minor special grains; millet; protein powder; alkaline method; extraction

中图分类号: TS210.4 文献标识码: B  
文章编号: 1002-0306(2007)01-0173-04

小杂粮是山西宝贵的粮食资源, 山西小杂粮产量占全国小杂粮产量的 10%左右。山西是我国小米的主要产区之一, 其小米的突出优点是品质好, 并有

收稿日期: 2006-06-26 \* 通讯联系人

作者简介: 王丽霞(1980-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品化学与营养学。

基金项目: 山西省科技攻关资助项目; 山西省自然科学基金资助项目; 山西省留学基金资助项目; 山西省教委科技攻关资助项目。

“中国小米在山西, 山西小米数第一”之美称<sup>[1]</sup>。小米含有丰富的营养成分, 特别是小米中的氨基酸种类齐全, 含有人体必需的八种氨基酸, 这八种必需氨基酸与大米相比, 除赖氨酸稍逊色外, 其他都超过了大米, 如蛋氨酸含量是大米的 3.2 倍, 色氨酸是大米的 1.6 倍<sup>[2-3]</sup>。小米中的膳食纤维含量高, 膳食纤维具有防癌及预防心血管疾病发生的功效, 因此, 长期食用小米有益健康<sup>[4]</sup>。本文重点研究小米营养蛋白粉的制备技术。据国外文献报道, 小米蛋白质无过敏原物质发现<sup>[5]</sup>, 具有提高血浆中高密度脂蛋白胆固醇水平的效果, 对预防动脉粥样硬化有益及具有调节胆固醇新陈代谢的功能<sup>[6]</sup>, 醇溶谷蛋白和谷蛋白占小米总蛋白组分的 75%, 小米的赖氨酸和色氨酸在其清蛋白(白蛋白)中含量最高, 在其球蛋白中含量最低<sup>[7]</sup>, 小米蛋白质的氨基酸得分为 25, 生物价为 63.8, 其赖氨酸和苏氨酸含量都偏低<sup>[8]</sup>。由此可见, 小米蛋白产品的开发利用具有重要的科学价值。合理利用山西丰富的小米资源, 为其深加工增值探索新出路是本研究的主要目的。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

小米 市售; 考马斯亮蓝 考马斯亮蓝 G-250 溶于 50mL 95%乙醇中, 加入 100mL 85%(W/V)磷酸, 用蒸馏水稀释至 1000mL, 滤纸过滤; 标准蛋白质溶液 称取结晶牛血清白蛋白 0.1g 溶于 0.15mol/L NaCl 溶液中, 配成 1mg/mL 溶液。

721 型分光光度计 上海第三分析仪器厂; FW80 微型高速万能式样粉碎机 黄骅市齐家务科学仪器厂; HQL150B 型摇床 中国科学院武汉科学仪器厂。

### 1.2 碱法提取小米蛋白

取一定量小米, 经粉碎后过 40 目筛, 加一定量

的碱液充分搅拌,离心分离,取上清液测定蛋白质浓度,确定提取工艺条件。

### 1.3 样品总蛋白质的测定

用凯氏定氮法测定原料样品中总蛋白质的含量<sup>[9]</sup>。

总蛋白质计算公式为:

$$\text{总蛋白质}(\%) = [(V_2 - V_1) \times N \times 0.0140 \times K / W \times 100 - X] \times 100\%$$

其中,  $V_2$ ——滴定试样时消耗酸标准溶液的体积, mL

$V_1$ ——滴定空白时消耗酸标准溶液的体积, mL

$N$ ——酸标准溶液的当量浓度

$K$ ——氮换算成粗蛋白质的系数(6.25)

$W$ ——试样质量, g

$X$ ——试样水分含量

0.0140——每毫克当量氮的克数

### 1.4 提取液蛋白质的测定

用考马斯亮蓝染色法测定提取液中蛋白质的浓度<sup>[10]</sup>。考马斯亮蓝染色法测定溶液中蛋白质的优点为快速、灵敏,干扰物质少,精确度高。蛋白质和染料结合是一个很快的过程,约2min就可以反应完全,在595nm处呈现最大吸光度,并可稳定1h。

用牛血清白蛋白(BSA)作标准曲线。绘制标准曲线时,各溶液加样量如下公式所示:

$$V = C + A_x + B_y$$

其中,  $V$ ——溶液总体积为5.1mL

$C$ ——考马斯亮蓝试剂体积为5mL

$A_x$ ——标准牛血清白蛋白溶液体积为  $\mu\text{L}$ ,  $A_x = 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 \mu\text{L}$

$B_y$ ——0.15mol/L NaCl 溶液体积为  $\mu\text{L}$ ,  $B_y = (100 - A_x)$ ,  $B_y = 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40 \mu\text{L}$

用考马斯亮蓝法测定的牛血清白蛋白标准曲线如图1所示。

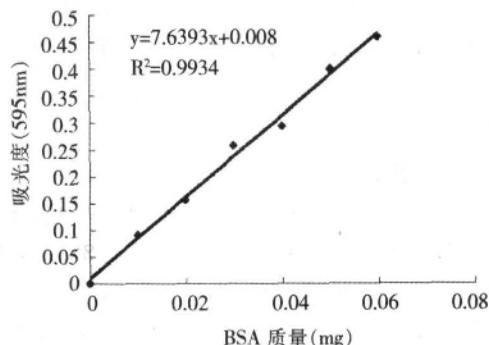


图1 牛血清白蛋白标准曲线  
标准曲线的  $R^2=0.99$ , 表明相关性很好。

### 1.5 小米蛋白提取率的计算

蛋白质提取率(%) = 提取液中的蛋白质质量(g) / 原料中的蛋白质质量(g)  $\times 100\%$

其中: 提取液中的蛋白质质量(g) = 提取液体积(mL)  $\times$  提取液中的蛋白质浓度(g/mL)

原料中的蛋白质质量(g) = 原料的质量(g)  $\times$  原料中总蛋白质含量(%)

## 2 结果与讨论

### 2.1 总氮含量

用凯氏定氮法测定的小米样品中的总蛋白质含量为10.07%。据文献报道,小米总蛋白含量为9.7%<sup>[11]</sup>,测定值与之基本相符。另有文献报道,大米的总蛋白质含量范围为6.8%~7.4%,小米的总蛋白质含量范围为9.3%~12.7%<sup>[9]</sup>,小米的总蛋白质含量明显比大米的高。所以,用小米为原料提取蛋白产品比用大米为原料会有高的产率。

### 2.2 NaOH 浓度变化对小米蛋白提取率的影响

在提取时间为2h,提取温度为25℃和料液比为1:5的条件下,试验NaOH溶液浓度的变化对蛋白质提取率的影响。结果如图2所示。

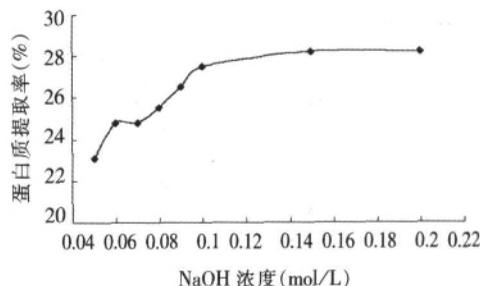


图2 NaOH 浓度变化对小米蛋白质提取率的影响

由图2可以看出,在低的碱浓度时,NaOH浓度变化对蛋白质提取率的影响随着碱浓度的逐渐增加而增大,当NaOH的浓度达到0.1mol/L时,蛋白质提取率升高到27.5%。之后,随着碱浓度的增加,对小米蛋白质提取率变化影响不大。如当碱浓度达到0.2mol/L时,蛋白质的提取率为28.2%,与在碱浓度为0.1mol/L时的27.5%蛋白质提取率相比较仅增加0.7%。碱的作用是把小米胚乳中的蛋白质与淀粉结合形成的紧密结构变得疏松,促使小米蛋白质与淀粉间的分离,使蛋白质,特别是碱溶性谷蛋白能溶解在溶液中。碱同时还有糊化淀粉的作用,当碱浓度过高时会造成提取体系中的糊化淀粉增加,淀粉损失增大,引起提取液粘度增高,导致蛋白质提取难以进行<sup>[12]</sup>,也会对大米蛋白质的色泽产生影响,使其变黄,所以选择0.1mol/L的碱液浓度比较合适。与大米蛋白质提取相比,由于大米淀粉颗粒小,以复粒形式紧紧包结在蛋白质网络中,且二者之间结合力非常紧密<sup>[13]</sup>,因而蛋白质分离更困难,碱浓度的影响会更显著<sup>[12]</sup>,需增多碱的用量,后续精制工序负担也加重。

### 2.3 不同提取时间对小米蛋白质提取率的影响

在提取温度为25℃,NaOH浓度为0.1mol/L和料液比为1:5的条件下,试验提取时间变化对小米蛋白质提取率的影响,结果如图3所示。

从图3中可以看出,提取时间在2h后对小米蛋

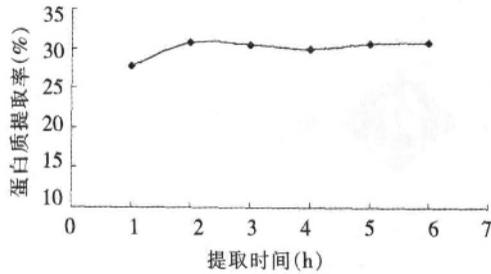


图3 不同提取时间对小米蛋白质提取率的影响

白质的提取率影响不大。如提取时间为 1h 时, 其蛋白质提取率为 27.8%, 2h 时其蛋白质提取率上升为 30.7%, 3h 时其蛋白质提取率为 30.5%, 到 6h 时其蛋白质提取率为 30.8%。大米蛋白质的提取率在 4h 后变化不大, 趋于稳定<sup>[11]</sup>, 明显比小米蛋白质的 2h 增加一倍。提取时间越长, 碱糊化淀粉会增加, 溶液中碱溶性淀粉的量也会增多, 提取液的粘度会变稠, 对蛋白质的提取率和精制工序都会产生不利影响, 所以选取 2h 作为小米蛋白质的提取时间比较合适。从提取时间也可表明, 可能小米蛋白质与淀粉间的结合比较疏松, 所以在短提取时间内蛋白质就能大量溶解出, 达到一个稳定阶段。

#### 2.4 不同提取温度对小米蛋白提取的影响

在提取时间为 2h, NaOH 浓度为 0.1mol/L 和料液比为 1:5 的条件下, 试验提取温度变化对小米蛋白质提取率的影响, 结果如图 4 所示。

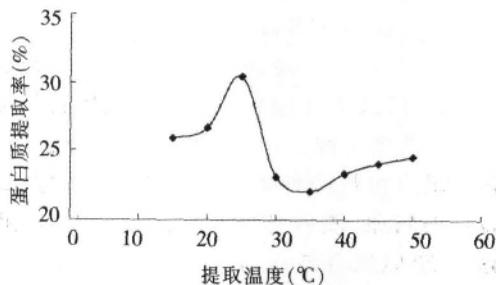


图4 不同提取温度对小米蛋白质提取率的影响

从图 4 可以看出, 提取温度对小米蛋白质的提取率影响明显, 小米蛋白质的提取率在 25 时最大为 30.5%, 30 时蛋白质提取率下降为 23.1%, 40 后提取率虽然缓慢上升, 但也明显低于 25 时的提取率, 如 50 时提取率仅为 24.6%, 可见 25 是小米蛋白质提取的适合温度。提取温度高, 除消耗能源增多外, 使淀粉的糊化程度也加大, 淀粉一般在 60 左右就开始糊化, 糊化淀粉使溶液的粘度增大, 也使蛋白质的溶出更加困难, 导致蛋白质的提取率下降。小米蛋白质对温度的变化很敏感, 明显不同于大米蛋白质, 可能是随着提取温度升高, 小米蛋白质会发生变性, 影响其提取率明显下降。大米蛋白质在 25 时的蛋白质提取率明显低于 40 时蛋白质的提取率, 且从 20~50 随提取温度升高其提取率呈上升趋势<sup>[12]</sup>, 王亚林等报道碱法从大米糟渣中提取蛋白质时的提

取温度为 40<sup>[14]</sup>。

#### 2.5 不同料液比对小米蛋白的影响

在提取温度为 25, NaOH 浓度为 0.1mol/L, 提取时间为 2h 的条件下, 试验料液比变化对小米蛋白质提取率的影响, 结果如图 5 所示。

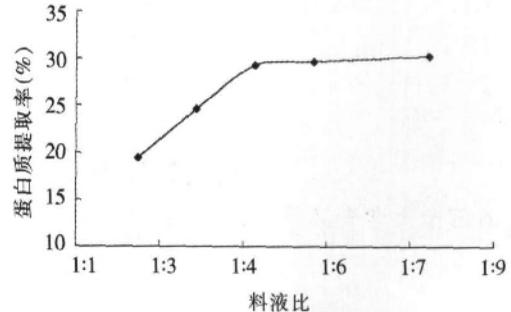


图5 不同料液比对蛋白质提取率的影响

从图 5 中可以看出, 料液比在 1:3~1:5 范围内, 随着料液比的增大, 蛋白质的提取率有一定的升高。当料液比大于 1:5 时, 料液比对小米蛋白质的提取率影响不明显。如料液比为 1:5 时, 其蛋白质的提取率达到 29.3%, 当料液比为 1:6 时, 其蛋白质的提取率为 29.7%, 当料液比高到 1:8 时, 其蛋白质的提取率为 30.3%, 仅比料液比为 1:5 时的蛋白质提取率提高 1%。随着料液比的增加, 溶液的粘度变稀, 有利于小米蛋白质的溶出, 使提取率增大, 但当料液比达到 1:5 后, 小米蛋白质的溶出达到稳定, 故继续增大料液比对蛋白质溶出的影响不大。若料液比过小时, 由于物料过于粘稠, 出现搅拌困难, 蛋白质提取也困难, 其提取率也低, 如料液比为 1:4 时, 蛋白质提取率只有 24.6%。若料液比过大时, 除用水量和碱量消耗增多外, 还由于溶液中蛋白质浓度过低, 大大增加后续工序的负担。所以, 小米蛋白质提取的适合料液比为 1:5~1:6。小米蛋白质提取的合适料液比要比大米蛋白质的低, 可能还是由于小米蛋白质与淀粉结合程度不如大米蛋白质与淀粉结合程度紧密, 其较疏松的结构有利于小米蛋白质在较低料液比时也容易被碱液溶解出。

#### 2.6 最佳提取条件的确定

在碱法提取小米蛋白质的过程中, 体系中化学反应复杂, 影响产品特性的因素多, 严格控制各项参数至关重要, 除考虑影响蛋白质提取率的因素外, 还应考虑生产成本、精制难度、所得蛋白质产品的理化和应用功能特性、营养价值等。

根据试验确定的碱法提取小米蛋白质的适合条件为: 提取碱液浓度为 0.1mol/L, 提取时间为 2h, 提取温度为 25, 料液比为 1:5~1:6。在选用的适合条件下小米蛋白质的提取率达 35% 以上, 在中和、等电点沉淀、脱盐等工序后, 经干燥制得的小米蛋白粉产品其蛋白质纯度达 75% 以上。 (下转第 188 页)

- [2] Foster, Herbert. The Manufacturing Confectioner, 1978, May:51-59.
- [3] Lane M J, H E Nursten, ACS Symposium Series, 1983, 215:141-157.
- [4] Ney K H. Gordian, 1985, 85(5): 88-92.
- [5] J Serra Bonvehi. Investigation of aromatic compounds in roasted cocoa powder[J]. Eur Food Res Technol, 2005, 221:19-29.
- [6] Andrew J Taylor. Food flavor technology[M]. USA: CRC Press LLC, 2000.
- [7] Mason M E, Johnson B, Hamming M C. Volatile components of roasted peanuts: the major monocarbonyls and some noncarbonyl components[J]. J Agric Food Chem, 1967, 15: 66-70.
- [8] 孙保国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [9] 孙宝国, 刘玉平. 食用香料手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004.
- [10] Rohan TA, Stewart T. The precursors of chocolate aroma: changes in the sugars during the roasting of cocoa beans[J]. J Food Sci, 1966, 31: 206-209.
- [11] Ziegler G. Verfahrenstechnische Einflüsse auf Kakaoaroma( ) [J]. Zucker Süsswaren Wirtschaft, 1993, 46: 131-133.
- [12] Edy S de Brito. Effect of glucose and glycine addition to cocoa mass before roasting on Maillard precursor consumption and pyrazine formation[J]. J Sci Food Agric, 2002, 82: 534-537.
- [13] Ziegler G. Z Lebensm Unters Forsch, 1991, 192: 521-525.
- [14] J M Ames. Melanoidins as pro- or antioxidants[J]. Cerevisia, 2001, 26: 210-216.
- [15] WM Coleman III, SN Lawson. Synthesis of materials rich in pyrazines employing no sugar[J]. J Sci Food Agric, 2000, 80: 1262-1270.
- [16] 李和. 食品香料化学-杂环香味化合物[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1992.
- [17] 舒宏福. 新合成食用香料手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [18] Arnoldi, A. et al. Flavor components in the Maillard reaction of different amino acids with fructose in cocoa butter-water. Qualitative and Quantitative analysis of pyrazines[J]. J Agric Food Chem, 1988, 36: 988-992.
- [19] Watterson, et al. Process of producing cacao flavor by roasting combination of amino acids and reducing sugars[P]. USA: 5676993, 1997-11-14.

(上接第 175 页)

### 3 结论

碱法提取小米蛋白的过程中, 小米蛋白质提取的适合条件为: 提取碱液浓度为 0.1 mol/L, 提取时间为 2h, 提取温度为 25℃, 料液比为 1.5~1.6。与碱法大米蛋白质的提取工艺相比, 小米蛋白质对提取温度很敏感, 小米蛋白质的提取时间 2h 比大米蛋白质的 4h 短, 其料液比也较大米蛋白质的低。小米蛋白质的理化和应用功能特性、营养价值等研究工作正在进行中。开发具有营养保健功能的小米蛋白粉产品不仅可以充分利用山西丰富的小米资源, 也为提高其附加值有积极的意义。

#### 参考文献:

- [1] 郭忠, 邵德林. 山西小米、小杂粮开发现状与思考[J]. 中国农业资源与区划, 1999, 20(2): 37-41.
- [2] 王强, 孙晓明, 宋玉丽, 张涛. 小米资源的开发利用[J]. 资源与生产, 2000(6): 26-27.
- [3] 毛丽萍, 李凤翔, 杨玲存. 小米的营养价值和深加工[J]. 河北省科学院学报, 1997, 21: 14-18.
- [4] 刘丽萍. 小米营养及小米食品的开发[J]. 粮油加工与食品机械, 2003(1): 48-49.
- [5] Kasaoka S, Oh-hashii A, Morita T, Kiriyaama S. Nutritional characterization of millet protein concentrates produced by a heat-stable- $\alpha$ -amylase digestion [J]. Nutrition Research, 1999, 19(6): 899-910.
- [6] Nishizawa N, Shimanuki S, Fujihashi H, Watanabe H, Fudamoto Y, Nagasawa T. Proso millet protein elevates plasma level of high-density lipoprotein: A new food function of proso millet [J]. Biomedical and Environmental Science, 1996, 9(2-3): 209-212.
- [7] Chandan M, Matta N K. Characterization of pearl millet protein fractions[J]. Phytochemistry (Oxford), 1990, 29(11): 3395-3400.
- [8] Nishizawa N, Oikawa M, Nakamura M, Hareyama S. Effect of lysine and threonine supplement on biological value of proso millet protein [J]. Nutrition Reports International, 1989, 40(2): 239-246.
- [9] 中华人民共和国国家标准 GB2905-82. 谷类、豆类作物种子蛋白质测定法(半微量凯氏法).
- [10] 王多宁, 赵雁武, 田芙蓉. 考马斯亮蓝微盘比色法测定蛋白质含量[J]. 第四军医大学学报, 2001, 22(6): 528-529.
- [11] 蔡金星, 刘秀凤. 论小米的营养及其食品开发[J]. 西部粮油科技, 1999, 24(1): 38-39.
- [12] 方奇林, 丁霄霖. 碱法分离大米蛋白质和淀粉的工艺研究[J]. 粮油深加工及食品, 2004(12): 22-24.
- [13] 王立, 姚惠源. 大米淀粉生产、性质及其应用[J]. 粮食与油脂, 2004(7): 4-7.
- [14] 王亚林, 钟方旭, 陶兴无, 江贤君. 大米糟渣碱法提取使用蛋白质的研究[J]. 武汉化工学院学报, 2001, 23(3): 7-10.