

# 小米挤压膨化加工营养方便粥的工艺研究

卢健鸣, 巫东堂, 杨 春, 徐 琳, 高忠东

(山西省农业科学院农产品综合利用研究所)

**摘 要:** 通过氨基酸分析评价, 了解本项目主料小米氨基酸品质, 利用双螺杆挤压膨化机熟化, 并采用调整膨化物料含水率、膨化喂料量, 再结合乳化剂的使用和添加玉米等技术措施, 改进小米的膨化效果。采用正交试验, 设计产品配方。结果表明, 选用小米为主料, 其蛋白质基本符合模式标准, 优于大米、小麦、玉米等多种谷物。控制上述 4 种膨化辅助条件, 解决了小米膨化的难题, 而且蛋白质、淀粉等大分子物质部分降解更有利于吸收。经正交试验选择出主料与多种辅料的最佳组合, 使产品蛋白质含量和蛋白质质量大幅度提高, 达到了全价蛋白质的营养水平, 维生素、矿物质等多种营养元素含量也显著提高, 营养很丰富。同时由于多种辅料的配合, 产品的调溶性、复水性、口感等感官质量高, 而且产品中富含了各种辅料所含的多种保健成分。

**关键词:** 小米粥; 挤压膨化; 工艺; 必需氨基酸

**中图分类号:** S377; TS218

**文献标识码:** A

**文章编号:** 100226819(2002)0320123205

谷子(*Sctaria italica* Beauv)是起源于我国的古老粮食作物, 全国年产谷子近  $3 \times 10^9$  kg, 目前在我国北方旱地农业中仍占有重要地位。北方人不仅喜食谷子去皮碾成的小米, 还有把小米粥作为产妇、病人营养补品的传统做法。随着人民生活水平的提高和生活节奏的加快, 营养丰富的谷物方便食品越来越受到人们青睐。目前文献报道较多<sup>[4~10]</sup>和市场上见到的大多数谷物食品是以大米、小麦、玉米等原料制成的, 很少见到小米的产品和有关报道。本研究从谷子氨基酸营养分析评价入手, 解决小米挤压膨化的难题, 并经正交试验进行了小米与多种保健性辅

料的合理配合, 把长期以来不被人们重视的小米研制成具有全价蛋白、营养丰富的方便营养食品, 为小米等杂粮营养方便食品的深度开发开辟一条新路。

## 1 原料与方法

### 1.1 原料

主料: 小米, 用晋谷 21 号优质谷子碾成; 由表 1 看到谷子的必需氨基酸除赖氨酸偏低, (AAS = 0.46, CS = 0.39), 小于 1 以外, 其他必需氨基酸的氨基酸分 AAS 和化学分 CS 均大于 1, 符合标准模式。

表 1 原料小米必需氨基酸的 AAS 和 CS<sup>3</sup>

Table 1 AAS and CS of essential amino acids in millet

项 目	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	蛋+胱氨酸	苯丙+酪氨酸	苏氨酸	缬氨酸	色氨酸
AAS	1.43	2.57	0.46	1.25	2.06	1.20	1.39	2.22
CS	1.09	1.96	0.39	1.08	1.19	1.00	1.00	1.29

辅料: 芝麻、花生、葵花仁、核桃仁, 须当年产品, 颗粒成熟、饱满, 无病虫无杂质; 奶粉, 山西古城牌奶粉; 大豆粉, 山西华益牌; 白砂糖, 山西大同糖厂; 蛋白糖, 深圳郎氏公司; 单甘酯、蔗糖酯, 广州道明精细化学有限公司。

### 1.2 主要设备

DS562 型双螺杆挤压膨化机, 切割式高效粉碎机, 半自动电炒锅, 蜗轮式高效粉碎机, 岛津荧光分光光度计, 三层远红外烤箱, 岛津 650 型原子吸收分光光度计, 121BM 2 贝克曼氨基酸自动分析仪。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 检测方法

粗蛋白: 按 GB 5009.5296 测定; 氨基酸: 按 GB 76249926 测定; 粗脂肪: 按 GB 5009.5296 测定; 钙: 滴定法; 碳水化合物: 按 GB 5009.5296 测定; 铁: 按 GB 12396296 测定; 维生素 B<sub>1</sub>: 按 GB 7628296 测定; 锌: 按 5009.14296 测定; 维生素 B<sub>2</sub>: 按 GB 7628296 测定; 膨化度: 膨化物直径与模头孔径之比; 维生素 E: 高压液相色谱法。

#### 1.3.2 熟制方法

小米用 DS562 型双螺杆挤压膨化机熟化。从调整膨化温度、物料含水率、膨化喂料量、添加蓬松助剂及与其它谷物配合等多种角度进行小米膨化研

收稿日期: 2001211209

作者简介: 卢健鸣, 副研究员, 主要从事谷物加工研究。太原市农科北路 64 号 山西省农科院农产品综合利用研究所, 030031

究;花生仁、核桃仁、芝麻锅炒熟制,杏仁先脱苦后烤箱熟制,大枣、枸杞电热干燥箱脱水熟制。

1.3.3 产品配制方法

产品以小米为主料,选配了花生、杏仁、芝麻、核桃仁等几种干果仁和奶粉、大豆粉、蔗糖等辅料,通过 $L_{16}(4^4)$ 正交试验得到16个组合,综合口感和营养水平以10分制评分,选出最高评分组合即 $A_1B_3C_2D_2$ ,评分为9.3。再调整果仁内容(即杏仁、芝麻等)和奶粉比例,得到芝麻、杏仁、奶油3个品种,正交试验方案见表2。

小米 去杂 加湿 混合 熟化 粉碎 配料 干燥 灭菌 包装 成品  
果仁 去杂 脱皮 熟化 粉碎— 一豆粉 奶粉 白砂糖 蛋白糖

2 结果与分析

2.1 主料的选择

2.1.1 对主料小米蛋白质组成的评价

本文首先对主料小米用12IMB型氨基酸自动分析仪进行了氨基酸的测试分析。对其中8种必需氨基酸以氨基酸分(AAS)和化学分(CS)的评价方式进行了评价。分析表明,小米的必需氨基酸模式与FAO/WHO提供的标准氨基酸模式相比,仅赖氨酸偏低, $AAS=0.46<1$ 以外,其他必需氨基酸的AAS均 $>1$ ,达到了标准。与鸡蛋蛋白相比,赖氨酸 $CS=0.39<1$ ,其他必需氨基酸 $CS>1$ ,详见表1。

2.1.2 谷子与多种谷物蛋白质组成的比较

通过对多种谷物必需氨基酸组成的分析并以化学分评价,从表3看到,谷子仅赖氨酸偏低, $CS=0.33<1$ ,其它氨基酸含量和总的氨基酸模式优于大米、玉米、小麦、高粱、莜麦等多种谷物。同时与它们相比必需氨基酸总量(EAA)分别高出56.4%、80.6%、42.6%、26.4%和54.4%,必需氨基酸指数(EAAI)分别高41%、65%、51.5%、34.3%和43%。

表3 谷子与多种谷物的化学分

Table 3 CS of millet and some cereals							
氨基酸	谷子	大米	小麦	玉米	高粱	莜麦	
异亮氨酸	1.06	0.97	0.81	0.87	1.02	0.98	
亮氨酸	2.02	1.07	0.78	1.52	1.88	0.88	
赖氨酸	0.33	0.49	0.40	0.11	0.38	0.52	
蛋+胱氨酸	0.65	0.30		0.31	0.28	0.24	
苯丙+酪氨酸	1.29	0.50	0.54	0.50	0.55	0.59	
苏氨酸	1.00	0.81	0.62	0.86	0.77	0.71	
色氨酸	1.26	1.05	0.76	0.38	0.69	0.81	
$EAA \cdot 10^{-2} \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	3.262	2.086	1.806	2.287	2.581	2.112	8
EAAI%	92.79	65.82	56.25	61.24	69.10	64.88	

3 AAS和CS计算公式如下:

$$AAS = \frac{\text{谷子蛋白质氨基酸含量}(\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1})}{\text{FAO/WHO 标准氨基酸含量}(\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1})}$$
$$CS = \frac{\text{谷子蛋白质氨基酸含量}(\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1})}{\text{鸡蛋蛋白质氨基酸含量}(\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1})}$$

表2 正交试验因素和水平

Table 2 Factors and levels of the orthogonal experiment

因素	水平			
	1	2	3	4
A 果仁0%	5	10	15	20
B 大豆粉0%	5	10	15	20
C 奶粉0%	2	4	8	12
D 蔗糖0%	5	10	15	20

1.3.4 工艺流程

2.2 膨化条件研究

双螺杆挤压系统核心部件是螺杆、螺套。两螺杆均为左旋,互相啮合,同向旋转。在工作过程中彼此刮研粘在螺杆上的物料镶嵌推进挤压。在此过程中,物料处于密封的高温高压(150~200,980 kPa)状态,并且随着物料的推进,温度压力不断升高而熟化。同时物料变成过热流变体的凝胶状态,并获得大量的能量。当物料经模头被挤压出机器进入常温环境时,体积增大被膨化,理化成分也发生变化。不同的物料由于成分结构的不同,对挤压膨化条件的要求也不同。大米、玉米容易膨化,而小米等杂粮,膨化难度较大。为此从调整膨化温度、物料含水率、膨化喂料量、蓬松剂及与其它物料的配合等多方面对小米的膨化问题进行了 $L_{16}(4^4)$ 的4因素4水平正交试验,找出了最佳膨化技术参数。

2.2.1 膨化温度

DS562型双螺杆挤压膨化机分3个加热区段。第1区段为预热区,一般使用温度为50,第2区为运输区,温度为120~160,第3区为熟化区温度为140~180,多数谷物在此条件下能很好地膨化。而小米经反复试验最后3个区段温度分别为采用70,170和190,这样的极高温度条件下,取得了较好的效果,膨化度达到了2.4。

2.2.2 物料含水率

物料含水率是影响膨化效果的一个重要因素。谷物膨化是物料中水分瞬间汽化而造成,水分不足膨化当然受到限制,但水分过多,使膨化机熟化区的温度低于所需温度,同样会降低物料的膨化度。一般谷物膨化含水率为15%,从图1看到,小米膨化含水率应掌握在17%效果最好,膨化度为2.5。

2.2.3 膨化喂料量

不同谷物所要求的膨化喂料速度不同。小米要求高温高压时间长,输送速度稍慢,喂料量要小于其

他谷物, 试验证明小米的膨化喂料量应掌握在 1.6 kg/min, 可得到较好的膨化效果。(见图 2) 明显低于大米、玉米的 2 kg/min。

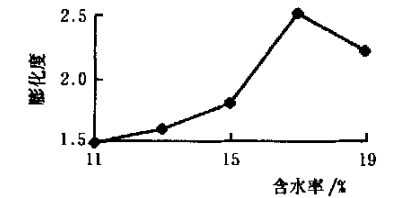


图 1 含水率与膨化度  
Fig 1 Moisture content and extrusion degree

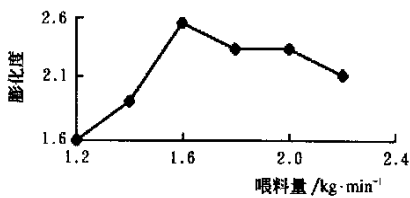


图 2 喂料量与膨化度  
Fig 2 Relationship between feeding amount and extrusion degree

2.2.4 乳化剂的辅助作用

乳化剂作为麦胚类物料的挤压膨化蓬松助剂的研究曾见报道, 在其他谷物上的应用还未见报道。本研究使用了分子蒸馏单甘酯和蔗糖脂肪酸酯, 进行了单独使用和复配使用的膨化试验。结果认为单独使用时, 蔗糖酯效果优于单甘酯, 但将两者以 1:1 和 1:2 复配后加入, 蔗糖酯较多的组合效果最好, 0.4% 为最适添加量 (见图 3)。

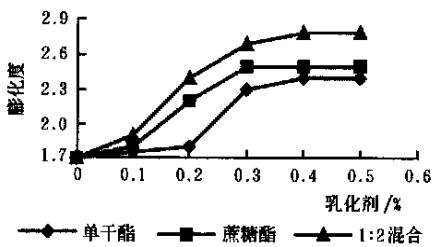


图 3 乳化剂与膨化度  
Fig 3 Emulsion and extrusion degree

2.2.5 以不同比例玉米混合膨化

小米膨化经多种试验条件的调整有明显提高, 但仍不够理想。为了进一步提高小米的膨化效果, 本

文进行了小米与玉米和大米的复配膨化试验<sup>[9, 11, 15]</sup>。大米和玉米与小米配合膨化, 都能改进其膨化效果, 并且随大米、玉米添加的比例增加膨化效果也逐渐提高。但添加大米不能改进膨化物的颜色, 而玉米却有利于膨化物颜色改进, 并且随着添加量增加, 膨化物颜色更加金黄喜人, 其结果如图 4 所示, 从膨化曲线看到, 当玉米添加量由 25% 到 30% 之间曲线最陡, 30% 以后变缓, 而且玉米添加超出 30% 膨化物便产生了粗渣口感, 因而可以 30% 的玉米与小米配合膨化, 即可提高其膨化效果, 改进颜色, 不降低口感。

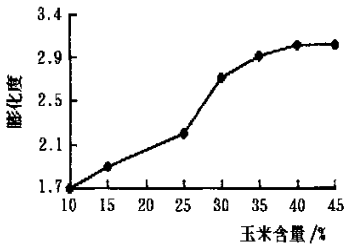


图 4 玉米含量与膨化度  
Fig 4 Maize content and extrusion degree

综合考虑上述 4 方面因素的影响经试验选出最佳辅助技术参数为 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>D<sub>2</sub> 的组合效果最好, 膨化度可达到 3.4, 接近玉米和大米的膨化度 (见表 4)。

表 4 正交试验因素和水平

Table 4 Factors and levels of the orthogonal experiment

因 素	水 平			
	1	2	3	4
A 含水率%	13	15	17	19
B 喂料量/kg·min <sup>-1</sup>	1.2	1.6	2.0	2.4
C 乳化剂%	0.1	0.2	0.4	0.6
D 玉米添加量%	10	20	30	40

2.3 膨化前后小米营养成分的变化

从表 5 看到小米经高温高压挤压膨化营养成分产生了明显的变化, 蛋白质、淀粉等大分子物质部分降解, 小分子物质大幅度增加, 每 100 g 中, 游离氨基酸增加 27.71 mg, 糊精增加了 8.52 g, 还原糖增加 4.54 g, 水溶性成分增加 28.26 g, A 化度 (预糊化度) 增加 63.9, 比膨化前增加了 60% 至几百倍, 这些物质结构的变化更易于人体吸收。

表 5 小米膨化前后营养成分变化 (每 100 g 中含量)

Table 5 Changes of nutrients in millet before and after extrusion

项 目	蛋白质/g	游离氨基酸/mg	脂肪/g	淀粉/g	糊精/g	还原糖/g	A 化度/g	水溶性成分/g
膨化前	10.4	43.05	3.77	75.68	0.92	1.38	12.65	3.34
膨化后	9.15	70.76	1.63	61.02	8.57	5.92	76.55	31.60
增减量	-1.25	+27.71	-2.14	-14.66	+7.56	+4.54	+63.90	+28.26
增减%	-12	64.3	-56.7	-19.4	821	329	505	846

2 4 经辅料调配后产品的营养水平状况

经多种辅料的配合, 产品的营养价值大幅度提高(见表 6), 蛋白质比原小米提高了 38.9%, 含大量不饱和脂肪酸的植物性脂肪提高了 305%, 赖氨酸

提高了 282%, 钙提高了 175%, 锌提高 4.3%, 维生素 B<sub>2</sub> 提高 90%, 维生素 E 提高 122%, 使产品的营养全面提高。

表 6 原料及产品的主要营养成分(每 100 g 原料和成品的含量)  
Table 6 Main nutritional contents in millet and the products

项	目	蛋白质ög	脂肪ög	赖氨酸ög	钙ög	铁äm g	锌äm g	维生素B1äm g	维生素B2äm g	维生素Eäm g
原料	小 米	9.30	3.10	0.17	0.0	5.10	1.87	0.33	0.10	3.63
产 品	芝麻香型	13.32	13.72	0.65	0.20	4.79	2.21	0.37	0.21	11.19
	杏仁香型	13.09	12.55	9.70	0.16	3.21	2.01	0.32	0.25	8.09
	奶油香型	12.91	12.68	0.81	0.11	3.53	1.95	0.26	0.19	8.14
	差 值	3.61	9.45	0.48	0.07	- 1.89	0.08	- 0.07	0.09	4.16
	差值ö%	38.9	305	282	175		4.3		90	122

特别应指出的是, 由于干果仁、大豆粉、奶粉等高蛋白辅料的配合补足了赖氨酸不足的唯一营养缺陷, 产品的 8 种必需氨基酸的比例完全符合 FAO WHO 提出的理想模式标准, 达到了全价蛋白质的高营养水平(见表 7)。

表 7 产品必需氨基酸含量和  
与 FAO WHO 标准模式的比较

Table 7 Comparison of essential amino acid contents  
in the products with FAO WHO model

氨基酸种类	氨基酸含量/%	产品氨基酸模式	FAO WHO 标准模式
苏氨酸	0.52	3.06	2.0
缬氨酸	0.68	4.0	2.9
蛋+胱氨酸	0.72	4.22	3.7
异亮氨酸	0.57	3.35	2.9
亮氨酸	1.18	6.94	4.0
苯丙+酪	1.12	6.59	4.0
赖氨酸	0.62	3.65	3.4
色氨酸	0.17	1	1

3 本表氨基酸含量由农业部谷物检测中心检测。

2 5 对产品感官品质和保健功能的评价

优质小米为喜人的金黄色, 但膨化后便成为暗灰色, 而且在一般条件下, 膨化出的小米膨化度低, 且有夹生的硬芯, 经粉碎后, 冲调性差。本研究通过多种方法首先解决了小米膨化的难题, 去除了夹生, 通过与玉米的配合恢复了小米原有的金黄色。由于多种油料类干果仁、大枣及乳化剂的添加, 使产品的调溶性良好, 风味和口感十分喜人, 全面提高产品的感官品质。

由于其核桃仁、杏仁、芝麻、奶粉、大豆粉、大枣和枸杞等多种营养物质的配合, 益于人体健康的不饱和脂肪酸、苦杏仁甙、芝麻酚、大枣和枸杞多糖等多种功能性保健物质都集中到本产品中, 使产品不

仅蛋白质品质好, 还有很多功能性保健作用。

2 6 产品技术指标

感官指标:

形态: 有粉状冲调糊类和片粥类两种产品, 熟化米粉细度应在 50 目以下, 果仁粒径为 2 mm 左右, 冲调糊开水冲调有良好的冲调性。片粥粒径为 3 mm, 厚度为 1 mm 左右, 沸水冲泡 3 min 后完全复水。

色泽: 小米的天然金黄色。

气味: 有不同产品能嗅到清晰的芝麻、杏仁、奶粉和熟化小米粉的清香味, 无异味。

口味: 口感绵滑、微甜, 嚼有芝麻、花生、奶粉香味, 无异味, 无焦糊味。

包装与保质期: 采用 OPP 与尼龙复合材料包装, 保质期为 12 个月。

3 结 论

1) 产品选用小米为主料, 其蛋白质基本符合标准模式, 优于其他谷物, 品质好。

2) 经优化膨化温度、物料含水率、乳化剂添加量、玉米添加量等, 提高了小米的膨化质量。小米经膨化后, 大分子物质部分降解更利于吸收。

3) 产品经过添加多种辅料, 弥补了氨基酸偏低的缺陷, 并达到了全价蛋白质的高营养水平。

4) 利用杏仁枸杞等多种辅料, 增进了产品的调溶性、口感和保健功能, 成为很好的保健食品。

[参 考 文 献]

[1] Lu Jianming, Yang Chun, Gao Zhongdong Amino acid composition and utilization of 30 food resources [J] Asian Food Product Development, 1998, September, 26~ 32

[2] Giovanni Bonafaccia, Ivan Kreft Possibilities for the development of new products from minor cereals[R] Ditto, 1~ 55

[3] 卢健鸣, 陕 方, 杨 春 合理调配食物结构提高蛋白质营养效价[A] 中国科学技术文库生物卷[M] 北京: 科学技术出版社, 1997, 1, 760~ 761.

[4] 王佩荣 方便面的发展状况及时 L. L 面的研制[J] 陕西食品工业, 1999(4): 23~ 24

[5] 孙武岳 速食方便米饭[J] 中国稻米, 1999(1): 29~ 30

[6] 吴卫国 大米玉米膨化食品生产工艺研究[J] 食品工业, 1998(6): 30~ 31.

[7] 郭立泉 高蛋白荞麦即食面研制[J] 粮油食品科技, 1998(6): 17~ 18

[8] 袁文彬 大米脆片制作[J] 食品科技, 1999(6): 18~ 19

[9] 张祖立, 朱永文, 刘晓峰等 螺杆挤压膨化加工农作物秸秆的试验研究[J] 农业工程学报, 2001, 17(6): 97~ 101.

[10] 李冀新 高纤维膨化玉米粉的研制[J] 粮食与饲料工业, 1999(12): 44~ 45

[11] 张 钟, 杨宏顺, 章绍兵等 玉米酸豆奶的研制[J] 农业工程学报, 2001, 17(5): 135~ 138

[12] 汪江波 谷物实物蒸煮挤压加工技术[J] 粮食与饲料工业, 2000, (10): 43~ 45

[13] 王怡晶 糖类与挤压加工之变化(中国台湾)[J] 食品工业月刊, 2000(3): 42~ 51

[14] 古世禄, 刘 厦 中国谷子蛋白质氨基酸组成的研究[J] 华北农学报, 1989, 4, (1): 8~ 15

[15] 冯凤琴, 刘东红, 叶立扬 甘薯全粉加工及其挤压膨化食品特性的分析研究[J] 农业工程学报, 2001, 17(3): 99~ 102

Technological Study on Instant Nutritional Porridge Processed  
With Extrusion of Millet Grain

Lu Jianming, Wu Dongtang, Yang Chun, Xu Lin, Gao Zhongdong  
(Institute of Food Product Comprehensive Utilization, Shanxi Academy of  
Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

**Abstract:** Quality of amino acids was evaluated by analytical test. Extrusion effect was improved through ripening by screw extruder, adjusting water content of extruded material and feeding rate of extrusion, applying emulser and adding maize. The results show protein contained in the main ingredient, millet, meets standard and is superior to many other cereals such as rice, wheat and maize. Difficulties in millet extrusion were solved by controlling the above mentioned processing conditions, and protein and macromolecular substance of the starch were partly decomposed for better absorption. The best ratio of main ingredients to supplementary ingredients was obtained through orthogonal experiment, greatly increasing protein content and quality of the product and reaching the nutritional level of complete protein. At the same time many other nutritional elements such as vitamins and minerals were also greatly increased. As many supplementary ingredients were added, the product was improved in uniform mixing, water absorption, taste and contained rich health care compositions from supplementary ingredients.

**Key words:** millet porridge; extrusion; technology; essential amino acids