

# 发芽高粱重组营养片的制备

## Preparation of reconstitute germination sorghum flake

李艳 易翠平 李梦婷 杨阳

LI Yan YI Cui-ping LI Meng-ting YANG Yang

(长沙理工大学化学与生物工程学院健康谷物制品研究所, 湖南长沙 410114)

(Institute of Healthy Cereal Product, School of Chemistry and Biological Engineering,  
Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

**摘要:**为改善高粱的食用品质和营养品质,将高粱发芽后,与籽粒苋及籼米互配,以蛋白质和膳食纤维为营养指标,经软件设计配方后,采用挤压成型+辊筒压片的方法制备发芽高粱重组营养片。结果表明,两个重组营养片的配方为:①发芽红高粱 17.3%+籽粒苋 18.1%+籼米 64.6%,经加工后的重组营养片中蛋白质和膳食纤维含量分别可达 8.8%, 7.3%;②发芽白高粱 22.2%+籽粒苋 22.2%+籼米 55.6%,经加工后的重组营养片中蛋白质和膳食纤维含量分别可达 9.5%, 6.6%。感官评定的结果表明,该产品口感较好。

**关键词:**发芽高粱;籽粒苋;重组食品;挤压

**Abstract:** In order to improve the eating quality and nutrition quality of sorghum, reconstitute germination sorghum flakes were prepared by mixing germination sorghum with grain amaranth and non-waxy rice through screw extrusion and roller press. The protein and dietary fiber contents were used as the nutrition index and the processing formula was designed by software. The results indicated that the protein and dietary fiber contents got to 8.8% and 7.3%, respectively, when the products was prepared by mixing 17.3% of germination red sorghum, 18.1% of amaranth and 64.6% of non-waxy rice. And the contents of protein and dietary fiber were 9.5% and 6.6%, respectively, with 22.2% of germination white sorghum, 22.2% of amaranth and 55.6% of non-waxy rice as raw materials. The products tasted well after being evaluated by sensory.

**Keywords:** germination sorghum; grain amaranth; reconstitute food; extrusion

近年来,学者们研究了发芽<sup>[1-3]</sup>、发酵<sup>[2]</sup>、浸泡<sup>[1]</sup>、挤压<sup>[4]</sup>等不同方法以改善高粱的品质,扩大其应用范围。已有的研究<sup>[5-7]</sup>表明:发芽可以使高粱氨基酸总含量和维生素 B<sub>1</sub> 含量升高,单宁含量降低、涩味减淡,可以在新型高粱食品、食品配料及功能保健食品方面进一步应用,非洲也一直有将其作为婴儿断奶食品的传统<sup>[7]</sup>。因此,发芽是提高高粱营养品质和食用品质的有效途径。

籽粒苋(又名千穗谷)是苋科苋属(*Amaranthus hypochondriacus* L.)一年生粮、饲、菜兼用型,高蛋白、高膳食纤维的小品种谷物,其蛋白质含量高于一般谷物,质量超过大豆,与牛奶接近。籽粒苋的氨基酸组成比例合理,且富含赖氨酸<sup>[8]</sup>。近年来的研究<sup>[9]</sup>发现,挤压工艺可以降低籽粒苋的总酚、植酸和抗氧化性,增加其中的可溶性膳食纤维含量,亦有提高其品质的作用。大米是中国最重要的粮食作物,2014年中国大米的年产量已经达到了 2.06 亿 t<sup>[10]</sup>,占中国粮食总产量的 40%,居世界首位。然而长期以来,中国大米加工仅处于一种满足人们口粮需求的初级加工状态,产品结构单一,综合利用水平低。综上,高粱、籽粒苋和大米单独作为食品应用均有自身的优缺点,但三者 in 蛋白质含量和氨基酸组成的构成上可以形成营养互补;高粱和籽粒苋中都含有单宁,而大米口感细腻,可以弥补口感上的不足。

因此,本研究拟采用这 3 种谷物制备重组营养片,旨在开发一种富含蛋白质和膳食纤维的新型杂粮制品,为推动杂粮产业的健康发展提供新的途径。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

红高粱、白高粱、籽粒苋、籼米:市售,以上 3 种粮食分别磨粉,过 80 目筛,备用;

电子天平:CP114 型,奥豪斯仪器(上海)有限公司;

电热恒温培养箱:78-1 型,上海百典仪器设备有限公司;

智能型双螺杆挤压机:FMHE36 型,湖南富马科食品工

**基金项目:**“十二五”国家科技支撑计划(编号:2012BAD34B08);国家自然科学基金(编号:31301404)

**作者简介:**李艳(1991—),女,长沙理工大学在读硕士研究生。

E-mail:1159140331@qq.com

**通讯作者:**易翠平

**收稿日期:**2015-07-08

程技术有限公司；

膳食纤维测定仪:CFS6-GDE 型,意大利 VELD 公司；

冷冻切片机:CM1950 型,德国 Leica 公司；

显微镜:Leica DM4000 B LED 型,德国 Leica 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 制备工艺流程

发芽高粱、籽粒苋、粳米除杂、清洗→磨粉(80 目)→按比例混匀→调质至水分含量约为 18%→螺杆挤压成型(螺杆转速为 160~200 r/min,模头温度为 70~100 °C,模头压力为 3~8 MPa,机筒内温度分布为 65~75,140~180,30~50 °C)→流化风干(45~55 °C 烘干至营养片含水量达到 20%~22%)→辊筒压片(压片机的辊间距为 0.2 mm)→烘干(60~80 °C 烘干至营养片含水量为 3%~6%)→称量→包装→产品

1.2.2 发芽高粱的制备 高粱籽粒经除杂、自来水清洗、浸种 6~8 h、NaClO 消毒后,在湿度为 80% 的恒温培养箱内,30 °C 静置培养 14 h 左右,至芽长 0.5~1.0 mm 左右取出,低温干燥,粉碎备用<sup>[5,6]</sup>。

1.2.3 重组营养片配方设计

(1) 以蛋白质和膳食纤维含量等食品营养成分作为指标。

(2) 建立数学模型,使营养片的蛋白质和膳食纤维组成符合目标需求。

(3) 采用计算机软件 Mathematica 8.0 处理数学模型(1)~(4),优化后得到重组营养片配方。

$$\frac{M_1 X_1 + M_2 X_2 + M_3 X_3}{P_1 X_1 + P_2 X_2 + P_3 X_3} = 1 \tag{1}$$

$$\frac{A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3}{a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3} = Y \tag{2}$$

$$Y = 4 \sim 6 \tag{3}$$

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0 \tag{4}$$

式中：

$M_1、M_2、M_3$ ——分别指试验原料的蛋白质含量，%；

$P_1、P_2、P_3$ ——分别指试验原料的膳食纤维含量，%；

$A_1、A_2、A_3$ ——试验样品的感官评定值；

$a_1、a_2、a_3$ ——试验样品的保脆性。

(4) 按 1.2.1 制备重组营养片并测定相关指标。

1.2.4 感官评定 由 5 位有经验的感官检验人员,根据营养片的色泽、风味、口感等指标对试验产品进行评定(表 1)。

1.2.5 膳食纤维含量的测定 按 GB 5009.88—2008《食品中膳食纤维的测定》进行。

1.2.6 粗蛋白质的测定 按 GB 5009.5—2010《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》进行。

1.2.7 营养片的显微结构 杂粮重组营养片用沸水浸泡 15 min,料水比为 1:2(m:V),取出在 -16 °C 冷冻切片机中低温恒冷,切片成 2 μm 厚,Lugol's 碘染色 0.5 min,显微镜观察,图片用 LAS V 4.1 软件处理。

表 1 高粱重组营养片感官评价表(总分 100)

Table 1 Sensory evolution of reconstitute sorghum flake

| 评价指标 | 评价标准                  | 评分范围 |
|------|-----------------------|------|
| 色泽   | 根据营养片的色泽均匀性、斑点含量评分    | 0~15 |
| 外形   | 根据营养片的外形规则度评分         | 0~15 |
| 内部结构 | 根据营养片的内部组织结构、有无生粉存在评分 | 0~25 |
| 口感   | 根据营养片入口酥脆度、涩味评分       | 0~35 |
| 表皮   | 根据营养片表面疏密程度评分         | 0~10 |

2 结果与分析

2.1 重组营养片原料的蛋白质和膳食纤维组成

重组营养片原料的蛋白质与膳食纤维含量见表 2。由表 2 可知,发芽红高粱和发芽白高粱作为全谷物食品,膳食纤维含量维持在较高水平;蛋白质含量则以籽粒苋为最高;粳米的蛋白质和膳食纤维含量均较低。3 种原料从蛋白质和膳食纤维含量看来可以互补。

表 2 高粱重组营养片原料的蛋白质与膳食纤维含量表

Table 2 The protein and dietary fiber of raw material in reconstitute sorghum flake %

| 粮食原料  | 蛋白质        | 膳食纤维       |
|-------|------------|------------|
| 发芽红高粱 | 7.79±0.09  | 16.91±0.89 |
| 发芽白高粱 | 9.17±0.08  | 10.40±0.43 |
| 籽粒苋   | 15.95±0.97 | 8.10±0.54  |
| 粳米    | 7.06±0.81  | 4.50±0.32  |

2.2 发芽高粱重组营养片配方设计

发芽高粱重组营养片作为一种高蛋白质和高膳食纤维食品,一般要求产品的蛋白质含量≥8%,膳食纤维含量≥5%。因此,本试验采用 Mathematica 8.0 软件,建立数学模型并计算出 6 种配方,测定其蛋白质和膳食纤维含量,结果见表 3。

表 3 高粱重组营养片的配方及营养组成

Table 3 The formula and nutrition component of reconstitute sorghum flake %

| 配方 | 粮食含量  |       |      |      | 蛋白质 | 膳食纤维 |
|----|-------|-------|------|------|-----|------|
|    | 发芽红高粱 | 发芽白高粱 | 籽粒苋  | 粳米   |     |      |
| A  | 17.3  | —     | 18.1 | 64.6 | 8.8 | 7.3  |
| B  | 19.5  | —     | 20.3 | 60.2 | 9.0 | 7.7  |
| C  | 21.7  | —     | 22.5 | 55.8 | 9.2 | 8.0  |
| D  | —     | 17.6  | 18.0 | 64.4 | 9.0 | 6.2  |
| E  | —     | 20.0  | 20.0 | 60.0 | 9.3 | 6.4  |
| F  | —     | 22.2  | 22.2 | 55.6 | 9.5 | 6.6  |

由表 3 可知,实测 6 种杂粮重组营养片配方 A~F 的蛋白质含量  $\geq 8\%$ ,膳食纤维含量  $\geq 5\%$ ,均符合建议的营养需求。

2.3 杂粮重组营养片的感官评定

将 A~F 6 种配方的杂粮重组营养片根据表 1 进行感官评定,结果表明配方 F、A 的口感最好,其余依次为 E、D、B、C (图 1)。说明以发芽白高粱为原料的 D、E、F 营养片配方得分普遍高于以发芽红高粱为原料的 A、B、C,因为白高粱中的单宁含量极显著低于红高粱,发芽后两种高粱的单宁以及由单宁产生的涩味亦有差距,说明单宁含量是影响重组营养片感官品质的主要因素。此外,感官评价的得分亦随着膳食纤维含量的升高而降低,说明膳食纤维的含量对重组营养片的感官评价影响较大。

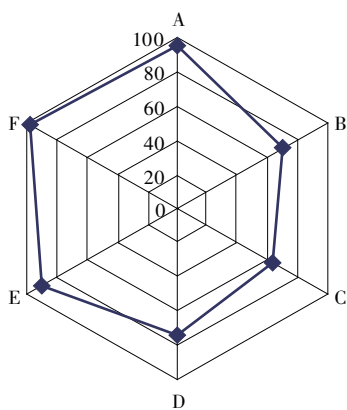


图 1 高粱重组营养片的感官评价结果

Figure 1 The result of sensory evolution on reconstitute sorghum flake

2.4 杂粮重组营养片的显微结构

选取 A、F 2 种感官评价分值最高的高粱重组营养片用沸水浸泡 15 min 后冷冻切片,显微镜下观察,结果见图 2。由图 2 可知:在营养片中蛋白质和纤维素一起聚集成团,分散在淀粉糊中,这可能是构成营养片保脆性的主要原因。

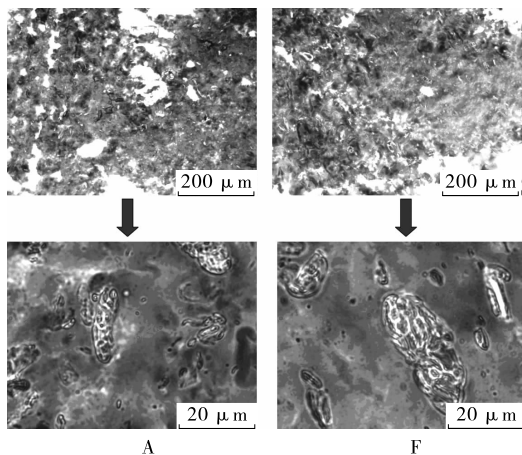


图 2 高粱重组营养片的显微结构图

Figure 2 The microscopic structure of reconstitute sorghum flake

2.5 营养片的感官与理化指标

制备好的高粱重组营养片外观呈疏松片状,褐色,特有的膨化食品香味(表 4)。营养片的理化指标如水分、蛋白质、膳食纤维、总砷、铅等各项指标均符合相应标准的营养和卫生要求(表 5)。

表 4 高粱重组营养片的感官指标

Table 4 Sensory index of reconstitute sorghum flake

| 项目    | 产品状态           |
|-------|----------------|
| 组织状态  | 疏松片状           |
| 色泽    | 具有本产品特有的褐色     |
| 滋味和气味 | 具有本产品特有的膨化食品香味 |
| 杂质    | 无肉眼可见的外来杂质     |

表 5 高粱重组营养片的理化指标

Table 5 Physical and chemical index of reconstitute sorghum flake

| 项目  | 指标                  |
|---|---------------------|
| 水分/( $10^{-2}g \cdot g^{-1}$ )                  | $\leq 10.0$         |
| 蛋白质/( $10^{-2}g \cdot g^{-1}$ )                 | $\geq 8.0$          |
| 总膳食纤维/( $10^{-2}g \cdot g^{-1}$ )               | $\geq 5.0$          |
| 总砷(以 As 计)/( $mg \cdot kg^{-1}$ )               | $\leq 0.5$          |
| 铅(Pb)/( $mg \cdot kg^{-1}$ )                    | $\leq 0.4$          |
| 黄曲霉毒素 B <sub>1</sub> /( $\mu g \cdot kg^{-1}$ ) | $\leq 5.0$          |
| 其它真菌毒素限量  | 符合 GB 2761—2012 的规定 |
| 其它污染物限量   | 符合 GB 2762—2012 的规定 |

3 结论

本研究首先将高粱发芽,改善其食用品质和营养品质后,再与籽粒苋和籼米按配比以螺杆挤压的方式制备新型杂粮重组营养片食品。经 Mathematica 8.0 软件建立数学模型,以蛋白质和膳食纤维为指标,优化计算并进行感官评定后发现配方一:发芽红高粱 17.3%、籽粒苋 18.1%、籼米 64.6%,经挤压加工后重组营养片的蛋白质和膳食纤维含量可达 8.8%,7.3%;配方二:发芽白高粱 22.2%、籽粒苋 22.2%、籼米 55.6%,挤压加工后重组营养片的蛋白质和膳食纤维含量可达 9.5%,6.6%;产品口感较好,是一种较为理想的冲调型高膳食纤维谷物制品。但这种产品是否因膳食纤维含量高而具有显著的降脂减肥、改善便秘等功能,尚需进一步研究。

参考文献

1 Hossam S E T, Samiha M A E, Azza A O. Effect of soaking, cooking, germination and fermentation processing on proximate analysis and mineral content of three white sorghum varieties (*Sorghum bicolor* L. Moench) [J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2012, 40(2): 92~98.

(下转第 269 页)

- starch, with retention of the granular structure: A review[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, 46(8): 2 895~2 905.
- 16 Hoover R, Manuel H. The effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of normal maize, waxy maize, dull waxy maize and amylo maize V starches [J]. *Journal of Cereal Science*, 1996, 23(2): 153~162.
- 17 Vieira O V. Supremacy[J]. *Revista Direito GV*, 2008, 4(2): 441~463.
- 18 Franco C M L, Ciacco C F, Tavares D Q. Effect of the heat-moisture treatment on the enzymatic susceptibility of corn starch granules[J]. *Starch-Stärke*, 1995, 47(6): 223~228.
- 19 Olayinka O O, Adebawale K O, Olu-Owolabi B I. Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of white sorghum starch [J]. *Food Hydrocolloids*, 2008, 22(2): 225~230.
- 20 Liu Hang, Guo Xu-dan, Li Wu-xia, et al. Changes in physicochemical properties and in vitro digestibility of common buckwheat starch by heat-moisture treatment and annealing[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 32(1): 118~123.
- 21 Punched-Arnon S, Uttapap D. Rice starch vs. rice flour: differences in their properties when modified by heat-moisture treatment[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 91(1): 85~91.
- 22 刘惠君. 热处理对直链淀粉扩增, 蜡性及正常玉米淀粉物理性质和酶解率的影响[J]. *中国粮油学报*, 1998, 13(4): 25~29.
- 23 Satmalee P, Matsuki J. Effect of debranching and heat-moisture treatment on the properties of Thai rice flours[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2011, 46(12): 2 628~2 633.
- 24 Collado L S, Mabesa L B, Oates C G, et al. Bihon-type noodles from heat-moisture-treated sweet potato starch[J]. *Journal of Food Science*, 2001, 66(4): 604~609.
- 25 Liu Hui-jun, Corke H, Ramsden L. The effect of autoclaving on the acetylation of awax, and normal maize starches [J]. *Stärke-starch*, 2000, 12(1): 112~132.
- 26 高群玉, 武俊超, 李素玲. 湿热改性对不同直链含量的玉米淀粉性质的影响[J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2011, 39(9): 1~6.
- 27 武俊超, 高群玉, 梁楚琴. 采用不同方法制备豌豆抗性淀粉及其性质研究[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(9): 119~123.
- 28 Hoover R, Vasanthan T. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, wile-gume, and tuber starches [J]. *Carbohydrate Research*, 1994(252): 33~53.
- 29 Watcharatenkul Y, Uttapap D, Puttanlek C, et al. Enzyme digestibility and acid/shear stability of heat-moisture treated canna starch[J]. *Starch-Stärke*, 2010, 62(3~4): 205~216.
- 30 Andrade M M P, de Oliveira C S, Colman T A D, et al. Effects of heat-moisture treatment on organic cassava starch[J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2014, 115(3): 2 115~2 122.
- 31 Jayakody L, Hoover R. Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins—a review[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2008, 74(3): 691~703.
- 32 Miyazaki M, Morita N. Effect of heat-moisture treated maize starch on the properties of dough and bread [J]. *Food research international*, 2005, 38(4): 369~376.
- 33 Singh G D, Bawa A S, Riar C S, et al. Influence of heat-moisture treatment and acid modifications on physicochemical, rheological, thermal and morphological characteristics of Indian water chestnut (*Trapa natans*) starch and its application in biodegradable films[J]. *Starch-Stärke*, 2009, 61(9): 503~513.
- 34 Zavareze E R, Pinto V Z, Klein B, et al. Development of oxidised and heat-moisture treated potato starch film [J]. *Food Chemistry*, 2012, 132(1): 344~350.
- 35 Lorlowhakarn K, Naivikul O. Modification of rice flour by heat moisture treatment (HMT) to produce rice noodles[J]. *Kaset-sart Journal*, 2006, 40: 135~143.
- 36 Purwani E Y, Thahir R. Effect of heat moisture treatment of sago starch on its noodle quality [J]. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 2013, 7(1): 221~232.
- 37 Jiranuntakul W, Puttanlek C, Rungsardthong V, et al. Amylopectin structure of heat-moisture treated starches[J]. *Starch-Stärke*, 2012, 64(6): 470~480.
- 38 Pérez S, Bertoft E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules; a comprehensive review[J]. *Starch-Stärke*, 2010, 62(8): 389~420.
- 39 Shin S I, Byun J, Park K H, et al. Effect of partial acid hydrolysis and heat-moisture treatment on formation of resistant tuber starch [J]. *Cereal Chemistry*, 2004, 81(2): 194~198.

(上接第 245 页)

- 2 Asiedu M, Li E, Nilsen R, et al. Effect of processing (sprouting and/or fermentation) on sorghum and maize: III. vitamins and amino acid composition. Biological utilization of maize protein [J]. *Food Chemistry*, 1993, 48(2): 201~204.
- 3 Elmaki H B, Babiker E E, Tinay A H E. Changes in chemical composition, grain malting, starch and tannin contents and protein digestibility during germination of sorghum cultivars [J]. *Food Chemistry*, 1999, 64(3): 331~336.
- 4 马涛, 周佳, 张良晨. 膨化高粱粉在面包中的应用[J]. *食品与机械*, 2011, 27(5): 165~167, 185.
- 5 易翠平, 李艳, 姚辰, 等. 发芽白高粱的工艺优化及营养分析 [J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(6): 27~31, 42.
- 6 易翠平, 李艳, 姚辰, 等. 发芽红高粱的品质变化及其在蛋糕中的应用[J]. *食品科学*, 2015, 36(8): 60~64.
- 7 Elkkhalifa A E O, Bernhardt R. Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour [J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(2): 387~392.
- 8 Pedersen B, Hallgren L, Hansen I, et al. The nutritive value of amaranth grain (*Amaranthus caudatus*) [J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 1987, 36(4): 325~334.
- 9 Queiroz Y S, Manólio Soares R A, Capriles V D, et al. Effect of processing on the antioxidant activity of amaranth grain [J]. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 2009, 59(4): 419.
- 10 中华人民共和国国家统计局. 稻谷产量 [DB/OL]. [2015—06—16]. <http://data.stats.gov.cn/search.htm?s=稻谷产量>.