

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.02.015

宋善武. 杂粮同熟化技术的应用拓展研究[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(2): 107-113.

SONG S W. Research on application and expansion of co-cooking technology[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(2): 107-113.

杂粮同熟化技术的应用拓展研究

宋善武

(北京古船米业有限公司, 北京 101301)

摘要: 介绍一种用于改善大米中营养缺乏的杂粮米复配方案, 复配杂粮饭中必需氨基酸占氨基酸总量 (EAA/TAA, E/T) 和必需氨基酸与非必需氨基酸比值 (EAA/NEAA, E/N) 更接近世界卫生组织 (WHO) 和联合国粮农组织 (FAO) 提出蛋白质中 EAA/TAA 应达到 40%、EAA/NEAA 应大于 60% 的参考标准, 食用口感与大米接近, 与精米饭中相比, 必需氨基酸营养更合理。

关键词: 大米; 杂粮; 同熟化; 氨基酸评分

中图分类号: TS210.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)02-0107-07

Research on Application and Expansion of Co-cooking Technology

SONG Shan-wu

(Beijing Guchun rice Co., Ltd., Beijing 101301, China)

Abstract: This article introduces a multi-grain rice compounding scheme for improving nutritional deficiencies in rice. According to the nutritional needs of different populations, combined with amino acid score difference method theoretical calculations, physical and chemical properties tests, tasting score experiments and other formulas, the experimental results show mixed grain rice can effectively improve the nutritional deficiency in rice, meet the nutritional needs of different populations, and has important reference significance for preventing certain diseases.

Key words: rice; coarse cereals; co-cooking; amino acid scores

随着粮食加工能力的提高及副食种类的增加, 精米精面逐渐占领人们的餐桌, 由于大米中缺乏必需氨基酸, 在其加工精度提高而带来口感改善的同时, 也加重了营养成分的失衡。2017 年, 我国慢性病确诊患者人数已接近 3 亿人, 占总人口的 22%, 并有逐渐年轻化的趋势^[1]。近年来的研究结果显示, 人类健康情况的恶化和主食“加工精度过高”、饮食单一化有密切的关系^[2]。

造成人们较少食用杂粮杂豆的主要原因之一, 就是因为杂粮杂豆口感不佳且烹饪相对困难。因此有必要在现有技术基础之上进一步研发, 形成系列产品, 充分发掘同熟化技术的潜力。

不同人群对营养有不同的需求。对典型人群饮食需求的调查如表 1^[3-4]。

综合不同消费者的营养需求分析, 我们认为, 有必要对杂粮食品的配方进行差别化调整, 以更广泛的适应不同人群。

1 材料和方法

1.1 实验材料

大米、小米、红豆、绿豆、黑米、燕麦米、

收稿日期: 2020-03-06

作者简介: 宋善武, 男, 1965 年出生, 高级工程师, 研究方向为粮食加工、粮食机械设备和粮食营养。E-mail: 2391572502@qq.com.

表 1 孕妇和乳母主要微量营养素膳食参考摄入量 (DRIs)

Table 1 Dietary Reference Intakes (DRIs) of major micronutrients for pregnant women and lactating mothers

人群	钙/(mg/d)	铁/(mg/d)	锌/(mg/d)	硒/(ug/d)	维生素 E/(mg/d)	叶酸/(ug/d)	维生素 C/(mg/d)	VB ₁ /(mg/d)
非孕妇	800	20	12	40	13	400	100	1.0
孕妇 (早)	800	24	20	65	14	600	100	1.2
孕妇 (中)	1 000	29	24	65	14	600	115	1.2
孕妇 (晚)	1 000	24	29	65	14	600	115	1.4
乳母	1 000	20	24	78	17	550	150	1.5

表 2 老年人 (65~80 岁) 主要微量营养素膳食参考摄入量 (DRIs)

Table 2 Dietary reference intakes (DRIs) of major micronutrients in the elderly (65~80 years old)

名称/单位	剂量	名称/单位	剂量
钙/(mg/d)	1 000	VB ₁ /(mg/d)	1.4
铁/(mg/d)	12	VA/(ug/d)	800
锌/(mg/d)	12.5	VD/(ug/d)	15
硒/(ug/d)	60	叶酸/(ug/d)	400
维生素 E/(mg/d)	14		

薏米、玉米糝，红米、黄米：原料产地为吉林省榆树市。

1.2 实验依据

将上述原料按氨基酸评分差值法和品尝评分实验所得比例混合，依据差异化需求，氨基酸评分差值计算原理如公式 (1)：

$$\text{AASD} = \frac{\text{食物蛋白质中某氨基酸含量} - \text{WHO/FAO推荐某氨基酸含量}}{\text{WHO/FAO推荐某氨基酸含量}} \times 100\% \quad (1)$$

氨基酸评分差值 (AASD) 是在氨基酸评分基础上提出的，它是以 FAO/WHO 评分标准模式值为 100，得出某种食物氨基酸与模式值相比较后的相差值。使用氨基酸评分差值 (AASD) 可以更直观、方便地比较和计算不同食物间必需氨基酸含量和互补配比。

根据营养学理论，两种食物中的某氨基酸实现理想互补时，满足如下公式 (2)：

$$W_x \times P_x \times |AASD_x| = W \times P \times |AASD| \quad (2)$$

其中 W、W_x 为已知食物摄入量 (大米) 和与之互补的食物摄入量 (杂粮)；P、P_x 为相应两种食物的蛋白质含量；|AASD|、|AASD_x| 为相应两种食物氨基酸评分差值 AASD 的绝对值。两种食物互补后计算所得的 AASD 值越接近 0，互补效果越好。

1.3 实验方法

对 1.1 中原料进行预熟化处理，红豆在 45 °C 下浸泡 8 h，沥干后经 10 000 w 微波处理 15 min；绿豆：40 °C 浸泡 2 h 沥干后 400 w 微波处理 8 min；黑米：45 °C 浸泡 2 h 沥干后 700 w 微波处理 1 min；玉米：40 °C 浸泡 2 h 沥干后 700 w 微

波处理 1 min；燕麦米：40 °C 浸泡 2 h 沥干后 1 000 w 微波处理 1 min；薏米：40 °C 浸泡 8 h 沥干后 1 000 w 微波处理 2 min。

对样品进行蒸煮，加水量为 1 : 1.6；蒸饭时间 30 min。

1.4 样品分析

对熟制后的样品进行质构测试和成分分析，与普通大米进行质构指标的比对。

依据以上机理，我们设计了 3 种样品，具体混合比例如表 3 所示。由于样品 1 和样品 2 成分相近，故本实验对样品 1 和样品 3 进行测试。

本实验的质构分析检测模式选择为压缩 (TPA 模式)，压缩形变：40%；最小起始力：0.15 N；测试速度：10 mm/s；回升速度：20 mm/s；回升高度：40 mm。根据 TPA 数据，可通过软件可以分析出：硬度、粘着性、弹性、回复性、胶着性、咀嚼性。该测定与感官评价相比，通过科学的手段数据化的分析产品质构，在一定程度上减少人为主观因素带来的评价差异，更为科学化的判定产品感官品质。具体结果见表 3。

表 3 产品配料及占比 (质量比)

Table 3 Product ingredients and proportion (mass ratio)

编号	大米	小米	红豆	绿豆	黑米	燕麦米	薏米	玉米糝	红米	黄米
样品 1	5	3	1	1	1	1	0.5	1	1	1
样品 2	5	3	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1
样品 3	5	3	-	1	1	1	1	-		

2 实验结果及讨论

2.1 质构实验

2.1.1 硬度和咀嚼性实验

压力测试如图 1 所示，先对样品施加一定的

压力，使其发生形变，然后撤出压力，测定样品形状的回复时间，此实验的数据用于表征产品的硬度、回复能力等物理性质。

具体实验结果如图 2~4 及表 4 所示。

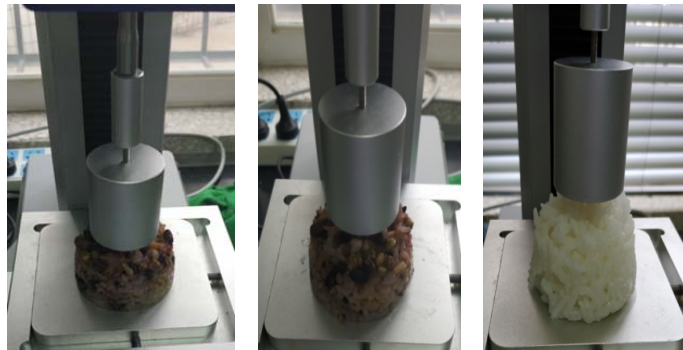


图 1 TPA 测试示意图

Fig.1 Schematic diagram of TPA test

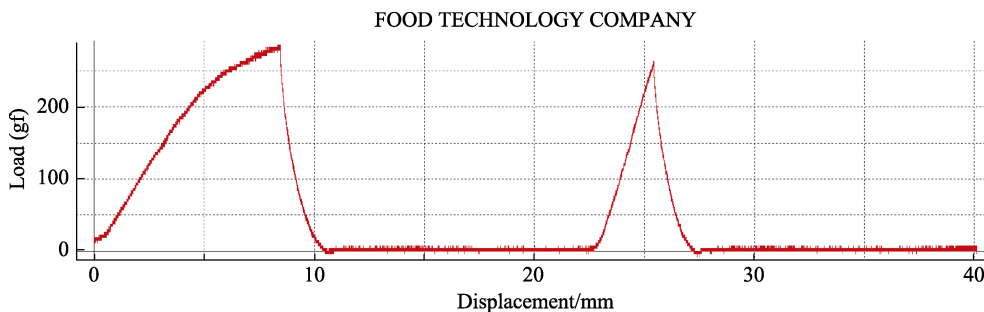


图 2 样品 1 质构测试图

Fig.2 Texture test diagram of sample 1

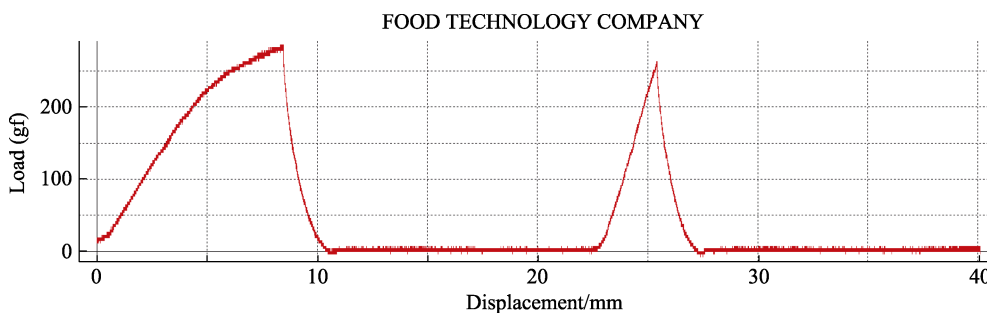


图 3 样品 3 质构测试图

Fig.3 Texture test diagram of sample 3

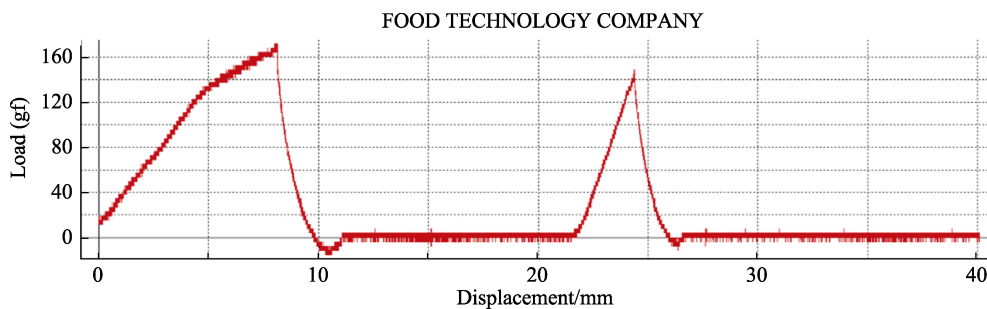


图 4 纯大米质构测试图

Fig.4 Texture test diagram of rice

表 4 熟制后质构数据
Table 4 Texture data after ripening

项目	硬度	粘附性	内聚性	弹性	咀嚼性	恢复性
样品 1						
平均值	386	10.33	0.2	0.3	213.7	0.1
标准差	25.14	1.61	0	0	20.8	0
变异系数	6.51	15.54	0	0	9.73	0
样品 3						
平均值	412.5	11.04	0.27	0.31	224.6	0.1
标准差	56.37	4.51	0.05	0.01	54.71	0
变异系数	13.66	37.43	17.68	3.07	24.36	0
普通大米						
平均值	160.33	15.8	0.23	0.3	78.7	0.1
标准差	9.35	1.25	0.05	0	5.63	0
变异系数	5.83	7.9	20.2	0	7.16	0

硬度表示样品达到一定变性时所必须的力。咀嚼性是将半固体的样品咀嚼成吞咽时的稳定状态所需的能量。研究表明米饭的质构指标中硬度指标与米饭的品质密切相关。数据可以看出，添加了杂粮的两个样品，硬度与咀嚼性均高于普通大米，这是由于杂粮的粗纤维使米饭的整体硬度有较大的提高，但硬度、咀嚼性数值均在可接受范围内^[5]。

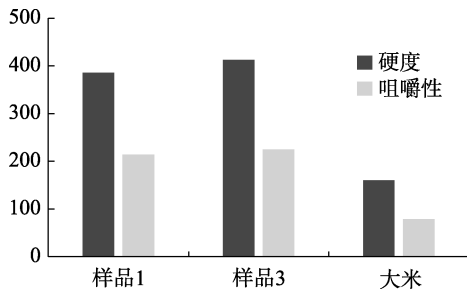


图 5 样品质构实验数据
Fig.5 Experimental data of sample texture

2.1.2 黏聚性、弹性、回复性测试

黏聚性可模拟表示样品内部黏合力，反映了产品是否爽口不黏牙，是评价米饭品质的重要指标。由图 6、图 7 数据可以看出，样品 1、样品 3 的黏聚性均低于一般大米，产品食用时口感好于一般大米。这是由于杂粮杂豆中的直链淀粉含量较高，使产品的整体直链淀粉含量提升，蒸煮后黏性降低^[6-10]。

弹性为变性样品在去除变性力后恢复到变性前的体积比率。由数据可以看出，二者的弹性与普通大米差别不大，说明杂粮中粗纤维对产品的

弹性影响不大，我们可以认为，杂粮的加入对产品整体的口感没有明显的负面影响。

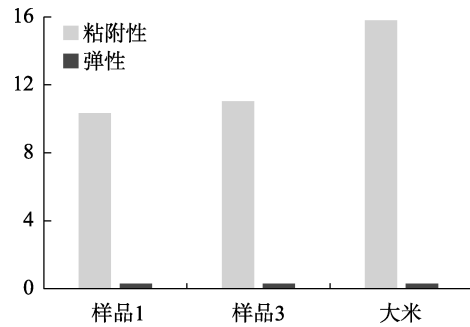


图 6 粘附性及弹性对比
Fig.6 Comparison of adhesion and elasticity

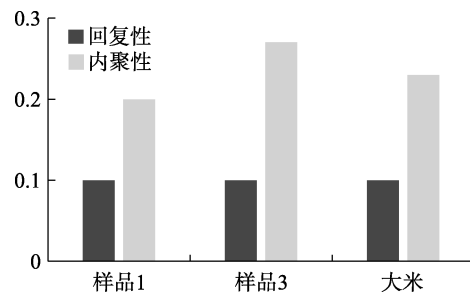


图 7 三种大米回复性、内聚性的比较
Fig.7 Comparison of resilience and cohesiveness of three kinds of rice

2.1.3 回复性和内聚性

内聚性是指形成样品形态所需内部结合力的大小，回复性是指样品受外力作用后，回复原状态的能力，回复性和内聚性反映样品抵抗受损、保持自身完整性的能力。数据可以看出，三者回复性与内聚性无明显区别，这说明杂粮颗粒与大米颗粒之间的相互作用与纯大米颗粒间的相互作用差别不大，进一步验证了样品的食用品质接近大米。

2.2 营养成分测定

2.2.1 矿物质含量及维生素含量分析

样品 1、样品 3 与普通大米相比，矿物质元素中铁含量提高了 127.78%和 103.33%；锌含量提高了 70.8%和 52.93%。样品 1、样品 3 的 V_{B1} 含量与普通大米相比提高了 121.25%和 101.25%； V_E 含量提高了 168.72%和 57.89%。钙、硒含量与普通大米相比无较大提高。

其中样品 1 可提供孕妇每日叶酸含量 (400 ug/d) 的 26%以及孕妇每日铁需求量的 86%左右，基本达到了设计目标。细胞水平与动物水

表 5 矿物质含量及维生素含量
 Table 5 Mineral content and vitamin content

	矿物质元素/(mg/kg)				维生素		
	钙	铁	锌	硒	VB ₁ /(mg/100 g)	VE/(mg/100 g)	叶酸/(ug/kg)
样品 1	219	20.5	17.2	0.022	0.177	2.04	104
样品 2	191	18.3	15.4	0.023	0.161	1.2	71.6
大米	240	9	10.07	0.0249	0.08	0.76	-

平的研究表明, V_{B1} 缺乏影响了细胞的氧化应激, 促进了 β-淀粉样多肽的积累和老年斑的形成; β-淀粉样多肽的积累和老年斑的形成反过来又加剧了氧化应激, 而老年性痴呆的主要病理特征是脑内 β-淀粉样蛋白聚集, 即这样形成的恶性循环可能与阿尔茨海默病的发生发展有关^[11-13]。而近年来主食精细化发展, 加剧了 V_{B1} 的缺乏。从表中数据可以看出, 样品的 V_{B1} 含量提升均超过 100%, 供老年人食用, 对于预防阿尔茨海默病具有重要

意义。

2.2.2 氨基酸评分及互补计算

氨基酸的种类和含量是衡量食品营养价值的重要指标, 营养学理论也是以组成的必需氨基酸的含量多少和相互比例的适当程度为依据来评价蛋白质优劣。氨基酸评分是正确判定各种必需氨基酸营养价值高低的重要指标, 也是计算食物混合比例的依据, 两种样品及纯大米的氨基酸测试结果如表 6。

表 6 氨基酸含量
 Table 6 Amino acid content

氨基酸	样品 1	样品 3	大米	g/100 g			
				氨基酸	样品 1	样品 3	大米
异亮氨酸 (Ile) *	0.41	0.34	0.25	组氨酸 (His)	0.23	0.19	0.14
亮氨酸 (Leu) *	1.04	0.85	0.51	丙氨酸 (Ala)	0.64	0.53	0.35
赖氨酸 (Lys) *	0.34	0.26	0.22	天冬氨酸 (Asp)	0.79	0.66	0.52
蛋氨酸 (Met) *	0.20	0.22	0.14	谷氨酸 (Glu)	1.89	1.59	1.17
胱氨酸 (Cys)	0.16	0.18	0.15	甘氨酸 (Gly)	0.35	0.31	0.28
苯丙氨酸 (Phe) *	0.55	0.45	0.34	脯氨酸 (Pro)	0.59	0.51	0.27
酪氨酸 (Tyr)	0.39	0.33	0.27	丝氨酸 (Ser)	0.47	0.4	0.32
苏氨酸 (Thr) *	0.34	0.29	0.22	EAA	9.62	8.19	6.16
色氨酸 (Trp) *	0.13	0.15	0.12	TAA	3.53	3	2.16
缬氨酸 (Val) *	0.52	0.44	0.36	EAA/TAA/%	36.69	36.63	35.12
精氨酸 (Arg)	0.58	0.49	0.53	EAA/NEAA/%	57.96	57.80	54.13

表 7 氨基酸组成评价
 Table 7 Amino acid composition evaluation

Aa	Ile	Leu	Lys	SAA	AAA	Thr	Trp	Val
				Met+Cys	Phe+Tyr			
样品 1								
Aa/(g/100 g)	0.41	1.04	0.34	0.36	0.94	0.34	0.13	0.52
蛋白中 Aa/(mg/g)	48.52	118.82	40.24	42.60	111.24	40.24	15.38	61.54
WHO/FAO/(mg/g)	40.00	70.00	55.00	35.00	60.00	40.00	10.00	50.00
评分/分	121.30	169.74	73.16	121.72	185.40	100.59	153.85	123.08
限制 Aa 及评分	Lys/Thr; 73.16/100.59							
样品 3								
Aa/(g/100 g)	0.34	0.85	0.26	0.4	0.78	0.29	0.15	0.44
蛋白中 Aa/(mg/g)	34.59	86.47	35.24	40.69	79.35	29.50	15.26	44.76
WHO/FAO/(mg/g)	40.00	70.00	55.00	35.00	60.00	40.00	10.00	50.00
评分/分	86.47	123.53	64.07	116.26	132.25	73.75	152.59	89.52
限制 Aa 及评分	Lys/Thr; 64.07/73.75							

续表 7

Aa	Ile	Leu	Lys	SAA	AAA	Thr	Trp	Val
				Met+Cys	Phe+Tyr			
大米								
Aa/(g/100 g)	0.25	0.51	0.22	0.30	0.60	0.22	0.12	0.36
蛋白中 Aa/(mg/g)	33.84	69.73	30.27	40.82	82.33	30.41	16.99	49.32
WHO/FAO/(mg/g)	40.00	70.00	55.00	35.00	60.00	40.00	10.00	50.00
评分/分	84.59	99.61	55.04	116.63	137.21	76.03	169.86	98.63
限制 Aa 及评分				Lys/Thr; 55.04/73.75				

由表 6、表 7 数据可以看出, 样品 1 的必需氨基酸含量和总氨基酸含量最高, 分别为 3.53 g/100 g 和 9.62 g/100 g, 其次为样品 3, 二者均高于大米。两种杂粮米中必需氨基酸占氨基酸总量 (EAA/TAA, E/T) 和必需氨基酸与非必需氨基酸比值 (EAA/NEAA, E/N) 均大于普通大米的 E/T 和 E/N 比, 杂粮米更接近世界卫生组织 (WHO) 和联合国粮农组织 (FAO) 提出的蛋白质中 EAA/TAA 应达到 40%、EAA/NEAA 应大于 60% 的参考模式^[15]。

二者限制性氨基酸仍都是赖氨酸^[16]。但是, 两样品的评分值均高于普通大米, 表明谷物同熟米的氨基酸组成品质高于普通大米, 理论计算的混合比例能够补足大米中必需氨基酸的缺失。

综上所述, 两种大米的配方即兼顾了理论营养均衡配比, 也兼顾了口感, 具有较高的食用价值。

3 结论与展望

3.1 结论

大米的必需氨基酸含量缺乏, 长期食用易造成失衡。

在大米中加入杂粮后, 其蒸煮后硬度有所增加, 但在可接受范围内。由于杂粮中直链淀粉含量较高, 导致混合物整体直链淀粉含量升高, 粘度降低。弹性、回复性、内聚性与普通大米食用时无显著区别。

复配杂粮米矿物质含量有较大提升, 能够满足特殊人群对营养的需求。按氨基酸评分差值法计算理论混合比例, 必需氨基酸得到有效补充, 其他氨基酸含量也更加接近 WHO/FAO 推荐值, 对于改善营养失衡、预防某些疾病具有重要的参考价值。

3.2 展望

3.2.1 机理研究

未来可深入研究杂粮的添加对米饭物理、化学性质改变的机理, 探索相互作用的本质。在适当的时候可进行动物实验、人体实验, 组织人员进行试吃, 观察参与者的生理指标变化, 进一步研究食物的营养搭配。

3.2.2 扩大规模


未来可针对同熟化适当扩大实验规模, 进行中等规模的生产实验, 探索实际生产条件下物料的性质。

3.2.3 扩充种类

未来可在米饭中添加其他种类的杂粮并探索其营养结构的改变。

参考文献:

- [1] 中国防治慢性病中长期规划(2017—2025)[M]. 2017. China's mid- and long-term plan for chronic diseases (2017—2025) [M]. 2017.
- [2] 刘晓松, 付亭亭, 姚佳. 4 种杂粮预熟化工艺及其复配产品的研究[J]. 食品科技, 2019, 44(2): 170-176.
LIU X S, FU T T, YAO J. Research of compound product and the precook process of four coarse cereals[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(2): 170-176.
- [3] 包家明. 现代不同人群健康和营养需求的分析与对策[J]. 当代护士, 2004(7): 20-21.
BAO J M. Analysis and countermeasures of health and nutrition needs of different people in modern times[J]. Contemporary nurse, 2004(7): 20-21.
- [4] 柴莎莎, 张世宏, 何平东. 针对不同人群的大豆蛋白粉研制[J]. 农业机械, 2013(7): 150-152.
CHAI S S, ZHANG S H, HE P D. Development of soy protein powder for different groups of people[J]. Agricultural machinery, 2013(7): 150-152.
- [5] 郭洪梅. 超微粉碎处理对杂粮(豆)淀粉结构及理化特性的影响[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2016.
GUO H M. Effects of ultrafine grinding on structural and

- physicochemical properties of coarse cereal and bean starch[D]. Shanxi: Northwest A&F University, 2016.
- [6] 许永亮, 程科, 赵思明. 大米淀粉的分子量分布及其与粘性的相关性研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(3): 566-572.
 XU Y L, CHENG K, ZHAO S M. Molecular weight distribution of rice starches and its correlation with viscosity[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(3): 566-572.
- [7] 刘敏, 谭书明, 张洪礼. 不同品种大米口感品质分析[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 88-92.
 LIU M, TAN S M, ZHANG H L. Taste quality of different rice varieties[J]. Food Science, 2018, 39(15): 88-92.
- [8] 闰清平, 朱永义. 大米淀粉、蛋白质与其食用品质关系[J]. 粮食与油脂, 2001(5): 29-31.
 RUN Q P, ZHU Y Y. Relation of starch and protein to eating quality of milled rice[J]. Cereals & Oils, 2001(5): 29-31.
- [9] 黄天柱, 吴卫国, 李高阳. 大米理化特性与米饭口感品质的相关性研究[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(3): 24-28.
 HUANG T Z, WU W G, LI G Y. Research on relativity between rice's physical-chemical properties and mouth-feel quality[J]. Food and Nutrition in China, 2012, 18(3): 24-28.
- [10] 王兰, 石显琦. 粮食中直链淀粉和支链淀粉分离、纯化及定量的方法[J]. 郑州粮食学院学报, 1982(2): 23-30.
 WANG L, SHI X Q. Method for separating, purifying and quantifying amylose and amylopectin in grain[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 1982(2): 23-30.
- [11] 简林凡. 维生素 B1 缺乏与防治[J]. 井冈山医学学报, 2004, 11(3): 67-69.
 TONG L F. Vitamin B1 deficiency and prevention[J]. Journal of Jingtangshan Medical College, 2004, 11(3): 67-69.
- [12] 李文霞, 柯尊记. 维生素 B1 缺乏与老年性痴呆[J]. 生命科学, 2013, 25(2): 184-190.
 LI W X, KE Z J. Thiamine deficiency and Alzheimer's disease[J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2013, 25(2): 184-190.
- [13] 张媛媛, 程慧, 孙艳. 基于核酶开关的哺乳细胞内硫胺素焦磷酸荧光生物传感器的建立[J]. 分析化学, 2017, 45(2): 157-162.
 ZHANG Y Y, CHENG H, SUN Y. Engineering of thiamin pyrophosphate fluorescent biosensors based on ribozyme switches in mammalian[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2017, 45(2): 157-162.
- [14] 高永瑞, 沈宗派, 陈力. 多种食物间氨基酸互补作用的数学计算[J]. 营养学报, 1990(2): 164-170.
 GAO Y R, SHEN Z P, CHEN L. Mathematical calculation of amino acid complementation within various foods[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1990(2): 164-170.
- [15] 陆东林. 乳蛋白质的氨基酸组成和氨基酸评分[J]. 新疆畜牧业, 2014(10): 4-8.
 LU D L. Amino acid composition and amino acid score of milk protein[J]. Xinjiang Animal Husbandry, 2014(10): 4-8.
- [16] 黄佩佩. 五谷杂粮营养粉食品的研究[D]. 成都: 西华大学, 2013.
 HUANG P P. Research on nutrition power food made from whole grains[D]. Chengdu: Xihua University, 2013. 
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。