

田莉, 赵宇慧, 张丽, 等. 沙米复配代餐粉的配方优化与蛋白质营养评价 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 213–219. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040196

TIAN Li, ZHAO Yuhui, ZHANG Li, et al. Formulation Optimization and Protein Nutrition Evaluation of *Agriophyllum sargassum* Compound Meal Replacement Powder[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(1): 213–219. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040196

沙米复配代餐粉的配方优化与蛋白质营养评价

田莉, 赵宇慧, 张丽, 宋玉霞*

(宁夏农林科学院农业生物技术研究中心, 宁夏银川 750002)

摘要:以沙米粉、杂粮粉、杂豆粉和填充粉为主要原料, 采用 D-最优混料试验设计方案, 研究了不同原料复配比例对沙米复合代餐粉感官评分的影响, 建立复配比例与感官评分之间的回归模型, 考察了配方中各原料的相互效应, 获得了最佳配方。具体配方为: 沙米粉 22%、杂粮粉 39%、杂豆粉 35%、填充粉 4%。在此配方条件下, 对代餐粉的蛋白质营养价值进行评价分析, 代餐粉的氨基酸比值系数分 (SRCAA) 和必需氨基酸指数 (EAAI) 分别为 82.02 和 63.14, 蛋白质营养较好。结合生物价 (BV)、营养指数 (NI) 和 SRCAA 与 EAAI 指标综合评价代餐粉蛋白质的营养价值, 结果表明, 沙米复配代餐粉具有较高的营养价值。

关键词:沙米, 代餐粉, D-最优混料设计, 蛋白质, 营养评价

中图分类号: TS217

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)01-0213-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040196



本文网刊:

Formulation Optimization and Protein Nutrition Evaluation of *Agriophyllum sargassum* Compound Meal Replacement Powder

TIAN Li, ZHAO Yuhui, ZHANG Li, SONG Yuxia*

(Centre of Agricultural Biotechnology, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China)

Abstract: With *Agriophyllum sargassum* powder, mixed grain powder, mixed beans powder and filling powder as the main raw material, the D-optimal mixture design was used to study the effect of different mix proportion on the comprehensive score of simulated *Agriophyllum sargassum* compound meal replacement powder, the regression model was established between comprehensive score with distribution proportion, the interaction effect of each raw material in the formulations was researched, the optimal formulations of *Agriophyllum sargassum* compound meal replacement powder was determined as follows: *Agriophyllum sargassum* powder 22%, mixed grain powder 39%, mixed beans powder 35% and filling powder 4%. Under this formula condition, the protein nutrition value analysis of meal replacement powder showed that the SRCAA and EAAI values of meal replacement powder were 82.02 and 63.14, respectively, indicating that the protein nutrition of meal replacement powder was better. Combined with BV, NI, SRCAA and EAAI indexes, the nutritional value of meal replacement meal protein was comprehensively evaluated. The results showed that the *Agriophyllum sargassum* compound meal replacement powder had higher nutritional value.

Key words: *Agriophyllum sargassum*; meal powder; D-optimal mixture design; protein; nutritional evaluation

沙米 (*Agriophyllum squarrosum*) 也叫沙蓬, 属于苋科, 在植物学上与藜科有亲缘关系^[1]。主要分布于亚洲的沙漠和半沙漠地区, 不同产区沙米中的淀粉、粗蛋白、粗脂肪等组分含量略有不同^[2-5]。沙米淀粉颗粒较小、具有较好的热稳定性, 且抗剪切能力

强, 具有较好的加工特性^[6-8]; 沙米中的蛋白含量相对于其它谷物较高, 且氨基酸种类丰富足以满足人类对饮食中蛋白质氨基酸的需求^[9-11]; 沙米不饱和脂肪酸含量丰富^[12], Ca、Mg、Zn、Fe 等元素的含量都高于常见谷物^[13], 且富含绿原酸、皂苷、生物碱、类黄

收稿日期: 2021-04-26

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划重大项目 (2018BEG02011); 宁夏回族自治区农业高质量发展和生态保护科技创新示范项目 (NGSB-2021-9)。

作者简介: 田莉 (1991-), 女, 硕士, 研究实习员, 研究方向: 特色资源植物开发与利用, E-mail: tl17811111500@163.com。

* 通信作者: 宋玉霞 (1963-), 女, 硕士, 研究员, 研究方向: 植物生物技术育种研究, E-mail: songyx666@163.com。

酮和低聚糖等^[14-16]多种生物活性成分,具有抗氧化^[17-18]、降血糖^[19-20]、降血脂^[21]等功能特性。综上所述,沙米不仅有较高的加工特性,还是一种具有高营养价值的潜在粮食作物,具有广阔的市场前景。

代餐粉是以谷物为原料,添加其他辅料及营养素,制备而成的一类低热量、易饱腹,具有一定功能特性的食品。目前国内外对代餐产品的研究主要集中在均衡营养、控制体重,从而达到健康减重目的的研究上,并且研发出了一些能够满足人体必需营养素需求的,且具有肠道微生物菌群调节功能的有效控制体重的代餐粉产品^[22-25]。本研究通过对沙米代餐粉的配方进行优化,以提升沙米代餐粉的适口性,实验以熟化沙米粉为原料,添加复配大豆分离蛋白粉、乳清蛋白粉、赤小豆粉、炒白芸豆粉,以优化蛋白组成;添加魔芋粉和菊粉提高产品的饱腹感,延长胃排空时间;以薏米、枸杞、苡蓉、燕麦、藜麦、玉米糝、南瓜籽、紫苏籽粉和芝麻等的复配,丰富代餐粉的营养成分^[26-33],在控制能量摄入的同时,平衡膳食营养。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

沙米种子 宁夏农林科学院农业生物技术研究中心;肉苡蓉 宁夏计蓉高新技术产业有限公司;大豆分离蛋白粉、乳清蛋白粉、魔芋粉和菊粉 银川昕泰昌盛生物有限公司;其它原料 均购自宁夏新百连超森林公园店。

9101 型旋风式微型高速样品粉碎机 北京检测仪器有限公司;SK2105 型电磁炉 山东九阳生活电器有限公司;HH-S4 电烤箱 北京科伟永兴仪器有限公司;DT802A 型电子天平 常熟市佳衡仪器有限公司;7800 电感耦合等离子体质谱仪 美国安捷伦公司;LC-20AB 高效液相色谱仪 日本岛津公司;L-8900 型氨基酸分析仪 日本日立株式会社。

1.2 实验方法

1.2.1 原料处理 将沙米、赤小豆、薏米、燕麦、藜麦、玉米糝等精选、除杂,于 60 ℃ 烘干 5 h 后,采用烘焙熟化,熟化温度为 150 ℃,时间为 20 min;将各组分超微粉碎后过 100 目筛备用;枸杞精选、除杂后采用真空冷冻干燥(真空度为 50 Pa,冷阱温度-60 ℃,加热板温度 80 ℃,干燥时间 20 h)处理后,超微粉碎过 100 目筛备用;肉苡蓉利用微波真空干燥(50~60 ℃, -10~-6 Pa 微波条件下干燥 15~20 min)处理后超微粉碎,过 100 目筛备用。

1.2.2 配料的组成设置 根据《中国居民膳食营养指南》^[34]及“减肥用低能量食品配方标准”^[35]选择配料的组成。配方中主要成分包括沙米粉;杂粮粉(薏米、枸杞、苡蓉、燕麦、藜麦、玉米糝、南瓜籽、紫苏籽粉、芝麻,比例为 13:16:13:16:26:3:6:6:1);杂豆粉(大豆分离蛋白粉、乳清蛋白粉、赤小豆粉、炒白芸豆粉,比例为 33:47:5:15)和填充粉(魔芋粉、

菊粉,比例为 1:1)。

1.2.3 代餐粉配方优化试验设计 以感官评分为指标,设计优化试验优化各组分在一定范围内的配比对感官品质的影响(表 1)。为沙米粉添加量、杂粮粉添加量、杂豆粉添加量以及填充粉添加量,各组分质量分数之和为 100%,进行混料试验设计,优选出口感最佳的质量配比。

表 1 沙米复合代餐粉各粉料范围

Table 1 The range of *Agriophyllum sargassum* compound meal replacement powder

因素	物料	质量分数(g/g)	
		最低值	最高值
A	沙米粉	0.10	0.25
B	杂粮粉	0.25	0.40
C	杂豆粉	0.25	0.40
D	填充剂	0.00	0.10

注: A+B+C+D=1。

1.2.4 沙米复合代餐粉的感官评价 将所制备的代餐粉用 150 mL 80 ℃ 水冲调后,挑选代餐粉爱好者 10 人(男女比例 1:1)组成感官评定小组,进行感官评定(表 2)。

1.2.5 营养指标测定 碳水化合物含量参考 GB/Z 21922-2008 中利用减法计算;蛋白质含量采用 GB 5009.5-2016 凯氏定氮法测定;脂肪含量采用 GB 5009.6-2016 索氏抽提法测定;膳食纤维含量采用 GB5009.88-014 酶重量法测定;维生素 C 含量的测定:参照 GB /T 5009.86-2016 2,6-二氯酚酚滴定法测定;烟酸含量的测定:参照 GB /T 5009.89-2016 高效液相色谱法测定;矿物质元素及重金属元素含量采用 GB 5009.268-2016 ICP-MS 法测定;氨基酸含量的测定:参照 GB /T 5009.124-2016 氨基酸分析仪法。

1.2.6 代餐粉配方优化试验设计蛋白质营养价值评价 必需氨基酸指数(EAAI)、生物价(BV)、营养指数(NI)采用 Bano 和 FAO 推荐的方法计算^[36-37];氨基酸比值系数(RCAA)和氨基酸比值系数分(SRCAA),采用朱圣陶推荐的方法计算^[38]。

$$RAA = A_x / A_s$$

$$RCAA = RAA / \bar{RAA}$$

$$SRCAA = 100 - CV \times 100$$

$$EAAI = \sqrt{[(100A/A_E) \times (100B/B_E) \cdots (100I/I_E)]}$$

$$BV = 1.09 \times EAAI - 11.7$$

$$NI = (EAAI \times PP) / 100$$

式中: A_x 为样品蛋白质中必需氨基酸的含量, mg/g Pro; A_s 为 FAO/WHO 标准模式相应必需氨基酸的含量, mg/g Pro; $\bar{RAA}$ 表示其平均值; CV 为 RCAA 的变异系数; n 为必需氨基酸个数; A、B...I 为样品蛋白质的必需氨基酸含量, mg/g Pro; A_E 、 B_E ... I_E 为 FAO/WHO 标准模式的必需氨基酸含量, mg/g Pro; PP 为样品蛋白质的百分含量, %。

表 2 沙米复合代餐粉的感官评分表

Table 2 Sensory value standard of <i>Agriophyllum sargassum</i> compound meal replacement powder		
评分指标	描述	得分(分)
冲调性能(20分)	搅拌后成均匀糊状	16~20
	稍有结块,搅拌后溶解	11~15
	结块较多,不易溶解	1~10
组织状态(20分)	糊状,黏度适宜,颗粒分布均匀,稳定不分层	16~20
	糊状,黏度过稠,有团块物,颗粒分布均匀,稳定不分层	11~15
	糊状,黏度过稀,有豆类皮渣,分布不均匀,不稳定易分层	1~10
色泽(20分)	色泽均匀明亮,呈橘黄色	16~20
	色泽正常,呈黄褐色	11~15
	色泽较差,成棕褐色	1~10
气味(20分)	香气浓郁宜人	16~20
	香气较宜,无不佳气味	11~15
	气味刺鼻,香气不宜	1~10
口感滋味(20分)	口感柔和细腻,无砂粒感,滋味饱满,酸甜可口	16~20
	口感粗糙,稍有砂粒感,滋味宜人,酸甜可口	11~15
	口感粗糙,有砂粒感、滋味佳宜,过酸或稍有苦味	1~10

1.3 数据处理

营养成分指标重复测定 3 次,取平均值,数据统计分析采用 Excel 2010 进行。

2 结果与分析

2.1 混料试验设计结果分析及回归方程的建立

使用统计分析软件 Design Expert 11 对混料试验结果进行回归分析(表 3),得到感官评分(Y)与沙米粉(A)、杂粮粉(B)、杂豆粉(C)、填充粉(D)的回归方程为:

$$Y=68.23A+63.2B+74.56C+18.45D+21.66AB-2.4AC+122AD-1.88BC+149BD+150.64CD+200ABC+73.08ABD+91ACD+80.45BCD$$

表 3 混料试验设计方案及结果

Table 3 Design and the results of D-optimal mixture					
试验号	A沙米粉 (g/g)	B杂粮粉 (g/g)	C杂豆粉 (g/g)	D填充粉 (g/g)	Y感官评分 (分)
1	0.16	0.39	0.40	0.05	80
2	0.18	0.40	0.33	0.09	78
3	0.16	0.39	0.40	0.05	80
4	0.25	0.40	0.25	0.10	75
5	0.25	0.33	0.33	0.09	77
6	0.25	0.36	0.35	0.04	88
7	0.10	0.40	0.40	0.10	68
8	0.25	0.40	0.30	0.05	89
9	0.23	0.30	0.38	0.10	72
10	0.25	0.25	0.40	0.10	63
11	0.25	0.40	0.30	0.05	89
12	0.18	0.33	0.40	0.10	74
13	0.15	0.37	0.38	0.10	75
14	0.25	0.33	0.33	0.09	73
15	0.23	0.39	0.38	0.00	65
16	0.18	0.40	0.33	0.09	71
17	0.23	0.38	0.30	0.10	76
18	0.21	0.35	0.39	0.05	86
19	0.23	0.39	0.38	0.00	68
20	0.25	0.31	0.40	0.04	81

对回归模型实行方差分析见表 4,由表 4 可知,

模型显著 ($P<0.01$),失拟度不显著 ($P>0.05$),响应值的决定系数 $R^2=0.9637$,说明该模型能够较准确且真实地模拟、预测沙米复合代餐粉的感官评分。

表 4 回归方程的方差分析

Table 4 Analysis of variance for regression equation model						
差异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1074.35	13	82.64	12.26	0.0028	**
线性混合模型	192.1	3	64.03	9.5	0.0107	*
AB	13.48	1	13.48	2	0.2071	
AC	0.0112	1	0.0112	0.0017	0.9688	
AD	28.63	1	28.63	4.25	0.085	
BC	0.1031	1	0.1031	0.0153	0.9056	
BD	46.37	1	46.37	6.88	0.0395	*
CD	57.48	1	57.48	8.53	0.0266	*
ABC	3.67	1	3.67	0.5451	0.4882	
ABD	0.6646	1	0.6646	0.0986	0.7642	
ACD	0.0857	1	0.0857	0.0127	0.9139	
BCD	3.85	1	3.85	0.5711	0.4784	
残差	40.45	6	6.74			
失拟项	3.45	1	3.45	0.4665	0.525	
纯误差	37	5	7.4			
总变异	1114.8	19				

注: **:代表差异极显著, $P<0.01$; *:代表差异显著, $P<0.05$ 。

2.2 三元曲面图分析

使用统计分析软件 Design-Expert 11 在回归模型的基础上,沙米粉(A)、杂粮粉(B)、杂豆粉(C)以及填充粉(D)四因素交互作用的曲面 3D 图,沙米粉、杂粮粉、杂豆粉及填充粉交互作用对感官评价的影响如图 1 所示,当沙米粉、杂粮粉、杂豆粉及填充粉取适宜替代比例时,对沙米复合代餐粉的感官评价有极大值,该极大值存在于响应面的顶端。

2.3 验证实验

使用统计分析软件 Design-Expert 11 ,以感官评价为响应值得到最优组合为沙米粉 22.15%、杂粮粉 39.85%、杂豆粉 34.7% 及填充粉 4.3%,其感官评分

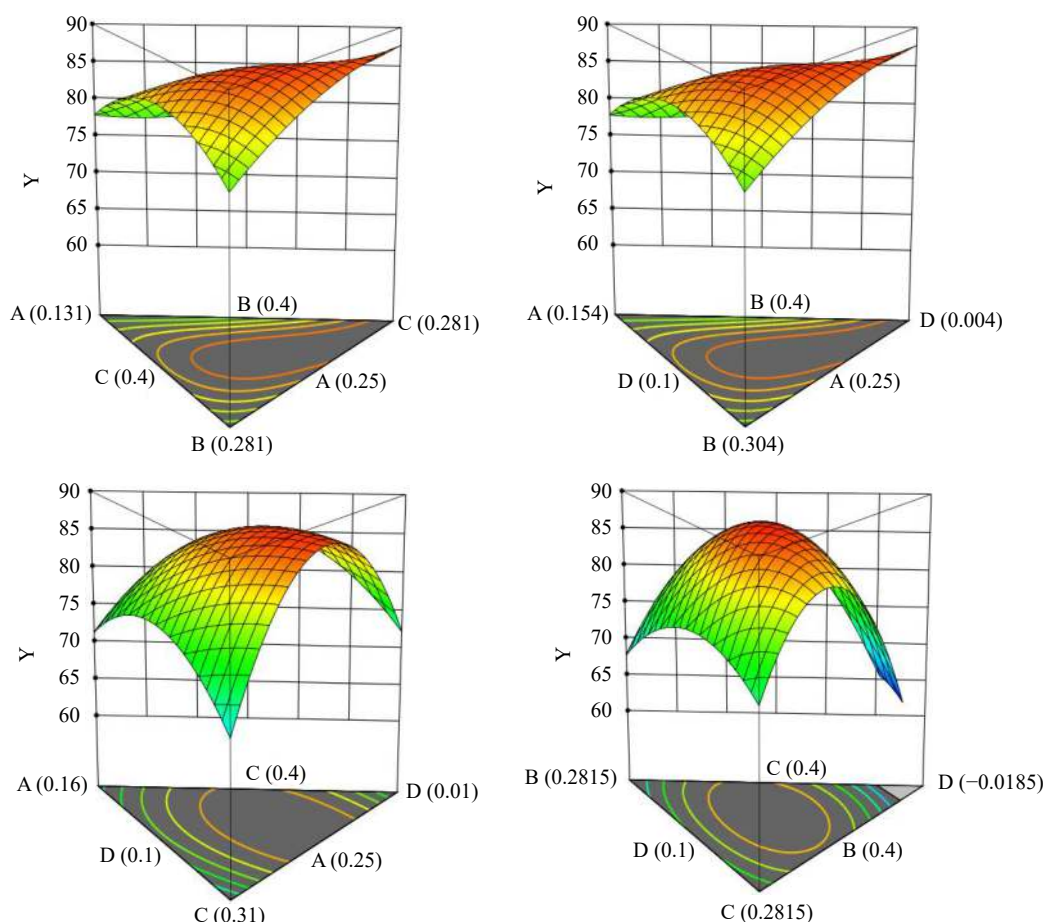


图1 沙米粉(A)、杂粮粉(B)、杂豆粉(C)及填充粉(D)对沙米复合代餐粉感官评分影响的3D图

Fig.1 3D response surface of the effects of sensory evaluation of *Agriophyllum sargassum* powder(A), mixed grain powder(B), mixed beans powder(C) and filling powder(D)

预测值为 82.75, 根据实际情况调整为沙米粉 22%、杂粮粉 39%、杂豆粉 35% 及填充粉 4%。经过 3 次验证实验取平均值, 在此配方条件下, 沙米复合代餐粉的平均感官评价为 83, 与预测值吻合, 表明试验得到的模型拟合度较高。

2.4 沙米代餐粉的营养成分含量

由表 5 可知, 沙米复合代餐粉能量较低且蛋白质、膳食纤维含量较高, 在满足基本营养需求的同时, 增强饱腹感, 减少其他食物的摄入量, 且作为填充粉的菊粉可改善血脂状况和肠道环境, 降低高血脂及结肠癌的风险^[39-42]。另外, 沙米复合代餐粉中维生素 C 含量达 210.68 mg/100 g, 微量元素中 Ca、Mg 和 Zn 含量较高, 分别为 211.76、164.64、22.83 mg/100 g。

表 5 代餐粉基本营养成分含量

Table 5 Contents of basic nutrients of meal powder

项目	含量	项目	含量
能量(kJ/100 g)	1692	维生素C含量(mg/100 g)	210.68
碳水化合物含量(g/100 g)	72.90	烟酸含量(mg/100 g)	442.70
蛋白质含量(g/100 g)	17.27	钙含量(mg/100 g)	211.76
脂肪含量(g/100 g)	4.30	镁含量(mg/100 g)	164.64
膳食纤维含量(g/100 g)	43.74	锌含量(mg/100 g)	22.83

2.5 氨基酸组成

结果如表 6 所示, 沙米复合代餐粉氨基酸种类丰富, 组氨酸、苏氨酸、精氨酸、缬氨酸含量均较高。其中缬氨酸、苏氨酸为人体必需氨基酸, 而精氨酸是一种双基氨基酸, 对成人来说虽然不是必需氨基酸, 但其具有多种生理功能, 如促进伤口愈合、调节免疫力等。

表 6 代餐粉氨基酸组成及含量

Table 6 Amino acid composition and content of meal powder

氨基酸种类	含量(g/100 g Pro)	氨基酸种类	含量(g/100 g Pro)
天冬氨酸	1.22	酪氨酸	1.58
谷氨酸	0.37	胱氨酸	0.20
丝氨酸	0.16	缬氨酸	5.20
组氨酸	5.50	甲硫氨酸	3.39
色氨酸	1.02	苯丙氨酸	5.15
苏氨酸	4.22	赖氨酸	3.70
精氨酸	7.90	亮氨酸	3.69
丙氨酸	0.02		

食物蛋白质的营养价值取决于氨基酸的组成和比例, 氨基酸的比例越接近 FAO/WHO 的推荐模式, 其蛋白质的营养价值越高。RCAA 是样品氨基酸与 FAO 模式氨基酸相当量的比值, 若该比值越接近 1,

则其模式越接近推荐模式,表 7 沙米复合代餐粉中亮氨酸的 RCAA 值最低为 0.45,则沙米复合代餐粉的第一限制氨基酸为亮氨酸。SRCAA 值是以各种氨基酸偏离氨基酸模式的离散度来评价蛋白质的质量,根据计算得到沙米复合代餐粉的 SRCAA 为 82.02,与 FAO/WHO 推荐必需氨基酸模型的符合程度较好。EAAI 指样品蛋白质与 FAO/WHO 模式蛋白的接近程度,沙米复合代餐粉的 EAAI 值为 63.14;生物价(BV)指食物中蛋白质经消化吸收后的利用程度,BV 越高,该种蛋白质吸收消化后的利用程度就越高,沙米复合代餐粉的 BV 值为 57.12,能够被人体较好的消化吸收;营养指数(NI)综合考虑了蛋白质的含量和氨基酸组成,沙米复合代餐粉的 NI 值为 10.92,是一种高蛋白含量,且蛋白质营养价值较高的一种代餐食品。

表 7 必需氨基酸组成及氨基酸比值系数(RCAA)

Table 7 Essential amino acid composition and amino acid ratio coefficient (RCAA)

氨基酸种类	沙米复合代餐粉 (g/100 g Pro)	FAO/WHO 模式	鸡蛋模式	RCAA
苏氨酸	4.22	4	5.1	0.90
甲硫氨酸+胱氨酸	3.59	3.5	5.5	0.88
缬氨酸	5.20	5	7.3	0.89
亮氨酸	3.69	7	8.8	0.45
苯丙氨酸+酪氨酸	6.73	6	10.0	0.96
赖氨酸	3.70	5.5	6.4	0.57
色氨酸	1.02	1	1.6	0.87

3 结论

采用 D-最优混料设计的方法,以沙米复合代餐粉的感官评分为考察指标,对沙米粉、杂粮粉、杂豆粉和填充粉等原料的混合复配比例进行优化。通过回归模型的建立,模拟各组分的最优配方为:沙米粉 22%、杂粮粉 39%、杂豆粉 35%、填充粉 4%,经过验证试验,实际值与预测值吻合,得到的模型可靠,可以有效地应用于沙米复合代餐粉的设计与优化。在此配方条件下制备的沙米复合代餐粉,具有低能量、高蛋白、高膳食纤维含量等优点,对其蛋白质营养进行评价分析,计算得到 SRCAA 为 82.02, EAAI 值为 63.14, BV 值为 57.12, NI 值为 10.92,综合评价蛋白质含量和氨基酸组成,结果表明,沙米复合代餐粉具有较高的营养价值。

参考文献

[1] 赵杰才,赵鹏善,赵昕,等.沙米(*Agriophyllum squarrosum*)生物学特性、营养价值及驯化可行性[J].中国沙漠,2016,36(3):636-643. [ZHAO Jiecai, ZHAO Pengshan, ZHAO Xin, et al. Biological characteristics, nutritional value and domestication feasibility of *Agriophyllum squarrosum*[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(3): 636-643.]

[2] WANG Y, ZHAO P, Li Q, et al. Evaluation on nutritional composition of *Agriophyllum squarrosum* of Tengger desert[J]. Sci-

ence and Technology of Food Industry, 2009, 30(9): 286-288.

[3] 张建农,赵继荣,李计红.沙米种子营养成分的测定与分析[J].草业科学,2006,23(3):77-79. [ZHANG Jiannong, ZHAO Jirong, Li Jihong. Determination and analysis of nutrients in *Agriophyllum squarrosum* seeds[J]. Pratacultural Science, 2006, 23(3): 77-79.]

[4] 任文明,刘雪峰,倪春梅.毛乌素沙漠天然沙米营养成分的分析[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2005,26(2):88-90. [REN Wenming, LIU Xuefeng, NI Chunmei. Analysis of nutrient components of natural *Agriophyllum squarrosum* in the Muusu Desert[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2005, 26(2): 88-90.]

[5] 孙洪斌,刘洪元,宫雪鸿,等.沙蓬籽蛋白质营养价值研究[J].包头医学院学报,1995,11(3):12-14. [SUN Hongbin, LIU Hongyuan, GONG Xuehong, et al. Study on the nutritional value of protein in seeds of *Agriophyllum squarrosum*[J]. Journal of Baotou Medical College, 1995, 11(3): 12-14.]

[6] PENG J, WANG Y, CHEN G, et al. Morphological and physicochemical properties of very small granules starch from *Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq. in comparison with maize starch[J]. Starch Starch, 2017: 1700068.

[7] 李文婷,彭菁,孙旭阳,等.双螺杆挤压对沙米复合粉理化及糊化特性的影响[J].中国粮油学报,2019,34(4):112-117. [LI Wenting, PENG Jing, SUN Xuyang, et al. Effects of twin-screw extrusion on physicochemical and gelatinization properties of *Agriophyllum squarrosum* composite powder[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(4): 112-117.]

[8] 彭菁.沙米蛋白和淀粉的理化性质研究及应用[D].南京:南京农业大学,2017. [PENG J. Study on the physicochemical properties and application of *Agriophyllum squarrosum* protein and starch[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.]

[9] 王雅,赵萍,李庆娟,等.腾格里沙漠沙米营养成分评价[J].食品工业科技,2009,30(9):286-288. [WANG Ya, ZHAO Ping, LI Qingjuan, et al. Evaluation of nutrient components of *Agriophyllum squarrosum* in Tengger Desert[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(9): 286-288.]

[10] 赵萍,王雅,巨玉佳,等.荧光光谱法测定沙米中 L-精氨酸含量[J].食品与发酵工业,2009,35(12):123-126. [ZHAO Ping, WANG Ya, JU Yujia, et al. Fluorescence spectrometry for determination of L-arginine content in *Agriophyllum squarrosum*[J]. Food and Fermentation Industries, 2009, 35(12): 123-126.]

[11] 彭菁,章梦琦,邢梦珂,等.沙米麸皮和外胚乳分离蛋白的理化及功能性质[J].食品科学,2017(13):77-82. [PENG Jing, ZHANG Mengqi, XING Mengke, et al. Physicochemical and functional properties of bran and endosperm protein isolates from *Agriophyllum squarrosum* bran[J]. Food Science, 2017(13): 77-82.]

[12] 库尔班江·巴拉提.超临界萃取新疆沙蓬籽油和其成分研究[J].安徽农业科学,2011,39(18):10839-10841. [Kuerbanjiang Balati. Study on supercritical extraction of seed oil and its constituents of *Agriophyllum squarrosum*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(18): 10839-10841.]

[13] CHEN G, ZHAO J, ZHAO X, et al. A psammophyte *Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq. : A potential food crop[J]. Genetic

- Resources and Crop Evolution, 2014, 61(3): 669-676.
- [14] 王雅, 赵萍, 赵坤, 等. 沙米绿原酸提取工艺优化及抗氧化性能研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(10): 131-134. [WANG Ya, ZHAO Ping, ZHAO Kun, et al. Study on the extraction process optimization and antioxidant activity of chlorogenic acid from *Agriophyllum squarrosum* [J]. Food and Fermentation Industries, 2007, 33(10): 131-134.]
- [15] 张中华, 杨爱梅. 响应面法优化沙米总黄酮提取工艺的研究[J]. 中国食品工业, 2015(11): 63-67. [ZHANG Zhonghua, YANG Aimei. Optimization of the extraction process of total flavonoids from *Agriophyllum squarrosum* by response surface methodology [J]. China Food Industry, 2015(11): 63-67.]
- [16] XU H Y, ZHENG H C, ZHANG H W, et al. Comparison of antioxidant constituents of *Agriophyllum squarrosum* seed with conventional crop seeds [J]. Journal of Food Science, 2018, 83(7-9): 1823-1831.
- [17] QI W, SHAO H, ZHONG Z, et al. Phenolic profile and antioxidant properties of sand rice (*Agriophyllum squarrosum*) as affected by cooking and *in vitro* digestion [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(8): 3871-3878.
- [18] 王琦, 王安, 闫帅帅, 等. 沙蓬籽的酚类组成、抗氧化活性及其淀粉体外消化特性 [J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2020(5): 42-47. [WANG Qi, WANG An, YAN Shuaishuai, et al. Phenolic composition, antioxidant activity and starch digestibility *in vitro* of *Agriophyllum squarrosum* [J]. Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition, 2020(5): 42-47.]
- [19] 吉日嘎拉. 沙蓬水提物降糖作用的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2016. [Jirigala. Study on the hypoglycemic effect of water extract of *Agriophyllum squarrosum* [D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2016.]
- [20] SA Qier, SHU Yin, et al. Effects of *Agriophyllum squarrosum* extracts on glucose metabolism in KKAY mice and the associated underlying mechanisms [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2019, 241: 112009-112009.
- [21] 鲍明明. 沙蓬降血脂活性研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2017. [BAO Mingming. Study on the antihyperlipidemic activity of *Agriophyllum squarrosum* [D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2017.]
- [22] 杨薇, 侯建春. 一种果蔬酵素营养代餐粉. 北京: CN 105011157A [P]. 2015-11-04. [YANG Wei, HOU Jianchun. A new kind of fruit and vegetable enzyme nutrition meal substitute powder Beijing: CN105011157A [P]. 2015-11-04.]
- [23] 谢安国, 李瀚妹, 郭桂义等. 绿茶麦胚代餐粉的配制及流变学特性研究 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(5): 98-103. [XIE Anguo, LI Hanshu, GUO Guiyi, et al. Study on preparation and rheological properties of green tea wheat germ meal substitute powder [J]. Food Research and Development, 2020, 41(5): 98-103.]
- [24] HEYMSFIELD S B, VAN MIERLO C A J, et al. Weight management using a meal replacement strategy: Meta and pooling analysis from six studies [J]. International Journal of Obesity & Related Metabolic Disorders Journal of the International Association for the Study of Obesity, 2003, 27(5): 537-539.
- [25] 蒋勇, 邹勇, 周露等. 豆渣微粉的性能及其复配代餐粉对小鼠肠道微生物影响的体外评价 [J]. 食品科学, 2015, 36(15): 199-205. [JIANG Yong, ZOU Yong, ZHOU Lu, et al. Effects of soybean residue powder on intestinal microorganism in mice *in vitro* [J]. Food Science, 2015, 36(15): 199-205.]
- [26] 张丽, 宋留丽, 张琪, 等. 荞麦复合代餐粉的配方优化 [J]. 食品工业, 2019, 279(12): 89-91. [ZHANG Li, SONG Liuli, ZHANG Qi, et al. Optimization of the formula of buckwheat compound meal replacement powder [J]. Food Industry, 2019, 279(12): 89-91.]
- [27] 刘俭, 蔡永国, 王霞伟, 等. 沙棘营养代餐粉的研制及其流变特性 [J]. 食品工业科技, 2019, 40(8): 169-175. [LIU Jian, CAI Yongguo, WANG Xiawei, et al. Preparation and rheological properties of nutritive meal substitute powder of sea buckthorn [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(8): 169-175.]
- [28] 周葵, 洪雁, 梁尚云, 等. 富硒大米粉预糊化及其复配代餐粉的研制 [J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(1): 186-192. [ZHOU Kui, HONG Yan, LIANG Shangyun, et al. Preparation of selenium-enriched rice flour pregelatinized and its compound for meal replacement powder [J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(1): 186-192.]
- [29] 宗敏, 陈艳秋, 李士捷, 等. 营养代餐粉和营养米粉的血糖生成指数与饱腹感指数研究 [J]. 中国糖尿病杂志, 2020, 28(2): 116-119. [ZONG Min, CHEN Yanqiu, LI Shijie, et al. Study on the glycemic index and satiety index of nutrition meal replacement powder and nutrition rice flour [J]. China Diabetes Journal, 2020, 28(2): 116-119.]
- [30] 张晓彤, 吴澎. 代餐食品的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(12): 342-347. [ZHANG Xiaotong, WU Peng. Research progress of meal replacement food [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(12): 342-347.]
- [31] 廖传仙, 黄建国, 陆萍, 等. 黑木耳桑葚魔芋代餐粉复合多糖的抗氧化活性研究 [J]. 安徽农业科学, 2020, 48(16): 162-164, 253. [LIAO Chuanxian, HUANG Jianguo, LU Ping, et al. Study on the antioxidant activity of mulberry konjac meal substitute polysaccharide of black fungus [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(16): 162-164, 253.]
- [32] 赵娇娇, 刘丹, 陈若瑀, 等. 苡麦苦荞高纤维杂粮降糖代餐粉的研制 [J]. 粮食加工, 2020, 45(5): 44-48. [ZHAO Jiaojiao, LIU Dan, CHEN Ruoyu, et al. Preparation of naked oats tart buckwheat high fiber meal replacement powder [J]. Grain Processing, 2020, 45(5): 44-48.]
- [33] 胡晗. 莲子速溶粉加工工艺的研究及代餐粉的开发 [D]. 福州: 福建农林大学, 2020. [HU H. Study on processing technology of lotus seed instant powder and development of meal replacement powder [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2020.]
- [34] 中国营养学会. 中国居民膳食营养指南 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016: 269-284. [Chinese Nutrition Society. The dietary nutrition guide of Chinese residents [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2016: 269-284.]
- [35] CODEX STAN 203-1995, 国际食品法典标准减肥用低能量食品 [S]. [CODEX STAN 203-1995, Codex alimentarius stan-

dard for low energy foods for weight loss [S].]

[36] BANO Z, RAJARATHRAM S. Pleurotus mushroom as a nutrition food[M]. In: Tropical mushroom: Biological nature and cultivation methods. Hong Kong: The Chinese University Press, 1982: 363–380.

[37] FAO Food Policy and Food Sci Serv. Div. FAO. No. 24 Amino acid content of foods and biological data on proteins[S]. Rome: Nutr Stud, 1970: 5–6.

[38] 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养评价-氨基酸比值系数法[J]. 营养学报, 1988, 10(2): 187–190. [ZHU Shengtao, WU Kun. Protein nutrition evaluation and amino acid ratio coefficient method[J]. Journal of Nutrition, 1988, 10(2): 187–190.]

[39] 向岑, 荣耀, 迟明, 等. 菊粉生物学作用及机制研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(19): 212–218, 224. [XIANG Cen, RONG Yao, CHI Ming, et al. Research progress on biological func-

tion and mechanism of inulin[J]. Food Research and Development, 2020, 41(19): 212–218, 224.]

[40] CATENACCI L, SORRENTI M, PERTEGHELLA S, et al. Combination of inulin and β -cyclodextrin properties for colon delivery of hydrophobic drugs[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2020: 589119861.

[41] RODRIGUEZ E S, JULIO L M, HENNING C, et al. Effect of natural antioxidants on the physicochemical properties and stability of freeze-dried microencapsulated chia seed oil[J]. [Journal of the Science of Food and Agriculture](#), 2019, 99(4): 1682–1690.

[42] TIMILSENA Y P, VONGSVIVUT J, TOBIN M J, et al. Investigation of oil distribution in spray-dried chia seed oil microcapsules using synchrotron-FTIR microspectroscopy[J]. [Food Chemistry](#), 2019, 275: 457–466.