

张倩芳, 李敏, 孟晶岩, 等. 藜麦冲调粉加工工艺优化及其营养评价 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(24): 216–221. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030087

ZHANG Qianfang, LI Min, MENG Jingyan, et al. Research on the Processing Technology and Nutritional Evaluation of Quinoa Compound Powder[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(24): 216–221. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030087

· 工艺技术 ·

藜麦冲调粉加工工艺优化及其营养评价

张倩芳, 李敏, 孟晶岩, 栗红瑜*

(山西农业大学山西功能食品研究院, 山西太原 030031)

摘要:以藜麦、燕麦麸皮为主要原料, 利用挤压膨化技术制备藜麦冲调粉并对其进行营养评价。通过单因素实验结合正交试验得到了藜麦冲调粉的最佳生产工艺为: 物料水分含量 18%、挤出温度 130 ℃、螺杆转速 280 r/min、喂料速度 20 kg/h。以此条件制得的冲调粉口感细腻, 冲调性好, 感官评分为 92.50。通过营养质量指数对藜麦冲调粉进行营养评价, 结果表明: 藜麦冲调粉宏量营养素供能比合理, 除钙元素外, 6 种矿物质元素和 4 种维生素的营养质量指数 (INQ) 均大于 1, 脂肪酸构成比例合理, 富含不饱和脂肪酸, 致动脉粥样硬化指数 (AI) 为 0.1489, 致血栓指数 (TI) 为 0.243, 是一种营养均衡的高蛋白高膳食纤维食品。

关键词: 藜麦, 冲调粉, 挤压膨化, 工艺优化, 营养评价

中图分类号: TS211.4⁺7

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2023)24-0216-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030087



本文网刊:

Research on the Processing Technology and Nutritional Evaluation of Quinoa Compound Powder

ZHANG Qianfang, LI Min, MENG Jingyan, LI Hongyu*

(Institute of Functional Food of Shanxi, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China)

Abstract: Using quinoa and oat bran as the primary raw materials, this study applied extrusion technology to create a quinoa compound powder, and the nutritional evaluation of the powder was carried out. A one-factor test was used to establish the process parameters. The optimal production process for quinoa blended powder was determined using an orthogonal test with the following parameters: 18% material moisture content, 130℃ extrusion temperature, 280 r/min screw speed, and 20 kg/h feeding speed. The compound powder produced under these conditions had a pleasant flavor and blended well, earning a sensory score of 92.5. The quality of quinoa flour was determined utilizing the nutritional quality index. The results indicated that the ratio of macronutrients to energy supply in quinoa flour was reasonable. Besides calcium, six mineral elements and four vitamins had INQ values greater than 1. With an AI value of 0.1489 and a TI value of 0.243, quinoa compound flour's fatty acids ratio was reasonable and rich in unsaturated fatty acids. Thus, quinoa compound powder is a high-protein, high-dietary-fiber, nutritionally-balanced food.

Key words: quinoa; compound powder; extrusion; process optimization; nutrition evaluation

藜麦, 藜科藜属植物, 原产于南美洲安第斯山脉的高海拔地区, 具有一定的耐旱、耐寒、耐盐性。随着对藜麦开发利用的不断深入, 近年来我国藜麦种植规模迅速扩大, 2022 年已达 32 万亩^[1]。作为一种营养价值极高的类全谷物, 藜麦营养成分种类齐全, 不仅

富含优质蛋白, 其氨基酸和脂肪酸构成合理, 钙、铁、锰、锌、维生素等微量营养素含量也十分丰富^[2-5], 被 FAO 推荐为最适宜人类的完美全营养食品^[4-7]。另外藜麦中还含有多酚、皂甙、黄酮等多种抗氧化物质, 长期食用能够预防人体多种慢性疾病的发生^[8-10]。

收稿日期: 2023-03-09

基金项目: 山西省农业科学院特色产业重点研发专项项目 (YCX2018D2T07); 山西省重点研发计划项目 (201603D221032-2); 山西农业大学“特”“优”农业高质量发展科技支撑工程 (TYGC-62); 山西省专利推广实施资助专项 (20200732)。

作者简介: 张倩芳 (1990-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 农产品深加工, E-mail: zhangqianfangok@163.com。

* **通信作者:** 栗红瑜 (1966-), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 农产品深加工, E-mail: hongyuli66@163.com。

随着经济的发展,人民生活水平日益提高,肥胖和超重人群也日益增加,如何选择质量高的食物,获得足够的营养素而不摄入过多的能量越来越多的受到关注。营养质量指数(Index of Nutrition Quality, INQ),是评价食物营养价值的重要指标^[11-12],通过以食物中营养素能满足人体营养需要的程度(营养素密度)对同一种食品能满足人体能量需要的程度(热量密度)之比值来评定食物的营养价值,可以为消费者选择食物提供有效依据^[13-14]。脂肪是人体必需的宏量营养素,而脂肪酸组成是评价食物脂质的重要指标,不同的脂肪酸有不同的生理功能^[15-16],合理的脂肪酸构成比例对预防心血管疾病、调节免疫有重要意义^[17]。

近年来,快节奏的生活使得越来越多的人选择冲调粉作为早餐或代餐食用^[18],藜麦作为一种全谷物,是制备冲调粉的优良原料^[19]。但是市面上的冲调粉普遍存在种类单一、口感不佳、冲调性能差的问题。目前对于藜麦冲调粉的研究多集中于原料的复配和配方的优化,从而达到营养均衡的目的,但是对营养评价的研究还不多,脂肪酸评价等研究也未见报道。本研究以藜麦为主要原料,复配一定比例的燕麦麸皮,利用挤压膨化技术生产藜麦冲调粉,以感官评价为指标优化工艺条件,改善冲调粉口感,并对藜麦冲调粉进行营养评价和脂肪酸评价,以期对藜麦的深加工提供思路和理论依据,为消费者提供更多选择。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

藜麦籽粒、燕麦麸皮粉 山西北麦食品科技研发有限公司。

DZ65-II 双螺杆挤压膨化机、F-1 卧式混料机 济南赛信膨化机械公司;HK-8603KW 杂粮粉碎机 河南旭众机械设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 藜麦预处理 藜麦清洗晾干后,粉碎过 40 目筛,燕麦麸皮粉碎过 40 目筛,以 7:3 的比例放入混料机中混合均匀,备用。

1.2.2 藜麦冲调粉制备工艺单因素实验 取混好的原料 15 kg,预设原料水分含量为 18%,挤压温度 130 ℃,螺杆转速 280 r/min,喂料速度 20 kg/h 作为提取工艺中的常规量,在双螺杆挤压机中进行加工熟化。用单因素变量替换挤压工艺中相应的常规量,设置物料水分含量分别为 14%、16%、18%、20%、22%,挤压温度分别为 120、125、130、135、140 ℃,喂料速度分别为 16、18、20、22、24 kg/h,螺杆转速分别为 240、260、280、300、320 r/min,考察以上因素对藜麦冲调粉感官评价的影响。

1.2.3 挤压工艺优化 在单因素实验的基础上,选取较优的工艺条件,以感官评分为指标进行正交试验,研究藜麦冲调粉的最佳生产工艺。试验因素与水平见表 1。

表 1 正交试验因素水平
Table 1 Orthogonal test factor level

水平	A物料水分含量 (%)	B挤出温度 (℃)	C喂料速度 (kg/h)	D螺杆转速 (r/min)
1	16	125	18	260
2	18	130	20	280
3	20	135	22	300

1.2.4 感官评分及数据分析方法 筛选 20 名感官评价人员(男女比例 1:1),经过培训后对藜麦冲调粉进行感官评价,数据分析以满分 100 分记,采用感官评分标准对样品进行独立打分,取平均值为样品的最终得分,感官评分标准参考乐梨庆等^[20]的研究并加以修改,如表 2 所示。

表 2 藜麦冲调粉感官评分标准
Table 2 Sensory evaluation rules of quinoa compound powder

项目	感官指标	分值(分)
色泽	色泽均匀,呈淡黄色	11~15
	色泽较均匀,有少量深色颗粒	6~10
	色泽不均匀,有大量深色颗粒	1~5
滋味	有明显的藜麦清香	11~15
	藜麦香味不明显	6~10
	无原料香味,略有焦糊味	1~5
风味	冲调后清甜柔和,有淡淡坚果味	11~15
	有轻微苦味	6~10
	无原料香味,苦味明显	1~5
口感	入口顺滑,口感细腻	11~15
	口感较细腻,有轻微的颗粒感	6~10
	口感粗糙,颗粒感明显	1~5
冲调性	冲调后呈均匀的糊状,无结块	28~40
	溶解较快,有少量结块	15~27
	溶解慢,有大量结块	1~14

1.2.5 藜麦冲调粉营养评价

1.2.5.1 营养成分检测 依据 GB 5009-2016 中相关方法和 GB 5009.88-2014,测定原料和冲调粉中粗蛋白、淀粉、碳水化合物、粗脂肪、灰分、水分、总膳食纤维含量;参考丁长河等^[21]的方法,测定冲调粉中铁(Fe)、镁(Mg)、钾(K)、钙(Ca)、锌(Zn)、硒(Se)、锰(Mn)的含量;依据 GB 5009.8-2016 测定冲调粉中维生素 B₁、维生素 B₂、烟酸、维生素 E 的含量;依据 GB 5009.168-2016 第一法测定藜麦冲调粉 37 种脂肪酸的含量。

1.2.5.2 营养评价 根据藜麦冲调粉的宏量营养素及特征功能成分含量、能量值,采用 INQ 值对其进行营养评价。

$$INQ = \frac{100 \text{ g食物中某营养素密度}}{100 \text{ g食物热量密度}}$$

式(1)

式中,营养素密度为 100 g 食物中某营养素含量/每日推荐摄入量;热量密度为 100 g 食物的热量/人体每日所需热量(以 2200 kcal 计)。

人体每日所需营养素摄入量(Recommended

Nutrients Intakes, RNI)参考《中国居民膳食营养素推荐摄入量》^[22] 中 18~49 周岁的推荐值,其中男女推荐摄入量不同时以均值计算,见表 3。

表 3 中国居民膳食营养素推荐摄入量
Table 3 Recommended intake of dietary nutrients for Chinese residents

营养素	推荐摄入量(每日)	
	男	女
硒(μg)	60	60
铁(mg)	12	20
镁(mg)	330	330
钾(mg)	2000	2000
钙(mg)	800	800
锌(mg)	12.5	7.5
锰(mg)	4.5	4.5
维生素E(mg)	14	14
维生素B ₁ (mg)	1.4	1.2
维生素B ₂ (mg)	1.4	1.2
烟酸(mg)	15	12
维生素C(mg)	100	100

1.2.5.3 藜麦冲调粉脂肪酸评价方法 根据不同种类脂肪酸的含量计算藜麦冲调粉总脂肪酸(TFA)、饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)、多不饱和脂肪酸(PUFA)含量,并按公式(2)、公式(3)计算致动脉粥样硬化指数(AI)和致血栓指数(TI),对藜麦冲调粉的脂肪酸进行营养评价。

$$AI = \frac{C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0}{\sum MUFA + \sum PUFA_{(\omega-6)} + \sum PUFA_{(\omega-3)}} \quad \text{式 (2)}$$

$$TI = \frac{C14:0 + C16:0 + C18:0}{0.5 \times \sum MUFA + 0.5 \times \sum PUFA_{(\omega-6)} + 3 \sum PUFA_{(\omega-3)} + \sum PUFA_{(\omega-6)}} \quad \text{式 (3)}$$

1.3 数据处理

使用 Excel 2007、Origin 9.0 进行数据分析和作图,营养成分测定重复 3 次,取平均值,结果用平均值±标准差的形式表示。

2 结果与分析

2.1 藜麦冲调粉工艺优化

2.1.1 单因素实验结果与分析 从图 1 可以看出,随着原料水分含量的增加,藜麦冲调粉的感官评分先升高后下降,在水分含量为 18% 时达到最高。在挤压膨化过程中,当挤压温度恒定时,原料水分含量直接影响产品的膨化度,水分过少会造成膨化度不足影响冲调性能^[23],水分过多又会使挤压机机筒及磨口处温度下降,降低产品熟化度,影响冲调粉的品质。

在藜麦冲调粉生产工艺中,挤压温度是影响产品性状的关键因素。由图 2 可知,当挤压温度低于 130 ℃ 时,随着温度的增加,产品熟化度逐渐增加,藜麦香气被激发出来,感官评分也逐渐增加。当挤压温度高于 130 ℃ 时,产品过度糊化,膨化度降低,开

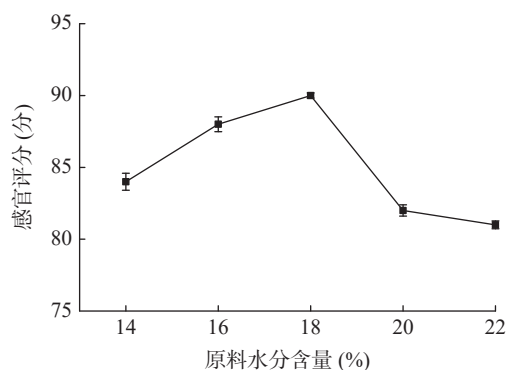


图 1 原料水分含量对藜麦冲调粉感官评分的影响

Fig.1 Effect of moisture content of raw materials on sensory score of Quinoa compound powder

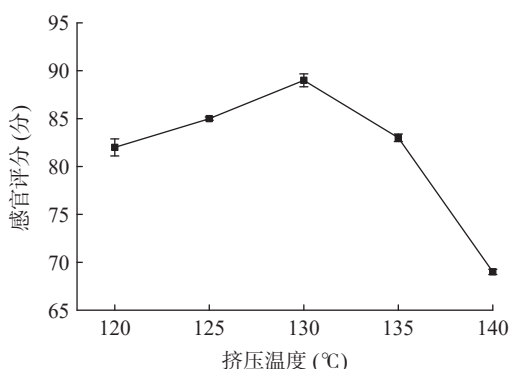


图 2 挤压温度对藜麦冲调粉感官评分的影响

Fig.2 Effect of extrusion temperature on sensory score of Quinoa compound powder

始散发焦糊味,影响冲调粉的口感,而当挤压温度控制在 130 ℃ 时,冲调粉的质地均匀,易于冲泡,口感细腻且有藜麦的清香味,感官评分也最高。

由图 3 可知,随着喂料速度的增加,产品感官评分呈先上升后下降再逐渐平稳的趋势。当其他工艺条件不变时,喂料速度增加,原料在挤压机内填充度增大,腔体内的压力和剪切力也随之增大,使得冲调粉的膨化度和糊化度都增大^[24],感官评分逐渐升高,当喂料速度大于 20 kg/h 时,原料在腔体内逐渐接近饱和,摩擦力增大,腔体内温度升高且物料受热不均,淀粉易碳化造成产品颜色发黑,影响产品感官。

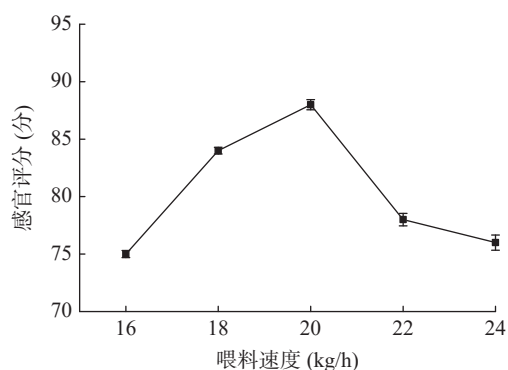


图 3 喂料速度对藜麦冲调粉感官评分的影响

Fig.3 Effect of feeding speed on sensory score of Quinoa compound powder

螺杆转速主要影响挤压过程中原料的吸热程度和在挤压机腔体中的停留时间^[25]。随着螺杆转速的增加,原料会受到更大的剪切力和压力,吸收更多的热量从而增加膨化度,激发出产品的香气;但螺杆转速过高会造成停留时间过短,产品糊化度不足,香味不足,有夹生感,使感官评分降低。由图 4 可知,当螺杆转速为 280 r/min 时,产品的感官评分最高。

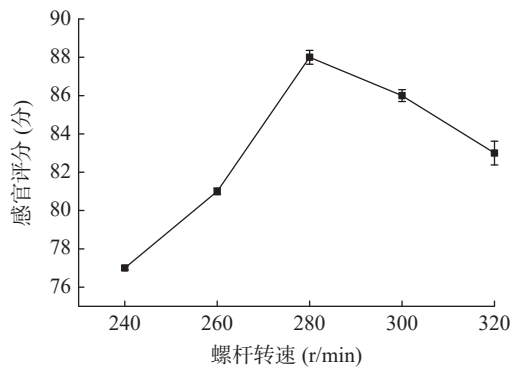


图 4 螺杆转速对藜麦冲调粉感官品质的影响
Fig.4 Effect of screw speed on sensory score of Quinoa compound powder

2.1.2 藜麦冲调粉加工工艺优化 K 值越大感官评分越高,由表 4 可知,影响藜麦冲调粉感官评分因素的主次顺序为:物料水分含量>挤出温度>螺杆转速>喂料速度,最优组合为 A₂B₂C₂D₃,即藜麦冲调粉的最佳加工工艺为:物料水分含量为 18%、挤出温度为 130 ℃、螺杆转速为 280 r/min、喂料速度为 20 kg/h,以此条件验证得出感官评分为 92.50 分。

表 4 藜麦冲调粉工艺优化正交试验结果
Table 4 Orthogonal test for process optimization of Quinoa compound powder

实验号	A	B	C	D	感官评分
1	1	1	1	1	74.05±0.21
2	1	2	2	2	84.10±0.16
3	1	3	3	3	82.90±0.30
4	2	1	2	3	88.80±0.31
5	2	2	3	1	91.05±0.36
6	2	3	1	2	88.85±0.19
7	3	1	3	2	77.50±0.22
8	3	2	1	3	87.10±0.20
9	3	3	2	1	82.25±0.21
K1	80.35	80.12	83.33	82.45	
K2	89.57	87.42	85.05	83.48	
K3	82.28	84.67	83.82	86.27	
R	9.22	7.30	1.72	3.82	

2.2 藜麦冲调粉营养评价

2.2.1 藜麦冲调粉基础成分分析 由表 5~表 6 可知,通过藜麦粉与燕麦麸皮的复配,藜麦冲调粉相比藜麦粉,脂肪和淀粉含量降低,蛋白质与膳食纤维含量有所提高,参照 GB 28050-2011 中能量和营养成分含量的要求和条件,蛋白质 25.07% 大于 10% 中国食品标签营养素参考值(Nutrient Reference Values, NRV),膳食纤维含量 15.05 g/ 100 g 大于 6 g/ 100 g,

符合高蛋白高膳食纤维食品的要求,且宏量营养素的供能比均在推荐范围内,既能够满足人体日常生活所需,又不会因为过多的摄入单一营养素而引发疾病。

表 5 藜麦冲调粉及原料基础成分分析(%)
Table 5 Analysis of the basic components of quinoa compound flour and its raw materials (%)

成分	藜麦粉	燕麦麸皮	藜麦冲调粉
蛋白质	11.72±0.17	22.83±0.02	15.04±0.05
灰分	2.30±0.01	3.85±0.04	2.89±0.01
脂肪	10.35±0.02	7.17±0.01	9.34±0.02
膳食纤维	10.98±0.12	26.45±0.09	15.05±0.21
淀粉	63.88±0.13	39.51±0.12	57.34±0.13

注:试验结果均以干基计。

表 6 藜麦冲调粉宏量营养素供能比
Table 6 Energy supply ratio of macronutrients in quinoa compound powder

营养素	AMDR(%E)	食物营养含量(g/100 g)	供能比(%E)
总碳水化合物	50~65	58.32±0.09	57.23
蛋白质	10~15	15.04±0.05	14.76
总脂肪	20~30	9.34±0.02	20.62
饱和脂肪	<10	2.2±0.02	4.86

注:AMDR=Acceptable Macronutrient Distribution Range,宏量营养素可接受范围;%E为占能量的百分比。

2.2.2 藜麦冲调粉营养质量指数分析 营养素含量的多少并不能充分反映食物的营养价值,结合食物营养素含量与该食物所能提供的热量,才能对一种食物的营养进行综合评价^[26]。INQ 值的大小可以直观反映食物提供能量和提供营养素的能力。当 INQ<1 时,表明热量得到满足时,食物无法为人体提供足够的营养素;INQ>1 时,表明食物提供营养素的能力大于提供热量的能力,这一类食物特别适合肥胖和想控制体重的人群食用;为了保持热量与营养素均衡,避免营养素缺乏,INQ 值的最佳范围一般在 0.95~1.50 之间^[27]。

矿物质是人体生命活动的必须元素,具有强大的生物学作用,它们自身都无法合成,如果膳食调配不当、偏食或患某些疾病时,容易造成缺乏^[28]。由表 7 可知,藜麦营养粉中除了钙含量略有不足,铁、镁、锌、钾等多种矿物质元素的 INQ 值都大于 1,可以给人体提供足够的微量元素。除了矿物质外,藜麦冲调粉还含有丰富的维生素 B₁、B₂、B₃ 和维生素 E。B 族维生素不仅是能量代谢中不可或缺的成分,对于维持皮肤和黏膜健康也有重要意义^[29]。藜麦冲调粉中未检测到 V_C,这可能是加工过程中受热导致 V_C 分解。

2.2.3 藜麦冲调粉脂肪酸分析 脂肪酸的组成比例,与心脑血管疾病的发生有密切关系,不饱和脂肪酸含量越高,不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸含量比值越大,对降低人体血浆内胆固醇含量、预防心血管疾病越有利^[30]。由表 8 可知,藜麦冲调粉 SFA、MUFA、PUFA

表 7 藜麦冲调粉营养质量指数分析表

Table 7 Analysis table of nutritional quality index of quinoa compound powder

营养素	推荐日摄入量	食物营养含量/100 g	INQ
硒(μg)	60	12.70±0.13	1.14
铁(mg)	16	4.24±0.01	1.43
镁(mg)	330	97.00±0.11	1.59
钾(mg)	2000	681.00±0.05	1.02
钙(mg)	800	101.00±0.21	0.68
锌(mg)	10	2.86±0.01	1.03
锰(mg)	4.5	1.24±0.01	1.49
维生素E(mg)	14	2.65±0.09	1.02
烟酸(mg)	13.5	2.42±0.07	0.97
维生素B ₁ (mg)	1.3	0.34±0.05	1.40
维生素B ₂ (mg)	1.3	0.23±0.01	0.95
维生素C(mg)	100	未检出	

表 8 藜麦冲调粉脂肪酸种类及组成(g/100 g)

Table 8 Types and composition of fatty acids in quinoa compound powder (g/100 g)

脂肪酸	含量
饱和脂肪酸(SFA)	C14:0 0.01±0.00
	C16:0 1.01±0.02
	C18:0 0.07±0.00
	C20:0 0.03±0.00
	C22:0 0.03±0.00
	C24:0 0.02±0.00
单不饱和脂肪酸(MUFA)	C18:1-9c 2.62±0.01
	C20:1-11c 0.1±0.00
	C22:1-13c 0.08±0.00
多不饱和脂肪酸(PUFA)	C18:2-9c,12c 3.47±0.01
	C18:2t 0.02±0.00
	C18:3n-3 0.58±0.02
其他脂肪酸	ND

的比例分别为 14.55%、34.83% 和 50.37%，PUFA/SFA 比值为 3.46，而当 PUFA/SFA 比值大于 2 时就有明显的降血脂功效，且比值越大效果越明显。

不同的脂肪酸具有不同的生理功能，MUFA 中的油酸(C18:1)可以软化血管、降低食品中油脂的结晶化，PUFA 中的亚油酸能够降低血清中胆固醇和低密度脂蛋白的含量，亚麻酸能够加快胆固醇排泄并抑制内源性胆固醇的合成^[31]，有效调节血脂，藜麦冲调粉中含有丰富的油酸、亚油酸和亚麻酸，多不饱和脂肪酸 n-6/n-3 比例为 5.98:1，符合联合国粮农组织(FAO)和中国营养学会会提出膳食中 PUFA n-6/n-3 的最佳比值(分别为(5~10):1 和(4~6):1)。

根据脂肪酸的含量计算藜麦冲调粉的 AI 值为 0.1489，TI 值为 0.243，低于健康饮食推荐指数，藜麦冲调粉脂类营养均衡，脂肪酸不饱和度高，致动脉粥样硬化和血栓等疾病可能性较小，且脂肪供能比较低，不含胆固醇，适合肥胖和控制体重人群食用。

3 结论

以感官评分为指标，对藜麦冲调粉生产工艺进行优化，得到挤压膨化的最佳工艺为：物料水分含量

18%、挤出温度 130 ℃、螺杆转速 280 r/min、喂料速度 20 kg/h。以此工艺生产的藜麦冲调粉色泽均匀，易于冲泡，口感细腻顺滑，有淡淡的藜麦清香，最终感官评价得分 92.50 分。

以营养质量指数对藜麦冲调粉进行营养评价，藜麦冲调粉宏量营养素供能比合理，富含矿物质和维生素，除钙元素外，6 种矿物质和 4 种维生素的 INQ 值均大于 1，脂肪酸构成合理，不饱和脂肪酸含量高，AI 和 TI 值分别为 0.1489 和 0.243，均小于健康饮食推荐指数，是一种营养与口感兼具的高蛋白高膳食纤维食品，适合心血管疾病患者和控制体重人群食用。本研究可以为藜麦代餐食品的研发提供思路和研究依据，同时也为广大消费者提供了更多选择。但是冲调粉的生产原料限于杂粮品种，较单一，今后可以选择更多种类的原料(如坚果、豆类等)进行加工，以丰富产品的口感及种类。

参考文献

- [1] 杨京, 吕玮, 张巧英, 等. 中国藜麦溯源发展策略分析[J]. 农业展望, 2022, 18(9): 50-55. [YANG Jing, LÜ Wei, ZHANG Qiaoying, et al. Analysis on the development strategy of quinoa traceability in China[J]. Agricultural Outlook, Agricultural Outlook, 2022, 18(9): 50-55.]
- [2] FILHO A M, PIROZI M R, BORGES J T D S, et al. Quinoa: Nutritional, functional and antinutritional aspects[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2015, 57(8): 1618-1630.
- [3] 任贵兴, 杨修仕, 么杨. 中国藜麦产业现状[J]. 作物杂志, 2015(5): 1-5. [REN Guixing, YANG Xiushi, YAO Yang. Current situation of quinoa industry in China[J]. Crops, 2015(5): 1-5.]
- [4] 管晓, 马志敏, 宋洪东, 等. 萌发藜麦的营养及其功能特性研究进展[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(4): 1-11. [GUAN Xiao, MA Zhimin, SONG Hongdong, et al. Research progress on nutrition and functional properties of germinated quinoa[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(4): 1-11.]
- [5] 和丽媛, 王玲, 吕俊梅. 藜麦营养组成及生物学功能研究进展[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(4): 11-15. [HE Liyuan, WANG Ling, LÜ Junmei. Research progress on nutritional composition and biological function of quinoa[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(4): 11-15.]
- [6] PEREIRA E, ENCINA-ZELADA C, BARROS L, et al. Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa) grains: A good alternative to nutritious food[J]. Food Chemistry, 2019, 280: 110-114.
- [7] VALDEZ-ARANA J D, STEFFOLANI M E, REPO-CARRASCO-VALENCIA R, et al. Physicochemical and functional properties of isolated starch and their correlation with flour from the Andean Peruvian quinoa varieties[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 147: 997-1007.
- [8] 杨瑞, 党斌, 张杰, 等. 青海青稞、燕麦、藜麦营养品质及抗氧化活性比较研究[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(5): 63-69. [YANG Rui, DANG Bin, ZHANG Jie, et al. A comparative study on nutritional quality and antioxidant activity of barley, oats, and quinoa in Qinghai[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(5): 63-69.]
- [9] 李玲红, 苟彤, 任爱霞, 等. 藜麦基因组学与重要农艺性状位点研究进展[J]. 遗传, 2022, 44(11): 1009-1027. [LI Linghong,

- GOU Tong, REN Aixia, et al. Progress on genomics and locus of important agronomic traits in *Chenopodium quinoa*[J]. *Hereditas*, 2022, 44(11): 1009–1027.]
- [10] 陈志靖, 廖成松. 7个不同品种藜麦营养成分比较分析[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(23): 266–271. [CHEN Zhijing, LIAO Chengsong. Comparative of 7 different varieties of *Chenopodium quinoa*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(23): 266–271.]
- [11] BFS. Agency. Nutrient Profiling Technical Guidance[R]. British; British Food Standards Agency, 2009.
- [12] 周昇昇, 李磊, 张丁, 等. 一种新的食物营养评价指数的初步建立和应用[J]. *营养学报*, 2014, 36(1): 63–68. [ZHOU Sheng-sheng, LI Lei, ZHANG Ding, et al. Development and application of a new food nutrition evaluation index[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2014, 36(1): 63–68.]
- [13] 杨清清, 熊碧, 闻胜, 等. 营养素度量法评价湖北省常见杂粮的营养价值[J]. *公共卫生与预防医学*, 2020, 31(3): 80–83. [YANG Qingqing, XIONG Bi, WEN Sheng, et al. Evaluation of nutritional value of common grains in Hubei Province by nutrient profiling[J]. *Journal of Public Health and Preventive Medicine*, 2020, 31(3): 80–83.]
- [14] DREWNOWSKI A. Defining nutrient density: Development and validation of the nutrient rich foods index[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2009, 28(4): 421S–426S.
- [15] ENDO Y, TSUNOKAKE K, IKEDA I. Effects of non-methylene-interrupted polyunsaturated fatty acid, sciadonic (all-cis-5,11,14-eicosatrienoic acid) on lipid metabolism in rats[J]. *Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan*, 2009, 73(3): 577–581.
- [16] INNIS S M. The role of dietary n-6 and n-3 fatty acids in the developing brain[J]. *Developmental Neuroscience*, 1999, 22(5-6): 474–480.
- [17] ULBRICHT T L, SOUTHGATE D A. Coronary heart disease: seven dietary factors[J]. *Lancet*, 1991, 338(8773): 985–992.
- [18] 黄琬茹, 陶立, 宋士新, 等. 益生菌燕麦冲调粉的研制[J]. *食品工业*, 2022, 43(2): 131–136. [HUANG Wanru, TAO Li, SONG Shixin, et al. Development of probiotic mixed oat flour[J]. *The Food Industry*, 2022, 43(2): 131–136.]
- [19] HE X F, YANG F M, ZHANG M X, et al. Optimization of quinoa and pumpkin compound powder formula[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, 35(4): 209–216.
- [20] 乐梨庆, 万燕, 向达兵, 等. 藜麦奇亚籽冲调粉的研制及工艺优化[J]. *食品工业*, 2020, 41(8): 81–85. [LE L Q, WAN Y, XIANG D B, et al. Development and process optimization of quinoa and chia seed powder[J]. *The Food Industry*, 2020, 41(8): 81–85.]
- [21] 丁长河, 张金叶, 高雅君. 低GI馒头的工艺优化及营养评价[J]. *食品科技*, 2022, 47(3): 175–181. [DING Changhe, ZHANG Jinye, GAO Yajun. Process optimization and nutritional evaluation of low GI steamed bread[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(3): 175–181.]
- [22] 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. Dietary guidelines for chinese residents (2016)[M]. Beijing: People Health Publishing House, 2016: 269–284.]
- [23] 孟晶岩, 张倩芳, 李敏, 等. 挤压膨化青稞冲调粉加工工艺研究[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(1): 75–78. [MENG Jingyan, ZHANG Qianfang, LI Min, et al. Research on processing condition of extruded highland barley powder[J]. *Cereals & Oils*, 2021, 34(1): 75–78.]
- [24] 李文婷. 双螺杆挤压膨化制备沙米复合谷物粉的工艺技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2019. [LI Wenting. Study on the technology of producing cereal powder with sand rice by twin-screw extrusion[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2019.]
- [25] GONDEK E, JAKUBCZYK E, WITROWA-RAJCHERT D, et al. The influence of different extrusion parameters on acoustic properties of crisp bread[C]//Valencia: International Conference of Agricultural Engineering, 2012.
- [26] SOREN N M, BISWAS A K. Chapter 2-methods for nutritional quality analysis of meat[M]//Meat quality analysis. Academic Press, 2020: 21–36.
- [27] 颜成利, 王林静. 食用菌矿物质含量测定和营养评价[J]. *食品科技*, 2010, 35(7): 81–84. [YAN Wuli, WANG Linjing. Measurement of mineral elements and nutritional evaluation of edible mushrooms[J]. *Food Science and Technology*, 2010, 35(7): 81–84.]
- [28] 梁水连, 吕岱竹, 周若浩, 等. 香蕉中5种矿物质元素含量测定及营养评价[J]. *食品科学*, 2019, 40(24): 241–245. [LIANG Shuilian, LÜ Daizhu, ZHOU Ruohao, et al. Quantitative determination and nutritional evaluation of five minerals in banana[J]. *Food Science*, 2019, 40(24): 241–245.]
- [29] VAHID F, HEKMATDOOST A, MIRMAJIDI S, et al. Association between index of nutritional quality and nonalcoholic fatty liver disease: The role of vitamin D and B group[J]. *The American journal of the medical sciences*, 2019, 358(3): 212–218.
- [30] DROUIN G, CATHELINE D, GUILLOCHEAU E, et al. Comparative effects of dietary n-3 docosapentaenoic acid (DPA), DHA and EPA on plasma lipid parameters, oxidative status and fatty acid tissue composition[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2019, 63: 186–196.
- [31] 刘振雷, 朱煜康, 楼乔明, 等. 18种市售坚果脂肪酸组成的比较分析及营养评价[J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(4): 90–95. [LIU Zhenlei, ZHU Yukang, LOU Qiaoming, et al. Comparative analysis and nutritional evaluation of fatty acid compositions of eighteen commercial nuts[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2021, 36(4): 90–95.]