



彭明军,朱莹莹,董吉林,等. 藜麦绿茶营养代餐粉的研制及工艺优化[J]. 轻工学报,2021,36(5):24-33.  
PENG M J,ZHU Y Y,DONG J L,et al. Preparation and process optimization of quinoa green tea nutritional meal  
replacement powder[J]. Journal of Light Industry,2021,36(5):24-33. DOI:10.12187/2021.05.004  
中图分类号:TS217 文献标识码:A 文章编号:2096-1553(2021)05-0024-10

# 藜麦绿茶营养代餐粉的研制及工艺优化

## Preparation and process optimization of quinoa green tea nutritional meal replacement powder

彭明军<sup>1</sup>,朱莹莹<sup>1,2,3</sup>,董吉林<sup>1,2,3</sup>,申瑞玲<sup>1,2,3</sup>  
PENG Mingjun<sup>1</sup>,ZHU Yingying<sup>1,2,3</sup>,DONG Jilin<sup>1,2,3</sup>,SHEN Ruiling<sup>1,2,3</sup>

1. 郑州轻工业大学 食品与生物工程学院,河南 郑州 450001;
  2. 食品生产与安全河南省协同创新中心,河南 郑州 450001;
  3. 河南省冷链食品质量安全控制重点实验室,河南 郑州 450001
1. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;
  2. He'nan Collaborative Innovation Center of Food Production and Safety, Zhengzhou 450001, China;
  3. He'nan Key Laboratory of Cold Chain Food Quality and Safety Control, Zhengzhou 450001, China

**摘要:**以藜麦为主要原料,以脱脂奶粉、绿茶粉和木糖醇为辅料制备复合代餐粉,通过单因素试验和正交试验优化藜麦粉挤压膨化工艺参数和藜麦绿茶营养代餐粉配方,并研究该代餐粉的冲调性和营养成分。结果表明:藜麦粉最优的挤压膨化工艺参数为物料水分含量18%,挤压温度190℃,螺杆转速260 r/min;藜麦绿茶营养代餐粉的最优配方为藜麦粉添加量51%、脱脂奶粉添加量24%、绿茶粉添加量10%和木糖醇添加量15%;藜麦绿茶营养代餐粉的最佳冲调水温和料液比分别为80℃和1:6,此时代餐粉的结块率为3.72%,冲调稳定性指数为3.91%;制备的藜麦绿茶营养代餐粉是一款营养丰富、口感好、风味佳的代餐产品。

### 关键词:

藜麦;挤压膨化;  
代餐粉;工艺优化

### Key words:

quinoa; extrusion; meal  
replacement powder;  
process optimization

收稿日期:2021-04-15

基金项目:国家重点研发计划项目(2020YFD1001405)

作者简介:彭明军(1997—),男,河南省鹿邑县人,郑州轻工业大学硕士研究生,主要研究方向为谷物营养与加工。

通信作者:申瑞玲(1967—),女,山西省灵石县人,郑州轻工业大学教授,博士,主要研究方向为谷物营养与加工。

**Abstract:** With quinoa as the main raw material, skim milk powder, green tea powder and xylitol as auxiliary materials, compound meal replacement powder was prepared. The extrusion parameters of quinoa powder and the formula of quinoa green tea nutritional meal replacement powder were optimized by single factor test and orthogonal test, and the preparation and nutritional composition of quinoa green tea nutritional meal replacement powder were studied. The results showed that the optimal extrusion parameters of quinoa flour were 18% moisture content, 190 °C extrusion temperature and 260 r/min screw speed. The optimal formula of quinoa green tea nutritious meal replacement powder was 51% quinoa powder, 24% skim milk powder, 10% green tea powder and 15% xylitol. The best water temperature of quinoa green tea nutritious meal replacement powder was 80 °C, the best ratio of flavor-liquid was 1 : 6, the agglomeration rate of meal powder was 3.72%, and the stability index of meal replacement was 3.91%. The prepared quinoa green tea nutritious meal replacement powder was a nutritious and delicious meal replacement product.

## 0 引言

代餐粉是一类由一种或多种原料粉经加工处理,按照一定比例混合而成的即食冲调类制品<sup>[1]</sup>,具有低热量、低饱和脂肪酸、高膳食纤维、易饱腹等特点<sup>[2]</sup>。一天中,代餐粉可代替一至两顿正餐,但至少有一餐需正常饮食<sup>[3]</sup>,因此,代餐粉产品应满足营养均衡、适合长期食用等要求。现代医学证明<sup>[4]</sup>,合理进食代餐食品对调节体重、糖代谢和肠道菌群均有积极作用。目前,许多食品企业开始生产代餐粉,产品形式日渐丰富,如具有降血糖功能的莜麦苦荞高纤维杂粮代餐粉<sup>[2]</sup>、具有抗氧化功能的黑木耳桑葚魔芋代餐粉<sup>[5]</sup>等,发展前景广阔。

藜麦(*Chenopodium quinoa* Willd.)是藜科的一种假谷物<sup>[6]</sup>,被联合国粮农组织认定为一种可满足人体基本营养需求的单体植物<sup>[7]</sup>,其蛋白含量丰富,尤其是清蛋白和球蛋白<sup>[8-9]</sup>。与传统谷物相比,藜麦蛋白属于优质蛋白,人体必需氨基酸含量均衡<sup>[10]</sup>。藜麦还含有多种维生素、矿物质等微量元素<sup>[11]</sup>,其中维生素 B6 和叶酸含量较高,100 g 藜麦中含有的维生素 B6 和叶酸即可满足一个成年人的每日所需<sup>[12]</sup>。藜麦具有调节代谢、促进健康等作用<sup>[13-14]</sup>,近年来,关于藜麦的研究在全世界引起越来越多的关注<sup>[15]</sup>。目前,国内市场上的藜麦产品多以藜麦米为原料,掺加其他杂粮制成,主要有方便藜麦饭<sup>[16]</sup>、玉米

藜麦饼干<sup>[17]</sup>等。而藜麦代餐粉多以谷物为主,口感较为传统,如藜麦奇亚籽冲调粉<sup>[18]</sup>、藜麦南瓜复合粉<sup>[19]</sup>、藜麦多谷物代餐粉<sup>[20]</sup>等。绿茶中含有咖啡碱、茶多酚、蛋白质、氨基酸、维生素、微量元素等生物活性成分,具有抗氧化、缓解疲劳、促进消化、降血糖、增强人体免疫力等功效,且富含膳食纤维<sup>[21-22]</sup>,适量添加绿茶可赋予代餐粉特殊的茶香味,也可增加饱腹感。

代餐粉的加工方式主要有焙烤、挤压膨化<sup>[23]</sup>等,相较于普通焙烤方式,挤压膨化通过高温、高剪切力的作用使物料变得蓬松多孔,更有利于人体消化吸收<sup>[24]</sup>。基于此,本文拟以藜麦为主要原料,研制一款藜麦绿茶营养代餐粉,从优化工艺、提升营养、丰富口感和改善冲调性方面整体提升代餐粉品质,以期满足消费者的日常营养需求,丰富藜麦系列产品种类,为藜麦代餐粉产品的开发提供参考和借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

藜麦籽粒,山西亿隆藜麦开发有限公司产;脱脂奶粉,雀巢公司产;毛尖绿茶,河南三恩农业科技有限公司产;木糖醇,南京甘汁园糖业有限公司产。

### 1.2 主要仪器与设备

F3042010 型膳食纤维测定仪,欧洲 VELP SCIENTIFICA 公司产;KDN-103F 型定氮仪蒸

馏装置,上海纤检仪器有限公司产;DSH-50A-5型水分快速测定仪,上海佑科仪器仪表有限公司产;XQ200克型多功能高速粉碎机,上海广沙工贸有限公司产;Process 11型台式同向双螺杆挤出实验机,美国赛默飞世尔有限公司产;GYB40-10S型高压均质机,上海东华高压均质机厂产。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 藜麦粉的制备及挤压膨化工艺优化

选取优质的藜麦籽粒,清洗干净后自然晾干,将其粉碎并过80目筛,将过筛后的藜麦粉进行挤压膨化。采用单因素试验,分别考查不同物料水分含量(16%、18%、20%、22%、24%)、挤压温度(160℃、170℃、180℃、190℃、200℃)、螺杆转速(140 r/min、180 r/min、220 r/min、260 r/min、300 r/min)对藜麦粉吸水性指数和水溶性指数的影响。在此基础上,进一步采用正交试验优化并确定最优藜麦粉制备工艺参数。挤压膨化正交试验因素和水平见表1。

表1 挤压膨化正交试验因素和水平表

Table 1 Orthogonal test factors and levels table of extrusion

水平	因素		
	物料水分含量(A)/%	挤压温度(B)/℃	螺杆转速(C)/(r·min <sup>-1</sup> )
1	16	180	220
2	18	190	260
3	20	200	300

#### 1.3.2 藜麦粉吸水性指数和水溶性指数的测定

参考石磊<sup>[25]</sup>的方法,并稍作改进。取一定量藜麦粉于恒重离心管中,称量后记作  $M/g$ ; 于30℃条件下加入蒸馏水( $m$ (藜麦粉/g): $v$ (蒸馏水/mL)=1:10),搅拌30 min后,于4000 r/min条件下离心20 min,将上清液移入恒重铝盒中,称量烘干上清液后的铝盒质量,记作  $m_1/g$ ;称量沉淀质量,记作  $m_2/g$ 。吸水性指数和水溶性指数的计算公式如下。

$$\text{吸水性指数} = \frac{m_2}{M} \quad \text{①}$$

$$\text{水溶性指数} = \frac{m_1}{M} \times 100\% \quad \text{②}$$

**1.3.3 代餐粉的制备及配方优化** 将1.3.1所得藜麦粉同脱脂奶粉、绿茶粉(过80目筛)、木糖醇按一定比例进行混合调配,以感官评分为评价指标,根据美国食品药品监督管理局(FDA)<sup>[26]</sup>对全谷物食品中全谷物含量百分比的定义(至少占食物总重量51%),确定藜麦粉添加量为51%。采用单因素试验分别研究脱脂奶粉添加量(20%、22%、24%、26%、28%)、绿茶粉添加量(6%、8%、10%、12%、14%)、木糖醇添加量(9%、11%、13%、15%、17%)3个因素对藜麦绿茶营养代餐粉感官品质的影响。在此基础上,进一步采用正交试验对代餐粉配方进行优化,以确定其最优配方。配方优化正交试验因素与水平见表2。

表2 配方优化正交试验因素与水平表

Table 2 Orthogonal test factors and levels table of formula optimization %

水平	因素		
	脱脂奶粉添加量(D)	绿茶粉添加量(E)	木糖醇添加量(F)
1	22	8	11
2	24	10	13
3	26	12	15

**1.3.4 代餐粉感官评价** 参考邹圆等<sup>[27]</sup>的方法,并稍作改进。选取经过感官评价培训的15名工作人员,从藜麦营养代餐粉的冲调性、滋味和口感、风味、色泽4个指标进行评价。感官评价评分标准见表3,感官评价总分为100分。

**1.3.5 冲调条件对代餐粉冲调性的影响** 参考丁琳等<sup>[28]</sup>的方法,并稍作改进。称取适量代餐粉,加水后用玻璃棒充分搅拌3 min,依次考查冲调水温(40℃、50℃、60℃、70℃、80℃、90℃、100℃)和料液比( $m$ (代餐粉/g): $v$ (开水/mL))(1:3、1:4、1:5、1:6、1:7、1:8)对代餐粉冲调性的影响,以冲调稳定性指数和结块率作为评价指标。

表3 感官评价评分标准

Table 3 Sensory evaluation standard

项目	标准	评分/分
冲调性	溶解快,流动性好,无结团,细腻,无颗粒感,黏稠度适中	35~50
	溶解较快,流动性较好,结团较少,较稠或较稀,有轻微颗粒感	25~35
	溶解慢,流动性有所改善,结团多,稠或稀,有颗粒感	13~25
	溶解很慢,流动性差,结团严重,过稠或过稀,颗粒感明显,粗糙	0~13
滋味和口感	甜味最佳,口感浓郁	15~20
	甜味适中,口感欠柔和	10~15
	甜味偏淡或偏浓,口感差	5~10
	不适口,有异味,口感粗糙	0~5
风味	有膨化后藜麦特有香味,气味纯正浓郁	13~15
	有膨化后藜麦特有香味,但绿茶味和奶香味稍有不足	10~13
	风味不协调,膨化藜麦味较重,绿茶味和奶香味严重不足	5~10
	风味不协调,只有膨化藜麦味	0~5
色泽	色泽均匀,颜色亮丽,呈淡青色	13~15
	色泽不均匀,呈淡青色	10~13
	色泽暗淡,有褐变	5~10
	严重褐变	0~5

1) 冲调稳定性指数的测定. 参考张颖<sup>[29]</sup>的方法,并稍作改进. 准确称取 5 g 代餐粉,放入 100 mL 量筒中,倒入 40 mL、80 ℃ 热水,用玻璃棒搅拌 30 s 使溶液均匀,静置 3 min 后测定上清液高度( $H_1$ )和悬浊液总高度( $H_2$ ),按式③计算冲调稳定性指数. 冲调稳定性指数  $\leq 5\%$ ,表示藜麦营养代餐粉稳定性极好;冲调稳定性指数为 5%~10%,表示藜麦营养代餐粉稳定性较好;冲调稳定性指数为 10%~15%,表示藜麦营养代餐粉稳定性较差;冲调稳定性指数  $\geq 15\%$ ,表示藜麦营养代餐粉稳定性差.

$$\text{冲调稳定性指数} = \frac{H_1}{H_2} \times 100\% \quad (3)$$

2) 结块率的测定. 参考张琳等<sup>[30]</sup>的方法,并稍作改进. 称取适量代餐粉(记作  $W_0/g$ )于烧杯中,于 80 ℃ 条件下加入蒸馏水( $m$ (代餐粉/g): $v$ (蒸馏水/mL)=1:9),静置 10 min 后,将冲调液加蒸馏水稀释 2 倍,用 20 目筛网过滤,筛网质量为  $W_1/g$ . 将筛网同筛上物质一起放进烘箱,烘至恒重后称重,记作  $W_2/g$ . 按式④

计算结块率. 结块率越低,表明藜麦营养代餐粉的冲调性越好.

$$\text{结块率} = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (4)$$

1.3.6 代餐粉主要营养成分检测 脂肪测定参照 GB 5009.6—2016<sup>[31]</sup>;蛋白质测定参照 GB 5009.5—2016<sup>[32]</sup>,氮折算为蛋白质的系数  $N=5.83$ ;总膳食纤维测定参照酶-重量法 AOAC 985.29<sup>[33]</sup>;淀粉测定参照 GB 5009.9—2016<sup>[34]</sup>;钠含量测定参照 GB 5009.91—2017<sup>[35]</sup>;营养成分含量( $X$ )占营养素参考值( $NRV$ )的比例( $Y$ )测定参照 GB 28050—2011<sup>[36]</sup>,具体公式如下.

$$Y = \frac{X}{NRV} \times 100\% \quad (5)$$

## 1.4 统计分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 Origin 8.0 对数据进行整理并作图,采用 SPSS 21.0 软件进行数据分析. 单因素方差分析通过 Duncan 多重比较法进行显著性检验( $P < 0.05$ ),其中,显著性分析采用 T 检验, $P > 0.05$  判定为变化不显著, $P < 0.05$  判定为变化显著.

## 2 结果与分析

### 2.1 藜麦粉挤压膨化工艺优化结果分析

2.1.1 单因素试验结果分析 物料水分含量、挤压温度和螺杆转速对藜麦粉吸水性指数和水溶性指数的影响如图 1 所示.

在挤压温度为 190 ℃,螺杆转速为 260 r/min 的条件下,由图 1a)可知,随着物料水分含量的增加,吸水性指数呈先增加后减小再增加的趋势,水溶性指数呈先增加后减小的趋势. 当藜麦粉水分含量为 18%时,藜麦粉的吸水性指数和水溶性指数均达到最大值. 当藜麦粉水分含量大于 18%时,由于腔体温度下降,压力降低,物料受到的剪切力较低,导致淀粉糊化率下降,蛋白质变性逐步减少,膨化不完全,藜麦粉的吸水性指数和水溶性指数均降低<sup>[37]</sup>. 因此,选择物料

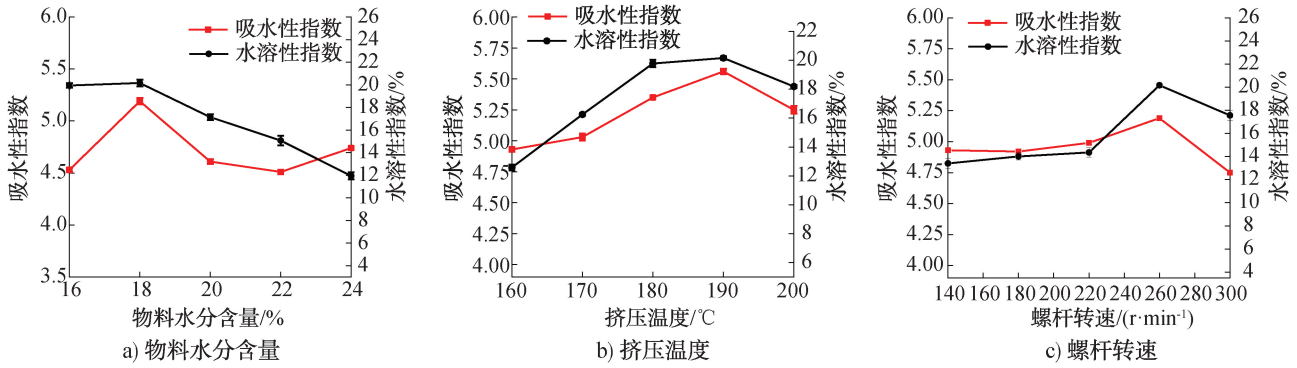


图1 物料水分含量、挤压温度和螺杆转速对藜麦粉吸水性指数和水溶性指数的影响  
 Fig. 1 Effects of material moisture content, extrusion temperature and screw speed on water-absorbency index and water-solubility index of quinoa flour

水分含量为 18% 进行下一步正交试验。

在物料水分含量为 18%，螺杆转速为 260 r/min 的条件下，由图 1b) 可知，随着挤压温度的上升，藜麦粉的吸水性指数和水溶性指数均呈先增加后减小的趋势，当挤压温度达到 190 °C 时，藜麦粉的吸水性指数和水溶性指数均达到最大值。随着温度继续升高，藜麦粉的吸水性指数和水溶性指数逐步降低，这主要是因为高温高压的环境可使物料产生瞬间的剪切力，改变藜麦淀粉的结构，产生糊化现象，当挤压温度过高时，物料出现还未膨化就已糊化的现象，影响藜麦粉的吸水性和水溶性<sup>[38]</sup>。因此，选择挤压温度为 190 °C 进行下一步正交试验。

在物料水分含量为 18%，挤压温度为 190 °C 的条件下，由图 1c) 可知，随着螺杆转速的增加，藜麦粉的吸水性指数和水溶性指数均呈先增加后减小的趋势，当螺杆转速为 260 r/min 时，藜麦粉的吸水性指数和水溶性指数均达到最大值。当转速大于 260 r/min 时，随着螺杆转速过快，膛体内推动力、剪切力过大，藜麦粉在膛体内的停留时间变短，水分与物料未充分结合，导致膨化不均匀，膨化度降低，藜麦粉的吸水性和水溶性也随之降低<sup>[39]</sup>。因此，选择螺杆转速为 260 r/min 进行下一步正交试验。

**2.1.2 挤压膨化正交试验结果分析** 挤压膨化正交试验结果见表 4，吸水性指数和水溶性

指数的方差分析分别见表 5 和表 6。由表 4—6 可知，物料水分含量对藜麦粉挤压膨化吸水性指数和水溶性指数的影响最大，其次是螺杆转速和挤压温度。综合考虑，藜麦粉的最优挤压膨化工艺参数组合为  $A_2B_2C_2$ ，即物料水分含量为 18%，挤压温度为 190 °C，螺杆转速为 260 r/min。在此条件下进行验证实验，得到藜麦粉的吸水性指数为 5.53，水溶性指数为 21.79%。

**2.2 代餐粉配方优化结果分析**

**2.2.1 单因素试验结果分析** 脱脂奶粉添加量、绿茶粉添加量和木糖醇添加量对代餐粉感官品质的影响如图 2 所示。

表 4 挤压膨化正交试验结果  
 Table 4 Results of extrusion orthogonal test

项目	试验号	A	B	C	吸水性指数	水溶性指数/%
	1	1	1	1	4.87	21.32
	2	1	2	2	5.63	17.45
	3	1	3	3	4.95	15.47
	4	2	1	2	5.59	20.37
	5	2	2	3	5.64	22.53
	6	2	3	1	5.75	21.87
	7	3	1	3	5.52	16.53
	8	3	2	1	5.59	20.38
	9	3	3	2	5.21	22.27
吸水性指数	$K_1$	5.15	5.33	5.40		
	$K_2$	5.66	5.62	5.48		
	$K_3$	5.44	5.30	5.37		
水溶性指数	$R_1$	0.51	0.29	0.11		
	$k_1$	18.08	19.41	21.19		
	$k_2$	21.59	20.12	20.03		
	$k_3$	19.73	19.87	18.18		
	$R_2$	3.51	0.71	3.01		

表5 吸水性指数的方差分析

Table 5 Variance analysis of water absorption index

方差来源	偏差平方和	自由度	F比	F临界值	显著性
A	0.39	2	21.83	19.00	*
B	0.19	2	10.39	19.00	
C	0.24	2	13.28	19.00	
误差	0.02	2			

注: \*表示具有显著性( $P < 0.05$ )。下同。

表6 水溶性指数的方差分析

Table 6 Variance analysis of extrusion water solubility index

方差来源	偏差平方和	自由度	F比	F临界值	显著性
A	18.50	2	23.54	19.00	*
B	13.86	2	17.64	19.00	
C	22.62	2	28.78	19.00	*
误差	0.79	2			

在藜麦粉添加量为51%,绿茶粉添加量为10%,木糖醇添加量为15%的条件下,由图2a)可知,当脱脂奶粉添加量为24%时,代餐粉的感官品质较好,奶香味充裕;当过多添加脱脂奶粉时,会掩盖藜麦粉的风味,影响代餐粉的感官品质。因此,选择脱脂奶粉添加量为24%进行下一步正交试验。

在藜麦粉添加量为51%,脱脂奶粉添加量为24%,木糖醇添加量为15%的条件下,由图2b)可知,随着绿茶粉添加量的增加,代餐粉的感官评分呈先升高后降低的趋势,当绿茶粉添加量为10%时,代餐粉的茶香适中,气味协调均匀,感官品质最好。这是由于当绿茶粉添加

量过低时,品尝不出代餐粉中特殊的茶香味,而当绿茶粉添加量过大时,绿茶粉的涩感会影响代餐粉的口感。因此,选择绿茶粉添加量为10%进行下一步正交试验。

在藜麦粉添加量为51%,脱脂奶粉添加量为24%,绿茶粉添加量为10%的条件下,由图2c)可知,随着木糖醇添加量的增加,代餐粉的感官评分呈先升高后降低的趋势,当木糖醇添加量15%时,感官评分最高。这主要是因为木糖醇可提供代餐粉甜味、改善其冲调性,但添加量过高会使甜味过重。因此,选择木糖醇添加量15%进行下一步正交试验。

**2.2.2 配方优化正交试验结果分析** 配方优化正交试验结果见表7,感官评分的方差分析见表8。由表7和表8可知,绿茶粉添加量对代餐粉感官品质的影响最大,其次是木糖醇添加量和脱脂奶粉添加量。藜麦绿茶营养代餐粉的最优配方组合为 $D_2E_2F_3$ ,即在膨化藜麦粉添加量为51%的基础上,脱脂奶粉添加量为24%、绿茶粉添加量10%、木糖醇添加量15%。在此条件下进行验证实验,得到藜麦绿茶营养代餐粉的感官评分为87.83分。

### 2.3 代餐粉冲调性优化结果分析

冲调水温和料液比对代餐粉冲调性影响如图3所示。在料液比为1:6的条件下,由图

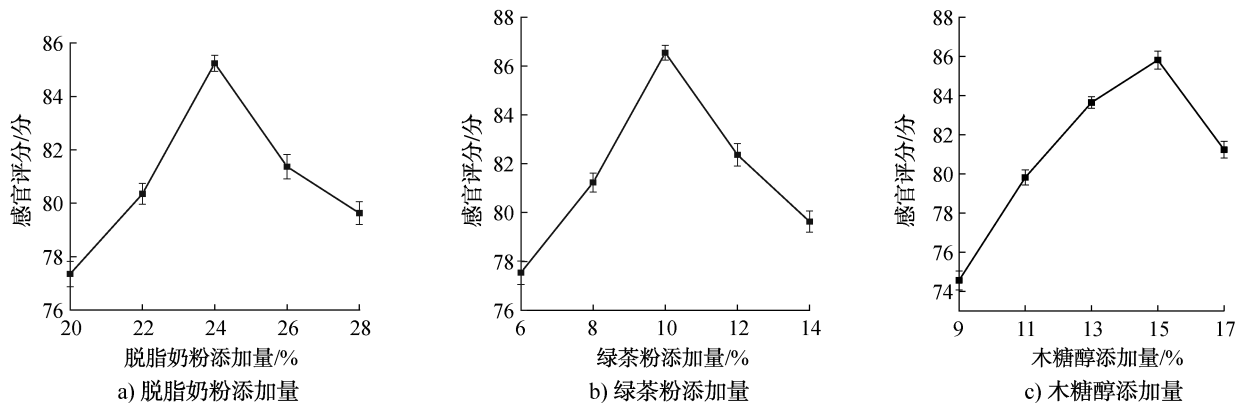


图2 脱脂奶粉添加量、绿茶粉添加量和木糖醇添加量对代餐粉感官品质的影响  
Fig. 2 Effects of adding amount of skim milk powder, green tea powder and xylitol on sensory quality of meal replacement powder

表7 配方优化正交试验结果

Table 7 Results of formula optimization orthogonal test

试验号	D	E	F	感官评分/分
1	1	1	1	83.84
2	1	2	2	87.19
3	1	3	3	80.21
4	2	1	2	84.20
5	2	2	3	87.83
6	2	3	1	78.29
7	3	1	3	82.46
8	3	2	1	87.06
9	3	3	2	75.94
$k_1$	81.78	83.06	82.63	
$k_2$	83.44	86.69	81.78	
$k_3$	81.82	77.28	82.64	
R	1.66	9.41	0.86	

表8 感官评分的方差分析

Table 8 Analysis of variance of sensory evaluation

方差来源	偏差平方和	自由度	F比	F临界值	显著性
D	5.382	2	3.140	19.00	
E	135.133	2	78.841	19.00	*
F	1.462	2	0.853	19.00	
误差	1.710	2			

3a)可知,随着冲调水温的升高,代餐粉的结块率不断增加,这可能是因为淀粉颗粒与热水接触后部分糊化,形成的糊化层阻碍了淀粉内部与水分子接触而形成块状物,随着水温升高,糊化愈加严重,结块率也不断上升<sup>[40]</sup>。随着冲调温度的不断升高,代餐粉的稳定性呈现先增强后减弱的状态,这可能是因为高温引起淀粉分

子吸收大量水分,体积膨胀,分子结构扩展使外围支链淀粉涨裂,导致直链淀粉分子释放后溶于热水,悬浮液变得黏稠<sup>[41]</sup>。综合考虑,选择80℃为最佳冲调水温继续进行下一步料液比试验,此时代餐粉结块率为3.89%,冲调稳定性指数为3.56%。

在冲调水温为80℃的条件下,由图3b)可知,随着代餐粉料液比的减小,代餐粉的结块率持续下降,这可能是因为水分增大了淀粉颗粒与水分子之间的接触概率,提高了代餐粉的分散性<sup>[18]</sup>。当冲调水量增加到一定程度后,粉体在水中完全分散开,继续增加水量,代餐粉与水直接接触的几率也不能继续增加,因此随着冲水量增加,代餐粉在液体中的稳定性降低<sup>[29]</sup>。综合考虑,最佳的冲调料液比为1:6,此时代餐粉结块率为3.72%,冲调稳定性指数为3.91%。

### 2.4 代餐粉营养成分分析

代餐粉的营养成分见表9。由表9可知,与国家标准相比,藜麦绿茶营养代餐粉具有高蛋白、高膳食纤维、低脂肪和低钠的优点,其利用木糖醇代替普通白砂糖提供甜味,添加绿茶增加独特的香味,在满足基本口感的同时又不会引起血糖升高,是一款营养丰富、风味独特且适合长期食用的代餐产品。

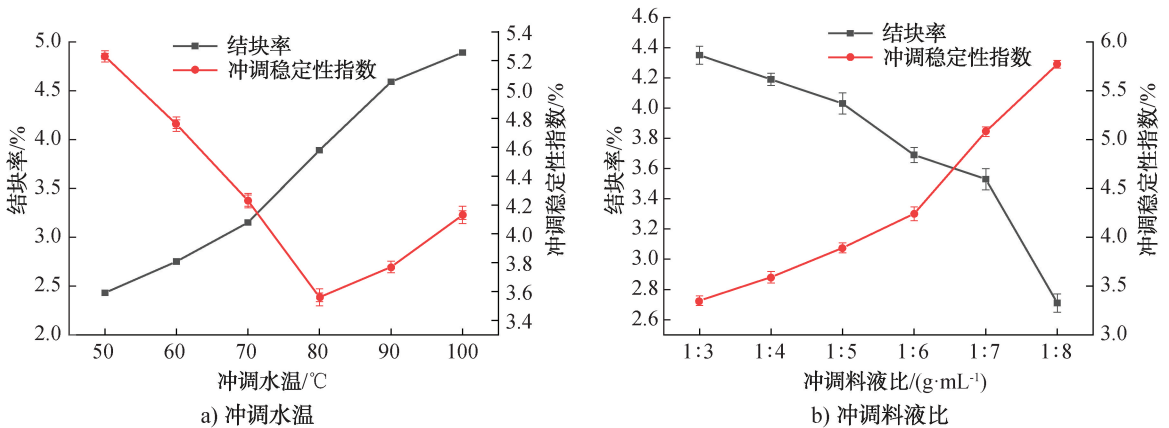


图3 冲调水温和料液比对代餐粉冲调性的影响

Fig. 3 Influence of water temperatures and solid-liquid ratios on the toning property of meal replacement powder

表9 代餐粉营养成分表  
Table 9 Nutritional table of meal replacement powder

项目	每 100 g 能量或营养成分含量	营养素参考值/%	每 100 g 能量或营养成分含量声称要求(固体)
能量	1 559.9 kJ	18.57	低能量 ≤ 170 kJ
蛋白质	18.43 g	30.72	高蛋白 ≥ 6 g
脂肪	2.75 g	4.58	低脂肪 ≤ 3 g
碳水化合物	61.25 g	20.42	低糖 ≤ 5 g
钠	117.85 mg	5.89	低钠 ≤ 120 mg
膳食纤维	7.68 g	30.72	高纤维 ≥ 6 g

### 3 结论

本文通过单因素试验和正交试验确定了藜麦粉最优挤压膨化工艺为物料水分含量 18%，挤压温度 190 °C，螺杆转速 260 r/min，此时藜麦粉的吸水性指数为 5.53，水溶性指数为 21.79%；确定了藜麦绿茶营养代餐粉的最优配方为藜麦粉添加量 51%、脱脂奶粉添加量 24%、绿茶粉添加量 10%、木糖醇添加量 15%，此时代餐粉的感官评分为 87.83 分。藜麦绿茶营养代餐粉的最佳冲调水温 and 料液比分别为 80 °C 和 1:6，此时代餐粉的结块率为 3.72%，冲调稳定性指数为 3.91%。与普通谷物代餐粉相比，本实验制得的藜麦绿茶营养代餐粉营养丰富、口感较好、必需氨基酸丰富且平衡，可有效避免因摄入单一代餐粉而导致氨基酸摄入不足的问题。本研究有望提高藜麦的食用性和商用性，拓宽藜麦功能性食品的应用途径，可为藜麦资源的综合利用和营养型代餐粉的开发提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 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):163.
- [2] 赵娇娇,刘丹,陈若瑀,等.莜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.
- [3] HEYMSFIELD S B, VAN MIERLO C A J, VAN

DER KNAAP H C M, et al. Weight management using a meal replacement strategy: meta and pooling analysis from six studies [J]. International Journal of Obesity, 2003, 27(5): 537.

- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] NAVRUZ-VARLI S, SANLIER N. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Journal of Cereal Science, 2016, 69: 371.
- [7] 王隼.藜麦蛋白和淀粉的分离提取及性质研究[D].无锡:江南大学,2018.
- [8] BUITRAGO D, BUITRAGO-VILLANUEVE I, BAYBOSA-CERNELIO R, et al. Comparative examination of antioxidant capacity and fingerprinting of unfractionated extracts from different plant parts of quinoa (*Chenopodium quinoa*) grown under greenhouse conditions [J]. Antioxidants, 2019, 8(8): 238.
- [9] VEGA-GAIVEZ A, MIRANDA M, VERGARA J, et al. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 90(15): 2541.
- [10] 刘永江,覃鹏.藜麦营养功能成分及应用研究进展[J].黑龙江农业科学,2020(3):123.



- [11] ABUGOCH JAMES L E. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties[J]. *Advances in Food and Nutrition Research*, 2009, 58:56.
- [12] 申瑞玲, 张文杰, 董吉林, 等. 藜麦的营养成分、健康促进作用及其在食品工业中的应用[J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(9):150.
- [13] 刘月瑶, 路飞, 高雨晴, 等. 藜麦的营养价值、功能特性及其制品研究进展[J]. *包装工程*, 2020, 41(5):56.
- [14] 魏爱春, 杨修仕, 么杨, 等. 藜麦营养成分及生物活性研究进展[J]. *食品科学*, 2015, 36(15):272.
- [15] NOWAK V, DU J, RUTH U CHARRONDIERE U R. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. *Food Chemistry*, 2016, 193:47.
- [16] AHMED J, THOMAS J, ARFAT Y A, et al. Rheological, structural and functional properties of high-pressure treated quinoa starch in dispersions [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 197:649.
- [17] 李慧, 马薇, 张美莉. 玉米藜麦饼干配方的优化[J]. *食品工业*, 2018, 39(9):122.
- [18] 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.
- [19] 何兴芬, 杨富民, 张明霞, 等. 藜麦南瓜复合粉配方的优化[J]. *现代食品科技*, 2019, 35(4):209.
- [20] 高婷婷, 刘静雪, 李凤林, 等. 响应面法优化藜麦多谷物代餐粉工艺[J]. *食品工业*, 2020, 41(7):119.
- [21] 谢安国, 李瀚姝, 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.
- [22] 尹鹏, 刘威, 王子浩, 等. 春季不同时期安吉白茶香气成分比较与分析[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(14):132.
- [23] 袁嘉渝, 林利忠, 程颖. 挤压膨化和焙烤工艺对代餐粉特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(9):34.
- [24] SINGH R K R, MAJUMDAR R K, VENKATESHARLU G. Optimum extrusion-cooking conditions for improving physical properties of fish-cereal based snacks by response surface methodology[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2014, 51(9):1827.
- [25] 石磊. 颗粒度及糊化度对玉米面团理化性质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2014.
- [26] 谭斌. 我国全谷物定义、标签标识及标准体系构建的思考[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(4):45.
- [27] 邹圆, 朱晶, 谢祥瑞, 等. 马铃薯全谷物复合代餐粉配方优化研究[J]. *农业科技与装备*, 2019(5):55.
- [28] 丁琳, 王恺, 莫松成. 谷物早餐粉冲调性的研究[J]. *粮油加工*, 2010(6):83.
- [29] 张颖. 高膳食纤维红枣谷物早餐粉的制备研究[D]. 无锡:江南大学, 2014.
- [30] 张琳, 李建科, 任彩霞, 等. 挤压膨化技术制备脱脂黑豆冲调粉的研究[J]. *食品与机械*, 2015, 31(6):208.
- [31] 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016[S]. 北京:中国标准出版社, 2016.
- [32] 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S]. 北京:中国标准出版社, 2016.
- [33] DA SILVA L P, CIOCCA M D S, FURLONG E B. Evaluation of the AOAC 985. 29 enzymic gravimetric method for determination of dietary fiber in oat and corn grains[J]. *Archivos Latinoamericanos De Nutricion*, 2003, 53(4):393.
- [34] 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中淀粉的测定:GB 5009.9—2016[S]. 北京:中国标准出版社, 2016.

- [35] 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定:GB 5009. 91—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [36] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 预包装食品标签通则:GB 28050—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
- [37] 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.
- [38] 王盼,汪丽萍,吴卫国,等. 挤压加工对苦荞粉理化性质的影响[J]. 粮油食品科技,2016,24(3):6.
- [39] 李检,王浩,刘璇,等. 蓝莓速溶米糊的工艺与配方研究[J]. 食品研究与开发,2018,39(19):93.
- [40] 王秀兰,梁进,杨才,等. 夏秋绿茶复合玉米冲调粉的研制[J]. 安徽农业大学学报,2018,45(5):826.
- [41] 胡毓元,杜蘅,李婕妤,等. 婴幼儿麦胚米粉配方及其冲调性的研究[J]. 食品工业,2018,39(8):44.

## 本刊数字网络传播声明

本刊已许可中国知网,万方数据资源系统,维普网,国家科技学术期刊开放平台,博视网,超星,中国科技论文在线,中教数据库,EBSCOhost,Ulrichs,FSTA 等在其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文. 其相关著作权使用费与本刊稿酬一并支付. 作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我刊上述声明.