藜麦八宝粥的制备工艺

梁霞[1,2]，周柏玲[1,2]，王海平[1]，任元[2]
（1.山西农业大学山西功能食品研究院,特色农产品加工山西省重点实验室，山西太原 030031）
（2.农业部黄土高原作物基因与种质创制重点实验室，山西太原 030031）

摘要：以藜麦为主要原料制作八宝粥，采用 FAO/WHO 推荐的赖氨酸 AAS 模式对八宝粥进行营养评价，优化原料配比；采用正交试验、响应面法优化工艺参数。赖氨酸 AAS 营养评价显示最佳配比为：谷物与豆类比例为 60:40，谷物中藜麦、大麦仁、燕麦比例为 35:10:15，豆类中红芸豆、白扁豆、花生、绿豆、红小豆比例为 15:10:5:5:5，此时八宝粥赖氨酸蛋白质中赖氨酸含量为 4.61%、赖氨酸 AAS 为 83.82%、感官评价值为 80.4，均达到较高水平。正交试验显示：增稠剂 CMC 添加量 0.02%、魔芋粉添加量 0.08%、黄原胶添加量 0.18%时，八宝粥粘度最高。响应面法试验表明：优化后的工艺条件为高压灭菌时间 42 min，料液比为 32%，蔗糖酯添加量 0.16%，三聚磷酸钠添加量 0.11%，预测值与实际值之间有较好的拟合度（R^2=0.9248），感官评价值为 85.5。在上述条件下制备的八宝粥滋味丰富、饱满，色泽呈鲜艳的棕红色；谷物籽粒完整、有嚼劲；豆类口感绵软，少量籽粒有轻微裂口；八宝粥有粘稠度，静置后有轻微分层。本研究所提供的藜麦八宝粥加工工艺在藜麦产品多元化开发中有实际用途。

关键词：藜麦；八宝粥；赖氨酸 AAS 营养评价；响应面法；感官评价
文章篇号：1673-9078(2020)12-143-152 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.12.0651

Preparation Technology of Quinoa Eight-ingrediet Porridge

LIANG Xia[1,2], ZHOU Bai-ling[1,2], WANG Hai-ping[1], REN Yuan[2]
(1.Shanxi Functional Food Research Institute of Shanxi Agricultural University/Shanxi Key Laboratory of Special Agricultural Products Processing, Taiyuan 030031, China)(2.Key Laboratory of Crop Gene Resources & Germplasm Enhancement on Loess Plateau, Ministry of Agriculture, Taiyuan 030031, China)

Abstract: Quinoa was used as the main raw material to produce eight-ingrediet porridge. The nutritional evaluation of eight-ingrediet porridge was carried out by lysine AAS model recommended by FAO / WHO. The raw material ratio was optimized and the process parameters were optimized by orthogonal test and response surface methodology. The results showed that the best ratio of grains to beans, the ratio of quinoa, barley kernel and oat, the proportion of red kidney beans, white lentils, peanuts, mung beans and adzuki beans in beans were 60:40, 30:10:15 in grains, 15:10:5:5:5, respectively. Under these conditions, the lysine content of eight-ingrediet porridge, the lysine AAS, the sensory evaluation value were 4.61%, 83.82%, 80.4, respectively. The results of orthogonal test showed that the viscosity of eight-ingrediet porridge was the highest under the condition as follows: CMC of 0.02%, konjac powder of 0.08%, xanthan gum of 0.18%. The results of response surface methodology showed that the optimized process conditions were as follows: autoclaving time of 42 min, solid-liquid ratio of 32%, sucrose ester addition of 0.16%, sodium tripolyphosphate of 0.11%. There was a good correlationship between the predicted value and the actual value (R^2 = 0.9248), and the sensory evaluation value was 85.5. Under the above conditions, the eight-ingrediet porridge was rich and full in taste and bright brown red in color, the grains were complete and chewy, the taste of beans was soft and a few grains have slight cracks, the eight-ingrediet porridge was viscous and has slight stratification after standing. The processing technology of quinoa eight-ingrediet porridge provided by this work could have a practical application in the diversified development of quinoa products.

Key words: quinoa; eight-ingrediet porridge; lysine AAS nutritional evaluation; response surface methodology; sensory evaluation
引文格式：
梁霞,周柏玲,王海平,等.藜麦八宝粥的制备工艺[J].现代食品科技,2020,36(12):143-152
LIANG Xia, ZHOU Bai-ling, WANG Hai-ping, et al. Preparation technology of quinoa eight-ingrediet porridge [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12): 143-152

收稿日期：2020-07-13
基金项目：国家重点研发计划项目（2017YFD0401201）；山西省科技厅重点研发计划项目（201803D221008-10）；山西省农业科学院科技创新项目（YCX2018D2T06）
作者简介：梁霞（1970-），女，副研究员，研究方向：农产品主食化加工技术

藜麦原产于南美洲安第斯山脉地区，是苋科（*Amaranthaceae*）藜属（*Chenopodium* L.）一年生双子叶植物，在当地已有约 7000 年的种植历史[1,2]。藜麦营养丰富，其籽粒中蛋白质和植物活性物质含量较高，氨基酸比例均衡，蛋白质生物学价值与牛奶类似[3,4]。藜麦中含有丰富的黄酮、多酚、多糖类功能因子，具有抗氧化、降血脂、减肥、增强免疫等效[5,6]。近年来藜麦种植呈现快速增长的态势，青海、内蒙、山西、吉林、甘肃等地开始大面积地种植藜麦[7]，目前我国已成为除南美洲安第斯山区、美国之外全球第三大藜麦种植地区[8]。藜麦的引种栽培、生长特性、资源分布、病虫害防治、产后加工等研究工作也随着展开。赖氨酸是谷物中第一限制性氨基酸，而藜麦赖氨酸含量高是其特点[9]，可弥补这一不足。随着消费者保健意识的提高以及对优质食品需求的渴望，开发具有高营养价值和功能特性的食品已成为研究热点。藜麦作为一种高营养谷物，受到越来越多关注。目前藜麦的主要产品形式是藜麦米，除此之外，藜麦在主食制品、休闲食品方面的应用也逐渐增多[10,11]。

八宝粥是我国居民喜爱的一种方便食品，具有健脾养胃、益气安神等功效。传统上一般用粳米、糯米或黑糯米为主料制作八宝粥，若将藜麦作为主要原料制备八宝粥，可起到增强产品赖氨酸含量、强化营养及功能特性的作用。目前对藜麦八宝粥制备工艺的研究尚鲜有报道。

响应面分析法（Response Surface Methodology，RSM）是一种比较全面的数理统计方法。它不仅能够找出整个区域上因素的最佳组合及最优的响应值，且可以通过分析软件拟合各因素与响应值间的函数关系。本研究以藜麦、大麦仁、燕麦、红芸豆、白扁豆、花生、绿豆、红小豆为原料制备八宝粥即食方便食品，采用 FAO/WHO 中赖氨酸 AAS 模式对八宝粥进行营养及感官评价，优化原料配比；运用正交试验及响应面法优化制备工艺，找到高压灭菌时间、料液比、蔗糖酯添加量、三聚磷酸钠添加量几个因素的最优组合，综合以感官评价为指标得出最佳工艺参数，为藜麦八宝粥产品开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料和试剂

藜麦：青藜 1 号，由静乐县田园农业综合开发有限公司提供；大麦仁、燕麦、花生、红芸豆、红小豆、绿豆、白扁豆购买于太原市美特好超市；EDTA-2Na、蔗糖酯、三聚磷酸钠、CMC、魔芋胶、黄原胶、木糖醇：河南万邦实业有限公司。

1.2 仪器与设备

SHA-C 水浴恒温振荡器：常州润华电器有限公司；NDJ-1 型旋转式粘度计；756 紫外可见分光光度计：上海光谱仪器有限公司；BSA224S-CW 分析天平：赛多利斯科学仪器（北京）有限公司；Brabender GmbH & Co.KG 粘度仪：德国 Brabender 公司；S-433D 型全自动氨基酸分析仪：德国赛卡姆公司；自动封罐机 SM-24：Can Need 嘉仪仪器公司；YXQ-LS-50A 立式高压灭菌锅：上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.3 技术路线

稳定剂、护色剂、甜味剂等→混合、溶解

↓

原料清洗、浸泡→原料预煮、混合→灌装、封口→杀菌→冷却→成品

1.4 试验方法

1.4.1 原料理化指标测定

水分测定参照 GB/T5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》；灰分测定参照 GB/T5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》；粗蛋白测定参照 GB/T31578-2015《粮油检验 粮食及制品中粗蛋白测定 杜马斯燃烧法》；粗纤维测定参照 GB/T5009.10-2003《食品中粗纤维的测定方法》；粗脂肪测定参照 NY/T 4-1982《谷类、油料作物种子粗脂肪测定方法》；氨基酸含量参照 GB5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》。

1.4.2 八宝粥赖氨酸 AAS 营养评价

以 FAO/WHO 模式（1973）中 AAS 模式进行赖氨酸营养评价，同时考察原料配比对感官评价的影响。

$$AAS=\frac{\text{样品中某必须氨基酸含量（g/100 g粗蛋白）}}{\text{FAO/WHO模式中该必须氨基酸含量（g/100 g粗蛋白）}}\times 100\%$$

1.4.3 预煮时间对各原料感官评价的影响

谷物预煮 2 min、4 min、6 min、8 min、10 min；豆类预煮 4 min、6 min、8 min、10 min、12 min；再经 121 ℃灭菌 40 min，研究预煮程度对原料感官评价的影响。

1.4.4 高压灭菌时间对各原料感官评价的影响

杨生霞[12]认为藜麦杂粮粥在 121 ℃、灭菌 40 min 条件下粥体品质最佳。借鉴上述研究，在 121 ℃条件下，考察灭菌 30 min、40 min、50 min 对八宝粥感官评价的影响。

1.4.5 料液比对八宝粥感官评价的影响

选择物料（预煮后）与液料的比值为 28%、30%、32%、34%、36%，研究料液比对八宝粥感官评价的影响。

1.4.6 EDTA-2Na、蔗糖酯添加量对八宝粥感官评价的影响

由预实验可知，EDTA-2Na 有较好的乳化及护色作用，但在八宝粥中的添加量不宜超过 0.05%，否则会使八宝粥出现酸味。在此基础上，选择蔗糖脂添加量 0.09%、0.12%、0.15%、0.18%、0.21%，研究不同添加量对八宝粥感官评价的影响。

1.4.7 三聚磷酸钠添加量对八宝粥感官评价的影响

本实验设计三聚磷酸钠的添加量为 0.06%、0.08%、0.10%、0.12%、0.14%，研究不同添加量对八宝粥感官评价的影响。

1.4.8 木糖醇添加量对八宝粥感官评价的影响

选用木糖醇作为甜味剂，设计木糖醇的添加量为 4%、6%、8%、10%、12%，研究不同添加量对八宝粥感官评价的影响。

1.4.9 增稠剂添加量对八宝粥感官评价的影响

选用 CMC、魔芋胶、黄原胶作为增稠剂，联合使用。以感官评价总分为指标，设计三因素三水平正交实验，确定最佳配比。

1.4.10 响应面法优化藜麦八宝粥制备工艺

在单因素试验结果的基础上，采用响应面法进行 Box-Behnken 中心组合设计，进而优化藜麦八宝粥制备工艺, 本试验共重复 3 次。

1.4.11 八宝粥感官评价标准

由 10 人组成品尝评价小组进行评分，取平均值。评价标准见表 1 所示。

表 1 八宝粥感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard of eight-ingrediet porridge

项目	特征	标准/分
气味 (25 分)	有原料香味	17~25
	香味不明显	8~16
	无香味，有异味	1~7
色泽 (10 分)	物料及粥体色泽鲜艳、明亮	8~10
	色泽暗淡	4~7
	褐变、颜色异常	1~3
形态 (10 分)	籽粒完整，粥体有轻微分层	8~10
	籽粒不完整，粥体有明显分层	4~7
	籽粒破损、粥体严重分层	1~3
口感 (30 分)	谷物有咬劲，豆类绵软，有粘稠感	24~30
	谷物咬劲稍差，豆类稍硬，粘稠度较高或较低	16~23
	谷物、豆类过硬或过软，粘稠度过高或过低	1~15
滋味 (25 分)	滋味丰富，饱满	19~25
	滋味清淡	10~18
	有异味	1~9
总分		100

表 2 原料理化指标

Table 2 Physical and chemical indexes of raw materials

原料	蛋白质/%	粗脂肪/%	粗纤维/%	灰分/%	水分/%	碳水化合物/%
藜麦	15.21±0.15	2.76±0.09	2.80±0.06	1.62±0.02	12.30±0.11	65.47±1.31
大麦仁	10.73±0.11	2.45±0.12	3.32±0.08	1.55±0.05	12.52±0.14	69.65±1.22
燕麦	11.96±0.13	3.22±0.17	2.46±0.11	1.83±0.07	12.01±0.17	68.70±1.09
花生	25.60±0.25	1.58±0.08	4.27±0.09	3.36±0.11	10.19±0.21	55.38±1.07
红芸豆	20.82±0.18	1.70±0.07	4.83±0.13	3.94±0.09	10.67±0.25	58.29±1.33
绿豆	25.35±0.22	1.54±0.10	3.55±0.15	3.68±0.06	8.65±0.22	57.59±1.36
红小豆	23.47±0.28	1.97±0.15	3.71±0.08	3.50±0.02	10.35±0.17	56.46±1.14
白扁豆	23.17±0.31	2.56±0.16	3.77±0.07	3.13±0.04	9.02±0.19	58.64±1.42

2 结果与讨论

2.1 原料理化指标

由原料营养特性可以看出，豆类蛋白质、粗纤维、灰分含量较高，其中，蛋白质含量在 20.82%~25.35%之间，粗纤维含量在 3.55%~4.83%之间，可满足人们对蛋白质和膳食纤维的营养需求。而谷物碳水化合物含量较高，在 65.47%~68.70%之间，可满足人们对主食的需求。由表 2 可以看出，在谷物中，藜麦的蛋白质含量较高，为 15.21%，是大麦仁的 1.42 倍、燕麦的 1.27 倍。将藜麦添加到八宝粥当中，可以提高产品中蛋白质的比例，提高营养价值，起到均衡营养的作用。

2.2 八宝粥赖氨酸 AAS 营养评价

藜麦中赖氨酸含量是小麦标准粉的 2~3 倍，单从氨基酸角度考量，藜麦的健康价值超过多数“全谷物”，这也是藜麦被认作“健康食品”的最主要原因[13]。由图 1、图 2 可知，谷物赖氨酸含量高于豆类，豆类蛋白质含量高于谷物。本试验设计谷物用量不低于豆类，豆类中红芸豆和白扁豆体积较大、较重，因此用量稍高于其他 3 种豆类。

FAO/WHO 模式推荐每 100 g 粗蛋白中赖氨酸含量为 5.5 g[14]。由表 3 可知，影响八宝粥赖氨酸 AAS 含量的主要因素是谷物与豆类的比例以及谷物中藜麦的占比。当谷物比例、谷物中藜麦比例增大时，八宝粥赖氨酸 AAS 升高，感官评价得分降低。综合考虑八宝粥赖氨酸 AAS 与感官评价结果，选择谷物与豆类比例为 60:40，谷物中藜麦、大麦仁、燕麦比例为 35:10:15，豆类中红芸豆、白扁豆、花生、绿豆、红小豆比例为 15:10:5:5:5，作为最佳配比。夏金丹[14]通过原料优化，使青稞、黄豆八宝粥的赖氨酸 AAS 达到 92.37%，但没有结合感官评价。本文在兼顾口感的同时优化原料配比，藜麦八宝粥赖氨酸 AAS 达到 83.82%，感官评分 80.4。

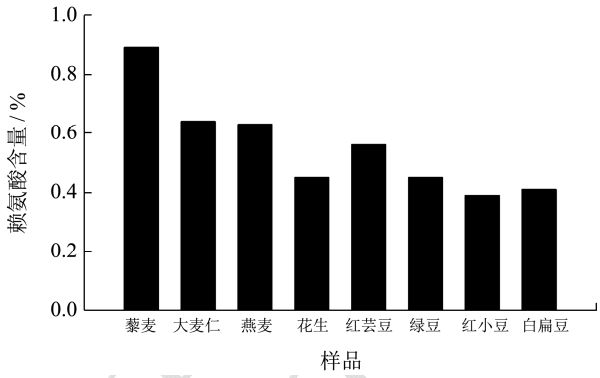


图 1 原料赖氨酸含量

Fig.1 Lysine content of raw material

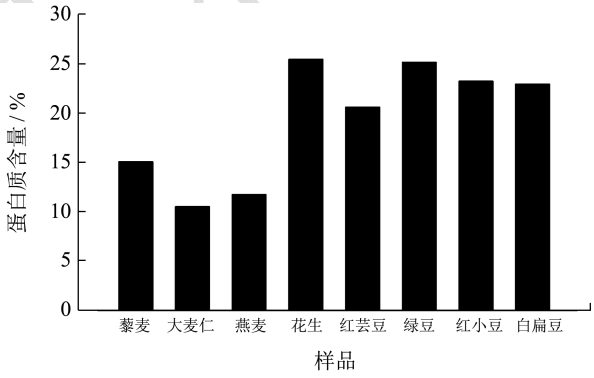


图 2 原料蛋白质含量

Fig.2 Protein content of raw materials

表 3 八宝粥原料配比

Table 3 Raw material ratio of eight-ingrediet porridge

指标		藜麦	大麦仁	燕麦	红芸豆	白扁豆	花生	绿豆	红小豆	八宝粥蛋白质中赖氨酸含量/%	赖氨酸 AAS/%	感官评价
谷物与豆类比例	55:45	30	5	20	15	15	5	5	5	4.31	78.42	81.0
		30	10	15	15	15	5	5	5	4.40	80.05	82.5
		30	15	10	15	15	5	5	5	4.37	79.53	84.3
		30	20	5	15	15	5	5	5	4.40	80.01	80.6
	60:40	35	5	20	15	10	5	5	5	4.57	83.16	78.9
		35	10	15	15	10	5	5	5	4.61	83.82	80.4
		35	15	10	15	10	5	5	5	4.54	82.57	81.5
		35	20	5	15	10	5	5	5	4.50	81.84	79.7
	65:35	40	5	20	10	10	5	5	5	4.92	89.53	74.6
		40	10	15	10	10	5	5	5	4.86	88.40	76.3
		40	15	10	10	10	5	5	5	4.83	87.84	75.2
		40	20	5	10	10	5	5	5	4.89	88.92	77.7

2.3 预煮时间对各原料感官评价的影响

杨文灿[15]研究指出，原料最大吸水率不会因浸泡温度的变化而有明显的变化。出于节能目的，采用常温浸泡方式。由预实验可知，谷物浸泡 4 h，豆类浸泡 10 h，原料达到饱和吸水状态，再经 121 ℃灭菌 40 min。由图 3 可知，藜麦预煮 4 min、大麦仁预煮 6 min、燕麦预煮 8 min，原料籽粒完整，有嚼劲，口感最佳。由图 4 可知，绿豆预煮 6 min、花生及红小豆预煮 8 min、红芸豆及白扁豆预煮 10 min，原料籽粒完整，脱色轻微，口感软糯。不同于杨天庆[16]在藜麦杂粮粥加工工艺中将所有原料预煮相同时间的研究结果，本文采取分别预煮的方式，可进一步提升产品品质。

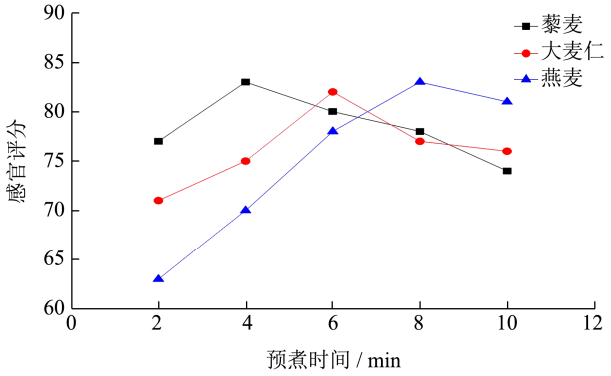


图 3 谷物预煮时间对各原料感官评分的影响

Fig.3 Effect of precooking time on sensory score of raw materials

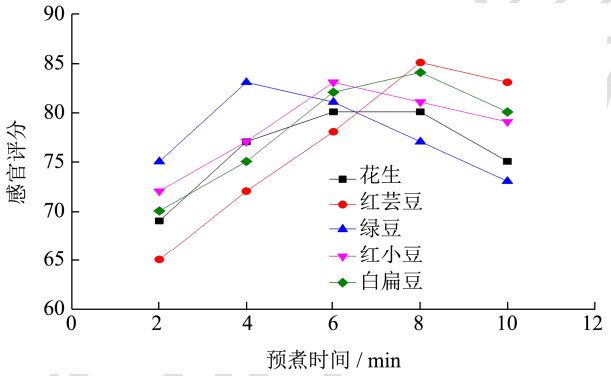


图 4 豆类预煮时间对各原料感官评分的影响

Fig.4 Effect of precooking time of beans on sensory scores of raw materials

2.4 高压灭菌时间对各原料感官评价的影响

在 121 ℃条件下熟化灭菌。藜麦与绿豆灭菌 30 min 时最佳口感，籽粒完整度好、有嚼劲。灭菌 40 min 时，大麦仁软硬适中、籽粒完整度好；红芸豆、白扁豆、红小豆口感绵软，少量籽粒破裂。灭菌 50 min 时，燕麦口感最佳；花生绵软，籽粒完整；藜麦、大麦仁嚼劲变差，绿豆、红芸豆、白扁豆、红小豆籽粒过于绵软，籽粒均有破损。综合考虑 8 种原料口感及籽粒完整程度，选择 121 ℃灭菌 40 min 作为最佳工艺参数。

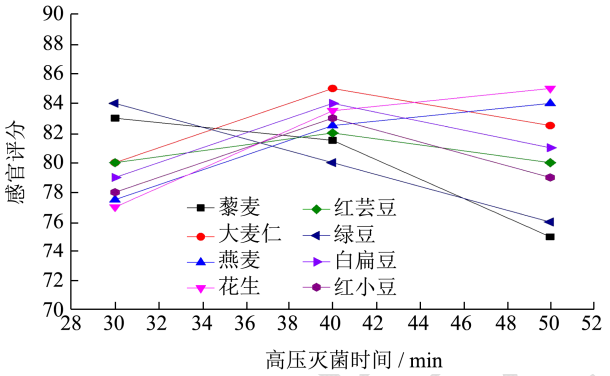


图 5 高压灭菌时间对各原料感官评分的影响

Fig.5 Effect of autoclaving time on sensory score of raw materials

2.5 料液比对八宝粥感官评价的影响

从料液比（固料为浸泡预煮过的原料）来看，32%料液比时八宝粥感官评分最高，粥体饱满度较好，粘稠度适中，形态及口感均较好。

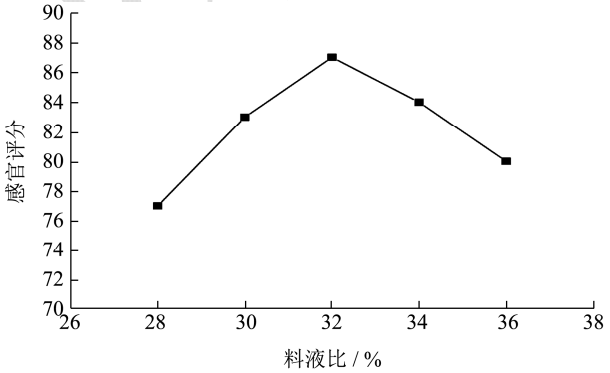


图 6 料液比对八宝粥感官评分的影响

Fig.6 Effect of material liquid ratio on sensory evaluation of eight-ingrediet porridge

2.6 EDTA-2Na、蔗糖酯添加量对八宝粥感官评价的影响

EDTA-2Na 及蔗糖酯具有抑制水分析出，保持粥体稳定的作用。由预实验可知，EDTA-2Na 具有很好的护色作用，0.05%添加量可使粥体色泽呈鲜艳的红褐色且无异味，但当其添加量超过 0.05%时，八宝粥会出现酸味。这一结论与杨文灿[15]苦荞八宝粥中 EDTA-2Na 添加量 0.25%的结果相差较大，可能是由于原料不同造成的。本文选择 EDTA-2Na 添加量为 0.05%，在此基础上对蔗糖酯用量进行单因素试验。感官评价结果显示，蔗糖酯添加量 0.15%时粥体色泽鲜艳，无异味，有轻微分层，稳定性较好。

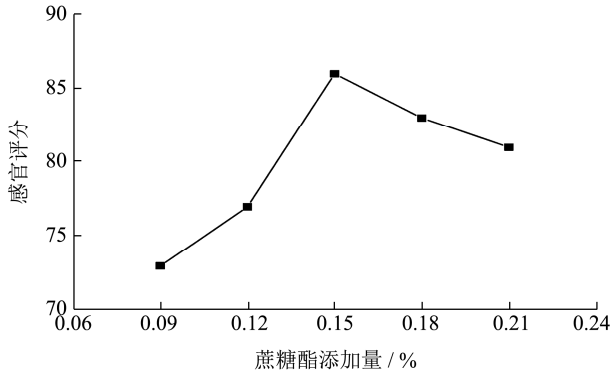


图 7 蔗糖酯添加量对八宝粥感官评分的影响

Fig.7 Effect of sucrose ester addition on sensory score of eight-ingrediet porridge

2.7 三聚磷酸钠添加量对八宝粥感官评价的影响

三聚磷酸钠具有保持粥体水分、改良品质的作用[17]。感官评价结果显示三聚磷酸钠用量为 0.10%时，八宝粥粥体均匀、色泽鲜艳、无异味，有轻微分层，稳定性较好。

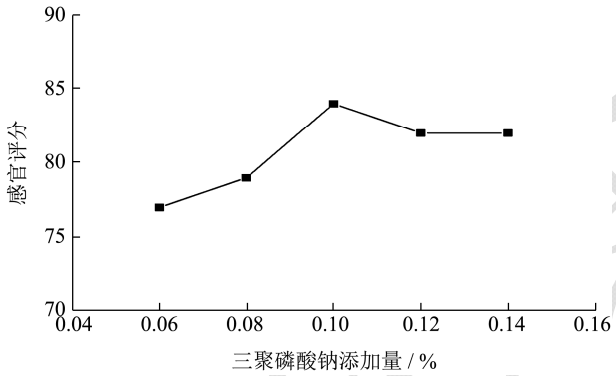


图 8 三聚磷酸钠添加量对八宝粥感官评分的影响

Fig.8 Effect of sodium tripolyphosphate on sensory score of eight-ingrediet porridge

2.8 木糖醇添加量对八宝粥感官评价的影响

由图 9 可知，在木糖醇添加量为 4%~14%间变化时，八宝粥的感官评分呈先上升后降低趋势，在添加量为 8%时，感官评分最高，故选用木糖醇作甜味剂，木糖醇添加量 8%时，八宝粥甜度适中，口感最好。

2.9 增稠剂添加量对八宝粥粘度的影响

李毅丽[18]指出糯米有助于增加汤汁粘稠度，以糯米为原料的前提下采用 1:1 的黄原胶与魔芋粉作为增稠剂，杂粮八宝粥获得较好的稳定性。由于原料不同，本文选用 CMC、魔芋胶、黄原胶作增稠剂。由预实验得出，CMC 添加 0.02%、魔芋胶添加 0.08%、黄原胶添加 0.15%时，粥体口感较好。现以八宝粥粘度为指标，设计三因素三水平正交实验，确定最佳工艺参数。

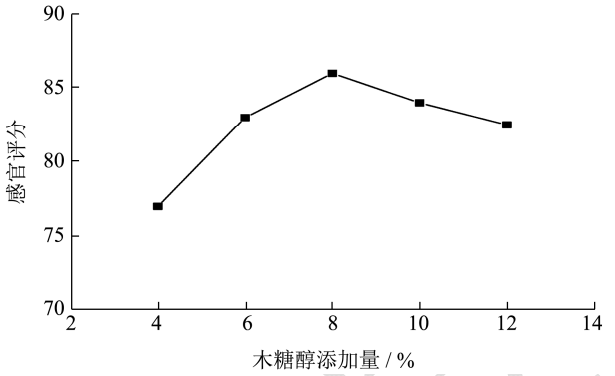


图 9 木糖醇添加量对八宝粥感官评分的影响

Fig.9 Effect of xylitol addition on sensory score of eight-ingrediet porridge

表 4 正交试验因素与水平

Table 4 Factors and levels of orthogonal test

水平	A(CMC/%)	B(魔芋胶/%)	C(黄原胶/%)
1	0.01	0.06	0.12
2	0.02	0.08	0.15
3	0.03	0.10	0.18

表 5 正交试验方差分析

Table 5 Variance analysis of orthogonal test

试验号	A	B	C	粘度/(MPa·s)
1	1	1	1	880.00
2	1	2	2	1570.00
3	1	3	3	1620.00
4	2	1	2	1730.00
5	2	2	3	1900.00
6	2	3	1	1450.00
7	3	1	3	890.00
8	3	2	1	1350.00
9	3	3	2	1540.00
K1	1356.67	1166.67	1226.67	
K2	1693.33	1606.67	1613.33	
K3	1260.00	1536.67	1470.00	
极差 S	336.67	440.00	386.67	

由正交试验极差分析可知 $R_2>R_3>R_1$，即影响试验结果各因子主次关系是魔芋胶>黄原胶>CMC，最佳配比参数为 $A_2B_2C_3$，即 CMC 添加量 0.02%、魔芋粉添加量 0.08%、黄原胶添加量 0.18%时，八宝粥粘度最高。粘度大则汤汁对大颗粒米料的承载能力增高[19]，物料分散后不容易分层，有利于提高粥体的稳定性。

2.10 响应面法试验设计方案与结果

采用统计软件 Design Expert 8.0.0 Trial 进行四因

素三水平的试验设计以及数据分析，分析 4 个随机因子（高压灭菌时间、料液比、蔗糖酯添加量、三聚磷酸钠添加量）对八宝粥感官评价的影响。试验因素及水平安排见表 6，试验结果见表 7，重复 3 次。

表 6 Box-Behnken 中心组合因素水平表

Table 6 Central composite factor level table

变量	编码	未编码	代码		
			-1	0	1
高压灭菌时间/min	x_1	X_1	30	40	50
料液比/%	x_2	X_2	30	32	34
蔗糖酯添加量/%	x_3	X_3	0.13	0.15	0.17
三聚磷酸钠添加量/%	x_4	X_4	0.08	0.10	0.12

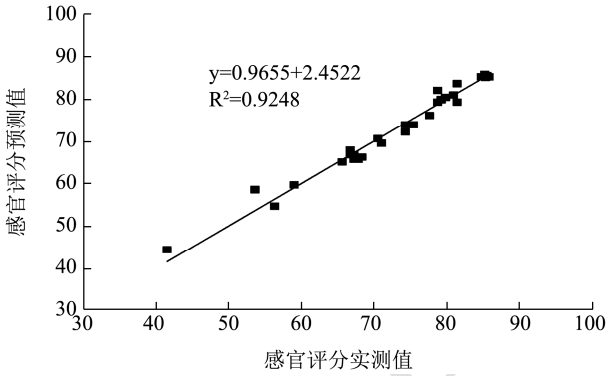


图 10 感官评分实测值与预测值之间的相关性

Fig.10 Correlation between measured and predicted sensory scores

表 7 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 7 Experiment design and results of Box-Behnken

序号	高压灭菌时间/%	料液比/%	蔗糖酯添加量/%	三聚磷酸钠添加量/%	感官评分	
					实测值	预测值
1	-1	-1	0	0	41.5	44.3
2	1	-1	0	0	53.6	58.5
3	-1	1	0	0	65.6	65.0
4	1	1	0	0	66.7	67.8
5	0	0	-1	-1	78.7	79.2
6	0	0	1	-1	81.4	83.6
7	0	0	-1	1	79.8	80.3
8	0	0	1	1	78.7	82.0
9	-1	0	0	-1	67.2	66.7
10	1	0	0	-1	77.6	76.0
11	-1	0	0	-1	66.7	66.7
12	1	0	0	1	75.4	73.8
13	0	-1	-1	0	56.3	54.6
14	0	1	-1	0	80.9	80.9
15	0	-1	1	0	71.0	69.4
16	0	1	1	0	74.3	73.8
17	-1	0	-1	0	59.0	59.6
18	1	0	-1	0	70.5	70.5
19	-1	0	1	0	67.2	65.6
20	1	0	1	0	74.3	72.1
21	0	-1	0	-1	67.8	65.6
22	0	1	0	-1	81.4	79.2
23	0	-1	0	1	68.3	66.1
24	0	1	0	1	79.2	79.8
25	0	0	0	0	84.7	85.2
26	0	0	0	0	85.2	85.8
27	0	0	0	0	85.8	85.2
28	0	0	0	0	85.3	85.1
29	0	0	0	0	85.5	85.5

对实测值和预测值进行比较，二者非常接近（R^2=0.9248），说明该模型可靠、有效。

2.10.1 方差分析

对表 7 数据进行响应面分析，所得回归方程为：

$$Y=85.3+0.382X_1+7.38X_2+1.25X_3-0.39X_4-2.75X_1X_2+0.15X_1X_3-0.42X_1X_4-3.08X_2X_3-0.67X_2X_4-0.78X_3X_4-13.69X_1^2-11.77X_2^2-4.38X_3^2-1.11X_4^2$$

采用 SAS 软件对所得数据进行回归模型方差分析，结果见表 8。

由表 8 可见，本试验所选用的二次多项模型具有高度的显著性（p<0.01）；模型决定系数 R^2=0.9248，表明感官评分的预测值和实测值之间有很好的拟合度；模型调整决定系数 R_{Adj}^2=0.8896，这表明响应值的 88.96%来源于所选的因素，能够比较好地描述各因素与响应值之间的真实关系，并由此得到最佳工艺参数。

表 8 RSM 试验的方差分析结果

Table 8 Analysis of variance results of RSM test

方差来源	平方和/10^{-3}	自由度/DF	均方/10^{-3}	F 值	P 值
模型	2769.57	14	0.075	12.30	<0.0001
X_1	175.57	1	0.072	10.92	<0.0052
X_2	654.16	1	0.22	40.68	<0.0001
X_3	118.75	1	0.013	1.17	0.0298
X_4	1.84	1	1.008E-003	0.11	0.7401
X_1X_2	1	30.25	1.000E-002	0.1918	0.0330
X_1X_3	1	0.09	1.600E-003	0.9414	0.0262
X_1X_4	0.72	1	2.250E-004	0.045	0.8971
X_2X_3	0.038	37.82	0.038	0.1474	0.0395
X_2X_4	6.250E-004	1.82	6.250E-004	0.7414	0.5690
X_3X_4	1.225E-003	2.4	1.225E-003	0.7049	0.6521
X_1^2	0.46	215.23	0.46	<0.0001	<0.0001
X_2^2	0.31	73.26	0.31	<0.0001	<0.0001
X_3^2	0.030	124.16	0.030	0.048	0.0148
X_4^2	1.126E-006	8.03	1.126E-006	0.4914	0.4914
残差	22.15	14	2.018E-003		
失拟项	224.49	10	2.806E-003	136.05	0.0001
误差项	0.66	4	5.000E-005		
总和	2994.72	28			

R^2=0.9248　　R_{Adj}^2=0.8896

2.10.2 响应面分析

根据回归模型做出响应面图。

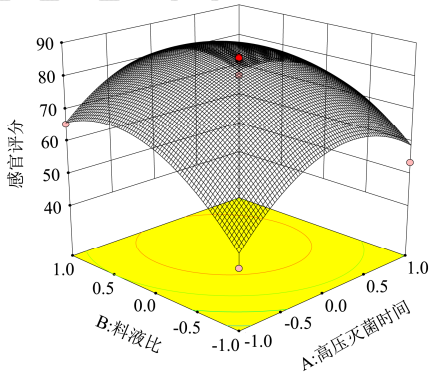


图 11 高压灭菌时间与料液比对感官评分的影响

Fig.11 Effect of high pressure sterilization time sensory score

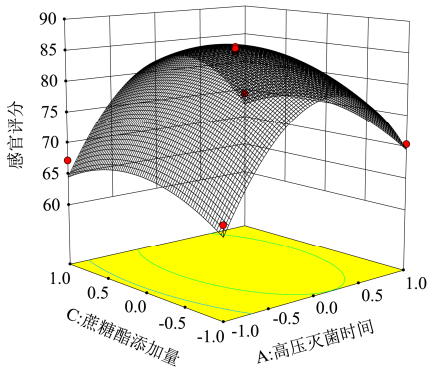


图 12 高压灭菌时间与蔗糖酯添加量对感官评分的影响

Fig.12 Effects of autoclaving time and sucrose and material liquid ratio on ester addition on sensory score

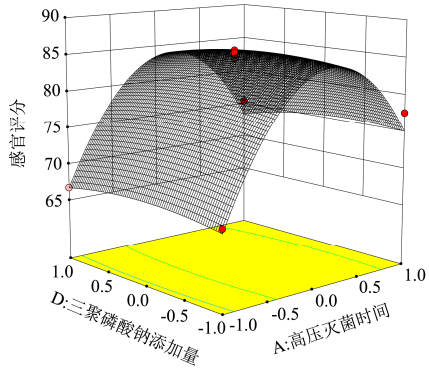


图 13 高压灭菌时间与三聚磷酸钠添加量对感官评分的影响

Fig.13 Effect of autoclaving time and sodium sucrose ester

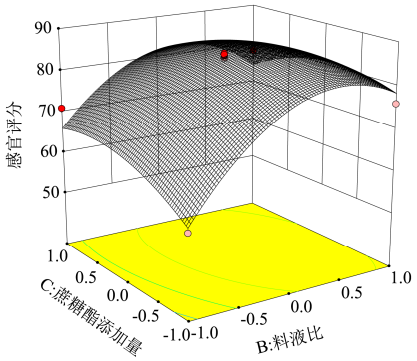


图 14 料液比与蔗糖酯添加量对感官评分的影响

Fig.14 Effects of solid-liquid ratio and tripolyphosphate dosage on sensory score addition on sensory score

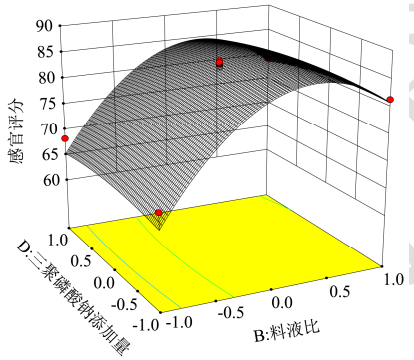


图 15 料液比与三聚磷酸钠添加量对感官评分的影响

Fig.15 Effect of material liquid ratio and sodium tripolyphosphate addition on sensory score

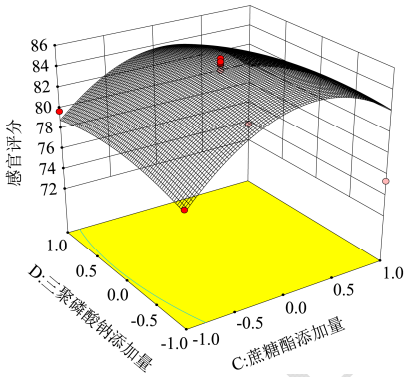


图 16 蔗糖酯与三聚磷酸钠添加量对感官评分的影响

Fig.16 Effect of sucrose ester and Sodium tripolyphosphate on sensory score

由方差分析可知，单因素 X_1、X_2 对感官评分的影响极显著（$p<0.01$），X_3、X_4 对感官评分的影响不显著（$p>0.05$）；交互项 X_1X_2、X_1X_3、X_2X_3 对感官评分的影响显著（$p<0.05$）。由响应面图 11、12、14 可以看出，其等高线为椭圆形，响应面高度卷曲，说明高压灭菌时间与料液比、高压灭菌时间与蔗糖酯添加量、料液比与蔗糖酯添加量之间存在相互促进作用。从其他响应面图可知，三聚磷酸钠添加量与其它因素互相抑制，即在三聚磷酸钠添加量比较充分的情况下，即使提高高压灭菌时间、料液比及蔗糖酯添加量，感官评分提高亦不显著，这与模型方差分析结果一致。

通过响应面优化试验得出，影响藜麦八宝粥感官评价的主次因素为高压灭菌时间>料液比>蔗糖酯添加量>三聚磷酸钠添加量。

2.10.3 模型验证试验

使用 SAS 8.0 软件优化后藜麦八宝粥制备最佳工艺参数为高压灭菌时间 41.4 min，料液比 32.2%，蔗糖酯添加量 0.154%，三聚磷酸钠添加量 0.113%。考虑实际操作等因素，将其结果修正为：高压灭菌时间 42 min，料液比 32%，蔗糖酯添加量 0.16%，三聚磷酸钠添加量 0.11%，并进行验证试验，重复 3 次，结果见表 9。验证试验证明此模型是有效适用的，并具有一定的实践指导意义。

表 9 模型验证

Table 9 Model validation

组别	高压灭菌时间/min	料液比/%	蔗糖酯添加量/%	三聚磷酸钠添加量/%	感官评分	
					实测值	预测值
优化条件	42	32	0.16	0.11	86.4±0.26	85.7±0.33
随机试验	41.4	32.2	0.154	0.113	85.5±0.40	85.9±0.37

3 结论

3.1 在兼顾口感的前提下，通过原料配比使藜麦八宝粥感官评价值达到 80.4，赖氨酸 AAS 达到 83.82%，产品具有较强的营养及功能特性。单因素试验确定了八宝粥甜味剂用量、高压灭菌时间、谷物与豆类各自不同的预煮时间。3 种增稠剂联合使用，由正交试验得出最佳添加量。由响应面法优化出最佳工艺参数为

高压灭菌时间 42 min、料液比为 32%、蔗糖酯添加量 0.16%、三聚磷酸钠添加量 0.11%。综合上述工艺条件制得的八宝粥感官评分达到 86.4，具有较好的口感和较高的营养价值。

3.2 消费者对食品的需求在追求口感的基础上越来越注重产品的健康品质，而藜麦以其独特的功能特性倍受关注。本文针对藜麦八宝粥营养品质及加工工艺开展研究，目的在于为消费者提供一款营养、健康的方便食品。通过扩展产品形式，加速藜麦深加工产品开发以提高其附加值，从而推动地区经济发展。

参考文献

[1] 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 Gui-xing, YANG Xiu-shi, YAO Yang. Current situation of quinoa industry in China [J]. Crops, 2015, 5:1-5

[2] 卢宇,张美莉.藜麦生物活性物质研究进展[J].农产品加工,2015,10:58-62
LU Yu, ZHANG Mei-li. Research advance of quinoa biologically active substance [J]. Farm Products Processing, 2015, 10: 58-62

[3] 胡一晨,赵钢,秦培友,等.藜麦活性成分研究进展[J].作物学报,2018,44(11):1579-1591
HU Yi-chen, ZHAO Gang, QING Pei-you, et al. Research progress on bioactive components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(11): 1579-1591

[4] 于跃,顾音佳.藜麦的营养物质及生物活性成分研究进展[J].粮食与油脂,2019,32(5):4-6
YU Yue, GU Yin-jia. Research progress on nutrients and bioactive components of quinoa [J]. Grain and Oil, 2019, 32(5): 4-6

[5] 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):150-154
SHEN Rui-ling, ZHANG Wen-jie, DONG Ji-lin, et al. Nutritional components, health-promoting effects of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and its application in the good industry [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(9): 150-154

[6] 任妍婧,谢薇,江帆,等.藜麦粉营养成分及抗氧化活性研究[J].中国粮油学报,2019,34(3):15-18
REN Yan-jing, XIE Wei, JIANG Fan, et al. Comparison on nutritional components and antioxidant activities of quinoa flour [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(3): 15-18

[7] 任贵兴,赵钢.藜麦研究进展和可持续生产[M].北京:科学出版社,2018
REN Gui-xin, Zhao Gang. Quinoa: Improvement and Sustainable Production [M]. Beijing: Science Press, 2018

[8] 廖晶.基于山西藜麦包装的设计研究[D].武汉:湖北工业大学,2018
LIAO Jing. Research of the shanxi quinoa packaging fesign based [D].Wuhan: Hubei University of Technology, 2018

[9] Scanlin L, Lewisk A. Quinoa as a Sustainable Protein Source: Production, Nutrition, and Processing [M]. Pittsburgh: Academic Press, 2017:223-238

[10] 梁霞,孟婷婷,周柏玲,等.藜麦-小麦粉流变学特性及其酥性饼干的研制[J].现代食品科技,2020,36(7):1-9
LIANG Xia, MENG Ting-ting, ZHOU Bai-ling, et al. Effect of quinoa flour on the quality of wheat flour and noodle [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 1-9

[11] 张园园.藜麦-小麦混粉面团流变学特性及藜麦面包工艺优化[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2017
ZHANG Yuan-yuan. Quinao-wheat mixed glour fough theological properties and the process optimization of quinoa bread [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017

[12] 杨生霞,龚建军,田志超,等.藜麦杂粮粥工艺参数的研究[J].食品科学,2019,23:42-46
YANG Sheng-xia, GONG Jian-jun, TIAN Zhi-chao, et al. Study on technological parameters of quinoa cereal [J]. Shipin Kexue, 2019, 23:42-46

[13] 王黎明,马宁,李宋,等.藜麦的营养价值及其利用前景[J].食品工业技,2014,1:381-389
WANG Li-ming, MA Ning, LI Song, et al. Nutritional properties of quinoa and its application prospects [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 1: 381-389

[14] 夏金丹.蛋白质优化型青稞黄豆八宝粥的研制及其消化特性研究[D].杭州:浙江大学,2013
XIA Jin-dan. The development of a protein-optimized eight-ingrediet porridge with highland barley and sybean as well as the study of its digestive characteristics [D]. Hangzhou:Zhejiang University, 2013

[15] 杨文灿.苦荞八宝粥的加工工艺及功能成分研究[D].太谷:山西农业大学, 2014
YANG Wen-can. The study on development of buckwheat eight ingredients porridge and its functional components [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2014

（下转第 197 页）