

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.06.009

陈超, 贾敏, 秦楠. 速溶阿胶红豆薏米粉的配方优化[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(6): 67-74.

CHEN C, JIA M, QIN N. Optimizing formulation of instant powder of ejiao, vigna angularis and semen coicis[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(6): 67-74.

速溶阿胶红豆薏米粉 的配方优化

陈超, 贾敏, 秦楠✉

(山西中医药大学 中药与食品工程学院, 山西 晋中 030619)

摘要: 以阿胶低肽粉、红豆、薏米为主要原料, 麦芽糊精、木糖醇、 β -环糊精为辅料, 制备速溶阿胶红豆薏米粉。通过单因素和响应面实验研究原料粉的加工工艺、辅料添加量对阿胶红豆薏米粉的影响。结果表明最佳工艺条件为: 红豆与薏米的质量比 1:1、烘烤时间 50 min、烘烤温度 120 °C、阿胶添加量 4%、麦芽糊精添加量 24%、木糖醇添加量 10%、 β -环糊精添加量 9%。此条件下阿胶红豆薏米粉润湿性 129 s, 分散性 5 s, 具有较好的口感和冲调性; 水分含量 2.3%, 蛋白质含量 13%, 多糖含量 47%, 菌落总数 < 3 000 cfu/g, 大肠菌群数量 < 90 MPN/100 g, 符合国家要求。

关键词: 阿胶低聚肽; 红豆; 薏米; 工艺研究; 冲调性

中图分类号: TS218 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)06-0067-08

Optimizing Formulation of Instant Powder of Ejiao, Vigna Angularis and Semen Coicis

CHEN Chao, JIA Min, QIN Nan✉

(School of Chinese Medicine and Food Engineering, Shanxi University of Chinese Medicine, Jinzhong, Shanxi 030619, China)

Abstract: The instant powder of Ejiao, vigna angularis and semen coicis (IPEVS) were prepared with Ejiao Low Mol.Wt. Peptid, vigna angularis and semen coicis as main raw materials, maltodextrin, xylitol and β -cyclodextrin as auxiliary materials. The effects of processing technology of raw material powder and the amount of excipients on IPEVS were tested by single factor and response surface method. The results showed that the optimum technological conditions were as follows: the ratio of vigna angularis to semen coicis was 1 : 1, baking time was 50 min, baking temperature was 120 °C, the addition amount of Ejiao Low Mol.Wt. Peptid was 4%, maltodextrin was 24%, xylitol was 10%, β -cyclodextrin was 9%. Under this condition, the wettability of IPEVS was 129 s, the dispersibility was 5 s, and it had good taste and toning property. The moisture content is 2.3%, the protein content is 13%, the content of polysaccharide is 47%, the total number

收稿日期: 2023-05-12

基金项目: 企业横向项目 (20220828); 校级科研项目 (2022TD2008)

Supported by: "Transverse" Research Projects (No.20220828); Scientific Research Project in School-level (No.2022TD2008)

作者简介: 陈超, 女, 1998 年出生, 在读硕士生, 研究方向为药食同源中药功能产品。E-mail: chenhanchen2010@163.com

通讯作者: 秦楠, 男, 1981 年出生, 博士, 副教授, 研究方向为药食同源中药功能产品。E-mail: bszy6688@163.com

of colony is less than 3 000 cfu/g, the number of coliform is less than 90 MPN/100 g, which accords with the national requirement.

Key words: Ejiao Low Mol.Wt. Peptid; vigna angularis; semen coicis; technology research; solubility

红豆是豆科杂粮植物,富含蛋白质、碳水化合物、膳食纤维等有益成分和丰富的微量元素,能促进心脏血管的活化,健胃生津、祛湿益气。薏米又叫薏苡仁,营养价值很高,被誉为“世界禾本科植物之王”,具有利水渗湿、健脾止泻、解毒散结等功效^[1]。阿胶作为药食同源药材,是马科动物驴(*Equus asinus L.*)的干燥皮或鲜皮经煎煮、浓缩制成的固体胶,具有补血滋阴、润燥、止血的功效,主要用于血虚萎黄、眩晕心悸、虚风内动、妊娠胎漏等,服用合适剂量有益人体健康^[2]。阿胶主要由多肽和氨基酸组成,多肽的分子量大,被人体服用后需要在体内水解或酶解形成小分子的氨基酸、低肽才能被吸收,因此将阿胶制备成小分子肽更易于阿胶产品的口服吸收^[3]。

红豆和薏米具有类似功效,配伍使用可以起到去湿、健脾胃、助脾运的作用;同时作为粗粮,红豆和薏米还可以中和阿胶本身的滋腻之性。当前,以红豆、薏米为原料开发的产品已有许多,如茶、粥、饮料等,但大多生产工艺较为简单。通过深加工将红豆、薏米和阿胶低聚肽加工为复合速溶粉,有利于营养成分充分释放,有助于促进人体吸收,且携带、食用方便。麦芽糊精、木糖醇、 β -环糊精作为食品添加剂,分别起增稠剂、甜味剂、矫味剂等作用,可使粉体膨胀、不易结块、改善味道、消除异味,还能延长保质期。因此,本文研究原料阿胶低肽粉与红豆薏米粉的最适配比,然后以麦芽糊精、木糖醇、 β -环糊精为辅料进行单因素响应面实验得到最优工艺,然后进行冲调性分析。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

阿胶:山西晋胶健康产业有限公司;红豆、薏米:山西省晋中市田森超市;胃蛋白酶(1:30 000):上海源叶生物科技有限公司;胰蛋白酶(1:250):武汉赛维尔生物科技有限公司;木糖

醇:山东福田药业有限公司; β -环糊精:河南中泰食化有限公司;麦芽糊精:河南圣斯德实业有限公司;硫酸铜:济宁宏明试剂有限公司;硫酸钾:上海之臻化工有限公司;浓硫酸:合成化工有限公司;氢氧化钠:久成化工;结晶紫中性红胆盐琼脂(Violet Red Bile Aga, VRBA)、平板计数琼脂(Plate Count Agar, PCA):青岛高科技工业园海博生物技术有限公司;硼酸:淄博文海工贸有限公司;酚酞:北京芳草医药化工研制公司。

1.2 仪器与设备

电烤箱(MG25NF-AD):美的电器;万能高速粉碎机(DE-200g):浙江红景天工贸有限公司;药典筛:浙江上虞市五四仪器厂;小型喷雾干燥仪(H-Spray Mini):北京霍尔斯生物科技有限公司;pH计(pHS-3C):上海仪电科学仪器股份有限公司;分析天平(JA2003):上饶市宏翔实业有限公司;消解炉(SPT20)、凯氏定氮仪(SPD60):北京三品科创仪器有限公司;循环水式真空泵(SHZ-D):巩义市予华仪器有限责任公司。

1.3 实验方法

1.3.1 阿胶低聚肽制备工艺

阿胶粉碎(60目)→加20倍水→60℃钝化→冷却至室温→浓集液→胃蛋白酶解(温度42℃、pH 2.0、酶量105 U/g、时间1.5 h)→85℃水浴灭活15 min→胃蛋白酶解液→胰蛋白酶解(温度42℃、pH 8.0、酶量 5×10^3 U/g、时间2.5 h)→85℃水浴灭活15 min→阿胶低肽酶解液→定容至20倍水量超滤→阿胶低肽溶液→低温干燥→阿胶低肽粉^[3]。

1.3.2 阿胶红豆薏米粉制备工艺

在适宜温度和时间下在烘箱中烘烤红豆和薏米,使用打浆机按比例将烘烤好的红豆和薏米打磨成浆液并过筛,浆液中加入4%的阿胶低肽粉和适量的麦芽糊精、木糖醇、 β -环糊精混合均匀,用电磁炉将混合浆液煮开糊化并浓缩至每100 mL

浆液变为 20 mL 浓缩液, 将冷却后的浓缩浆液在进风温度 136 °C、进风速度 83%、进样速率 15%、通针频率 20 s 的条件下喷雾干燥^[4-8], 得到阿胶红豆薏米速溶粉。

1.3.3 原料粉的制备

1.3.3.1 烘烤温度和时间的选择 将洗净并晾干的红豆、薏米分别放于烘箱中, 使其分别在 100、120、140 °C 下烘烤 30、40、50 min, 使其干燥利于打浆, 且在烘烤过程中达到一定程度的熟化^[1]。观察不同温度、时间对红豆、薏米的影响程度, 采用感官评价根据色泽、香气筛选出最适烘烤温度和最适烘烤时间。

1.3.3.2 配比的选择 原料粉不同的比例对总浆液的风味及口感有较大影响。使用打浆机将红豆、薏米按表 1 的比例打磨成浆液并过筛, 加入 4% 的阿胶低肽粉, 根据感官评价指标确定红豆和薏米的最适比例。

表 1 原料粉配比实验设计

序号	红豆/%	薏米/%
1	30	70
2	40	60
3	50	50
4	60	40

1.3.4 单因素实验

主要辅料的占比对于产品的香味、口感、形态等至关重要。本实验研究不同麦芽糊精添加量 (12%、16%、20%、24%、28%)、木糖醇添加量 (4%、6%、8%、10%、12%) 及 β -环糊精添加量 (3%、5%、7%、9%、11%) 对阿胶红豆薏米粉的影响。固定研究因素阿胶低肽粉添加量为 4%, 麦芽糊精添加量为 24%, 木糖醇添加量为 8%, β -环糊精添加量为 5%, 进行感官评价。

1.3.5 响应面实验设计

依据单因素实验结果, 以麦芽糊精添加量、木糖醇添加量及 β -环糊精添加量为自变量, 感官评价为响应值, 进行 3 因素 3 水平 Box-Behnken 响应面分析实验, 具体设定见表 2。采用 Design-Expert.V8.0 软件进行分析。

表 2 响应面设计

水平	因素		
	A 麦芽糊精添加量 /%	B 木糖醇添加量 /%	C β -环糊精添加量 /%
-1	20	8	7
0	24	10	9
1	28	12	11

1.3.6 指标测定方法

1.3.6.1 水分含量测定 参照 GB 5009.3—2016 《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法。

1.3.6.2 蛋白质含量测定 参照 GB 5009.5—2016 《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法。

1.3.6.3 多糖含量测定 参照苯酚-硫酸比色法测定总多糖含量。

1.3.6.4 冲调性检测

a 润湿性测定

准确称取 10 g 阿胶红豆薏米粉, 将其散布在盛有 250 mL 100 °C 水的烧杯中, 在静置条件下测定润湿时间。将粉剂放入烧杯时开始计时, 记录粉体全部湿润浸入水中的时间, 即为润湿时间, 时间越短越好^[9]。

b 分散性测定

准确称取 10 g 阿胶红豆薏米粉, 散布在置于磁力搅拌器上的盛有 250 mL 100 °C 水的烧杯中, 快速搅拌使其均匀分散于水中, 记录粉体全部分散于水中所用的时间, 即为分散时间, 时间越短越好^[10]。

1.3.6.5 微生物指标测定

a 菌落总数的测量方法

参照 GB 4789.2—2022 《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》的规定, 对菌落总数进行测定。

b 大肠菌群的测量方法

根据 GB 4789.3—2016 《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》的规定, 对大肠菌群含量进行计数。

1.3.6.6 感官评价指标 由 10 名食品专业的老师和同学组成感官评价小组, 参考 GB 19640—2016

《食品安全国家标准冲调谷物制品》，从色泽、气味、口感、状态 4 个方面对阿胶红豆薏米粉进行感官质量评价，满分为 10 分，最后得分取平均分^[11-12]。冲调方法：杯中加入 10 g 阿胶红豆薏米粉，倒入 80 °C 左右的热水 250 mL，搅拌均匀。感官评价标准见表 3。

表 3 感官评价指标
Table 3 Sensory evaluation indicators

项目	评分标准	分值/分
色泽 (2分)	颜色自然, 暗红色偏黄	1.5~2
	颜色略暗或略红	0.9~1.4
	颜色过暗淡或过红	0~0.8
气味 (3分)	有薏米和红豆特有的香味, 且二者气味均衡	2~3
	薏米或红豆气味较淡或过于突出	1~2
	几乎没有气味	0~1
口感 (3分)	甜度适中, 薏米和红豆味道均衡	2~3
	略甜或略淡, 薏米或红豆味道略重	1~2
	过甜或欠甜, 薏米或红豆味道过重	0~1
状态 (2分)	组织状态均一, 粘稠度适中, 很细腻	1.5~2
	组织状态较均一, 较稠或较稀, 较细腻	0.9~1.4
	组织状态不均一, 极稀、无稠度或过于黏稠, 粗糙	0~0.8

2 结果与分析

2.1 烘烤温度及时间的确定

由表 4 可知, 当烘烤温度为 120 °C, 烘烤时间为 50 min 时, 红豆和薏米不论是色泽还是香气均较其他组好, 且二者表皮均裂开, 因此, 选择红豆、薏米最佳烘烤温度为 120 °C, 时间为 50 min。

表 4 烘烤温度及时间的确定

Table 4 Determination of baking temperature and time

序号	温度/°C	时间/min	色泽		香气
			红豆	薏米	
1		30	几乎没有变化		无香味
2	100	40	红色	米黄色	有淡香
3		50	深红色	黄色	香味较浓
4		30	红色	米黄色	无香味
5	120	40	深红色	黄色	有豆香
6		50	暗红色	金黄色	香味浓郁
7		30	微糊略有黑色糊点		焦香
8	140	40	烤焦, 大量黑色糊点		焦苦味
9		50	烤糊, 整体为黑色		糊味

2.2 原料粉配比结果

由图 1 可知, 随着红豆/薏米比例的增大, 阿胶红豆薏米粉的感官评分呈现先升高后降低的趋势, 在 5 : 5 时感官评分最高。主要是当红豆添加比例低于薏米比例时, 阿胶红豆薏米粉中薏米的味道和气味突出, 同时大量薏米乳白色的浆液和少量红豆红褐色浆液混合后使得混合浆液颜色过于暗淡, 二者无法较好融合; 而当薏米添加比例低于红豆比例时, 红豆味道和气味突出, 二者也无法较好融合。但当红豆和薏米添加比例为 5 : 5 时, 两者的味道和气味可以较好的中和, 且颜色也较自然和谐, 感官评价较其他组好, 故选择红豆、薏米配比 5 : 5 为最佳工艺配比。

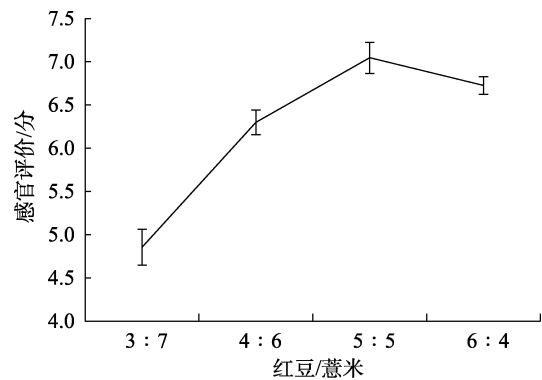


图 1 原料粉配比感官评价

Fig.1 Sensory evaluation of proportion of raw material liquid

2.3 单因素实验结果

2.3.1 麦芽糊精添加量对产品品质的影响

麦芽糊精可在食品中充当增稠剂、乳化剂、甜味剂、香味剂等, 可使粉状制品体积膨胀、不易结块, 还能避免沉淀、延长保质期。由图 2 可

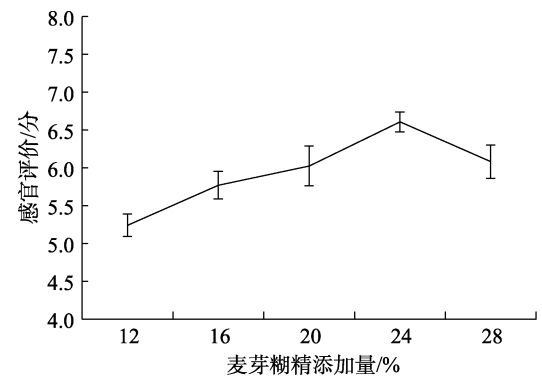


图 2 麦芽糊精添加量单因素实验结果

Fig.2 Single factor experiment results of maltodextrin dosage

知,当麦芽糊精添加量低于 24%时,冲调后粉剂的感官评价得分随着麦芽糊精添加量的增加而呈现上升趋势,可能是因为麦芽糊精添加量较低时,冲调后粉剂的粘稠度低,外观和口感较差。但当麦芽糊精添加量高于 24%时,冲调后粉剂过于粘稠,影响口感和外观。因此,选择麦芽糊精添加量为 24%。

2.3.2 木糖醇添加量对产品品质的影响

木糖醇广泛存在于水果、谷物中,具有减肥、预防糖尿病、减少口腔内的致龋菌等医疗保健功能。当前已广泛应用在食品的研究与开发中,可代替蔗糖。由图 3 可知,木糖醇添加量为 10%时,冲调后的阿胶红豆薏米粉外观、口感最好,甜度最为适合,感官评价得分最高。当木糖醇添加量低于 10%时,冲调后的液体甜度不够;而当木糖醇添加量高于 10%时,冲调后的液体过于甜腻,因此,确定木糖醇添加量为 10%。

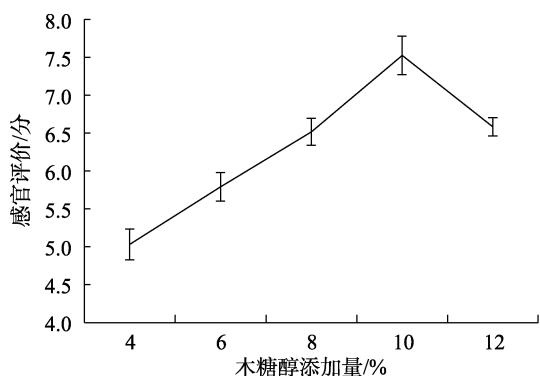


图 3 木糖醇添加量单因素实验结果

Fig.3 Single factor experiment results of xylitol addition

2.3.3 β -环糊精添加量对产品品质的影响

β -环糊精广泛用于食品中,是良好的稳定剂、抗氧化剂、矫味剂,在消除异味、改善食品组织结构、提高香料香精及色素的稳定性等方面具有较大作用。由图 4 可知,在 β -环糊精添加量低于 9%时,随着添加量的增加,冲调后溶液的香味愈浓,口感愈好,感官评价得分随 β -环糊精的增加而呈现上升趋势。而当 β -环糊精添加量高于 9%时,冲调后溶液黏稠度过高,且气味过重,口感也不佳。故选择 β -环糊精添加量为 9%。

2.4 响应面实验结果

2.4.1 响应面结果与方差分析

依据单因素实验结果,以感官评价得分为响

应值,Box-Behnken 中心组合设计 17 组实验(含 5 组中心点重复)。响应面分析实验结果见表 5。

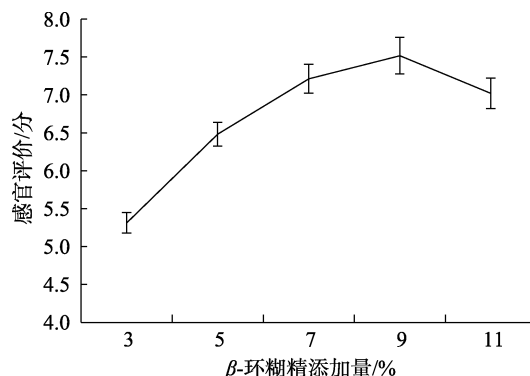


图 4 β -环糊精添加量单因素实验结果

Fig.4 Single factor experiment results of β -cyclodextrin

表 5 阿胶红豆薏米粉最佳配方工艺响应面设计与结果
Table 5 Response surface design and results of optimum formulation of IPEVS

序列	A 麦芽糊精/%	B 木糖醇/%	C β -环糊精/%	Y 感官评价/分
1	-1	0	1	7.0
2	1	0	1	6.7
3	0	0	0	8.5
4	0	0	0	8.6
5	-1	-1	0	6.8
6	1	0	-1	6.8
7	0	-1	-1	7.2
8	0	-1	1	7.0
9	-1	0	-1	6.9
10	-1	1	0	6.7
11	0	0	0	8.6
12	1	-1	0	6.5
13	0	1	1	7.2
14	0	0	0	8.7
15	0	1	-1	7.0
16	0	0	0	8.6
17	1	1	0	6.6

采用 Design-Expert.V8.0 软件对表 5 的数据进行二次多项式回归拟合,得到感官评价得分的二次回归方程: $Y = 8.60 - 0.087A + 0.013C + 0.050AB - 0.075AC + 0.10BC - 1.11A^2 - 0.84B^2 - 0.66C^2$ 。对上述回归模型进行方差分析,结果见表 6。

由表 6 可知,该模型 $R^2=0.9980$, $R_{Adj}^2=0.9954$,说明建立的模型和实验拟合良好,能解释 99.54% 的响应值变化。一次项 A 、二次项 A^2 、 B^2 和 C^2 及交互项 BC 对感官评价具有极显著影响,交互项 AC 对感官评价具有显著影响。此模型 $P < 0.0001$,

失拟项 $P > 0.05$ ，说明该模型可靠。因此，用此模型优化阿胶薏米红豆粉的配方是可行的。

表 6 感官评价分值方差分析结果
Table 6 Results of ANOVA for sensory evaluation

方差来源	平方和	自由度	方差	F 值	P 值	显著性
模型	11.25	9	1.25	388.99	< 0.000 1	**
A-麦芽糊精	0.061	1	0.061	19.06	0.003 3	**
B-木糖醇	0.000	1	0.000	0.000	1.000	
C-β环糊精	1.250E-003	1	1.250E-003	0.39	0.552 7	
AB	0.010	1	0.010	3.11	0.121 1	
AC	0.023	1	0.023	7.00	0.033 1	*
BC	0.040	1	0.040	12.44	0.009 6	**
A ²	5.21	1	5.21	1 621.26	< 0.000 1	**
B ²	2.95	1	2.95	918.80	< 0.000 1	**
C ²	1.85	1	1.85	574.94	< 0.000 1	**
残差	0.022	7	3.214E-003			
失拟误差	2.500E-003	3	8.333E-004	0.17	0.913 6	
纯误差	0.020	4	5.000E-003			
总和	11.28	16				
R ²	0.998 0					

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

Note: * $P < 0.05$ means the difference is distinct. ** $P < 0.01$ means the difference is extremely distinct.

2.4.2 响应曲面图结果

由图 5~7 可知，各单因素交互作用对响应值大小的影响，响应面坡度越陡，等高线形状越椭圆，表明两因素间交互作用越显著，对响应值影响越显著；反之则表示两因素间交互作用不显著，对响应值影响也不显著^[13]。响应面能够反映在各因素两两之间，木糖醇添加量与 β-环糊精添加量的交互作用对阿胶红豆薏米粉的感官评价的影响较为显著。交互作用对感官评价的影响大小顺序为： $BC > AC > AB$ 。

2.4.3 验证实验

运用软件 Design-Expert.V8.0 分析得到在麦芽糊精添加量为 23.84%、木糖醇添加量为 10.00%、β-环糊精添加量为 9.02%时，感官评价分数最高，达到 8.60 分。考虑到现实条件和实际操作，选取麦芽糊精添加量为 24%、木糖醇添加量为 10%、β-环糊精添加量为 9%，进行三组平行验证性实验，得到感官评价评分平均值为 8.53 分，与理论预测值基本一致，表明该模型可靠。

2.5 指标检测结果

阿胶红豆薏米粉中各指标检测结果如下：

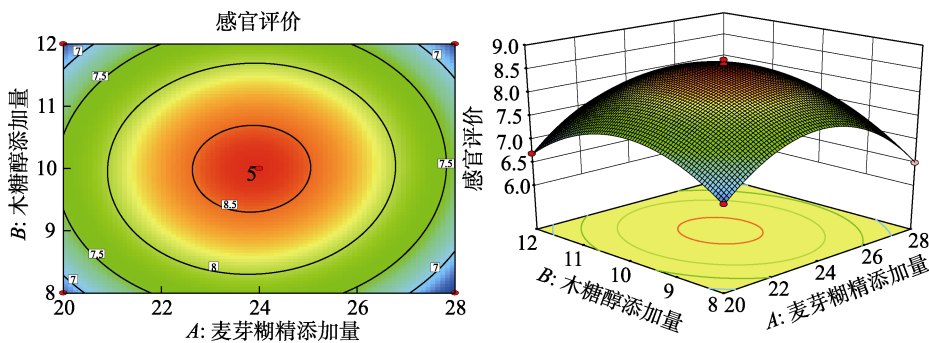


图 5 麦芽糊精和木糖醇对感官评价的影响等高线及响应面

Fig.5 Contour and response surface of the effects of maltodextrin and xylitol on sensory evaluation

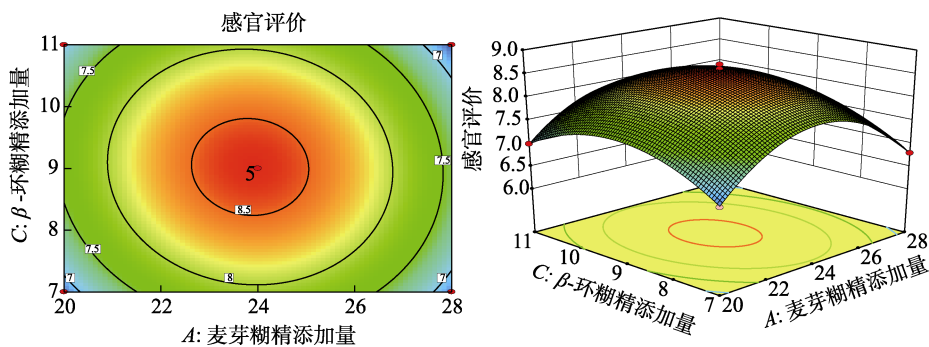
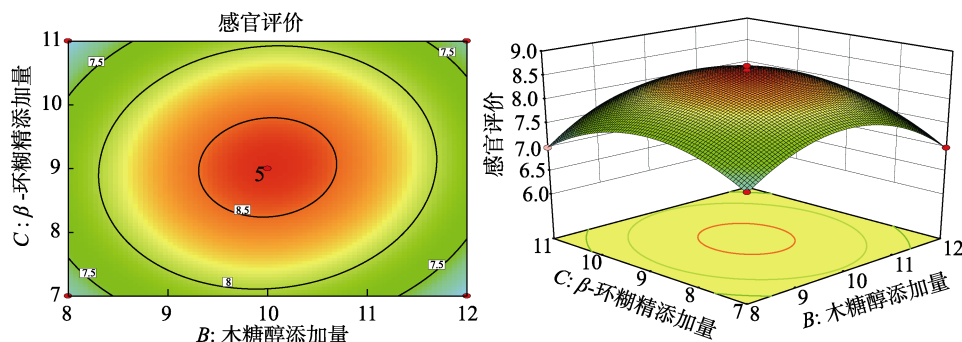


图 6 麦芽糊精和 β-环糊精对感官评价的影响等高线及响应面

Fig.6 Contour and response surface of the effects of maltodextrin and β-cyclodextrin on sensory evaluation

图 7 木糖醇和 β -环糊精对感官评价的影响等高线及响应面Fig.7 Contour and response surface of the effects of xylitol and β -cyclodextrin on sensory evaluation
 表 7 指标检测结果
 Table 7 Index test results

项目	类别	结果
蛋白质/%	营养成分 (含量)	13
水分/%		2.3
多糖/%		47
润湿性/s	冲调性 (时间)	129
分散性/s		5
大肠菌群/(MPN/100 g)	微生物 (数量)	<90
菌落总数/(cfu/g)		<3 000

3 结论

根据单因素和响应曲面实验分析得到最佳工艺条件为: 红豆和薏米 1 : 1, 120 °C 烘烤 50 min, 阿胶低肽添加量 4%, 麦芽糊精添加量 24%, 木糖醇添加量 10%, β -环糊精添加量 9%。在此条件下, 产品感官评价分值高达 8.53 分, 润湿性 129 s, 分散性 5 s, 冲调性较好。采用此配方制得的阿胶红豆薏米粉的水分含量 2.3%, 蛋白质含量 13%, 多糖含量 47%, 菌落总数 < 3 000 cfu/g, 大肠菌群数量 < 90 MPN/100 g, 符合 GB 19640—2016《食品安全国家标准冲调谷物制品》中对冲调谷物制品理化指标的要求。此条件下生产的阿胶红豆薏米粉颜色自然, 色泽均一, 具有产品特有的气味和滋味, 有一定粘稠度, 入口细腻, 甜度适中。说明本实验得到的配方稳定可靠, 具有实用性。本研究为阿胶产品的开发和速溶粉种类的丰富、推动药食同源食品阿胶的开发提供参考。

参考文献:

- [1] 黄佩佩. 五谷杂粮营养粉食品的研究[D]. 成都: 西华大学, 2013.
- [2] 国家药典委员会. 中国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020, 197.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[M]. Beijing: CHINA MEDICAL SCIENCE PRESS, 2020, 197.
- [3] 付英杰. 阿胶低肽及其制剂的研究[D]. 济南: 山东中医药大学, 2010.
FU Y J. Studies on the Ejiao Low Mol.Wt. Peptide and its preparation[D]. Jinan: Shandong University of Traditional Chinese Medicine, 2010.
- [4] 贺韶钦, 吴思怡, 张梅, 等. 红豆薏米茯苓复合速溶粉的喷雾干燥工艺研究[J]. 当代化工研究, 2022(8): 36-39.
HE S Q, WU S Y, ZHANG M, et al. Study on the spray drying process of composite instant power of Vigna Angularis, Semen Coicis and Poria Cocos[J]. Modern Chemical Research, 2022(8): 36-39.
- [5] ZIAEE A, ALBADARIN A B, PADRELA L, et al. Spray drying of pharmaceuticals and biopharmaceuticals: Critical parameters and experimental process optimization approaches[J]. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 2018, 127: 300-318.
- [6] 许青莲, 王丽, 吴林, 等. 湿法研磨结合喷雾干燥制备苦荞麸皮超微粉工艺优化[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(9): 124-131.
XU Q L, WANG L, WU L, et al. Preparation process conditions optimization of tartary buckwheat bran ultrafine power by wet grinding combined with spray drying[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(9): 124-131.
- [7] AHMED J, THOMAS L, KHASHAWI R. Influence of hot-air drying and freeze-drying on functional, rheological, structural and dielectric properties of green banana flour and dispersions[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 99: 105331.
- [8] HE X H, XIA W, CHEN R Y, et al. A new pre-gelatinized starch preparing by gelatinization and spray drying of rice starch with hydrocolloids[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 229: 115485.
- [9] 王乜田, 黄婉茹, 雷君, 等. 紫薯代餐粉的研制及其冲调性研究[J]. 现代食品, 2017(22): 103-107+115.
WANG M T, HUANG W R, LEI J, et al. Study on the

- preparation of purple sweet potato meal and its tonality[J]. Modern Food, 2017(22): 103-107+115.
- [10] 张妍, 高蕾, 王正红, 等. 响应面实验优化喷雾干燥制备核桃分心木速溶粉及其冲调性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 47-51.
- ZHANG Y, GAO L, WANG Z H, et al. Response surface optimization of production of instant walnut diaphragm power by spray drying and analysis of its reconstitution properties[J]. Food Science, 2016, 37(18): 47-51.
- [11] 李敏. 一种药食同源药膳型谷物冲调粉加工工艺研究[J]. 食品工程, 2021(3): 13-16.
- LI M. Study on the processing technology of a kind of grain powder with medicine and food homology[J]. Food Engineering, 2021(3): 13-16.
- [12] 李芳, 刘静, 王一畅, 等. 冲调型复合营养燕麦粉的配方优化[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(8): 48-52.
- LI F, LIU J, WANG Y C, et al. Formula optimization of mixed nutritional oat flour[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(8): 48-52.
- [13] 杨智勇, 李新生, 马娇燕, 等. 响应面法优化“黑金刚”马铃薯花青苷提取工艺研究[J]. 食品工业, 2013, 34(10): 49-53.
- YANG Z Y, LI X S, MA J Y, et al. Study on technology for extraction of anthocyanins from “Heijingang” purple potato by response surface methodology[J]. The Food Industry, 2013, 34(10): 49-53. ㊟

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。