

## 中心复合设计响应面法优化山茱萸山药果冻制备工艺的研究

金磊<sup>1</sup>, 朱景超<sup>1</sup>, 张泽宇<sup>1</sup>, 郑平汉<sup>2</sup>, 王辉<sup>1</sup>, 开国银<sup>1</sup>, 张水利<sup>1</sup>, 袁强<sup>1\*</sup>, 睢宁<sup>1\*</sup> (1.浙江中医药大学药学院, 杭州 310053; 2.淳安县临歧镇农业公共服务中心, 杭州 311700)

**摘要:** 目的 通过中心复合设计响应面法优化山茱萸山药果冻制备工艺。方法 在单因素试验基础上, 采用中心复合设计正交试验。运用响应面法优化魔芋胶与卡拉胶比例、柠檬酸浓度、甜菊苷浓度和复配胶浓度 4 个工艺参数, 并进行验证试验。结果 山茱萸山药果冻的最佳制备工艺参数为魔芋胶: 卡拉胶=3.26: 1, 柠檬酸、甜菊苷、复配胶浓度分别为 0.40%, 0.10%, 1.0%。结论 响应面分析法优化山茱萸山药果冻制备工艺可行。

**关键词:** 山茱萸山药果冻; 制备工艺; 响应面法; 中心复合设计

中图分类号: R282.7 文献标志码: B 文章编号: 1007-7693(2021)04-0385-06

DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2021.04.001

引用本文: 金磊, 朱景超, 张泽宇, 等. 中心复合设计响应面法优化山茱萸山药果冻制备工艺的研究[J]. 中国现代应用药学, 2021, 38(4): 385-390.

### Optimization of *Cornus officinalis*-Yam Jelly Production Process by Central Composite Design Response Surface Methodology

JIN Lei<sup>1</sup>, ZHU Jingchao<sup>1</sup>, ZHANG Zeyu<sup>1</sup>, ZHENG Pinghan<sup>2</sup>, WANG Hui<sup>1</sup>, KAI Guoyin<sup>1</sup>, ZHANG Shuili<sup>1</sup>, YUAN Qiang<sup>1\*</sup>, SUI Ning<sup>1\*</sup> (1.College of Pharmaceutical Science, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, China; 2.Agricultural Public Service Center of Linqi Town, Chun'an County, Hangzhou 311700, China)

**ABSTRACT: OBJECTIVE** To optimize the production process of *Cornus officinalis*-Yam jelly by using central composite design response surface methodology. **METHODS** On the basis of single factor experiments, the orthogonal experiments were designed by central composite design. Response surface methodology was used to optimize the production process parameters of konjac gum to carrageenan ratio, citric acid concentration, stevioside concentration and mixed gum concentration, which were verified by experiments. **RESULTS** The optimum production process parameters of *Cornus officinalis*-Yam jelly were as follows: 3.26 : 1 of konjac gum to carrageenan ratio, 0.40% citric acid, 0.10% stevioside, 1.0% mixed gum. **CONCLUSION** Response surface methodology is feasible to optimize the processing technology of *Cornus officinalis*-Yam jelly.

**KEYWORDS:** *Cornus officinalis*-Yam jelly; manufacturing process; response surface methodology; central composite design

山茱萸为山茱萸科山茱萸 *Cornus officinalis* Sieb. et Zucc. 的干燥成熟果肉, 性微温, 味酸、涩, 含有丰富的苷及苷元、多糖、鞣质、有机酸和维生素, 具有补益肝肾、涩精固脱的功效。山药为薯蓣科薯蓣 *Dioscorea opposita* Thunb. 的根茎, 性平, 味甘, 具有补脾养胃、生津益肺、补肾涩精的功效。山茱萸和山药均属于药食同源的中药材, 现代药理学研究表明, 两者在降血糖<sup>[1-3]</sup>、调节免疫<sup>[4-5]</sup>、抗肿瘤<sup>[6-7]</sup>、抗氧化<sup>[8-9]</sup>等方面具有显著作

用与开发价值。现代社会越来越多的年轻人处于亚健康的状态, 将山茱萸辅以山药, 开发具有增强免疫力功能的保健食品, 减缓年轻人持续下降的身体素质, 有着较好的开发前景。

果冻是一种生活中常见的甜食, 适宜人群广泛, 深受广大群众喜爱, 本研究尝试将果冻与山茱萸及山药结合开发出保健品, 既可以保留果冻的滑嫩鲜美, 又具备中药的营养保健成分。秦汝兰等<sup>[10]</sup>将山茱萸多糖作为主要成分, 配合卡拉胶、

**基金项目:** 国家自然科学基金青年科学基金项目(81603222); 国家级大学生创新创业训练计划(201910344043, 201910344044); 中国博士后科学基金资助项目(2017M610378); 浙江省博士后科研择优资助项目(浙人社发[2016]73 号); 浙江中医药大学校级教育教学改革研究项目(ZB18005); 宁波工程学院象山研究院科技项目(211807014)

**作者简介:** 金磊, 男 Tel: 17326081462 E-mail: 597491441@qq.com \*通信作者: 睢宁, 男, 博士, 讲师 Tel: (0571)86633171 E-mail: suining\_leo@163.com 袁强, 男, 教授, 博导 Tel: (0571)86633228 E-mail: yuanqiang0825@sina.com

柠檬酸、羧甲基纤维素钠、甜叶菊溶液、香精等辅料制备山茱萸果冻，但是试验中只是单纯地做了正交试验，未考虑因素之间的相互作用。为了减少初步试验因素，并且考虑到儿童以及糖尿病患者等不适合大量食用糖分的群众，本研究将蔗糖改为甜菊苷，主要选择了对果冻的成型与口感影响较大的4个因素——魔芋胶与卡拉胶比例、柠檬酸浓度、甜菊苷浓度和复配胶浓度。为更好地优化山茱萸山药果冻的制备工艺，本研究采用中心复合设计响应面法对上述4个因素进行定量优化。

## 1 材料

### 1.1 仪器

XS105 万分之一电子天平(梅特勒-多利多公司); HH-S 数显恒温水浴锅(金坛市医疗仪器厂); 超净工作台(江苏净化设备有限公司); YXQ-SG41-280 高压灭菌锅(上海医用核子仪器厂)。

### 1.2 试剂与药材

卡拉胶(批号: C8830)、魔芋胶(批号: K8170)、无水柠檬酸(批号: C8610)均购自北京索莱宝科技有限公司; 甜菊苷(上海源叶生物科技有限公司, 批号: B21248); 山药(食品级, 焦作市众源信诚商贸有限公司); 实验用山茱萸药材于2018年10月采自浙江省淳安县, 经浙江中医药大学药学院黄真教授鉴定为山茱萸科山茱萸属山茱萸 *Cornus officinalis* Sieb. et Zucc.。

## 2 方法与结果

### 2.1 山茱萸山药果冻制备工艺流程

选择无虫蛀、无霉变的山药片, 用清水冲洗表面杂质并烘干; 山茱萸打粉并过40目筛烘干。称取山茱萸与山药各10g, 分别置于500mL圆底烧瓶按料液比1:18加入超纯水, 并在电热套较高功率下快速加热至沸腾后降低功率并保持微沸15min。补充少量水分, 适当冷却后, 用4层纱布过滤, 除去药渣后进行抽滤, 最终得到提取液。按1:1体积复配2种提取液, 加入按正交比例配好的复配胶粉中, 添加甜菊苷, 快速搅拌, 最后滴加柠檬酸水溶液, 同时搅拌混匀, 于75℃水浴胶液灌装、灭菌。将调配好的胶液装入洁净的果冻杯中并封口, 然后在95℃热水中灭菌30min, 冷却后放入4℃冰箱冷藏3h, 取出即为凝固后的成品。流程见图1。

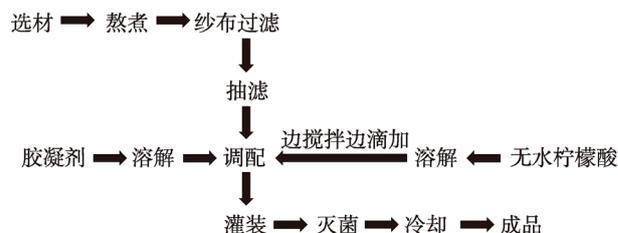


图1 山茱萸山药果冻制备工艺流程

Fig. 1 Production process of *Cornus officinalis*-Yam jelly

## 2.2 单因素试验

**2.2.1 魔芋胶与卡拉胶的比例对山茱萸山药果冻的影响** 按1:1比例混合山茱萸和山药提取液, 添加浓度为0.50%, 0.075%, 1.5%的柠檬酸、甜菊苷、复配胶, 魔芋胶与卡拉胶比例分别为1:1, 1:4, 1.5:1, 2.75:1, 4:1, 5.25:1, 15:1。当魔芋胶与卡拉胶的比例>5.25:1时, 果冻的质地会逐渐变硬并且会变得黏手; 而当魔芋胶与卡拉胶的比例<1:4时, 果冻的质地则会变得非常软, 甚至不能成型, 故选择魔芋胶与卡拉胶两者的比例在1:4~5.25:1, 评分结果见图2。

**2.2.2 柠檬酸浓度对山茱萸山药果冻的影响** 按1:1比例混合山茱萸和山药提取液, 添加0.075%甜菊苷, 1.5%复配胶, 魔芋胶与卡拉胶比例为2.75:1, 柠檬酸浓度分别为0.2%, 0.3%, 0.4%, 0.5%, 0.6%, 0.7%, 0.8%。当柠檬酸浓度>0.7%时, 果冻口感比较酸, 并且影响果冻的成型; 而当柠檬酸浓度<0.3%时, 果冻口感较差且不能成型, 故选择柠檬酸浓度在0.3%~0.7%, 评分结果见图2。

**2.2.3 甜菊苷浓度对山茱萸山药果冻的影响** 按1:1比例混合山茱萸和山药提取液, 添加1.5%复配胶, 魔芋胶与卡拉胶比例为2.75:1, 0.5%柠檬酸, 甜菊苷浓度分别为0.005%, 0.025%, 0.050%, 0.075%, 0.100%, 0.125%, 0.200%。当甜菊苷浓度>0.125%时, 果冻口感非常甜, 完全掩盖了山茱萸与山药的风味; 而当甜菊苷浓度<0.025%时, 果冻口感只有酸涩味, 故选择甜菊苷浓度在0.005%~0.125%, 评分结果见图2。

**2.2.4 复配胶浓度对山茱萸山药果冻的影响** 按1:1复配山茱萸和山药提取液, 添加0.5%柠檬酸, 魔芋胶与卡拉胶比例为2.75:1, 0.075%甜菊苷, 复配胶浓度分别为0.2%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0%。当复配胶浓度>2.5%时, 不仅影响果冻口感, 果冻的质地也会变硬; 而当混合胶浓

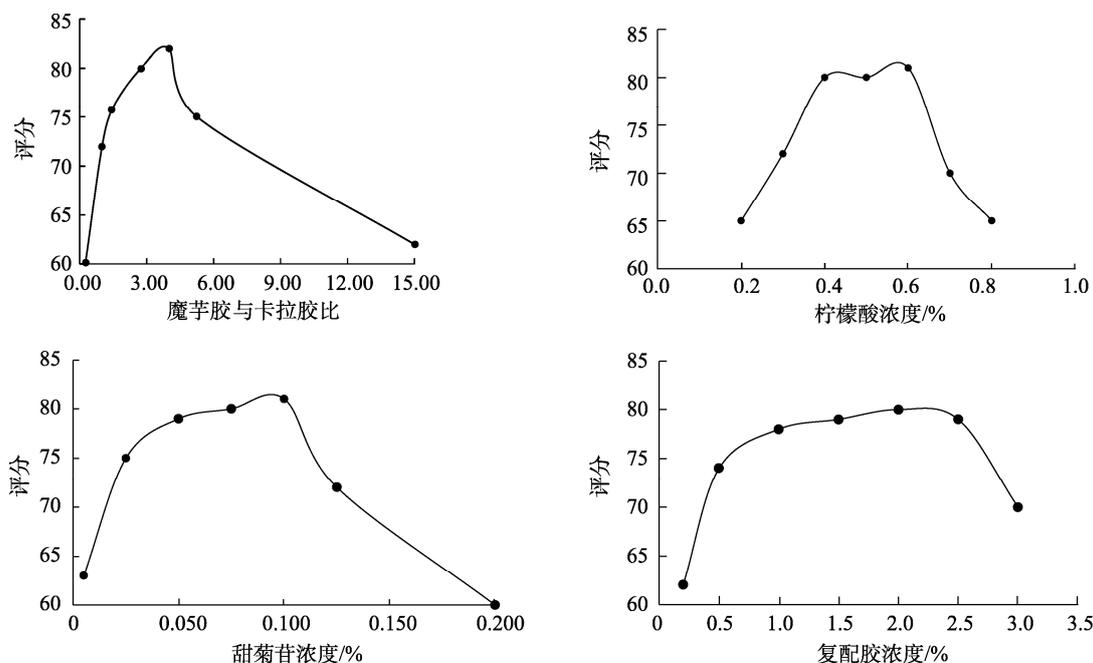


图2 各因素对山茱萸山药果冻评分的影响  
Fig. 2 Influence of various factors on *Cornus officinalis*-Yam jelly score

度 $<0.5\%$ 时,果冻的质地非常稀甚至不能成型,故选择复配胶浓度在 $0.5\% \sim 2.5\%$ ,评分结果见图2。

### 2.3 响应面试验设计与结果分析

**2.3.1 响应面设计** 在单因素试验的基础上,以魔芋胶与卡拉胶比例(A)、柠檬酸浓度(B)、甜菊苷浓度(C)、复配胶浓度(D)4个因素为自变量,每个因素有5个水平,从低到高分别为-2, -1, 0, 1, 2,以色泽、口感和质地三者综合得分为因变量(Y),研究果冻品质与各因素之间的相互作用。运用Design-Expert 8.0软件,采用中心复合设计设计正交试验表,运用响应面模型进行分析,因素与水平见表1,质量评价标准见表2。

**2.3.2 正交试验结果** 邀请10名志愿者给每份成品的色泽、口感及质地打分。为了避免每个评分标准中极值相差过大,采用统计中常用的箱形图的方法剔除异常值,即数值不在 $Q_1-1.5IQR$ 至 $Q_3+1.5IQR$ 之间的即为异常值,其中 $Q_1$ 为下四分位数, $Q_3$ 为上四分位数, $IQR$ 为 $Q_3-Q_1$ ,结果见表3。

### 2.4 回归项的建立

综合评分随着某一制备工艺参数的数值先增大后减小,达到一定程度时会出现最大值,这说明因变量与单个回归变量之间存在着二次多项式,并且各制备工艺参数之间以及其对成品之间的关系错综复杂,有些甚至是随机、模糊的,因此无法直接判断成品与制备工艺参数之间存在的

内在因果关系。结果见图2。作为可食用的果冻成品,各种添加剂之间往往不会是独立的,还要考虑到制备工艺之间的交互作用,这符合响应面分析的要求,在实验中也大概率包括最优条件。

表1 制备工艺优化因素水平表

Tab. 1 Production process optimization factor level table

水平	A 魔芋胶与卡拉胶比	B 柠檬酸浓度/%	C 甜菊苷浓度/%	D 复配胶浓度/%
-2	1 : 4	0.3	0.025	0.5
-1	1.5 : 1	0.4	0.050	1.0
0	2.75 : 1	0.5	0.075	1.5
1	4 : 1	0.6	0.100	2.0
2	5.25 : 1	0.7	0.125	2.5

表2 色泽、口感及质地评分表

Tab. 2 Color, taste and texture rating scale

评分	色泽	口感	质地
0-8	呈粉红色透明状	有山茱萸酸涩味,无山药清香和甜菊糖的香甜味道	凝固程度不好、黏手、不光滑
9-17	呈淡粉红色透明状	无山茱萸酸涩味,无山药清香和甜菊糖的香甜味道	凝固程度不好、不黏手、光滑
18-25	呈粉红色半透明状	有山茱萸酸涩味,有山药清香和甜菊糖的香甜味道	凝固程度好、黏手、不光滑
26-33	呈淡粉红色半透明状	无山茱萸酸涩味,有山药清香和甜菊糖的香甜味道	凝固程度好、不黏手、光滑

表3 中心复合设计及试验结果

Tab. 3 Central composite design and test results

编号	A	B	C	D	色泽	口感	质地	综合评价
1	0	-2	0	0	29	30	33	92
2	0	0	0	0	29	30	33	92
3	1	-1	-1	-1	31	26	30	87
4	0	0	0	2	26	23	32	81
5	2	0	0	0	27	30	28	85
6	0	0	0	0	30	30	32	92
7	0	0	-2	0	26	24	33	83
8	1	-1	1	1	24	26	33	83
9	0	2	0	0	24	24	33	81
10	0	0	0	0	31	28	30	89
11	0	0	0	0	29	31	32	92
12	-2	0	0	0	20	19	20	59
13	0	0	0	0	30	30	33	93
14	1	1	1	1	28	30	33	91
15	0	0	0	-2	30	29	33	92
16	-1	-1	1	-1	28	26	33	87
17	-1	-1	-1	-1	24	28	30	82
18	0	0	0	0	33	27	33	93
19	-1	-1	-1	1	26	20	28	74
20	1	1	1	-1	28	30	33	91
21	-1	1	-1	-1	21	26	30	77
22	1	1	-1	1	28	28	33	89
23	-1	1	1	1	20	21	26	67
24	1	1	-1	-1	27	27	30	84
25	-1	1	1	-1	22	27	30	79
26	-1	-1	1	1	20	26	27	73
27	1	-1	1	-1	29	33	33	95
28	0	0	-2	0	33	30	30	93
29	-1	1	-1	1	25	25	22	72
30	1	-1	-1	1	28	27	33	88

## 2.5 最佳制备工艺与结果检验

**2.5.1 回归方程的确定** 将正交试验中的各制备工艺数据以及对应的综合评分数据导入 Design-Expert, 对感官评价建立回归模型并进行分析, 结果见表4。

模型的  $F$  值为 163.17, 远大于  $F$  的临界值, 所以整体上看模型是成立的。同时, 每一项系数的  $P$  值均 $<0.05$ , 因此各项自变量对因变量都有显著性影响, 并且魔芋胶与卡拉胶比例与甜菊苷浓度、复配胶浓度、甜菊苷浓度、复配胶浓度之间有着显著的交互作用<sup>[11]</sup>。此模型的  $R^2=90.32\%$ , 说明模型至少能解释 90%的实验数据, 模型最终的回归方程为  $Y=92.71+6.38A-2.26B+1.91C-2.41D-5.1A^2-1.32B^2-1.05C^2-1.59D^2+0.81AB+1.36AC+2.76AD-0.63BC+0.88BD-1.46CD$ 。

表4 感官评价回归模型的方差分析结果

Tab. 4 Variance analysis results of regression model for sensory evaluation

变量	系数	均方	$F$ 值	$P$ 值
模型		2 284.41	163.17	$<0.000 1$
A	6.38	976.65	1 083.13	$<0.000 1$
B	-2.26	122.94	136.35	$<0.000 1$
C	1.91	87.40	96.93	$<0.000 1$
D	-2.41	139.88	155.13	$<0.000 1$
AB	0.81	10.63	11.79	0.003 7
AC	1.36	29.76	33.00	$<0.000 1$
AD	2.76	122.32	135.66	$<0.000 1$
BC	-0.63	6.35	7.04	0.018 1
BD	0.88	12.43	13.78	0.002 1
CD	-1.46	33.87	37.57	$<0.000 1$
$A^2$	-5.1	713.83	791.65	$<0.000 1$
$B^2$	-1.32	48.08	53.32	$<0.000 1$
$C^2$	-1.05	30.11	33.39	$<0.000 1$
$D^2$	-1.59	69.58	77.16	$<0.000 1$

**2.5.2 制备工艺参数的确定** 利用 Design-Expert 软件可以得到因变量与各自变量之间响应曲面与等高线图, 见图3。图中2个交互因素之外其余因素在控制中心值, 可得任意2个因素之间的关系。

等高线图上的椭圆形状可以表示出2个因素之间交互作用的显著性, 形状越扁则越显著, 形状越接近于圆则越不显著, 可以初步定性分析。各因素间的交互作用均很显著, 并且从图中可以看出最大值出现在魔芋胶与卡拉胶的比例3.5:1、柠檬酸浓度0.45%、甜菊苷浓度0.10%、复配胶浓度1.0%附近, 魔芋胶与卡拉胶比及柠檬酸浓度、魔芋胶与卡拉胶比及甜菊苷浓度、复配胶浓度及魔芋胶与卡拉胶比这3对因素分别组合时对评分起到了很大作用。结果见图3。

从响应曲面与等高线图中可以确定最佳制备条件的大致范围, 通过 Design-Expert 软件, 计算出优化后的精确制备工艺参数条件, 魔芋胶与卡拉胶的比例为3.26:1、柠檬酸浓度为0.40%、甜菊苷浓度为0.10%、复配胶浓度为1.0%。

## 2.6 结果检验

**2.6.1 模型的检验** 为了验证模型的可靠性, 首先对模型进行残差分析, 绘制残差值的散点图, 结果见图4。残差值散点分布在0均值上下, 未出现异常分布情况, 因此初步认为该模型的残差分布情况是合理的。为进一步验证残差是否符合之前的假设, 即是否正态分布, 绘制残差值的Q-Q图, 结果见图4。散点近似分布在直线  $y=x$  上, 截距为0, 斜率为1, 故该模型的残差服从均值为0、标准差

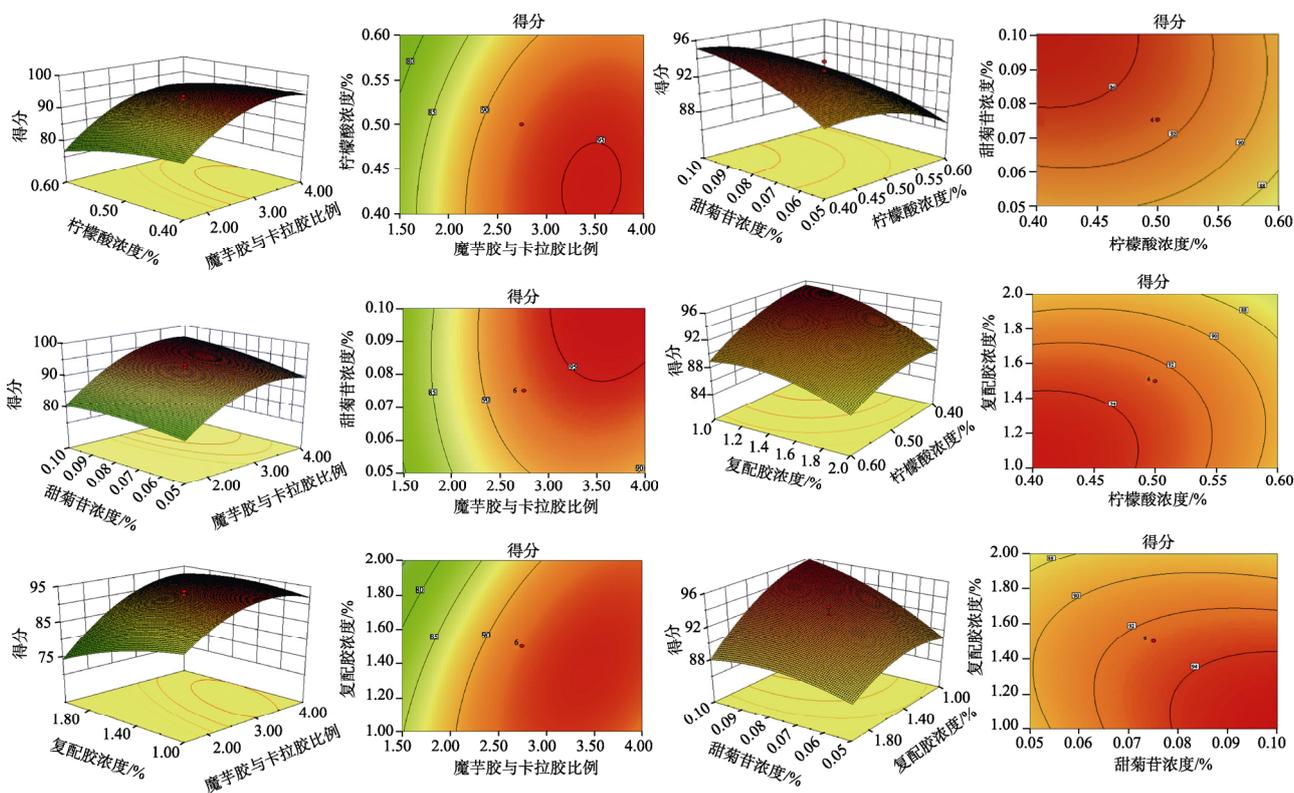


图3 各因素交互作用对评分的响应曲面与等高线图  
Fig. 3 Response surface and contour map of interaction of various factors to scoring

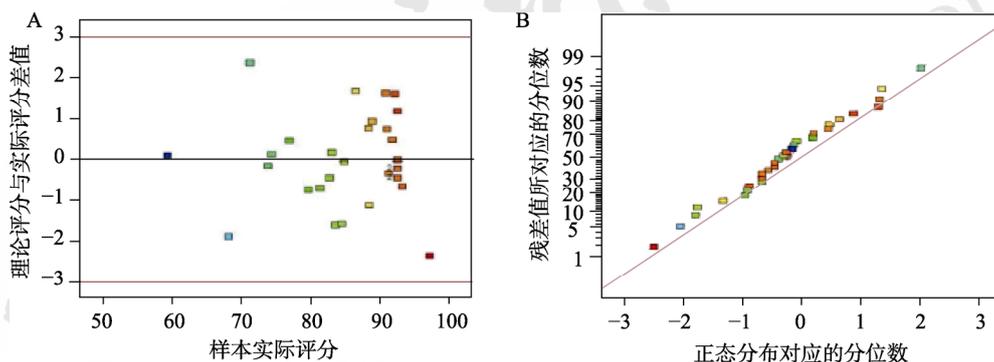


图4 残差散点图(A)与Q-Q图(B)  
Fig. 4 Residual scatter plot(A) and Q-Q plot(B)

为1的正态分布。综上所述,所建立的模型能准确反映制备工艺参数条件与目标之间的函数关系。

**2.6.2 试验验证** 将得到的一组最优制备工艺参数进行验证试验,平行制备3次,所得成品的色泽、口感及质地均质量较好。色泽呈现出淡粉红色半透明胶状,口感酸甜中带有少量山茱萸与山药的风味,质地柔软不黏手且成型好,有嚼劲;说明响应面分析优化得到的最佳制备工艺参数具有一定的可靠性。

### 3 讨论

保健果冻常用单一凝胶剂或者复配凝胶制备,单一的凝胶往往存在着不易弥补的缺点,故本研

究选择复配凝胶制备果冻。卡拉胶形成凝胶时需要的胶浓度低,制成的果冻透明度高、韧性较大,但凝胶弹性小,易出现收缩、脱液现象,还有特殊腥味,加入魔芋胶后能较好地中和卡拉胶的特殊气味,成胶性、均匀性更好。复配胶可以实现性能互补,从而获得性能更好的产品。并且复配胶之间的凝胶比例并不是固定的,需要在试验中进一步确定。复配胶的浓度对果冻的品质也有着较大的影响,直接影响到了果冻的成型与质地。

常见的果冻里含有大量的果糖与蔗糖,不适合糖尿病患者食用;对于正处在身体发育的儿童来说,长期食用甜食,机体会产生丙酮酸、乳酸,

大量消耗维生素 B<sub>1</sub>, 导致维生素缺乏, 还会影响大脑的发育与功能的维护<sup>[12]</sup>。本实验用甜菊苷代替果糖与蔗糖以开发无糖型的保健果冻。有研究表明, 甜菊苷作为主要的食品添加剂, 已被用于糖尿病患者的营养治疗; 还能通过减轻心肌纤维化的发展, 改善由高血糖引起的心功能障碍<sup>[13]</sup>, 但是作为少量的添加剂还不能起到辅助治疗的作用, 通过响应面法得到的甜菊苷浓度主要用于调节果冻的风味。

单纯地进行正交试验只能得到单一因素对结果的影响, 而没有考虑到因素之间也存在着交互关系, 故本实验选择了常见且简单的响应面模型对正交试验的结果进一步分析。但是响应面模型也存在着缺陷, 要求试验的因素范围内已经包含着最佳条件, 否则不能使用, 所以一般在正交试验前均需要进行单因素试验确定最大值是否包含在内。在果冻的实际制备过程中添加的食品添加剂往往是多种的, 这些食品添加剂之间的相互影响也是十分复杂的, 正交试验可以极大程度减少需要进行的试验次数, 在一定条件下结合响应面分析可以得到理论最优条件。

对于山茱萸山药果冻成品的评价, 可以建立更完善的评价模型, 如对不同年龄、性别的消费群体有不同的评价体系; 也可以建立更细致的指标从更多角度进行评价, 如口感中是否能体现出山茱萸与山药特有的味道等。将甜食与中药结合制备保健食品, 做到符合大众口味, 有较好的发展前景。充分发挥中医药的优势, 做到“寓疗于食”, 这将对身体处于亚健康的庞大适用人群有着较大优势。人们也开始逐渐关注传统中医药养生, 结合现代技术开发中药保健食品有着良好的前景。

## REFERENCES

- [1] 赵艳艳, 何念武, 穆成林, 等. 山茱萸环烯醚萜总苷降血糖研究进展[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(7): 96-99, 104.
- [2] XU J Y, HU Z, GAO Y, et al. Hypoglycemic effects of iridoid

glycoside in *Comus officinalis* extract on diabetic mice[J]. Lishizhen Med Mater Med Res(时珍国医国药), 2014, 25(10): 2386-2388.

- [3] LI X P, ZHOU S Q, XU L L, et al. Extraction of Yam polysaccharide and its effects on glucose and lipid metabolism in diabetic mice[J]. Heilongjiang Med J(黑龙江医药), 2018, 31(1): 20-22.
- [4] FAN N J, WANG D M, GAO Y, et al. Immunomodulatory effects of the iron yam peptides on mice with immunocompromised[J]. Food Ferment Ind(食品与发酵工业), 2020, 46(6): 101-107.
- [5] ZHENG X D, GUO Y Q, ZHANG H H, et al. Characteristics of immunological reconstitution of T-cell subsets after irradiation and immunoregulatory activities of Chinese medicinal herb *Cornus*[J]. Chin J Immunol(中国免疫学杂志), 2015, 31(6): 769-773.
- [6] TELANG N T, NAIR H B, WONG G Y C. Growth inhibitory efficacy of *Cornus officinalis* in a cell culture model for triple-negative breast cancer[J]. Oncol Lett, 2019, 17(6): 5261-5266.
- [7] SHI Y X, YU L, ZHAI M F, et al. Effect of nano Chinese yam polysaccharide on 4 kinds of tumor cells[J]. Chin J Mod Appl Pharm(中国现代应用药理学), 2016, 33(8): 967-971.
- [8] JI Q L, WANG X, ZHONG X J, et al. Chemical composition and antioxidant activity of *Cornus officinalis*[J]. Mod Food Sci Technol(现代食品科技), 2019, 35(5): 137-143.
- [9] LIU S W, ZHANG L Q, GAO S X, et al. Study on polysaccharide content and antioxidant activity *in vitro* of different varieties of *Dioscoreae Rhizoma*[J]. China J Tradit Chin Med Pharm(中华中医药杂志), 2019, 34(12): 5938-5941.
- [10] QIN R L, WANG Q. Development of healthy jelly with the extract of *Fructus Corni*[J]. J Anhui Agric Sci(安徽农业科学), 2010, 38(9): 4816, 4826.
- [11] JIANG H Y, LIU Y F, PAN X, et al. Response surface methodology for optimization of extraction process of naringin and neohesperidin from Huyou fruitlet[J]. Chin J Mod Appl Pharm(中国现代应用药理学), 2017, 34(11): 1546-1551.
- [12] ZHAO K, ZOU Y C, YANG X Z, et al. Research and development on sugar-free healthy jelly[J]. Food Ferment Technol(食品与发酵科技), 2012, 48(1): 103-106.
- [13] ZHAO R R, WANG J P, QIN L H, et al. Stevioside improved hyperglycemia-induced cardiac dysfunction by attenuating the development of fibrosis and promoting the degradation of established fibrosis[J]. J Funct Foods, 2020(68): 103895.

收稿日期: 2020-01-05

(本文责编: 沈倩)