

响应面法优化沙虫风味果冻工艺

苏雪超¹, 杨嘉燕¹, 邓凤², 覃媚¹, 蒋红明¹, 杨家林¹, 龚受基^{1*}

¹北部湾大学食品工程学院, 广西高校北部湾海产品高值化利用与预制食品重点实验室, 广西 钦州

²广西北海市百润工贸有限公司, 广西 北海

收稿日期: 2023年6月11日; 录用日期: 2023年7月27日; 发布日期: 2023年8月8日

摘要

方格星虫俗名沙虫, 营养价值丰富, 具有开发深加工产品的潜力。本文以方格星虫、木糖醇、魔芋胶和琼脂粉为主要原料, 研制方格星虫风味果冻。通过单因素试验和响应面试验, 以果冻感官得分和质构特性为指标, 优化果冻生产配方, 得到最佳果冻配方为方格星虫添加量0.3%, 木糖醇添加量10%, 复配胶添加量1.2%, 柠檬酸添加量0.02%。评价结果表明产品甜而不腻, 具有方格星虫鲜香味, 色泽均匀、组织形态良好。方格星虫果冻产品工艺切实可行, 为方格星虫利用提供了理论依据。

关键词

方格星虫, 响应面, 果冻, 木糖醇

Optimization of *Sipunculus nudus* Flavored Jelly Process Using Response Surface Methodology

Xuechao Su¹, Jiayan Yang¹, Feng Deng², Mei Qin¹, Hongming Jiang¹, Jialin Yang¹, Shouji Gong^{1*}

¹Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory of High-Value Utilization of Seafood and Prepared Food in Beibu Gulf, College of Food Engineering, Beibu Gulf University, Qinzhou Guangxi

²Guangxi Beihai Bairun Industry and Trade Co., Ltd., Beihai Guangxi

Received: Jun. 11th, 2023; accepted: Jul. 27th, 2023; published: Aug. 8th, 2023

Abstract

Sipunculus nudus have high nutritional value and have the value of developing deep processed products. In this paper, *Sipunculus nudus* flavored jelly was developed with *Sipunculus nudus*, xy-

*通讯作者。

文章引用: 苏雪超, 杨嘉燕, 邓凤, 覃媚, 蒋红明, 杨家林, 龚受基. 响应面法优化沙虫风味果冻工艺[J]. 食品与营养科学, 2023, 12(3): 185-194. DOI: 10.12677/hjfn.2023.123023

litol, konjac glucomannan and agar powder as main raw materials. Through the single factor and response surface test, the jelly production formula was optimized as following: *Sipunculus nudus* 0.3%, Xylitol 10%, konjac glucomannan 1.2%, citric acid 0.02% with the indicators of sensory score and texture characteristics of jelly. The results indicate that the product is sweet but not greasy, with a fresh aroma of *Sipunculus nudus*, uniform color, good tissue morphology. The production process of *Sipunculus nudus* jelly is practical and feasible, providing a theoretical basis for the utilization of *Sipunculus nudus*.

Keywords

Sipunculus nudus, Response Surface Test, Jelly, Xylitol

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

方格星虫(*Sipunculus nudus*), 俗名沙虫, 广泛分布于三大洋、地中海、红海和加勒比海等海域, 大部分栖息在水域较温暖的滩涂里, 在我国沿海地区分布广泛, 尤其是在广西北部湾地区品种资源量最多[1], 1990年的调查结果认为海岸带星虫资源量为929.1万千, 北海、钦州和防城港三市资源量就占了约400万千克[2]。

沙虫肉质脆嫩, 味道鲜美, 营养丰富, 肌肉含有丰富优质蛋白、不饱和脂肪酸等营养物质和锌、铁、钙、镁等微量元素, 有较高食疗功效[3], 在东南沿海地区有海洋冬虫夏草、动物人参、海滩香肠等美称。传统医学认为沙虫味咸、性寒, 具有润肺祛痰、补肾、降火、美容、延年益寿等作用, 可治疗风湿骨痛、肺虚咳嗽、肾虚多汗、心悸胸闷等症状[4][5][6]。现代科学研究表明, 沙虫蛋白能加速伤口愈合[7], 还具有抗氧化、抗辐射、免疫调节、抗菌、抗炎和外周镇痛等功效[8]-[13]。

沙虫体内微生物丰富, 死后容易变质腐败, 保质期较短, 传统多制作为沙虫干, 品类单一, 烹饪方法复杂, 难以推广。经过科研工作者努力, 目前已经实现沙虫全人工养殖[14], 沙虫产量明显增加, 市场上开发了即食沙虫干[15]、沙虫复合调味料[16]等产品, 但深加工和高附加值产品研究和开发形势仍然十分紧迫。本文章论述了一种沙虫果冻的制作方法。

2. 材料与方 法

2.1. 材料与设备

高粘魔芋胶, 湖北强森魔芋科技有限公司; 精纯琼脂粉, 福建省石狮市高新琼脂食品有限公司; 柠檬酸, 潍坊英轩实业有限公司; 木糖醇, 山东福田药业有限公司; 干沙虫, 广西北海市百润工贸有限公司。

CT3 Texture Analyzer 质构仪, 美国 Brookfield 公司; EU-C 4002 RS D 高精度电子分析天平, 梅特勒-托利多仪器有限公司; DK-98-II 电子调温万用电炉, 天津市泰斯特仪器有限公司; 多功能粉碎机, 金华市莫菲家用电器有限公司; DHG-9075A 鼓风干燥箱, 上海一恒科学仪器有限公司。

2.2. 实验方法

2.2.1. 沙虫果冻工艺流程

果冻制作按照下列工艺方法进行(图 1)。

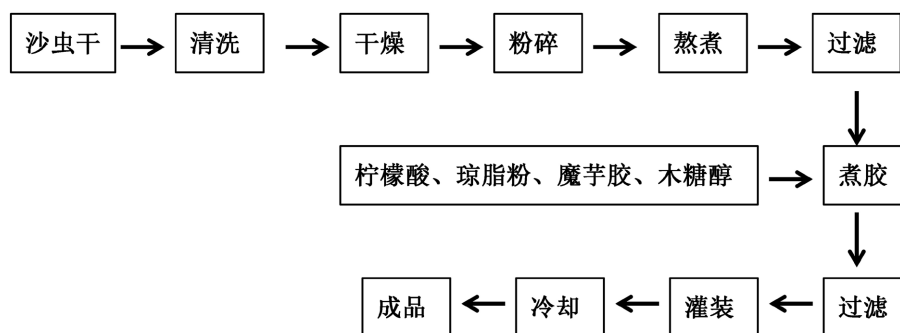


Figure 1. Process flow chart of *Sipunculus nudus* jelly

图 1. 沙虫果冻工艺流程图

2.2.2. 复合胶配比的考察

复配凝胶剂的凝胶效果更好，有利于制作性能优异的果冻产品，复合胶种类及其配比对果冻产品的口感和组织状态产生决定性的影响[17]。本实验采用较易成型的琼脂粉和较 Q 弹有韧性的魔芋胶搭配作为复合胶原料，将魔芋胶与琼脂粉搭配进行试验，设置复合胶添加量均为 1.2%，以质量比 3:7、4:6、6:4、7:3、8:2 复配(魔芋胶:琼脂粉)加入，按照 1.2.1 的工艺制备沙虫果冻，以感官评价得分为依据确定最优比例。

2.2.3. 单因素试验设计

1) 探索复合胶添加量对沙虫果冻感官品质和质构特性的影响：以沙虫汤为定量，木糖醇添加量为 10%、柠檬酸添加量为 0.02%、沙虫添加量为 0.3%时，分别添加 0.8%、1.0%、1.2%、1.4%、1.6%的复合胶，按照 1.2.1 的工艺制备沙虫果冻，探究不同的复合胶添加量对沙虫果冻感官品质和质构特性的影响。

2) 探究沙虫添加量对沙虫果冻感官品质和质构特性的影响：以沙虫汤为定量，复合胶添加量为 1.2%、木糖醇添加量为 10%、柠檬酸添加量为 0.02%时，分别添加 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%的沙虫汤，按照 1.2.1 的工艺制备沙虫果冻，探究不同的沙虫添加量对沙虫果冻感官品质和质构特性的影响。

3) 探究木糖醇添加量对沙虫果冻感官品质和质构特性的影响：以沙虫汤为定量，复合胶添加量为 1.2%、沙虫添加量为 0.3%、柠檬酸添加量为 0.02%时，分别添加 8%、9%、10%、11%、12%的木糖醇，按照 1.2.1 的工艺制备沙虫果冻，探究不同的木糖醇添加量对沙虫果冻感官品质和质构特性的影响。

4) 探究柠檬酸添加量对沙虫果冻感官品质和质构特性的影响：以沙虫汤为定量，复合胶添加量为 1.2%、木糖醇添加量为 10%、沙虫添加量为 0.3%时，分别添加 0.01%、0.015%、0.02%、0.025%、0.03%的柠檬酸，按照 1.2.1 的工艺制备沙虫果冻，探究不同的柠檬酸添加量对沙虫果冻感官品质和质构特性的影响。

2.2.4. 响应面试验设计

根据单因素试验结果，选择对果冻品质影响较大的 3 个因素：复合胶添加量(A)、木糖醇添加量(B)、柠檬酸添加量(C)使用响应面法中的 Box-Behnken 中心组合设计模型，进行响应曲面试验设计，以感官评价得分(Y)为响应值，优化沙虫果冻生产配方。

2.2.5. 沙虫果冻感官评价标准

邀请 10 位固定人员组成感官评价小组，感官评价人员依据果冻感官评分标准依次对果冻进行适口性、组织状态、色泽、风味感官评分，每个产品最终得分取 10 次得分的平均分作为鉴定结果。沙虫果冻感官评价标准见表 1。

Table 1. Sense scoring criteria for *Sipunculus nudus* flavored jelly**表 1.** 沙虫风味果冻的感官评分标准

评价项目	评价标准	分值(分)
适口性(30)	口感润滑细腻, 有嚼劲, 有弹性。	20~30
	口感良好, 有嚼劲, 弹性一般。	11~20
	口感粗糙, 嚼劲不够, 弹性不够。	1~10
组织状态(30)	质地均匀一致, 表面光滑, 无裂纹和气泡。	21~30
	质地较均匀, 表面较光滑, 少量裂纹和气泡。	11~20
	质地不均匀, 表面不光滑, 大量裂纹和气泡。	1~10
色泽(20)	色泽鲜亮, 色泽均匀一致, 半透明。	14~20
	色泽较鲜亮, 色泽较均匀, 半透明。	7~13
	色泽暗淡, 不均匀, 不透明。	1~6
风味(20)	甜度可口, 无酸味, 无异味。	14~20
	甜度适宜, 略带酸味, 无异味。	7~13
	酸度不适宜, 有酸味, 有异味。	1~6

2.2.6. 果冻质构测定

用 CT3 质构仪对果冻进行质构分析, 测定果冻弹性和咀嚼性, 每个样品平行测试 3 次, 结果取平均值。采用 TA11/1000 探头, 测定参数: TPA 模式, 测试前速度: 1 mm/s, 测试速度: 1 mm/s, 测试后速度: 1 mm/s, 触发力: 5 g, 目标模式: 距离 3 mm 两次下压, 间隔时间: 2 s。

2.2.7. 数据处理

每组质构试验平行测定 3 次, 数据取其平均值, 采用 Origin Pro 2021 软件对实验数据进行统计分析与绘制图表。

3. 结果与分析

3.1. 复合胶配比的考察

魔芋胶占比越多果冻越不易成型, 咀嚼性越差, 并产生少量气泡; 琼脂粉占比越大则果冻口感越粗糙, 果冻质地越硬, 弹性较差, 适当增加魔芋胶含量可以使果冻口感细腻有弹性。当魔芋胶、琼脂粉配比为 6:4 时, 所得感官得分最高, 为 86 分, 果冻组织状态最好, 结果见表 2。因此确定复合胶配比为 6:4。

Table 2. Effect of different composite adhesive ratios on the sensory evaluation of jelly**表 2.** 不同复合胶配比对果冻感官评价的影响

复合胶配比	感官品质评价				
	适口性	弹性	咀嚼性	组织状态	得分
3:7	偏硬、较脆、细腻	较差	较差	有少量气泡	68
4:6	较硬、较脆、细腻	较差	一般	有少量气泡	74
6:4	有韧性、细腻爽滑	较好	较好	有少量气泡	86
7:3	较软、细腻	一般	一般	有少量气泡	80
8:2	不成型、细腻	较差	较差	有少量气泡	64

3.2. 单因素试验结果

当复合胶添加量逐渐增加, 果冻感官得分呈先上升后下降的趋势, 在复合胶添加量为 1.2% 时, 果冻感官得分最高; 当复合胶添加量低于 1.2% 时, 果冻组织状态和外观成型较差, 弹性、咀嚼性均达不到理想效果; 当复合胶添加量高于 1.2% 时, 果冻产品成型性良好, 但产品弹性差、硬度较大, 口感粗糙, 综合考虑选取 1.2% 的复合胶添加量较为合适, 见图 2(a)、图 3(a)。

沙虫添加量的多少决定果冻产品的风味和营养价值。沙虫添加量在 0.3% 时感官得分最高, 证明沙虫含量在 0.3% 时果冻风味是最受欢迎的; 沙虫富含蛋白质、多糖等物质, 蛋白质、多糖含量随沙虫添加量的增加而增加, 因此沙虫添加量对果冻凝胶结构有一定影响, 见图 2(b)。添加量在 0.3% 时, 果冻弹性和咀嚼性处于最佳值, 见图 3(b)。综合考虑选取 0.3% 沙虫添加量较为合适。此时果冻风味、口感均最佳。

木糖醇添加量对果冻的口感和风味有较大的影响, 对果冻甜味和润滑口感有重要贡献。木糖醇含量增多, 糖浆浓度上升, 更多的糖分子填充在凝胶网络中, 导致硬度上升而且甜味过腻, 过低木糖醇添加量导致果冻过酸, 都会影响感官评价得分[18]。实验中随木糖醇添加量的增加呈先上升后下降的趋势。当木糖醇添加量小于 10% 时, 果冻甜度较低, 所以评分较低, 当木糖醇添加量高于 10% 时, 果冻甜度较高, 此时果冻口感较甜腻, 不受欢迎, 见图 2(c); 木糖醇添加量对凝胶组织状态和弹性, 咀嚼性有较大影响, 木糖醇添加量在低于 10% 时, 果冻凝胶性、组织结构较差; 木糖醇添加量在高于 10% 时, 凝胶组织结构较紧密, 凝胶弹性咀嚼性下降, 口感变差, 如图 3(c)。因此综合考虑木糖醇添加量 10% 为最佳。

柠檬酸添加量影响果冻风味和口感。果冻感官得分随柠檬酸添加量的增加呈先上升再下降的趋势, 因为随柠檬酸添加量的增加, 果冻酸度越来越大, 糖酸比失衡口感差, 在添加量为 0.02% 时, 果冻感官得分为最高分, 见图 2(d); 柠檬酸添加量低于 0.01%, 果冻弹性较低, 咀嚼性略高, 口感较硬; 添加量高于 0.02% 时, 果冻凝胶成型性较差, 甚至破坏果冻组织形态, 松散不成型, 见图 3(d)。综合考虑, 选取柠檬酸添加量为 0.02% 为最佳。

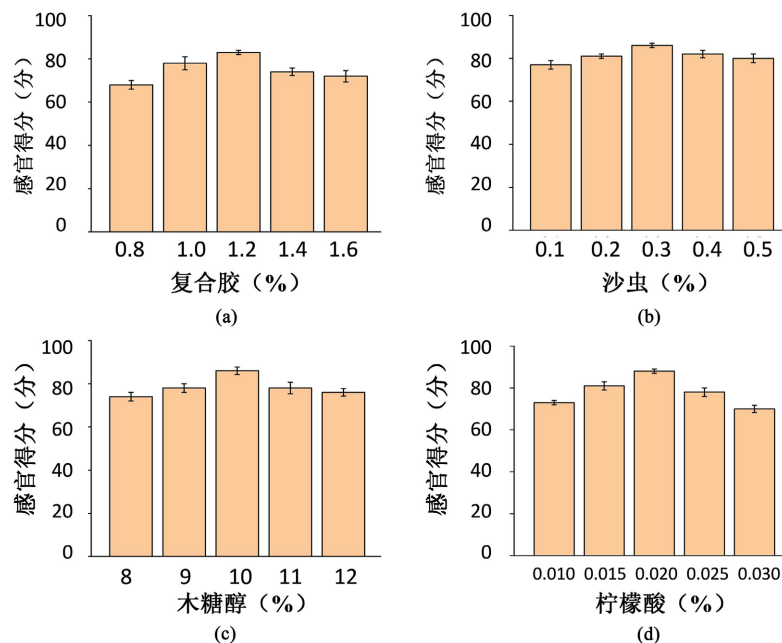
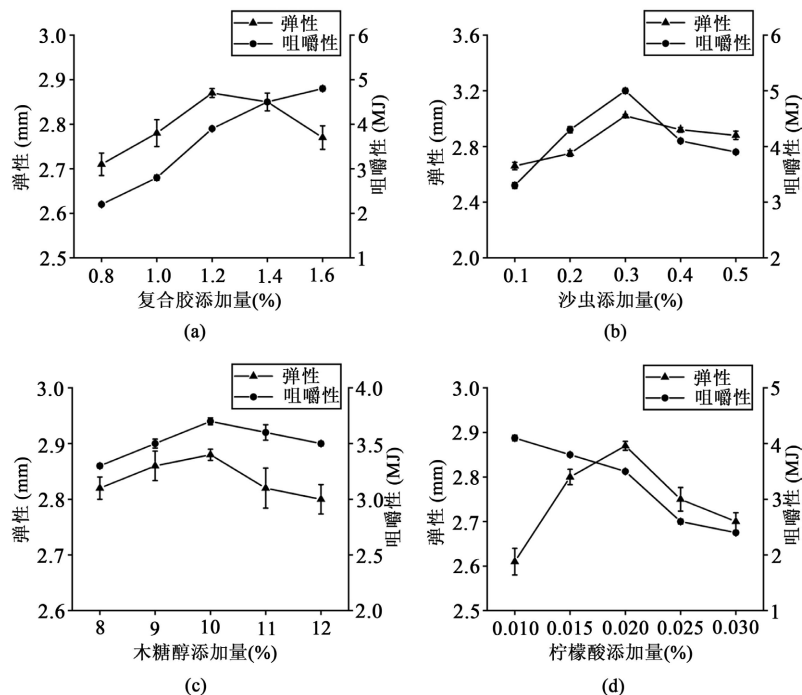


Figure 2. Effect of factors on the sensory evaluation of *Sipunculus nudus* jelly
图 2. 各因素对沙虫果冻感官评价的影响



(a): 复合胶添加量对沙虫果冻凝胶弹性和咀嚼性的影响; (b): 沙虫添加量对沙虫果冻凝胶弹性和咀嚼性的影响; (c): 木糖醇添加量对沙虫果冻凝胶弹性和咀嚼性的影响; (d): 柠檬酸添加量对沙虫果冻凝胶弹性和咀嚼性的影响。

Figure 3. Effect of factors on the elasticity and masticability of the jelly gel

图 3. 各因素对沙虫果冻凝胶弹性和咀嚼性的影响

3.3. 响应面设计结果与分析

3.3.1. 响应面设计及其结果

在单因素试验结果的基础上,以复合胶添加量(A)、木糖醇添加量(B)、柠檬酸添加量(C)为评价因素,以沙虫果冻感官评价得分(Y)为响应值,根据 Box-Behnken 试验设计原理,采用三因素三水平的响应面分析法,进一步优化沙虫果冻的加工参数,设计的响应面设计因素、水平及结果分析分别如表 3、表 4 所示。

Table 3. Design factors and level of response surface test

表 3. 响应面设计因素及水平

因素(%)	水平		
	-1	0	1
A 复合胶添加量	1	1.2	1.4
B 木糖醇添加量	9	10	11
C 柠檬酸添加量	0.015	0.02	0.025

3.3.2. 方差分析

采用 Design Expert 13 数据分析软件对以上的感官评价得分数据进行处理,得到沙虫风味果冻的 3 个因素对产品感官评价得分影响的二次回归方程为:

$$Y = +83.62 - 0.7375A - 0.2125B + 0.6250C + 0.1500AB + 0.1750AC + 0.0750BC - 2.61A^2 - 0.7100B^2 - 2.53C^2$$

对沙虫果冻工艺优化响应面试验进行了方差分析,模型 $p < 0.01$,表明此响应面回归模型是极显著的,可以对沙虫风味果冻的感官得分做出准确的分析和预测,且失拟项 $p = 0.2864 > 0.05$ (不显著),表明该模型试验误差较小,模型预测的结果可靠。由 p 值可知,一次项 A、C 及二次项 A^2 、 C^2 对果冻感官评价得分的影响均极显著($p < 0.01$),二次项 B^2 对果冻感官评价得分的影响显著($p < 0.05$),如表 5。F 值的大小反映的是各因素对感官评价得分影响的强弱,F 值越小,说明影响作用越弱,F 值越大,说明影响作用越强[19]。由 F 值可知, $A > C > B$,即 3 因素对果冻感官评价得分的影响顺序为复合胶添加量 > 柠檬酸添加量 > 木糖醇添加量。

Table 4. Design scheme and results

表 4. 响应面试验设计方案及结果

试验号	(A)	(B)	(C)	(Y)
1	1.2	10	0.02	84.3
2	1.2	10	0.02	83.3
3	1.2	11	0.025	80.6
4	1.2	10	0.02	83.6
5	1	11	0.02	81.0
6	1.4	11	0.02	79.3
7	1.2	10	0.02	83.6
8	1.2	11	0.015	79.6
9	1.2	9	0.015	80.3
10	1.2	10	0.02	83.3
11	1.2	9	0.025	81.0
12	1.4	9	0.02	79.3
13	1.4	10	0.015	77.0
14	1	10	0.025	79.6
15	1.4	10	0.025	79.0
16	1	10	0.015	78.3
17	1	9	0.02	81.6

根据模型预测的 R^2 为 0.7870 和校正 R^2 为 0.9506 有合理的一致性[20],由差异小于 0.2 得知,模型的真实值与预测值的相关性很好,该模型选择正确,系数 $R^2 = 0.9784$,说明该模型拟合度较好,但变异系数 0.5857%不能用于模型分析,此回归模型方差分析可以进一步有效地分析和预测该工艺条件下因素对沙虫风味果冻感官得分的影响效果,更有效地验证工艺条件的准确性。

Table 5. ANOVA of response surface tests

表 5. 响应面试验的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	71.11	9	7.90	35.22	<0.0001	**
A 复合胶添加量	4.35	1	4.35	19.39	0.0031	**
B 木糖醇添加量	0.3612	1	0.3612	1.61	0.2450	
C 柠檬酸添加量	3.13	1	3.13	13.93	0.0073	**

Continued

AB	0.0900	1	0.0900	0.4011	0.5466	
AC	0.1225	1	0.1225	0.5460	0.4840	
BC	0.0225	1	0.0225	0.1003	0.7607	
A ²	28.68	1	28.68	127.84	<0.0001	**
B ²	2.12	1	2.12	9.46	0.0179	*
C ²	27.06	1	27.06	120.60	<0.0001	**
残差	1.57	7	0.2244			
失拟项	0.9025	3	0.3008	1.80	0.2864	
纯误差	0.6680	4	0.1670			
总差	72.68	16				
校正 R ²	0.9506					
系数 R ²	0.9784					
预测 R ²	0.7870					
变异系数	0.5857					

注：“*”表示对试验结果有显著性影响(P < 0.05)，“**”表示对试验结果有极显著的影响(P < 0.01)。

3.3.3. 响应面交互及优化分析

利用 Design-Expert 13 数据分析软件可以得到复合胶添加量(A)、木糖醇添加量(B)、柠檬酸添加量(C)三个因素交互作用对沙虫风味果冻感官评价得分的影响的等高线图及响应面图，如图 4 所示。等高线图 中的椭圆形状表示 2 个因素之间交互作用的显著性，形状越接近于圆越不显著，形状越接近椭圆越显著 [21]，因此可以初步定性分析。由图可知，(复合胶添加量和木糖醇添加量)和(木糖醇添加量和柠檬酸添加量)这两组 2 个因素之间交互作用均很显著，复合胶添加量和柠檬酸添加量这组 2 个因素之间交互作用强度较不显著。并且从图中可以看出每组响应最大值出现在复合胶添加量为 1.2%、木糖醇添加量为 10%、柠檬酸添加量为 0.02%上。

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[22]，复合胶添加量为 1.2%、木糖醇添加量为 10%、柠檬酸添加量为 0.02%。

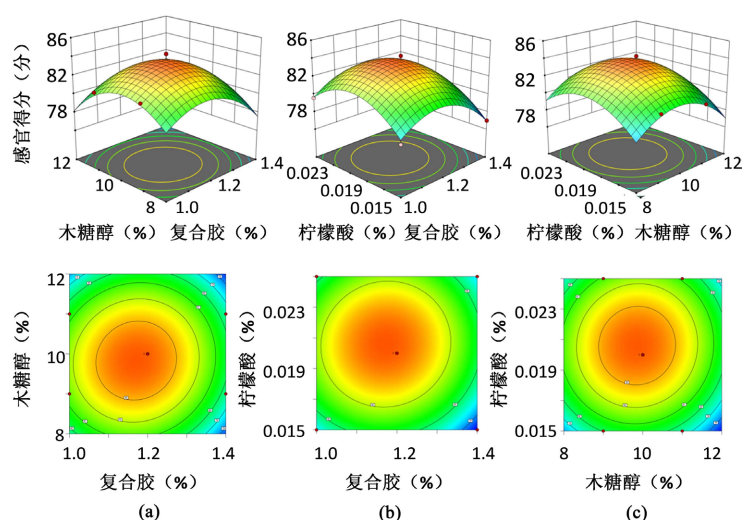


Figure 4. Contour plot and response surface of each factor interaction pair score
图 4. 各因素相互作用对评分的等高线图与响应曲面

3.3.4. 验证试验

按照得出的一组最优制备工艺参数进行验证试验, 平行制备 3 次, 所得果冻的口感、味道及组织状态均优良。口感既清爽香甜又具备鲜美的沙虫风味, 质地滑嫩 Q 弹, 有嚼劲, 试验结果说明优化响应面分析试验得到的最佳制备工艺参数可靠性较高。

4. 结论

本文通过单因素试验和优化响应面试验, 探究原料配比对果冻感官、质构、风味的影响, 优化了产品的最佳配方。

通过探究不同复合胶比对果冻凝胶特性和感官品质的影响得出复合胶配比最佳比例为 6:4, 通过探究影响沙虫果冻感官品质和质构特性的一系列试验, 得出复合胶添加量、木糖醇添加量、柠檬酸添加量是影响沙虫果冻感官品质和质构的最大因素, 在单因素试验的基础上, 采用 Design Expert 软件设计优化响应面试验, 以感官评分为评价指标, 对复合胶添加量、木糖醇添加量、柠檬酸添加量这三个对果冻凝胶特性影响较大的因素进行了研究, 得到沙虫果冻最佳配比为: 复合胶添加量为 1.2%, 木糖醇添加量为 10%, 柠檬酸添加量为 0.02%, 在此条件下果冻感官评分最高。

基金项目

广西科技厅科技计划 - 重点研发计划(桂科 AB21220061); 广西区教育厅 - 广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2022KY0425)。

参考文献

- [1] 梁广耀. 广西沿海方格星虫资源的初步调查[J]. 广西农业科学, 1990(1): 46-48.
- [2] 郭文场, 周淑荣, 董昕瑜, 刘佳贺. 中国沿海方格星虫虫质资源、养殖和开发利用(1) [J]. 特种经济动植物, 2017, 20(4): 7-9.
- [3] 郭峰君, 易灵红, 杨玉霞, 等. 方格星虫营养价值研究进展[J]. 轻工科技, 2021, 37(4): 15-17.
- [4] Liu, Y. and Qiu, C.P. (2016) Calculated Taste Activity Values and Umami Equivalences Explain Why Dried Sha-Chong (*Sipunculus nudus*) Is a Valuable Condiment. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, **25**, 177-184. <https://doi.org/10.1080/10498850.2013.839591>
- [5] Su, J., Jiang, L., Wu, J., Liu, Z. and Wu, Y. (2018) Effect of Polysaccharides Extracted from *Sipunculus nudus* (SNP) on the Lifespan and Immune Damage Repair of *Drosophila melanogaster* Exposed to Cd (VI). *Natural Product Research*, **32**, 1329-1332. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1342088>
- [6] 李映新, 黄晓亮, 许崇摇, 等. 光裸方格星虫纤溶酶对 FeCl₃ 诱导大鼠颈动脉血栓的抗栓作用研究[J]. 中国现代应用药学, 2021, 38(15): 1798-1802.
- [7] Lin, H., Zheng, Z., Yuan, J., et al. (2021) Collagen Peptides Derived from *Sipunculus nudus* Accelerate Wound Healing. *Molecules*, **26**, Article No. 1385. <https://doi.org/10.3390/molecules26051385>
- [8] Cui, F., Li, M., Chen, Y., et al. (2014) Protective Effects of Polysaccharides from *Sipunculus nudus* on Beagle Dogs Exposed to γ -Radiation. *PLOS ONE*, **9**, e104299. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104299>
- [9] Su, J., Jiang, L., Wu, J., Liu, Z. and Wu, Y. (2016) Anti-Tumor and Anti-Virus Activity of Polysaccharides Extracted from *Sipunculus nudus* (SNP) on Hepg2.2.15. *International Journal of Biological Macromolecules*, **87**, 597-602. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.03.022>
- [10] Sangtanoo, P., Srimongkol, P., Saisavoey, T., Reamtong, O. and Karnchanat, A. (2020) Anti-Inflammatory Action of Two Novel Peptides Derived from Peanut Worms (*Sipunculus nudus*) in Lipopolysaccharide-Induced RAW264.7 Macrophages. *Food & Function*, **11**, 552-560. <https://doi.org/10.1039/C9FO02178G>
- [11] Liu, H., Cai, X.X., Huang, M.E., et al. (2023) Correction to: Dual Bioactivity of Angiotensin Converting Enzyme Inhibition and Antioxidant Novel Tripeptides from *Sipunculus nudus* L. and Their Related Mechanism Analysis for Anti-hypertention. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, **29**, 245-354. <https://doi.org/10.1007/s10989-023-10496-4>

- [12] Cai, X., Huang, M., Huang, X., *et al.* (2023) Properties of ACE Inhibitory Peptides Isolated from *Sipunculus nudus* L and a DSPE-PEG Modification for Sustained Release Anti-Hypertension Agent. *Process Biochemistry*, **127**, 326-327. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2023.02.003>
- [13] 刘欢, 戚怡, 唐晓宁, 等. 方格星虫多肽的结构分析及体外抗氧化活性[J]. 中国海洋药物, 2022, 41(5): 49-56.
- [14] 杨家林, 邹杰, 蒋艳, 张琴. 方格星虫全人工养殖技术示范推广[J]. 水产养殖, 2013, 34(12): 19-21.
- [15] 郭峰君. 即食沙虫干加工工艺优化[J]. 河北渔业, 2021(11): 36-38.
- [16] 郭峰君, 杨乐乐, 钟莹, 邹政君. 沙虫复合调味料加工工艺研究[J]. 中国调味品, 2018, 43(5): 127-129.
- [17] 韩磊, 常慧敏, 何新益, 甄润英. 响应面法优化复合果味柿子果冻工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(2): 67-73.
- [18] 李瑞一, 陈学锋, 陈杭君, 等. 杨梅软糖制备工艺优化及其降血糖功能分析[J]. 食品工业科技, 2023: 1-16.
- [19] Ye, M., Li, J., Tong, F., *et al.* (2020) Optimization of Microwave-Assisted Extraction Using Response Surface Methodology and the Potential Anti-Diabetic Efficacy of *Nigella glandulifera* Freyn Determined Using the Spectrum-Effect Relationship. *Industrial Crops and Products*, **153**, Article ID: 112592. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112592>
- [20] Mohammed, A., Rivers, A., Stuckey, D.C. and Ward, K. (2020) Datasets on the Optimization of Alginate Extraction from *sargassum* Biomass Using Response Surface Methodology. *Data in Brief*, **31**, Article ID: 105837. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105837>
- [21] Yu, Y., Lv, C.-N., Qin, R.-L., *et al.* (2019) Unique Phenolic Constituent in *Cimicifuga dahurica* (Turcz.) Maxim. through Box-Behnken Design and Response Surface Methodology. *Journal of Separation Science*, **42**, 2550-2560. <https://doi.org/10.1002/jssc.201900274>
- [22] 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.