

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.12.030

高弹性素食肠配方优化

Optimization of the formula of highly elastic vegetarian sausage

秦建鹏 马笑笑 于德阳 陈媛媛 马丽珍

QIN Jian-peng MA Xiao-xiao YU De-yang CHEN Yuan-yuan MA Li-zhen

(天津农学院食品科学与生物工程学院, 天津 300384)

(College of Food Science and Biotechnology, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

摘要:目的: 开发一种营养美味、弹性好、品质优良的素食肠。方法: 以大豆拉丝蛋白(FSDP)为主要原料, 在基础配方上, 以素食肠的弹性为考察指标, 采用响应面分析法优选谷朊粉、谷氨酰胺转氨酶(TGase)、大豆分离蛋白粉、羟丙基二淀粉磷酸酯(HDP)、复合胶、冰水的添加比例。结果: 以泡发后的大豆拉丝蛋白(含水量 61.54%)为基准, 除加入大豆油、羧甲基纤维素钠、食盐、白糖等基础配料外, 再添加 124.06% 谷朊粉、2.20% TGase、121.87% 冰水、23.10% 大豆分离蛋白粉、11.55% HDP、2.31% 复合胶($m_{\text{黄原胶}} : m_{\text{魔芋胶}} : m_{\text{卡拉胶}} = 1 : 1 : 1$)。此时, 加工的素食肠弹性高达 0.958。结论: 该配方下的素食肠具有较好的弹性, 可以应用在素食产品的生产加工中。

关键词: 素食肠; 大豆拉丝蛋白; 谷朊粉; TG 酶; 弹性

Abstract: **Objective:** This study focuses on developing a nutritious, delicious, elastic, and high-quality vegetarian sausage. **Methods:** Soybean wiredrawing protein (FSDP) was used as the main raw material, then the elasticity of vegetarian sausage was taken as the evaluation index to optimize the adding ratio of gluten, transglutaminase (TGase), soy protein isolate powder, hydroxypropyl distarch phosphate (HDP), compound food gum and ice water, by using response surface analysis method. **Results:** On the basis of main raw material of rehydrated soybean wiredrawing protein (water content 61.54%) and auxiliary materials of soybean oil, sodium carboxymethyl cellulose, salt, sugar and other ingredients, a vegetarian sausage with the high elasticity of 0.958 was obtained, with the adding ratio of 124.06% gluten, 2.20% TGase, 121.87% ice water, 23.10% soy protein isolate powder, 11.55% HDP and 2.31% compound gum

(xanthan gum : konjac gum : carrageenan = 1 : 1 : 1). **Conclusion:** The obtained vegetarian sausage under this formula have good elasticity and can be used in the production of vegetarian products.

Keywords: vegetarian sausage; soybean wiredrawing protein; gluten; TG enzyme; elasticity

随着人口的增加和生活水平的逐步提高, 肉类供应压力越来越大, 预计到 2050 年, 世界人口将增至 90 亿, 肉类需求量将增长 50% 以上, 考虑到肉类会引起温室气体排放、动物福利和人类健康等问题, 人造肉替代部分肉类已成为不可阻挡的趋势^[1], 而植物蛋白肉作为人造肉的一种, 引起了各界的广泛关注。据报道^[2], 植物蛋白肉市场在 2019—2024 年将以 7.9% 的年复合增长率进行增长, 植物蛋白肉行业总值预计达到 212.3 亿美元。然而中国作为一个人口大国, 国内植物蛋白肉产业的发展却明显落后于欧美国家, 产品配方和加工技术都有待加强。

素食肠是以植物蛋白代替肉, 以大豆拉丝蛋白来模拟肉的口感, 这种拉丝蛋白可以通过挤压螺杆技术和配料成分的改变, 形成类似于肌纤维的结构, 同时富含人体所需的 8 种必需氨基酸, 并且不含脂肪和胆固醇, 因此被广泛用于肉类产品中, 如香肠、速冻肉丸以及素食肉松、素食牛排等素食产品中^[3-5]。谷朊粉是优质的植物性蛋白源, 其蛋白质含量高达 70%~80%, 无抗营养因子, 具有较高的营养和医用价值^[6]。谷氨酰胺转氨酶(TGase)是一种安全的食品添加剂, 在 TGase 诱导蛋白凝胶过程中, 其在肽链中谷氨酰胺残基的酰基供体与不同的酰基受体之间进行转移, 引起蛋白间交联, 从而形成稳固的蛋白凝胶网状结构^[7]。羟丙基二淀粉磷酸酯(HDP)是经环氧丙烷醚化处理后, 再与磷酸盐发生交联反应的一种变性淀粉^[8], 因其含大量羟丙基, 所以具有优异的持水性。其糊状液体具有耐高温、冻融稳定性好、抗剪切的优点^[9-10]。魔芋胶是一种多糖类胶体, 具有良好的亲水性、

基金项目:“十三五”国家重点研发计划重点专项(编号: 2016YFD0401500)

作者简介: 秦建鹏, 男, 天津农学院在读硕士研究生。

通信作者: 马丽珍(1963—), 女, 天津农学院教授, 博士。

E-mail: malizhen-6329@163.com

收稿日期: 2021-07-19

增稠性、乳化性等多种性质^[11]；卡拉胶是一种亲水性阴离子多糖类胶体，在加热过程中可形成热可逆凝胶^[12]；黄原胶是一种水溶性微生物胞外杂多糖，溶于水可形成凝胶结构，其分子上具有亲油和亲水基团^[13]。大豆分离蛋白由于其良好的乳化性、填充性以及凝胶性等性质，在食品中被广泛应用^[14]。

试验拟以大豆拉丝蛋白为主要原料，在基础配方上，采用响应面分析法优选谷朊粉、谷氨酰胺转氨酶、大豆分离蛋白粉、羟丙基二淀粉磷酸酯、复合胶、冰水的添加比例，以期开发一种营养丰富、弹性好、品质优良的素食肠。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

大豆拉丝蛋白(FSDP)：WH-601，安阳万汇生物科技有限公司；

肉桂精油、大茴香精油、丁香精油、白胡椒精油：郑州雪麦龙食品香料有限公司；

谷朊粉：河南富华食品添加剂有限公司；

谷氨酰胺转氨酶：A1 型，酶活 90 U/mL，江苏一鸣生物股份有限公司；

大豆分离蛋白：阳市得天力食品有限公司；

羟丙基二淀粉磷酸酯、羧甲基纤维素钠、卡拉胶、魔芋胶、黄原胶、复合磷酸盐、酵母提取物、呈味核苷酸二钠等：郑州凯之裕食品添加剂有限公司；

塑料肠衣：折径 55 mm，南通恒旭新材料科技有限公司；

食盐、大豆油、白砂糖、葡萄糖、味精等：天津市红旗农贸市场。

1.2 设备与仪器

斩拌机：CM-14 型，西班牙美卡公司；

真空包装机：DZ-400/2S 型，诸城市美川机械有限公司；

绞肉机：BJRJ-82 型，浙江嘉兴艾博实业有限公司；

家用手动灌肠机：手推型，东莞市云独商贸有限公司；

分析天平：ME204E 型，上海精科仪器有限公司；

打卡机：手动 U 型，台州藤原工具有限公司；

制冰机：IMS-50 型，河南兄弟仪器设备有限公司；

搅拌机：LLJ-A10T1 型，广东小熊电器有限公司；

移液枪：100~1 000 μ L 型，德国 Eppendorf 公司；

电热恒温水浴锅：XMTD-4000 型，上海科恒实业发展有限公司；

物性测定仪：TA-XT Plus 型，英国 Stable Micro System 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 大豆拉丝蛋白发泡工艺 选取颜色和气泡均匀的

拉丝蛋白，用 5 倍比例的冰水浸泡 1 h，期间表面压上重物使其浸入冰水中，当拉丝蛋白全部吸水变软、无硬核时，用纱布包裹挤水，使发泡后的重量为发泡前的 2.6 倍，绞碎，拆丝搅拌 3 min，即得发泡后的大豆拉丝蛋白(FSDP)。

1.3.2 素食肠基本配方 经多次预试验，确定素食肠的基本配方为：以 FSDP(含水量 61.54%)为基准，添加白砂糖 9.23%、葡萄糖 3.08%、食盐 6.15%、复合磷酸盐 0.77%、抗坏血酸钠 0.46%、大豆油 20.08%、复合精油($m_{肉桂精油} : m_{大茴香精油} : m_{丁香精油} : m_{白胡椒精油} = 4 : 4 : 1 : 1$) 0.38%、羧甲基纤维素钠 0.69%、酵母提取物 0.77%、味精 0.31%、I+G 0.02%、红曲红 0.15%。大豆分离蛋白粉、TGase、复合胶($m_{黄原胶} : m_{魔芋胶} : m_{卡拉胶} = 1 : 1 : 1$)、HDP、谷朊粉、冰水的具体添加比例按 1.3.4 添加。

1.3.3 素食肠的加工工艺

FSDP→制馅→灌制→打卡→蒸煮→冷却→成品

(1) 制馅：将配方中的冰水、TGase 和大豆分离蛋白粉放入斩拌机中，钢制刀片高速斩拌，边斩拌边缓慢加入大豆油和复合精油，共斩拌 3 min，得乳化浆；继续高速斩拌，并依次加入配方中的白砂糖、葡萄糖、食盐、复合磷酸盐、抗坏血酸钠、复合胶、HDP、谷朊粉、羧甲基纤维素钠，斩拌时间 2 min；添加 FSDP，更换塑料刀片慢速斩拌 3 min，制得馅料。

(2) 灌制：用灌肠机将混合的馅料灌入塑料肠衣中，长度为 10~12 cm，灌装时注意灌装均匀和避免小气泡的产生。

(3) 打卡：用手动 U 型打卡机将灌装好的肠两端打卡。

(4) 煮制：将灌装好的肠体于 45 $^{\circ}$ C 保温 20 min，再于 (95 \pm 2) $^{\circ}$ C 煮沸 1 h。

(5) 冷却：将煮制好的素食肠在冰水中迅速冷却至室温，于 0~4 $^{\circ}$ C 冷藏 12 h。

1.3.4 单因素试验

(1) 大豆分离蛋白粉质量分数：配料百分比均以 FSDP(含水量 61.54%)计，固定谷朊粉质量分数 115.40%，HDP 质量分数 11.55%，复合胶质量分数 6.93%，TGase 质量分数 2.31%，冰水质量分数 138.47%，考察大豆分离蛋白粉质量分数(7.70%，11.55%，15.40%，19.25%，23.10%)对素食肠弹性的影响。

(2) 谷朊粉质量分数：配料百分比均以 FSDP(含水量 61.54%)计，固定大豆分离蛋白粉质量分数 15.40%，HDP 质量分数 11.55%，复合胶质量分数 6.93%，TGase 质量分数 2.31%，冰水质量分数 138.47%，考察谷朊粉质量分数(100.00%，107.70%，115.40%，123.10%，130.80%)对素食肠弹性的影响。

(3) HDP 质量分数:配料百分比均以 FSDP(含水量 61.54%)计,固定大豆分离蛋白粉质量分数 15.40%,谷朊粉质量分数 123.10%,复合胶质量分数 6.93%,TGase 质量分数 2.31%,冰水质量分数 138.47%,考察 HDP 质量分数(3.85%, 7.70%, 11.55%, 15.40%, 19.25%)对素食肠弹性的影响。

(4) 复合胶质量分数:配料百分比均以 FSDP(含水量 61.54%)计,固定大豆分离蛋白粉质量分数 15.40%,谷朊粉质量分数 123.10%,HDP 质量分数 11.55%,TGase 质量分数 2.31%,冰水质量分数 138.47%,考察复合胶质量分数(2.31%, 4.62%, 6.93%, 9.24%, 11.55%)对素食肠弹性的影响。

(5) TGase 质量分数:配料百分比均以 FSDP(含水量 61.54%)计,固定大豆分离蛋白粉质量分数 15.40%,谷朊粉质量分数 123.10%,HDP 质量分数 11.55%,复合胶质量分数 6.93%,冰水质量分数 138.47%,考察 TGase 质量分数(0.77%, 1.54%, 2.31%, 3.08%, 3.85%)对素食肠弹性的影响。

(6) 冰水质量分数:配料百分比均以 FSDP(含水量 61.54%)计,固定大豆分离蛋白粉质量分数 15.40%,谷朊粉质量分数 123.10%,HDP 质量分数 11.55%,复合胶质量分数 6.93%,TGase 质量分数 2.31%,考察冰水质量分数(107.69%, 123.08%, 138.47%, 153.86%, 169.25%)对素食肠弹性的影响。

1.3.5 响应面设计 在单因素试验上,选择 TGase 质量分数、冰水质量分数和谷朊粉质量分数作为自变量,弹性作为响应值。根据 Box-Behnken 设计原理,采用三因素三水平响应面分析法优化素食肠的最优配方。

1.3.6 素食肠 TPA 的测定 参照鲍佳彤等^[15]的方法稍作修改。将凝胶充分的素食肠从 0~4 °C 冰箱取出,切成直径 2.5 cm、高 1 cm 的圆柱体,室温放置 30 min,检测素食肠的 TPA。测试参数:选用 P/35 型号探头,压缩力模式,测前速度 2.0 mm/s,测中、后速度 1.0 mm/s,触发力 5 g,应变为 50%。取 6 次平行试验的平均值,得到硬度、弹性、黏聚性、胶着度、咀嚼型、回复性 6 个指标,因试验主要关注素食肠的弹性指标,且弹性与素食肠的凝胶特性密切相关^[16],故选择弹性值为考核指标。

1.3.7 数据分析 运用 Excel 2018 软件进行试验数据及标准偏差分析,运用 Statistic 8.1 软件对结果进行显著性分析,使用 Design-Expert 10 软件进行响应面设计与分析,使用 SigmaPlot 10.0 软件绘图。

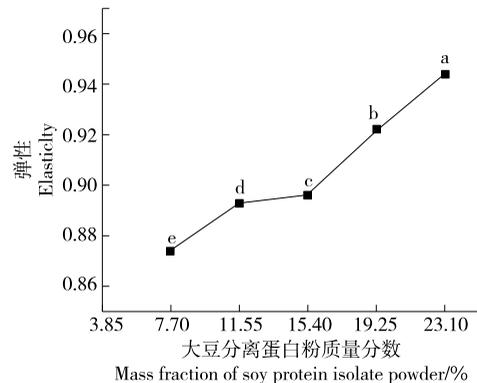
2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 大豆分离蛋白质量分数 由图 1 可知,当大豆分离蛋白质量分数为 7.7%~23.1%时,随着大豆分离蛋

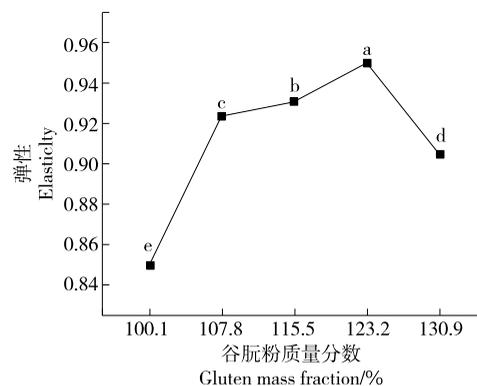
白粉质量分数的增加,素食肠弹性呈直线升高趋势($P < 0.05$),说明大豆分离蛋白粉对提高素食肠弹性具有重要作用。这是由于大豆分离蛋白长链结构中的极性基团能够吸收和保留水分^[17],而且与 TGase 联合使用后,可以形成交联网状结构,改善其保水性^[18-19]。故选择 23.10%为大豆分离蛋白粉的最适质量分数。

2.1.2 谷朊粉质量分数 由图 2 可知,当谷朊粉质量分数为 100.00%~130.90%时,素食肠弹性呈先增加后降低趋势($P < 0.05$),当谷朊粉质量分数为 123.20%时,素食肠弹性达到最大值 0.95,这是因为谷朊粉中的麦谷蛋白和麦醇溶蛋白遇水可以形成强劲的面筋网络结构^[20]。但当谷朊粉添加过量时,出现了谷朊粉和大豆分离蛋白粉之间对水的竞争作用,影响面筋网络结构的充分形成,物料实心结构增多,结构变硬,素食肠弹性显著降低($P < 0.05$)。故选择 115.50%~130.90%的谷朊粉质量分数进一步优化。



字母不同表示具有显著性差异($P < 0.05$)

图 1 大豆分离蛋白质量分数对素食肠弹性的影响
Figure 1 Effect of soy protein isolate addition ratio on vegetarian intestinal springiness



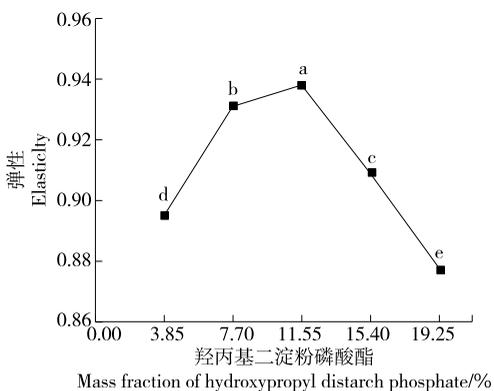
字母不同表示具有显著性差异($P < 0.05$)

图 2 谷朊粉添加比例对素食肠弹性的影响
Figure 2 The effect of gluten addition ratio on the springiness of vegetarian sausages

2.1.3 HDP 质量分数 由图 3 可知,当 HDP 质量分数为 3.85%~19.25%时,随着 HDP 质量分数的增加,素食肠弹性呈先增加后降低的趋势($P < 0.05$),当 HDP 质量分数为 11.55%时,素食肠弹性达到最大值 0.94。这是因为 HDP 会夺走与网络结构结合不紧密的水分,并将这些水分结合固定,使素食肠的保水能力提高,进而使其弹性明显提高;此外,HDP 会吸水膨胀,使素食肠微观结构中的孔洞减少甚至消失,黏聚性提高,产品组织结构细腻,切面平整紧实,具有弹性。但当 HDP 质量分数超过 11.55%时,素食肠弹性急剧下降($P < 0.05$)。这是因为 HDP 添加比例过高时,当产品加热处理后,HDP 的糊化作用会掩盖蛋白的凝胶作用。同时,降温过程中,HDP 会发生老化,导致素食肠品质下降,弹性显著降低^[21]($P < 0.05$)。考虑 7.70%~15.40%的 HDP 添加比例下,素食肠弹性均在 0.90 以上,故直接选择 11.55%为 HDP 的最适质量分数。

2.1.4 复合胶质量分数 由图 4 可知,当复合胶质量分数为 2.31%~11.55%时,随着复合胶质量分数的增加,素食肠弹性呈显著下降趋势($P < 0.05$),其中在复合胶质量分数为 2.31%时,素食肠弹性已达到 0.94,显著高于其他组($P < 0.05$),说明复合胶的质量分数不能过高,因为复合胶结合水的能力比较强,会与大豆拉丝蛋白结合水发生竞争作用,从而使大豆拉丝蛋白的持水能力降低,进而影响其凝胶品质^[22]。故直接选择复合胶的最适质量分数为 2.31%。

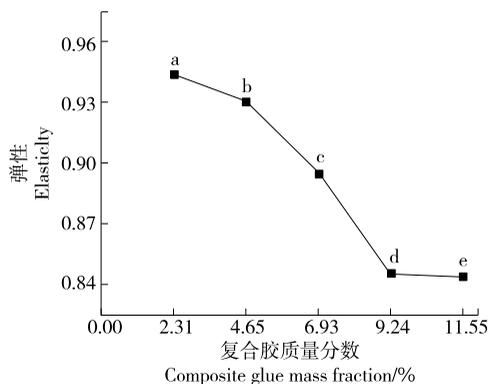
2.1.5 TGase 质量分数 由图 5 可知,当 TGase 质量分数为 0.77%~3.85%时,随着 TGase 质量分数的增加,素食肠弹性呈先增加后降低的趋势($P < 0.05$),当 TGase 质量分数为 2.31%时,素食肠弹性达到最大值 0.91。TGase 在一定质量分数范围内,基于催化酰基转移反应,可以促



字母不同表示具有显著性差异($P < 0.05$)

图 3 HDP 添加比例对素食肠弹性的影响

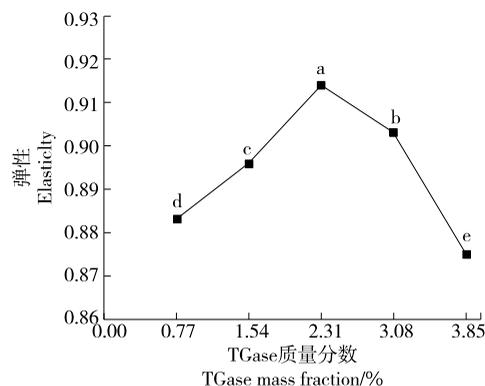
Figure 3 The effect of HDP ratio on the springiness of vegetarian sausages



字母不同表示具有显著性差异($P < 0.05$)

图 4 复合胶添加比例对素食肠弹性的影响

Figure 4 Effect of compound glue addition ratio on vegetarian intestinal springiness



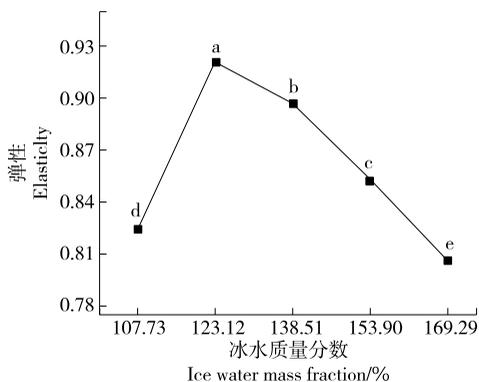
字母不同表示具有显著性差异($P < 0.05$)

图 5 TGase 添加比例对素食肠弹性的影响

Figure 5 The effect of TGase addition ratio on the springiness of vegetarian sausages

进大豆蛋白分子间或分子内出现共价交联,使产品的凝胶强度增强,弹性增加。但当 TGase 添加比例过高时,体系中的谷氨酰胺残基中 γ -羟基酰胺基与赖氨酸残基的 ϵ -氨基作用完全,而 TGase 中还可能存在蛋白酶,此时会对体系中的蛋白质产生水解作用,使其弹性下降($P < 0.05$)^[23-24]。故选择 TGase 的质量分数为 1.54%~3.08%进行优化。

2.1.6 冰水质量分数 由图 6 可知,当冰水质量分数为 107.79%~169.29%时,随着冰水质量分数的增加,素食肠弹性呈先增加后降低趋势($P < 0.05$),当冰水质量分数为 123.12%时,素食肠弹性达到最大值 0.92。在一定的添加范围内,水与大豆蛋白粉、谷朊粉、HDP 和复合胶之间相互作用,形成强劲的网状结构,故而素食肠弹性显著增加($P < 0.05$)。当冰水添加过量时,相当于稀释了大豆分离蛋白粉、谷朊粉、HDP 和复合胶的比例,所以弹性明



字母不同表示具有显著性差异($P < 0.05$)

图6 冰水添加比例对素食肠弹性的影响

Figure 6 The effect of adding ice water ratio on the springiness of vegetarian sausages

显降低($P < 0.05$)。故选择冰水的质量分数为107.73%~138.51%进行优化。

2.2 响应面试验

2.2.1 试验结果与方差分析 根据单因素试验结果,选择 TGase 质量分数、冰水质量分数和谷朊粉质量分数为因素,以弹性为响应值,运用 Box-Behnken 设计原理进行三因素三水平试验,优化素食肠的最优配方。因素水平见表1,试验设计及结果见表2。

运用 Design-Expert 10.0 软件对表2数据进行二次多元回归拟合,得到二次多元回归方程:

$$Y = 0.96 - 0.004626A - 0.003B + 0.005375C - 0.00175AB + 0.003AC + 0.01BC - 0.014A^2 - 0.0094B^2 - 0.017C^2 \quad (1)$$

表1 响应面因素和水平

Table 1 Factors and levels used in response surface methodology

水平	A TGase 质量分数/%	B 冰水质量分数/%	C 谷朊粉质量分数/%
-1	1.54	107.69	115.40
0	2.31	123.08	123.10
1	3.08	138.47	130.80

表2 Box-Behnken 试验设计与结果

Table 2 Box-Behnken design with experimental results

试验号	A	B	C	弹性
1	-1	-1	0	0.945
2	1	-1	0	0.931
3	-1	1	0	0.937
4	1	1	0	0.916
5	-1	0	-1	0.921
6	1	0	-1	0.914
7	-1	0	1	0.930
8	1	0	1	0.935
9	0	-1	-1	0.937
10	0	1	-1	0.916
11	0	-1	1	0.923
12	0	1	1	0.943
13	0	0	0	0.950
14	0	0	0	0.953
15	0	0	0	0.959
16	0	0	0	0.960
17	0	0	0	0.957

表3 方差分析†

Table 3 Analysis of variance of regression model

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	3.586×10^{-3}	9	3.985×10^{-4}	9.19	< 0.0040	**
A	1.711×10^{-4}	1	1.711×10^{-4}	3.95	0.0873	
B	7.200×10^{-5}	1	7.200×10^{-5}	1.66	0.2385	
C	2.311×10^{-4}	1	2.311×10^{-4}	5.33	0.0543	
AB	1.225×10^{-5}	1	1.225×10^{-5}	0.28	0.6115	
AC	3.600×10^{-5}	1	3.600×10^{-5}	0.83	0.3925	
BC	4.202×10^{-4}	1	4.202×10^{-4}	9.69	0.0170	*
A ²	8.430×10^{-4}	1	8.430×10^{-4}	19.44	0.0031	**
B ²	3.720×10^{-4}	1	3.720×10^{-4}	8.58	0.0221	*
C ²	1.167×10^{-3}	1	1.167×10^{-3}	26.92	0.0013	**
残差	3.035×10^{-4}	7	4.336×10^{-5}			
失拟项	2.327×10^{-4}	3	7.758×10^{-5}	4.38	0.0937	
纯误差	7.080×10^{-5}	4	1.770×10^{-5}			
总差异	3.890×10^{-3}	16				

† * 表示差异显著($P < 0.05$); ** 表示差异极显著($P < 0.01$)。

由表 3 可知,模型极显著 ($P < 0.01$),失拟项 $P = 0.0937 > 0.05$,不显著,表明模型的拟合度较好。由 F 值可知,各因素对弹性的影响程度为谷朊粉质量分数(C) > TGase 质量分数(A) > 冰水质量分数(B)。

2.2.2 交互作用分析 由图 7 可知,BC 交互作用显著,谷朊粉质量分数对弹性的影响最大,其次是 TGase 质量

分数和冰水添加量质量分数,与方差分析结果一致。

通过对素食肠弹性进行二次多项数学模型分析,得出素食肠加工中谷朊粉、TGase 和冰水的最适添加比例为:以 FSDP(含水量 61.54%)为基准,谷朊粉质量分数 124.06%、TGase 质量分数 2.20%、冰水质量分数 121.87%,此时素食肠弹性为 0.957。

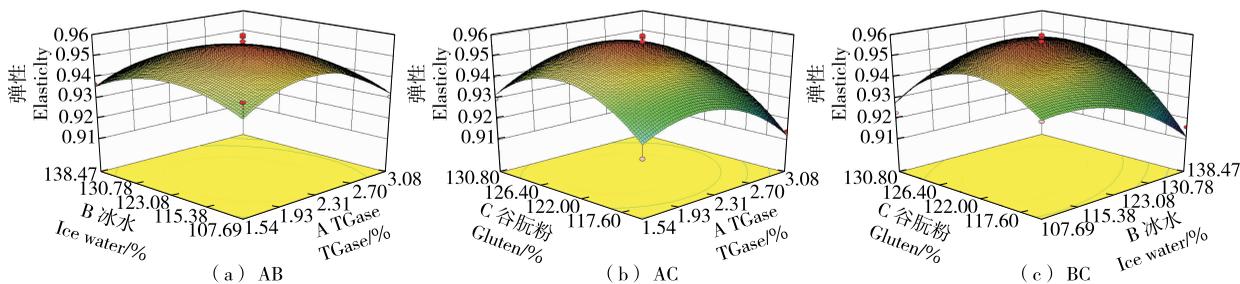


图 7 各因素交互作用的响应面图

Figure 7 Response surface diagram of the interaction of various factor

2.3 验证实验

在基础配方的基础上,以 FSDP(含水量 61.54%)为基准,添加 124.06% 谷朊粉、2.20% TGase、121.87% 冰水、23.10% 大豆分离蛋白粉、11.55% HDP 和 2.31% 复合胶($m_{\text{黄原胶}} : m_{\text{魔芋胶}} : m_{\text{卡拉胶}} = 1 : 1 : 1$)加工素食肠,所得产品的平均弹性为 0.958 ($n = 6$),略高于理论预测值(0.957),说明该回归模型优化的工艺条件是有效的。

3 结论

以大豆蛋白和小麦蛋白的复合植物蛋白为主料,通过响应面实验对提高素食肠凝胶强度的工艺进行优化,确定了素食肠加工中的配料比例:以大豆拉丝蛋白(含水量 61.54%)为基准,添加 124.06% 谷朊粉、2.20% 谷氨酰胺转氨酶、121.87% 冰水、23.10% 大豆分离蛋白粉、11.55% 羟丙基二淀粉磷酸酯、2.31% 复合胶($m_{\text{黄原胶}} : m_{\text{魔芋胶}} : m_{\text{卡拉胶}} = 1 : 1 : 1$)。通过制馅、灌制、打卡、蒸煮、冷却等工序,得到弹性大、品质优良的新型素食肠新产品,其弹性达 0.958,略高于理论预测值(0.957)。研究的不足在于无法还原真实肉制品的鲜味和香味,素食肠粉味较重且香气容易在烹饪过程中损失,后续将通过酶解和美拉德反应,研发一种具有传统肉类风味的风味肽或风味香精予以解决。

参考文献

[1] 江连洲, 张鑫, 窦薇, 等. 植物基肉制品研究进展与未来挑战[J]. 中国食品学报, 2020, 20(8): 1-10.
JIANG Lian-zhou, ZHANG Xin, DOU Wei, et al. Advance and challenges in plant-based meat[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(8): 1-10.

[2] BOHRER B M. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products[J]. Food Science

and Human Wellness, 2019, 8(4): 320-329.

[3] 郑雅丹. 植物蛋白的纤维组织化技术研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2009: 1-9.
ZHENG Ya-dan. The study of fiber-textured extrusion technology on vegetable proteins[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2009: 1-9.

[4] 谢丽娟, 费英敏, 吕育新. 植物拉丝蛋白的功能特性及其应用[J]. 大豆科技, 2011(4): 35-38.
XIE Li-juan, FEI Ying-min, LYU Yu-xin. Functional properties and application of plant tissue protein [J]. Soybean Science & Technology, 2011(4): 35-38.

[5] 王雅卉, 邢霁云, 徐婧婷, 等. 拉丝蛋白的组织结构特征及功能特性[J]. 食品科技, 2016, 41(12): 25-30.
WANG Ya-hui, XING Ji-yun, XU Jing-ting, et al. Tissue structure and functional characteristics of silk-drawing protein[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(12): 25-30.

[6] 孙福犁, 徐慢, 崔和平, 等. 谷朊粉肽美拉德反应中间体的制备及风味形成能力研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 1-7.
SUN Fu-li, XU Man, CUI He-ping, et al. Preparation of maillard reaction intermediates of gluten peptides-xylose and study on its flavor formation capacity[J]. Food & Machinery, 2019, 35(3): 1-7.

[7] 王斌, 陈希玲. 谷氨酰胺转氨酶处理对鸭血豆腐品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(2): 167-172.
WANG Bin, CHEN Xi-ling. Effect of transglutaminase treatment on the quality of duck blood tofu[J]. Food & Machinery, 2019, 35(2): 167-172.

[8] 黄丽, 占柳菁, 梁露, 等. 羟丙基二淀粉磷酸酯对鲜湿方便米制品品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 177-180, 213.
HUANG Li, ZHAN Liu-jing, LIANG Lu, et al. Effect of hydroxypropyl distarch phosphate on retrogradation and cooking quality of instant fresh rice noodle[J]. Food & Machinery, 2016, 32(7): 177-180, 213.

- [9] 叶秀金, 陈英. 离子色谱法测定羟丙基二淀粉磷酸酯中游离磷和总磷的含量[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(12): 79-83.
YE Xiu-jin, CHEN Ying. Determination of free phosphorus and total phosphorus in hydroxypropyl distarch phosphate by ion chromatography[J]. China Food Additives, 2020, 31(12): 79-83.
- [10] 赵改名, 郝红涛, 田玮, 等. 利用质构值对火腿肠进行分级的研究[J]. 食品科学, 2013, 34(7): 28-33.
ZHAO Gai-ming, HAO Hong-tao, TIAN Wei, et al. Research on grading ham sausage using texture value[J]. Food Science, 2013, 34(7): 28-33.
- [11] 任艳艳, 李斌, 商龙臣, 等. 湿热降解对花魔芋魔芋胶/ κ -卡拉胶复配凝胶性能的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 17-22, 54.
REN Yan-yan, LI Bin, SHANG Long-chen, et al. The effect of hydrothermal degradation on the properties of *A. guripingensis* konjac/ κ -carrageenan compound gel[J]. Food & Machinery, 2020, 36(7): 17-22, 54.
- [12] 张雪, 张震, 邹建, 等. 鹰嘴豆蛋白与卡拉胶互作体系表征及其功能性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(12): 245-250.
ZHANG Xue, ZHANG Zhen, ZOU Jian, et al. Characterization and functional study of the interaction between chickpea protein and carrageenan[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(12): 245-250.
- [13] 牛海佳, 刘爱国, 刘立增, 等. 刺云实胶与黄原胶复配体系结构及流变性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 34-40, 158.
NIU Hai-jia, LIU Ai-guo, LIU Li-zeng, et al. Texture and rheological properties of compound system of tara gum and xanthan gum[J]. Food & Machinery, 2019, 35(11): 34-40, 158.
- [14] 王革新, 徐捷, 何志勇, 等. 促凝剂及小分子表面活性剂对大豆分离蛋白乳液凝胶性质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(12): 1 269-1 275.
WANG Ge-xin, XU Jie, HE Zhi-yong, et al. Effect of coagulants and small molecular surfactants on gel properties of soy protein emulsion[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2017, 36(12): 1 269-1 275.
- [15] 鲍佳彤, 宁云霞, 杨淇越, 等. TGase 和 Ca^{2+} 联合作用对未经漂洗的草胡子鲈鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(14): 50-57.
BAO Jia-tong, NING Yun-xia, YANG Qi-yue, et al. Combined effects of TGase and Ca^{2+} on gel properties of unwashed *Clarias gariepinus* surimi[J]. Food Science, 2020, 41(14): 50-57.
- [16] 杨雪, 冯美琴, 孙健, 等. 淀粉、亚麻籽胶与贮藏温度对火腿肠品质影响的析因试验分析[J]. 食品科学, 2017, 38(13): 1-6.
YANG Xue, FENG Mei-qin, SUN Jian, et al. Effects of starch, flaxseed gum and storage temperature on sausage quality evaluated by factorial design[J]. Food Science, 2017, 38(13): 1-6.
- [17] 李翠芳, 张钊, 王才立, 等. 大豆分离蛋白在面包中的应用研究[J]. 大豆科技, 2020(1): 21-27.
LI Cui-fang, ZHANG Zhao, WANG Cai-li, et al. Study on the application of soybean isolated protein for bread[J]. Soybean Science & Technology, 2020(1): 21-27.
- [18] LI Ling-yun, EASA Azhar Mat, LIONG Min-tze, et al. The use of microbial transglutaminase and soy protein isolate to enhance retention of capsaicin in capsaicin-enriched layered noodles[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(2): 495-503.
- [19] NONAKA M, TOIGUCHI S, SAKAMOTO H, et al. Changes caused by microbial transglutaminase on physical properties of thermally induced soy protein gels[J]. Elsevier, 1994, 8(1): 1-8.
- [20] 周小玲, 李娜, 张冬生. 高温高湿处理对小麦中蛋白质性质的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 7-13.
ZHOU Xiao-ling, LI Na, ZHANG Dong-sheng. Effects of high-temperature and high-humidity treatment on the properties of the proteins from wheat flour[J]. Food & Machinery, 2021, 37(7): 7-13.
- [21] 孙方达, 赵钜阳, 李媛媛, 等. 大豆分离蛋白、复配胶及变性淀粉对红肠品质影响的研究[J]. 食品工业, 2016, 37(5): 201-205.
SUN Fang-da, ZHAO Ju-yang, LI Yuan-yuan, et al. Study on the effects of soybean protein isolate, complex gum and denatured starch on quality of red sausage[J]. The Food Industry, 2016, 37(5): 201-205.
- [22] 郑红. 复配胶体对鱼糜制品凝胶强度的影响[J]. 农产品加工, 2017(11): 22-23.
ZHENG Hong. Effect of compound gel on gel strength of surimi[J]. Farm Products Processing, 2017(11): 22-23.
- [23] 刘婷, 胡冠蓝, 何栩晓, 等. 谷氨酰胺转氨酶和脂肪酶的使用量对中式香肠品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 43-47.
LIU Ting, HU Guan-lan, HE Xu-xiao, et al. Effects of transglutaminase and lipase on the characteristics of chinese sausage[J]. Food Science, 2014, 35(5): 43-47.
- [24] TRESPALACIOS Pilar, PLA Reyes. Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels[J]. Food Chemistry, 2005, 100(1): 264-272.

(上接第 109 页)

- [4] 戴雅琳. 从符号学视域看非遗文创品牌包装的色彩研究[J]. 湖南包装, 2021, 36(3): 123-125.
DAI Ya-lin. On the color research of intangible cultural heritage brand packaging from the perspective of semiotics[J]. Hunan Packaging, 2021, 36(3): 123-125.
- [5] 杨硕, 刘卫东. “国潮”研究: 潮牌文化与中国文化融合下的服装设计新趋势[J]. 湖南包装, 2020, 35(2): 102-106.
YANG Shuo, LIU Wei-dong. The rise of “National fashion” from the perspective of fashion design[J]. Hunan Packaging, 2020, 35(2):

102-106.

- [6] 潘虎. 代际更迭引发的食品包装设计观念嬗变[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 102-106.
PAN Hu. Changes of perceptions on food packaging design caused by generational variation[J]. Food & Machinery, 2021, 37(7): 102-106.
- [7] 李孟贾, 霍楷. “国潮”风格视域下广告设计艺术审美研究[J]. 湖南包装, 2021, 36(3): 87-90.
LI Meng-jia, HUO Kai. Aesthetic research on advertising design art from the perspective of “National tide” style[J]. Hunan Packaging, 2021, 36(3): 87-90.