



碱浸提豆渣膳食纤维提取工艺及豆基高纤饼干配方优化

李榕基¹, 赵 峰¹, 郑克炜², 陈海燕²

(1. 吉林农业大学 食品科学与工程学院, 吉林 长春 130000; 2. 长春科技学院 生命科学院, 吉林 长春 130000)

摘 要:为高效提取豆渣中的膳食纤维并加工豆基高纤饼干,本研究采用碱浸提法,通过单因素和正交试验探讨碱浓度、碱浸温度、碱浸时间和胰蛋白酶活力对豆渣中膳食纤维提取率的影响。进一步在鸡蛋、黄油、膳食纤维添加量单因素试验基础上进行酥脆值和感官评价响应面分析,优化豆基高纤饼干配方。结果表明:制备膳食纤维的最佳工艺条件为,碱浸温度 90 ℃、碱浓度 1%、碱浸时间 35 min、添加 0.25% 的 500 UI 胰蛋白酶,提取率达到 83.14%。豆基高纤饼干的最佳配方为:膳食纤维添加量 4%、黄油添加量 40.30%、鸡蛋添加量 25.50%。品评试验证明,该工艺和配方可制得色泽金黄、口感酥松、具有特异豆香的高膳食纤维酥性饼干。最佳配比方案制作出的豆基高纤饼干各指标均满足国家标准,总体符合大众口感,市场潜力较好。豆基高纤饼干水分含量 $1.85 \pm 0.02 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$, 灰分含量 $1.49 \pm 0.03 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$, 粗蛋白含量 $5.83 \pm 0.42 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$, 可溶性膳食纤维含量 $0.13 \pm 0.03 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$, 碳水化合物含量 $41.67 \pm 2.98 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ 。

关键词:豆渣;膳食纤维;碱浸提;水解;豆基高纤饼干;工艺;配方

Alkaline Extraction Technology of Dietary Fiber from Soybean Dregs and Formula Optimization of Soybean-Based High-Fiber Biscuit

LI Rong-ji¹, ZHAO Feng¹, ZHENG Ke-wei², CHEN Hai-yan²

(1. School of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130000, China; 2. College of Life Sciences, Changchun Institute of Technology, Changchun 130000, China)

Abstract: In order to efficiently extract the dietary fiber from soybean dregs and process the soybean-based high-fiber biscuits, this study adopted the alkaline extraction method and discussed the effect on the fiber extraction rate from soybean dregs of alkali concentration, alkali immersion temperature, alkaline immersion time and trypsin activity through single factor and orthogonal experiments. Further, the crispness value and sensory evaluation response surface analysis were carried out to optimize the formula of bean-based high-fiber biscuit on the basis of single factor experiment of adding amount of egg, butter, and dietary fiber. The results showed that the optimal process conditions for preparing dietary fiber were alkaline leaching temperature of 90 ℃, alkaline concentration of 1%, alkaline leaching time of 35 min, 0.25% of 500 UI trypsin, and an extraction rate of 83.14%. The best formula for soy dietary biscuits was dietary fiber 4%, butter 40.30%, and egg 25.50%. The evaluation test proved that this technology and formula could produce high dietary fiber biscuit with golden color, loose taste and special bean flavor. The soybean-based high-fiber biscuit produced by the best ratio scheme can meet the National Standard and the general taste of the public and has good market potential. The moisture content was $1.85 \pm 0.02 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$, ash content was $1.49 \pm 0.03 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$, crude protein content was $5.83 \pm 0.42 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$, soluble dietary fiber content was $0.13 \pm 0.03 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$, and carbohydrate content was $41.67 \pm 2.98 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$.

Keywords: bean dregs; dietary fiber; alkaline leaching; hydrolysis; soybean-based high-fiber crisp biscuits; technology; formulation

大豆营养成分丰富,含有丰富的膳食纤维,是一种理想的纤维素来源。我国是大豆产品的主要生产国和消费国^[1-2]。多年来,豆渣一直只有小部分作为饲料,多数都作为废料丢弃,未能充分利用,而且污染环境。因此对大豆膳食纤维进行开发可提高大豆资源利用率和大豆产业附加值^[3-4]。

膳食纤维是一种植物成分,是仅次于维生素、水、脂肪、碳水化合物、蛋白质和矿物质之后的第七大营养素,较难被哺乳动物体内的酶分解。膳食纤维可以平衡人体营养,调节机体功能,对便秘、糖尿

病和肥胖等具有显著的治疗和预防效果^[5-6]。豆渣中膳食纤维的提取方法有很多,目前以膜分离法为主流,但是由于其工艺复杂,不利于进行大规模工业生产^[7-8]。齐惠等^[9]采用碱法和酶法相结合提取豆渣膳食纤维,其脂肪和蛋白质基本被去除,提取率仅为 30.95%。杨梦曦等^[10]采用复合酶法提取膳食纤维,提取率为 76.89%。

为去掉豆渣原料中的蛋白质、脂肪等干扰元素,提高膳食纤维的提取率,本研究以新鲜豆渣为原料,采用碱浸提法提取膳食纤维,并探讨豆基高

收稿日期:2021-08-26

基金项目:长春科技学院科研启动基金(cckj2020002)。

第一作者:李榕基(1997—),男,硕士研究生,主要从事食品科学研究。E-mail: lironji6@126.com。

通讯作者:陈海燕(1980—),女,硕士,教授,主要从事食品营养与代谢机制研究。E-mail: 42220320@qq.com。

纤饼干的制作工艺条件。以碱浓度、碱浸温度、碱浸时间和胰蛋白酶活力作为影响因素优化出豆渣中膳食纤维的最佳提取条件,以感官评分和酥脆度为评价指标,探讨膳食纤维、鸡蛋和黄油添加量对豆基高纤饼干品质的影响,以期为膳食纤维扩大化生产提供一定的理论依据,同时开发一种形态、口感俱佳的豆基高纤饼干。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜豆渣、低筋面粉、木糖醇、鸡蛋、玉米油、小苏打、碳酸氢铵,市售。氢氧化钠、盐酸、过氧化氢,均为分析纯,购自山东鑫尔康医疗科技股份有限公司。胰蛋白酶,购自南京奥多福尼生物科技有限公司。

1.2 主要仪器与设备

YP202N 电子天平,舜宇恒平仪器有限公司;20 目标标准筛,浙江上虞市道墟张兴纱筛厂;WK-1N1C 新冷媒真空抽滤泵,金华市威科工贸有限公司;PL-1 电子万用炉,泰州衡鑫电器有限公司;SYC-6 电热恒温水浴锅,上海秋佐科技有限公司;WGLL-125BE 电热鼓风干燥箱,长春健通福智科技有限公司;DF70 粉碎机,温州康源鑫仪器有限公司;YM-306D 远红外烤箱,上海研麦食品机械有限公司;TA-300 W 质构仪,上海宝生仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 膳食纤维提取工艺流程 原料→碱浸提→

酶解→脱色→洗涤→脱水→粉碎→成品。

1.3.2 膳食纤维提取操作要点 碱浸提:加入 NaOH 水溶液浸提,使新鲜豆渣与 NaOH 水溶液重量比为 3:1,用玻璃棒不断搅动以使碱液与原料充分接触,用电子万用炉加热至 85 ℃,保温 40 min,再将温度降至 38 ℃。

酶解:温度降至 38 ℃,调节 pH8.5,加入 0.25% (m/m) 酶活力为 500 UI 的胰蛋白酶,数显电热恒温水浴锅中酶解 4 h^[11-12]。

脱色、洗涤:在酶解结束后用 H₂O₂ 脱色 1.5 h 至基本无颜色,后用大量清水洗涤至 pH7.0^[13-14]。

脱水:先用真空抽滤泵将多余的水去除,再用电热鼓风干燥箱于 45 ℃烘干至表皮水分蒸发,然后 105 ℃烘干 2 h。

粉碎:将干燥后的产品用粉碎机碎裂,过 20 目筛。

1.3.3 膳食纤维提取单因素及正交试验 单因素试验:以豆渣质量为基准,在基本工艺配方的基础上,以膳食纤维提取率为指标,进行单因素试验,考察碱浓度(0.55%、0.70%、0.85%、1.00% 和 1.15%)、碱浸温度(75 ℃、80 ℃、85 ℃、90 ℃ 和 95 ℃)、碱浸时间(30、35、40、45 和 50 min)和酶活力(250、375、500、625 和 700 UI)对膳食纤维提取率的影响。

正交试验:在单因素试验基础上,设置四因素三水平即 L₉(3⁴) 正交试验,优化膳食纤维制备工艺,设计方案如表 1 所示。

表 1 正交试验因素水平表
Table 1 The factors and levels of orthogonal experiment

水平 Level	因素 Factor			
	A	B	C	D
	碱浓度 Alkali concentration/%	温度 Temperature/℃	时间 Time/min	酶活力 Enzyme activity/UI
1	0.85	80	35	375
2	1.00	85	40	500
3	1.15	90	45	625

1.3.4 膳食纤维含量测定 采用 GB5009.88—2014 方法测定膳食纤维含量。

1.3.5 豆基高纤饼干制作工艺 白砂糖、鸡蛋、黄油→打发→水、食盐、大豆粉→粗浆料→均质→细浆料→低筋面粉、小苏打→调糊→装袋→成型→烘烤→冷却→成品

1.3.6 豆基高纤饼干制作操作要点 面糊调制:先将称量好的白砂糖、鸡蛋、黄油打发至体积膨胀,加入水、食盐和大豆粉充分搅拌,得到粗浆料。将粗

浆料放入胶体磨进行均质后,加入称量好的低精面粉、小苏打至面糊中,搅拌均匀^[15-16]。

烘烤:烤箱预热 2 min 后,调节上层温度 160 ~ 180 ℃,下层温度 180 ~ 200 ℃(烤盘放中间),烘烤 10 min 后取出冷却^[17-18]。

1.3.7 豆基高纤饼干制作单因素和响应面试验 单因素试验:根据酥性饼干基础配方,以面粉为基数,在白砂糖用量 15%,小苏打用量 1% 的基础上,以感官评分为标准,进行单因素试验,考察黄油添

加量(25%、30%、35%、40%和45%)、鸡蛋添加量(20%、25%、30%、35%和40%)和膳食纤维添加量(3.0%、3.5%、4.0%、4.5%和5.0%)对豆基高纤饼干品质的影响。

正交试验:在单因素试验基础上,以黄油添加量、鸡蛋添加量、膳食纤维添加量为自变量,设计Box-bohnken 响应面优化试验,设计方案如表2所示。

表2 Box-bohnken 试验因素水平表
Table 2 The box-bohnken factors and levels

水平 Level	因素 Factor		
	A	B	C
	黄油添加量 Amount of butter/%	鸡蛋添加量 Amount of eggs/%	膳食纤维添加量 Addition of dietary fiber/%
-1	34	21	3
0	40	25	4
1	46	29	5

1.3.8 豆基高纤饼干感官评价 豆基高纤饼干的感官评定参照国标 GB/T 1433.1—2005。由食品专

业10名本科生、8名研究生、2位教师组成的团队进行感官评价,评分标准如表3所示。

表3 豆基高纤饼干感官品质评分标准
Table 3 The sensory evaluation standard of high dietary fiber crisp biscuits

指标 Index	评价 Evaluation	标准 Standard	评分 Score
风味 Flavor	优	香味适宜,夹杂豆香味,风味均衡	16 ~ 20
	良	单一香味重,风味失衡	11 ~ 15
	差	存在焦糊异味,掩盖了其他风味	1 ~ 10
口感 Taste	优	口感酥脆细腻,较为爽口,略掉渣	21 ~ 30
	良	口感紧实,易掉渣,不酥脆	11 ~ 20
	差	口感偏硬,有异味	1 ~ 10
外观 Exterior	优	表面褐色,无焦边,有油润感,完整且厚薄均匀	11 ~ 15
	良	褐色不均匀,略有颗粒,颜色异常单有光泽,存在轻微破边、破角等	6 ~ 10
	差	颜色过深,较暗淡,凹凸不平,有发花现象,破损较为严重	1 ~ 5
滋味 Relish	优	口味、甜味适中,无异味,具有饼干的特别滋味	31 ~ 35
	良	口味偏甜或偏淡,黄油味略浓	16 ~ 30
	差	黄油味偏浓,有明显的异味	1 ~ 15

1.3.9 豆基高纤饼干质构测定 根据优化出的豆基高纤饼干最佳制作工艺制作饼干,将该饼干与市面同类型产品“米苏尔大豆饼干”和“玛瑙泉豆渣饼干”的质构数据进行对比,评估产品合格性及市场潜力。

使用质构仪(上海宝生 TA-300 W)测定酥脆值,采用TPA 模式^[19-20],探头 P/0.5。测试参数为:下降速度 2 mm·s⁻¹;测试速度 3 mm·s⁻¹;回升速度 5 mm·s⁻¹;Target Mode,形变(50%)。样品测试 5 ~ 8 次,取平均值。

1.3.10 豆基高纤饼干理化指标测定 菌落总数、大肠菌群、霉菌的限量参照 GB 7100—2015《食品安全国家标准饼干》执行,金黄色葡萄球菌、沙门

氏菌的限量参照 GB 29921—2013《食品安全国家标准坚果与籽类食品》中熟制粮食制品(含焙烤类)执行。

1.3.11 豆基高纤饼干营养指标测定 水分含量测定参考国标 GB 5009.3—2016,采用直接干燥法。灰分测定参考 GB 5009.4—2016,采用高温灼烧法。脂肪含量的测定参考国标 GB 5009.6—2016,采用索氏抽提法。可溶性膳食纤维含量测定参考国标 GB 5009.88—2014。取冻干粉测定粗蛋白含量,参考国标 GB 5009.5—2016。

1.4 数据分析

采用 SPSS 16.0 进行数据分析和处理,各数据均为 3 次重复。

2 结果与分析

2.1 膳食纤维提取率单因素分析

2.1.1 碱浓度 如图 1 所示,碱浓度过低会使豆渣中的可溶性蛋白溶解不完全,致使纤维素提取率降低,而碱浓度过高则会溶解过度,影响产品的色泽和质量,在保证产品质量的前提下,0.85% 碱浓度为最佳碱浓度。

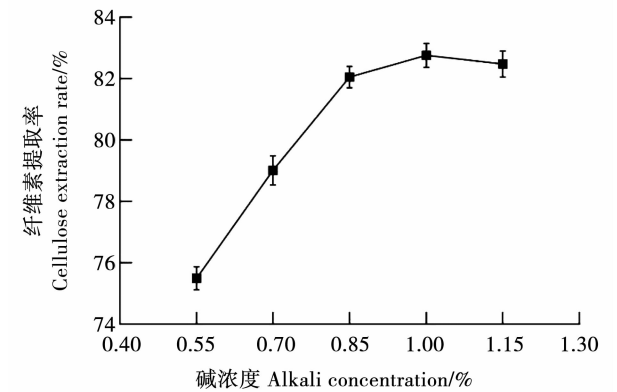


图 1 碱浓度对膳食纤维提取率的影响
Fig.1 The effect of alkali concentration on dietary fiber extraction rate

2.1.2 碱浸温度 如图 2 所示,随着温度的提高,豆渣中的蛋白分子更易被酶解,因此膳食纤维提取率逐渐上升,到 85 ℃ 时有所减缓,碱浸温度升至 90 ℃ 时达到了最佳酶解温度,酶解性最强,膳食纤维含量也升至最高,当温度升至 95 ℃ 时,则由于温度过高导致蛋白质变性,降低了纤维素的提取率。因此,碱浸温度 90 ℃ 为最佳提取温度。

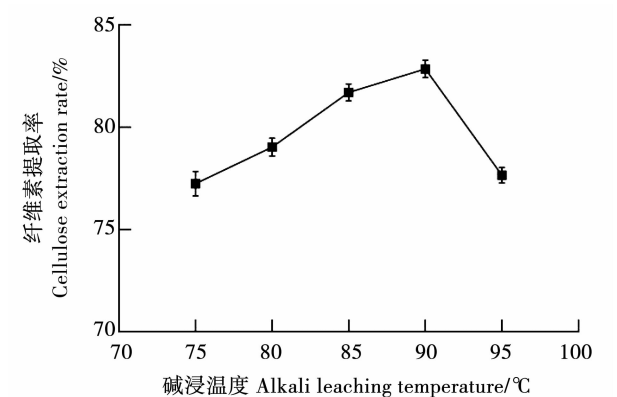


图 2 碱浸温度对膳食纤维提取率的影响
Fig.2 The effect of alkali leaching temperature on extraction rate of dietary fiber

2.1.3 碱浸时间 如图 3 所示,不同碱浸时间对膳

食纤维素提取率影响差异不大,随着碱浸时间变长,豆渣中的氨基酸得以充分反应,大分子蛋白也加速溶解,膳食纤维素提取率随之减小。当碱浸时间为 40 min 时膳食纤维提取率最大。

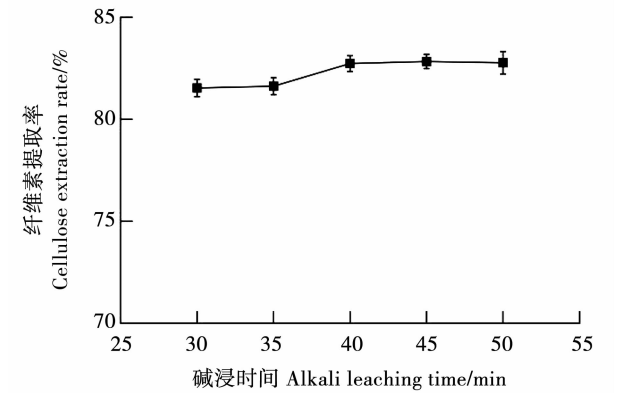


图 3 碱浸时间对膳食纤维提取率的影响
Fig.3 The effect of leaching time on dietary fiber extraction rate

2.1.4 酶活力 如图 4 所示,随着酶活力的不断增加,豆渣被胰蛋白酶分解更充分,膳食纤维提取率也随之增加,在酶活力超过 625 UI 后,由于超过其最适酶活力,导致酶活力被抑制,纤维素提取率也随之出现缓慢下降趋势,在酶活力为 500 UI 时膳食纤维提取率达到最佳。

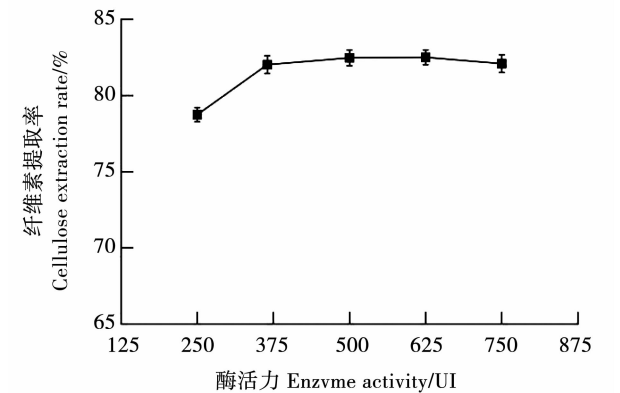


图 4 酶活力对膳食纤维提取率的影响
Fig.4 The effect of enzyme activity on extraction rate of dietary fiber

2.2 膳食纤维提取率正交试验

$L_9(3^4)$ 正交试验表明:不同因素对膳食纤维提取率影响的程度可以通过 R 值的大小来判断,碱浓度 > 碱浸温度 > 酶活力 > 碱浸时间。即在 4 种影响因素中碱浓度对膳食纤维提取率的影响最大,碱浸时间对膳食纤维提取率的影响最小。最佳正交组合为 $A_2B_3C_1D_1$ (表 4)。

表 4 豆渣膳食纤维提取工艺正交试验结果分析

Table 4 The analysis of orthogonal experiment on extraction process of dietary fiber from soybean dregs

项目 Item	A 碱浓度 Alkali concentration/%	B 温度 Temperature/℃	C 时间 Time/min	D 酶活力 Enzyme activity/UI	E 膳食纤维提取率 Dietary fiber extraction rate/%
1	1	1	1	1	78.02
2	1	2	2	2	74.85
3	1	3	3	3	78.65
4	2	1	2	3	79.23
5	2	2	3	1	80.28
6	2	3	1	2	81.12
7	3	1	3	2	77.55
8	3	2	1	3	77.98
9	3	3	2	1	82.53
K ₁	231.52	234.80	237.12	240.83	
K ₂	240.63	233.11	236.61	233.52	
K ₃	238.06	242.30	236.48	235.86	
k ₁	77.17	78.27	79.04	80.27	
k ₂	80.21	77.71	78.87	77.84	
k ₃	79.35	80.77	78.83	78.62	
R	3.18	3.06	0.21	2.43	

以正交最佳组合 A₂B₃C₁D₁为提取条件,与提取量最高的组合 A₃B₃C₂D₁对比的验证试验结果表明,提取的最佳条件为 A₂B₃C₁D₁,成品中膳食纤维的提取率为 83.14% (表 5)。最佳条件为:碱浸时间为 35 min、NaOH 浓度为 1%、碱浸温度为 90 ℃、胰蛋白酶活力为 500 UI。

表 5 提取方法最佳验证试验

Table 5 The extraction method optimal verification test

验证试验 Verification test	搭配组合 Collocation	膳食纤维提取率 Dietary fiber extraction rate/%
正交组合 9 Orthogonal combination 9	A ₃ B ₃ C ₂ D ₁	82.53
最佳正交组合 Optimal orthogonal combination	A ₂ B ₃ C ₁ D ₁	83.14

2.3 豆基高纤饼干品质单因素分析

2.3.1 黄油添加量 如图 5 所示,随着黄油添加量增加至 30%,酥脆值受到黄油的疏水性影响,可塑性提高,酥脆值也有所上升。当黄油添加量继续增至 40%时,致使面团出现油膜层,面团中的淀粉和面筋蛋白受到抑制,使面团胀润性降低,同时抑制面团的吸水性,酥脆值和感官评分均达到最优。继续添加黄油至 45%,过多黄油则导致其掩盖豆香味,并同时影响饼干的内聚力,导致酥脆值降低。因此,最适黄油添加量为 40%。

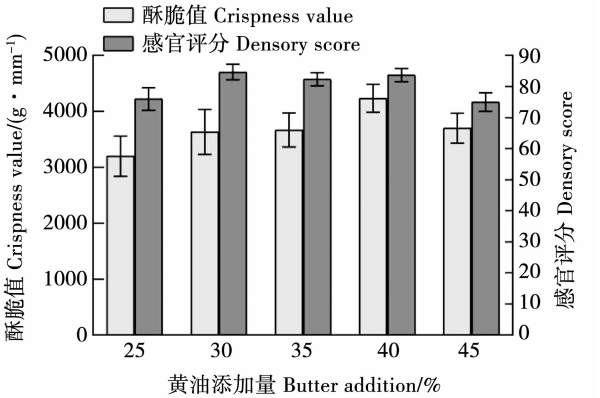


图 5 黄油添加量对豆基饼干的影响

Fig. 5 The effect of adding butter on soybean-based biscuits

2.3.2 鸡蛋添加量 如图 6 所示,随着鸡蛋添加量的增加,饼干酥脆值增加,但根据感官指标来看,鸡蛋越多,产品的腥味也会更重,覆盖了饼干特有的豆香味。综合考虑两因素,最适鸡蛋添加量为 25%。

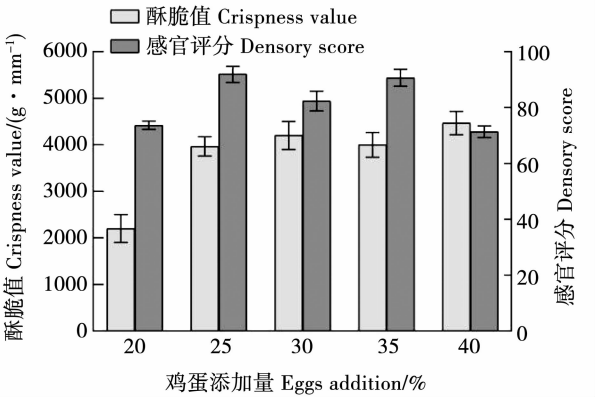


图 6 鸡蛋添加量对豆基饼干的影响

Fig. 6 The effect of the egg added amount on soybean-based biscuits

2.3.3 膳食纤维添加量 如图 7 所示,随着膳食纤维添加量的增加,饼干的口感更具有层次,但根据感官指标来看,膳食纤维越多,饼干口味变差。综合考虑两因素,膳食纤维最适添加量为 4.0%。

2.4 豆基高纤饼干配方优化响应面分析

2.4.1 响应面试验 相对于酥脆值,感官评分更能代表的饼干的口感品质。对响应面数据的 Box-bohnken 试验结果(表 6)进行回归拟合,得到自变量与感官评分(Y)的二次多项回归方程: $Y = 83.96 + 2.65A + 0.86B + 0.11C - 4.21A^2 - 8.08B^2 - 5.38C^2 - 1.83AB - 0.48AC + 0.30BC$ 。

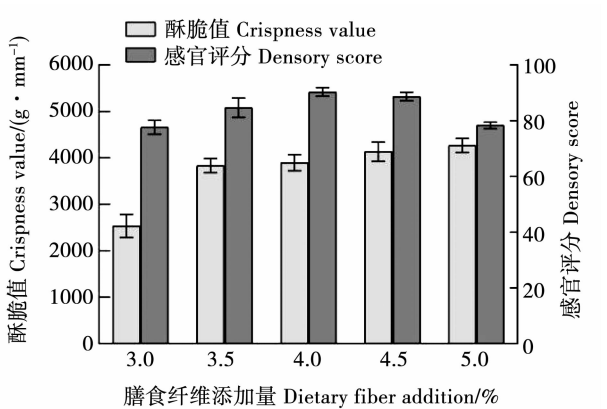


图 7 膳食纤维添加量对豆基饼干的影响
Fig.7 The effect of dietary fiber addition on soybean-based biscuits

表 6 Box-bohnken 试验结果
Table 6 The Box-Bohnken test results

序号 No.	A	B	C	酥脆值 Crispness value/(g·mm ⁻¹)	感官评分 Sensory score
1	-1	-1	0	1325.46 ± 49.93	68.60 ± 2.69
2	1	0	1	2198.64 ± 366.12	74.00 ± 2.55
3	0	1	1	2071.33 ± 278.45	72.40 ± 2.46
4	0	0	-1	1352.81 ± 317.60	71.20 ± 1.96
5	0	-1	-1	1090.36 ± 224.36	67.40 ± 1.34
6	0	0	0	3268.43 ± 167.36	79.00 ± 1.86
7	0	0	0	3293.32 ± 298.50	86.40 ± 1.98
8	0	0	0	3314.85 ± 254.61	82.90 ± 1.43
9	0	0	-1	2102.86 ± 221.75	70.50 ± 1.95
10	-1	0	-1	1362.10 ± 266.73	73.00 ± 1.78
11	1	0	-1	1879.95 ± 118.37	79.70 ± 2.33
12	0	0	0	3287.92 ± 373.03	85.10 ± 1.81
13	-1	1	0	1816.12 ± 118.21	71.49 ± 1.87
14	1	1	0	2063.11 ± 246.34	73.10 ± 2.34
15	0	0	0	3317.28 ± 262.97	84.60 ± 2.53
16	1	-1	0	1798.53 ± 121.42	76.40 ± 2.56
17	0	-1	1	1844.64 ± 327.50	71.20 ± 2.24

方差分析结果表明,该回归模型 $P < 0.01$,表明回归模型极显著,而失拟项 $P > 0.05$,表明失拟项不显著;该回归模型的总决定系数 $R^2 = 0.9464$,调整决定系数 $R_{Adj}^2 = 0.9460$,表明该模型能较好地反

映自变量与因变量的相关性,故该回归方程模型成立。黄油和鸡蛋添加量的交互项即 AB 对饼干感官评分的影响达到显著水平 ($P < 0.05$) (表 7)。

表 7 以感官评分为因变量的回归方程方差分析

Table 7 The variance analysis of the regression equation with sensory score as the dependent variable

来源 Source	自由度 Degree of freedom	Adj SS	Adj MS	F	P
模型 Model	9	578.69	63.42	32.14	0.000
A	1	56.18	56.18	27.18	0.001 **
B	1	5.95	5.95	2.88	0.144
C	1	0.68	0.68	0.42	0.571
A2	1	74.45	74.45	36.02	0.001 **

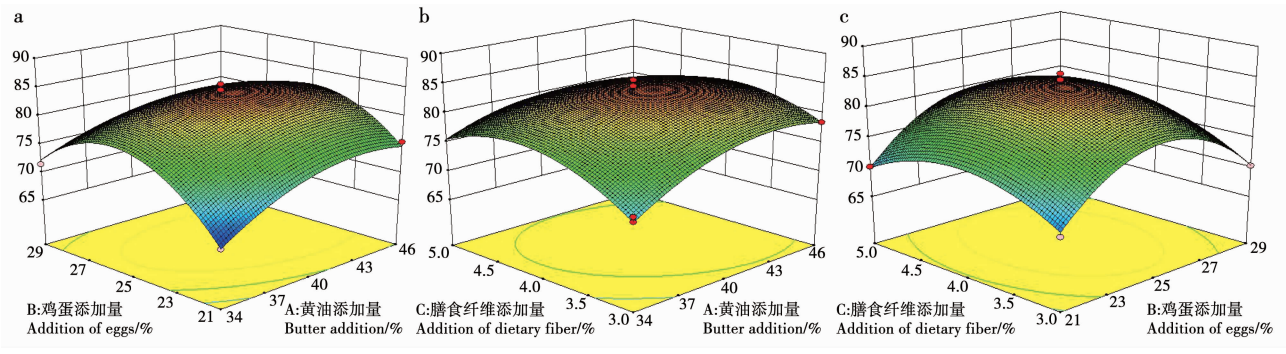
续表 7

来源 Source	自由度 Degree of freedom	<i>Adj SS</i>	<i>Adj MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
B2	1	255.45	255.45	132.99	0.000 **
C2	1	125.83	125.83	58.96	0.000 **
AB	1	13.36	13.36	6.45	0.035 *
AC	1	3.05	3.05	1.34	0.260
BC	1	0.32	0.32	0.05	0.833
误差 Error	6	15.96	2.23		
失拟 Lack of fit	3	5.00	2.00	0.73	0.621

注：* 表示影响显著 ($P<0.05$)；** 表示影响极显著 ($P<0.01$)。
Note: * indicates significant influence; ** indicates extremely significant influence.

2.4.2 响应曲面图分析 各交互作用对饼干感官品质影响的响应面三维图像和等高线如图 8 所示, 黄油添加量和大豆粉添加量的等高线较密集, 响应面图较陡, 对感官评价得分的影响较大, 交互作用较强。分析结果与以感官评分为因变量的回归方程方差结果(表 7)相吻合。

利用 Design-expert 软件分析得出豆基高纤饼干的最佳配方为: 黄油添加量 40.30%, 鸡蛋添加量 25.50%, 膳食纤维添加量 4%。依照此最佳配方制作出的饼干酥脆值为 $3\,631.57 \pm 314.25\text{ g}\cdot\text{mm}^{-1}$, 感官评分为 87.40 ± 2.24 。



注: a. 黄油与鸡蛋对感官评分的影响; b. 黄油与膳食纤维对感官评分的影响; c. 鸡蛋与膳食纤维对感官评分的影响。
Note: a. The effect of butter and egg on sensory score; b. The effect of butter and dietary fiber on sensory score; c. The effect of egg and dietary fiber on sensory score.

图 8 各交互作用对饼干感官品质影响的响应面分析结果

Fig. 8 The response surface analysis of the effects of interaction on biscuit sensory quality

2.5 豆基高纤饼干质构分析

如表 8 所示,经工艺优化后的豆基高纤饼干相较于市售的“米苏尔大豆饼干”和“玛瑙泉豆渣饼

干”的硬度和咀嚼性更高,酥脆值和弹性则介于二者之间,总体符合大众口感,市场潜力较好。

表 8 本研究豆基高纤饼干与市售豆基高纤饼干质构对比

Table 8 The comparison of texture between soybean-based high-fiber biscuit in this study and commercial soybean-based high-fiber biscuit

项目 Project	硬度 Hardness/g	酥脆值 Crispness value/($\text{g}\cdot\text{mm}^{-1}$)	咀嚼性 Chewiness/mJ	弹性 Elasticity/mm
豆基高纤饼干 Soy high-fiber biscuits	1398.46 ± 71.81	3631.57 ± 314.25	1256.21 ± 39.25	0.382 ± 0.06
米苏尔大豆饼干 MISURA RICCA soy crackers	1231.52 ± 28.39	906.74 ± 28.38	1100.47 ± 47.20	0.419 ± 0.02
玛瑙泉豆渣饼干 Agate spring okara biscuits	1035.48 ± 40.34	997.76 ± 64.26	1182.64 ± 32.56	0.365 ± 0.03

2.6 豆基高纤饼干微生物指标测定

豆基高纤饼干微生物指标检测结果如表 9 所示,大肠菌群、菌落总数、霉菌计数、金黄色葡萄球菌和沙门氏菌均低于国家标准,可能是豆基高纤饼

干中的膳食纤维素经碱浸提后具有一定的抑菌效果。同时优秀的抑菌性也说明豆基高纤饼干适合长期储藏。总的来说,按试验得出的最佳配比方案制作出的豆基高纤饼干的各指标均满足国家标准。

表 9 豆基高纤饼干理化指标检测结果
Table 9 The test results of physical and chemical indexes of soybean-based high-fiber biscuit

项目 Project	菌落总数 Total number of colonies/(CFU·g ⁻¹)	大肠菌群 Coliform/[MPN·(100 g) ⁻¹]	霉菌 Mould count/(CFU·g ⁻¹)	金黄色葡萄球菌 Staphylococcusaureus/(CFU·g ⁻¹)	沙门氏菌 Salmonella/(CFU·g ⁻¹)
结果 Result	2 ± 1.10	3 ± 0.55	6 ± 1.04	0	0
指标 Index	≤750	≤30	≤50	10 ²	-

2.7 豆基高纤饼干营养指标测定

经检测,豆基高纤饼干各微生物指标为:水分含量 1.85 ± 0.02 g·(100 g)⁻¹,灰分含量 1.49 ± 0.03 g·(100 g)⁻¹,粗蛋白含量 5.83 ± 0.42 g·(100 g)⁻¹,可溶性膳食纤维含量 0.13 ± 0.03 g·(100 g)⁻¹,碳水化合物含量 41.67 ± 2.98 g·(100 g)⁻¹。

3 讨论

本研究以豆渣为主要原料提取膳食纤维,探讨出碱浓度对豆渣中膳食纤维提取率的影响较大。通过响应面分析得出豆基高纤饼干最佳配方,其中膳食纤维素添加量为 4.0%,膳食纤维素有较强的持水性,提高了豆基高纤饼干的水分含量,也导致饼干组织架构松散,使得饼干断面出现分层情况,增加了豆基高纤饼干的酥脆值。膳食纤维素也具有降血糖、促进肠道蠕动和调节肠道菌群平衡的作用^[21]。本研究采用碱浸提法提取豆渣中的膳食纤维,提高了膳食纤维素提取率,也为豆渣加工利用提供了新方法和新途径。该豆基高纤饼干相较于市售的同类产品酥脆性更高,与陈卫梅^[22]研制的大豆膳食饼干相比,理化指标更低,且具有更高的营养价值。但是,本研究中的豆基高纤饼干中的豆渣并未发酵,豆渣发酵后的豆基高纤饼干各指标是否有所提升还有待进一步研究。

4 结论

碱浸提法豆渣膳食纤维最佳技术参数为:碱浓度 1.00%、反应温度 90 ℃、反应时间 35 min、胰蛋白酶(500 UI)用量 0.25% (m/m),在该条件下豆渣膳食纤维提取率达到 83.14%,大幅促进了豆渣的有效利用。豆基高纤饼干的最佳配方参数为:膳食纤维素 4.0%、黄油添加量 40.30%、鸡蛋添加量 25.50%。经检测,该工艺和配方可制得色泽金黄、

口感酥松、具有特异豆香、营养丰富、理化指标合格的高膳食纤维酥性饼干。本研究可为豆基高纤饼干的加工工艺研究提供理论依据。

参考文献

[1] 曲鹏宇,李丹,李志江,等. 膳食纤维功能、提取工艺及应用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(19): 218-224. (QU P Y, LI D, LI Z J, et al. Research progress on the function, extraction process and application of dietary fiber[J]. Food Research and Development, 2018, 39(19): 218-224.)

[2] 唐宇,王旭熙,余娇娇. 世界大豆生产走势及我国大豆产业复兴策略[J]. 南方农业,2018,12(31): 88-92. (TANG Y, WANG X X, YU J J. The trend of world soybean production and the rejuvenation strategy of my country's soybean industry[J]. Southern Agriculture, 2018, 12(31): 88-92.)

[3] 陈霞,杨香久,徐永华,等. 豆渣膳食纤维制备工艺的研究[J]. 大豆科学, 2001, 20(2): 128-132. (CHEN X, YANG X J, XU Y H, et al. Study on the preparation technology of soybean dregs dietary fiber[J]. Soybean Science, 2001, 20(2): 128-132.)

[4] 卞靖. 提升我国大豆产业国际竞争力的对策研究[J]. 中国物价, 2018(9): 62-65. (BIAN J. Research on the counter-measures to improve the international competitiveness of my country's soybean industry[J]. China Prices, 2018(9): 62-65.)

[5] 张松,苏永平,李涛,等. 膳食纤维的功能特性及在食品领域的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(17): 214-218. (ZHANG S, SU Y P, LI T, et al. The functional properties of dietary fiber and its research progress in the field of food[J]. Food Research and Development, 2018, 39(17): 214-218.)

[6] 张世仙,杨春梅,吴金鸿,等. 豆渣膳食纤维提取方法及功能研究进展[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2009, 34(4): 93-97. (ZHANG S X, YANG C M, WU J H, et al. Research progress on the extraction method and function of soybean dregs dietary fiber[J]. Journal of Southwest Normal University (Natural Science Edition), 2009, 34(4): 93-97.)

[7] FANG H C, LI J Y, HUO T Y, et al. Novel double crosslinked gels of soybean protein isolates and soluble dietary fiber from soybean coats with their functionalities[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 113: 106474.

[8] WARDLEISON M M, GABRIELA I, PAULA V V, et al. Soybean biodiesel purification through an acid-system membrane technology: Effect of oil quali-ty and separation process parameters [J]. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2020, 95 (7): 1962-1969.

[9] 齐惠. 挤压—酶法联合制备豆渣水溶性膳食纤维及其性质研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016. (QI H. Preparation of water – soluble dietary fiber from bean dregs by extrusion – enzymatic method and its properties [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2016.)

[10] 杨梦曦, 朱叶, 邓雪盈, 等. 复合酶法提取豆渣膳食纤维的研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 186 – 189. (YANG M X, ZHU Y, DENG X Y, et al. Research on extraction of dietary fiber from soybean dregs by complex enzyme [J]. Food & Machinery, 2014, 30(4): 186-189.)

[11] 杜翠. 大豆酶解聚集体的改性及其在植脂奶油中的应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2020. (DU C. Modification of soybean enzymatic hydrolysis aggregate and its application in non-dairy cream [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.)

[12] 周利亘, 陈新峰, 王君虹, 等. 大豆多肽复合酶解工艺条件研究[J]. 食品科技, 2005(7): 22-25. (ZHOU L H, CHEN X F, WANG J H, et al. Study on the technological conditions of soybean peptide compound enzymatic hydrolysis [J]. Food Technology, 2005(7): 22-25.)

[13] 何昕. 大豆蛋白酶解工艺条件的研究[J]. 科技通报, 2000 (4): 278-282. (HE X. Study on the technological conditions of soybean proteolysis [J]. Science and Technology Bulletin, 2000 (4): 278-282.)

[14] 郭建. 大豆异黄酮提取纯化工艺研究[D]. 天津大学, 2012. (GUO J. Study on extraction and purification technology of soy isoflavones [D]. Tianjin University, 2012.)

[15] 和雪. 荞麦饼干加工工艺及品质分析[D]. 晋中: 山西农业大学, 2019. (HE X. The processing technology and quality analysis of buckwheat biscuits [D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2019.)

[16] 张月. 无糖燕麦麸皮饼干的研制及工艺优化[D]. 晋中: 山西农业大学, 2017. (ZHANG Y. Development and process optimization of sugar-free oat bran biscuit [D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2017.)

[17] 李志. 薏米饼干加工关键技术及质量分析研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017. (LI Z. Research on key technology and quality analysis of barley biscuits processing [D]. Guiyang: Guizhou University, 2017.)

[18] EL-SHENAWY M, HUSSEIN A M S, FOUAD M T. Production of biscuits from mixture of tiger nut flour, milk permeate and soft wheat flour[J]. Asian Food Science Journal, 2020; 11-21.

[19] 匡凤军, 刘群, 曹倩蕾, 等. 质构仪在食品行业中的应用综述[J]. 现代食品, 2020(3): 112-115. (KUANG F J, LIU Q, CAO Q L, et al. Summary of application of texture analyzer in food industry [J]. Modern Food, 2020(3): 112-115.)

[20] 贺丽霞. 基于 TA. XT 型质构仪的小麦面坯(片)加工品质评价方法的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011. (HE L X. Research on evaluation method of processing quality of wheat noodles (sheets) based on TA. XT texture analyzer [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2011.)

[21] AMALRAJ A, VARMA K, JACOB J, et al. Efficacy and safety of a gut health product (Actbiome) prepared by incorporation of asafoetida-curcumin complex onto the turmeric dietary fiber in the management of gut health and intestinal microflora in healthy subjects; A randomized, double-blind, placebo controlled study [J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2021, 26: 100280.

[22] 陈卫梅. 大豆膳食纤维饼干的研制[J]. 农产品加工, 2006 (12): 61-65. (CHEN W M. Development of soybean dietary fiber biscuits [J]. Processing of Agricultural Products, 2006 (12): 61-65.)

协 办 单 位

中国作物学会大豆专业委员会
东北农业大学大豆研究所
吉林省农业科学院大豆研究所
南京农业大学大豆研究所
辽宁省农业科学院作物研究所
河北省农林科学院粮油作物研究所