

DOI:10.16433/j.1673-2383.202401040001

程舒雅,柳泽华,许艳华,等.脱脂大豆粉酥性饼干工艺优化及品质研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2024,45(3):86-94.

CHENG S Y, LIU Z H, XU Y H, et al. Study on process optimization and quality of defatted soybean meal short biscuits[J]. Journal of Henan university of technology (natural science edition), 2024,45(3):86-94.

脱脂大豆粉酥性饼干工艺优化及品质研究

程舒雅¹,柳泽华¹,许艳华¹,赵仁勇^{1,2*}

1. 河南工业大学粮油食品学院,河南郑州450001

2. 中原食品实验室,河南漯河462300

摘要:为提高脱脂大豆粉在酥性饼干中的添加量以及探究脱脂大豆粉酥性饼干的营养价值,采用木瓜蛋白酶和磷脂对脱脂大豆粉酥性饼干进行改良,通过单因素试验确定脱脂大豆粉、磷脂和木瓜蛋白酶的添加量,结合正交试验确定脱脂大豆粉酥性饼干的最佳配方,并对产品进行营养评价。结果表明:脱脂大豆粉酥性饼干的最佳配方(以小麦粉质量为基准)为脱脂大豆粉20%、磷脂0.6%、木瓜蛋白酶0.035%、白砂糖22%、猪油22%、鸡蛋10%、小苏打0.6%、碳酸氢铵0.3%;改良后的脱脂大豆粉酥性饼干口感酥脆、营养价值高,其中蛋白质含量为15.23%、膳食纤维含量为19.88%、氨基酸配比合理;与对照及市售饼干相比,添加脱脂大豆粉提高了酥性饼干的营养价值。此工艺条件下的脱脂大豆粉酥性饼干可以作为一种营养强化饼干食用。

关键词:脱脂大豆粉;酥性饼干;配方优化;营养评价

中图分类号:TS201.1

文献标志码:A

文章编号:1673-2383(2024)03-0086-09

Study on process optimization and quality of defatted soybean meal short biscuits

CHENG Shuya¹, LIU Zehua¹, XU Yanhua¹, ZHAO Renyong^{1,2*}

1. College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China

2. Food Laboratory of Zhongyuan, Luohe 462300, China

Abstract: Defatted soybean meal has high protein content and reasonable amino acid ratio, which has rich nutritional value. Adding it to short biscuit can improve the nutritional value of biscuits. However, the addition of defatted soybean meal to short biscuit might cause a decline in sensory quality. Papain can hydrolyze the polypeptide chain of gluten and break it down into shorter peptides, which weakens the elasticity, toughness and strength of dough, and can be used as an improver for biscuits. Phospholipid is an emulsifier that can reduce the formation of gluten and make biscuits crispy. In this experiment, the defatted soybean meal short biscuit was improved by papain and phospholipid, the best formula of defatted soybean meal short biscuit was obtained by orthogonal experiment, and the nutrition of the product was evaluated. The results showed that through quality improvement, the addition of defatted soybean meal in short biscuit could be increased to 20%. The best formula of defatted soybean meal short biscuit was as follows: defatted soybean meal was 20%, phospholipid was 0.6%, papain was 0.035%, white granulated sugar was 22%,

收稿日期:2024-01-04

基金项目:河南省重大科技专项(231100110300)

作者简介:程舒雅(1996—),女,河南商丘人,硕士研究生,研究方向为粮食资源转化与利用。

*通信作者:赵仁勇,教授,博导,E-mail:zry8600@haut.edu.cn。

lard was 22%, egg was 10%, baking soda was 0.6%, ammonium bicarbonate was 0.3%. The improved defatted soybean meal short biscuit had a delicate and crisp taste and a pleasant flavor. Under this technological condition, the addition of defatted soybean meal in short biscuit was significantly improved. Meanwhile, experiments have proved that defatted soybean meal short biscuit has rich nutritional value. Compared with blank short and commercially available biscuits, the protein content of defatted soybean meal short biscuit was 15.23%, the dietary fiber was 19.88%, and the ratio of amino acid was reasonable, which proved that the nutritional value of short biscuit was improved. In summary, the defatted soybean meal short biscuit under this process condition can be eaten as a nutritionally fortified biscuit.

Key words: defatted soybean meal; short biscuit; formula optimization; determination of nutrition

酥性饼干是以谷类粉和/或豆类、薯类粉等为主要原料,添加油脂或糖以及其他配料,经冷粉工艺调粉、成型、焙烤制成的,断面结构呈多孔状组织、口感酥松或松脆的饼干,保质期长,广受消费者喜爱^[1]。普通酥性饼干主要原料为小麦粉,而小麦粉中必需氨基酸占总氨基酸的比例约为 22%(赖氨酸仅为 1.4%),远低于世界卫生组织(WHO)和粮农组织(FAO)提出的正常人体蛋白质合成对必需氨基酸需要量的估计值^[2-3]。市售酥性饼干富含碳水化合物和脂肪等营养物质,但蛋白质、矿物质和膳食纤维含量较低,营养不均衡^[4]。因此开发一种高膳食纤维、高蛋白质的饼干更符合健康饮食理念,具有巨大的市场发展潜力。

目前,高温豆粕多用于饲料生产,而低温豆粕多用于食品加工。脱脂大豆粉是以脱皮食用级豆粕为原料,经研磨、过筛所获得的粉末状产品,蛋白质含量高达 45%~50%,且氨基酸组成合理;此外,还含有较高的磷、钠和钙等矿物质元素,以及大量的酚类、类黄酮和抗氧化剂等^[5-6]。因此,脱脂大豆粉可作为优质的蛋白及矿物质等营养组分的来源,将其添加到酥性饼干中可提高饼干的营养价值^[7]。

关于脱脂大豆粉在酥性饼干中应用的相关文献较少。Devi 等^[8]报道了添加大豆粉后饼干硬度显著增加,添加量 5%时可制作出消费者能接受的大豆复合饼干;孙瑞等^[9]将焙烤后的豆粕粉添加到酥性饼干中,豆粕的最佳添加量为 8%,与空白对比,饼干中的异黄酮和膳食纤维含量显著提高。

为提高脱脂大豆粉在酥性饼干的添加量和饼干的营养价值,作者采用未经任何处理的脱脂大豆粉,保留了其原有营养成分,并通过添加木瓜蛋白酶和磷脂提高脱脂大豆粉在酥性饼干中的添加量,改善了脱脂大豆粉酥性饼干食用品质

及营养价值,为开发脱脂大豆粉酥性饼干提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

低温食用豆粕(水分 7.66%、蛋白质 54.81%、灰分 7.06%、粗脂肪 0.46%);山东御馨生物科技有限公司;猪油、食用小苏打:上海市枫未实业有限公司;砂糖:云南滇鹏糖业有限公司;食用碳酸氢铵:河南千志商贸有限公司;美玫低筋粉:江苏南顺食品有限公司;鸡蛋、3 种酥性饼干:市售;食品级大豆卵磷脂(纯度 $\geq 95\%$):河南万邦化工有限公司;木瓜蛋白酶(800 U/mg):上海源叶生物科技有限公司;胰蛋白酶(2 500 U/mg)、胃蛋白酶(1 200 U/g):国药集团化学试剂有限公司;氢氧化钠、乙酸镁、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、三氯乙酸:均为分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

SM-10 和面机:新麦机械有限公司;JMTD-168/148 实验面条机:北京东孚久恒技术有限公司;GC-1100 烤箱:惠州高比烘焙设备有限公司;TA.XT plus 质构仪:英国 Stable Micro System 公司;S433D 全自动氨基酸分析仪:德国 Sykam 公司;CR-400 彩色色差仪:柯尼卡美能达(中国)投资有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 酥性饼干制备工艺

酥性饼干的制作参考马文惠^[10]的方法并稍加修改。将粉碎过筛的 22%白砂糖粉用适量水溶解后添加到 22%猪油里,使用和面机快速搅拌 15 s,加入 10%蛋液继续快速搅拌 15 s,再加入用适量水溶解的 0.6%小苏打和 0.3%食用碳酸氢铵快速搅拌 15 s,最后加入 100 g 小麦粉低速搅

拌 1.5 min。以上质量分数均以小麦粉为基准。将调制好的面团用保鲜膜包裹并静置约 6 min,然后用面条机辊压至厚约 3 mm;圆形饼干坯采用印模手工压膜成型,置于上火 190 ℃、下火 180 ℃的烤箱中焙烤 15 min。饼干冷却至室温后测定品质特性。

1.3.2 酥性饼干质构特性的测定

饼干的感知硬度与仪器测定硬度具有显著相关性,而三点弯曲广泛应用于测定饼干和薯片等的质构特性^[11-12]。饼干质构特性测定参考刘红^[13]的方法并稍加修改,使用探头为 HDP-3PB,测试模式为破裂模式;探头在测前、测中和测后上下移动的速率分别为 1.0、1.0、10.0 mm/s;探头下压距离为 10 mm,触发力为 5 g;数据采集速率为 500 pps。

1.3.3 酥性饼干色泽的测定

随机选取 6 块饼干,采用色彩色差仪测定饼干的 L^* (亮度)、 a^* (红绿度)、 b^* (黄蓝度)。

1.3.4 品质改良单因素试验

在 1.3.1 基础上添加 0.015% 木瓜蛋白酶、0.4% 磷脂作为品质改良单因素试验的基础配方,探究脱脂大豆粉添加量(0%、10%、15%、20%、25%、30%)、磷脂添加量(0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%)、木瓜蛋白酶添加量(0%、0.005%、0.015%、0.025%、0.035%)对脱脂大豆粉酥性饼干的影响。以上添加量均以小麦粉的使用量为基准计。

1.3.5 正交试验优化饼干的配方

在单因素试验的基础上,以硬度为评价指标,采用正交试验优化饼干的配方。

1.3.6 饼干的感官评价

饼干感官评价参考孙瑞等^[9]的方法,挑选 10 名感官评定人员进行感官评价。

1.3.7 饼干理化特性的测定

水分、粗蛋白、灰分、粗脂肪、膳食纤维、氨基酸等分别按照 GB 5009.3—2016、GB/T 5009.5—2016、GB/T 5009.4—2016、GB/T 5009.6—2016、GB 5009.88—2014 和 GB/T 5009.124—2016 进行测定。

计算氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)^[14]。

$EAAI = [(100A/A_E) \times (100B/B_E) \times \dots \times (100I/I_E)]^{1/n}$, 式中: n 为必需氨基酸个数; $A、B、\dots、I$ 为试验样品中蛋白质必需氨基酸的含量,%; $A_E、B_E、\dots、I_E$ 为全鸡蛋中蛋白质必需氨基酸的含量,%。

计算氨基酸评分(amino acid score, AAS)和化学评分(chemical score, CS)。

$$AAS = \rho/A_1, CS = \rho/A_2,$$

式中: ρ 为试验样品中氨基酸的含量,%; A_1 为 FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸的含量,%; A_2 为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸的含量,%。

生物价(biological value, BV)表示测试蛋白的可利用程度, $BV = 1.09 \times EAAI - 11.7$ 。

营养指数(nutrition index, NI)可将试验蛋白质定性和定量的变化与其营养状况进行比较,NI 计算参照曹伟超^[15]的方法。

$$NI = EAAI \times C/100,$$

式中: C 为样品蛋白质的含量,%。

1.3.8 饼干蛋白质体外消化率的测定

采用胃-胰蛋白酶两步消化法测定饼干蛋白质体外消化率^[16]。

$$R = (a - b)/a \times 100\%,$$

式中: R 为体外消化率; a 为饼干中粗蛋白含量,%; b 为消化沉淀物的蛋白含量,%。

1.4 数据分析

所有试验均重复 3 次,结果以平均值±标准差表示,采用 SPSS 20 进行 Duncan 方差分析,采用 Origin 2022 进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 脱脂大豆粉添加量对酥性饼干特性的影响

2.1.1 脱脂大豆粉添加量对酥性饼干感官评分的影响

由表 1 可知,随着脱脂大豆粉添加量的增加,饼干色泽、形态、组织和滋味没有显著变化,口感得分呈现下降的趋势,当添加量为 10% 时,酥性饼干的口感得分仅为 10.33,此时酥性饼干较硬、不酥脆,说明脱脂大豆粉主要影响饼干的硬度。

2.1.2 脱脂大豆粉添加量对酥性饼干色泽的影响

由图 1 可知,随着脱脂大豆粉添加量的增加,饼干 L^* 下降、 a^* 和 b^* 增加,这与 Cheng 等^[17] 研究结果一致。由表 1 可知,与色差仪测定结果不同的是,随着脱脂大豆粉添加量的增加,酥性饼干色泽的变化在感官上差异不显著。

2.1.3 脱脂大豆粉添加量对酥性饼干硬度的影响

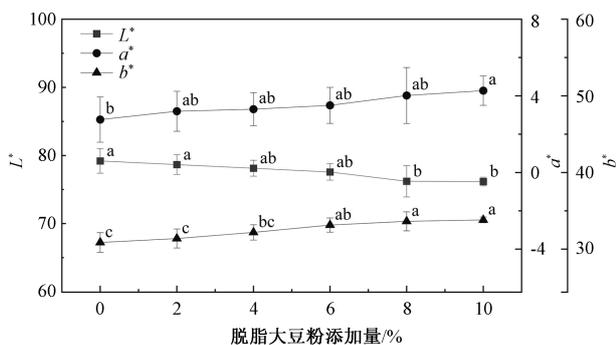
饼干硬度越大则越不酥脆,口感越差^[18]。由图 2 可知,饼干硬度随着脱脂大豆粉添加量的增加而变大,与 Yadav 等^[19] 的研究结果一致。当脱

表 1 脱脂大豆粉添加量对酥性饼干感官评分的影响

Table 1 Effect of addition of defatted soybean meal on sensory quality of short biscuit

添加量/%	色泽	形态	组织	口感	滋味	总分
0	11.33±1.53 ^a	12.33±1.52 ^a	20.33±2.89 ^a	24.00±1.00 ^a	18.33±0.58 ^a	86.33±5.50 ^a
2	11.67±1.53 ^a	12.67±1.52 ^a	22.33±0.58 ^a	23.00±1.00 ^a	17.67±0.58 ^a	87.33±3.21 ^a
4	12.00±1.73 ^a	13.33±1.15 ^a	21.00±2.65 ^a	22.33±1.15 ^b	18.00±1.00 ^a	86.67±5.50 ^a
6	12.00±1.00 ^a	12.33±0.58 ^a	20.67±2.52 ^a	20.67±2.52 ^{bc}	17.33±0.58 ^a	83.00±3.60 ^b
8	12.67±1.53 ^a	13.00±1.00 ^a	22.33±1.15 ^a	14.33±2.52 ^{bc}	17.67±0.58 ^a	80.00±1.00 ^{bc}
10	11.67±1.53 ^a	12.67±1.53 ^a	22.33±1.15 ^a	10.33±1.15 ^c	17.33±0.58 ^a	74.33±2.52 ^c

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表 2—表 4 同。



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图 2—图 5,图 7 同。

图 1 脱脂大豆粉添加量对酥性饼干色泽的影响

Fig. 1 Effect of the addition of defatted soybean meal on color of short biscuit

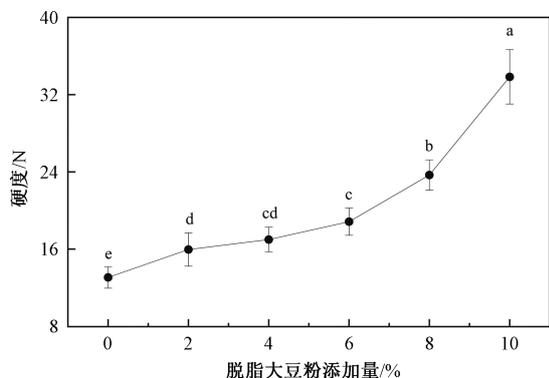


图 2 脱脂大豆粉添加量(0~10%)对酥性饼干硬度的影响

Fig. 2 Effect of the addition of defatted soybean meal (0-10%) on hardness of short biscuit

脂大豆粉添加量为 8% 时,酥性饼干硬度为 23 N 左右,此时酥性饼干口感酥脆、较细腻;添加量为 10% 时,酥性饼干硬度为 33 N 左右,饼干口感较硬。综上所述,提高酥性饼干中脱脂大豆粉添加量需要降低饼干硬度以解决口感问题,从而改善脱脂大豆粉酥性饼干的感官品质。

2.2 单因素试验结果与分析

2.2.1 脱脂大豆粉添加量对酥性饼干硬度的影响

根据预试验得知当添加改良剂后,脱脂大豆

粉酥性饼干硬度下降,相应地,将脱脂大豆粉添加量调整为 10%~30%。

由图 3 可知,饼干硬度随着脱脂大豆粉添加量增加而变大,这与 Kulthe 等^[20]的研究结果一致。脱脂大豆粉添加量为 20% 和 25% 时饼干硬度没有显著性差异,当添加量为 30% 时,硬度超过 30 N,此时饼干硬度过大。饼干添加脱脂大豆粉后硬度增加可能是脱脂大豆粉中蛋白质造成的影响:脱脂大豆粉中的一些蛋白大分子具有热凝胶特性,在烘烤过程中增加了面筋网络的强度,从而使饼干硬度变大;也可能是大豆蛋白在高温加工时发生热变性,分子内部一些残基外露,参与面团中蛋白网络的交联作用,从而增加了饼干硬度^[21-22]。因此,选择 25% 脱脂大豆粉作后续研究。

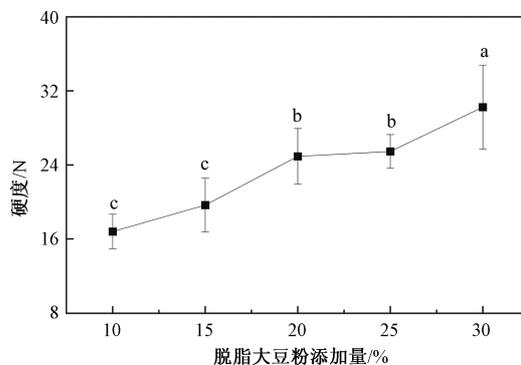


图 3 脱脂大豆粉添加量(10%~30%)对酥性饼干硬度的影响

Fig. 3 Effect of the addition of defatted soybean meal (10%-30%) on hardness of short biscuit

2.2.2 磷脂添加量对酥性饼干硬度的影响

研究表明,使用磷脂等表面活性剂后,饼干变得酥脆^[23]。由图 4 可知,随着磷脂添加量的增加,饼干硬度呈下降趋势,在 0.6% 和 0.8% 添加量时饼干硬度较小且无显著差异。磷脂降低饼干硬度的原因:乳化剂可促进脂肪相在面团亲水成分中均匀分散,可阻隔面筋的形成;乳化剂中强极性基团竞争性降低小麦粉中蛋白质与水的结合,减缓面筋网络的形成,从而使饼干更松

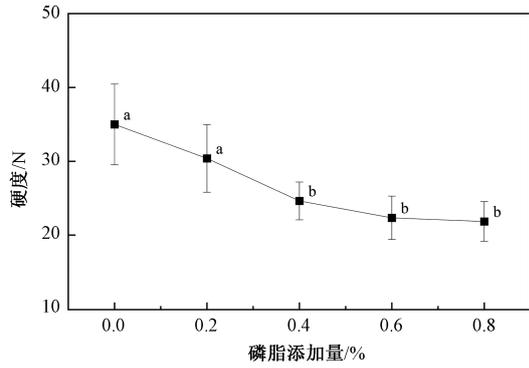


图4 磷脂添加量对酥性饼干硬度的影响
Fig. 4 Effect of the addition of phospholipid on hardness of short biscuit

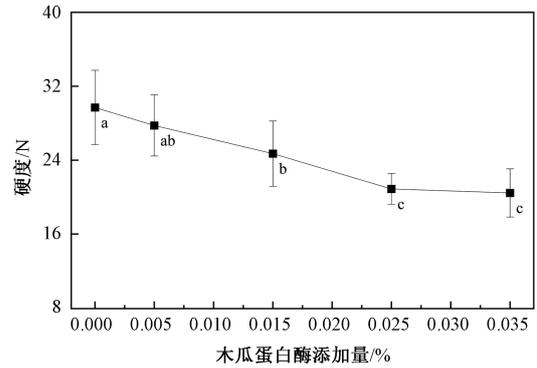


图5 木瓜蛋白酶添加量对酥性饼干硬度的影响
Fig. 5 Effect of the addition of papain on hardness of short biscuit

软^[24-25]。因此,选择磷脂添加量为 0.6%。

2.2.3 木瓜蛋白酶添加量对酥性饼干硬度的影响

由图 5 可知,饼干硬度随着木瓜蛋白酶添加量的增加而下降,在添加量 0.025% 和 0.035% 时饼干硬度没有显著性差异。木瓜蛋白酶降低饼干硬度可能是由于其作用于小麦或大豆蛋白多肽链时,将多肽链分解为较短的肽段,削弱面筋中的网状组织,降低面团的弹性、韧性和强度,进而降低饼干的硬度^[26-27]。因此,选择木瓜蛋白酶添加量 0.025% 作后续研究。

2.3 正交试验结果与分析

由表 2 可知,第 7 组饼干硬度最小,且结合表 3 可知,此组感官评分也最高,通过极差分析得到的最优组合为 A₁B₃C₃。但考虑到磷脂添加剂的成本,且磷脂对饼干硬度影响最低,因此选择 A₁B₂C₃ 组合为最佳水平,即脱脂大豆粉 20%、磷

表 2 正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal experiment

试验号	A 脱脂大豆粉	B 磷脂	C 木瓜蛋白酶	硬度/N
1	1(20%)	1(0.4%)	1	23.25±3.67 ^{bc}
2	2(25%)	2(0.6%)	1	20.53±2.10 ^{bed}
3	3(30%)	3(0.8%)	1(0.015%)	23.95±3.05 ^b
4	3	2	2(0.025%)	27.61±3.50 ^a
5	2	1	2	22.17±3.38 ^{bc}
6	1	3	2	16.72±3.01 ^e
7	1	2	3(0.035%)	16.58±1.18 ^e
8	2	3	3	17.30±1.26 ^{de}
9	3	1	3	20.09±2.37 ^{cde}
k ₁	18.85 ^b	21.83 ^a	22.57 ^a	
k ₂	20.00 ^b	21.57 ^a	22.16 ^a	
k ₃	23.88 ^a	19.32 ^{ab}	17.99 ^b	
R	5.03	2.51	4.58	

脂 0.6%、木瓜蛋白酶 0.035%。

表 3 正交试验组感官评分

Table 3 Sensory score of orthogonal experiment

试验编号	1	2	3	4	5
感官评分	89.33±5.36 ^{abc}	88.44±5.48 ^{abc}	86.78±8.94 ^{bc}	84.67±8.77 ^c	91.00±2.45 ^{ab}
试验编号	6	7	8	9	
感官评分	92.33±2.87 ^{ab}	93.22±2.44 ^a	91.78±3.42 ^{ab}	89.78±3.67 ^{abc}	

2.4 脱脂大豆粉酥性饼干与市售饼干的对比

2.4.1 理化指标的对比

由表 4 可知,脱脂大豆粉酥性饼干的粗蛋白和膳食纤维含量比对照饼干分别提高了 67.0% 和 68.8%。灰分含量可反映样品中矿物质元素含量,提供了其存在必需矿物质水平的估计值^[28]。脱脂大豆粉酥性饼干的灰分为 1.38%,市售饼干 3 的灰分为 1.60%,显著高于其他饼干的灰分含量,可推断这两种饼干矿物质元素含量高。

2.4.2 营养指标的对比

蛋白质的营养价值主要取决于所含必需氨基酸的种类、数量和组成比例^[29]。由图 6 可知,在 5 种饼干中,脱脂大豆粉酥性饼干氨基酸含量均高于其他饼干,其中赖氨酸氨基酸含量是对照饼干的 3.54 倍。

对 5 种饼干的氨基酸进行 CS 和 AAS 评分,得分越高说明其越接近理想蛋白质模式。饼干的第一限制性氨基酸为赖氨酸,由表 5 可知,脱脂大豆粉酥性饼干赖氨酸的 CS 和 AAS 均是对照

表 4 脱脂大豆粉酥性饼干与市售饼干理化特性的比较

Table 4 Comparison of physiochemical properties between defatted soybean meal short biscuits and commercially available biscuits

样品	水分	粗脂肪	灰分	粗蛋白	膳食纤维
对照饼干	1.08±0.05 ^e	17.83±0.84 ^e	0.56±0.02 ^d	9.12±0.01 ^b	11.78
脱脂大豆粉酥性饼干	2.34±0.00 ^a	17.98±1.34 ^e	1.38±0.02 ^b	15.23±0.00 ^a	19.88
市售饼干 1	1.43±0.02 ^d	15.94±0.10 ^d	0.73±0.05 ^c	8.48±0.02 ^d	10.07
市售饼干 2	1.54±0.04 ^e	23.65±0.14 ^a	0.49±0.01 ^e	7.55±0.03 ^e	11.02
市售饼干 3	1.94±0.05 ^b	18.39±0.56 ^b	1.60±0.03 ^a	8.66±0.02 ^e	10.75

注:指标均为干基含量。

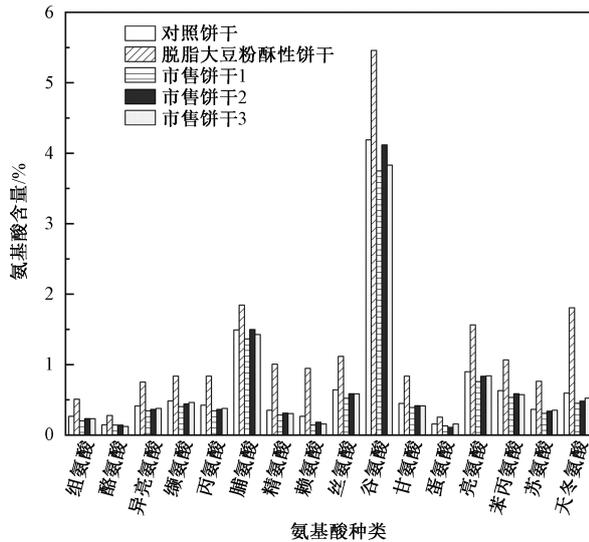


图 6 脱脂大豆粉酥性饼干与市售饼干氨基酸含量比较

Fig. 6 Comparison of amino acid content in defatted soybean meal short biscuits and commercially available biscuits

饼干的 2.12 倍,是市售饼干 1、2、3 的 3.70 倍、2.57 倍和 1.42 倍,说明添加脱脂大豆粉可有效

改善酥性饼干的赖氨酸组成。

对饼干的蛋白质进行营养评价,必需氨基酸指数 EAAI 反映了蛋白质氨基酸模式与标准蛋白的接近程度。由表 6 可知,脱脂大豆粉酥性饼干 EAAI 最大,说明在 5 种饼干中,脱脂大豆粉酥性饼干的蛋白质营养与鸡蛋蛋白更为接近,能够更好地满足人体需要;生物价 BV 反映了食物中的蛋白质经消化吸收后机体对氮元素的利用程度,脱脂大豆粉酥性饼干的 BV 为 80.746,显著高于其他饼干,说明其蛋白质所提供的氮源更易于被人体保留;营养指数 NI 综合反映食品中蛋白质的数量与质量^[30],脱脂大豆粉酥性饼干 NI 为 12.917,是其他饼干的 2 倍左右,说明其营养指数最高。

由图 7 可知,实验室条件制作的饼干比市售饼干蛋白质消化率低,可能是原料和工艺不同造成:烘焙开始时引入蒸汽,烘焙温度和时间分别低于 220 ℃ 和 15 min 时有助于提高蛋白质消化率;原料不同导致的美拉德反应差异将引起饼干蛋白质消化率不同^[31-32]。脱脂大豆粉酥性饼干蛋白质消化率低于对照饼干可能是因为大豆中

表 5 脱脂大豆粉酥性饼干与市售饼干氨基酸评分比较

Table 5 Comparison of amino acid scores between defatted soybean meal short biscuits and commercially available biscuits

指标	氨基酸	对照饼干	脱脂大豆粉酥性饼干	市售饼干 1	市售饼干 2	市售饼干 3
CS	异亮氨酸 Ile	0.855	0.932	0.766	0.913	0.825
	亮氨酸 Leu	1.153	1.203	1.048	1.293	0.511
	苏氨酸 Thr	0.855	1.074	0.779	0.961	0.935
	缬氨酸 Val	0.755	0.779	0.674	0.832	0.619
	蛋+胱氨酸 Met+Cys	0.397	0.391	0.360	0.372	0.707
	苯丙+酪氨酸 Phe+Tyr	0.943	0.978	0.882	1.069	0.483
	赖氨酸 Lys	0.415	0.880	0.238	0.343	0.619
AAS	异亮氨酸 Ile	1.132	1.235	1.014	1.208	1.092
	亮氨酸 Leu	1.399	1.459	1.272	1.569	0.620
	苏氨酸 Thr	0.999	1.254	0.909	1.122	1.092
	缬氨酸 Val	1.074	1.108	0.959	1.183	0.880
	蛋+胱氨酸 Met+Cys	0.696	0.686	0.632	0.652	1.241
	苯丙+酪氨酸 Phe+Tyr	1.401	1.454	1.312	1.590	0.718
赖氨酸 Lys	0.538	1.142	0.309	0.444	0.803	

表6 脱脂大豆粉酥性饼干与市售饼干蛋白质营养价值比较

Table 6 Comparison of protein nutritional values between defatted soybean meal short biscuits and commercially available biscuits

指标	对照饼干	脱脂大豆粉酥性饼干	市售饼干1	市售饼干2	市售饼干3
EAAI	71.852	84.813	61.117	74.614	65.473
TAA	11.843	19.994	10.131	11.083	10.800
EAA	3.218	6.186	2.622	2.860	2.928
NEAA	8.626	13.808	7.509	8.223	7.872
E/T	27.168	30.941	25.881	25.803	27.109
E/N	37.303	44.804	34.919	34.776	37.192
BV	66.619	80.746	54.918	69.629	59.666
NI	6.553	12.917	5.183	5.633	5.670

注:TAA为氨基酸总量;EAA为必需氨基酸;NEAA为非必需氨基酸;E/T为必需氨基酸与总氨基酸比值;E/N为非必需氨基酸与非必需氨基酸比值。

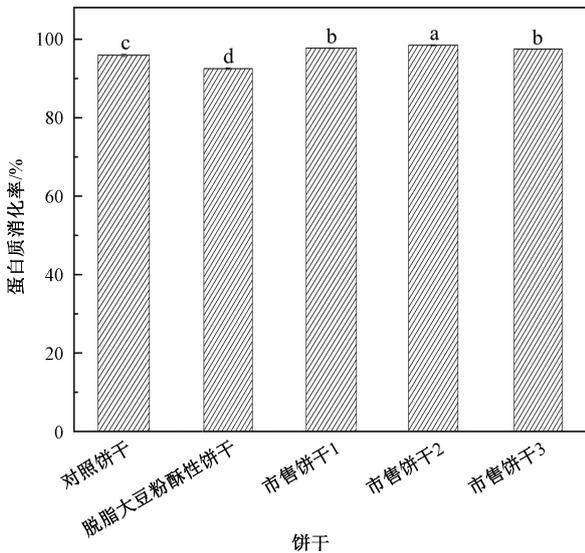


图7 脱脂大豆粉酥性饼干与市售饼干体外蛋白质消化率比较

Fig. 7 Comparison of *in vitro* protein digestibility between defatted soybean meal short biscuits and commercially available biscuits

胰蛋白酶抑制剂与肠道内的胰蛋白酶结合形成稳定复合物,从而降低胰蛋白酶对蛋白质的消化率^[33]。但也有研究表明未消化的大豆蛋白可改变肠道微生物组成、与营养物质及肠膜相互作用,从而减少体脂、降低高血糖等的发生^[34]。

3 结论

通过正交试验对脱脂大豆粉酥性饼干的配

方进行优化,得到最佳配方(以小麦粉质量为基准):脱脂大豆粉 20%、磷脂 0.6%、木瓜蛋白酶 0.035%、白砂糖 22%、猪油 22%、小苏打 0.6%、碳酸氢铵 0.3%、鸡蛋 10%。此配方下脱脂大豆粉酥性饼干口感酥脆,蛋白质含量为 15.23%,膳食纤维含量为 19.88%。虽然添加脱脂大豆粉后酥性饼干的蛋白质消化率有所降低,但是从氨基酸平衡角度分析,脱脂大豆粉酥性饼干的综合营养品质更好。因此,脱脂大豆粉可作为一种营养补充剂应用在酥性饼干中。

参考文献:

- [1] 陆林. 鹰嘴豆粉强化对饼干淀粉消化性与质构的影响及其机制[D]. 无锡:江南大学, 2023.
- [2] 李兴江,王巧云,李静红,等. 黑豆渣粉对饼干品质的影响研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(20): 152-158.
- [3] GORISSEN S H M, CROMBAG J J R, SENDEN J M G, et al. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates[J]. Amino acids, 2018, 50(12): 1685-1695.
- [4] 孟庆,闫泽华,孙亚楠. 响应面法优化芸豆椰香酥性饼干配方[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(4): 1271-1278.
- [5] ROBBANI R B, HOSSEN M M, MITRA K, et al. Nutritional, phytochemical, and *in vitro* antioxidant activity analysis of different states of soy products[J]. International journal of food science, 2022, 2022: 9817999.
- [6] 秦健,许皎皎,童惠英,等. 食用级豆粕的加工新技术及其应用[J]. 粮食与食品工业, 2016, 23(3): 29-31.
- [7] HARISH T, BHUVANESHWARI G, JAGADEESH S L, et al. Development of cookies incorporated with pomegranate seed powder and defatted soybean flour[J]. International journal of fruit science, 2022, 22(1): 504-513.
- [8] DEVI K, HARIPRIYA S. Pasting behaviors of starch and protein in soy flour-enriched composite flours on quality of biscuits[J]. Journal of food processing and preservation,

- 2014, 38(1): 116-124.
- [9] 孙瑞, 叶妍, 马赛, 等. 豆粕酥性饼干的加工制作[J]. 粮食与食品工业, 2018, 25(1): 41-44, 48.
- [10] 马文惠. 酥性饼干的实验室制作和品质评价方法的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012.
- [11] KIM E H J, CORRIGAN V K, WILSON A J, et al. Fundamental fracture properties associated with sensory hardness of brittle solid foods[J]. Journal of texture studies, 2012, 43(1): 49-62.
- [12] CHEN L, OPARA U L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods: a review[J]. Food research international, 2013, 51(2): 823-835.
- [13] 刘红. 微波焙烤条件对饼干品质的影响及美拉德有害产物的控制研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2017.
- [14] 刘昆仑, 李央, 陈复生. 糙米、白米和米糠营养成分分析与评价[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(3): 7-12, 25.
- [15] 曹伟超. 含麦麸黑豆酸面团发酵面包的营养与烘焙特性[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
- [16] 刘艳美, 周学永, 付荣霞, 等. 谷物蛋白体外消化率测定方法的修正[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 68-73.
- [17] CHENG Y F, BHAT R. Functional, physicochemical and sensory properties of novel cookies produced by utilizing underutilized jering (*Pithecellobium jiringa* Jack.) legume flour[J]. Food bioscience, 2016, 14: 54-61.
- [18] 张康逸, 张灿, 郭东旭, 等. 酶对饼干粉及韧性饼干品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(12): 201-206.
- [19] YADAV R B, YADAV B S, DHULL N. Effect of incorporation of plantain and chickpea flours on the quality characteristics of biscuits[J]. Journal of food science and technology, 2012, 49(2): 207-213.
- [20] KULTHE A A, PAWAR V D, KOTTECHA P M, et al. Development of high protein and low calorie cookies[J]. Journal of food science and technology, 2014, 51(1): 153-157.
- [21] 桑尚源. 鸡蛋改善馒头与面包品质的机理探究[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
- [22] VASANTHAKUMARI P, JAGANMOHAN R. Process development and formulation of multi-cereal and legume cookies[J]. Journal of food processing and preservation, 2018, 42(12): e13824.
- [23] KUMAR K A, SHARMA G K. The effect of surfactants on multigrain incorporated short biscuit dough and its baking quality [J]. Journal of food measurement and characterization, 2018, 12(2): 1360-1368.
- [24] LI S Y, ZHU L, WU G C, et al. Relationship between the microstructure and physical properties of emulsifier based oleogels and cookies quality[J]. Food chemistry, 2022, 377: 131966.
- [25] 李诗义. 曲奇用油凝胶的构建及其对曲奇品质的影响机制[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- [26] 张磊, 郭宏民, 任鹏, 等. 木瓜蛋白酶对小麦粉弱筋效果的影响研究[J]. 现代面粉工业, 2022, 36(2): 18-20.
- [27] BOSE A, PANDEY P K. Redesigning a biscuit formulation to eliminate sodium metabisulfite[J]. Journal of food processing and preservation, 2022, 46(7): 1-18.
- [28] 王思琦, 宋记明, 曹敏, 等. 不同木薯种质资源主要矿物质元素差异性分析[J]. 热带作物学报, 2022, 43(8): 1577-1586.
- [29] 顾可飞, 周昌艳. 烘干对羊肚菌营养成分影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(6): 47-51.
- [30] 罗昆, 曹伟超, 马子琳, 等. 高产植酸酶乳酸菌发酵对黑豆面包蛋白质品质及烘焙特性的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(6): 111-117.
- [31] BREDARIOL P, CARVALHO R A, VANIN F M. The effect of baking conditions on protein digestibility, mineral and oxalate content of wheat breads[J]. Food chemistry, 2020, 332: 127399.
- [32] SMITH F, PAN X Y, BELLIDO V, et al.

- Digestibility of gluten proteins is reduced by baking and enhanced by starch digestion[J]. *Molecular nutrition & food research*, 2015, 59(10): 2034-2043.
- [33] 姜妍, 王绍东, 李远明, 等. 大豆胰蛋白酶抑制剂的抗性应用[J]. *作物杂志*, 2014(4): 22-27.
- [34] LEE J, YUM Y, KIM S, et al. Soy protein remnants digested by gastro-duodenal proteases can alter microbial interactions and intestinal cholesterol absorption[J]. *Current proteomics*, 2021, 18(2): 212-223.

(责任编辑 周凤航)

(上接第 85 页)

- [21] YANG C H, ZHONG F, DOUGLAS GOFF H, et al. Study on starch-protein interactions and their effects on physicochemical and digestible properties of the blends[J]. *Food chemistry*, 2019, 280: 51-58.
- [22] SALEH M I. Protein-starch matrix microstructure during rice flour pastes formation[J]. *Journal of cereal science*, 2017, 74: 183-186.
- [23] 岳媛媛, 刘效谦, 母梦羽, 等. 新收获小麦后熟过程中麦谷蛋白大聚体二级结构变化与面团流变学特性的关系研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2021, 42(5): 39-46, 63.
- [24] 刘锐. 和面方式对面团理化结构和面条质量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- [25] 焦扬, 王治江, 魏阳, 等. 马铃薯变性淀粉对马铃薯-小麦混粉糊化特性的影响及其在马铃薯面条中的应用[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(5): 58-64, 71.
- [26] 高凤, 郭晓娜, 朱科学. 面粉特性对燕麦挂面品质的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2021, 40(3): 46-54.
- [27] 徐芬, 胡宏海, 张春江, 等. 不同蛋白对马铃薯面条食用品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(12): 269-276.
- [28] WANG J, ZHAO S M, MIN G, et al. Starch-protein interplay varies the multi-scale structures of starch undergoing thermal processing[J]. *International journal of biological macromolecules*, 2021, 175: 179-187.
- [29] 申慧珊. 面团加工过程中小麦 A、B 淀粉影响面筋蛋白结构转变的机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023.

(责任编辑 姚玮华)