

脱毒亚麻饼粉对馒头品质的影响

曹伟伟, 黄庆德, 田光晶, 邓乾春

(中国农业科学院油料作物研究所, 油料脂质化学与营养湖北省重点实验室, 湖北武汉 430062)

摘要: 研究了脱毒亚麻饼粉的不同添加比例对馒头比容、色泽、质构、感官和营养等品质的影响。结果表明: 添加过多的脱毒亚麻饼粉, 会使馒头的比容、扩展比下降以及色泽变暗; 质构结果表明, 随着脱毒亚麻饼粉添加比例的增加, 馒头的硬度、胶粘性、咀嚼性不断增加, 弹性、内聚性与回复性不断减小; 馒头的油脂、蛋白质和灰分含量逐渐增加, 氨基酸含量除脯氨酸外均呈增加趋势, 木酚素含量也显著增加 ($p < 0.05$), 添加 15% 脱毒亚麻饼粉馒头的木酚素含量高达 3.34 mg/g; 馒头的感官评分随着脱毒亚麻饼粉的添加比例增大逐渐降低, 但添加 3% 和 6% 脱毒亚麻饼粉馒头的感官评分显著高于其他添加脱毒亚麻饼粉的馒头, 二者的感官评分均大于 90 且没有显著性差异, 因添加 6% 脱毒亚麻饼粉馒头含有更多的油脂、蛋白质和木酚素等营养物质, 故选择脱毒亚麻饼粉的最佳添加比例为 6%。

关键词: 脱毒亚麻饼粉; 馒头; 品质

文章编号: 1673-9078(2016)11-190-196

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.11.029

Effect of Detoxified, Partially Defatted Flaxseed Meals on the Quality of Steamed Bread

CAO Wei-wei, HUANG Qing-de, TIAN Guang-jing, DENG Qian-chun

(Oilcrops Research Institute of Chinese Academy of Agriculture Sciences, Hubei Key Laboratory of Lipid Chemistry and Nutrition, Wuhan 430062, China)

Abstract: The effect of different levels of detoxified, partially defatted flaxseed meals on the specific volume, color, texture, sensory characteristics, nutritional quality, and other characteristics of steamed bread was studied. The results showed that adding excessive amount of detoxified, partially defatted flaxseed meals could decrease the specific volume and expansion ratio of steamed bread, and the bread turns dark in color. The textural test showed that the hardness, gumminess, and chewiness of steamed breads increased continuously with increasing amounts of detoxified, partially defatted flaxseed meals, while springiness, cohesiveness, and resilience decreased continuously. The fat, protein, and ash contents increased, but the content of amino acids (except for proline) showed an increasing trend. Moreover, the lignan content also significantly increased ($p < 0.05$), and lignan content in a steamed bread containing 15% detoxified, partially defatted flaxseed meals could be up to 3.34 mg/g. The sensory evaluation score of steamed bread gradually decreased with increasing amount of detoxified, partially defatted flaxseed meals. However, the sensory evaluation scores of the steamed breads with additions of 3% and 6% of detoxified, partially defatted flaxseed meals (above 90) were significantly higher than the other tested steamed breads, and showed no significant differences between each other. Since the steamed breads with addition of 6% detoxified, partially defatted flaxseed meals had more fat, protein, lignans, and other nutrients, the optimum amount of detoxified partially defatted flaxseed meals that should be added to steamed bread was determined as 6%.

Key words: detoxified partially defatted flaxseed meals; steamed bread; quality

亚麻籽富含亚麻酸和亚油酸等不饱和脂肪酸, 是 ω -3 脂肪酸重要来源的油料种子之一。亚麻籽中还含有膳食纤维、木酚素和多酚等营养成分, 在预防癌症与抗动脉粥样硬化和抗氧化等方面发挥着重要作用。亚麻籽不仅可以用于亚麻油的制取, 还可添加入食品

收稿日期: 2015-12-14

基金项目: 国家胡麻产业技术体系项目 (CARS-17)

作者简介: 曹伟伟 (1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学

通讯作者: 黄庆德 (1965-), 男, 研究员, 研究方向: 胡麻加工

中改善食品的营养。亚麻饼是亚麻籽经压榨制取油脂后的副产物, 其含更高的膳食纤维、蛋白质和木酚素和矿物质等营养物质。动物实验表明, 亚麻饼可以改善饲喂高脂日粮对大鼠机体产生的不良影响, 能够有效地提高抗氧化能力, 缓解氧化应激和调节血脂代谢^[1]。目前, 亚麻饼主要用于饲料的加工, 经济附加值低, 造成亚麻饼的加工效益低。将亚麻饼应用于食品中既可提高亚麻饼的经济效益, 又可增加食品的营养价值。随着对亚麻籽营养成分的研究深入, 关于亚麻

籽粉食品的开发也越来越多。国外, 亚麻籽应用最多的是焙烤食品, 如饼干、面包和蛋糕等, 而关于亚麻籽及亚麻饼应用于中国的主食馒头的研究未见报道。借鉴国外开发亚麻籽粉食品的经验, 将亚麻饼添加到中国人的主食馒头中不仅可以改善馒头的营养, 而且对提高亚麻饼的附加值具有重要意义。

然而, 亚麻籽中含有对人体有害的生氰糖苷, 生氰糖苷在其水解酶作用下会产生剧毒的 HCN (氢氰酸), 对人和动物的危害极其严重^[2]。不同品种与产地的亚麻籽中生氰糖苷含量差异很大, 而冷榨制取亚麻油后的饼中生氰糖苷含量更高。因此, 亚麻籽及亚麻饼食用前, 一定要经过彻底的脱毒, 方可添加入食品中。目前, 脱除亚麻籽及饼粕生氰糖苷的方法有烘烤法、微波法、溶剂法和发酵法等, 其中最有效的方法是微波法。因此, 本实验将微波脱毒亚麻饼粉添加入小麦粉中制作成馒头, 研究脱毒亚麻饼粉的不同添加比例对馒头品质的影响, 以期对亚麻饼粉馒头的开发利用提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验材料

精制面粉: 购自武汉市太阳行食品有限责任公司; 亚麻饼粉: 实验室自制; 酵母和面粉改良剂: 安琪股份有限公司; 浓硫酸、甲醇和磷酸, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 试验仪器

冷冻离心机: 赛默飞世尔科技有限公司; 和面机: 广东东菱电器有限公司; 压面机: 永康市富康电器股份有限公司; 电磁炉: 九阳股份有限公司; 面包体积测定仪: 杭州大成光电仪器有限公司; TA-XT PLUS 物性测定仪: 英国 SMS 公司; 凯氏定氮仪: 上海嘉定粮油仪器有限公司; 恒温恒湿箱: 武汉瑞华仪器设备有限公司; Minolta CR-400 色差仪: 日本 Minolta 有限公司; Waters 超高效液相色谱: 美国 Waters 公司; 密闭式微波炉: 美国 CEM 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 脱毒亚麻饼粉的制备

在微波条件为功率 700 W, 时间 6 min, 亚麻籽的水分为 17% 时, 将四个分别盛有 40 g 亚麻籽的平皿置于微波炉内, 然后调节微波后的亚麻籽水分至 7% 进行压榨, 得到脱毒亚麻饼。粉碎过 60 目筛, 即得脱毒亚麻饼粉。

1.3.2 馒头的制作工艺

将脱毒亚麻饼粉分别按 3%、6%、9%、12%、15% 的比例添加入面粉, 以混合粉为基础, 其他辅料酵母、改良剂和水分别按 0.8%、0.3%、45% 添加。先将脱毒亚麻饼粉与面粉混合后, 将溶解好的酵母和改良剂加入和面机, 先慢速搅拌 2 min, 再快速搅拌 8 min, 再将和好的面团在压面机上辊压 20 次左右至面团光滑、有弹性为止。然后, 将压好的面团揉成长条形, 切成 70 g 的馒头坯, 用手搓圆成型后置于 35 °C、85% 的恒温恒湿箱, 醒发 40 min。醒发后的面坯放入盛有沸水的蒸锅中蒸 20 min 后取出冷却, 即得亚麻馒头成品。对照组为不添加脱毒亚麻饼粉的小麦粉馒头。

1.3.3 馒头比容测定

馒头蒸熟冷却 1 h 后, 用电子天平称其质量, 用面包测定仪测定馒头体积, 馒头比容(mL/g)=馒头体积(mL)/馒头质量(g)。

1.3.4 馒头扩展比的测定

用游标卡尺测试馒头的宽度和高度, 每批样品取三个有代表性的馒头进行测试, 结果取平均值, 馒头的扩展比=馒头宽度(cm)/高度(cm)。

1.3.5 色泽

馒头的外皮和内瓤色泽测定, 用 Minolta CR-400 型色彩色差计测定。

1.3.6 馒头 TPA 测试

馒头蒸制后, 冷却 1 h 至室温, 在馒头中间切出厚度为 25 mm 的馒头片。采用质构仪进行测定, 测定方法参照玉米粉对小麦面团和馒头质构特性的影响^[3], 稍作修改。试验所用探头为压盘式探头 P/36R, 操作模式为压力测定, 质构仪模式为: TPA 模式, 质构仪参数设定为: 测试前速度 2.0 mm/s, 测试速度 1.0 mm/s, 测试后速度 2.0 mm/s, 测试压缩率: 50% (样品厚度的百分数), 触发类型设置为: Auto, 感应力: 5 g, 间隔 5 s, 数据采集速率: 200 pps, 每个样品重复测试 5 次, 取平均值。

1.3.7 理化指标的测定

水分参照 GB 5009.3-2010; 脂肪参照 GB/T 5009.6-2003; 蛋白质参照 GB 5009.5-2010; 灰分参照 GB 5009.4-2010; 碳水化合物参照 GB 28050-2011; 木酚素参照亚麻饼木酚素发酵提取工艺研究^[4]; 氨基酸组成参照 GB/T 5009.124-2003; 砷参照 GB/T 5009.11-2003; 铅参照 GB/T 5009.12-2003, 汞参照 GB/T 5009.17-2003; 镉参照 GB/T 5009.12-2003; 镉参照 GB/T 5009.15-2003; 真菌毒素参照 GB 2715-2005; 大肠菌群参照 GB/T 4789.3-2003; 霉菌和酵母参照 GB/T 4789.15-2003。

1.3.8 感官评价

参考荞麦馒头制作特性的研究^[5], 稍作修改。

表 1 感官评分标准

Table 1 Standard of sensory score

项目	满分	评分标准
比容	20	比容 mL/g 20 分, 2.3 mL/g 为满分, 每少 0.1 扣 1 分
外部	外观形状	15 表皮光滑, 对称, 挺: 12.1~15 分; 中等: 9.1~12 分; 表皮粗糙, 有硬块, 形状不对称: 1~9 分
	色泽	10 杂粮馒头色: 8.1~10 分; 颜色稍暗: 6.1~8 分; 颜色过暗: 1~6 分
内部	结构	15 纵剖面气孔小而均匀: 12.1~15 分; 中等: 9.1~12 分; 气孔大而不均匀: 1~9 分
	弹韧性	20 用手指按复原性好, 有咬劲: 16.1~20 分; 中等: 12.1~16 分; 复原性、咬劲均差: 1~12 分
	粘牙	15 咀嚼爽口不粘牙: 12.1~15 分; 中等: 9.1~12 分; 咀嚼不爽口、发黏: 1~9 分
	气味	5 具有麦香味, 无厚重亚麻饼气味: 4.1~5 分; 中等: 3.1~4 分; 有过浓的亚麻饼气味: 1~3 分

1.3.9 数据统计分析

数据统计分析采用 Excel 和 SPSS 18.0 分析软件进行处理。

比容与对照组没有显著性差异 ($p>0.05$), 当添加比例为 6% 时, 馒头的比容仍可达到 2.3 mL/g 以上, 超过 6%, 比容和扩展比下降速度变快。这是因为亚麻饼中含有膳食纤维、水溶性蛋白, 添加比例过高, 膳食纤维吸收水过多, 导致面团弱化, 且亚麻饼中水溶性的蛋白不是面筋蛋白的组成成分, 无法与面筋蛋白很好地交联, 进而会弱化馒头的面筋网络结构, 使其持气性下降; 另一方面, 因为亚麻胶的黏度过高, CO₂ 的扩散受阻, 馒头醒发不足, 最终导致馒头的比容、扩展比下降。

2 结果与分析

2.1 脱毒亚麻饼粉卫生指标

脱毒亚麻饼粉的 HCN、重金属和真菌毒素指标见表 1。由表 1 可知, 脱毒亚麻饼粉的 HCN 含量符合粮食卫生标准氰化物的限量^[6]、重金属及真菌毒素含量也均在粮食卫生标准的限量^[7]之下。因此, 该脱毒亚麻饼粉符合粮食卫生标准, 可用于馒头的制作。

表 2 脱毒亚麻饼粉的卫生指标

Table 2 Hygienic indicators of detoxified partially defatted flaxseed meals

项目	含量
HCN/(mg/kg)	4.18
汞/(mg/kg)	0.003≤0.02
砷/(mg/kg)	0.036≤0.2
镉/(mg/kg)	0.049≤0.1
铅/(mg/kg)	0.047≤0.2
黄曲霉毒素 B1/(μg/kg)	未检出
脱氧雪腐镰刀菌烯醇/(mg/kg)	未检出
玉米赤霉烯酮/(μg/kg)	未检出
赭曲霉毒素 A/(μg/kg)	未检出

2.2 脱毒亚麻饼粉的添加比例对馒头比容、扩展比的影响

脱毒亚麻饼粉的不同添加比例对馒头的比容、扩展比影响分别见图 1、图 2。由图 1、图 2 可知, 随着脱毒亚麻饼粉比例的增加, 馒头的比容和扩展比均呈下降趋势。这与 Xu^[8]等人研究亚麻籽粉的添加对面包比容的影响一致。添加 3% 脱毒亚麻饼粉的馒头, 其

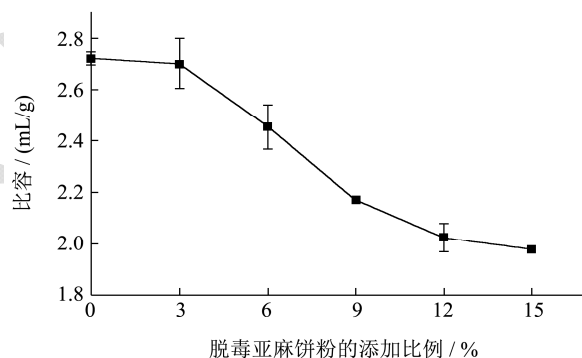


图 1 脱毒亚麻饼粉的添加比例对馒头比容的影响

Fig.1 Effect of the amount of detoxified, partially defatted flaxseed meals on the specific volume of steamed bread

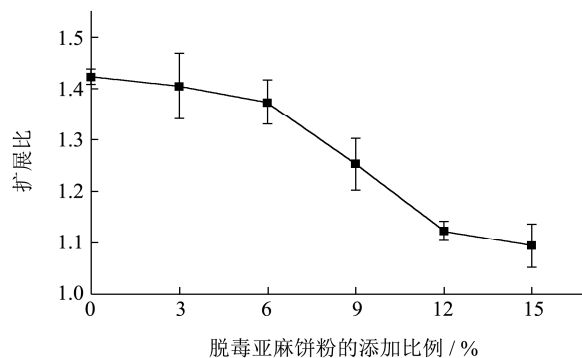


图 2 脱毒亚麻饼粉的添加比例对馒头扩展比的影响

Fig.2 Effect of the amount of detoxified, partially defatted flaxseed meals on the expansion ratio of steamed bread

2.3 脱毒亚麻饼粉的添加比例对馒头色泽的影响

表3 添加脱毒亚麻饼粉馒头的色泽

Table 3 Color of steamed bread with detoxified, partially defatted flaxseed meals

添加比例/%	L*	a*	b*
外皮			
0	83.03±0.59 ^a	-1.76±0.01 ^a	17.25±0.09 ^b
3	72.85±0.14 ^b	1.09±0.11 ^b	16.30±0.05 ^a
6	64.50±0.22 ^c	3.14±0.08 ^c	16.82±0.06 ^b
9	61.45±0.21 ^d	4.14±0.02 ^d	17.06±0.01 ^b
12	59.82±0.01 ^e	5.11±0.01 ^e	17.40±0.16 ^b
15	58.82±0.12 ^f	5.63±0.06 ^f	18.10±0.42 ^c
内瓤			
0	80.18±0.20 ^a	-1.33±0.02 ^a	16.03±0.17 ^c
3	70.36±0.22 ^b	0.99±0.03 ^b	13.55±0.08 ^a
6	65.26±0.24 ^c	2.45±0.12 ^c	14.72±0.11 ^b
9	62.57±0.49 ^d	3.11±0.18 ^d	14.03±0.25 ^a
12	60.86±0.10 ^e	3.94±0.18 ^e	15.72±0.27 ^c
15	58.08±0.97 ^f	4.38±0.16 ^f	15.90±0.22 ^c

添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的外皮及内瓤色泽 L*, a*, b* 值见表 3。由表 3 可知, 添加脱毒亚麻饼粉馒头的色泽与对照馒头有显著性差异 ($p < 0.05$)。对照馒头的色泽显著比添加脱毒亚麻饼粉馒头的色泽暗, 随着脱毒亚麻饼粉添加比例的增加, 馒头外皮和内瓤的 L* 值越来越小, 这与 Menteş Ö^[9]和 Koca^[10]等

表4 添加脱毒亚麻饼粉馒头的质构

Table 4 Texture of steamed bread with detoxified, partially defatted flaxseed meals

添加比例/%	硬度/g	粘附性/g·s	弹性/%	内聚性/%	胶粘性/g	咀嚼性/g	回复性/%
0	3151.92±31.06 ^a	-69.67±0.64 ^a	0.94±0.01 ^a	0.74±0.01 ^a	2350.83±37.84 ^a	2177.10±14.89 ^a	0.41±0.01 ^a
3	3373.52±6.95 ^b	-75.90±2.82 ^b	0.94±0.0 ^b	0.72±0.00 ^a	2453.70±16.85 ^{ab}	2156.73±60.54 ^a	0.39±0.01 ^b
6	3645.83±80.26 ^c	-46.71±3.62 ^c	0.93±0.01 ^c	0.70±0.00 ^b	2569.02±59.90 ^b	2404.85±76.44 ^b	0.37±0.01 ^c
9	3885.43±115.17 ^d	-54.58±0.24 ^c	0.92±0.0 ^{cd}	0.70±0.01 ^b	2725.71±104.37 ^c	2399.62±106.02 ^b	0.36±0.00 ^d
12	4494.66±102.09 ^e	-43.33±1.76 ^d	0.91±0.01 ^d	0.68±0.00 ^c	3111.80±0.84 ^d	2848.16±8.63 ^c	0.34±0.01 ^e
15	5306.94±45.95 ^f	-54.26±1.34 ^d	0.89±0.01 ^d	0.67±0.01 ^d	3605.39±27.72 ^e	3338.04±52.22 ^d	0.32±0.01 ^f

2.5 原料粉及馒头的营养成分

添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头及原料的基本营养成分见表 5。由表 5 可知, 脱毒亚麻饼粉的油脂、蛋白质、灰分含量远高于面粉, 分别是面粉的 12.29、2.96 和 13.53 倍。随着脱毒亚麻饼粉添加比例的增加, 馒头中的油脂、蛋白质与灰分含量也显著增加 ($p < 0.05$), 碳水化合物含量呈下降趋势, 这与

人研究亚麻籽粉的添加对面包色泽的影响一致。随着馒头的 L* 值减小与 a* 值增大, 馒头外皮和内瓤的亮度下降, 红色值增加, 色泽在不断变暗。这是因为实验所用亚麻饼粉为红棕色脱毒亚麻饼粉, 亚麻饼粉本身的色泽增加了馒头的色泽^[11]。馒头外皮和内瓤的 b* 值随着脱毒亚麻饼粉的添加一直呈增大趋势, 对照馒头外皮的 b* 值大于添加 3%、6%、9% 脱毒亚麻饼粉馒头, 对照馒头内瓤的 b* 值大于所有添加脱毒亚麻饼粉的馒头。

2.4 脱毒亚麻饼粉的添加比例对馒头质构的影响

添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的质构结果见表 4。由表 4 可知, 随着脱毒亚麻饼粉的比例增加, 馒头的硬度显著增大 ($p < 0.05$), 添加 15% 亚麻饼粉馒头的硬度是对照馒头的 1.68 倍, 馒头的胶黏性和咀嚼性也不断增加, 弹性、内聚性及回复性呈不断减小的趋势, 这与 Osuna^[12]等人研究亚麻籽粉的添加对面包质构的影响一致, 但馒头的粘附性没有表现出规律性的变化, 这与亚麻饼粉中含有亚麻胶和水溶性蛋白等有关。因为添加过多的亚麻饼粉, 会破坏面筋网络结构的形成, 影响馒头的醒发, 最终导致馒头的比容变小, 硬度变大。而亚麻饼粉的亚麻胶有较高的黏性, 亚麻胶的黏性和馒头硬度的增加使馒头的胶黏性增加, 胶黏性的增加又会促使馒头咀嚼性的增加。由于添加脱毒亚麻饼粉馒头的黏性增加, 面筋网络结构的破坏, 馒头压缩后的恢复能力变差, 馒头的弹性和回复性下降。

Marpalle^[10]等人研究亚麻籽粉的添加对面包营养成分的影响一致。另外, 添加脱毒亚麻饼粉馒头的水分显著高于对照馒头 ($p < 0.05$), 且馒头的水分随着脱毒亚麻饼粉的增加而增加, 这是因为脱毒亚麻饼粉中的亚麻胶有较好的吸水和持水性。

添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头及原料的氨基酸组成见表 6。脱毒亚麻饼粉中的氨基酸含量除脯氨酸外均高于面粉。因此, 随着脱毒亚麻饼粉的比例增加,

馒头中的氨基酸除脯氨酸外均呈增加趋势。亚麻籽蛋白具有较高的支链氨基酸(BCAA)和 Fischer (支链氨基酸/芳香族氨基酸)比率^[13], 它可以用于开发改善癌症患者、烧伤病人与肝病患者的食品。因此, 脱毒亚麻饼粉馒头可成为这些患者的较好选择。由表 6 可知, 亚麻饼蛋白中含量较多的氨基酸是精氨酸、天门冬氨酸和谷氨酸, 这与 Chung^[14]的报道一致。精氨酸可以潜在地预防心脏病, 谷氨酸盐可以改善免疫系统和运动机能^[15], 这表明添加脱毒亚麻饼粉的馒头有一定的保健作用。

添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的木酚素含量见图 3。面粉中未检测到木酚素, 而脱毒亚麻饼粉中的木酚素含量高达 23.4 mg/g。由图 3 可知, 馒头中的木酚素随着脱毒亚麻饼粉的添加而显著增加 ($p<0.05$), 添加 15%脱毒亚麻饼粉馒头的木酚素含量高达 3.34 mg/g, 这与 Muir^[16]等人研究亚麻籽粉的添加可以增加

面包木酚素含量的结论一致。亚麻饼中的木酚素作为天然的植物雌激素, 具有抗肿瘤和抗氧化等多种功效。因此, 脱毒亚麻饼粉增加了馒头的抗癌、抗氧化功效。

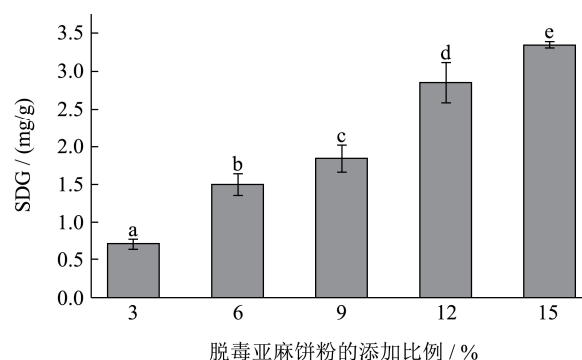


图 3 脱毒亚麻饼粉的添加比例对馒头木酚素含量的影响
Fig.3 Effect of the amount of detoxified partially, defatted flaxseed meals on the lignan content of steamed bread

表 5 添加脱毒亚麻饼粉馒头的营养

Table 5 Nutrients of steamed bread with detoxified, partially defatted flaxseed meals

理化指标	水分	灰分	油脂	蛋白	碳水化合物	
原料	面粉	13.57±0.10 ^a	0.40±0.01 ^a	0.93±0.03 ^a	12.02±0.06 ^a	73.08±0.14 ^a
	脱毒亚麻饼粉	9.93±0.04 ^b	5.41±0.01 ^b	11.43±0.25 ^b	35.59±0.32 ^b	37.64±0.60 ^b
添加比例	0	41.73±0.20 ^a	0.31±0.01 ^a	0.47±0.00 ^a	8.09±0.06 ^a	49.40±0.25 ^a
	3%	43.25±0.35 ^b	0.38±0.01 ^b	0.61±0.04 ^b	8.15±0.03 ^b	47.61±0.47 ^b
	6%	44.01±0.16 ^c	0.48±0.01 ^c	0.86±0.01 ^c	8.25±0.04 ^b	46.40±0.19 ^c
	9%	44.22±0.01 ^{cd}	0.56±0.00 ^d	1.14±0.07 ^d	8.63±0.11 ^c	45.45±0.16 ^d
	12%	44.56±0.23 ^d	0.66±0.01 ^e	1.33±0.02 ^e	9.05±0.15 ^d	44.39±0.39 ^e
	15%	45.21±0.04 ^e	0.73±0.01 ^f	1.43±0.06 ^f	9.30±0.16 ^e	43.33±0.26 ^f

注: 表中指标均以湿基计。

表 6 添加脱毒亚麻饼粉馒头的氨基酸组成

Table 6 Amino acid composition of steamed bread with detoxified partially, defatted flaxseed meals

氨基酸 ×10 ² /g	原料		脱毒亚麻饼粉的添加比例/%					
	面粉	脱毒亚麻饼粉	0	3	6	9	12	15
天门冬氨酸	0.45±0.01 ^a	3.22±0.06 ^b	0.37±0.00 ^a	0.38±0.01 ^a	0.43±0.01 ^b	0.50±0.01 ^c	0.57±0.00 ^d	0.63±0.01 ^e
苏氨酸	0.28±0.01 ^a	1.27±0.03 ^b	0.21±0.00 ^a	0.23±0.01 ^b	0.25±0.01 ^c	0.27±0.00 ^d	0.30±0.00 ^e	0.32±0.01 ^f
丝氨酸	0.48±0.00 ^a	1.59±0.04 ^b	0.36±0.00 ^a	0.37±0.02 ^{ab}	0.39±0.01 ^b	0.41±0.00 ^c	0.46±0.01 ^d	0.47±0.00 ^d
谷氨酸	3.21±0.01 ^a	5.91±0.13 ^b	2.37±0.01 ^a	2.38±0.08 ^a	2.38±0.06 ^a	2.48±0.02 ^a	2.62±0.01 ^b	2.63±0.01 ^b
脯氨酸	1.53±0.04 ^a	1.19±0.00 ^b	1.10±0.01 ^a	1.09±0.01 ^b	1.08±0.04 ^c	1.06±0.03 ^d	1.05±0.06 ^e	1.05±0.01 ^e
甘氨酸	0.36±0.00 ^a	1.99±0.03 ^b	0.27±0.00 ^a	0.30±0.01 ^b	0.32±0.01 ^c	0.36±0.00 ^d	0.41±0.00 ^e	0.44±0.01 ^f
丙氨酸	0.34±0.01 ^a	1.64±0.02 ^b	0.26±0.00 ^a	0.28±0.00 ^b	0.30±0.01 ^c	0.33±0.00 ^d	0.37±0.00 ^e	0.40±0.01 ^f
缬氨酸	0.34±0.00 ^a	1.30±0.03 ^b	0.27±0.00 ^a	0.28±0.00 ^a	0.29±0.01 ^a	0.32±0.01 ^b	0.35±0.00 ^c	0.36±0.00 ^c
蛋氨酸	0.13±0.02 ^a	0.31±0.00 ^b	0.11±0.01 ^a	0.12±0.00 ^{abc}	0.12±0.01 ^{ab}	0.13±0.00 ^{bcd}	0.14±0.00 ^d	0.14±0.01 ^{cd}
异亮氨酸	0.30±0.01 ^a	1.12±0.03 ^b	0.23±0.00 ^a	0.25±0.01 ^b	0.26±0.01 ^b	0.28±0.01 ^c	0.31±0.00 ^d	0.32±0.00 ^d
亮氨酸	0.73±0.01 ^a	2.04±0.04 ^b	0.56±0.00 ^a	0.57±0.01 ^a	0.58±0.02 ^a	0.62±0.01 ^b	0.67±0.01 ^c	0.69±0.01 ^c
酪氨酸	0.11±0.01 ^a	0.62±0.01 ^b	0.15±0.01 ^a	0.16±0.00 ^b	0.16±0.00 ^b	0.17±0.01 ^b	0.18±0.00 ^c	0.19±0.01 ^c

转下页

接上页

苯丙氨酸	0.46±0.01 ^a	1.45±0.02 ^b	0.35±0.00 ^a	0.37±0.01 ^{ab}	0.37±0.01 ^b	0.40±0.00 ^c	0.43±0.00 ^d	0.45±0.01 ^d
赖氨酸	0.19±0.01 ^a	1.48±0.02 ^b	0.16±0.00 ^a	0.18±0.01 ^b	0.19±0.01 ^b	0.22±0.00 ^c	0.25±0.01 ^d	0.27±0.01 ^e
组氨酸	0.19±0.00 ^a	0.71±0.01 ^b	0.15±0.00 ^a	0.16±0.01 ^a	0.17±0.01 ^b	0.18±0.00 ^c	0.19±0.00 ^d	0.20±0.00 ^e
精氨酸	0.28±0.01 ^a	2.69±0.06 ^b	0.24±0.00 ^a	0.29±0.00 ^b	0.33±0.01 ^b	0.38±0.01 ^c	0.44±0.00 ^d	0.48±0.00 ^e
色氨酸	0.08±0.00 ^a	0.57±0.01 ^b	0.07±0.01 ^a	0.09±0.01 ^b	0.10±0.01 ^{bc}	0.11±0.01 ^{cd}	0.12±0.01 ^d	0.13±0.01 ^d

注：表中指标均以干基计。

2.6 脱毒亚麻饼粉的添加比例对馒头感官评价的影响

添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的感官评价结果见表7。由表7可知，随着脱毒亚麻饼粉比例的增加，馒头的感官综合得分呈下降趋势，添加亚麻饼粉馒头的感官评分显著低于对照组馒头，这与HUSSAIN^[17]、ALPASLAN^[18]等人研究亚麻籽粉的添加对面包感官

评分的影响结果一致，这是因为过多添加脱毒亚麻饼粉会导致馒头质构粗糙、口感、气味较差以及感官评分下降。但添加3%和6%脱毒亚麻饼粉馒头的形状、内部结构、弹韧性和感官评分没有显著性差异 ($p>0.05$)，且二者的感官评分均大于90，在消费者可接受的范围内。因添加6%的脱毒亚麻饼粉会更多地增加馒头的油脂、蛋白质和木酚素含量，故选择6%作为脱毒亚麻饼粉的最佳添加比例。

表7 脱毒亚麻饼粉馒头的感官评价

Table 7 Sensory evaluation of steamed bread with detoxified partially, defatted flaxseed meals

添加量/%	比容 20	外观形状 15	表面色泽 10	结构 15	弹韧性 20	粘牙 15	气味 5	综合得分 100
0	20.0±0.00 ^a	14.3±0.35 ^a	9.1±0.07 ^a	14.6±0.07 ^a	19.2±0.21 ^a	14.1±0.14 ^a	5.0±0.07 ^a	96.1±0.78 ^a
3	20.0±0.00 ^a	14.2±0.28 ^a	8.8±0.21 ^b	14.3±0.14 ^a	18.8±0.35 ^a	13.2±0.21 ^b	4.5±0.14 ^b	93.7±0.35 ^b
6	20.0±0.00 ^a	14.2±0.21 ^a	8.9±0.04 ^{ab}	14.3±0.07 ^a	18.4±0.49 ^a	13.3±0.35 ^{ab}	4.2±0.14 ^b	93.6±0.60 ^b
9	18.3±0.07 ^b	13.4±0.14 ^a	8.1±0.07 ^c	13.3±0.35 ^a	17.1±0.14 ^b	11.5±0.71 ^c	3.4±0.21 ^c	84.9±0.42 ^c
12	17.5±0.21 ^c	12.8±0.28 ^b	7.7±0.14 ^d	11.5±0.71 ^b	16.2±0.28 ^b	10.8±0.35 ^c	2.9±0.14 ^d	79.3±1.56 ^d
15	16.5±0.14 ^d	12.0±0.14 ^b	7.4±0.07 ^c	10.8±1.06 ^b	14.5±0.71 ^c	9.8±0.28 ^d	2.4±0.28 ^e	73.3±2.40 ^e

2.7 添加最佳比例脱毒亚麻饼粉馒头的卫生指标

添加6%脱毒亚麻饼粉馒头的重金属和微生物含量测定结果见表8，由表8可知，重金属和微生物含量均在小麦粉馒头的卫生标准限量^[19]之内，表明该馒头的卫生指标合格，可供食用。

表8 添加最佳比例脱毒亚麻饼粉馒头的卫生指标

Table 8 Hygienic indicators of steamed bread with the optimal amount of detoxified, partially defatted flaxseed meals

项目	含量
砷(As)/(mg/kg)	0.026±0.5
铅(Pb)/(mg/kg)	0.011±0.5
镉(Cd)/(mg/kg)	0.022±0.1
大肠菌群(MPN/100g)	<30
霉菌(CFU/g)	<10
沙门氏菌	未检出
志贺氏菌	未检出
金黄色葡萄球菌	未检出

3 结论

3.1 添加过多的脱毒亚麻饼粉，会使馒头的比容和扩展比下降，色泽变暗。随着脱毒亚麻饼粉的比例增加，馒头外皮和内瓤的L*值下降、a*、b*值增大，色泽变暗。质构结果表明，随着脱毒亚麻饼粉的增加，馒头的硬度、胶黏性及咀嚼性不断增加，弹性、内聚性及回复性不断减小，这与亚麻饼本身含有的膳食纤维、水溶性蛋白对面筋网络结构的弱化及馒头的比容减小有关。

3.2 与面粉相比，脱毒亚麻饼粉含有较高含量的油脂、蛋白质和木酚素。因此，脱毒亚麻饼粉的添加增加了馒头中这些营养成分的含量。添加脱毒亚麻饼粉馒头的水分含量显著高于对照组馒头，表明脱毒亚麻饼粉会增加馒头的持水性。随着脱毒亚麻饼粉的增加，馒头中的氨基酸含量除脯氨酸外均呈增加趋势。脱毒亚麻饼粉中的木酚素含量高达23.4mg/g，馒头中的木酚素含量随着脱毒亚麻饼粉的添加比例增加而显著增加 ($p<0.05$)，添加15%脱毒亚麻饼粉馒头木酚素的含量高达3.34 mg/g。

3.3 馒头的感官评分随着脱毒亚麻饼粉的添加比例增大逐渐降低。对照组馒头的感官评分显著高于添加脱毒亚麻饼粉的馒头, 添加 3%、6%脱毒亚麻饼粉馒头的感官评分显著高于其他添加脱毒亚麻饼粉比例的馒头, 二者感官评分均大于 90, 且没有显著性差异。因添加 6%脱毒亚麻饼粉的馒头含更多的油脂、蛋白和木酚素等营养物质, 故选取脱毒亚麻饼粉的最佳添加比例为 6%。

参考文献

- [1] 赵春,许继取,黄庆德,等.亚麻籽饼对饲喂高脂日粮大鼠血浆中脂质及氧化应激改善作用的研究[J].中国油脂,2015,3: 36-39
ZHAO Chun, XU Ji-qu, HUANG Qing-de, et al. Improve of flaxseed cake on blood lipid and oxidative stress of rats fed a high-fat diets [J]. China Oils and Fats, 2015, 3: 36-39
- [2] Russo R, Reggiani R. Variation in the content of cyanogenic glycosides in flaxseed meal from twenty-one varieties [J]. Food and Nutrition Sciences, 2014
- [3] 冯世德,孙太凡.玉米粉对小麦面团和馒头质构特性的影响[J].食品科学,2013,34(1):101-104
FENG Shi-de, SUN Tai-fan. Effect of corn flour on textural properties of wheat dough and chinese steamed bread [J]. Food Science, 2013, 34(1): 101-104
- [4] 梅莺.亚麻饼木酚素发酵提取工艺研究[D].中国农业科学院,2013
MEI Ying. Study on lignan-extraction technique by microbial fermentation of flaxseed cake [D]. Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013
- [5] 毛瑞.荞麦馒头制作特性的研究[D].河南工业大学,2013
MAO Rui. Study on processing preparation of buckwheat steamed bread [D]. Henan University of Technology, 2013
- [6] GB 2715-2005,粮食卫生标准[S]
GB 2715-2005, Hygienic standard for grains [S]
- [7] Xu Y, Hall III C A, Manthey F A. Effect of flaxseed flour on rheological properties of wheat flour dough and on bread characteristics [J]. Journal of Food Research, 2014, 3(6): 83
- [8] Menteş Ö, Bakkalbaşı E, Ercan R. Effect of the use of ground flaxseed on quality and chemical composition of bread [J]. Food Science and Technology International, 2008, 14(4): 299-306
- [9] Koca A F, Anil M. Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2007, 87(6): 1172-1175
- [10] Marpalle P, Sonawane S K, Arya S S. Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 58(2): 614-619
- [11] Osuna M B, Judis M A, Romero A M, et al. Improvement of fatty acid profile and studio of rheological and technological characteristics in breads supplemented with flaxseed, soybean, and wheat bran flours [J]. The Scientific World Journal, 2014
- [12] Oomah B D. Flaxseed as a functional food source [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(9): 889-894
- [13] Chung M W Y, Lei B, Li-Chan E C Y. Isolation and structural characterization of the major protein fraction from NorMan flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) [J]. Food Chemistry, 2005, 90(1): 271-279
- [14] Oomah B D, Berekoff B, Li-Chan E C Y, et al. Cadmium-binding protein components of flaxseed: Influence of cultivar and location [J]. Food Chemistry, 2007, 100(1): 318-325
- [15] Muir A D, Westcott N D. Quantitation of the lignan secoisolariciresinol diglucoside in baked goods containing flax seed or flax meal [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(9): 4048-4052
- [16] Hussain S, Anjum F M, Butt M S, et al. Biochemical and nutritional evaluation of unleavened flat breads fortified with healthy flaxseed [J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2012, 14(2): 190-196
- [17] Alpaslan M, Hayta M. The effects of flaxseed, soy and corn flours on the textural and sensory properties of a bakery product [J]. Journal of Food Quality, 2006, 29(6): 617-627
- [18] GB 21118-2007,小麦粉馒头[S]
GB 21118-2007 Chinese steamed bread made of wheat flour [S]