

脱毒亚麻饼粉对馒头抗氧化效果的影响

曹伟伟, 黄庆德*, 邓乾春, 田光晶

(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 将不同比例的脱毒亚麻饼粉添加至小麦粉中制作成馒头, 研究了脱毒亚麻饼粉的添加比例对馒头总酚含量、抗氧化能力的影响。结果表明, 馒头的总酚含量以及抗氧化能力随着脱毒亚麻饼粉添加量的增加而增加, 添加脱毒亚麻饼粉馒头的总酚含量、抗氧化能力显著高于纯小麦粉馒头, 馒头的总酚含量同 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力、FRAP 值、抑制 β -胡萝卜素漂白能力呈显著性正相关, 相关系数均大于 0.9。

关键词: 脱毒亚麻饼粉; 馒头; 总酚; 抗氧化能力

馒头, 作为中国传统的主食之一, 深受北方居民的喜欢。随着现代人对食品营养保健功能认识的增加, 馒头的营养也成了消费者备受关注的对象。目前, 关于荞麦^[1]、燕麦^[2]、豆渣^[3]等添加至馒头改善其品质的研究较多, 而脱毒亚麻饼粉用于改善馒头抗氧化特性的研究未见报道。亚麻饼是亚麻籽经压榨制取亚麻油的副产物, 不仅富含膳食纤维、蛋白质和矿物质^[4], 而且富含多酚化合物如阿魏酸、芥子酸、没食子酸、咖啡酸、对香豆酸^[5]等。多酚类物质具有多种生物活性, 包括抗过敏、抗病毒、抗炎、抗突变等特性, 可以降低慢性疾病的发病率^[6-7], 此外, 酚类的抗氧化性在改善食品质量、延缓腐败变质, 保护机体组织免受氧化损伤等方面具有重要作用^[8]。已有研究报道, 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^[9]。传统的亚麻饼多用来饲料开发, 导致亚麻饼的利用价值和经济效益较低。国外, 亚麻籽全粉作为食品原料常被添加至面包、蛋糕等焙烤食品和休闲食品中, 而亚麻籽全粉及亚麻饼用于馒头的研究未见报道。亚麻饼粉添加入馒头中不仅提高了馒头的多酚含量, 而且可以改善馒头的抗氧化能力, 提高亚麻饼的经济效益。因亚麻饼中含有的生氰糖苷在其水解酶作用下会分解成对人体有害的氢氰酸, 故食用亚麻饼前必须进行彻底的脱毒。本文将不同量的脱毒亚麻饼粉添加入小麦粉中制成馒头, 研究添加不同量的脱毒亚麻饼粉馒头的总酚含

量、抗氧化能力以及二者的相关性。

1 材料与方法

1.1 实验材料

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、面粉改良剂, 安琪酵母股份有限公司。

1.2 实验试剂

Na_2CO_3 、三氯甲烷、正己烷、甲醇(均为分析纯), 国药集团化学试剂公司; 芥子酸、福林酚试剂、DPPH、ABTS、Trolox(水溶性 V_E)、 β -胡萝卜素、TPTZ、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 购自美国 Sigma 公司。

1.3 仪器与设备

粉碎机, 德国 Retsch 公司; 电子天平, 瑞士 METTLER TOLEDO 公司; DU800 型紫外分光光度计, 德国 Beckman Coulter 公司; 水浴锅, 国华电器有限公司; 纯水制备机, 美国 Millipore 公司; 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; 恒温恒湿箱, 武汉瑞华仪器设备有限公司。

1.4 实验方法

1.4.1 脱毒亚麻饼粉的制备

按实验室优化的微波条件, 微波功率 700 W, 时间 6 min, 调节亚麻籽的水分含量为 17%, 将 4 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含量至 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(脱毒亚麻饼的 HCN 含量为 4.18 mg/kg, 符合粮食卫生标准氰化物的限量 GB 2715—2005, 而冷榨亚麻饼的 HCN

第一作者: 硕士研究生(黄庆德为通讯作者, E-mail: huangqd@oilcrops.cn)。

基金项目: 国家胡麻产业技术体系项目(CARS-17)

收稿日期: 2016-05-30, 改回日期: 2016-08-16

含量为 241.84 mg/kg)。

1.4.2 馒头的制作

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、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、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℃、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,即得脱毒亚麻饼粉馒头成品。对照组为不添加脱毒亚麻饼粉的小麦粉馒头。馒头成品经粉碎后置于真空冷冻干燥机内冻干,即得馒头干粉。

1.4.3 馒头抗氧化特性

1.4.3.1 总酚提取液的制备

称取 0.5 g 左右的馒头干样于 10 mL 离心管,加 5 mL 体积分数(下同)80% 的甲醇水溶液,至涡旋仪上涡旋 30 min,然后于 5 000 r/min 离心 10 min,取上清液于另一离心管中,原样品再加入 5 mL 80% 的甲醇水溶液,重复上述操作。将 2 次离心后的上清液合并以备测定总酚。

1.4.3.2 甲醇提取液的制备

称取 2 g 左右的馒头干粉于 50 mL 离心管,加 20 mL 80% 的甲醇水溶液,至涡旋仪上涡旋 30 min,然后于 5 000 r/min 离心 10 min,取上清液于另一离心管中,原样品再加入 20 mL 80% 的甲醇水溶液,重复上述操作。将 2 次离心后的上清液合并置于 45℃ 水浴下真空旋转蒸发至干,用 80% 甲醇重新定容至 10 mL, -20℃ 保存,备用测定抗氧化能力。

1.4.3.3 总酚含量测定

采用福林酚方法^[10]测定馒头样品的总酚含量。准确吸取 0.5 mL 总酚提取液加入到 10 mL 比色管中,依次加入 5 mL 蒸馏水、0.5 mL 福林酚试剂后混合均匀放置 3 min,再加入 1 mL 饱和 NaCO₃ 溶液,用双蒸水定容至 10 mL,混合后静置 60 min 于 765 nm 处测定吸光度。以芥子酸浓度 x (μg/mL) 为纵坐标,吸光值 y 为横坐标,得到回归方程为 $y = 0.101x + 0.0556$ ($R^2 = 0.9973$)。结果用芥子酸当量表示为 mg(芥子酸)/100 g(样品)。

1.4.3.4 清除 DPPH 自由基试验

方法参照陈萌^[11]的方法,稍作修改。称取 10 mg

DPPH 标准品,用甲醇定容至 10 mL,再取上述母液 3.8 mL,以甲醇定容至 100 mL,得到 0.096 4 mol/L 的 DPPH 溶液(需现配现用)。取 0.5 mL 甲醇提取液,加入 2.5 mL 的 DPPH 溶液,迅速混合均匀后避光放置 30 min,于 515 nm 处测定甲醇提取液的吸光值,以甲醇调零,以 0.5 mL 80% 甲醇水溶液代替试样,测定其吸光度作为空白对照。配制 0.4 μmol/mL 的 Trolox 储备液,分别稀释适当的倍数得到 0.02、0.04、0.08、0.12、0.16 μmol/mL 的 Trolox 标准溶液,分别吸取 0.5 mL 标准溶液于 10 mL 离心管,加入 2.5 mL DPPH 溶液,涡旋 30 s,避光静置 30 min,于 515 nm 处测定其吸光值,以标准溶液的浓度 (x : μmol/mL Trolox) 与对应的 DPPH 自由基清除率 (y) 进行线性回归得到方程为 $y = 32.817x - 0.0002$ ($R^2 = 0.9993$)。清除能力以 100 g 干基 Trolox 为标准品当量 (μmol Trolox/100 g) 来表示。DPPH 清除率按下式计算:

$$\text{DPPH 清除率}/\% = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100 \quad (1)$$

式中: A_{control} 表示空白样的吸光值; A_{sample} 表示样品的吸光值。

1.4.3.5 清除 ABTS 自由基试验

方法参照 Li^[12],稍作修改。配制 7.4 mmol/L ABTS 的溶液和 2.6 mmol/L K₂S₂O₈ 水溶液,按体积 1:1 比例混合均匀,避光反应 12 h 后,将该溶液稀释至于 734 nm 处的吸光值为 0.8 左右(以纯甲醇调零)。吸取 0.15 mL 甲醇提取液,加入 2.85 mL ABTS 反应液,避光反应 30 min 于 734 nm 处测定其吸光值。配制 1 μmol/L 的 Trolox 储备液,分别稀释配制 0.08、0.16、0.24、0.32、0.40、0.48 μmol/mL 的 Trolox 标准溶液,分别吸取 0.15 mL 的标准溶液与 2.85 mL ABTS 反应液避光反应 30 min,于 734 nm 处测定其吸光值。以标准溶液的浓度 (x : μmol/mL Trolox) 与对应的 ABTS 自由基清除率 (y) 进行线性回归得到方程为: $y = 35.311x - 0.0287$ ($R^2 = 0.9998$)。清除能力以 100 g 干基 Trolox 为标准品当量 (μmol Trolox/100 g) 来表示。清除率按下式计算:

$$\text{清除率}/\% = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

式中: A_0 表示空白样的吸光值; A_s 表示样品的吸光值。

1.4.3.6 FRAP 试验

方法参照陈萌^[11],稍作修改。准确称取 2.55 g

$\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 移取 10 mL CH_3COOH 试剂, 用双蒸水定容至 250 mL, 制得 0.1 mol/L、 $\text{PH} = 3.6$ 的醋酸缓冲液; 准确称取 553 mg $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 用双蒸水定容至 100 mL, 制得 20 mmol/L 的 FeCl_3 溶液; 准确称取 31 mg TPTZ(2,4,6-三吡啶基三嗪)试剂, 用 40 mmol/L HCl 溶液定容至 10 mL, 制得 10 mmol TPTZ 和 40 mmol/L HCl 的混合溶液(需现配现用)。分别取 5 mL TPTZ/HCl 溶液、5 mL FeCl_3 溶液和 50 mL 醋酸缓冲液于锥形瓶中, 在水浴锅中温浴 10 min。取 0.5 mL 甲醇提取液于 10 mL 玻璃比色管中, 加入 2 mL 上述 FRAP 溶液, 用蒸馏水定容至 10 mL, 在涡旋仪上涡旋 10 s, 静置 30 min, 于 593 nm 处测定其吸光值。配制 1 $\mu\text{mol/L}$ 的 Trolox 储备液, 分别稀释配制 0.08、0.16、0.24、0.32、0.40 $\mu\text{mol/mL}$ 的标准溶液, 分别吸取 0.5 mL 标准溶液于 10 mL 玻璃比色管, 加入 2 mL 上述 FRAP 溶液, 用蒸馏水定容至 10 mL, 涡旋 30 s, 避光静置 30 min, 于 593 nm 处测定其吸光值, 以标准溶液的浓度(x : $\mu\text{mol/mL}$ Trolox)与对应的吸光值(y)进行线性回归得到方程为: $y = 93.025x + 0.0053$ ($R^2 = 0.9995$)。结果以 μmol Trolox/100 g 样品表示。

1.4.3.7 β -胡萝卜素-亚油酸抗氧化试验

方法参照张苗^[10], 稍作修改。称取 1 mg β -胡萝卜素溶解在 10 mL 三氯甲烷中, 取 4 mL β -胡萝卜素三氯甲烷溶液于 250 mL 圆底烧瓶中, 再向烧瓶中加入 40 mg 吐温-40, 待完全溶解后将其混合均匀于 40 $^\circ\text{C}$ 水浴中旋蒸除去三氯甲烷。再向混合物中加入 100 mL 经鼓吹氧气 5 min 的蒸馏水中, 然后剧烈振荡, 即配制成反应介质溶液。同时设置空白介质溶液: 不加 β -胡萝卜素, 其他步骤一致。取 20 μL 甲醇提取液(对照为 80% 甲醇)置于 10 mL 离心管中, 加入 2 mL 反应介质溶液, 涡旋均匀后, 测定对照管 $t = 0$ min 于 470 nm 处的吸光值 A_0 , 然后将样品与对照样品置于 60 $^\circ\text{C}$ 水浴中至对照管的颜色褪去, 再测定样品与对照管的吸光值。同时设置空白调零管, 空白调零管中不含 β -胡萝卜素与试样。结果以抗氧化能力系数 AAC (antioxidant activity coefficient) 来表示。AAC 按下式计算:

$$\text{AAC} = \frac{A_{s_{\text{end}}} - A_{c_{\text{end}}}}{A_{c_0} - A_{c_{\text{end}}}} \times 100 \quad (3)$$

式中: $A_{s_{\text{end}}}$ 为样品在反应结束时的吸光值; $A_{c_{\text{end}}}$ 为对照在反应结束时的吸光值; A_{c_0} 为对照在 $t = 0$ min 时的吸光值。

1.4.4 数据处理

采用 SPSS 18.0 对数据进行处理及分析。

2 结果与分析

2.1 添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的总酚含量

由图 1 可知, 添加脱毒亚麻饼粉的馒头中总酚含量显著高于纯小麦粉馒头 ($p < 0.05$), 随着脱毒亚麻饼粉添加量的增加, 总酚含量呈显著增加的趋势。这是因为与小麦粉相比, 亚麻饼粉中含有较高含量的酚类物质如木酚素、阿魏酸葡萄糖苷、香豆酸葡萄糖苷^[13]。添加 15% 亚麻饼粉的馒头中总酚含量为 82.69 mg 芥子酸/100g, 是纯小麦粉馒头总酚含量为 34.06 mg 芥子酸/100g 的 2.43 倍。因此, 食用添加脱毒亚麻饼粉的馒头可以提高多酚物质的摄入量, 从而增加抗氧化作用, 预防慢性疾病的发生^[14]。

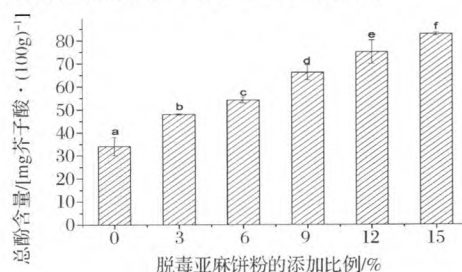


图 1 添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的总酚含量

Fig.1 Total phenolic content of steamed breads supplemented with different levels of detoxified partly defatted flaxseed meals

2.2 添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的 DPPH 自由基清除能力

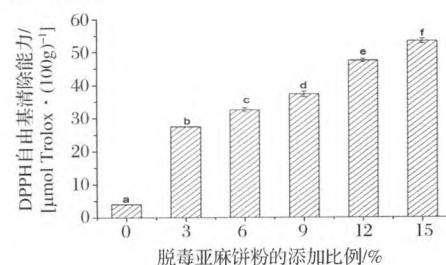


图 2 添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的 DPPH 自由基清除能力

Fig.2 DPPH radical scavenging capacity of steamed breads supplemented with different levels of detoxified partly defatted flaxseed meals

由图 2 可知, 添加脱毒亚麻饼粉的馒头与纯小麦粉馒头的清除 DPPH 自由基能力有显著性差异, 随着脱毒亚麻饼粉添加量的增加, 馒头清除 DPPH 自由基

的能力逐渐增强,这是因为亚麻饼中的总酚含量高于小麦粉。添加 15% 脱毒亚麻饼粉的馒头清除 DPPH 自由基能力最高 ($53.37 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$), 是纯小麦粉馒头 ($3.98 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$) 的 13.41 倍, 且与其他馒头有显著性差异。这与面包中添加含有多酚物质的葡萄果渣可以增加其 DPPH 自由基清除能力的结论一致^[15]。

2.3 添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的 ABTS 自由基清除能力

由图 3 可知, 添加脱毒亚麻饼粉的馒头与纯小麦粉馒头的清除 ABTS 自由基能力有显著性差异, 随着脱毒亚麻饼粉添加量的增加, 馒头清除 ABTS 自由基的能力逐渐增强。添加 15% 脱毒亚麻饼粉的馒头 ABTS 自由基清除能力最高 ($223.59 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$), 是纯小麦粉馒头 ($111.67 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$) 的 2.00 倍, 且与其他馒头有显著性差异。小麦粉中本身含有的酚类物质使得纯小麦粉馒头具有一定的清除 ABTS 自由基能力^[16], 而脱毒亚麻饼粉中的总酚含量高于小麦粉。因此, 添加脱毒亚麻饼粉的馒头清除 ABTS 自由基的能力显著增大。

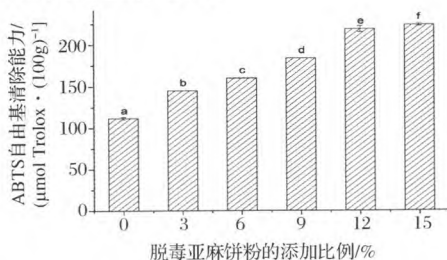


图3 添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的 ABTS 自由基清除能力

Fig.3 ABTS radical scavenging capacity of steamed breads supplemented with different levels of detoxified partly defatted flaxseed meals

2.4 添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的 FRAP 值

由图 4 可知, 添加脱毒亚麻饼粉的馒头与纯小麦粉馒头的 FRAP 值有显著性差异, 随着脱毒亚麻饼粉添加量的增加, 馒头的 FRAP 值逐渐增强。添加 15% 脱毒亚麻饼粉的馒头 FRAP 值最高 ($75.42 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$), 是纯小麦粉馒头 ($19.02 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$) 的 3.97 倍, 且与其他馒头有显著性差异。这与含有较高的多酚等抗氧化物质含量的红茶提取物添加至馒头中使馒头的 FRAP 值增大, 提高馒头抗氧化特性^[17]的结论一致。

2.5 添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的抑制 β -胡

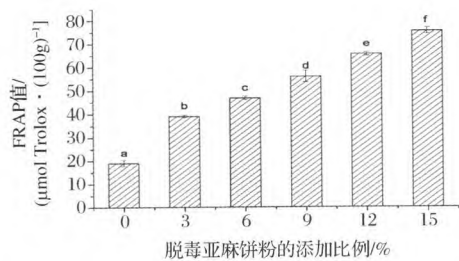


图4 添加不同比例脱毒亚麻饼粉馒头的 FRAP 值
Fig.4 FRAP values of steamed breads supplemented with different levels of detoxified partly defatted flaxseed meals

萝卜素漂白能力

由图 5 可知, 添加脱毒亚麻饼粉的馒头与纯小麦粉馒头的抑制 β -胡萝卜素漂白能力有显著性差异 ($p < 0.05$), 随着脱毒亚麻饼粉添加量的增加, 馒头的抑制 β -胡萝卜素漂白能力逐渐增强。添加 15% 脱毒亚麻饼粉的馒头抑制 β -胡萝卜素漂白能力最高 (抗氧化系数为 60.43%) 是纯小麦粉馒头 (抗氧化系数 31.55%) 的 1.92 倍, 且与其他馒头有显著性差异。这与亚麻饼中存在的酚类物质有较好的抑制 β -胡萝卜素漂白能力有关, HAN^[18]曾报道添加阿魏酸、丁香酸、咖啡酸的面粉做成的面包, 其抑制 β -胡萝卜素漂白能力得到了显著增加。因此, 馒头总酚含量的增加导致其抑制 β -胡萝卜素漂白能力增大。

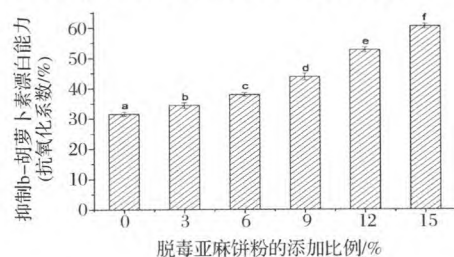


图5 添加同比例脱毒亚麻饼粉馒头的抑制 β -胡萝卜素漂白能力

Fig.5 β -carotene bleaching assay of steamed breads supplemented with different levels of detoxified partly defatted flaxseed meals

2.6 总酚含量与抗氧化能力之间的相关性分析

添加脱毒亚麻饼粉馒头中总酚含量与抗氧化能力之间的相关性见表 1。由表 1 可知, 馒头中的总酚含量与其 ABTS 自由基清除能力、DPPH 自由基清除能力、FRAP 值、抑制 β -胡萝卜素漂白能力有极显著正相关性 ($p < 0.01$), 相关系数均大于 0.9。这与亚麻籽及饼粕中的总酚含量与其抗氧化能力的相关性^[19-20]一致, 馒头的 ABTS 自由基清除能力、DPPH

自由基清除能力、FRAP 值、抑制 β -胡萝卜素漂白能力四种抗氧化评价方法也具有极显著的正相关性($p < 0.01$),相关系数均大于 0.9。因此,脱毒亚麻饼中

的总酚含量是决定亚麻馒头抗氧化特性的主要因素,这四种抗氧化评价方法可以为馒头抗氧化能力的综合评价提供借鉴。

表 1 馒头的总酚含量与抗氧化能力之间的相关性分析

Table 1 Correlation between total phenolic contents and antioxidant capacities of steamed breads

相关性	总酚含量	DPPH 自由基清除能力	ABTS 自由基清除能力	FRAP	抑制 β -胡萝卜素漂白能力
总酚含量	1.000	—	—	—	—
DPPH 自由基清除能力	0.973 **	1.000	—	—	—
ABTS 自由基清除能力	0.993 **	0.971 **	1.000	—	—
FRAP	0.994 **	0.990 **	0.986 **	1.000	—
抑制 β -胡萝卜素漂白能力	0.965 **	0.901 **	0.959 **	0.945 **	1.000

注: ** 表示极显著差异, $p < 0.01$ 。

3 结论

添加脱毒亚麻饼粉馒头的总酚含量、抗氧化能力显著高于纯小麦粉馒头,随着脱毒亚麻饼粉添加比例的增加,馒头中的总酚含量、抗氧化能力显著增加。馒头中的总酚含量与其 ABTS 自由基清除能力、DPPH 自由基清除能力、FRAP 值、抑制 β -胡萝卜素漂白能力有极显著的正相关性,总酚含量决定了馒头的抗氧化能力。因此,馒头中添加脱毒亚麻饼粉可以增加其总酚含量,提高清除自由基能力,增加抗氧化活性,降低慢性疾病的发病率。

参 考 文 献

- [1] XU F Y, GAO Q H, MA Y J, et al. Comparison of tartary buckwheat flour and sprouts steamed bread in quality and antioxidant property[J]. Journal of Food Quality, 2014, 37(5): 318–328.
- [2] 胡新中, 魏益民, 罗勤贵. 燕麦面团流变学及加工特性研究[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(2): 49–51.
- [3] 侯丹. 豆渣对面团特性及馒头、面条品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
- [4] GUTIÉRREZ C, RUBILAR M, JARA C, et al. Flaxseed and flaxseed cake as a source of compounds for food industry[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2010, 10(4): 454–463.
- [5] ALUDATT M H, RABABAH T, EREIFEJ K, et al. Distribution, antioxidant and characterisation of phenolic compounds in soybeans, flaxseed and olives[J]. Food Chemistry, 2013, 139(1): 93–99.
- [6] PENG X, MA J, CHENG K W, et al. The effects of grape seed extract fortification on the antioxidant activity and quality attributes of bread[J]. Food Chemistry, 2010, 119(1), 49–53.
- [7] DEL RIO D, RODRIGUEZ-MATEOS A, SPENCER J P E, et al. Dietary (poly) phenolics in human health: structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases[J]. Antioxidants & redox signaling, 2013, 18(14): 1 818–1 892.
- [8] OOMAH B D, SITTER L. Characteristics of flaxseed hull oil[J]. Food Chemistry, 2009, 114(2): 623–628.
- [9] 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, 40(3): 36–39.
- [10] 张苗. 微波预处理对油菜籽及其加工产品中主要芥子酸衍生物和抗氧化活性的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- [11] 陈萌. 微波预处理油菜籽对压榨饼浸出油品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [12] LI X, LIN J, GAO Y, et al. Antioxidant activity and mechanism of Rhizoma Cimicifugae[J]. Chem Cent J, 2012, 6(1): 140.
- [13] HAO M, BETA T. Development of Chinese steamed bread enriched in bioactive compounds from barley hull and flaxseed hull extracts[J]. Food Chemistry, 2012, 133(4): 1 320–1 325.
- [14] TEH S S, BEKHIT A E D, BIRCH J. Antioxidative polyphenols from defatted oilseed cakes: effect of solvents[J]. Antioxidants, 2014, 3(1): 67–80.
- [15] HAYTA M, ÖZÜ ĞÜR G, ETGÜ H, et al. Effect of grape (vitis vinifera L.) pomace on the quality, total phenolic content and anti-radical activity of bread[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2014, 38(3): 980–986.
- [16] LI Y, MA D, SUN D, et al. Total phenolic, flavonoid content, and antioxidant activity of flour, noodles, and steamed

- bread made from different colored wheat grains by three milling methods[J]. *The Crop Journal*, 2015, 3(4): 328 - 334.
- [17] ZHU F, SAKULNAK R, WANG S. Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread[J]. *Food Chemistry*, 2016, 194: 1 217 - 1 223.
- [18] HAN H M, KOH B K. Antioxidant activity of hard wheat flour, dough and bread prepared using various processes with the addition of different phenolic acids[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, 91(4): 604 - 608.
- [19] SZKOWIAK K, GLISZCZYNSKA-ŚWIGŁO A, BARTHET V, et al. Effect of extraction method on the phenolic and cyanogenic glucoside profile of flaxseed extracts and their antioxidant capacity[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2015, 92(11/12): 1 609 - 1 619.
- [20] WA TERPINC P, ČEH B, ULRIH N P, et al. Studies of the correlation between antioxidant properties and the total phenolic content of different oil cake extracts[J]. *Industrial Crops and Products*, 2012, 39(1): 210 - 217.

Effect of detoxified flaxseed meals on antioxidant ability in steamed bread

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

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

ABSTRACT The effects of different amount of detoxified flaxseed meals on the total phenolic content and antioxidant ability of steamed breads were studied. The results showed that total phenolic content and antioxidant capacity of steamed breads significantly increased with the addition of detoxified flaxseed meals. A significant positive correlation was showed between total phenolic content and different antioxidant abilities such as DPPH radical scavenging capacity, ABTS radical scavenging capacity, FRAP value, and inhibiting β -carotene bleaching capacity ($r > 0.9$).

Key words detoxified partly defatted flaxseed meals; steamed bread; total phenolic content; antioxidant capacity