

# 捻转制作过程中理化性质及蛋白质特性的变化

张康逸<sup>1</sup>, 康志敏<sup>1</sup>, 王莉<sup>2</sup>, 赵迪<sup>1</sup>, 郭东旭<sup>1</sup>, 张萌丽<sup>1</sup>, 宋江峰<sup>3</sup>

(1. 河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南郑州 450008)

(2. 江南大学食品学院, 粮食发酵工艺与技术国家工程实验室, 江苏无锡 214122)

(3. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014)

**摘要:** 为研究捻转制作过程中湿热处理和碾压对捻转品质特性的影响, 以捻转制作过程中三个阶段的样品速冻青麦仁、烤制青麦仁及成品捻转为原料, 对样品的理化指标、功能指标、蛋白质二级结构及分子量分布进行了质量评价。结果表明, 速冻青麦仁、烤制青麦仁及成品捻转的水分、灰分、蛋白质、脂肪、可溶性糖和总酚含量等在制作过程中逐渐减少, 可溶性糖和总酚含量分别减少了0.14%和4.22 μg/g; 成品捻转水分含量约为45%, 持水性减小仅为0.96 g/g, 持油能力增强。制作过程中样品硬度、弹性、咀嚼性逐渐减小, 颜色亮度变浅、绿色减弱。制作过程中三个样品蛋白质分子中的 $\alpha$ -螺旋、 $\beta$ -折叠含量分别减少了5.60%和3.67%, 而 $\beta$ -转角和无规则卷曲的含量在加工成捻转时分别增加了3.80%和6.57%, SDS-PAGE凝胶电泳结果显示在制作过程中烘烤处理和碾压对蛋白质种类无影响, 但不同分子量蛋白质含量不同。

**关键词:** 青麦仁; 捻转; 理化性质; 蛋白质特性

文章编号: 1673-9078(2020)05-200-206

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.5.027

## Changes of Physicochemical Properties and Protein Characteristics of

## Nianzhuang

ZHANG Kang-yi<sup>1</sup>, KANG Zhi-min<sup>1</sup>, WANG Li<sup>2</sup>, ZHAO Di<sup>1</sup>, GUO Dong-xu<sup>1</sup>, ZHANG Meng-li<sup>1</sup>,  
SONG Jiang-feng<sup>3</sup>

(1.Center of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450008, China)

(2.School of Food Science and Technology, National Engineering Laboratory for Cereal Fermentation Technology,  
Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

(3.Institute of Farm Product Processing Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of wet heat treatment and extrusion on its Quality characteristics during the process of Nianzhuang, the quick-frozen green wheat kernels, roasted green wheat kernels and Nianzhuang were used as raw materials. The physical and chemical properties, functional properties, protein secondary structures and molecular weight distribution of the samples were evaluated comprehensively. The results showed that the moisture content, ash content, protein content, fat content, soluble sugar content and total phenol content of quick-frozen green wheat kernel, roasted green wheat kernel and finished product were gradually reduced during the Nianzhuang processing. Their soluble sugar and total phenols decreased by 0.14% and 4.22 μg/g, respectively. The moisture content of Nianzhuang was about 45%, the water holding capacity decreased only to 0.96g/g after process, but oil holding capacity was enhanced. During the process, the hardness, elasticity and chewiness of the samples gradually decreased, and the values of L\* and a\* increased. The contents of  $\alpha$ -helix and  $\beta$ -sheets in protein molecules of the three samples decreased by 5.60% and 3.67%, respectively, while the  $\beta$ -turn and random coil increased by 3.80% and

引文格式:

张康逸,康志敏,王莉,等.捻转制作过程中理化性质及蛋白质特性的变化[J].现代食品科技,2020,36(5):200-206

ZHANG Kang-yi, KANG Zhi-min, WANG Li, et al. Changes of physicochemical properties and protein characteristics of Nianzhuang [J].

Modern Food Science and Technology, 2020, 36(5): 200-206

收稿日期: 2019-10-23

基金项目: 河南省重大科技专项项目(151100111300); 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(18)3010); 2019年院县共建现代农业综合示范县项目(豫农科[2019]85号)

作者简介: 张康逸(1981-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品科学

通讯作者: 康志敏(1986-), 女, 助理研究员, 研究方向: 食品加工

6.57%, respectively. The results of sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) showed that the baking and rolling process had no effect on the protein types, but the protein contents were different with different molecular weights.

**Key words:** green wheat kernels; Nianzhuang; physicochemical properties; protein properties

捻转是一种河南特色食品, 它是以乳期后期、蜡熟期收获的生长饱满但未成熟的青麦仁为原料, 通过蒸煮、烤制或炒制后再用石磨碾压制成的细条状食品, 可炒制或凉调食用, 深受人们的喜爱<sup>[1,2]</sup>。青麦仁富含蛋白质、膳食纤维及 $\alpha$ 、 $\beta$ 两种淀粉酶等对人体有益的成份, 且含糖量相对较低, 是当今人们的理想食品。但捻转制作工艺独特, 烤制加工和碾压加工共同作用, 形成了捻转独有的口感和风味, 成品捻转在贮藏过程中也容易发生质地变硬、风味变差, 严重影响捻转的食用品质。

捻转的制作原料青麦仁主要成分为蛋白质和淀粉<sup>[3]</sup>, 蛋白质是食品中三大营养素之一, 蛋白质对食品的色、香、味及组织结构等具有重要意义, 温度和机械处理会导致蛋白质发生变性, 食品加工过程中理化性质的改变会直接影响食品的口感、质量及储存时间, 食品蛋白的功能特性也会对其加工特性产生影响<sup>[4]</sup>。王晓培<sup>[5]</sup>等研究显示湿热改性处理后大米理化性质发生改变, 从而影响大米的品质。李杰<sup>[6]</sup>等研究表明高温、高压、高剪切力, 会导致粮油中的蛋白结构组织化, 形成纤维状仿肉结构, 从而改善食品的口感, 同时也影响粮油蛋白的营养价值。刘芳<sup>[7]</sup>等研究中也指出热处理会导致大米蛋白结构发生改变。

捻转制作过程中蒸煮、烤制或炒制等湿热处理及物理碾压处理对原料性质的变化会最终影响捻转的品质, 但目前对捻转的研究主要集中在产品的工艺优化和储藏包装方式等<sup>[8]</sup>, 对制作过程中蛋白质特性及品质变化的研究鲜见报道。因此本实验选取捻转制作过程中三个主要阶段的样品速冻青麦仁、烤制青麦仁和捻转为对象, 研究捻转制作过程中原料理化性质及蛋白质特性的变化, 旨在揭示制作过程中湿热处理及碾压处理对捻转品质特性的影响, 为捻转加工、贮藏过程中品质的保持提供理论依据和技术参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

速冻青麦仁, 市售; 预染低分子量标准蛋白 MARKER、SDS-PAGE 凝胶快速制备试剂盒: 均购自北京索莱宝科技有限公司; 没食子酸、 $\beta$ -淀粉酶、葡萄糖、硫代硫酸钠、福林酚、石油醚(30~60 n $^{\circ}$ C)、亚铁氰化钾、考马斯亮蓝 G250 等均为分析纯。

### 1.2 主要仪器与设备

YL90L-4 电动石磨, 上海金托电国际集团有限公司; YSN-2408 优连豪华型烤炉, 广州优连食品加工机械有限公司; FA2004N 电子天平, 上海菁海仪器有限公司; A590 紫外可见分光光度计, 翱艺仪器(上海)有限公司; TK-MF150 五谷杂粮磨粉机, 湖南通康机电有限公司; TMS-Pro 质构仪, 美国 FTC 公司; Color Flex EZ 色差仪, 杭州彩谱科技有限公司; FD-2D 冷冻干燥机, 上海比朗仪器制造有限公司; DUG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱, 上海精宏实验设备有限公司; DYY-6C 电泳仪, 上海六一生物科技有限公司; JW-1044 低速离心机, 安徽嘉文仪器有限公司; Nicolet 5DXB 傅里叶红外光谱仪, 美国热力宁高丽仪器有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品制作工艺及样品准备

新鲜青麦仁: 速冻青麦仁 $\rightarrow$ 解冻 $\rightarrow$ 清洗 $\rightarrow$ 沥水。

烤制青麦仁: 速冻青麦仁 $\rightarrow$ 解冻 $\rightarrow$ 清洗 $\rightarrow$ 沥水 $\rightarrow$ 烤制。

捻转: 速冻青麦仁 $\rightarrow$ 解冻 $\rightarrow$ 清洗 $\rightarrow$ 沥水 $\rightarrow$ 烤制 $\rightarrow$ 冷却 $\rightarrow$ 挤压 $\rightarrow$ 捻转。

操作要点: 速冻青麦仁自然解冻后, 用蒸馏水清洗, 倒置于滤网中沥水 25 min, 放置于烤盘上, 平摊均匀, 再放置于烤箱中烤制 25 min (设置温度: 上温 154  $^{\circ}$ C, 下温 84  $^{\circ}$ C), 取出后自然冷却 15 min, 打开电石磨, 均匀进料, 碾压成捻转。取新鲜青麦仁、烤制青麦仁、捻转三个样品, 50  $^{\circ}$ C 烘干粉碎后过 100 目筛, 测定可溶性糖、总酚、糊化度、持水性及持油性等理化指标。

#### 1.3.2 基本理化指标的测定

水分含量的测定参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》; 灰分含量的测定参照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》; 蛋白质含量的测定参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》; 脂肪含量的测定参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》。蛋白质、脂肪、灰分含量均以干基表示。

#### 1.3.3 色泽的测定

采用色差仪进行测定。每个样品随机选择测定 3 次, 记录 L\*值、a\*值、b\*值, L\*值表示明暗度, L\*

值从0~100代表从黑暗到明亮的变化; a\*值表示红绿度, -a\*到+a\*代表从绿色到红色的变化; b\*值表示黄蓝度, -b\*到+b\*代表从蓝色到黄色的变化。

### 1.3.4 质构的测定

采用 TMS-PRO 质构仪进行测定<sup>[9]</sup>。参数设定: TPA 模式, 探头直径 50 mm, 测试前速率 1.0 mm/s, 测试时速率 1.0 mm/s, 测试后速率 1.0 mm/s, 探头高度 40 mm, 探头两次测定时间间隔 5 s, 形变量 50%, 起始力 2 N。记录硬度、弹性、咀嚼性、粘附性和胶黏性等。

### 1.3.5 总酚的测定

以没食子酸为标准品, 采用紫外-可见分光光度法在 765 nm 处测定吸光度<sup>[10]</sup>, 得到回归方程为:  $y=2.1675x+0.0087$  ( $R^2=0.9986$ ) 总酚含量计算公式如下:

$$K = \frac{a \times b}{m}$$

其中, K 为样品中多酚的提取量, 用 mg/g 表示; a 表示提取液中的多酚质量浓度 (mg/mL); b 为待测液体积 (mL); m 为所称取样品的质量 (g)。

### 1.3.6 糊化度的测定

采用  $\beta$ -淀粉酶酶解法测定淀粉的糊化度<sup>[11,12]</sup>。

### 1.3.7 可溶性糖的测定

采用蒽酮比色法测定<sup>[13]</sup>。以葡萄糖量为横坐标, 以吸光度为纵坐标绘制出的标准曲线为:  $y=0.0069x+0.0002$  ( $R^2=0.9983$ )。

### 1.3.8 持水性、持油性的测定

参照 Haskard<sup>[14]</sup> 等的方法测定。

### 1.3.9 傅里叶红外光谱

参照 Liao 等<sup>[15]</sup> 的方法, 对三种样品粉进行傅里叶红外光谱分析。傅里叶交换红外光谱仪测定的波段范围为 4000~400  $\text{cm}^{-1}$ , 室温为 20  $^{\circ}\text{C}$ , 扫描次数为 64 次, 分辨率 4  $\text{cm}^{-1}$ 。

### 1.3.10 SDS-PAGE 聚丙烯酰胺凝胶电泳的测定

蛋白质的制备参照袁建<sup>[16]</sup> 的方法, 略有改动。将新鲜青麦仁粉、烤制青麦仁粉及成品捻转粉先进行碱液浸提、浆液离心, 再调 pH 至等电点沉淀, 离心, 最后将沉淀中性复溶后进行冷冻干燥, 得到分离蛋白。测定方法参考孙媛<sup>[17]</sup> 的方法, 略有改动。配置 4 mg/mL 蛋白样品溶液, 样品缓冲液为 Tris-甘氨酸缓冲液 (3.03 g Tris、14.41 g 甘氨酸、1.00 g 1% SDS 定容至 1 L, 调节 pH 至 8.3), 用 Marker 做标记, 开始电泳。配制 5% 的浓缩胶和 12% 的分离胶, 待凝固后上样。恒定电流: 浓缩胶 10 mA, 分离胶 20 mA; 上样量 15  $\mu\text{L}$ , 考马斯亮蓝 R-250 溶液染色 120 min 后脱色, 进行成

像分析。

## 1.4 数据统计与分析

采用 Origin 8.0 软件绘图。采用 SPSS 16.0 统计分析实验数据, 每组实验均重复 3 次, 取平均值, 数据结果以平均值 $\pm$ 标准偏差表示, 并进行单因素方差分析和相关性分析, 采用 t 检验, 当  $p<0.05$  时, 表示差异显著。

## 2 结果分析

### 2.1 捻转制作过程中基本组分的变化

速冻青麦仁、烤制青麦仁及捻转在制作过程中的基本组分变化见表 1。捻转制作过程中水分含量的变化幅度见图 1。

表 1 捻转制作过程中基本组分的变化

Table 1 The changes of basic component during the production

类别	水分含量/%	灰分/%	蛋白质/%	脂肪/%
速冻青麦仁	57.30 $\pm$ 1.24 <sup>a</sup>	1.52 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	11.48 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	1.93 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
烤制青麦仁	49.08 $\pm$ 1.60 <sup>b</sup>	1.22 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>	9.54 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>	1.76 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
捻转	45.21 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup>	1.09 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>	9.29 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	1.23 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>

注: 平均值 $\pm$ 标准差同一列均值有不同英文字母上标者表示存在显著性差异 ( $p<0.05$ ), 下同。

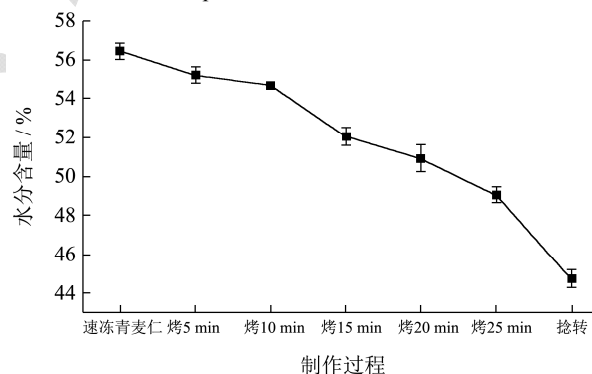


图 1 捻转制作过程中水分含量的变化

Fig.1 The changes of moisture content during the production

### process of Nianzhuang

由表 1 可知, 速冻青麦仁、烤制青麦仁及捻转三个样品的水分、灰分、蛋白质、脂肪含量在制作过程中均变化显著 ( $p<0.05$ )。在制作过程中, 灰分、蛋白质和脂肪含量分别减少了 0.43%, 2.19% 和 0.7%, 研究表明<sup>[18]</sup> 加热和挤压处理可导致蛋白发生变性、解离、聚集、降解等, 蛋白亚基通过静电引力、疏水性、氢键和二硫键共同作用使蛋白质分子重新排列, 从而形成可溶的蛋白-脂肪或蛋白-蛋白复合蛋白, 而国内外关于加热和挤压造成蛋白含量降低的报道较少<sup>[19]</sup>,

因此蛋白含量降低有部分原因可能是实验误差引起的;挤压处理理论上不会造成脂肪含量的减少。捻转制作过程中青麦仁的水分含量与捻转成型密切相关,含水量过高易发生粘连,过低则捻转硬度增大、易破碎、难成条;由表1和图1可知,在捻转制作过程中,烘烤10 min后,水分含量下降幅度增大,碾磨过程中水分含量降低降低幅度最大,烘烤青麦仁水分含量为

49%左右,捻转成品水分含量在45%左右,此时制成的捻转软硬适中,易成型,外观状态好。

## 2.2 捻转制作过程中质构特性及色泽的变化

速冻青麦仁、烤制青麦仁及成品捻转在制作过程中的质构特性及色泽变化见表2。

表2 捻转制作过程中质构特性及色泽的变化

Table 2 The changes of texture properties and color during the production process of Nianzhuang

类别	硬度/N	弹性/mm	咀嚼性	L*	a*	b*
速冻青麦仁	127.22±14.42 <sup>a</sup>	1.58±0.04 <sup>a</sup>	97.08±16.77 <sup>a</sup>	32.99±1.99 <sup>b</sup>	-3.28±0.37 <sup>a</sup>	18.96±0.62 <sup>a</sup>
烤制青麦仁	101.08±11.19 <sup>b</sup>	1.25±0.03 <sup>b</sup>	61.30±10.35 <sup>b</sup>	33.65±2.35 <sup>b</sup>	-1.85±0.30 <sup>b</sup>	17.44±1.29 <sup>b</sup>
捻转	32.12±4.26 <sup>c</sup>	0.96±0.04 <sup>c</sup>	14.66±1.97 <sup>c</sup>	48.41±2.16 <sup>a</sup>	-1.68±0.31 <sup>b</sup>	17.62±1.30 <sup>ab</sup>

质构指标可以客观反映产品的感官品质<sup>[20,21]</sup>,由表2可知,速冻青麦仁、烤制青麦仁及成品捻转在制作过程中的硬度、弹性和咀嚼性均有显著性变化( $p<0.05$ ),烤制青麦仁、捻转的硬度、弹性和咀嚼性都减小,硬度和咀嚼性反映样品的坚实度<sup>[22]</sup>,说明经烤制和碾压处理青麦仁质地变软,尤其制作成捻转后,成品硬度较小,弹性适中,咀嚼性小,口感软糯,适口性较好。在制作过程中,色泽也发生了明显变化,从L\*值来看,与速冻青麦仁及烤制青麦仁相比,捻转的颜色较浅,偏明亮;由a\*值变化可以看出,经烤制、

碾压后青麦仁绿色变弱,这可能是由于速冻青麦仁中的叶绿素在漂洗、烤制和碾压过程中部分流失或分解<sup>[3]</sup>。由b\*值可知,三个样品黄色值相差不大。

## 2.3 捻转制作过程中持水性持油性及其他品质成分含量的变化

速冻青麦仁、烤制青麦仁及成品捻转在制作过程中的持水性持油性及其他品质成分变化见表3。

速冻青麦仁、烤制青麦仁及成品捻转在制作过程中的持水性持油性及其他品质成分变化见表3。

表3 捻转制作过程中持水性持油性及其他品质成分含量变化

Table 3 The changes of water binding capacity, oil binding capacity and quality ingredients during the production process of Nianzhuang

类别	可溶性糖含量/%	总酚/( $\mu\text{g/g}$ )	持水性/(g/g)	持油性/(g/g)	糊化度/%
速冻青麦仁	1.86±0.15 <sup>a</sup>	12.02±0.09 <sup>a</sup>	1.37±0.12 <sup>a</sup>	0.81±0.05 <sup>b</sup>	41.59±0.21 <sup>c</sup>
烤制青麦仁	1.82±0.21 <sup>a</sup>	10.37±0.26 <sup>b</sup>	1.01±0.31 <sup>b</sup>	0.87±0.21 <sup>b</sup>	46.56±0.32 <sup>b</sup>
捻转	1.72±0.06 <sup>b</sup>	7.80±0.32 <sup>c</sup>	0.96±0.07 <sup>c</sup>	0.97±0.23 <sup>a</sup>	50.04±0.18 <sup>a</sup>

由表3可知,捻转制作过程中三个阶段的总酚含量、持水性和糊化度有显著变化( $p<0.05$ )。可溶性糖和总酚的含量分别减少了0.14%和4.22  $\mu\text{g/g}$ ,可溶性糖含量减少其原因可能是因为在烘烤和碾压过程中葡萄糖和果糖参与了美拉德反应导致含量降低;总酚含量减少较多,这也是由于热处理和碾压加工引起的<sup>[23]</sup>;同时,捻转制作过程中经高温烘烤和碾压处理,淀粉结构被破坏,青麦仁糊化度不断升高。由上表可知,捻转制作过程中,速冻青麦仁、烤制青麦仁粉及捻转粉的吸水能力降低、吸油能力增强,持水力的差异与淀粉内部束水的位置不同有关,主要是由淀粉分子内部羟基与分子链或水形成氢键和共价键结合所致,青麦仁经烘烤和碾压处理,水分含量减小,内部持水能力降低,持水性为0.96 g/g;持油性升高主要与纤维结构的孔隙率密切相关<sup>[24]</sup>,制作成捻转后,青麦仁表皮纤维结构被破坏,成品组织结构孔隙度增加,

导致捻转持油能力增加。经烤制、碾压后糊化度增加了8.45%。

## 2.4 捻转制作过程中的傅里叶红外光谱分析

速冻青麦仁、烤制青麦仁及成品捻转的红外光谱图见图2。图2表示三种样品在500~4000  $\text{cm}^{-1}$ 波段拟合特征曲线图,比较捻转制作过程中三个样品的红外光谱图,可知3个样品红外光谱整体相似,波数位置也较为接近,吸收峰的走向趋势基本一致但不完全重合,这表明其内含成分的组成基本一致,但各物质的含量存在差异<sup>[25,26]</sup>。由图2可知,碳水化合物-OH伸缩振动对应3600~3300  $\text{cm}^{-1}$ 范围,-CH<sub>2</sub>-伸缩振动对应2926.45  $\text{cm}^{-1}$ 吸收峰,酰胺I(C=O)波数对应于1700~1600  $\text{cm}^{-1}$ 范围。青麦仁蛋白与小麦蛋白所含二级结构一样,都包含所含 $\alpha$ -螺旋、 $\beta$ -折叠、 $\beta$ -转角和无规则卷曲<sup>[27]</sup>。利用Omic 8.2和Peakfit 4.12软件对

图2 进行计算,由表5可知,捻转制作过程中,蛋白的吸收峰发生了偏移,二级结构含量组成也发生变化,这说明烤制和碾压对分离蛋白的二级结构都有不同程度的影响。经烤制和碾压加工后,α-螺旋、β-折叠的含量分别减少了5.60%和3.67%,其中α-螺旋结构含量下降明显( $p < 0.05$ ),α-螺旋结构与面筋蛋白网络结构形成密切相关,α-螺旋结构含量下降表明面筋蛋白网络结构弱化,制作的捻转弹性减弱。捻转中β-转角和无规则卷曲结构的含量分别增加了3.80%和6.57%,研究表明<sup>[28]</sup>样品蛋白经过挤压热处理后,蛋白质间的疏水相互作用导致蛋白质发生聚集,从而导致蛋白质结构发生变化。Mills<sup>[29]</sup>研究也发现热处理会导致蛋白质二级结构中的β-折叠含量的下降。捻转制作过程中蛋白质二级结构的变化也说明碾压和烘烤处理会导致制作过程中捻转蛋白分子构象发生改变,形成新的稳定状态,从而影响捻转的品质。

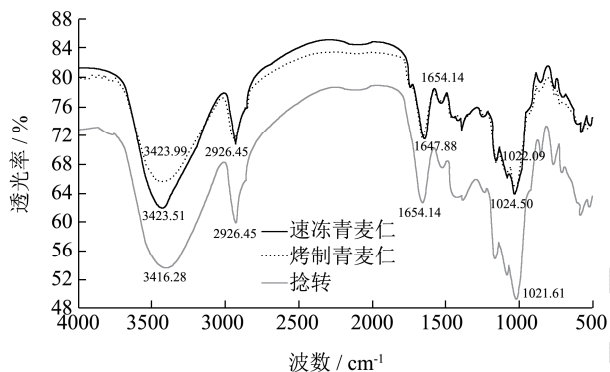


图2 三种样品红外光谱图

Fig.2 Infrared spectra of the three samples

表4 捻转制作过程中三种样品蛋白质二级结构含量

Table 4 Protein secondary structure content of three samples during the production process of Nianzhuang

类别	α-螺旋/%	β-折叠/%	β-转角/%	无规则卷曲/%
速冻青麦仁	30.71±0.02 <sup>a</sup>	26.46±0.21 <sup>a</sup>	17.32±0.26 <sup>b</sup>	11.03±0.21 <sup>b</sup>
烤制青麦仁	29.81±0.09 <sup>b</sup>	26.34±0.11 <sup>a</sup>	17.31±0.10 <sup>b</sup>	10.89±0.15 <sup>b</sup>
捻转	25.11±0.15 <sup>c</sup>	22.79±0.08 <sup>b</sup>	21.11±0.03 <sup>a</sup>	17.46±0.17 <sup>a</sup>

## 2.5 捻转制作过程中的 SDS-PAGE 聚丙烯酰胺凝胶电泳分析

### 聚丙烯酰胺凝胶电泳分析

速冻青麦仁蛋白、烤制青麦仁蛋白及捻转蛋白制作过程中的电泳图见图3。由图3 SDS-PAGE 图谱可知,3个样品蛋白条带数目、位置没有明显的差异,表明在捻转制作过程中烘烤和碾压对其蛋白质种类并不造成影响<sup>[30]</sup>。由图3中可知,三个样品蛋白的条带位置相似,由蛋白Marker分子量对数与相对迁移率

(相对迁移率指电泳谱带上端到电泳前沿的距离)作标准曲线,如图4所示,得分子量对数与相对迁移率关系式  $y = -0.0083x + 2.0326$ ,  $R^2 = 0.9933$ 。将蛋白条带相对迁移率带入公式得分子量对数,三种蛋白分子量见表5。主要有六条可见的电泳带,集中在94 ku、62 ku、43 ku这三个清晰的蛋白条带,和39 ku、25 ku、21 ku这三条不太明显的低分子量条带。三个样品蛋白的条带深浅不同,速冻青麦仁(样1)在99 ku处条带较为明显,比烤制青麦仁(样2)和捻转(样3)颜色更深;捻转(样3)在40 ku处具有比速冻青麦仁(样1)和烤制青麦仁(样2)更深的电泳条带;由蛋白质条带的可辨程度和染色深浅可见,速冻青麦仁蛋白质含量较高,与2.1研究结果一致。

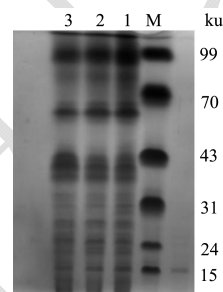


图3 三种样品蛋白的凝胶电泳图

Fig.3 Gel electrophoresis of three sample proteins

注: M表示低分子量标准蛋白,1表示速冻青麦仁蛋白,2表示烤制青麦仁蛋白,3表示捻转蛋白。

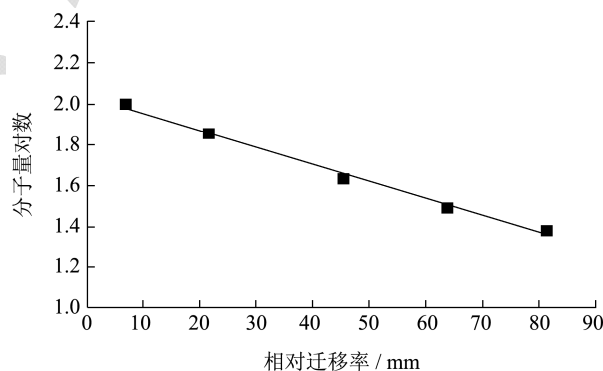


图4 标准蛋白凝胶电泳分子量对数与相对迁移率曲线图

Fig.4 SDS electrophoretic relative molecular mass of the logarithmic and relative migration rate curve graph

表5 SDS-PAGE 蛋白分子量表

Table 5 SDS-PAGE protein molecular weight table

相对迁移率/mm	7	28	48	51.5	74.5	84
速冻青麦仁分子量/ku	94.30	63.12	43.07	40.29	25.96	21.65
相对迁移率/mm	7.5	28.5	47.5	52	75	83.5
烤制青麦仁分子量/ku	93.40	62.52	43.49	39.90	25.71	21.85
相对迁移率/mm	6.5	29	49	52.5	75.5	84.5
捻转分子量/ku	95.20	61.93	42.26	39.52	25.47	21.44

### 3 结论

速冻青麦仁、烤制青麦仁和成品捻转在制作过程中的水分、脂肪、灰分含量减少,总酚和可溶性糖含量分别减少了0.14%和4.22  $\mu\text{g/g}$ ,持水能力降低,持水性仅为0.96 g/g,糊化度和持油能力增强。烘烤青麦仁水分含量为49%左右,捻转成品水分含量在45%左右,此时制成的捻转软硬适中,易成型,外观状态好。感官品质中三个样品硬度、弹性、咀嚼性减小,捻转制作过程中样品颜色变浅、绿色减弱。捻转制作过程中的蛋白质含量下降,二级结构含量发生改变, $\alpha$ -螺旋、 $\beta$ 折叠的含量分别减少了5.60%和3.67%, $\beta$ 转角和无规则卷曲的含量分别增加了3.80%和6.57%。电泳结果表明在制作过程中烘烤处理和碾压对蛋白质种类无显著影响,但不同分子量蛋白质含量不同。

### 参考文献

- 何梦影,张康逸,杨帆,等.响应面法优化青麦仁的真空充氮烫漂护色工艺[J].核农学报,2017,31(8):1546-1555  
HE Meng-ying, ZHANG Kang-yi, YANG Fan, et al. Optimization of vacuum nitrogen charge blanching technique of green wheat berry by response surface methodology [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2017, 31(8): 1546-1555
- 张康逸,郭东旭,何梦影,等.不同包装方式对捻转贮藏过程中品质变化的影响[J].食品工业科技,2018,39(7):286-291  
ZHANG Kang-yi, GUO Dong-xu, HE Meng-ying, et al. Effect of different package manners on quality changes of nian zhuan during storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(7): 286-291
- 张康逸,何梦影,郭东旭,等.不同干燥工艺对捻转品质和挥发性风味成分的影响[J].食品工业科技,2018,39(2):75-85  
ZHANG Kang-yi, HE Meng-ying, GUO Dong-xu, et al. Effects of different drying methods on quality and volatile components of Nianzhuan [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(2): 75-85
- 温青玉,张康逸,杨帆,等.小麦分离蛋白质理化性质及功能特性研究[J].河南农业科学,2018,47(5):149-154  
WEN Qing-yu, ZHANG Kang-yi, YANG Fan, et al. Physicochemical property and functional characteristics of protein isolated from wheat [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2018, 47(5): 149-154
- 王晓培,陈正行,李娟,等.湿热处理对大米淀粉理化性质及其米线品质的影响[J].食品与机械,2017,5:182-187,210  
WANG Xiao-pei, CHEN Zheng-xing, LI Juan, et al. Effect of heat-moisture treatment on various physicochemical properties of rice starch and quality of rice starch noodles [J]. Food and Machinery, 2017, 5: 182-187, 210
- 李杰,陶海腾,崔波.挤压加工对粮油蛋白营养价值的影响[J].齐鲁工业大学学报,2018,32(4):49-52  
LI Jie, TAO Hai-Teng, CUI Bo. The effect of extrusion process on the nutritional value of grain protein [J]. Journal of Shandong Polytechnic University, 2018, 32(4): 49-52
- 何梦影,张康逸,郭东旭,等.响应面优化捻转抗老剂的复配工艺[J].现代食品科技,2018,34(1):195-202  
HE Meng-ying, ZHANG Kang-yi, GUO Dong-xu, et al. Optimization of compound process of Nianzhuan anti-aging additives by response surface methodology [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(1): 195-202
- 刘芳,许宙,陈茂龙,等.碱与热处理对大米蛋白质结构与功能性质的影响[J].食品与机械,2018,34(8):10-15  
LIU Fang, XU Zhou, CHEN Mao-long, et al. Effects of pH and heat treatments on structure and functional properties of rice proteins [J]. Food and Machinery, 2018, 34(8): 10-15
- Liu Y, Xu M J, Wu H, et al. The compositional, physicochemical and functional properties of germinated mung bean flour and its addition on quality of wheat flour noodle [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(12): 5142-5152
- 曹小燕,杨海涛.响应面法优化超声辅助提取芥菜多酚工艺及其抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2019,2:223-228,232  
CAO Xiao-yan, YANG Hai-tao. Optimization of ultrasonic assisted extraction technology of polyphenol by response surface methodology from *Capsella bursa-pastoris* and its antioxidant activity [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 2: 223-228, 232
- 刘流,周小波.酶解法检测淀粉糊化度的方法优化[J].现代食品,2018,13:164-166  
LIU Liu, ZHOU Xiao-bo. The optimization of starch gelatinization enzyme hydrolysis [J]. Method Modern Food, 2018, 13: 164-166
- 郭玉.预糊化淀粉的制备及其在冷冻面条中的应用[D].郑州:河南工业大学,2013:12  
GUO Yu. Modification of the preparation of pre-gelatinized starch and its application for frozen noodles [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2013: 12
- 李晓旭.优化蒽酮比色法测定甜玉米中可溶性糖的含量[J].保鲜与加工,2013,4:24-27  
LI Xiao-xu. Determination of the content of soluble sugar in sweet corn with optimized anthrone colorimetric method [J]. Storage & Process, 2013, 4: 24-27

- [14] Haskard C A, Ecy L C. Hydrophobicity of bovine serum albumin and ovalbumin determined using uncharged (PRODAN) and anionic (ANS-) fluorescent probes [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1998, 46(7):2671-2677
- [15] Liao L, Liu T X, Zhao M M, et al. Aggregation behavior of wheat gluten during carboxylic acid deamidation upon hydrothermal treatment [J]. *Journal of Cereal Science*, 2011, 54(1):129-136
- [16] 袁建,李大川,石嘉怿,等.响应面法优化麦麸蛋白质和膳食纤维的提取工艺[J].*食品科学*,2011,32(10):25-30  
YUAN Jian, LI Da-chuan, SHI Jia-yi, et al. Optimization of extraction process for protein and dietary fibers from wheat bran by response surface analysis [J]. *Food Science*, 2011, 32(10): 25-30
- [17] 孙媛,改良 Osborne 法分级分离四种小麦蛋白的研究[D].广州:华南理工大学,2015:50-51  
SUN Yuan. Modification of Osborne method for fractionation of four wheat bran proteins [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015: 50-51
- [18] 赵雷,朱杰,苏恩谊,等.南豆腐加工过程中品质及蛋白质结构的变化[J].*食品科学*,2019,40(1):62-69  
ZHAO Lei, ZHU Jie, SU En-yi, et al. Effect of processing conditions on quality and protein secondary structure in southern Tofu [J]. *Food Science*, 2019, 40(1): 62-69
- [19] Conway, H F. Extrusion cooking of cereals and soybeans [J]. *Food Product Development*, 1999, 5(2): 27-32
- [20] Mariotti M, Sinelli N, Catenacci F, et al. Retrogradation behaviour of milled and brown rice pastes during ageing [J]. *Cereal Science*, 2009, 49(2): 171-177
- [21] Alonso R, Orue E, Zabalza M J, et al. Effect of extrusion cooking on structure and functional properties of pea and kidney bean proteins [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2000, 80: 397-403
- [22] 卜宇芳,李文强,谢灵来,等.休闲豆腐干贮藏过程中品质变化研究[J].*食品与机械*,2016,32(2):115-118  
BU Yu-fang, LI Wen-qiang, XIE Ling-lai, et al. Research on quality change of leisure dried Tofu during storage [J]. *Food and Machinery*, 2016, 32(2): 115-118
- [23] 杜贤明,黎小萍,俞燕芳,等.蒸青桑叶茶加工过程中主要品质成分变化的研究[J].*桑蚕茶叶通讯*,2015,5:1-3  
DU Xian-ming, LI Xiao-ping, YU Yan-fang, et al. Study on the changes of main quality components in the processing of steamed mulberry leaf tea [J]. *Newsletter of Sericulture and Tea*, 2015, 5: 1-3
- [24] 许英一,王宇,林巍.酶法提取燕麦蛋白理化性质研究[J].*食品工业*,2018,39(7):72-74  
XU Ying-yi, WANG Yu, LIN Wei. Study on the physicochemical properties of oat protein by enzymatic method [J]. *The Food Industry*, 2018, 39(7): 72-74
- [25] B T Manu, U J S, Prasada Rao. Influence of size distribution of proteins, thiol and disulfide content in whole wheat flour on rheological and chapati texture of Indian wheat varieties [J].*Food Chemistry*, 2008, 110: 88-95
- [26] Nisha Chaudhary, Priya Dangi, Bhupendar Singh Khatkar. Assessment of molecular weight distribution of wheat gluten proteins for chapatti quality [J]. *Food Chemistry*, 2016, 199: 28-35
- [27] Wang X Y, Guo X N, Zhu K X. Polymerization of wheat gluten and the changes of glutenin macropolymer (GMP) during the production of Chinese steamed bread [J]. *Food Chemistry*, 2016, 201: 275-283
- [28] 陶汝青,夏宁,滕建文.热处理对大豆分离蛋白结构和凝胶性的影响[J].*食品科学*,2018,39(9):60-66  
TAO Ru-qing, XIA Ning, TENG Jian-wen. Effect of heat treatment on the secondary structure and gel property of soybean protein isolate [J]. *Food Science*, 2018, 39(9): 60-66
- [29] Mills E N, Huang L, Noelt R, et al. Formation of thermally induced aggregates of the soya globulin  $\beta$ -conglycinin [J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Protein Structure and Molecular Enzymology*, 2001, 1547(2): 339-350
- [30] 陈虹,李涛,白晋华,等.3种早春植物叶片蛋白质 SDS-PAGE 分析[J].*山西农业大学学报*,2018,38(6):29-34  
CHEN Hong, LI Tao, Bai Jin-hua, et al. Study on protein extraction method of three early spring plant by SDS-PAGE [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2018, 38(6): 29-34