

全麦粉对油条面团和油条质量的影响

李玲, 王立, 钱海峰, 张晖, 齐希光
(江南大学食品学院, 江苏无锡 214122)

摘要: 本文研究了全麦粉对油条面团流变学和糊化特性的影响, 并在此基础上, 研究了全麦粉对油条品质(膨胀性、色泽、质构、含油量)的影响。研究结果显示, 随着全麦粉替代油条配方中精制小麦粉比例的提高, 面团的形成时间从 16.03 min 下降到 11.33 min, 稳定时间从 18.23 min 下降到 10.24 min, 而面团的吸水率由 64.87% 上升到 76.33%。油条粉的糊化特性也受到全麦粉的显著影响, 特别是峰值粘度从 1160 下降到 990.7 (RVU)。对于油条产品来说, 100% 全麦粉取代率制得油条的比容仅为 $3.01 \text{ cm}^3/\text{g}$ 。同时全麦粉的加入使得油条表面的色泽变暗, L^* 值从 73.42 显著下降到 57.89, 油条的含水量由 28.04% 上升到 34.09%。此外, 油条的质构也受到全麦粉的影响, 特别是 100% 全麦粉油条的硬度几乎是空白的 5 倍(由 2490.45 g 提高到 11958.38 g)。更重要的是, 空白油条的总含油量为 19.60%, 而 100% 全麦粉取代率的(油条的总含油量仅为 11.25%)。分析看出, 全麦粉取代率与油条的含水量存在正相关关系 ($r=0.869$), 与油条的比容 ($r=0.995$)、表面含油量 ($r=0.942$) 及结构含油量 ($r=0.951$) 存在负相关关系。因此, 从本研究的结果看, 全麦粉的加入可以用来生产一种低含油量高营养价值的全麦油炸产品。

关键词: 油条; 全麦粉; 含油量

文章编号: 1673-9078(2016)1-242-249

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.1.038

Effect of Whole Wheat Flour on the Qualities of Youtiao Dough and Youtiao Product

LI Ling, WANG Li, QIAN Hai-feng, ZHANG Hui, QI Xi-guang

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The effect of whole wheat flour (WWF) on the rheological and pasting properties of youtiao dough and the quality (expansibility, color, texture, and oil content) of youtiao product were investigated in this study. The results showed that with increasing ratio of WWF in the basic formula of youtiao dough to replace refined wheat flour (RWF), the dough development time was decreased from 16.03 min to 11.33 min and the dough stabilizing time declined from 18.23 min to 10.23 min, while the water absorption rate was increased from 64.87% to 76.33%. The pasting properties of youtiao mixed powder were also significantly affected by WWF. Especially, the viscosity peak decreased from 1160 to 990.7 (RVU). As for youtiao product, the specific volume of youtiao product using 100% WWF substitution was only $3.01 \text{ cm}^3/\text{g}$. Meanwhile, the addition of WWF darkened the surface color of youtiao and the value of L^* was decreased from 73.42 to 57.89, while the moisture content increased from 28.04% to 34.09%. Additionally, the texture of youtiao product was significantly influenced by WWF. In particular, the hardness of youtiao with 100% WWF substitution was five times of the control (11958.38 g vs 2490.45 g). The total oil content in youtiao produced with RWF was 19.60%, while the total oil content in youtiao produced with 100% WWF was only 11.25%. The analyses showed that the WWF substitution rate was positively correlated ($r = 0.869$) with the moisture content of youtiao and was negatively correlated with specific volume ($r = 0.995$), surface oil content ($r = 0.942$), and structure oil content ($r = 0.951$). WWF addition can be used to produce a type of fried WWF products with low oil content and high nutritional value.

Key words: youtiao; whole wheat flour; oil content

油条是中国传统的油炸食品, 历史悠久, 价格低廉, 口感独特, 成为我国饮食文化的重要组成部分。油条主要原料是精制面粉、水和膨松剂, 通过和面,

收稿日期: 2015-01-30

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31471617)

作者简介: 李玲 (1989-), 女, 硕士研究生, 从事健康食品开发研究

通讯作者: 王立 (1978-), 男, 教授, 从事功能因子及健康食品研究

饧面, 成型和油炸等工艺过程, 成品外酥内软且具有金黄色外观。传统油条的生产主要使用明矾, 这会产生大量的铝残留。此外, 油条成品中脂肪含量较高, 一般在 10% 到 35%, 大量摄入可能对人体健康带来负面影响, 甚至可能会导致一些疾病的发生。随着消费者对健康重视程度的提高, 一些学者已经通过改善加工工艺或在配方中添加无铝膨松剂等方法来改善油条

的品质。如赵勇^[1]和杨念^[2]等通过改善工艺来降低油条的含油量；鞠国泉^[3]和张国治^[4]等通过使用无铝油条膨松剂来生产无铝油条；Albert^[5]等使用膳食纤维和胶来提高油炸制品的营养价值并且降低含油量。此外，Wang^[6]等向配方中添加酵母和盐来降低油条中的丙烯酰胺的含量。这些学者或者是通过改善加工工艺或者替代膨松剂来生产一种低含油量和无铝的油条产品。但综合看来，关于使用全麦粉生产油条产品的文章却很少见。

全麦粉保留了麸皮和胚芽，含有各种营养成分，如粗纤维、矿物质、维生素和必需氨基酸等。大量的流行性病学和基础研究已经证明，全谷物食品的摄入能降低2-型糖尿病的发生，降低心脑血管疾病、癌症和其他慢性疾病的风险。Chang^[7]等研究结果表明全谷物食品的摄入能显著降低低密度脂胆固醇和总胆固醇水平。Parker^[8]和Giacco^[9]等研究发现全谷物的摄入能改善慢性疾病如糖尿病，肥胖，癌症等疾病。此外，由于全麦粉中的黄酮存在抗氧化特性，全麦粉用于食品加工而更受关注。由于研究发现全麦粉对人体健康有益，因此市场上已经出现了多种全谷物食品，如全麦面包、全麦意大利面等。但作为中国传统小吃的油条，还没有关于全麦油条的报道。

本文以全麦粉替代精致面粉，研究不同取代率的全麦粉对油条面团流变学性质的影响，以及对油条产品特性的影响，并研究全麦粉对油条含油量的影响，以期开发一种低脂肪的全麦油条。

1 材料和方法

1.1 材料与设备

精制面粉（湿面筋含量 34%）、全麦粉（湿面筋含量 27%），购于中粮集团有限公司；棕榈油：中粮东海粮油工业有限公司；谷朊粉：北京瑞迈嘉禾贸易有限公司；膨松剂：安琪酵母股份有限公司；其他辅料（盐、苏打和白糖）：无锡大润发超市。

和面机（型号 5K5SS, KitchenAid, 美国）；醒发箱（中国上海烨昌食品机械有限公司）；粉质拉伸仪（布拉班德, Duisburg, 德国）；RVA 分析仪（型号 4500, 澳大利亚波通公司）；高精度分光测色仪（型号 UltraScan Pro1166, 美国 Hunterlab 公司）；油炸锅（帝肯餐饮设备有限公司, 广州, 中国）；TA-XT 质构分析仪（SMS Company, 英国）。

1.2 加工方法

油条的基本配方为精制面粉 100 g，膨松剂 4 g，

盐和小苏打各 1.2 g，糖 2 g，水 60 g。在本研究中，用全麦粉替代不同比例的精制面粉，另外加入 15 g 谷朊粉。

油条制作工艺如下：面粉和膨松剂由搅拌机混匀，小苏打、盐和糖溶解在水中，然后将其倒入和面机和面 10 min 以形成面筋网络结构。叠面后，用拳头压面团 2 min，然后在醒发箱中饧面 30 min，再用拳头压面团 1 min，最后放在醒发箱中饧面 2 h，醒发箱的温度 37 °C、湿度 80%，使面筋结构进一步伸展，充分形成网络结构。最后将面团切成面块，长 12 cm，宽 2.5 cm，厚 1.4 cm。在 190 °C 下炸制 50 s，然后冷却至室温。

1.3 流变学特性的测定

流变学性质的测定包括粉质和拉伸特性。粉质参数是利用粉质仪按照 AACC 54-21 方法，拉伸特性是利用拉伸仪按照 AACC 54-10 方法测定。样品测定三次平行。

1.4 糊化特性的测定

糊化特性利用 RVA 分析仪测定。具体步骤如下：3.5 g 的样品中加入 25 mL 蒸馏水。测定程序是先保持 50 °C 下保持 1 min，然后在 3.7 min 内加热到 95 °C，在此温度下保持 2.5 min，再在 3.8 min 内冷却到 50 °C，最后在 50 °C 下保持 2 min。搅拌速度为 960 r/min 保持 10 s，剩余的时间内保持 160 r/min。从曲线中得到糊化温度、峰值粘度、最终粘度、衰减值、和回升值等结果。样品重复三次。

1.5 全麦油条膨胀性的测定

油条的膨胀性通过比容来衡量。具体方法如下：面块在 190 °C 中炸制 50 s 后，冷却 10 min，对其进行称重 M/g，然后放在量筒中，将量筒内倒入海沙将其填满，读出油条和海沙的总体积是 V_1/cm^3 ，用镊子将油条拿出后，读出海沙体积 V_2/cm^3 ，比容的计算按照如下公式^[4]：

$$\text{比容} (\text{cm}^3/\text{g}) = (V_1 - V_2) / M$$

1.6 色泽测定

色泽通过高精度分光测色仪测定，L*值表示白度的高低，a*表示红度大小，b*表示黄度的变化。样品重复五次。此外， ΔE 表示总色差的大小，公式如下：

$$\Delta E = [(L^*_{\text{空白}} - L^*_{\text{样品}})^2 + (a^*_{\text{空白}} - a^*_{\text{样品}})^2 + (b^*_{\text{空白}} - b^*_{\text{样品}})^2]^{0.5}$$

1.7 油条质构的测定

质构测定包括全质构 (TPA) 和穿刺力测试, 利用 TA-XT 质构分析仪进行测定, 方法参考杨念^[2]所描述的方法进行。全质构测试程序中先选用 P35 探头, 安装并对其进行校正, 选择程序和保存路径。把油条切成 2 cm 高度进行测试, 压缩前探头运行速度 1 mm/s, 压缩过程中的运行速度 0.8 mm/s, 返回速度 0.8 mm/s, 压缩比 75%, 两次压缩中间停止时间 5 s。主要取硬度, 弹性, 内聚性, 粘性, 回复性和咀嚼性这六个指标。此外, 用 TA-XT 测试油条的穿刺力, 选择穿刺程序, 探头使用 P/2N, 压缩比选择 85%, 其它的同 TPA 测试程序^[10]。样品测定五次。

1.8 含油量和含水量的测定

油条的含水量采用 105 °C 烘干法。先将油条切成碎片后, 放入烘箱中烘 3 h, 称重直到样品达到恒重。水分含量则是失去的水分占样品重的比值。样品测定四次。

表面含油量是留在油条表面的油即很容易除去的那部分油。油条从油锅中取出后在油锅边沿停留 10 s, 然后浸入无水乙醚中 20 s, 油条表面的油会洗脱下来^[11]。表面含油量的计算为浸出的油与油条油炸前干基重的比值。

总含油量的测定采用索氏抽提法, 计算按照抽出的脂肪含量与油炸前油条的干基重比值, 结构含油量则是总含油量与表面含油量的差值^[12]。样品测定四

次。

1.9 数据分析

结果的表达采用平均值±标准偏差。数据采用单因素 ANOVA 纽曼检验进行分析, 采用 pearson 双变量分析相关性, 显著性水平设定在 5%。

2 结果与讨论

2.1 全麦粉对油条面团流变学特性的影响

不同全麦粉取代率的面团的粉质特性见表 1。从结果看, 全麦粉对油条面团粉质特性的影响很显著。随着全麦粉取代率从 0% 提高到 100%, 油条面团的吸水率显著上升 (增加 17.7%), 说明面团具有较高的吸水率, Hatcher 等人^[13]也发现了类似的实验现象-全麦面团达到最佳的程度需要更多的加水量。这表明全麦粉具有较高的吸水率, 全麦粉的高吸水率可能与全麦麸皮中的高膳食纤维和蛋白含量有关, 这也与 Hung 等人^[14]的推测相符。同时, 面团的形成时间、稳定时间和粉质质量指数则显著下降。面团的形成时间缩短 29.3%, 稳定时间和粉质质量指数则分别显著下降了 43.9% 和 18.5%。推测结果是随着全麦粉含量的增加, 导致麸皮含量增加, 对面筋有一定的稀释作用, 同时, 面筋含量也降低, 这也得到了 Özboy 和 Kicksel 等人^[15]的验证。

表 1 全麦粉取代率对油条面团粉质特性的影响

Table 1 Effect of the WWF substitution rate on the farinograph properties of youtiao dough

全麦粉取代率/%	吸水率/%	面团形成时间/min	面团稳定时间/min	粉质质量指数/mm	弱化度/FU
0 (空白)	64.87±0.12 ^a	16.03±0.29 ^d	18.23±0.75 ^d	207.67±0.58 ^e	48.67±3.05 ^a
20	67.23±0.25 ^b	13.67±0.35 ^c	14.73±0.11 ^c	191.33±0.58 ^d	50.33±1.53 ^b
40	68.93±0.12 ^c	13.20±0.44 ^c	12.67±1.33 ^b	177.00±3.00 ^c	57.67±0.58 ^c
60	70.77±0.25 ^d	12.57±0.11 ^b	12.83±0.81 ^b	173.00±1.00 ^b	63.67±1.15 ^d
80	73.67±0.29 ^e	11.57±0.41 ^b	11.4±0.44 ^{ab}	170.00±1.73 ^a	64.33±2.08 ^d
100	76.33±0.29 ^f	11.33±0.15 ^a	10.23±0.35 ^a	169.30±0.58 ^a	68.67±1.15 ^e

注: 数值为平均值±标准偏差 (n=3); 同列中不同字母表示有显著性差异 (p<0.05), a为最小值。

表 2 全麦粉取代率对油条面团拉伸特性的影响

Table 2 Effect of the WWF substitution rate on the extensograph properties of youtiao dough

全麦粉取代率/%	拉伸曲线面积/cm ²	拉伸阻力/BU	延伸度/mm	R/E
0 (空白)	223.30±6.65 ^e	369.00±14.73 ^a	227.30±4.72 ^f	1.60±0.20 ^a
20	204.00±7.63 ^d	407.00±21.28 ^b	216.00±3.05 ^e	1.83±0.06 ^a
40	198.67±5.85 ^d	441.67±7.37 ^c	204.30±6.11 ^d	2.13±0.11 ^b
60	174.67±2.09 ^c	488.30±15.31 ^d	175.67±1.52 ^c	2.93±0.15 ^c
80	155.30±4.51 ^b	491.67±15.04 ^d	162.33±8.62 ^b	3.30±0.20 ^d
100	124.00±8.72 ^a	533.00±8.88 ^e	148.67±4.61 ^a	3.60±0.17 ^e

注: 数值为平均值±标准偏差 (n=3); 同列中不同字母表示有显著性差异 (p<0.05), a为最小值。

表2显示了全麦粉对油条面团拉伸特性的影响。结果显示,油条面团的拉伸曲线面积和延伸性都随着全麦粉含量的升高而缓慢降低,当全麦粉取代率达到100%时,分别降低了44.5%和34.6%,说明全麦粉的加入对面筋网络结构的形成具有显著负作用,进而导致面团加工特性变差^[16]。同时,结果显示随全麦粉含量的增加,拉伸阻力显著升高,实验结果与Sudha等人^[17]的结果相同,他们把这种结果归因于全麦粉中麸皮的存在,麸皮的存在破坏了面团中多聚糖和蛋白之间的交联。另外,R/E随着全麦粉的提高也缓慢升高,推测是小麦麸皮中的不溶性戊聚糖也会破坏面团中的面筋网络结构,从而降低面团的加工品质,Sudha等人^[17]的研究也得到了类似的结果。

2.2 全麦粉对重组粉糊化特性的影响

表3是全麦粉对油条粉糊化特性影响的结果。结果显示,全麦粉对面团糊化特性的影响较显著。当全麦粉取代率由0%提高到100%时,重组粉的峰值粘度和衰减值分别下降了15%和27.5%,峰值粘度的降低反映了淀粉颗粒溶胀性的降低,会影响到产品的粘性,外观,光滑性和总评分^[18]。同时最终粘度和回升值也随全麦粉含量的提高而呈下降趋势,而糊化温度却受全麦粉的影响较小,仅提高了2℃。实验结果与Symons等人^[19]的结果相似,他们把这种现象归结于全麦粉的高麸皮含量和低淀粉含量,低淀粉含量对于水分进入淀粉粒子提供了一个路径,加速了糊化过程,导致粘度降低和最终产品的低质量^[20]。

表3 全麦粉取代率对油条粉糊化特性的影响

Table 3 Effect of the WWF substitution rate on the pasting properties of youtiao mixed powder

全麦粉取代率/%	峰值粘度/RVU	衰减值/RVU	最终粘度/RVU	回升值/RVU	糊化温度/℃
0 (空白)	1166±9.54 ^f	670.3±4.72 ^f	1261.5±6.36 ^c	765.8±10.89 ^d	86.71±0.46 ^a
20	1129.3±3.79 ^e	625.3±14.74 ^e	1256.5±2.12 ^b	752.5±0.71 ^c	86.98±0.46 ^a
40	1066±5.00 ^d	567±6.08 ^d	1246±1.41 ^b	747±2.83 ^c	87.21±0.02 ^a
60	1021±10.53 ^c	530.3±5.5 ^c	1231±4.24 ^a	740.3±2.83 ^c	87.78±0.92 ^{ab}
80	1004±2.64 ^b	500.7±3.783 ^b	1229±8.49 ^a	725.7±6.08 ^b	88.53±0.50 ^b
100	990.7±1.53 ^a	485.7±8.08 ^a	1205.5±6.36 ^a	700.5±0.71 ^a	88.81±0.05 ^b

注:数值为平均值±标准偏差(n=3);同列中不同字母表示有显著性差异(p<0.05),a为最小值。

2.3 全麦粉对油条膨胀性的影响

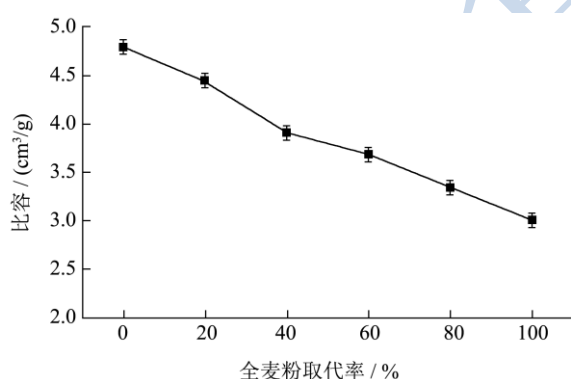


图1 全麦粉取代率对油条比容的影响

Fig.1 Effect of the WWF substitution rate on the specific volume of youtiao product

油条比容表示单位质量面团油炸后所形成的油条体积大小,反映了油条的膨胀程度,比容越大,油条的膨胀性越好。图1是不同全麦粉取代率对油条比容影响的结果。如图所示,随着全麦粉添加量的提高,油条的比容呈下降趋势,当全麦粉添加量提高到100%时,油条的比容下降了37.2%。Hung等人^[14]研究全麦面包时也得到了类似的实验结果,另外,Li等人^[21]制作全

麦苏打饼干、Singh等人^[22]制作麸皮膳食纤维蛋糕时都有类似的现象,他们把这种现象归结于全麦粉中阿拉伯木聚糖具有较高的吸水性,强吸水成分的存在限制了面筋蛋白的吸水性,从而导致不能形成合适的网络结构来持气,这可能也就是本研究全麦粉加入后导致油条产品较低膨胀性的原因。

2.4 全麦粉对油条色泽的影响

色泽是评价油条产品品质好坏的一个重要指标,也影响着消费者对油条的接受程度,消费者比较认可的油条最佳色泽为金黄色。表4显示了不同全麦粉取代率对油条表面色泽影响的结果。结果表明,随着全麦粉添加量的提高,油条的L*值和b*值显著下降,a*值显著上升。当全麦粉添加量达到100%时,L*值从73.42显著下降到57.89。同时,80%全麦粉取代率得到的油条的a*值几乎是空白的5倍。实验结果与Chillo^[23]和Frank^[24]等的结果相似,他们均发现含有小麦麸皮的意大利面与空白相比具有粗糙的外表和红棕色的表面。全麦粉由于麸皮的存在而导致颜色偏暗,制得的产品表面色泽也偏暗^[13]。除了受麸皮的影响外,也受许多其他成分如还原糖,蛋白质,多酚氧化

酶的活性等影响,会影响油炸过程中的美拉德反应和氧化反应等,从而使产品产生较差的表面色泽。另外,实验结果表明, ΔE 值(与空白组相比)出现显著上

升的趋势,这表明全麦粉对油条总体色泽的影响是显著的。

表4 全麦粉取代率对油条色泽的影响

Table 4 Effect of the WWF substitution rate on the color of youtiao product

全麦粉取代率/%	L*	a*	b*	ΔE
0 (空白)	73.42 \pm 1.36 ^e	1.59 \pm 0.30 ^a	27.53 \pm 0.73 ^c	0.00 \pm 0.00 ^a
20	69.02 \pm 1.91 ^d	3.37 \pm 0.30 ^b	26.97 \pm 0.63 ^c	4.93 \pm 2.40 ^b
40	66.03 \pm 1.09 ^c	5.45 \pm 0.31 ^c	27.04 \pm 0.53 ^c	8.37 \pm 0.97 ^c
60	62.27 \pm 1.82 ^b	5.81 \pm 0.84 ^c	22.57 \pm 1.08 ^b	13.06 \pm 1.49 ^d
80	58.97 \pm 1.97 ^a	7.66 \pm 1.39 ^d	23.18 \pm 2.22 ^b	16.38 \pm 2.79 ^e
100	57.89 \pm 1.71 ^a	7.02 \pm 0.84 ^d	18.19 \pm 2.79 ^a	19.23 \pm 1.72 ^f

注:数值为平均值 \pm 标准偏差(n=8);同列中不同字母表示有显著性差异(p<0.05),a为最小值。

2.5 全麦粉对油条质构的影响

表5是不同全麦粉取代率对油条全质构影响的结果。结果显示,油条的硬度受全麦粉影响最显著,未添加全麦粉的油条(空白)硬度仅为2490.45 g,随着全麦粉的添加量上升到100%时,油条的硬度几乎是空白的5倍。同时,油条的黏附性和咀嚼性也随全麦粉的增加而显著上升。相反,油条的内聚性,弹性和回复性都呈缓慢下降趋势,弹性由0.89下降到0.76。

Özboy 等人^[15]认为小麦麸皮的存在导致了面筋理化特性的破坏,这个是影响产品质构的最主要因素。同时,粗麸皮的高含量对面筋网络结构和面团的流变学特性具有显著影响,麸皮和胚芽等大粒径颗粒的存在而使其结构更加粗糙,产品硬度较大^[25]。此外,在淀粉含量相对较高的产品中,影响质构较大的则是加热过程中淀粉的糊化^[26],而全麦粉中淀粉的含量相对较低,对质构产生不利影响。

表5 全麦粉取代率对油条质构特性的影响

Table 5 Effect of the WWF substitution rate on the texture of youtiao product

全麦粉取代率/%	硬度/g	内聚性	弹性	咀嚼性	黏附性	回复性
0 (空白)	2490.45 \pm 85.43 ^a	0.58 \pm 0.01 ^c	0.89 \pm 0.01 ^e	1081.51 \pm 106.67 ^a	1407.93 \pm 28.17 ^a	0.17 \pm 0.00 ^c
20	4058.63 \pm 126.12 ^b	0.54 \pm 0.02 ^b	0.87 \pm 0.01 ^d	1611.22 \pm 72.40 ^b	1621.61 \pm 34.35 ^b	0.16 \pm 0.00 ^b
40	6343.23 \pm 106.59 ^c	0.54 \pm 0.01 ^b	0.84 \pm 0.01 ^c	2816.89 \pm 99.17 ^c	3411.80 \pm 109.10 ^c	0.15 \pm 0.00 ^a
60	7067.85 \pm 121.83 ^d	0.54 \pm 0.00 ^b	0.81 \pm 0.01 ^b	3175.57 \pm 14.74 ^d	3718.71 \pm 76.68 ^d	0.15 \pm 0.00 ^a
80	9427.47 \pm 260.68 ^e	0.53 \pm 0.01 ^b	0.81 \pm 0.01 ^b	3410.78 \pm 43.68 ^e	4716.70 \pm 140.49 ^e	0.15 \pm 0.00 ^a
100	11958.38 \pm 427.68 ^f	0.51 \pm 0.02 ^a	0.76 \pm 0.01 ^a	4449.45 \pm 71.32 ^f	5357.50 \pm 81.32 ^f	0.15 \pm 0.00 ^a

注:数值为平均值 \pm 标准偏差(n=5);同列中不同字母表示有显著性差异(p<0.05),a为最小值。

全麦粉对油条穿刺力影响的结果如图2,如图所示,随着全麦粉添加量的提高,油条的穿刺力呈上升趋势。0%全麦粉添加量的油条(空白)的穿刺力仅为70.3 g,当全麦粉添加量提高到100%时,油条的穿刺力是空白的2倍多,表明含有全麦粉的油条与空白相比具有较致密和较硬的质构。实验结果与 Curti^[27]和 Katina^[28]等在制作面包时的结果相似,他们认为小麦麸皮导致蛋白网络结构变差。同时研究表明,麸皮和胚芽粒子的存在也破坏面筋网络结构。总之,一方面是全麦粉对淀粉的稀释影响了油条的质构特性;另一方面是全麦粉中的高膳食纤维含量显著影响了油条的质构和产品质量。

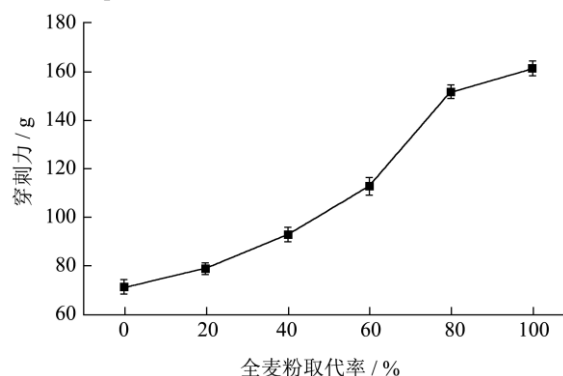


图2 全麦粉取代率对油条穿刺力的影响

Fig.2 Effect of the WWF substitution rate on the puncture force of youtiao product

2.6 油条含水和含油量变化

油条含油量一般为 10~35%，含水量为 25~35%，油条的含水含油量赋予油条特殊的质构和风味。对于油炸食品而言，许多因素会影响产品的含油量，比如油炸工艺，淀粉的糊化，蛋白质变性，水分蒸发等。近年来，消费者更青睐于低脂肪或零脂肪食品，因此低脂肪油条的生产成为油条行业发展的重要推动力。

图 3 是不同全麦粉取代率对油条含水量和总含油量影响的结果。结果显示，随着全麦粉取代率的提高，油条的含水量逐渐升高，而含油率呈下降趋势。当全麦粉的添加量从 0% 提高到 100% 时，油条的含水量由 28.04% 上升到 34.09%。结果与 Kweon 等人^[29]的结果相似，他们推测全麦粉麸皮中阿拉伯木聚糖的存在具有较高的吸水性。已有研究表明亲水性聚合物如甲基纤维素和羟丙基甲基纤维素等成分的存在都可以起到水分保持作用，降低水分的蒸发^[30-31]。此外，从图看出，100% 全麦粉添加量的油条其总含油量是最低的，仅 11.25%，与空白相比降低了 42.6%。Heo^[32]和 Lee^[33]等也发现了相似的现象，他们指出麸皮中β-葡聚糖的高持水性对于降低油脂的吸收具有显著影响。

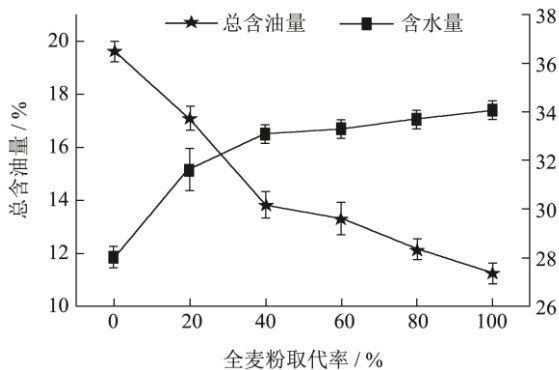


图 3 全麦粉取代率对油条含水量和总含油量的影响

Fig.3 Effect of the WWF substitution rate on the moisture content and total oil content of youtiao product

大多数油炸制品脂肪的吸收是油炸结束后从炸用油中取出时吸收的，脂肪或者停留在产品的表面或者进入产品的内部^[12]。图 4a 是不同全麦粉取代率对油条表面含油量影响的结果。从图看出，随着全麦粉添加量的提高，油条的表面含油量逐渐降低。当精致面粉被全麦粉完全取代时，油条的表面含油量从 5.97% 降低到 3.98%，100% 全麦粉添加量的油条表面含油量降低了 33.3%。根据以前报道，表面含油量与表面的粗糙程度显著相关^[34]，同时，表皮表面的淀粉糊化程度越大越能阻止水分的蒸发和阻止脂肪的吸收^[35]。而本实验结果显示全麦粉取代率高的油条表面含油量却是降低的，推测可能是由于全麦油条的表面积

较小，较小的表面积导致在油条表面的吸附的油量降低，因此，与空白相比会有较少的脂肪吸附在油条表面。图 4b 是不同取代率的全麦粉对油条结构含油量影响的结果，结果显示，空白组的结构含油量是最高的，当精制面粉被全麦粉完全取代时，结构含油量降低到 7.27%，与空白相比降低了 26.9%。Li 等人^[21]推测存在于小麦麸皮中的阿拉伯木聚糖具有较强的结合水能力，阿拉伯木聚糖的存在阻止了水分的蒸发从而抑制了脂肪的吸收^[36]。

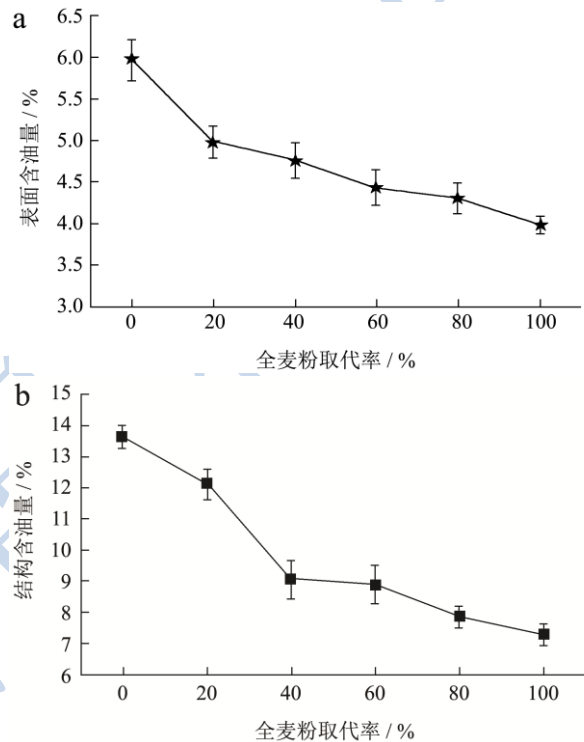


图 4 全麦粉取代率对油条表面含油量 (a) 和结构含油量 (b) 的影响

Fig.4 Effect of the WWF substitution rate on the surface (a) and structure of the oil contents (b) of youtiao product

2.7 相关性分析

全麦粉取代率与油条的比容、含水量及含油量的相关性如表 6 所示，全麦粉取代率与油条的比容、含水量、表面含油量和结构含油量均有显著相关性，其中全麦粉取代率与油条的含水量存在正相关关系，相关系数为 $r=0.869$ ，与油条的比容 ($r=0.995$)、表面含油量 ($r=0.942$) 及结构含油量 ($r=0.951$) 存在负相关关系。这说明全麦粉的加入显著提供了油条的含水量，但油条的比容显著下降，油条的膨胀性显著降低，油条的表面含油量和结构含油量也显著下降。推测原因可能是全麦粉麸皮中阿拉伯木聚糖的存在具有较高的吸水性使得油条的含水量变高，而强吸水成分的存在也限制了面筋蛋白的吸水性，从而导致面筋不能形成

合适的网络结构来持气,降低了油条的比容。同时由于麸皮中阿拉伯木聚糖的持水性抑制了脂肪的吸收,从而降低了油条的含油量。

表 6 全麦粉取代率与油条含水含油量及比容的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of WWF substitution with specific volume, moisture, and oil contents of youtiao product

Pearson 相 关系数	比容	含水量	表面含 油量	结构含 油量
全麦粉	-0.995**	0.869*	-0.942**	-0.951**

注: **在.01水平(双侧)上显著相关; *在.05水平(双侧)上显著相关。

3 结论

总之,对于油条面团而言,全麦粉的加入显著影响了油条面团的流变学特性,面团的形成时间从 16.03 min 降低到 11.33 min,稳定时间与空白相比降低了 8.00 min,吸水率由 64.87% 上升到 76.33%。同时,全麦粉的加入降低了重组粉的糊化特性,使得重组粉的峰值粘度、回升值和衰减值显著下降。对于油条产品而言,全麦粉的加入降低了油条的比容,并使油条的表面色泽变暗。油条的质构也受到全麦粉的显著影响,100%全麦粉取代率的油条的硬度几乎是空白的 5 倍,由 2490.45 g 提高到 11958.38 g,但内聚性、回复性和粘附性均降低。此外,全麦粉的加入降低了油条的总含油量,100%全麦粉添加量的油条的总含油量只有 11.25%,比空白组降低了 42.6%。此外,线性相关性分析表明,全麦粉取代率与油条的比容、表面含油量和结构含油量呈负相关关系,与油条的含水量呈显著正相关关系,低含油量的油条产品对人体健康更有利。

参考文献

- [1] 赵勇.降低油炸食品含油量的研究[D].重庆:西南大学,2008
ZHAO Yong. Reduction of oil content of fried foods [D]. Chong Qing: Southwestern University, 2008
- [2] 杨念.发酵型速冻油条的制作与冻藏过程中品质变化与改良的研究[D].河南:河南农业大学,2012
YANG Nian. Production of fermented quick-frozen youtiao product and reasearch of the change and improvement during its frozening [D]. Henan: Henan Agricultural University, 2012
- [3] 鞠国泉,米思.无铝复合膨松剂在油条制作中的应用研究[J].中国粮油学报,2010,25(7):110-112
JU Guo-quan, MI Si. Application of non-aluminum composite leavening agent in the production of youtiao product [J]. Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(7): 110-112
- [4] 张国治,李果.无铝油条膨松剂及无铝速冻油条的研究[C].2009 年促进中部崛起专家论坛暨第五届湖北科技论坛,2009
ZHANG Guo-zhi, LI Guo. Research of leavening agents without aluminum and aluminum-free quick-frozen youtiao product [C]. The Fifth Science and Technology Expert Forum in Hubei about Promoting the Rise of Central China in 2009, 2009
- [5] Albert S, Mittal G S. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product [J]. Food Research International, 2002, 35(5): 445-458
- [6] Wang H Y, Feng F, Guo Y, et al. HPLC-UV quantitative analysis of acrylamide in baked and deep-fried Chinese foods [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 31(1): 7-11
- [7] Chang M L, Johnson M A, Baker D. Effects of whole wheat flour and mill-fractions on lipid metabolism in rats [J]. Experimental Biology and Medicine, 1979, 160(1): 88-93
- [8] Parker E D, Liu S, Horn L V, et al. The association of whole grain consumption with incident type 2 diabetes: the women's health initiative observational study [J]. Annals of Epidemiology, 2013, 23(6): 321-327
- [9] Giacco R, Della Pepa G, Luongo D, et al. Whole grain intake in relation to body weight: from epidemiological evidence to clinical trials [J]. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 2011, 21(12): 901-908
- [10] Bourne M C, Moyer J C, Hand D B. Measurement of food texture by a universal testing machine [J]. Food Technology, 1996, 20(4): 170-174
- [11] Wang L, Deng L L, Wang Y Y, et al. Effect of whole wheat flour on the quality of traditional Chinese Sachima [J]. Food Chemistry, 2014, 152(1): 184-189
- [12] Bouchon P, Aguilera J M, Pyle D L. Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying, food engineering and physical properties [J]. Journal of Food Science, 2003, 68(9): 2711-2716
- [13] Hatcher D W, Lagasse S, Dexter J E, et al. Quality characteristics of yellow alkaline noodles enriched with hull-less barley flour [J]. Cereal Chemistry, 2005, 82(1): 60-69
- [14] Hung P V, Maeda T, Morita N. Dough and bread qualities of flours with whole waxy wheat flour substitution [J]. Food Research International, 2007, 40(2): 273-279
- [15] Özboy Ö, Küksel H. Unexpected strengthening effects of a coarse wheat bran on dough rheological properties and

- baking quality [J]. *Journal of Cereal Science*, 1997, 25(1): 77-82
- [16] Ahmed J, Almusallam A S, Al-Salman F, et al. Rheological properties of water insoluble date fiber incorporated wheat flour dough [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 51(2): 409-416
- [17] Sudha M L, Vetrmani R, Leelavathi K. Influence of fiber from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality [J]. *Food Chemistry*, 2007, 100(4): 1365-1370
- [18] Liu J J, He Z H, Zhao Z D, et al. Wheat quality traits and quality parameters of cooked dry white Chinese noodles [J]. *Euphytica*, 2003, 131(2): 147-154
- [19] Symons L J, Brennan C S. The effect of barley glucan fiber fractions on starch gelatinization and pasting characteristics [J]. *Journal of Food Science*, 2004, 69(4): 257-261
- [20] Chen J S, Fei M J, Shi C L, et al. Effect of particle size and addition level of wheat bran on quality of dry white Chinese noodles [J]. *Journal of Cereal Science*, 2011, 53(2): 217-224
- [21] Li J, Hou G G, Chen Z, et al. Studying the effects of whole-wheat flour on the rheological properties and the quality attributes of whole-wheat saltine cracker using SRC, alveograph, rheometer, and NMR technique [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 55(1): 43-50
- [22] Singh M, Liu S X, Vaughn S F. Effect of corn bran as dietary fiber addition on baking and sensory quality [J]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2012, 1(4): 348-352
- [23] Chillo S, Laversea J, Falconea P M, et al. Influence of the addition of buck wheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality [J]. *Journal of Cereal Science*, 2008, 47(2): 144-152
- [24] Frank A Manthey, Anton L Schorno. Physical and cooking quality of spaghetti made from whole wheat durum [J]. *Cereal Chemistry*, 2002, 79(4): 504-510
- [25] Barros F, Alviola J N, Rooney L W. Comparison of quality of refined and whole wheat tortillas [J]. *Journal of Cereal Science*, 2012, 51(1): 50-56
- [26] Andersson A, Gekas A, Lind I, et al. Effect of preheating on potato texture [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1997, 34(3): 229-251
- [27] Curti E, Carini E, Bonacini G, et al. Effect of the addition of bran fractions on bread properties [J]. *Journal of Cereal Science*, 2013, 57(3): 325-332
- [28] Katina K, Salmenkallio-Marttila M, Partanen R, et al. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fiber wheat bread [J]. *LWT Food Science and Technology*, 2006, 39(5): 479-491
- [29] Kweon Meera, Slade Louise, Levine Harry. Development of a benchtop baking method for chemically leavened crackers II validation of the method [J]. *Cereal Chemistry*, 2011, 88(1): 25-30
- [30] Mellema M. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2003, 14(9): 364-373
- [31] Primo-Martín C, Sanz T, Steringa D W, et al. Performance of cellulose derivatives in deep-fried battered snacks: Oil barrier and crispy properties [J]. *Food Hydrocolloids*, 2010, 24(8): 702-708
- [32] Heo S, Lee S M, Bae I Y, et al. Effect of lentinus edodes β -glucan-enriched materials on the textural, rheological, and oil-resisting properties of instant fried noodles [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, 6(2): 553-560
- [33] Lee S, Inglett G E. Effect of an oat β -glucan-rich hydrocolloid (C-trim30) on the rheology and oil uptake of frying batters [J]. *Journal of Cereal Science*, 2007, 72(4): 222-226
- [34] Moreno M C, Brown C A, Boucho P. Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products [J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 101(2): 179-186
- [35] Primo-Martín C, Van Deventer H. Deep-fat fried battered snacks prepared using super heated steam (SHS): Crispness and low oil content [J]. *Food Research International*, 2011, 44(1): 442-448
- [36] Khan T, Park J, Kwon J H. Functional biopolymers produced by biochemical technology considering applications in food engineering [J]. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2007, 24(5): 816-826