

水不溶性阿拉伯木聚糖添加量对油条品质的影响
Effects of water-unextractable arabinoxylans on the qualities
of traditional Chinese Youtiao

王维石¹ 张君慧² 李玲¹ 樊铭聪¹ 王立¹

WANG Wei-shi¹ ZHANG Jun-hui² LI Ling¹ FAN Ming-cong¹ WANG Li¹
钱海峰¹ 李言¹ 张晖¹ 齐希光¹

QIAN Hai-feng¹ LI Yan¹ ZHANG Hui¹ QI Xi-guang¹

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 中粮营养健康研究院有限公司, 北京 102209)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;
2. Nutrition & Health Research Institute, COFCO Corporation, Beijing 102209, China)

摘要:研究水不溶性阿拉伯木聚糖(WUAX)对油条面团及其产品品质的影响。结果显示:随着WUAX添加量的增加,油条混合粉的持水能力提升,糊化温度无明显变化,糊化峰值黏度逐渐降低,从2 222.67 mPa·s降到2 053.00 mPa·s。油条面团的粉质特性变化较小,仅吸水率从56.77%增加到64.93%。油条面团拉伸特性的各指标因醒发时间不同而呈现不同的变化趋势。通过扫描电镜观察,4% WUAX添加量的油条面团无法形成均匀的淀粉颗粒结构。4% WUAX添加量的油条产品比容仅为3.68 cm³/g,比空白组低27.45%;油条产品含水率由27.17%上升到31.74%;硬度是空白组的4倍,油条含油率仅为12.29%,比空白组含油率降低了37.31%。WUAX可用于生产低含油量、高营养价值的油条产品。

关键词:水不溶性阿拉伯木聚糖;油条;面团;含油量

Abstract: The effects of water-unextractable arabinoxylans (WUAX) on the properties of the dough and the final qualities of traditional Chinese Youtiao were investigated. For Youtiao mixed powder, the water holding capacity had been improved, the change of gelatinization temperature was not significant and peak viscosity fell from 2,222.67 to 2,053.00 mPa·s. The farinographic properties of Youtiao dough was slightly affected by extra WUAX, except that the water absorption increased from 56.77% to 64.93%. The extensographic properties varied complexly at different proofing time. The SEM microstructure of dough showed that the uniform starch

granule structure could not be formed in youtiao dough with 4% extra WUAX. The specific volume of Youtiao with 4% WUAX was only 3.68 cm³/g, which was 27.45% lower than that of control. The moisture content increased from 27.17% to 31.74%, and the hardness was almost four times as high as that of the control. Most importantly, the total oil content of Youtiao with 4% WUAX was only 12.29%, which was 37.31% less than the control. Our results suggested that WUAX could be used in Youtiao production to provide a low-fat option with improved nutrition.

Keywords: water-unextractable arabinoxylans; youtiao; dough; oil content

油条是中国一种传统油炸食品,由于历史悠久,低成本和独特的味道,在中国食品文化中占有重要地位。作为油炸食品,油条的含油量相对较高(约10%~35%)^[1],因此,许多具有强烈健康意识的消费者则更倾向于一些含油量更低的食物。此外,传统油条制品中以明矾作为膨松剂,其中的铝残留也引起了许多消费者的关注^[2]。最近,有许多研究集中在改进低含油量油炸产品的方法。Albert等^[3]使用大豆蛋白分离物,乳清蛋白分离物和甲基纤维素来提高油炸谷物产品的营养价值、降低含油量。Wang等^[4]将酵母和盐添加到油条面团中,以降低产物中的丙烯酰胺含量。然而,关于如何通过改变其基本配方来生产更营养健康的油条制品的研究则未有报道。

全麦粉保留麸皮和胚芽,它含有小麦的大部分营养素,包括粗纤维、多种矿物质、维生素和必需氨基酸。据报道^[5]全谷物食物的摄入显著降低了低密度脂蛋白胆固醇和总胆固醇水平。长期摄入全谷物可以延缓慢性疾病,如糖尿病、肥胖和癌症^[6-7]。全麦粉麸皮中最主要的多糖成分是阿拉

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31471617)

作者简介:王维石,男,江南大学在读本科生。

通信作者:王立(1978—),男,江南大学教授,博士。

E-mail: wl0519@163.com

收稿日期:2017-05-03

伯木聚糖,近年来关于水溶性阿拉伯木聚糖对面团及产品影响的研究已逐渐增多,而不溶性的阿拉伯木聚糖由于结构较复杂,对面团及面产品的影响机制已有的报道^[8-10]也存在争议。Noort 等^[11]认为阿拉伯木聚糖(AX)凝胶有较强的吸水能力,从而抑制了小麦面筋蛋白网状结构的吸水形成,这两类大分子之间存在竞争性吸水 and 水分迁移的现象,是导致全麦面包品质差的原因;郑学玲等^[12]认为小麦麸皮经碱法提取后变为可溶性的 AX 对面粉品质有改善效果。Rouau 等^[13]则报道,AX 对面团可起改良和恶化双重作用。各学者的研究结果不统一的主要原因是水不溶性阿拉伯木聚糖(WUAX)相比于水溶性阿拉伯木聚糖(WEAX),结构更复杂,分支更多,对面团的作用更复杂。因此,研究不溶性阿拉伯木聚糖对面团理化指标的影响,有助于探究其对油条面团和油条产品品质影响的机制。

本试验拟研究水不溶性阿拉伯木聚糖添加量对油条混合粉持水性、糊化特性和对面团粉质特性、拉伸特性的影响,以及对油条产品比容、含水含油量及质构的影响,以期开发一种低含油量、高营养品质的油条制品。

1 材料与方法

1.1 试验材料

- 面粉:中粮面业有限公司;
- 不溶性阿拉伯木聚糖(WUAX):上海远慕生物科技有限公司;
- 安琪无铝油条膨松剂:安琪酵母股份有限公司;
- 棕榈油:中粮东海粮油工业;
- 小苏打、食盐、白糖:市售;
- 盐酸、无水乙醚、硫酸等:国药集团化学试剂有限公司。

1.2 试验仪器与设备

- 和面机:5K5SS 型,美国 KitchenAid 公司;
- 粉质拉伸仪:Farincgreph-E 型,德国 Brabender 公司;
- 快速黏度分析仪:4500 型,澳大利亚波通公司;
- 油炸锅:DK-18 型,广州帝肯餐饮设备有限公司;
- 质构分析仪:TA-XT 型,英国 SMS 公司;
- 旋转流变仪:AR-G2 型,美国 TA 仪器公司;
- 扫描电子显微镜:S-4800 型,日本 Hitachi 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 油条的基本配方和工艺流程

- (1) 基本配方:面粉 100 g,膨松剂 4.00 g,小苏打1.20 g,食盐 1.20 g,白糖 2.00 g,饮用水 55 g。在油条基本配方中分别加入不同量的 WUAX (1%,2%,3%,4%),以不添加为对照组,比较油条混合粉、面团以及油条产品的理化及品质指标。
- (2) 油条制作工艺:面粉和膨松剂由搅拌机混匀,小苏打、盐和糖溶解在水中,然后倒入和面机中和面 10 min,以形成面筋网络结构。叠面后,压面团 2 min,在醒发箱中(温度 37 ℃,湿度 80%)饧面 30 min,再压面团 1 min,再在醒发箱中饧面 2 h。然后将面团切成面块(12.00 cm×2.50 cm×1.40 cm),在 190 ℃下炸制 50 s,冷却至室温。

1.3.2 测定方法

- (1) 混合粉持水率的测定:称取一定量混合粉,用 30 g 蒸馏水溶解,振荡混匀后静置 45 min,室温下于 2 300×g 离心 25 min,记录离心后上清液的质量。每个样品测定 3 次。按式(1)计算持水率。

$$M = \frac{30 - m_2}{m_1} \times 100\%,$$

(1)

- 式中:
- M——样品持水率,%;
- m₁——混合粉质量,g;
- m₂——离心后上清液的质量,g。

- (2) 混合粉糊化特性的测定:利用快速黏度分析仪,测定程序参考 GB/T 14490—2008。重复测定 3 次。

- (3) 面团粉质与拉伸特性的测定:面团的粉质特性测定方法参考 GB/T 14614—2006,采用粉质拉伸仪测定;拉伸特性测定方法参考 GB/T 14615—2006,每个样品测定 3 次。

- (4) 面团微观结构分析:分别将添加 0%和 4% WUAX 制得的面团冷冻干燥,取少量干燥后的面团于铝钵上,用双面胶固定并在样品表面镀金,在扫描电子显微镜下观察面团的微观结构。每个样品平行测定 3 次。

- (5) 油条比容的测定:参照文献[14]。

- (6) 油条含水量的测定:采用 105 ℃烘干法。

- (7) 油条含油量的测定:油条从油锅中取出后在油锅边沿停留 10 s,然后在无水乙醚中浸 20 s,油条表面的油会洗脱下来,这一部分油则为表面含油量。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。结构含油量的测定采用索氏抽提法,计算按照抽提出的脂肪含量与油炸前油条干基重的比值。总含油量则是结构含油量与表面含油量的总和。每个样品平行测定 3 次。

- (8) 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 型质构分析仪测定,参考文献[15]的方法。全质构测试程序中选用 P/35 探头,把油条切成 2 cm 进行测试,压缩前探头运行速度 1 mm/s,中间速度 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,主要分析硬度、弹性、内聚性、回复性和咀嚼性 5 个指标。此外,用质构仪测试油条的穿刺力,选择穿刺程序,探头使用 P/2 N,压缩比选择 85%,其它参数设定同 TPA 测试^[16]。每个样品重复测定 5 次。

1.4 数据分析

- 数据采用平均值±标准偏差表示,运用 SPSS 软件对指标进行相关性和显著性分析,显著水平设定在 5%,用 Origin 8.6 和 Excel 对数据进行绘图。

2 结果与讨论

2.1 对混合粉持水率的影响

- 由图 1 可知,随着 WUAX 添加量的增加,混合粉的持水率快速升高,未添加 WUAX 油条粉的持水率仅为 55.14%,而当 WUAX 添加量为 3%时,混合粉的持水率升高到 63.60%,说明 WUAX 的加入明显提高了混合粉的吸水性

力。与 Bonnard-Ducassee^[17]研究 WUAX 持水率的结果相似,由于 WUAX 是多糖化合物,同时能与纤维中的其它成分(如木质素和纤维素)连接,这些物质都含有亲水性基团,因此表现出较强的吸水性。

2.2 对油条混合粉糊化特性的影响

由表 1 可知:随着 WUAX 添加量的增加,混合粉的黏度、回升值和衰减值均呈降低的趋势,而糊化温度没有显著变化。当 WUAX 添加量 4% 时,混合粉的峰值黏度和最终黏度分别从 2 222.67 mPa·s 和 2 512.67 mPa·s 下降到 2 053.00 mPa·s 和 2 413.00 mPa·s,衰减值和回升值也分别从 1 012.33 mPa·s 和 1 302.33 mPa·s 下降到 893.67 mPa·s 和 1 253.67 mPa·s。已有的研究^[18]表明淀粉的糊化特性取决于淀粉可获得的水分含量,WUAX 的存在会干扰淀粉分子间的交联,降低淀粉所获得的水分,因而会降低淀粉的糊化特性。当混合粉中 WUAX 添加量提高

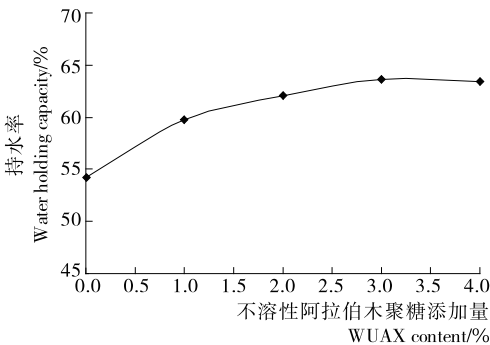


图 1 不溶性阿拉伯木聚糖添加量对油条混合粉持水率的影响

Figure 1 Effect of WUAX on the water holding capacity of youtiao mixed flour

时,其峰值黏度和最终黏度降低的另一个原因是由于 WUAX 与糊化的淀粉大分子之间非共价作用而发生相分离,生物大分子的相分离使得混粉的糊化黏度下降^[19]。

2.3 对面团粉质特性的影响

由表 2 可知,随着 WUAX 添加量的增加,混合粉的吸水率显著上升。当 WUAX 添加量为 4% 时,混合粉的吸水率上升至 64.93%,且每增加 1% 的 WUAX,混合粉的吸水率约升高 2%。由于 WUAX 具有较高的持水能力,在面团的形成阶段会影响面筋蛋白的吸水成型,改变面筋蛋白的凝聚条件。同时,WUAX 的添加对混合粉的形成时间、稳定时间和粉质质量指数影响不显著,可能是 WUAX 结构更复杂、分支更多,对面团的影响更复杂。Rouau 等^[20]报道麸皮中阿拉伯木聚糖对面团可起改良和恶化双重作用。

2.4 对面团拉伸特性的影响

由图 2(a)可知,当醒发时间为 90 min 时,WUAX 的添加减小了面团的拉伸曲线面积,而在其它醒发时间下 WUAX 对面团的拉伸曲线面积影响不显著。由图 2(b)可知,醒发时间为 45,90 min 时,WUAX 的添加对面团的延伸度影响不明显,而当醒发时间为 135 min 时,延伸度逐渐降低。由图 2(c)可知,醒发时间 45 min 时,WUAX 的添加对面团拉伸阻力影响不大,当醒发时间为 90,135 min 时,WUAX 的添加提高了面团的拉伸阻力。由图 2(d)可知,在相同醒发时间下,面团的拉伸比例随着 WUAX 添加量的增大而增大。Courtin 等^[21]研究发现 WUAX 能增加面团的抗延伸性,得到硬度较高的面团。究其原因是 WUAX 之间或与麦谷蛋白交联阻碍混合粉中面筋蛋白网络结构的进一步形成,同时能吸附大量水分,而使面筋不能充分吸收水分形成面筋结构和面筋膜层,故降低了面团的延伸性,提高了面团的拉伸阻力^[22]。

表 1 不溶性阿拉伯木聚糖添加量对油条混合粉糊化特性的影响[†]

Table 1 Effect of WUAX on the pasting properties of youtiao mixed flour (n=3)

WUAX 添加量/%	峰值黏度/(mPa·s)	衰减值/(mPa·s)	最终黏度/(mPa·s)	回升值/(mPa·s)	糊化温度/℃
0	2 222.67±14.64 ^c	1 012.33±3.51 ^c	2 512.67±10.50 ^c	1 302.33±2.08 ^b	87.22±0.03 ^a
1	2 188.00±49.79 ^c	996.00±24.33 ^c	2 476.33±44.50 ^{bc}	1 284.33±16.17 ^b	87.20±0.00 ^a
2	2 129.33±28.04 ^b	957.00±17.69 ^b	2 450.33±28.01 ^{bc}	1 278.00±18.33 ^b	87.27±0.06 ^a
3	2 118.33±2.52 ^b	936.33±7.09 ^b	2 468.00±4.36 ^{ab}	1 286.00±6.08 ^b	87.00±0.48 ^a
4	2 053.00±29.61 ^a	893.67±3.06 ^a	2 413.00±35.09 ^a	1 253.67±15.04 ^a	87.25±0.00 ^a

† 同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

表 2 不溶性阿拉伯木聚糖添加量对油条面团粉质特性的影响[†]

Table 2 Effect of WUAX on the farinographic properties of youtiao dough (n=3)

WUAX 添加量/%	吸水率/%	面团形成时间/min	面团稳定时间/min	粉质质量指数/mm
0	56.77±0.00 ^a	6.97±0.06 ^b	10.00±0.35 ^a	111.67±2.52 ^a
1	58.87±0.12 ^b	5.83±0.23 ^a	9.40±0.20 ^a	105.33±6.66 ^a
2	60.90±0.10 ^c	6.63±0.59 ^{ab}	9.73±0.35 ^a	115.67±7.37 ^a
3	62.87±0.11 ^d	7.00±0.75 ^b	8.93±0.67 ^a	110.33±9.50 ^a
4	64.93±0.12 ^e	6.70±0.30 ^{ab}	9.90±0.95 ^a	109.67±9.29 ^a

† 同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

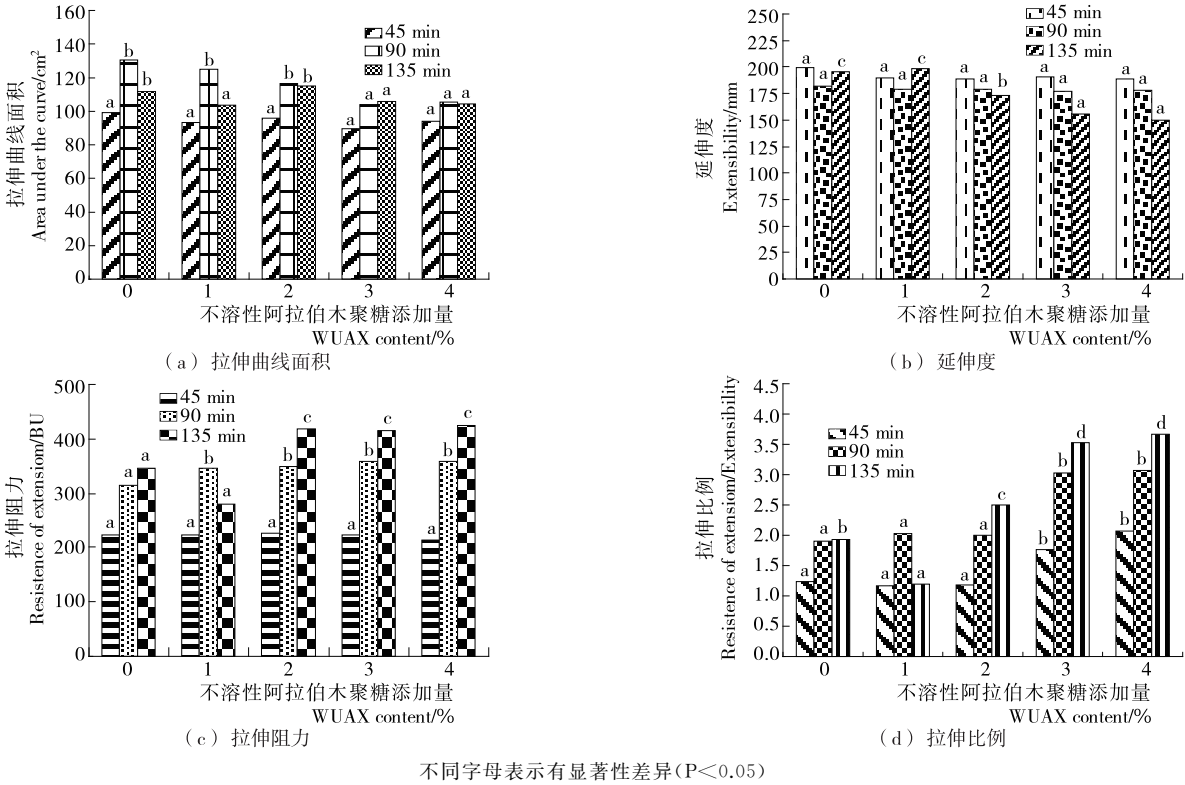


图 2 不溶性阿拉伯木聚糖添加量对油条面团拉伸特性的影响
Figure 2 Effect of WUAX on the extensographic properties of youtiao dough

2.5 对面团微观结构的影响

由图 3(a)可知,未添加 WUAX 的面团在扫描电镜中可以观察到粒径较为均匀的淀粉颗粒,淀粉颗粒被连续舒展的面筋网络结构所包裹。由图 3(b)可知,当 WUAX 添加量为 4% 时,面团内部不能形成较好的面筋网络结构,一部分淀粉颗粒裸露出来,面团内部连续的面筋网络结构遭到弱化。与 WUAX 可提高面团拉伸阻力和拉伸比例(图 2)的原因一致,均是由于高添加量的 WUAX 与蛋白质竞争性吸水的现象更强,改变了面筋形成所需环境,蛋白质吸水率降低导致蛋白网络结构的形成受阻,分布不规则,舒展性降低,并且部分凝聚^[23]。WUAX 存在于分散的细胞壁碎片中,一方面通过形成物理障碍物阻止面筋蛋白之间的结合,另一方面能与蛋白质发生交联,从而影响面筋网络结构的形成。Courtin 等^[24]认为 WUAX 阻止面团形成蛋白质薄膜,破坏其稳定性,也会阻碍蛋白质吸水形成薄膜。

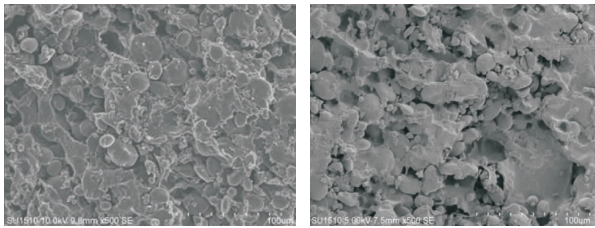


图 3 对照组面团和添加 4% 不溶性阿拉伯木聚糖的面团微观结构

Figure 3 Microstructure of youtiao dough and dough with 4% WUAX

2.6 对油条比容的影响

由图 4 可知,随着 WUAX 添加量的提高,油条的比容整体呈降低的趋势。当 WUAX 添加量为 1% 时,油条的比容与空白油条相比变化不显著。当 WUAX 的添加量超过 2% 时,油条的比容降低,且添加量为 4% 时油条的比容仅为 3.68 cm³/g。这是由于在一定加水量条件下,面团的稠度随 WUAX 的增加而提高,WUAX 通过与蛋白质竞争性吸水而抑制其形成均匀舒展的网络结构,同时也通过阿魏酸与面筋蛋白相互共价连接而形成了局部较大的网络结构,因而对面筋网络结构起到双重影响^[25]。

2.7 对油条含水量和含油量的影响

由图 5、6 可知,随着 WUAX 的添加,油条表面含油量和结构含油量均呈降低的趋势,总含油量逐渐降低,而含水量

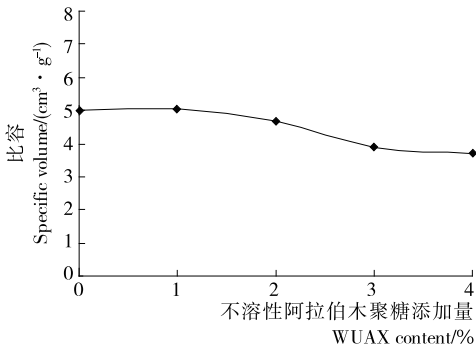


图 4 不溶性阿拉伯木聚糖添加量对油条比容的影响
Figure 4 Effect of WUAX on the specific volume of Youtiao product

逐渐升高。当 WUAX 添加到 4% 时,油条的表面含油量从 5.97% 降低到 4.27%,可能是油条的表面积较小,导致油条表面吸附的油量降低。未添加 WUAX 油条的结构含油量最高(13.69%)。当 WUAX 添加到 4% 时,结构含油量降低至 8.03%,与空白相比降低了 41.34%;油条的总含油量由空白的 19.60% 下降至 12.29%,与空白相比降低了 37.30%;而含水量却提高了 16.82%。Li 等^[26]认为 WUAX 具有较强的持水性,在油炸过程中能有效降低面团内部水分的散失,阻止面团内部与外界油的传质过程,减少水分向外蒸发和油向面团内部扩散,这也是油条结构含油量大幅度降低的原因。Wang 等^[27]认为小麦中不溶性物质(如 WUAX)具有较强的水分吸附能力,且在氧化剂存在下其具有氧化成胶的性质,而胶体的存在能有效降低油炸产品的吸油量。

2.8 对油条质构的影响

由表 3 可知:随着 WUAX 添加量的增加,油条的硬度和咀嚼性呈升高的趋势,而油条的弹性变化不明显,油条回复性和内聚性的变化无规律性。在 2.4 中发现加入 WUAX 可以提高油条面团的拉伸阻力和拉伸比例,增加面团的抗延伸性,醒发后得到硬度较大的面团。由于 WUAX 的存在,面筋蛋白没有充分吸水形成均匀舒展的网络结构。在油炸过程中,淀粉和面筋蛋白会在原来不均匀的形态下糊化定形。因此,随着 WUAX 添加量的增加,油条的硬度会逐渐增高,而比容则会逐渐降低(图 4)。

表 3 不溶性阿拉伯木聚糖添加量对油条质构特性的影响[†]

Table 3 Effect of WUAX on the texture of Youtiao product (n=3)

WUAX 添加量/%	硬度/g	咀嚼性	弹性	内聚性	回复性
0	655.479±51.129 ^a	351.43±31.91 ^a	0.930 6±0.025 7 ^a	0.575 6±0.010 8 ^a	0.170±0.004 ^a
1	709.091±14.838 ^a	414.63±21.83 ^a	0.882 8±0.051 3 ^a	0.569 4±0.011 1 ^a	0.171±0.003 ^a
2	1 044.627±84.683 ^a	542.33±61.95 ^a	0.923 4±0.016 9 ^a	0.522 8±0.023 3 ^a	0.172±0.016 ^a
3	1 719.713±97.831 ^a	812.88±33.04 ^a	0.841 0±0.027 2 ^a	0.490 2±0.008 0 ^a	0.172±0.002 ^a
4	2 400.476±120.052 ^a	1 008.44±46.32 ^a	0.902 4±0.046 8 ^a	0.519 8±0.003 0 ^a	0.173±0.010 ^a

[†] 同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

3 结论

本试验探究了全麦粉中不溶性阿拉伯木聚糖(WUAX)添加量对油条混合粉、面团及其产品品质的影响。结果发现,随着 WUAX 添加量的增加,油条混合粉的持水能力提升,糊化温度无明显变化,糊化峰值黏度逐渐降低。较高添加量的 WUAX 对面团的粉质、拉伸特性的影响较复杂,当 WUAX 添加量为 4% 时,面团的吸水率得到提高,稳定时间和形成时间变化不显著。对于油条产品而言,高含量的 WUAX 降低了油条的比容,提高了油条的硬度,油条总含油量降低了 37.30%,含水量提高了 16.80%。本试验中油条的硬度与含水量均随着 WUAX 添加量的增加而升高,但硬度与含水量之间的正相关关系尚存在争议,需要进一步分析与判断;此外,本研究未对油炸后 WUAX 的含量与性质进行分析与检测,希望今后能对其油炸前后的性质差异进行研究,以期在不溶性阿拉伯木聚糖在油炸制品中的推

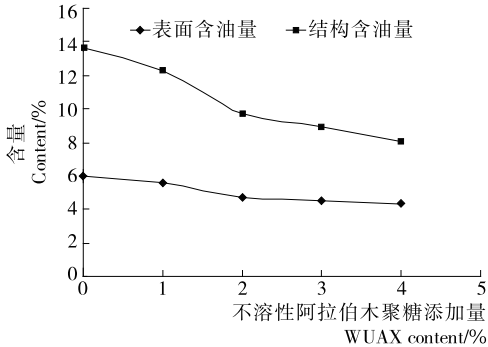


图 5 不溶性阿拉伯木聚糖添加量对油条含油量的影响
Figure 5 Effect of WUAX on the oil content of Youtiao

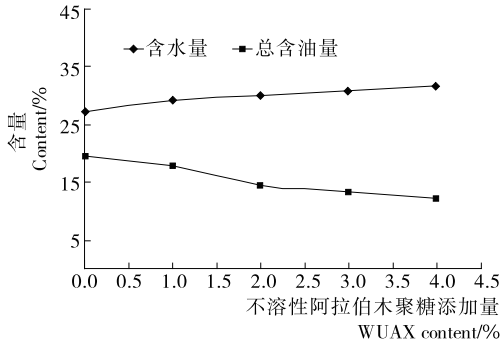


图 6 不溶性阿拉伯木聚糖添加量对油条含水量的影响
Figure 6 Effect of WUAX on the moisture content of Youtiao

广应用提供参考。

参考文献

[1] 李玲, 王立, 钱海峰, 等. 全麦粉对油条面团和油条质量的影响[J]. 现代食品科技, 2016(1): 242-249.

[2] 张慧慧, 周杨, 郑建仙. 复合改良剂对油条抗老化效果的影响[J]. 食品与机械, 2013, 28(4): 1-7.

[3] 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.

[4] WANG Hai-yan, FENG Feng, GUO Yong, 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.

[5] ADAM A, LOPEZ H W, LEUILLET M, et al. Whole wheat flour exerts cholesterol-lowering in rats in its native form and after use in bread-making[J]. Food Chemistry, 2003, 80(3): 337-344.

[6] PARKER E D, LIU S, HORN LV, 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.

[7] 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.

[8] 李雪. 小麦麸皮水不溶性阿拉伯木聚糖对馒头品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012: 5-7.

[9] 李娟, 王莉, 李晓瑄, 等. 阿拉伯木聚糖对小麦面筋蛋白的作用机理研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2012(1): 39-41.

[10] 夏洁人, 徐学明, 臧继鑫. 小麦麸皮酶解产物对面包品质的影响[J]. *食品与机械*, 2012, 28(6): 36-42.

[11] NOORT M W J, VAN HAASTER D, HEMERY Y, et al. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality-evidence for fibre-protein interactions [J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 52(1): 59-64.

[12] 郑学玲, 李利民, 姚惠源, 等. 小麦麸皮及面粉戊聚糖对面团特性及面包烘焙品质影响的比较研究[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(2): 21-25.

[13] ROUAU X, HAYEK M L, MOREAU D. Effect of an enzyme preparation containing pentosanases on the bread-making quantity of flours in relation to changes in potensan properties[J]. *Journal of Cereal Science*, 1994, 19(3): 259-272.

[14] 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]. 郑州: 河南农业大学, 2012: 18.

[15] CHAU C F, CHEUNG P C K, WONG Y S. Functional properties of protein concentrates from three Chinese indigenous legume seeds[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, 45(7): 2 500-2 503.

[16] 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.

[17] BONNAND-DUCASSE M, DELLA VALLE G, LEFEBVRE J, et al. Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties[J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 52(2): 200-206.

[18] GOESAERT H, BRIJS K, VERAVERBEKE W S, et al. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2005, 16(1): 12-30.

[19] 高杨, 周新莉, 张红蕾. AX 与面粉品之间的关系[J]. *粮食流通技术*, 2013(1): 33-39.

[20] ROUAU X, HAYEK M L, MOREAU D. Effect of an enzyme preparation containing pentosanases on the bread-making quantity of flours in relation to changes in potensan properties[J]. *Journal of Cereal Science*, 1994, 19(3): 259-272.

[21] COURTIN C M, DELCOUR J A. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making[J]. *Journal of Cereal Science*, 2002, 35(3): 225-243.

[22] GOESAERT H, BRIJS K, VERAVERBEKE W S, et al. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2005, 16(1): 12-30.

[23] DÖRING C, NUBER C, STUKENBORG F, et al. Impact of arabinoxylan addition on protein microstructure formation in wheat and rye dough[J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 154: 10-16.

[24] COURTIN C M, ROELANTS A, DELCOUR J A. Fractionation reconstitution experimentprovide insight into the role of endoxylanases in bread-making[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47: 1 870-1 877.

[25] 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.

[26] LI Juan, HOU G G, CHEN Zheng-xing, 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.

[27] WANG M, HAMER R J, VAN-VLIET T, et al. Effect of water unextractable solids on gluten formation and properties: mechanistic considerations[J]. *Journal of Cereal Science*, 2003, 37(1): 55-64.

(上接第 98 页)

[3] 祁丽, 张军, 黄冠星. 基于 Fluent 和 Workbench 的蒸汽喷射器流场分析和结构参数优化[J]. *流体机械*, 2014, 42(5): 35-38.

[4] 赵金红, 岳晓禹, 施娥娟, 等. 多层带式干燥机风速场的 CFD 模拟及检验[J]. *干燥技术与设备*, 2007(1): 15-21.

[5] 姚莉莉, 曹曦. 带钢干燥机工艺参数计算及结构设计[J]. *冶金设备*, 2016(6): 28-32.

[6] 苏全卫, 周航. 连续盘式热风干燥器干燥盘结构与传热分析[J]. *食品与机械*, 2017, 33(1): 97-100.

[7] 张宇, 谢洁飞. 批次循环粮食干燥机板式换热器优化设计[J]. *食品与机械*, 2016, 32(5): 98-100.

[8] 汪火良. 多孔介质传热传质过程的数值模拟—烟叶烘烤过程模拟技术研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2010: 2-4.

[9] 袁宏, 吴大转, 秦世杰, 等. 强制对流烤箱温度场特性及其优化研究[J]. *食品与机械*, 2017, 33(6): 73-78.

[10] 顾思源, 刘东, 项琳琳. 影响烤箱内腔温度场均匀性的关键因素分析[J]. *建筑热能通风空调*, 2015, 34(2): 54-58.

[11] 樊达宜, 栾秀春. 基于 FLUENT 的节流管式调节阀结构优化[J]. *哈尔滨商业大学学报: 自然科学版*, 2012, 28(5): 587-590.

[12] 樊达宜. 基于 FLUENT 的节流管式调节阀结构优化设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012: 15-17.

[13] 沈阳. 节流管式调节阀动态特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012: 30-34.

[14] 李浩涌. 一种饲料烘干机的温度控制研究及其流场分布数值模拟[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 34-40.