



引用格式:赵双丽,肖乃勇,刘兴丽,等.竹笋膳食纤维对反复冻融面团加工特性和水分分布的影响[J].轻工学报,2019,34(5):20-26.

中图分类号:TS211.4 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2019.05.003

文章编号:2096-1553(2019)05-0020-07

竹笋膳食纤维 对反复冻融面团加工特性和水分分布的影响

Effects of bamboo shoot dietary fiber on the processing characteristics and moisture distribution of repeated freeze-thaw dough

赵双丽,肖乃勇,刘兴丽,张艳艳

ZHAO Shuangli, XIAO Naiyong, LIU Xingli, ZHANG Yanyan

郑州轻工业大学 食品与生物工程学院/食品生产与安全河南省协同创新中心/
河南省冷链食品质量安全控制重点实验室,河南 郑州 450001

School of Food and Biological Engineering/He'nan Collaborative Innovation Center of Food Production and Safety/He'nan Key Laboratory of Cold Chain Food Quality and Safety Control, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China

关键词:

竹笋膳食纤维;冷冻面团;加工特性;水分分布

Key words:

bamboo shoot dietary fiber; frozen dough; processing characteristics; moisture distribution

摘要:将竹笋膳食纤维(BSDF)添加到面团中,研究了BSDF对反复冻融面团加工特性和水分分布的影响.结果表明:在反复冻融过程中,不添加BSDF的对照组面团的硬度呈现先增加后减小的趋势,黏度和咀嚼性增大,弹性变小,而添加了BSDF的面团,其硬度、黏度、弹性等各项指标均未受到显著影响;反复冻融次数超过1次时,添加BSDF的面团的弹性模量和黏性模量增大,损耗角正切 $\tan\alpha$ 减小;在反复冻融过程中,对照组面团的深层结合水含量下降,弱结合水和自由水含量上升,而添加了BSDF的面团的深层结合水含量上升,弱结合水含量下降,自由水含量变化不显著.

收稿日期:2019-09-01

基金项目:国家自然科学基金项目(31701541);郑州轻工业大学博士科研启动基金项目(2016BSJJ017)

作者简介:赵双丽(1994—),女,河南省周口市人,郑州轻工业大学硕士研究生,主要研究方向为速冻食品加工与安全控制.

通信作者:张艳艳(1988—),女,河南省驻马店市人,郑州轻工业大学讲师,博士,主要研究方向为速冻食品加工与安全控制.

Abstract: Bamboo shoot dietary fiber was added into dough to study the processing characteristics and moisture distribution of the repeated freeze-thaw dough. The results showed that the hardness of the dough in the control group increased first and then decreased, the viscosity and the chewiness increased, the elasticity became smaller. However, the hardness, viscosity and elasticity of the dough added with BSDF had not been significantly affected during the process of repeated freezing and thawing. When the number of repeated freeze-thaw cycles exceeded one time, the modulus of elasticity and viscosity of the BSDF dough increased, and the loss angle tangent decreased. During the process of repeated freezing and thawing, the deep layer bound moisture content of the dough in the control group decreased, while the weakly bound water and free water content increased. However, the addition of BSDF made the deep layer bound moisture content increased, the weakly bound moisture content decreased, and the free moisture content did not change significantly.

0 引言

冷冻面团是一种预制食品,但在冷藏、运输和销售过程中,有可能因温度控制不当而使冷冻面团出现反复冻融现象.在贮藏期间,即使偶尔出现小的温度波动,对冷冻面团的性能也有较大的影响^[1].由于温度的波动,冰晶可能会重新组合从而导致重结晶,严重影响冷冻面团的品质.目前,市售冷冻面制品普遍存在抗冻裂能力弱、蒸煮质量差(如出现裂口、蒸煮后韧性差、耐煮性差)等缺陷^[2].研究发现,膳食纤维的添加可以改善面团的品质^[3].N. Aravind等^[4]、李丹丹等^[5]分别研究了菊粉在意大利面和馒头中的应用,找到了不影响意大利面和馒头感官的菊粉最大添加量分别为20%和9%.王崇崇等^[6]研究了小麦麸皮膳食纤维对冷冻面团和馒头品质的影响,找到改善冷冻面团和馒头品质的小麦麸皮膳食纤维的最佳添加量为5%.但是,关于温度波动情况下膳食纤维对冷冻面团品质之影响的研究情况却鲜有报道.

竹笋是禾本科竹亚科植物,其膳食纤维含量占竹笋鲜重的2.23%~4.20%^[7-8].竹笋膳食纤维BSDF(bamboo shoots dietary fiber)是良好的膳食纤维来源,具有优良的理化功能性质.现有关BSDF的研究主要集中于BSDF的制备、改性和功能性质的研究^[9-11].本研究小组的前期研究发现:BSDF的理化性能优于米糠膳食纤

维和大豆膳食纤维^[12];提高面粉品质的BSDF之最适添加量为2%^[13].在前期研究的基础上,本文拟研究在反复冻融(变温)过程中,添加BSDF对冷冻面团加工特性(质构特性和流变学特性)的影响,并从冷冻面团水分分布的角度分析BSDF对反复冻融面团加工性能改善的原因,以期为面制品冷冻保藏与运输提供品质维护措施的理论依据.

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

面粉(蛋白质含量9.0%,脂肪含量1.5%,含水量12.8%),中粮(郑州)粮油工业有限公司产;竹笋膳食纤维(含水量85%,平均持水力17.85 mg/g,平均持油力10.14 mg/g,平均膨胀力9.63 mL/g,平均阳离子交换能力0.26 mmol/g, pH = 2时对亚硝酸根吸附量7.78 μ mol/g,对胆固醇吸附量6.88 mg/g),浙江耕盛堂生态农业有限公司产.

TA.XTplus质构仪,英国Stable Micro System公司产;NM120低场核磁共振成像分析仪,上海纽迈电子科技有限公司产;JSM-6490LV扫描电镜,日本JEOL公司产;UV-1100紫外/可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司产;Vertex70傅里叶红外光谱仪, Bruker公司产;RSS-200压面机,永康市富康电器有限公司产;Discovery流变仪,美国TA仪器公司产.

1.2 BSDF 的预处理

将 BSDF 真空冷冻干燥 24 h, 超微粉碎, 过 100 目筛, 备用。

1.3 面团的制备

称取 250 g 面粉, 分别加入质量分数为 2.0% 的 BSDF 和质量分数为 1.0% 的食盐(均以面粉质量计), 混合均匀, 然后加入质量分数为 42.0% 的水(以面粉质量计), 和面 5 min. 用电动压面机中延压面两次, 形成最终厚度为 1 mm 的面带, 将其放入托盘中并用保鲜袋密封, 在恒温醒发箱(温度 30℃, 湿度 85%)内醒发 30 min. 用直径为 74 mm 的模具切割醒发好的面团, 并将其放入托盘中, 盖上保鲜膜, 之后置于冰箱中冷冻 40 min 后取出. 将制备好的面团分成 5 组, 分别放入自封袋中, 储藏于 -18℃ 的冰箱内, 以备测试使用. 对照组的面团样品为未添加 BSDF 的面团, 制备方法同上。

1.4 面团的反复冻融处理

第 1 周, 把 5 组样品全部取出放在恒温醒发箱内, 于 30℃ 条件下解冻 1 h 后, 再放进 -18℃ 冰箱内, 即冻融 1 次. 第 2 周, 取出其中 4 组样品放在恒温醒发箱内, 于 30℃ 条件下解冻 1 h 后, 再放进 -18℃ 冰箱内, 即冻融 2 次. 第 3 周, 取出其中 3 组样品放在恒温醒发箱内, 于 30℃ 条件下解冻 1 h 后, 再放进 -18℃ 冰箱内, 即冻融 3 次. 第 4 周, 取出其中 2 组样品放在恒温醒发箱内, 于 30℃ 条件下解冻 1 h 后, 再放进 -18℃ 冰箱内, 即冻融 4 次. 第 5 周, 取出最后一组样品放进恒温醒发箱内, 于 30℃ 条件下解冻 1 h 后, 再放进 -18℃ 冰箱内, 即冻融 5 次. 对冻融 1—5 次的面团样品进行质构特性、流变学特性和水分分布的测定. 对照组的面团样品, 其反复冻融处理方法同上。

1.5 面团质构特性的测定

将直径 74 mm, 厚度 1 mm 的面团煮熟后,

放入 200 mL, 25℃ 的蒸馏水中静置 30 s 后捞出, 沥干面团表面的水分, 将面团放置于载物台上, 测定面团的质构特性 TPA 参数, 每组样品做 6 个平行实验. 质构特性的测定参照张华等^[10]的方法, 采用 P/50 铝制圆柱形探头, 参数设定: 接触模式为压缩, 测前速度为 1.00 mm/s, 测试速度为 0.80 mm/s, 测后速度为 0.80 mm/s, 压缩比为 50.00%, 压缩时间为 3.00 s, 触发力为 3.0 g, 两次压缩之间的时间间隔为 1 s。

1.6 面团流变学特性的测定

新鲜面团在恒温醒发箱内放置 30 min 后取出, 冷冻和反复冻融面团从冰箱中取出, 用保鲜膜密封, 将面团置于温度为 30℃, 湿度为 85% 的培养箱中解冻 30 min 后, 用动态流变仪测定面团流变学特性. 测定参照张华等^[9]的方法, 平板直径为 20 mm, 夹缝距离为 1 mm. 将面团放在上下夹具之间静置 5 min, 以使残留的压力松弛, 多余部分用小刀沿上夹具边缘切掉, 然后立刻用刷子沿边刷一层甲基硅油以防止水分蒸发. 频率扫描参数设定如下: 应变为 0.05%, 温度为 25℃, 频率为 0.1~40 Hz。

1.7 面团水分分布的测定

低场核磁共振作为一种新型的无损检测方法被广泛用于研究食品中的水分状态、分布、组成和迁移规律等^[14-17]. 反复冻融面团水分分布的测定根据陈洁等^[18]的方法, 并略作修改, 同时参照张华等^[9]的方法进行实验。

1.8 数据处理与分析

所有实验均重复测定 3 次, 实验所得数据均用 Excel 软件处理、Origin 8.5 作图. 测量数据以(平均值 ± 标准差)表示, $P < 0.05$ 为具有显著差异, $P < 0.01$ 为具有极显著差异。

2 结果与分析

2.1 反复冻融过程中 BSDF 对面团质构特性的影响

表 1 为反复冻融过程中 BSDF 对面团质构

表1 反复冻融过程中 BSDF 对面团质构特性的影响

Table 1 The effect of BSDF on the texture of dough during the process of freezing and thawing

冻融次数	硬度/g		黏度/(g·s)		弹性		咀嚼性/g	
	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组
1	2185 ± 289 ^{ab}	3786 ± 600 ^a	-1013 ± 240 ^b	-2348 ± 387 ^a	0.85 ± 0.04 ^a	0.71 ± 0.12 ^a	1305 ± 387 ^b	2719 ± 393 ^a
2	2432 ± 295 ^a	3056 ± 761 ^a	-1445 ± 233 ^{ab}	-2499 ± 255 ^a	0.75 ± 0.06 ^b	0.66 ± 0.11 ^a	1627 ± 363 ^{ab}	2072 ± 261 ^b
3	2714 ± 387 ^a	3018 ± 324 ^a	-1642 ± 186 ^a	-2747 ± 506 ^a	0.74 ± 0.05 ^b	0.67 ± 0.07 ^a	1808 ± 208 ^a	2162 ± 347 ^{ab}
4	1723 ± 303 ^b	2996 ± 842 ^a	-1660 ± 332 ^a	-2045 ± 286 ^a	0.71 ± 0.02 ^b	0.75 ± 0.08 ^a	1546 ± 325 ^{ab}	2291 ± 277 ^{ab}
5	1765 ± 324 ^b	2994 ± 642 ^a	-1600 ± 265 ^a	-2260 ± 484 ^a	0.78 ± 0.01 ^b	0.74 ± 0.09 ^a	1740 ± 625 ^{ab}	2329 ± 415 ^{ab}

注:表中数据为(平均值 ± 标准差),肩标字母相同表示数值之间不具有显著性差异($P > 0.05$);肩标字母不同表示数值之间具有显著性差异($P < 0.05$).下同

特性的影响.由表1可知,随着冻融次数的增加,对照组面团的硬度呈现先增加后减小的趋势,黏度不断增大,弹性变小,咀嚼性变大.这可能是因为冻融次数的增加对面团的破损淀粉含量与面筋蛋白网络结构的影响加深,反复冻融过程会造成冰晶再生长和重结晶,使得淀粉、蛋白等空间构象发生不可逆的变化^[19].与对照组面团相比,添加 BSDF 的面团的硬度、黏度和咀嚼性增大,弹性减小.这可能是因为竹笋纤维具有良好的吸水和持水能力,且又含有较多的活性基团,影响了面团的质构特性.但是在反复冻融过程中,添加了 BSDF 的面团,其硬度、黏度和弹性各项指标均未受到显著影响,这表明 BSDF 能够在一定程度上保护面筋蛋白的网络结构,避免其功能特性的损失.

2.2 反复冻融过程中 BSDF 对面团流变学特性的影响

弹性模量 G' 是指储存在物质中的或经过一个振动周期的正弦形变后所恢复的能量,它代表的是物质的弹性本质;黏性模量 G'' 是指每个周期的正弦形变所消耗或损失的能量,它代表的是物质的黏性本质^[20].面团是一种具有黏弹性的材料,它既有黏性流体的某些性质,也具有弹性固体的某些特性.反复冻融过程中 BSDF 对面团流变学特性的影响如图1所示.由图1可以看出,反复冻融超过1次时,添加 BSDF 的面团的弹性模量和黏性模量增大,损耗角正切

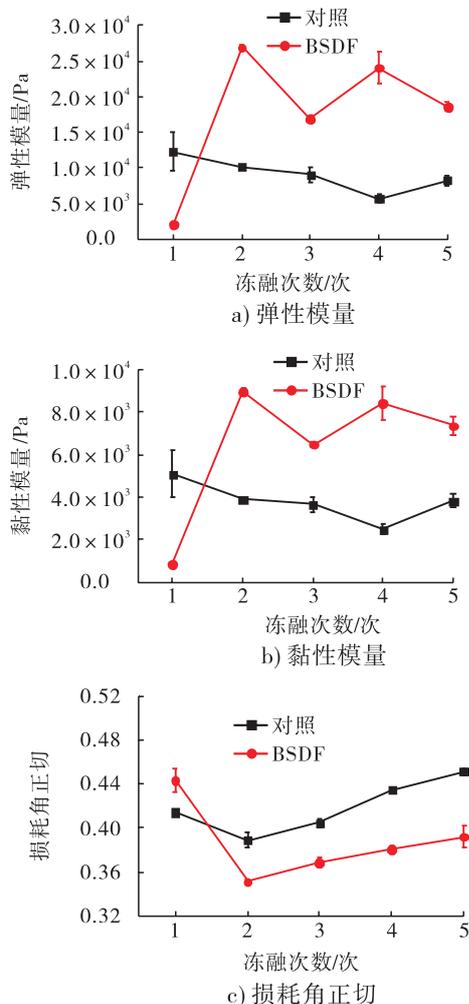


图1 反复冻融过程中 BSDF 对面团流变学特性的影响

Fig. 1 The effect of BSDF on the dough rheology during the process of freezing and thawing

$\tan\alpha$ 减小,表明添加 BSDF 有助于增加面团的弹性模量和黏性模量,整体上使得面团更加趋

于流体性质. 较低的 $\tan\alpha$ 值表明面团的可塑性较强, 其面筋蛋白的网络结构破坏较小^[21]. BSDF 能够通过自身的亲水作用及与面粉中淀粉的相互作用形成复合物, 改善面团的面筋网络结构, 阻碍面团中水分迁移, 增强面团的持水性, 从而提高面团的黏弹性. 这可能是添加 BSDF 后, 冷冻面团流变学特性改变的原因^[22].

2.3 反复冻融过程中 BSDF 对面团水分分布的影响

反复冻融过程中 BSDF 对面团水分分布的影响如图 2 所示. 从冷冻面团的自旋 - 自旋弛豫时间 T_2 图谱可以看出, 冷冻面团的 T_2 在 1 ~ 100 ms 内分布有 3 个峰, 其中第 1 个峰 (T_{21}) 代表深层结合水, 主要是与淀粉或面筋蛋白紧密结合的水; 第 2 个峰 (T_{22}) 代表弱结合水, 流动性介于深层结合水和自由水之间, 此部分水结合于蛋白质、淀粉等大分子之间; 第 3 个峰 (T_{23}) 代表冷冻面团中的自由水^[23-26]. 由每个

峰的峰面积计算出各水分的相对百分含量, 如表 2 所示.

从图 2 可以看出 T_{22} 为主峰, 这表明冷冻面团的水分分布以弱结合水为主. 添加了 BSDF 的冷冻面团的 T_{22} 峰要弱于对照组面团, 这表明含 BSDF 的冷冻面团水分的流动性较弱, 水分与其他组分的结合更为紧密, 冷冻面团的持水力更强.

由表 2 可知, 随着冻融次数的增加, 对照组面团的深层结合水含量下降, 弱结合水和自由水含量上升; 而添加了 BSDF 的面团, 其深层结合水含量上升, 弱结合水含量下降, 自由水含量变化不显著. 这可能是因为反复冻融使水分重新分布, 导致重结晶, 破坏了面团的空间结构, 使得添加 BSDF 的面团的深层结合水含量高于对照组面团. 这表明, 添加 BSDF 在一定程度上可有效地抑制水分的重结晶, 降低冷冻对面团中水分的迁移程度^[9].

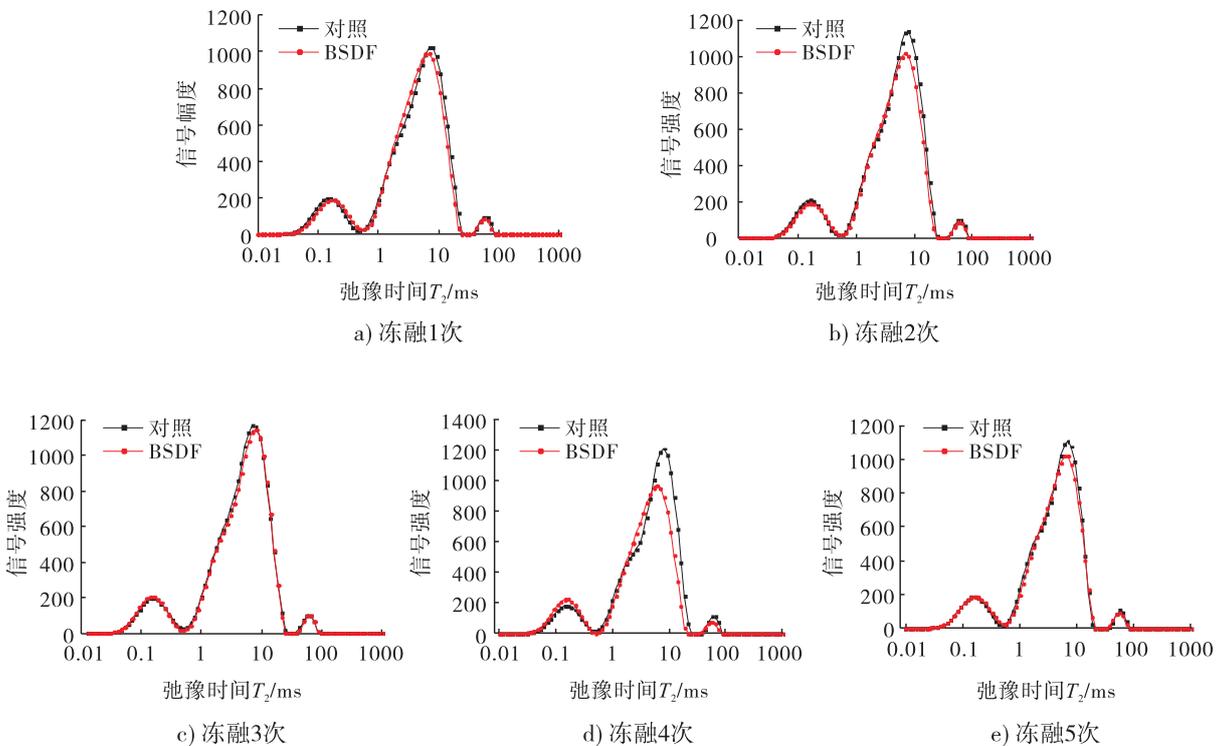


图 2 反复冻融过程中 BSDF 对面团水分分布的影响

Fig. 2 The effect of BSDF on the dough moisture status during the process of freezing and thawing

表2 BSDF对反复冻融面团3种水分相对百分含量的影响

Table 2 Effect of BSDF on water percentages of frozen dough in three states during the process of freezing and thawing

冻融次数	深层结合水		弱结合水		自由水	
	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组
1	11.87 ± 0.87 ^b	11.59 ± 1.34 ^b	86.09 ± 0.83 ^a	86.55 ± 1.37 ^a	2.04 ± 0.12 ^b	1.86 ± 0.11 ^a
2	11.08 ± 0.43 ^{ab}	11.81 ± 0.49 ^b	86.88 ± 0.91 ^a	86.25 ± 0.53 ^{ab}	2.04 ± 0.18 ^b	1.94 ± 0.13 ^a
3	10.93 ± 0.78 ^{ab}	11.06 ± 0.81 ^b	86.82 ± 1.37 ^a	86.96 ± 0.81 ^a	2.10 ± 0.07 ^{ab}	1.98 ± 0.07 ^a
4	9.86 ± 0.77 ^a	13.22 ± 0.75 ^a	87.93 ± 1.80 ^a	84.91 ± 0.65 ^b	2.31 ± 0.05 ^a	1.77 ± 0.38 ^a
5	9.92 ± 0.55 ^a	13.02 ± 0.27 ^a	86.87 ± 0.59 ^a	85.97 ± 0.31 ^{ab}	2.31 ± 0.14 ^a	1.91 ± 0.06 ^a

3 结论

本实验研究了添加 BSDF 对反复冻融面团加工特性和水分分布的影响。结果表明:与对照组面团相比,在反复冻融过程中,添加 BSDF 可有效地保持面团的硬度、黏度和弹性;面团的弹性模量和黏性模量增大,损耗角正切 $\tan\alpha$ 减小;面团中深层结合水含量上升,弱结合水含量下降,自由水含量变化不显著。总之,BSDF 的添加可在一定程度上降低反复冻融对面团中水分的迁移程度,减小反复冻融对面团质构特性的影响。

参考文献:

- [1] 王海,陈洁,刘国琴,等.冻融循环对冷冻面团品质的影响[J].农业机械,2012(16):99.
- [2] 叶晓枫,韩永斌,赵黎平,等.冻融循环下冷冻非发酵面团品质的变化及机理[J].农业工程学报,2013,29(21):271.
- [3] 钱海峰,王杰琼,王立,等.高膳食纤维面制主食的研究进展[J].食品工业科技,2015,36(19):385.
- [4] ARAVIND N, SISSONS M J, FELLOWS C M, et al. Effect of inulin soluble dietary fiber addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti [J]. Food Chemistry, 2012, 132(2):993.
- [5] 李丹丹,周杰,张静,等.菊糖对馒头品质的影

响[J].安徽农业科学,2011,39(32):20047.

- [6] 王崇崇,马森,王晓曦,等.小麦麸皮膳食纤维对冷冻面团及馒头品质的影响研究[J].粮食与油脂,2017,30(5):45.
- [7] NIRMALA C, BISHT M S, LAISHRAM M. Bioactive compounds in bamboo shoots: Health benefits and prospects for developing functional foods [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2014, 49(6):1425.
- [8] CHONGTHAM N, BISHT M S, HAORONGBAM S. Nutritional properties of bamboo shoots: Potential and prospects for utilization as a health food [J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2011, 10(3):153.
- [9] HE M, VAN DAM R M, RIMM E, et al. Whole-grain, cereal fiber, bran, and germ intake and the risks of all-cause and cardiovascular disease-specific mortality among women with type 2 diabetes mellitus [J]. Circulation, 2010, 121(20):2162.
- [10] BURGER K N J, BEULENS J W J, SCHOUW Y T V D, et al. Dietary fiber, carbohydrate quality and quantity, and mortality risk of individuals with diabetes mellitus [J]. Plos One, 2012, 7(8):e43127.
- [11] DESCHASAUX M, POUCHIEU C, HIS M, et al. Dietary total and insoluble fiber intakes are inversely associated with prostate cancer risk [J]. Journal of Nutrition, 2014, 144(4):504.

- [12] 张华,张艳艳,李银丽,等.竹笋膳食纤维对冷冻面团流变学特性、水分分布和微观结构的影响[J].食品科学,2018,39(1):53.
- [13] 张华,张艳艳,赵学伟,等.竹笋膳食纤维对面粉粉质特征及面团质构特性的影响[J].食品工业科技,2017,38(8):82.
- [14] BERTRAM H C, SCHÄFER A, ROSENVOLD K, et al. Physical changes of significance for early post mortem water distribution in porcine *M. longissimus* [J]. *Meat Science*, 2004, 66(4): 915.
- [15] CHEN F L, WEI Y M, BO Z. Characterization of water state and distribution in textured soybean protein using DSC and NMR [J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 100(3): 522.
- [16] SIMONEAU C, MCCARTHY M J, GERMAN J B. Magnetic resonance imaging and spectroscopy for food systems [J]. *Food Research International*, 1993, 26(5): 387.
- [17] THYBO A K, ANDERSEN H J, KARLSSON A H, et al. Low-field NMR relaxation and NMR-imaging as tools in differentiation between potato sample and determination of dry matter content in potatoes [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2003, 36(3): 315.
- [18] 陈洁,汪磊,吕莹果,等.醒面时间对烩面面团水分分布及麦谷蛋白大聚体的影响[J].中国食品学报,2018,18(6):167.
- [19] JIA C, YANG W, YANG Z, et al. Study of the mechanism of improvement due to waxy wheat flour addition on the quality of frozen dough bread [J]. *Journal of Cereal Science*, 2017, 75: 10.
- [20] Dreese P C. Rheological Studies of flour and gluten dough [D]. Manhattan: Kansas State University, 1987.
- [21] WITCZAK T, WITCZAK M, ZIOBRO R, et al. Effect of inulin and pectin on rheological and thermal properties of potato starch paste and gel [J]. *Journal of Food Engineering*, 2014, 124: 72.
- [22] ZHANG H, ZHANG Y, WANG X, et al. Effects of bamboo shoot dietary fiber on mechanical properties, moisture distribution, and microstructure of frozen dough [J]. *Journal of Chemistry*, 2017(1): 1.
- [23] 吴酉芝,刘宝林. NMR 分析冷冻面团在低温下的水份特性 [J]. *制冷学报*, 2013(1): 97.
- [24] 薛雅萌,赵龙,李宝国.低场核磁共振法测定热烫面团水分迁移特性及超微结构分析 [J]. *食品科学*, 2014, 35(19): 96.
- [25] ZHANG Z, REGENSTEIN J M, ZHOU P, et al. Effects of high intensity ultrasound modification on physicochemical property and water in myofibrillar protein gel [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2017, 34: 960.
- [26] SUN D W, LI B. Microstructural change of potato tissues frozen by ultrasound-assisted immersion freezing [J]. *Journal of Food Engineering*, 2003, 57(4): 337.