

CO₂爆破挤压膨化豆渣对面团品质的影响

邹妍¹, 叶发银¹, 刘嘉¹, 赵国华^{1,2,*}

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2.重庆市农产品加工技术重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 研究添加超微粉碎的CO₂爆破挤压膨化豆渣 (blasting extrusion-jet-milling okara, BE-JMO) 对面团品质的影响。结果表明: 随着BE-JMO添加量的增加, 面粉吸水性和面团形成时间增加, 面团的拉伸能量、拉伸性和tan δ 均减小, 其稳定时间和拉伸阻力呈先增加后减小的趋势, 而软化度在减小后逐步增加; 面团的发酵体积随BE-JMO添加量的增大而减小, 添加BE-JMO的面团在发酵40 min后体积趋于稳定; 随BE-JMO添加量的增加, 面团发酵的膨胀体积减小。结果发现BE-JMO的添加量不宜超过7 g/100 g小麦粉, 但添加CO₂爆破挤压膨化豆渣的面团品质优于添加等量普通豆渣的面团。

关键词: CO₂爆破挤压膨化; 豆渣; 面团

Effect of Addition of Okara Treated by CO₂ Blasting Extrusion on the Properties of Dough

ZOU Yan¹, YE Fa-yin¹, LIU Jia¹, ZHAO Guo-hua^{1,2,*}

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Key Laboratory of Agricultural Product Processing, Chongqing 400715, China)

Abstract: The effects of the addition of ultrafine ground CO₂ blasting extrusion-treated okara (BE-JMO) on the properties of dough were investigated. The results showed that the water absorption of wheat flour and the development time of dough increased with the addition of BE-JMO. Moreover, adding BE-JMO also decreased the extension energy, extensibility and tan δ of dough. With increasing amount of BE-JMO added in dough, its stability time and extension resistance firstly increased and then decreased while the degree of softening displayed the opposite trend. The dough volume after fermentation decreased with increasing BE-JMO addition and reached a plateau after fermentation for 40 min. These results show that the addition of BE-JMO should not be beyond 7 g/100 g wheat flour and that the properties of dough with BE-JMO are better than those with common okara.

Key words: CO₂ blasting extrusion; okara; dough

中图分类号: TS213.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 21-0036-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201421008

豆渣作为制作豆腐和豆浆的副产品, 除了小部分用做饲料外, 大部分作为废料燃烧或是填埋, 造成环境污染^[1]。豆渣中除含有蛋白质、脂肪外, 还含有大量的膳食纤维 (dietary fiber, DF), 但多数以非水溶性的形态 (insoluble dietary fiber, IDF) 存在。有研究表明, 对人体来说平衡的膳食纤维组成要求水溶性膳食纤维 (soluble dietary fiber, SDF) 占总膳食纤维的10%以上, 否则只能被称作填充型的DF^[2]。SDF可降低血糖指数和血浆胆固醇^[3-4], 并且有良好的加工特性, 比IDF更易加入到产品中以提高其营养价值^[5]。因此, 已有大量关于膳食纤维改性的技术来提高SDF比例的研究, 其中物理改性被认为是一种简便、安全的有效

方法^[6]。CO₂爆破挤压膨化 (blasting extrusion, BE) 是一种食品物料的物理改性技术, 通过碳酸氢钠和柠檬酸反应产生CO₂来增加传统双螺旋挤压膨化机中的压力, 从而大幅度提高物料的改性强度。本实验室前期已成功利用CO₂爆破挤压膨化技术提高豆渣中SDF含量, 其效果更优于普通挤压膨化技术^[7]。目前已有大量关于高膳食纤维面团的研究, 如崔丽琴等^[8]对普通豆渣粉对面团质构的影响进行了研究, 而Sudha等^[9]研究了谷糠类面团的流变学特性。但对于CO₂爆破挤压膨化豆渣面团的相关研究还未见报道。本实验通过研究超微粉碎后的CO₂爆破挤压膨化豆渣对面团品质的影响, 以期为其在面制品中的应用提供理论基础。

收稿日期: 2013-11-28

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863计划) 项目 (2011AA100805-2)

作者简介: 邹妍 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品化学与营养学。E-mail: zouyan8907@163.com

*通信作者: 赵国华 (1971—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品化学与营养学。E-mail: zhaoguohua1971@163.com

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

湿豆渣 重庆天润食品开发有限公司；小麦粉（水分13.83 g/100 g，灰分0.51 g/100 g，湿面筋含量为31.19 g/100 g） 郑州市神象小麦粉有限公司。

柠檬酸 云南燃二化工有限公司；碳酸氢钠 自贡鸿鹤化工股份有限公司。

1.2 仪器与设备

SYSLG30-LV双螺杆挤压膨化机器 济南赛百诺科技有限公司；103高速中药粉碎机 瑞安永历制药机械有限公司；YG-KRK高温热泵干燥设备 东莞永淦节能科技；LNJ-6A气流粉碎机 绵阳流能粉体设备有限公司；Farinograph粉质仪、Extensograph拉伸仪 德国Brabender公司；HR-1流变仪 美国TA仪器公司。

1.3 方法

1.3.1 豆渣处理及样品制备

将鲜豆渣用纱布滤去部分水分后，并平铺于热风干燥箱中，在60℃条件下干燥10 h。期间每隔1 h翻动一次，使其受热均匀。将干燥后的豆渣粉碎，过60目筛，随后装入密封袋置于干燥器中保存待用。干燥后的豆渣样品分成两组，第1组直接进行气流粉碎（jet-milling），得到超微粉碎样品（jet-milling okara, JMO），即普通豆渣样品；第2组按Li Huiqin等^[7]的优化方法制备CO₂爆破挤压膨化豆渣（螺杆速率为191 r/min，加水量为35.5 g/100 g干豆渣，膨化机螺桶温度为50℃—70℃—110℃—170℃，柠檬酸与碳酸氢钠的添加量均为17.5 g/100 g干豆渣），随后平铺于热风干燥箱中，60℃干燥2 h后粉碎过60目筛，再进行气流粉碎，得到超微粉碎的CO₂爆破挤压膨化豆渣（BE-JMO）样品。

1.3.2 基本成分分析

水分含量测定采用GB/T 5009.3—2010《食品中水分的测定》；蛋白质含量测定采用GB/T 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》，蛋白质的换算系数为6.25；脂肪含量测定采用GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》；灰分含量测定采用GB/T 5009.4—2010《食品中灰分的测定》。膳食纤维含量测定参照Asp等^[10]的方法。为扣除CO₂爆破挤压膨化样品中柠檬酸和柠檬酸钠，其中膳食纤维、蛋白质、脂肪含量均以系数0.828加以校正。

1.3.3 豆渣和小麦粉混合配比

准确称取100.0 g小麦粉，并分别添加不同含量的BE-JMO。同时，按照BE-JMO中豆渣理论含量（扣除相应的柠檬酸和柠檬酸钠）添加JMO、柠檬酸（citric acid, CA）和柠檬酸钠（sodium citrate, SC），制得另外3组混合粉（OCC：普通豆渣、柠檬酸、柠檬酸钠混合粉；CC：柠檬酸、柠檬酸钠混合粉；O：普通豆渣），C为空白组。具体添加量见表1。

表1 不同面团添加物添加量及组成

Table 1 Dough formulations with different amounts of additives

面团代号	总添加量	BE-JMO	JMO	CA	SC
C	0	—	—	—	—
BEO-7	7	7	—	—	—
BEO-13	13	13	—	—	—
OCC-7	7	—	5.77	0.21	0.92
OCC-13	13	—	10.36	0.40	1.71
CC-7	7	—	—	0.21	0.92
CC-13	13	—	—	0.40	1.71
O-7	7	—	5.77	—	—
O-13	13	—	10.36	—	—

注：—，无添加。

1.3.4 面团的粉质及拉伸测试

根据AACC54-21及AACC54-10的方法，并按照表1配比分别对样品进行粉质及拉伸特性实验，重复3次。

1.3.5 面团动态流变学特性的测定

按表1配比制得面团，并用保鲜膜包裹，于室温下（25±1）℃放置30 min，随后进行动态流变学测定面团储能模量（G'）和损耗模量（G''）。测定条件：平板直径：40 mm；夹缝间距：2 mm；应变：1.5%；频率范围：0.1~20 Hz；温度25℃（测量时用硅油涂抹夹缝边缘防止水分蒸发）。按公式（1）计算损耗角（tanδ）值，即所测物料中黏性和弹性的比例。

$$\tan\delta = G''/G' \quad (1)$$

1.3.6 面团发酵体积测定

取1.5 g干酵母，并加入30℃的适量水（按照粉质测定中不同配比样品的最适吸水量），于室温下（25±1）℃活化5 min后，准确称取100.0 g小麦粉，并按表1制成面团。将所得面团置于自制圆柱形玻璃仪器底部压实压平，并记录面团体积（V₀, cm³），立即将玻璃仪器放入30℃水浴恒温发酵，每隔20 min记录面团发酵体积（V₁, cm³），重复3次。面团膨胀体积V_E按公式（2）计算。

$$V_E/\text{cm}^3 = V_1 - V_0 \quad (2)$$

1.4 统计分析

利用SPSS16.0分析系统对数据进行统计分析，运用方差分析进行显著性分析，显著差异水平P<0.05。

2 结果与分析

2.1 CO₂爆破挤压膨化前后超微粉碎豆渣的营养成分分析

由表2可知，豆渣在CO₂爆破挤压膨化后，各组分含量在高温和高剪切力的共同作用下均发生了变化：SDF、灰分和TDF都有明显增加，而脂肪和蛋白质稍有降低，这与Li Huiqin等^[7]的结论一致。

表2 豆渣基本成分
Table 2 Proximate composition of okara

样品	含量/(g/100 g)					
	水分	灰分	脂肪	蛋白质	SDF	TDF
JMO	8.00±0.02	3.33±0.04	8.49±0.06	18.00±0.08	7.50±0.26	54.74±1.51
BE-JMO	8.02±0.05	6.22±0.05	7.73±0.19	17.19±0.04	17.77±0.29	55.86±0.61

注：除水分外，其余指标均以干基计算。

2.2 CO₂爆破挤压膨化豆渣对小麦粉质特性的影响

表3 CO₂爆破挤压膨化豆渣对小麦粉质特性的影响

Table 3 Effects of BE-JMO addition on farinograph characteristics of wheat flour

样品	添加量/(g/100 g)	吸水量/(mL/g)	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/BU
C	0	58.10±0.00 ^a	2.00±0.00 ^a	4.30±0.00 ^a	82.00±4.24 ^a
BEO-7	7	67.25±0.07 ^d	5.50±1.41 ^{cd}	6.85±0.21 ^d	48.50±3.54 ^{ab}
BEO-13	13	75.10±0.14 ^e	6.20±0.28 ^e	3.85±0.21 ^{bc}	55.00±2.83 ^b
OCC-7	7	68.20±0.14 ^e	5.70±0.28 ^{de}	4.00±0.00 ^{bc}	90.50±0.71 ^{cd}
OCC-13	13	76.15±0.07 ^b	6.00±0.00 ^{de}	3.35±0.07 ^{ab}	95.00±7.07 ^{de}
CC-7	7	55.40±0.14 ^b	1.90±0.00 ^a	8.35±0.21 ^e	53.00±4.24 ^{ab}
CC-13	13	53.30±0.14 ^a	5.95±0.07 ^{de}	11.20±0.42 ^f	36.50±2.12 ^f
O-7	7	70.40±0.42 ^f	4.75±0.07 ^b	3.30±0.28 ^{ab}	107.00±7.07 ^{de}
O-13	13	79.20±0.00 ⁱ	5.00±0.00 ^{bc}	3.05±0.35 ^a	108.00±0.00 ^f

注：同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。表4同。

由表3可知，与空白组相比，CC组吸水量降低，这可能是盐与结合水竞争蛋白质的结合位点所导致^[11]。除CC组外，其他组吸水量均有所增加，这是由于膳食纤维中大量亲水性基团的存在，使得高膳食纤维含量的豆渣添加后增加了面团的吸水量，并随着豆渣添加量的增加而增大^[12]；其中，OCC、O组的面团的吸水量比同等添加量下BEO组面团高，这可能是因为普通豆渣中IDF所占比例较大，而IDF吸水性比起SDF吸水性更强^[13-14]。CC-7组和空白组C相比，形成时间无显著性差异，其余组物料的加入均延长了形成时间，这可能是因为添加物与面筋竞争水分，延迟了面筋网络的形成^[11,15]。弱化度反映了面团在搅拌过程中的破坏速率，其值越小代表面团抵抗破坏的能力越好，品质越好。BEO-7组面团的弱化度低于空白组，稳定时间大于空白组，并随添加量的增加，面团品质变差，这一方面可能因为BEO的加入会稀释小麦粉中的蛋白质；另一方面，SDF中的多糖可以依靠主链间的非共价键形成类似于面筋网络功能的三维凝胶结构，BEO中的SDF同盐共同对面团起到改良作用^[16-17]；另外，豆渣中含有较高比例的蛋白质，而蛋白质分子内部的一SH在加热和剪切力的作用下可能会暴露，在面团揉制过程中参与面筋的形成^[18]，所以面团的品质是各个因素的综合作用。

2.3 CO₂爆破挤压膨化豆渣对面团拉伸特性的影响

由表4可知，加入豆渣的面团在醒发135 min后，除BEO-7面团与空白组差异不显著外，其余组拉伸能量均降低，且随着各组添加量的增加而降低。BEO-7面团的拉伸阻力大于空白组，说明此时面团的弹性变大，随着添加量的增加，拉伸阻力减小。延伸性反映面团的黏

性、横向延展性，各添加组面团的延伸性均低于空白组，说明添加物使得面团的流动性变差。由CC组面团的拉伸性质可知，面团的拉伸能量和拉伸阻力均随添加量的增加而增大，说明面筋网络结构得到了加强，面团的弹性增加，这可能是因为盐的加入对面团起了改良作用^[17]。通过对比BEO面团和OCC面团发现，在同等添加水平，前者面团的品质明显优于后者，这可能因为BEO中含有较高比例的SDF，对面团起了改良作用。

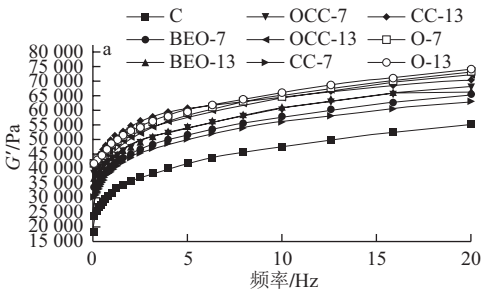
表4 CO₂爆破挤压膨化豆渣对面团拉伸特性的影响

Table 4 Effect of BE-JMO addition on extensograph properties of dough

样品	添加量/(g/100 g)	拉伸能量/cm ²	拉伸阻力/BU	延伸性/mm
C	0	78.33±3.51 ^e	321.00±10.58 ^d	141.67±10.02 ^f
BEO-7	7	75.33±6.66 ^d	346.00±15.40 ^e	101.33±9.45 ^{cd}
BEO-13	13	62.67±4.04 ^d	316.00±19.30 ^d	78.67±8.33 ^{ab}
OCC-7	7	47.33±4.93 ^c	234.67±16.77 ^e	124.67±9.29 ^e
OCC-13	13	40.00±6.24 ^{bc}	205.67±21.55 ^b	126.67±7.37 ^{ef}
CC-7	7	133.67±8.39 ^f	638.33±19.30 ^f	128.00±13.53 ^{ef}
CC-13	13	151.33±6.51 ^f	991.33±12.44 ^f	115.00±6.00 ^{de}
O-7	7	35.67±3.06 ^b	208.00±15.10 ^b	91.67±10.07 ^{bc}
O-13	13	12.67±3.21 ^a	38.00±4.00 ^a	69.67±6.66 ^a

2.4 CO₂爆破挤压膨化豆渣对面团动态流变学特性的影响

在动态下对面团进行频率扫描可以测定面团的储能模量 (G') 和损耗模量 (G'')，分别代表了面团的弹性本质和黏性本质。图1中 G' 和 G'' 都随着扫描频率的增加而增加，且 $\tan\delta$ 表明面团的弹性特征比黏性特征明显^[19]。各个添加物的加入均使得面团的弹性变大，其中增加最大的是O-13面团，变化最小的是CC-7和BEO-7，与Tsatsaragkou^[20]和Lzydorczyk^[21]等的研究结论高膳食纤维含量的角豆粉和大麦均可使面团的 G' 增大一致。有研究表明盐的加入对 G' 和 G'' 的影响不大，但可能由于CC面团中水作为润滑剂的作用减小，导致最终的 G' 和 G'' 增大^[22-23]。 $\tan\delta$ 出现一个下降又上升的趋势，说明在低频率时，面团更倾向于固体性质；除了CC-13的 $\tan\delta$ 值在整个频率区间上均大于对照组、CC-7与C无明显差异外，其余组的 $\tan\delta$ 均小于对照组，这可能因为面筋网络及SDF类似面筋网络的形成，以及超微后的豆渣IDF以填充物的形式进入到网络结构的骨架中，极大地增大了面团的弹性^[16,24]。



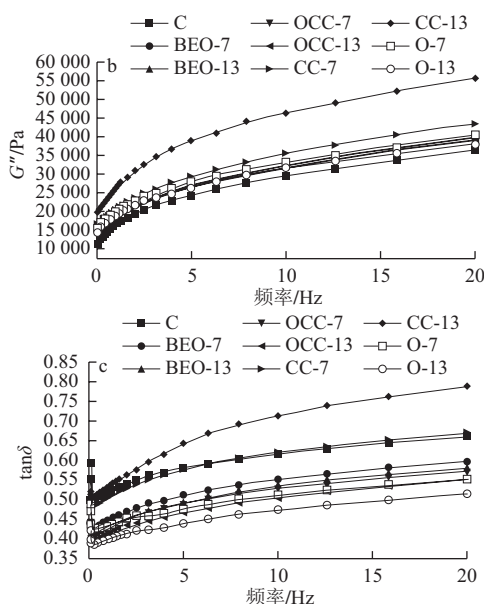
图1 CO₂爆破挤压膨化豆渣对面团动态流变特性的影响

Fig.1 Effect of BE-JMO addition on dynamic rheology properties of dough

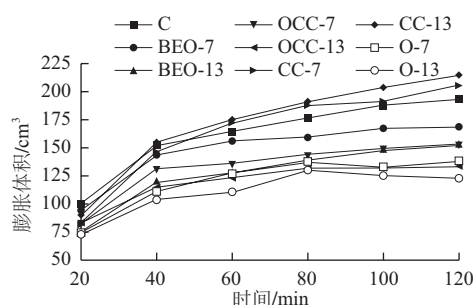
2.5 CO₂爆破挤压膨化豆渣对面团膨胀体积的影响图2 CO₂爆破挤压膨化豆渣对面团膨胀体积的影响

Fig.2 Effect of BE-JMO addition on expanding volume of dough

面团发酵是由于小麦粉中的酶将各种多糖和双糖降解为单糖，再在酵母的作用下转化为CO₂和水等物质，发酵良好的面团可以在防止气体溢出的同时充分延展，使得面团体积膨松，有利于馒头和面包的制作。由图2可知，在发酵开始20 min时，空白组体积最大，而O组体积最小，在发酵40 min以后，添加豆渣的面团体积增长逐渐处于平缓趋势，其中CC组面团的体积最大，这是因为盐的加入减缓了酵母的发酵速率，同时增强了面筋，使得面团的持气能力增加，体积变大^[25]；而豆渣的加入减少了酵母与小麦粉中个基质的接触机会，各反应速率缓慢，使得面团得不到充分的膨胀，另外，IDF的存在会阻碍面筋的延展^[26]。豆渣中的SDF可形成网络结构，有利于面团的持气，SDF的加入可以部分抵消IDF对面团体积造成的恶化作用，所以同等添加量下，BEO面团的膨胀体积均大于OCC面团和O面团。

3 结论

经CO₂爆破挤压膨化后的豆渣脂肪和蛋白质含量稍有降低，而SDF、TDF和灰分明显增加。同时豆渣对面团品质

质的影响同时存在改善和弱化两种趋势，综合效果取决于两种趋势的强弱程度。由本实验可以看出，在同等添加量下，CO₂爆破挤压膨化豆渣比普通豆渣面团品质要好，这主要可能是CO₂爆破挤压膨化豆渣中较高比例的SDF抵消了部分豆渣对面团的恶化作用，同时也提高了面团的生理功能。以CO₂爆破挤压膨化豆渣面团为半成品制作馒头、面包、面条等成品时，可根据不同产品的需求与特点加入配料及改良剂，可以降低豆渣对面团的弱化程度，开发出具有保健作用的面制品，有助于平衡膳食结构。

参考文献:

- [1] DESMOND K, O'TOOLE. Characteristics and use of okara, the soybean residue from soy milk productions-a review[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(2): 363-371.
- [2] RICHARD E A, LEITZ, DONALD J. Balanced fibre composition: USA, 4877627[P]. 1989-10-31.
- [3] ELLEUCH M, BEDIGIAN D, ROISEUX O, et al. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterization, technological functionality and commercial applications: a review[J]. Food Chemistry, 2011, 124(2): 411-421.
- [4] TOSH S M, YADA S. Dietary fibres in pulse seeds and fractions: characterization, functional attributes and applications[J]. Food Research International, 2010, 43(2): 450-460.
- [5] 赵国志, 刘喜亮, 刘智峰. 水溶性多糖的开发与应用[J]. 粮食与油脂, 2006(8): 15-17.
- [6] 朱国君, 赵国华. 膳食纤维改性研究进展[J]. 粮食与油脂, 2008(4): 40-42.
- [7] LI Huiqin, LONG Daoqi, PENG Jianlin, et al. A novel in-situ enhanced extrusion technique-extrudate analysis and optimization of processing conditions with okara[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2012, 16: 80-88.
- [8] 崔丽琴, 崔素萍, 马平, 等. 豆渣粉对小麦面团和馒头质构特性及馒头品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 85-88.
- [9] SUDHA M L, VETRIMANI R, LEELAVATHI K. Influence of fibre from different cereals on rheological[J]. Food Chemistry, 2007, 100: 1365-1370.
- [10] ASP N G, JOHANSSON C G, HALLMER H, et al. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1983, 31(3): 476-482.
- [11] SRIVASTAVA A K, PATEL V R, RAO P H. Effect of common salt substitution on the dough characteristics and bread quality[J]. Journal of Food Science and Technology, 1994, 31: 15-18.
- [12] GÓMEZ M, RONDA F, BLANCO C A. Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality[J]. European Food Research and Technology, 2003, 216(1): 51-56.
- [13] WANG Jinsui, ROSELL C M, de BARBER C B, et al. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performances and bread quality[J]. Food Chemistry, 2002, 79(2): 221-226.
- [14] 刘汉文, 黄良策, 陈洪兴, 等. 挤压膨化对豆渣可溶性膳食纤维的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(8): 159-162.
- [15] SUDHA M L, BASKARAN V, LEELAVATHI K. Apple pomace as a source of dietary fibre and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making[J]. Food Chemistry, 2007, 104(2): 686-692.
- [16] PERESSINI D, SENSIDONI A. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 49(2): 190-201.
- [17] SALOVAARA H. Effect of partial sodium chloride replacement by other salts on wheat dough rheology and breadmaking[J]. Cereal Chemistry, 1982, 59(5): 422-426.
- [18] 肖安红, 何东平, 陈世宏. 低温脱脂豆粕与大豆皮膳食纤维改善馒头品质及老化的比较[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(4): 73-76.
- [19] KHATKAR B S, SCHOFIELD J D. Dynamic rheology of wheat flour dough. II. Assessment of dough strength and bread-making quality[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2002, 82(8): 823-826.
- [20] TSATSARAGKOU K, YIANNPOULOS S, KONTOGIORG I A, et al. Effect of carob flour addition on the rheological properties of gluten-free breads[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(3): 868-876.
- [21] LZYDORCZYK M S, HUSSAIN A, MACGREOR A W. Effect of barley and barley components on rheological properties of wheat dough[J]. Journal of Cereal Science, 2001, 34(3): 251-260.
- [22] MCCANN T H, DAY L. Effect of sodium chloride on gluten network formation, dough microstructure and rheology in relation to breadmaking[J]. Journal of Cereal Science, 2013, 57(3): 444-452.
- [23] LARROSA V, LORENZO G, ZARITZKY N. Optimization of rheological properties of gluten-free pasta dough using mixture design[J]. Journal of Cereal Science, 2013, 57(3): 520-526.
- [24] UTHAYAKUMARAN S, NEWBERRY M, PHAN-THIEN N, et al. Small and large strain rheology of wheat gluten[J]. Rheologica Acta, 2001, 41(1/2): 162-172.
- [25] LUCHIAN M I, CANJA C M. Effect of salt on gas production in bread dough[J]. Agricultural Food Engineering, 2010, 3(52): 167-171.
- [26] WANA 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.