

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90016

双孢菇面包复合改良剂优化及其对面包品质的影响

Optimization of *Agaricus bisporus* bread composite improver and its effect on bread quality

张钰萌^{1,2} 鲍雨婷^{1,2} 孙玥^{1,2} 李雪玲^{1,2} 梁进^{1,2}

ZHANG Yu-meng^{1,2} BAO Yu-ting^{1,2} SUN Yue^{1,2} LI Xue-ling^{1,2} LIANG Jin^{1,2}

(1. 安徽农业大学茶与食品科技学院, 安徽 合肥 230036; 2. 安徽省农产品加工工程试验室, 安徽 合肥 230036)

(1. College of Tea & Food Science and Technology, Hefei, Anhui 230036, China;

2. Anhui Engineering Laboratory for Agro-products Processing, Hefei, Anhui 230036, China)

摘要:目的:改善双孢菇面包品质,探究其合适的改良剂配方。方法:以谷朊粉、蔗糖脂肪酸酯和纤维素酶为改良剂,采用 Box-Behnken 中心组合法优化双孢菇面包复合改良剂配比。结果:添加 3.35% 谷朊粉、0.15% 蔗糖脂肪酸酯和 0.16% 纤维素酶,可有效提高双孢菇面包的综合评分。扫描电镜检测结果表明,改良双孢菇面包能在面筋基质中形成均匀连续的网状结构。结论:经改良后的双孢菇面包硬度降低,比容和感官评分均有所增加。

关键词:双孢菇;面包;复合改良剂;微观结构

Abstract: Objective: In order to improve the quality of *Agaricus bisporus* bread, the appropriate additives were studied. **Methods:** In this study, vital wheat gluten, sucrose fatty acid ester and cellulase were used as additives to improve *A. bisporus*-wheat bread quality, and the study was optimized by using Box-Behnken experimental design. **Results:** By adding 3.35% of vital wheat gluten, 0.15% of sucrose fatty acid ester and 0.16% of cellulase, the comprehensive score of *A. bisporus*-wheat bread under optimal conditions can be improved. In addition, scanning electron microscopy detection results showed that the optimal *A. bisporus*-wheat bread could form a uniform and continuous network structure in the gluten matrix. **Conclusion:** The addition of vital wheat gluten, sucrose fatty acid ester and cellulase had significant effect on the comprehensive score of *A. bisporus*-wheat bread. The hardness decreased, specific volume and sensory score of the bread increased after optimization.

Keywords: *Agaricus bisporus*; bread; composite improver; microstructure

基金项目:安徽省自然科学基金项目(编号:2108085MC122);安徽高校自然科学研究项目(编号:KJ2020A0136)

作者简介:张钰萌,女,硕士。

通信作者:梁进(1979—),男,安徽农业大学副教授,硕士生导师,博士。E-mail:liangjin@ahau.edu.cn

收稿日期:2021-09-14

crostructure

面包是经发酵再烘焙的一种谷物类食品,也是一种常见主食^[1]。食用菌通常富含膳食纤维等生物活性物质,若将其应用于面包类烘焙产品中,可有效提高面包产品的风味口感和营养功效^[2]。课题组^[3]前期研究显示,含 4% 双孢菇粉的面包具有相对较高的抗氧化能力和较好的感官接受度。然而,双孢菇面包产品弹性缺乏,外观不佳呈深褐色。

谷朊粉是从小麦粉中提取的蛋白质浓缩物,通常将其添加到小麦粉中,以改善高纤维含量面包的面筋结构或增加产品的面筋强度^[4]。蔗糖脂肪酸酯是一种非离子型乳化剂,又称蔗糖酯^[5],添加适量的 SE 可以增加面团韧性,提高面包体积^[6]。纤维素酶是一种可以催化水解纤维素以及其他 β -葡聚糖中(1,4)- β -D-糖苷键的水解酶^[7],添加纤维素酶可有效降低烘焙制品硬度、改善其烘焙品质^[6]。然而,有关这些添加剂组合形成的复合改良剂对面包品质影响的研究尚未见报道。试验拟在前期研究获得富含双孢菇面包优化配方的基础上,选择 3 种改良剂(谷朊粉、蔗糖脂肪酸酯和纤维素酶)来改善其烘焙品质,优化 3 种添加剂的配比,并进一步探讨复合改良剂对富含双孢菇面包微观结构的影响,旨在为双孢菇资源的有效利用及食用菌类烘焙食品的开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

双孢菇干:安徽多多利农业科技有限公司;
高筋小麦粉:风筝面粉有限公司;
安琪活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;
谷朊粉、纤维素酶:河南万邦实业有限公司;
蔗糖脂肪酸酯:浙江和堂科技有限公司;

白砂糖:甘汁园双碳绵白糖,南京甘汁园糖业有限公司;
食用盐:安徽省盐业总公司。

1.2 仪器与设备

烤箱:KWS1538J-F5N 型,广州格兰仕微波生活电器制造有限公司;
搅拌机:JYN-C901 型,九阳股份有限公司;
发酵箱:YH-6D 型,广州蒂特有限公司;
高速多功能粉碎机:800Y 型,永康市铂欧五金制品有限公司;
超临界冷冻干燥机:Biosafer-10A 型,赛飞(中国)有限公司;
扫描电镜:S-4800 型,日本日立公司。

1.3 试验方法

1.3.1 面包的制作 根据 GB/T 35869—2008 并修改,面包的基础配方(以面粉质量计):酵母 1.5%、食盐 1%、白砂糖 6%。空白面包样品仅由小麦粉制作,对照面包样品为富含 4%的双孢菇粉小麦面包。将原料放入搅拌机使面团搅拌至能拉出手套膜,35℃、RH 85%下醒发 1.5 h,分割为质量相等的面团,成型后放入稍涂有油的模具中,35℃、RH 85%下继续醒发 50 min,215℃烘烤 24 min,脱模冷却至室温。

1.3.2 单因素试验 结合预试验结果,分别考察谷朊粉添加量(1%,2%,3%,4%,5%)、蔗糖脂肪酸酯添加量(0.05%,0.10%,0.15%,0.20%,0.25%)和纤维素酶添加量(0.05%,0.10%,0.15%,0.20%,0.25%)对面容比容、硬度和感官评分的影响。

1.3.3 响应面优化试验 在单因素试验基础上,选择对双孢菇面包品质特性有所改善的因素和水平区间进行优化,以比容、硬度和感官评分为指标,采用 Design-Expert 8.0.6 软件进行三因素三水平的 Box-Behnken 响应面分析试验设计。

1.3.4 比容测定 面包室温冷却 1 h 后,用菜籽替代法测定面包体积,用电子天平称量面包质量,面包比容表示为面包体积与面包质量之比。

1.3.5 质构特性测定 参照 Xu 等^[8]的方法并修改,面包室温冷却 1 h 后,采用 TA.XT Plus 质构仪对面包进行 TPA 测试。测定前切除面包两端厚度为 1.5 cm 的面包片,切出 2 cm 厚的面包片,用 P/36R 作为测试探头,触发力 0.049 N;测试速度 2 mm/s;压缩程度 50%;按压 2 次。

1.3.6 感官评价 根据 Gomes-Ruffi 等^[9]、GB/T 20981—2007 并适当修改。由 12 位测试者进行评分,品评前用纯净水漱口,感官评价总分为 6 个品评项目分数的总和(见表 1)。

1.3.7 微观结构测定 将面包样品冷冻干燥 48 h 后,在冻干面包的中心处切片取样。选取大小基本一致的切片固定于样品台上,抽真空喷铂,600 倍下进行电镜扫描。

1.3.8 加权综合评分 选择面包比容、硬度和感官评分

表 1 面包感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria of bread

项目	评分标准	分值
形态	完整、表面光洁、无白粉和斑点	21~30
	存在较少裂口、表面比较光洁、较少白	11~20
	有明显缺损、有明显白粉和斑点	0~10
色泽	面包壳呈淡棕色,面包芯呈黄色,色泽均匀一致,无烤焦、黑斑现象	8~10
	面包壳呈棕色,面包芯呈淡黄色,色泽较均匀,存在细微烤焦发白现象	5~7
	面包壳和面包芯呈过深或过白,色泽不均匀,存在烤焦黑斑或发白现象	0~4
气味	具有发酵和烘烤后的面包香味,无异味	8~10
	具有较淡面包香味,无异味	5~7
	无面包香味,异味重	0~4
组织	气孔大小均匀、组织细腻呈海绵状、纹理清晰、弹性好	17~25
	气孔大小基本均匀、无大孔洞、纹理较清晰、有细微弹性	9~16
	气孔大小不均匀、有明显大孔洞、纹理乱、弹性差	0~8
口感	松软适口、无异味、细腻、不粘牙	8~10
	比较松软适口、稍有异味、较细腻、略有粘牙	4~7
	粗糙、有异味、粘牙	0~3
滋味	双孢菇滋味好,双孢菇风味最佳	8~10
	双孢菇滋味较好,双孢菇风味偏重或偏淡	5~7
	双孢菇滋味很差,双孢菇风味太重或太淡	0~4

3 个指标进行综合评分。其中,比容和硬度评分采用线性差值法^[10],硬度最小值规定为 100 分,最大值规定为 10 分,其他为 Y_1 ;比容最大值规定为 100 分,最小值规定为 10 分,其他为 Y_2 。根据每个指标的重要程度,进行加权求和,得面包综合评分:

$$Y_1 = 90 \times (y_{\max} - y_1) / (y_{\max} - y_{\min}) + 10, \tag{1}$$

$$Y_2 = 90 \times (y_2 - y_{\min}) / (y_{\max} - y_{\min}) + 10, \tag{2}$$

$$Y^* = Y_1 \times 0.4 + Y_2 \times 0.3 + Y_3 \times 0.3, \tag{3}$$

式中:

Y^* ——综合得分;

Y_1 ——硬度所得分值;

Y_2 ——比容所得分值;

Y_3 ——感官评分;

y_1 、 y_2 ——硬度和比容的实际测量值;

$y_{\max}$ 、 $y_{\min}$ ——实际测量时的最大值和最小值。

1.3.9 数据分析与处理 所有试验重复 3 次,运用 Origin Pro 9.0 软件分析数据和绘制图表;采用 SPSS 17.0 软件中的单因素方差分析法对数据进行分析,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 谷朊粉添加量对双孢菇面包综合评分的影响 由图 1 可知,随着谷朊粉添加量的增加,面包比容逐渐增大,硬度降低,感官评分增加。这可能是由于谷朊粉中的麦谷蛋白、麦醇溶蛋白与面包混合粉中的面团基质相互作用,增强了面团的面筋网络结构,从而改善了双孢菇面包的品质。此外,研究^[11]表明谷朊粉可以有效提高面筋蛋白网络结构和增加面团的持气能力,从而改善面包比容,降低面包芯硬度等。然而,谷朊粉含量过高会导致双孢菇面包硬度增大,感官评分降低,可能是由于高水平的谷朊粉增加了面团硬度,降低了面包的持气能力,从而导致面筋网络发酵不均匀。

2.1.2 蔗糖脂肪酸酯添加量对双孢菇面包综合评分的影响 由图 2 可知,当蔗糖脂肪酸酯添加量为 0.05%~0.15% 时,随着添加量的增大,面包硬度降低,比容和感官评分增加,面包综合得分增加。但随着蔗糖脂肪酸酯添加量的继续增加,其改善面包的作用并不明显,综合评分有所降低。这可能是由于蔗糖脂肪酸酯分子中多个亲水羟基与淀粉粒对水的竞争,限制了面筋网络的形成^[12-13]。

2.1.3 纤维素酶添加量对双孢菇面包综合评分的影响

由图 3 可知,添加适量纤维素酶后,面包比容增大,硬度降低,感官评分上升,综合得分增加。研究^[14]表明,纤维素酶可水解样品中存在的纤维素结晶结构,并使纤维素分子间更多的羟基暴露并与水分子结合,产生部分可溶性的微结晶,进而使面包变软,改良样品比容增大,硬度降低,组织结构更均匀,与 Hung 等^[15]的结果相似。

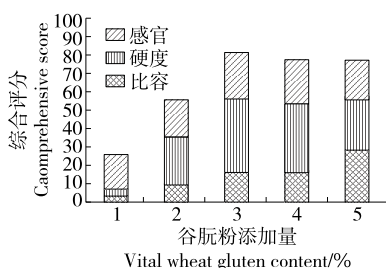


图 1 谷朊粉添加量对双孢菇面包综合评分的影响

Figure 1 Effect of vital wheat gluten on comprehensive score of *Agaricus bisporus* bread

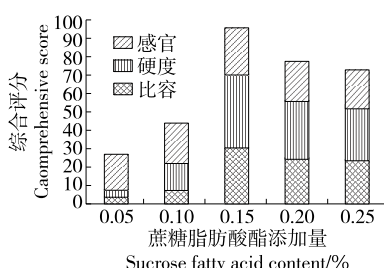


图 2 蔗糖脂肪酸酯添加量对双孢菇面包综合评分的影响

Figure 2 Effect of sucrose fatty acid ester on comprehensive score of *Agaricus bisporus* bread

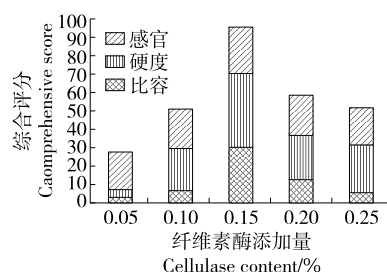


图 3 纤维素酶添加量对双孢菇面包综合评分的影响

Figure 3 Effect of cellulase on comprehensive score of *Agaricus bisporus* bread

表 2 Box-Behnken 试验设计因素水平

Table 2 Factor level of Box-Behnken test design

水平	A 谷朊粉 添加量/%	B 蔗糖脂肪酸酯 添加量/%	C 纤维素酶 添加量/%
-1	2	0.10	0.10
0	3	0.15	0.15
1	4	0.20	0.20

当纤维素酶添加量 $>0.15\%$ 时,可能是由于样品中的可溶性纤维含量过多,使面筋蛋白含量偏低,不利于面筋网络形成,导致面包评分有所下降,与严晓鹏等^[16-17]的结论类似。

2.2 Box-Behnken 响应面试验

2.2.1 响应面试验结果 在单因素试验的基础上,选择谷朊粉添加量、蔗糖脂肪酸酯添加量和纤维素酶添加量为自变量,以面包硬度、比容、感官得分为评分指标进行加权评分得综合评分,运用 Design-Expert 8.0 软件进行 Box-Behnken 响应面试验设计,因素水平见表 2,试验设计与结果见表 3。

对试验结果进行统计分析,得回归方程为:

$$Y^* = 82.27 + 8.24A + 1.33B + 8.10C - 1.19AB - 7.04AC + 0.012BC - 10.23A^2 - 7.39B^2 - 21.39C^2. \quad (4)$$

由表 4 可知,模型 $P < 0.0001$,说明该模型极显著;失拟项 $P = 0.1048 > 0.05$,不显著; $R^2 = 0.9836$, $R^2_{Adj} = 0.9625$,即模型拟合度良好,可以用来预测改良双孢菇面包综合评分值以及确定各改良剂的最佳添加量。一次项 A、C,二次项 B^2 、 C^2 对改良双孢菇面包综合评分的影响极显著($P < 0.01$),二次项 A^2 对改良双孢菇面包综合评分的影响显著($P < 0.05$)。由 F 值可知,各因素对响应值的影响程度顺序为 A(谷朊粉添加量) $>$ C(纤维素酶添加量) $>$ B(蔗糖脂肪酸酯添加量)。

2.2.2 响应面分析及最佳配方确定 由图 4 可知,A 与 B 的交互作用不显著,A 与 C 的交互作用显著($P < 0.05$),B 与 C 的交互作用不显著,即谷朊粉添加量和纤维素酶添加量两因素的交互作用对综合评分有显著影响。

经软件分析可得,改良双孢菇面包的最佳配方为谷朊粉添加量 3.35%,蔗糖脂肪酸酯添加量 0.15%,纤维素酶添加量 0.16%,此条件下,面包综合评分为 84.30。为了证实软件预测结果,以此配方进行实验验证,得出改良双孢菇面包综合评分为 85.75($n=3$),与理论预测值基本一致,说明该模型以及响应具有实际的应用价值,用来预测改良双孢菇面包配方是有效的。

2.3 面包横截面和微观结构

由图 5 可知,与小麦面包相比,添加双孢菇粉使双孢菇面包和改良面包的色泽更暗。双孢菇面包体积最小,小麦面包和改良面包的体积差距不大。改良后的面包气孔更加均匀,面包体积比未改良时高,结构也较其他面包

均匀。小麦面包的面筋蛋白网络基质均匀且连续,淀粉颗粒在面筋网络结构的包裹下紧密相连;双孢菇面包的微观结构呈不规则、不均匀,淀粉粒之间的联系不紧密的网络结构但其面筋基质中的淀粉颗粒似乎存在紧密的无定形物质,并且表面较均匀。综上,改良双孢菇面包的组

表 3 响应面试验设计及结果

Table 3 Response surface test design and results

试验号	A	B	C	综合得分	试验号	A	B	C	综合得分
1	0	0	0	85.29	10	1	1	0	72.61
2	-1	0	-1	29.80	11	0	-1	-1	41.14
3	0	0	0	81.48	12	0	0	0	79.76
4	0	0	0	81.76	13	0	1	-1	44.65
5	1	0	1	57.42	14	-1	1	0	58.47
6	-1	0	1	55.08	15	0	-1	1	62.32
7	-1	-1	0	54.32	16	0	1	1	65.88
8	0	0	0	83.08	17	1	0	-1	60.30
9	1	-1	0	73.22					

表 4 回归模型方差分析表[†]

Table 4 Variance analysis of regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	4 111.08	9	456.79	46.61	<0.000 1	* *
A	542.33	1	542.33	55.34	0.000 1	* *
B	14.10	1	14.10	1.44	0.269 3	
C	525.10	1	525.10	53.58	0.000 2	* *
AB	5.66	1	5.66	0.58	0.472 0	
AC	198.20	1	198.20	20.22	0.002 8	
BC	7.47E-004	1	7.47E-004	7.62E-005	0.993 3	
A ²	440.92	1	0.53	8.11	0.024 7	*
B ²	229.69	1	5.46	84.24	<0.000 1	* *
C ²	1 926.85	1	2.13	32.85	0.000 7	* *
残差	68.60	7	9.80			
失拟项	51.63	3	17.21	4.06	0.167 6	
误差项	16.97	4	4.24			
总变异	4 179.68	16				

[†] * * 差异极显著($P<0.01$); * 差异显著($P<0.05$)。

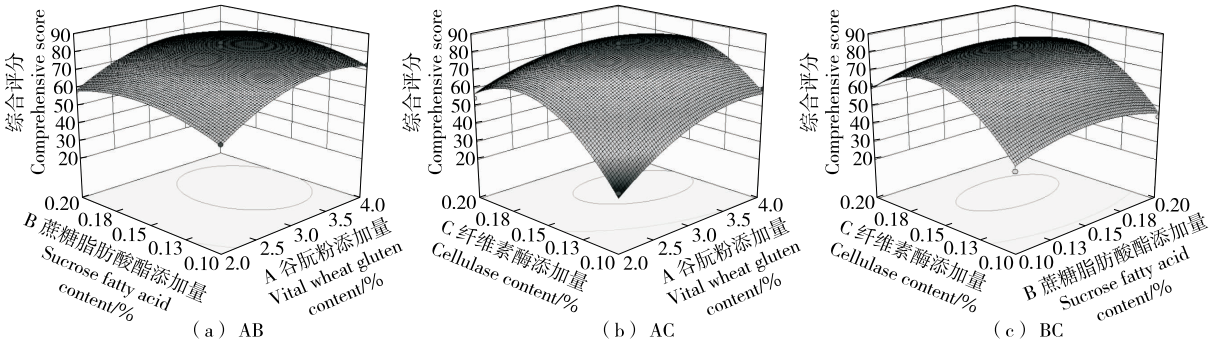
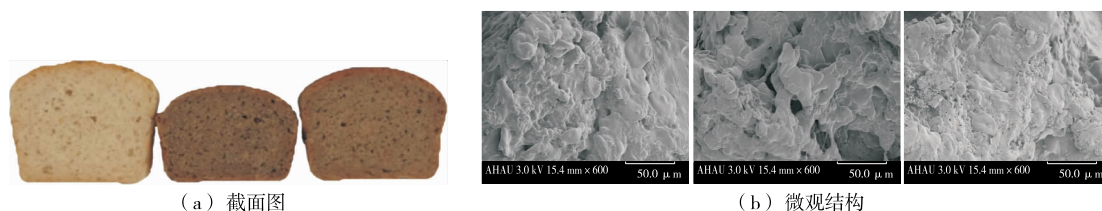


图 4 各因素交互作用对双孢菇面包综合评分的响应曲面图

Figure 4 Response surface of vital wheat gluten, sucrose fatty acid ester and cellulase to comprehensive score of *Agaricus bisporus* bread



(a) 截面图

(b) 微观结构

从左至右依次为小麦面包、双孢菇面包、改良面包

图 5 小麦面包、双孢菇面包和改良面包的截面图和微观结构

Figure 5 The cross section and microstructure of wheat bread, *Agaricus bisporus* bread and improved bread

织结构品质优于未改良的,与文献[18]的结果一致。

3 结论

探讨了 3 种复合添加剂对双孢菇面包品质改良的影响。结果表明,3 种添加剂可显著改善双孢菇面包品质。其中,谷朊粉可以增强面筋网络结构,蔗糖脂肪酸酯可以替代部分油脂改善面包口感和质地,适量添加纤维素酶可以使面包更加松软。改良双孢菇面包的最优配方为谷朊粉添加量 3.35%、蔗糖脂肪酸酯添加量 0.15%、纤维素酶添加量 0.16%,此时,面包气孔更加均匀,面包体积更高。同时,改良双孢菇面包的面筋网络结构得到了增强,结构较为紧凑。后续还需针对面包改良工艺及其参数进行优化,以期延长双孢菇面包贮藏期,进一步提高其改良应用效果。

参考文献

- [1] ALTINEL B, ÜNAL S S. The effects of certain enzymes on the rheology of dough and the quality characteristics of bread prepared from wheat meal[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(6): 1-10.
- [2] SALEHI F. Characterization of different mushrooms powder and its application in bakery products: A review[J]. International Journal of Food Properties, 2019, 22: 1 375-1 385.
- [3] ZHANG Yu-meng, RUAN Cheng-cheng, CHENG Zhi-mei, et al. Mixolab behavior, quality attributes and antioxidant capacity of breads incorporated with *Agaricus bisporus*[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(8): 1-9.
- [4] ORTOLAN F, STEEL C J. Protein characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2017, 16(3): 369-381.
- [5] SUDHA M L, RAO G V. Influence of hydroxypropyl methylcellulose on the rheological and microstructural characteristics of whole wheat flour dough and quality of puri[J]. Journal of Texture Studies, 2010, 40: 172-191.
- [6] TAO Han, XIAO Ying-da, WU Feng-feng, et al. Optimization of additives and their combination to improve the quality of refrigerated dough[J]. LWT-Food Science & Technology, 2018, 89: 482-488.
- [7] LIU W, BRENNAN M, SERVENTI L, et al. Effect of cellulase, xylanase and α -amylase combinations on the rheological properties of Chinese steamed bread dough enriched in wheat bran[J]. Food Chemistry, 2017, 234: 93-102.
- [8] XU Xiao-yun, XU Yan, WANG Nai-fu, et al. Effects of superfine grinding of bran on the properties of dough and qualities of steamed bread[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 81: 76-82.
- [9] GOMES-RUFFI C R, CUNHA R H D, ALMEIDA E L, et al. Effect of the emulsifier sodium stearyl lactylate and of the enzyme maltogenic amylase on the quality of pan bread during storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 49(1): 96-101.
- [10] 徐兴阳. 香菇挤压膨化产品研发及其性质研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2016: 17-18.
- XU Xing-yang. Study of the optimal conditions and characteristics of mushroom extrusion product[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2016: 17-18.
- [11] 田志刚, 孙洪蕊, 刘香英, 等. 面包改良剂对马铃薯面包质构特性的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(6): 18-21.
- TIAN Zhi-gang, SUN Hong-rui, LIU Xiang-ying, et al. Effect of bread improver on the texture properties of potato bread[J]. The Food Industry, 2018, 39(6): 18-21.
- [12] MENG Yue-cheng, SUN Ming-hui, FANG Sheng, et al. Effect of sucrose fatty acid esters on pasting, rheological properties and freeze-thaw stability of rice flour[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 40: 64-70.
- [13] SHARMA P, GUJRAL H S. Anti-staling effects of β -glucan and barley flour in wheat flour chapatti[J]. Food Chemistry, 2014, 145: 102-108.
- [14] 胡叶碧, 王璋. 纤维素酶和木聚糖酶对玉米皮膳食纤维组成和功能特性的影响[J]. 食品工业科技, 2006, 27(11): 103-105.
- HU Ye-bi, WANG Zhang. Effects of cellulase and xylanase on composition and functional characteristics of dietary fiber in corn husk[J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(11): 103-105.
- [15] HUNG P V, MAEDA T, FUJITA M, et al. Dough properties and breadmaking qualities of whole waxy wheat flour and effects of additional enzymes[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2007, 87(13): 2 538-2 543.
- [16] 严晓鹏. 麸皮面包改良剂的研制[D]. 无锡: 江南大学, 2007: 15-16.
- YAN Xiao-peng. Development of bran bread improtant[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007: 15-16.
- [17] HARADA O, LYSENKO E D, EDWARDS N M, et al. Effects of commercial hydrolytic enzyme additives on Japanese-style sponge and dough bread properties and processing characteristics[J]. Cereal Chemistry, 2005, 82(3): 314-320.
- [18] FLANDER L, SALMENKALLIO-MARTTILA M, SUORTTI T, et al. Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(5): 860-870.