

微波复热速冻馒头保水剂及其对质构的影响

范会平¹, 潘治利¹, 陈 军^{1,2}, 王 娜¹, 艾志录^{1,*}, 李 嘉¹, 骆 玫³

(1.河南农业大学食品科学技术学院, 河南 郑州 450002;

2.河南兴泰科技实业有限公司, 河南 郑州 450001; 3.河南工程学院, 河南 郑州 451191)

摘 要:以速冻馒头为研究对象,以海藻酸钠、结冷胶、硬脂酰乳酸钙(CSL)等几种改良剂为原料,研制了一种速冻馒头保水剂的配方,以提高馒头微波复热后的品质。响应面优化试验结果表明:速冻馒头保水剂的最佳配方为海藻酸钠0.37%、结冷胶0.15%、CSL 0.21%。验证实验表明,在此条件下速冻馒头微波复热后质量损失率为6.02%,接近预测值6.01%,说明该配方可靠。

关键词:速冻馒头;微波复热;改良剂;品质

Water-Retention Agent for Microwave Reheating of Quick-Frozen Steamed Breads and Its Effect on Texture

FAN Hui-ping¹, PAN Zhi-li¹, CHEN Jun², WANG Na¹, AI Zhi-lu^{1,*}, LI Jia¹, LUO Mei³

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Henan Xingtai Science and Technology Industrial Co. Ltd., Zhengzhou 450001, China;

3. Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 451191, China)

Abstract: A water-retention agent for improving the quality of quick-frozen steamed breads after microwave reheating was prepared from several improvers such as sodium alginate, gellan gum and calcium stearoyl lactylate (CSL). The optimized water-retention agent was composed of 0.37% sodium alginate, 0.15% gellan gum and 0.21% CSL as determined using response surface methodology. The observed weight loss rate of quick-frozen steamed breads with the addition of the optimized water-retention agent after microwave reheating was 6.02%, which was close to the predicted value of 6.01%. In conclusion, the optimal water-retention agent was reliable.

Key words: quick-frozen steamed bread; microwave reheating; improver; quality

中图分类号: TS213.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)24-0315-06

馒头是北方的传统主食,近年来,随着速冻食品行业的迅猛发展,速冻馒头的市场需求也正在逐步形成。速冻馒头常用的复热方式主要有蒸汽加热和微波加热两种^[1-2],其中微波加热技术作为一种重要的加热方式,由于其操作方便、易于控制,已经逐渐成为广大消费者普遍认可的馒头复热手段。然而,尽管微波加热优点很多,但速冻馒头在微波复热过程中产生的质构变化所造成的内芯初化、硬化,进而使馒头丧失原有的松软性,韧性增大、难以咀嚼的现象,却使得微波技术在馒头复热中的应用受到极大限制,也因此引起了诸多学者的普遍关注^[3-5]。

要解决馒头在微波复热过程中出现的表皮变皱、变干、内芯变硬等问题,主要从3个方向进行研究:一、改

变包装方式或者微波加热方式^[6];二、在馒头中添加持水性较强的物质,抑制馒头贮藏及微波复热过程中水分的外迁,防止馒头芯水分过度损失而出现硬芯;三、在馒头表面涂层形成一层阻水膜,抑制水分的散失。常见的持水性物质有亲水性胶体、乳化剂、磷酸盐等。亲水性胶体是水溶性大分子多糖,具有增稠、胶凝、成膜和乳化等多种功能特性。在面糊中添加胶体可以增加黏度,提供良好的成膜性,有助于提高产品的冻融稳定性,防止水分迁移,提高涂层的黏附能力,因此,在微波加热过程中可以起到阻水作用^[7],乳化剂主要是降低了油水两相界面的表面张力,使分子极性趋于一致,使馒头的结构处于一种均匀、稳定的状态,使微波加热更均匀,从而使水分的蒸发量减少,达到锁住水分的作用^[8]。

收稿日期: 2012-12-04

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD37B07); 河南省教育厅自然科学研究计划项目(2009A550007)

作者简介: 范会平(1972—),女,副教授,博士,研究方向为农产品加工与贮藏、功能性食品开发。E-mail: fanhuiping1972@hotmail.com

*通信作者: 艾志录(1965—),男,教授,博士,研究方向为速冻食品、传统食品产业化理论与工艺、农产品资源开发与功能性食品。E-mail: zhila@163.com

本研究通过考察不同改良剂对速冻馒头微波复热后失水率和品质的影响,筛选合适的速冻馒头保水剂配方,改善速冻馒头微波复热后的食用品质,为微波复热在速冻馒头中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

雪燕特一粉 郑州雪燕面粉厂;即发干酵母 法国乐斯福有限公司;海藻酸钠、羧甲基纤维素(CMC)、黄原胶、魔芋胶、卡拉胶、结冷胶和瓜尔豆胶(均为食品级) 郑州天宇食品配料有限公司;硬脂酰乳酸钙(CSL)、单硬脂酰甘油酯(单甘酯)、聚乙二醇单甘酯 河南兴泰科技实业有限公司;蔗糖脂肪酸酯(蔗糖酯) 维氏实业(上海)有限公司。

1.2 仪器与设备

VF-12醒发箱 华恒机电开发公司;G80F20CN2L-B8型微波炉 格兰仕集团有限公司;101-1型电热恒温鼓风干燥箱 上海路达实验仪器有限公司;TA-XT plus型物性测试仪 英国Stable Micro System公司;快速黏度分析仪(rapid visco-analyzer, RVA) 澳大利亚Newport Scientific公司。

1.3 方法

1.3.1 水分含量的测定

馒头中水分测定参照GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》中直接测定法^[9]进行。

1.3.2 质量损失率的测定

$$\text{质量损失率} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

式中: m_1 为馒头微波复热前质量/g; m_2 为馒头微波复热120s,室温静置20min后的质量/g。

1.3.3 馒头的质构分析(texture profile analysis, TPA)测定

馒头微波复热后静置20min,用自动切片机将馒头切割成厚度为10mm薄片,使用P/35探头进行TPA测试;用擦镜纸将探头擦拭干净后,重复测试操作。取3次测试的平均值作为测试结果。

TPA测试模式和测试参数分别为:测前速度3.0m/s,测试速度1.0mm/s,测后速度1.0mm/s,压缩率为30%。

1.3.4 馒头烘干粉的糊化特性的测定

实验采用RVA仪进行测定,步骤为:将微波复热后静置1h的馒头在105℃下烘干、粉碎,然后过90目的筛子,准确称取3.50g(14%湿基条件下进行水分补偿)的馒头烘干粉,加入到装有25.0mL蒸馏水的铝罐中,用旋转桨充分搅拌后,置于RVA内,先以960r/min搅拌,待形成均匀悬浊液后,保持转速160r/min直至实验结束。

RVA初始温度为50℃,保持1min,然后以12℃/min 提高到95℃,在95℃保持2.5min,再以12℃/min 降至50℃并保持2 min。整个测定过程历时13min,温度和转速由Thermocline for windows软件控制。

1.3.5 馒头保水性测定

称取100g面粉,分别按照面粉质量的百分比添加改良剂,混匀,倒入事先量取好的酵母溶液中,和面,制作馒头;馒头出锅后静置1h,封袋,常温贮藏24h,然后测定馒头内部的水分含量,制作4个馒头,其中一个馒头作为对照,其余3个为添加改良剂的馒头。

1.4 数据分析

采用Excel 2003及Designer expert 7.0进行分析。

2 结果与分析

2.1 亲水性胶体对馒头保水性的影响

为了考察不同亲水性胶体对馒头保水性的影响,本研究选用CMC等7种亲水性胶体,添加到馒头中,分别考察其对馒头水分含量的影响,结果如图1所示。

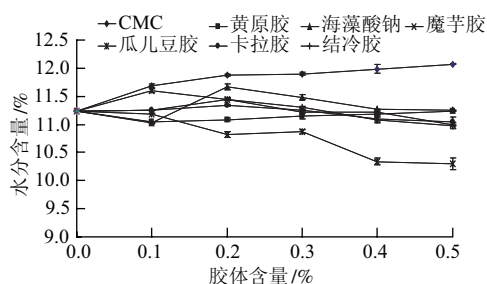


图1 亲水性胶体对馒头水分含量的影响

Fig.1 Effect of hydrocolloid type and dosage on the water retention of steamed breads

由图1可以看出,CMC、海藻酸钠、结冷胶和卡拉胶在一定浓度内均能增加馒头内部的水分含量,在添加量为0.10%~0.50%范围内时,除CMC外,其他几种均存在先升后降的趋势,这可能是由于随着胶体浓度的增加,面团的凝胶性逐渐增强,影响到面筋网络的自然形成,从而导致馒头内部结构粗糙,持水性下降。魔芋胶在添加量低于0.3%时馒头中水分含量高于对照,但随着添加量的增加,馒头中水分含量呈下降趋势;而黄原胶和瓜儿豆胶在低添加量时馒头的水分含量则低于对照组,且随着添加量的增加,水分含量呈下降的趋势。这主要是由于黄原胶、瓜儿豆胶和魔芋胶都属于在低浓度时就具有很高凝胶强度的胶体,因而在较低浓度时就对馒头结构产生了较大影响。

微波复热冷冻调理食品内部水分迁移通常是影响微波食品品质的首要原因^[8],测定馒头微波复热后质量损失率,可以很好的判断配料保水性的高低,对上述几种添

加效果较好的亲水性胶体进行微波复热后质量损失率的测定,实验条件为微波功率800W、时间120s,结果如图2所示。

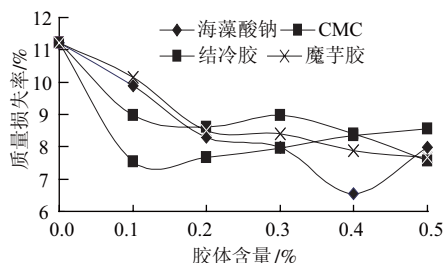


图2 亲水性胶体对馒头微波复热后质量损失率的影响

Fig.2 Effect of hydrocolloid type and dosage on the weight loss rate of steamed breads after microwave reheating

由图2可以看出,4种胶体均能降低馒头微波复热后的质量损失率,但总体来看,CMC抑制馒头质量损失率的性能相对较差,可能因为CMC的凝胶强度较弱,且其有一定的乳化作用,使馒头的体积增大,其结合的水分在升温过程中由于氢键断裂而损失,从而导致质量损失率增大。而魔芋胶只有在添加量较高时才表现出一定的效果。结合胶体含量等因素,本研究选取海藻酸钠与结冷胶进行复配。

2.2 乳化剂对馒头保水性的影响

食品乳化剂是一类能降低油水界面两相之间的表面张力,使之形成均匀的分散体或乳化体,从而改进食品组织结构、外观和口感,以及提高食品保存性的一类可食用的具有亲水和亲油双重特性的化学物质。图3所示为添加单甘酯、硬脂酰乳酸钙(CSL)、蔗糖酯和聚乙二醇单甘酯对馒头水分含量的作用效果。

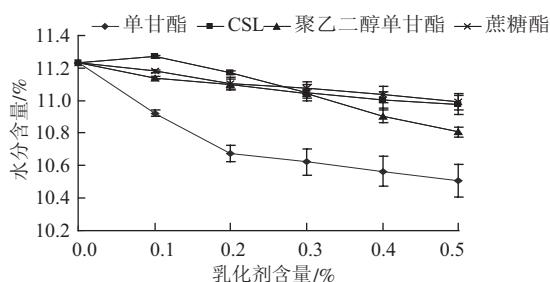


图3 乳化剂对馒头水分含量的影响

Fig.3 Effect of emulsifier type and dosage on the water retention of steamed breads

由图3可看出,添加4种乳化剂后,只有CSL在添加量为0.1%时馒头的水分含量稍有提高。而添加其他几种乳化剂后,馒头水分含量的变化量均为负值,且添加量越大,馒头水分降低越多,这可能是由于在面制品中,乳化剂主要和蛋白、脂类等大分子相互作用,抑制淀粉的吸水,增大馒头的比容,使馒头的含水量降低。为进

一步考察其可用性,测定其微波复热后的馒头质量损失率,结果如图4所示。

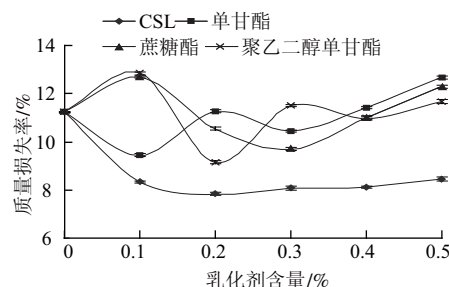


图4 乳化剂对馒头微波质量损失率的影响

Fig.4 Effect of emulsifier type and dosage on the weight loss rate of steamed breads after microwave reheating

由图4可以看出,4种乳化剂对微波复热后馒头质量损失率的影响各不相同,蔗糖酯与聚乙二醇单甘酯都表现出一定的负面影响,质量损失率高于空白对照组,且它们质量损失率表现出时高时低的曲线图形,这可能是由于该种物质的流散性较差,与面粉的混合不均匀所致,单甘酯在0.1%时质量损失率比空白低,在随后的浓度中,呈现出一种上扬的趋势,含量越高,质量损失率越大。CSL则能够较好地降低馒头的质量损失率,这可能是由于CSL能较好地与面粉中的淀粉作用,使淀粉分子极性趋于一致,使速冻馒头在微波复热时受热更均匀,能更好地锁住水分,从而减少水分的蒸发量^[10]。

磷酸盐在肉制品中保水特性已被充分的研究,但是在面制品中的保水性却很少有人研究,故其作用机理尚不明确,李爱军等^[11]探讨了复合磷酸盐在速冻馒头生产中的应用,结果表明,磷酸盐能增加馒头的保水能力,减少馒头在成型、醒发及蒸制后冷却过程中的水分损失。本研究经初步研究发现,磷酸盐对馒头的微波复热质量损失率并无明显的影响,故不将其作为保水剂配料。

2.3 馒头保水剂的最佳配方的确定

2.3.1 保水剂配料的单因素试验

选取海藻酸钠、结冷胶和CSL三种亲水性的物质作为馒头保水剂的配料,在功率800W、时间120s微波条件下,测定每种物质对馒头微波质量损失率的影响。

2.3.1.1 海藻酸钠对馒头微波质量损失率的影响

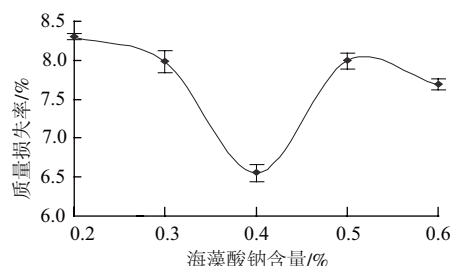


图5 海藻酸钠用量对馒头微波质量损失率的影响

Fig.5 Effect of sodium alginate dosage on the weight loss rate of steamed breads after microwave reheating

分别添加面粉质量的0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%海藻酸钠,制作馒头,测定馒头微波复热后质量损失率的变化,结果如图5所示。

由图5可知,在海藻酸钠用量为0.4%时,馒头微波复热后的质量损失率最小。这可能是因为海藻酸钠作为亲水性胶体,能够增大面团的吸水率,使面团能够吸收更多的水分,但当添加量超过0.4%时,随着添加量增大,在感官评定试验中可以看出,馒头的表皮和结构都逐渐变差,表皮变得不致密,内部结构粗糙,保水性降低,质量损失率增大。本研究选取0.3%、0.4%、0.5%三水平进行优化试验。

2.3.1.2 结冷胶对馒头微波质量损失率的影响

分别添加面粉质量的0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%结冷胶,制作馒头,测定馒头微波复热后质量损失率的变化,结果如图6所示。

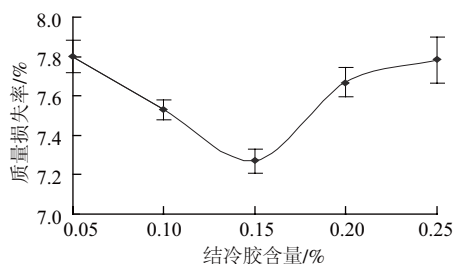


图6 结冷胶用量对馒头微波质量损失率的影响

Fig.6 Effect of gellan gum dosage on the weight loss rate of steamed breads after microwave reheating

由图6可知,在结冷胶含量为0.15%时馒头微波复热后质量损失率最小。这可能是由于结冷胶是一种热凝胶,不溶于冷水,在醒发及蒸制过程中,能慢慢吸收水分,并在蒸制过程中水化达到最大的吸水率,冷却后迅速凝胶,提高了馒头的持水性。但随着添加量的增大,馒头的结构气孔出现不规则的扩大,其持水性反而降低。本研究选取0.1%、0.15%、0.2%三水平进行优化试验。

2.3.1.3 CSL对馒头微波质量损失率的影响

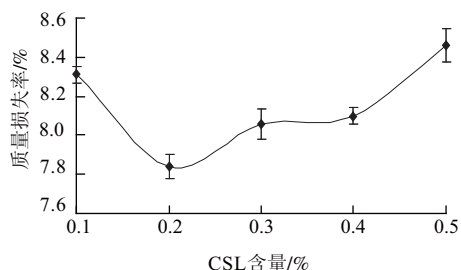


图7 CSL用量对馒头微波质量损失率的影响

Fig.7 Effect of CSL dosage on the weight loss rate of steamed bread after microwave reheating

分别添加面粉质量的0.10%、0.20%、0.30%、0.40%、0.50%的CSL,制作馒头,测定馒头微波复热后

质量损失率的变化,结果如图7所示。

由图7可知,在CSL含量为0.2%时馒头微波后质量损失率达到最小,这可能是因为CSL能与淀粉形成络合物,有助于面团达到最大吸水率^[12],使馒头得到较好的内瓤结构、防老化、保鲜,还能与面粉蛋白相结合,增强面团的持气性,在馒头蒸制之后赋予馒头致密的表皮结构,防止水分的散失,但添加量较少时作用效果不明显,过多时则会使馒头内部气孔结构变得粗大,内部结构变得粗糙,持水性降低。本研究选取0.1%、0.2%、0.3%三水平进行优化试验。

2.3.2 馒头微波质量损失率的响应面优化试验

根据前述单因素试验结果确定的各种配料的最佳添加量,采用响应曲面法进行优化,具体试验方案见表1。以质量损失率为响应值,响应面优化试验结果见表2。

表1 Box-Behnken方案设计的因素和水平编码值表
Table 1 Coded values and corresponding actual values of the optimization parameters used in Box-Behnken design

因素	编码水平(x _i)		
	-1	0	1
A海藻酸钠/(g/100g)	0.3	0.4	0.5
B CSL/(g/100g)	0.1	0.2	0.3
C结冷胶/(g/100g)	0.1	0.15	0.2

表2 馒头微波质量损失率试验方案与结果

Table 2 Box-Behnken design and results

试验号	A	B	C	质量损失率/%
1	1	0	1	7.23
2	0	0	0	6.00
3	0	1	-1	6.68
4	-1	1	0	6.37
5	-1	0	-1	6.71
6	0	0	0	6.07
7	0	0	0	5.98
8	-1	0	1	6.11
9	0	-1	-1	6.59
10	1	-1	0	6.47
11	1	1	0	7.24
12	1	0	-1	6.29
13	0	-1	1	6.77
14	0	1	1	6.80
15	-1	-1	0	7.06
16	0	0	0	6.01
17	0	0	0	6.05

2.3.3 回归方程和显著性检验

利用Design-expert对表2的数据进行多元回归拟合,得到馒头微波复热质量损失率对海藻酸钠(A)、CSL(B)、结冷胶(C)的回归方程:

$$Y=6.02+0.12A-0.025B+0.080C+0.36AB+0.39AC-0.015BC+0.32A^2+0.44B^2+0.24C^2$$

对该回归模型方差进行分析,具体结果见表3。由表

3可知,模型的 $F=82.85 > F_{0.01(9,4)}=14.66$, $P < 0.0001 < 0.01$, 本实验所选用的模型极显著,失拟项 $P=0.0673 > 0.05$ 不显著,决定系数 $R^2=0.9907$,说明拟合程度良好,试验误差小,本模型可以用来预测馒头微波质量损失率,模型中的一次项A、C极显著,B不显著;二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 极显著;交互项AB、AC极显著。

表3 回归方程的方差分析

Table 3 Analysis of variance for the fitted regression equation

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值
模型	2.98	9	0.33	82.85	<0.0001
A	0.12	1	0.12	30.09	0.0009
B	5.000×10^{-3}	1	5.000×10^{-3}	1.25	0.2999
C	0.051	1	0.051	12.83	0.0089
AB	0.53	1	0.53	133.56	<0.0001
AC	0.59	1	0.59	148.60	<0.0001
BC	9.000×10^{-4}	1	9.000×10^{-4}	0.23	0.6493
A^2	0.43	1	0.43	107.39	<0.0001
B^2	0.83	1	0.83	208.03	<0.0001
C^2	0.25	1	0.25	62.83	<0.0001
残差	0.028	7	3.990×10^{-3}		
失拟项	0.022	3	7.483×10^{-3}	5.46	0.0673
纯误差	5.480×10^{-3}	4	1.370×10^{-3}		
总和	3.00	16			

根据分析结果做出相应曲面图,结果如图8所示。由图8可以看出,海藻酸钠与CSL、结冷胶交互作用显著,而结冷胶与CSL交互作用不显著,原因是海藻酸钠和CSL都能提高馒头的最大吸水率,而结冷胶难溶于冷水,在用冷水和面时结冷胶大多以一种固态的形式存在,很难发生反应。从图9可以看出,海藻酸钠与结冷胶含量对馒头微波质量损失率的影响最大,存在一定的交互作用,呈现出先增后减的趋势。优化后的保水剂配方为:海藻酸钠0.37%、CSL0.21%、结冷胶0.15%。验证实验结果表明,在此条件下,馒头微波质量损失率平均值为6.02%。与理论预测值6.01%相比,其相对误差约为0.2%,因此基于响应曲面法所得的优化配方参数准确可靠。GB 2760—2011《食品添加剂使用标准》^[13]中规定:发酵面制品中CSL的最大使用量为2g/kg(0.2%)。而本研究中CSL的最佳添加量为0.21%,和国标规定最大使用量十分接近。因此建议实际生产中采用保水剂配方:海藻酸钠0.37%,CSL0.20%,结冷胶0.15%进行使用,该配方既能保证保水效果,又能保证馒头的食品安全。

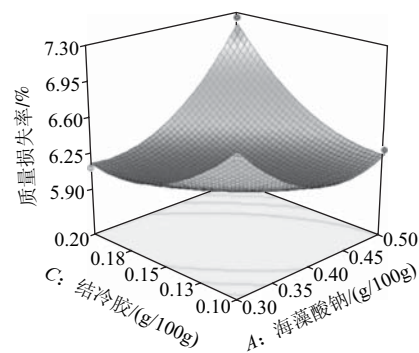
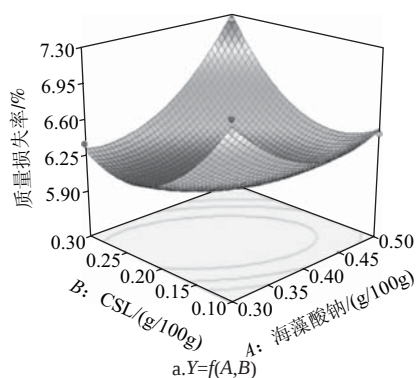
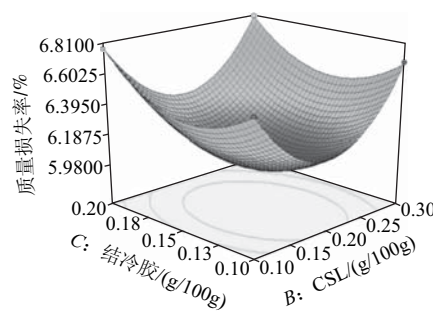
b. $Y=f(A,C)$ c. $Y=f(B,C)$

图8 两因素交互作用响应面图

Fig.8 Response surface plots showing the effects of water-retention agent components on the weight loss rate of steamed breads after microwave reheating

2.4 最佳配方的验证实验

2.4.1 对水分迁移的影响

使用微波功率为800W对馒头加热120s后测定馒头近皮部分和内芯部分的水分含量,结果如表4所示。

表4 馒头的近皮部分和内芯部分的水分含量

Table 4 Water contents in the core and peel parts of steamed breads with and without the addition of the optimized water-retention agent

	位置	空白对照	添加复配改良剂
水分含量/%	近皮部分	38.37 ± 0.52	39.13 ± 0.47
	内芯部分	31.74 ± 0.43	$35.04 \pm 0.36^*$

注:*,表示同行数据间显著差异。

由表4可以看出,添加改良剂的馒头内部的水分含量显著提高,比空白对照增加了近4个百分点,而这些水分对于改善馒头的口感及加热速度都有显著改善作用,说明该配方可以用来提高馒头的保水性,以改善馒头微波后的品质变化。

2.4.2 对馒头质构的影响

表5 馒头的TPA数据

Table 5 TPA parameters of steamed breads

	硬度	黏附性	弹性	黏聚性	咀嚼性	回复性
对照	1756 ± 16.86^a	0.655 ± 2.842^a	0.957 ± 0.014^a	0.624 ± 0.010^a	1048 ± 13.86^a	0.552 ± 0.020^a
优化配方	1224 ± 34.22^b	-17.9 ± 1.405^{ab}	0.916 ± 0.015^b	0.884 ± 0.003^b	991 ± 14.64^a	0.559 ± 0.003^a
对照微波后	2513 ± 213.6^c	-6.62 ± 5.694^{ab}	0.927 ± 0.012^b	0.900 ± 0.005^c	2093 ± 144.1^b	0.491 ± 0.024^b
配方微波后	1637 ± 71.81^d	-8.23 ± 4.186^{ab}	0.965 ± 0.019^a	0.903 ± 0.011^c	1428 ± 77.57^c	0.483 ± 0.016^b

注:同列数据不同字母表示差异显著。

馒头微波复热后静置20min, 然后使用质构仪测定馒头TPA, 数据如表5所示。

由表5可以看出, 馒头加入改良剂后, 硬度和咀嚼性上得到了一定的改善, 韧性有所下降, 加入改良剂的馒头微波加热后弹性比微波前有所上升, 而空白对照组则在微波加热后弹性下降。空白对照馒头弹性下降的原因是馒头硬度较大, 刚性增强, 弹性减弱; 空白对照微波复热后馒头回复性有所下降, 加入改良剂的馒头回复性下降更多, 说明配方虽然降低了馒头的韧性, 但是也使口感变得有些粘牙, 馒头不易回复。

2.4.3 对馒头烘干粉RVA的影响

表6 馒头烘干粉的RVA参数
Table 6 RVA parameters of dried steamed bread power

	峰值黏度/cp	谷值黏度/cp	衰减值/cp	最终黏度/cp	回生值/cp	峰值时间/min	糊化温度/℃
对照气蒸后	465	421	44	626	205	7	94.65
对照微波后	633	594	39	923	329	7	92.8
配方微波后	615	579	36	848	269	6.97	93.6

由表6可以看出, 改良剂使馒头的峰值黏度降低, 糊化温度提高, 说明在微波复热过程中, 微波复热能让馒头在不影响口感的情况下熟化得更好, 淀粉糊化得更完全。

3 结 论

海藻酸钠、结冷胶对馒头的微波复热后质量损失率有较大影响, 乳化剂CSL(硬脂酸乳酸钙)对馒头的失重也有一定的抑制作用。响应面优化试验结果表明: 海藻酸钠与CSL、结冷胶交互作用显著, 而结冷胶与CSL交互作用不显著, 优化配方为海藻酸钠0.37%、结冷胶

0.15%、CSL 0.21%, 此时平均质量损失率为6.01%。根据GB 2760—2011中相关规定, 实际生产中可采用保水剂配方: 海藻酸钠0.37%、CSL 0.20%、结冷胶0.15%进行使用, 以保证馒头质量和使用安全。

参考文献:

- [1] 王欢欢, 王帆, 赵思明, 等. 复热方式对冷冻馒头质构和营养特性的影响[C]//中国粮油学会发酵面食分会第五届产业发展大会论文集, 2010.
- [2] 赵学伟, 秦潭洋. 微波-蒸汽联合加热过程中冻结馒头温度和水分变化[J]. 粮食与油脂, 2009(6): 23-25.
- [3] 林向阳, 何承云, 阮榕生, 等. MRI研究冷冻馒头微波复热过程水分的迁移变化[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 82-86.
- [4] 陈卫, 张灏, 赵建新, 等. 冷冻馒头微波复热过程中温度和水分变化的研究[J]. 中国粮油学报, 2002, 17(5): 21-23.
- [5] UZZAN M, RAMON O, KOPELMAN I J, et al. Mechanism of crumb toughening in bread-like products by microwave reheating[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(16): 6553-6560.
- [6] RUBBRIGHT H A. Packaging for microwavable foods[J]. Cereal Foods World, 1990, 35(9): 927-930.
- [7] WARD F M, ANDON S A. Hydrocolloids as film formers adhesives and gelling agents for bakery and cereal products[J]. Cereal foods World, 2002, 47(2): 52-55.
- [8] 殷小梅, 许时婴. 可食用涂层在微波食品中的应用[J]. 食品工业, 1998(4): 36-37.
- [9] GB 5009.3—2010食品中水分的测定[S]. 北京: 中华人民共和国卫生部, 2010.
- [10] 周颖越, 朱炜. 单甘酯对微波复热食品阻水性能的研究[J]. 中国食品添加剂, 2006(4): 91-94.
- [11] 李爱军, 欧仕益. 磷酸盐在速冻馒头中的应用[J]. 食品科学, 2000, 21(7): 58-60.
- [12] 齐兵建, 苏东明. 小麦粉品质改良与专用粉生产[M]. 北京: 中国商业出版社, 2000: 298.
- [13] GB 2760—2011食品添加剂使用标准[S].