

蜂蜜干粉对面包面团热机械学、烘焙及老化特性的影响

张君¹, 王凤², 贾春利¹, 黄卫宁^{1*}, 郑建仙³, RAYAS-DUARTE Patricia⁴

(1.江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏无锡 214122;

2.无锡麦吉贝可生物食品有限公司, 江苏无锡 214131;

3.华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640;

4.美国俄克拉荷马州立大学农产品与食品研究中心, 美国俄克拉荷马州斯蒂尔沃特 74078-6055)

摘要:采用Mixolab、质构仪和差式扫描量热仪(DSC)研究蜂蜜干粉对面包面团热机械学、烘焙和老化特性的影响。Mixolab实验表明,蜂蜜干粉对蔗糖的取代提高了面团的吸水率和稳定时间,当蜂蜜干粉取代比例超过50%时,蛋白质弱化值C1-C2和弱化度 α 显著增加($p < 0.05$);此外蜂蜜干粉会降低淀粉的回生值C5-C4,蜂蜜干粉的取代比例为100%时,C5-C4降低了21.03%。新鲜面包的烘焙数据表明,与空白组相比,蜂蜜干粉使得面包比容变大,硬度减小,当蜂蜜干粉的取代量为总蔗糖量的50%时,面包烘焙品质最佳。面包老化实验发现,蜂蜜干粉加入面包中,可以减小面包硬化速率和水分减少速率;长时间储藏使得面包的老化焓值 ΔH 增加,与空白组相比,面包储藏7d后,蜂蜜干粉取代比例为25%、50%、75%和100%时,使得老化焓值分别降低了4.93%、9.87%、16.92%和22.77%,这表明,蜂蜜干粉在面包中的应用可延缓淀粉回生,延长面包货架期。

关键词:蜂蜜干粉,热机械学特性,烘焙,老化

Effect of honey powder on thermomechanical properties of dough, baking and staling properties of bread

ZHANG Jun¹, WANG Feng², JIA Chun-li¹, HUANG Wei-ning^{1*}, ZHENG Jian-xian³, RAYAS-DUARTE Patricia⁴

(1.State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2.Magibake International Co., Ltd., Wuxi 214131, China;

3.School of Light Industry and Food Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

4.Food and Agricultural Products Research Center, Oklahoma State University, Stillwater 74078-6055, USA)

Abstract: Mixolab, Texture Analyzer and Differential Scanning Calorimeter (DSC) were used to investigate the effect of honey powder on thermomechanical characteristics of dough, baking quality and staling properties of bread. Mixolab experiment showed that, compared to the control, honey powder increased the water absorption and stabilization time significantly. When the substitution level of honey powder was more than 50%, C1-C2 and α increased significantly ($p < 0.05$). In addition, with the increasing replacement level of honey powder, C5-C4 decreased, compared to the control, C5-C4 was reduced by 21.03%. Baking quality of fresh bread showed that the specific volume of bread increased, while the hardness decreased. The bread made with 50% addition of honey powder showed the best baking performance. The staling of bread was investigated and it was found that, during storage, the bread containing honey powder had lower rate of hardness and water loss. During 7d storage, honey powder at 25%, 50%, 75% and 100% levels decreased ΔH by 4.93%, 9.87%, 16.92% and 22.77% respectively, showing that the addition of honey powder could delay starch retrogradation and prolong shelf life of bread.

Key words: honey powder; thermomechanical properties; baking; staling

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2013)06-0185-06

收稿日期: 2012-10-19 * 通讯联系人

作者简介: 张君(1988-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 烘焙科学、功能配料与食品添加剂。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31071595; 20576046); 美国农业部国际合作项目(A-(86269)); 农业科技成果转化资金项目(2011GB2C100017); 广东省教育部产学研结合项目(2011B090400592); 江苏省科技支撑计划项目(BE2011380)。

蔗糖作为甜味剂,不但为面包提供甜味,还可作为酵母生长发酵的能量来源,并赋予面包独特的色泽和风味等。而在营养方面,蔗糖除提供热量外,却没有其他营养功能^[1]。蜂蜜是一种天然的甜味剂,含有丰富的果糖和葡萄糖(80%~90%)^[2],可供酵母发酵使用,其参与的美拉德反应可使面包产生金黄的色泽^[3]。与蔗糖相比,蜂蜜中的果糖具有更好的吸湿性,因此

采用蜂蜜制作的面包口感更细腻^[4]。此外,蜂蜜具有营养保健功能,其对产品风味和质构的改善作用也得到了研究者们的关注^[5]。将蜂蜜应用到面包中可以提升产品的整体品质,而且能够延长货架期,但液态的蜂蜜限制了其在食品产业中的应用^[6]。蜂蜜干粉是以天然蜂蜜为原料干制而成的食品配料,使用起来更方便、更安全、更稳定,其在烘焙食品中的应用也是食品科学家们研究的热点。董群义等应用粉质仪、拉伸仪和质构仪研究了蜂蜜干粉(淀粉为载体)对面团和新鲜面包的影响,结果发现当蜂蜜干粉添加比例在5%~10%之间,对面团流变性质和面包烘焙品质最佳^[7]。Addo等研究了纯蜂蜜粉(不含载体)对冷冻面团流变性质的影响,发现冷冻面团的流变性得到改善^[8]。但是目前蜂蜜干粉对面包老化的影响研究还未有报道。Mixolab分析仪是测定面团体系热机械学特性的仪器,能在恒温、升温、降温过程测定面团体系的热机械学特性,一次测定可以同时得到面团的蛋白组分特性和淀粉组分的糊化特性,更加全面、准确地分析各类配料在面团体系中的作用效果^[9]。在本文中,用蜂蜜干粉对蔗糖进行取代(0%、25%、50%、75%和100%,以蔗糖总量计),减少面包中蔗糖含量;采用Mixolab测定蜂蜜干粉对面团热机械学性质的影响;通过烘焙实验评估蜂蜜干粉取代蔗糖对面包烘焙品质产生的影响,并利用DSC研究其在延缓面包老化方面的作用,以期为蜂蜜干粉在健康烘焙食品中的应用提供基础理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

鹏泰高筋粉 中粮面业有限公司;蜂蜜干粉 江苏盐城花美有限公司;即发活性干酵母 广东梅山马利酵母有限公司;起酥油、盐、蔗糖等 均为市售食品级。

SM-25型搅拌机、SPC-40SP型发酵柜、SM-503+1S型电烤炉、SM-302N型切片机 新麦机械(无锡)有限公司;HPLC高效液相色谱(配有可变波长紫外检测器) 美国惠普公司;混合实验仪(MIXOLAB) 法国chopin公司;TA-XT2i(TA-XT plus)型质构仪 英国 Stable MicroSystem公司;高精度分光测差仪 美国Hunterlab公司;GZX-9240MBE型电热鼓风干燥箱 上海博讯实业有限公司;差示扫描量热仪(DSC) 美国PerkinElmer公司。

1.2 实验方法

1.2.1 蜂蜜干粉基本成分分析 葡萄糖、果糖、蔗糖和麦芽糖含量:参照GB/T 222201-2008;水分含量分析:AACC Method 44-15A;淀粉含量分析:GB/T 5009.9-2008。

1.2.2 蜂蜜干粉面团和面包的制备 原料主要包括

小麦粉400g、食盐4g、酵母6g、水244g和起酥油12g,蔗糖和蜂蜜干粉添加量按表1中的比例进行添加。将干料与水、油混合慢速搅拌成团,再快速搅拌至面筋网络结构形成,室温覆膜静置10min。分割面团80g/个,搓圆成型。于醒发箱内(38℃,RH85%)醒发80min,将醒发好的面团放入烤箱内(上火170℃,下火210℃)烘烤25min。

1.2.3 面团热机械学特性测定 参照Kim等^[10]研究方法,采用Mixolab实验仪测定蜂蜜干粉对面团形成、加热糊化和冷却过程中面团热机械学特性的影响,分析蜂蜜干粉对面团中面筋蛋白和淀粉加热冷却过程的影响。测定程序^[11]为:初始温度为30℃,保温8min,然后以4℃/min的速度升温至90℃,保温7min后,再以4℃/min的速度降温至50℃,搅拌速度始终为80r/min。

由实验曲线可得到以下参数:吸水率即使面团产生最佳稠度(1.1±0.07)N·m所需的加水量;面团形成时间即在30℃条件下达到最大扭矩(C1,N·m)所需时间;稳定时间即在稳定温度阶段面团所产生的扭矩保持在最佳稠度(1.1±0.07)N·m的时间;机械弱化即在30℃时的最大扭矩与保温结束时扭矩的差值;最小扭矩(C2,N·m)即面团形成过程中受到机械或热力作用时的最小扭矩值;峰值扭矩(C3,N·m)即面团在加热阶段产生的最大扭矩;C4(N·m)为90℃恒温阶段的最小扭矩;C5(N·m)为冷却至50℃的最大扭矩;C1-C2表示蛋白质弱化度;C4/C3表示蒸煮稳定性;C5-C4为回值(N·m);C1宽度表示面团的弹性。此外,曲线中扭矩的升降斜率表示为 α 、 β 、 γ ,分别表示热作用下面筋蛋白的弱化速度、淀粉糊化速度、酶降解速度,见图1。

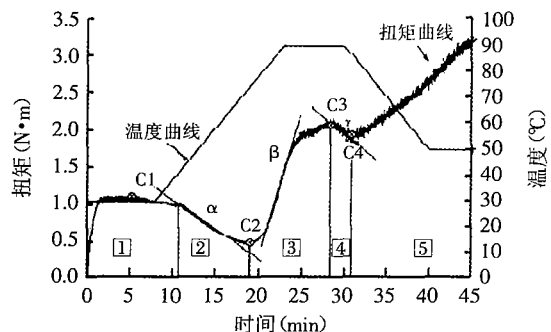


图1 Mixolab典型曲线图

Fig.1 Typical Mixolab curves

1.2.4 面包比容测定 将烘焙后的面包于室温下冷却1h,用油菜籽置换法测定面包体积,用电子天平称量面包质量。

比容(mL/g)=体积(mL)/质量(g)

1.2.5 面包芯色泽测定 面包冷却2h后,用面包切

表1 面包配方

Table 1 Bread formulations

配料	空白组	25%取代率	50%取代率	75%取代率	100%取代率
蔗糖(g)	20	15	10	5	—
蜂蜜干粉(g)	—	5	10	15	20

片机将面包切成厚度为10mm薄片,使用精密色差仪测量中间4片面包的L*、a*、b*值,其中,L*=0(黑色),L*=100(白色);a*表示红绿程度,a*为负值表示色泽偏绿,反之偏红;b*表示黄蓝程度,b*为负值表示色泽偏蓝,反之偏黄。

1.2.6 面包芯质构测定 面包冷却2h后,用面包切片机将面包切成厚度为10mm薄片,将中间的两片进行叠加,使用质构仪进行测定,测定后取平均值。参数设定:探头型号为P25,测试前速率1.0mm/s,测试速率3.0mm/s,测试后速率3.0mm/s,压缩程度50%,感应力5g,两次压缩间隔时间1s。将冷却2h后的面包密封保存在16℃恒温室中,分别测定放置1、3、5、7d的面包芯硬度。

1.2.7 面包芯水分减少速率测定 参照AACC-15A测定面包芯的水分含量,并进行面包芯水分减少速率计算。

1.2.8 面包芯支链淀粉回生焓变的测定 采用差示扫描量热仪(DSC)研究蜂蜜干粉对面包芯支链淀粉回生焓变的影响。将面包于4℃冰箱中放置1、3、5、7d后,取10mg左右的面包芯样品放入铝盒中,以空白铝盒作为对照。参数设定:温度范围30~90℃,升温速率为10℃/min,记录热焓值 ΔH 。

1.3 数据分析处理

各项指标重复测定至少3次,取其平均值,采用SPSS 16.0分析软件进行数据统计分析,运用方差分析法(ANOVA)进行显著性分析,显著差异水平取 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 蜂蜜干粉基本成分分析

表2 蜂蜜干粉基本成分分析

Table 2 Basic components of honey powder

基本成分	小麦淀粉	葡萄糖	果糖	蔗糖	麦芽糖	水
比例(%)	27.5	36.34	30.28	0.35	2.23	2.92

本实验所用蜂蜜干粉是以蜂蜜为主要原料,小麦淀粉为载体滚筒干燥而成。从表2中可以看出,葡萄糖和果糖的总含量占蜂蜜干粉的比例为66.62%,小麦淀粉比例为27.5%,葡萄糖和果糖的比例为1.2:1。通常情况下,蜂蜜中果糖含量高于葡萄糖含量,果糖和葡萄糖的比例为1.2:1^[12],但是也有些例外,如油菜、蒲公英和毛茛属植物^[13]。但是生产商所提供的蜂蜜干粉葡萄糖含量要高于果糖含量,可能是因为厂家采用的蜂蜜品种不同,或者是加工工艺不同。

表3 蜂蜜干粉对面团蛋白组分热机械学特性的影响

Table 3 Effect of honey powder on thermomechanical properties of dough protein determined by Mixolab

蜂蜜干粉取代比例(%)	吸水率(%)	面团稳定时间(min)	C1-C2(Nm)	α
空白	60.0±0.7 ^a	9.22±0.12 ^a	0.79±0.03 ^a	-0.088±0.012 ^a
25	61.0±0.3 ^b	10.44±0.06 ^{bc}	0.81±0.02 ^a	-0.087±0.006 ^a
50	61.9±0.5 ^c	10.78±0.09 ^c	0.82±0.01 ^a	-0.091±0.009 ^a
75	62.2±0.6 ^{cd}	10.45±0.03 ^{bc}	0.84±0.04 ^b	-0.101±0.004 ^b
100	62.7±0.3 ^d	10.27±0.07 ^b	0.85±0.02 ^b	-0.110±0.010 ^b

注:相同参数列的不同字母表示存在显著性差异($p < 0.05$);表3~表7,图2~图3同。

2.2 蜂蜜干粉对面团热机械学性质的影响

由表3可知,蜂蜜干粉使得面团的吸水率显著增加,因为与蔗糖相比,蜂蜜干粉中的果糖和淀粉易吸收水分^[7]。同时蜂蜜干粉使得面团稳定性显著增加。当蜂蜜干粉取代比例超过50%时,C1-C2和 α 值显著增加,说明过多的蜂蜜干粉弱化了面筋网络结构。童群义等也发现了蜂蜜干粉有弱化面筋筋力的作用^[7]。这可能是因为面筋网络结构的形成需要大量的水,与蔗糖相比,蜂蜜干粉有较强的吸湿性,在面团形成过程中不仅会吸收蛋白质之间的游离水,也会使蛋白质胶粒外部浓度增加,对胶体内部的水分产生渗透作用,阻碍面筋的形成^[14]。

表4 蜂蜜干粉对面团淀粉组分热机械学特性的影响
Table 4 Effect of honey powder on thermomechanical properties of dough starch determined by Mixolab

蜂蜜干粉取代比例(%)	C4(Nm)	C5(Nm)	C5-C4(Nm)
空白	1.651±0.008 ^a	2.615±0.027 ^c	0.965±0.016 ^c
25	1.650±0.006 ^a	2.562±0.009 ^{bc}	0.911±0.006 ^{bc}
50	1.629±0.003 ^a	2.516±0.013 ^{bc}	0.880±0.007 ^{bc}
75	1.625±0.005 ^a	2.425±0.035 ^{ab}	0.811±0.004 ^{ab}
100	1.614±0.004 ^a	2.354±0.010 ^a	0.762±0.009 ^a

回生值C5-C4描述的是淀粉凝胶化的过程,该过程与淀粉分子的老化和重排有关,C5-C4值越小就表示淀粉重结晶程度越低。随着面团中蜂蜜干粉比例的增加,C5-C4值显著减小。与空白组相比,面团中的蔗糖全部被蜂蜜干粉取代时,C5-C4值降低了21.03%,这说明蜂蜜干粉延缓了淀粉的重结晶。

2.3 蜂蜜干粉对新鲜面包烘焙特性的影响

2.3.1 蜂蜜干粉对面包比容和面包芯色泽的影响 从表5可以看出,含蜂蜜干粉的面包比容增加,与空白组相比,蜂蜜干粉取代率为25%、50%、75%和100%时,面包比容分别增加了3.81%、5.03%、4.11%和3.05%,蜂蜜干粉之所以能使得面包比容增加是因为蜂蜜干粉中存在许多单糖,与蔗糖相比,酵母先利用单糖进行发酵,所以相同时间内发酵面团,含蜂蜜干粉越多的面包比容越大^[15]。当蜂蜜干粉添加比例大于50%时,面包比容有所下降,这是因为蜂蜜干粉添加比例过多时,会弱化面筋网络结构的形成,使得面包比容下降。这与Mixolab中蛋白质弱化度结果保持一致。当蜂蜜干粉:蔗糖比例为1:1时,面包比容最大。

表5 蜂蜜干粉对面包比容和色泽的影响

Table 5 Effect of honey powder on specific volume and color of bread

蜂蜜干粉取代比例(%)	比容 (mL/g)	色差		
		L*	a*	b*
0	6.56±0.05 ^a	82.03±0.30 ^c	3.22±0.07 ^a	15.00±0.25 ^a
25	6.81±0.07 ^{ab}	81.72±0.89 ^{bc}	3.38±0.04 ^a	15.09±0.10 ^{ab}
50	6.89±0.07 ^b	79.36±0.76 ^{abc}	3.49±0.03 ^{ab}	15.18±0.10 ^{ab}
75	6.83±0.07 ^b	77.45±0.68 ^{ab}	3.68±0.08 ^{bc}	15.76±0.14 ^{bc}
100	6.76±0.06 ^{ab}	76.92±2.30 ^a	3.83±0.04 ^c	16.38±0.17 ^c

表6 蜂蜜干粉对新鲜面包芯全质构的影响

Table 6 Effect of honey powder on texture parameters of fresh bread crumb

蜂蜜干粉取代比例(%)	硬度 (g)	粘性 (g·s)	弹性	内聚性	回复性
0	184.14±1.73 ^c	-2.19±0.08 ^a	0.963±0.002 ^a	0.802±0.003 ^a	0.397±0.006 ^a
25	170.30±3.06 ^b	-1.42±0.09 ^b	0.976±0.003 ^{ab}	0.826±0.005 ^b	0.445±0.004 ^b
50	156.95±4.96 ^a	-1.02±0.14 ^c	0.989±0.008 ^b	0.831±0.008 ^b	0.456±0.006 ^b
75	165.63±4.96 ^b	-1.31±0.19 ^b	0.984±0.007 ^b	0.828±0.005 ^b	0.454±0.004 ^b
100	169.54±0.00 ^b	-1.39±0.14 ^b	0.982±0.007 ^b	0.827±0.004 ^b	0.447±0.006 ^b

面包色泽对于烘焙产品有着重要的作用,可显著影响消费者对产品的接受度。表5数据表明,随着蜂蜜干粉比例的增加,L*值减小了0.37%、3.25%、5.58%和6.23%,而a*值增加了4.97%、8.39%、14.29%和18.94%,而b*值增加了0.6%、1.2%、5.1%和9.2%,面包芯颜色变暗。这是因为蜂蜜干粉本身的色泽会对面包色泽产生影响,同时与蔗糖相比,蜂蜜干粉中存在的多种类型的糖,使得面包容易发生褐变反应^[6]。

2.3.2 蜂蜜干粉对新鲜面包芯全质构的影响 表6反映的是对面包芯全质构的影响。面包的全质构参数包括硬度,粘性,回复性,弹性,内聚性等参数,可以用来判断面包的可接受性。其中弹性、内聚性和弹性与面包品质成正相关关系,硬度和粘性负相关于面包品质。面包芯硬度正相关于面包比容,与空白组面包相比,蜂蜜干粉使得面包的硬度减小了7.51%、14.77%、10.05%和7.93%,粘性也显著减小,而弹性,内聚性和回复性值增大,但是与当蜂蜜干粉取代比例为50%时,面包烘焙品质最佳。

2.4 蜂蜜干粉对面包老化特性的影响

2.4.1 蜂蜜干粉对贮藏期内面包芯硬度变化的影响

面包老化最显著的特点就是面包芯硬度的增加,以及面包口味和风味的下降。Ronda等^[17]通过回归分析发现淀粉重结晶和水分损失共同影响了面包芯硬

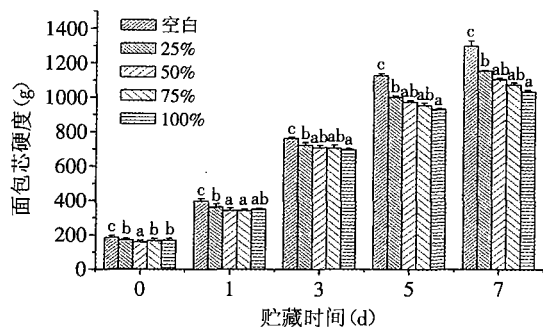


图2 蜂蜜干粉对贮藏7d的面包硬度的影响

Fig.2 Hardness changes of bread with honey powder during 7d

度的变化。由图2可知,随着贮藏期的延长,面包芯硬度增加,且随着蜂蜜干粉取代率的增加而作用越明显。当蜂蜜干粉的取代比例为100%时,贮藏7d后的面包芯硬度最小。

2.4.2 蜂蜜干粉对贮藏期内面包芯水分减少速率的影响 图3表明,随着贮藏时间的延长,水分减少速率变慢。面包储藏7d后,与空白组相比,蜂蜜干粉取代比例为25%、50%、75%和100%时,面包芯水分减少速率分别降低了2.43%、4.66%、7.43%和11.22%。Gray等^[18]发现,水分的迁移包括两个部分,即面筋网络结构向淀粉晶体结构中转移和面包芯向表皮水分迁移,这两部分共同作用导致了面包中的水分重新分布。据此可以推断,蜂蜜干粉较好的持水力影响了面包水分的散失。

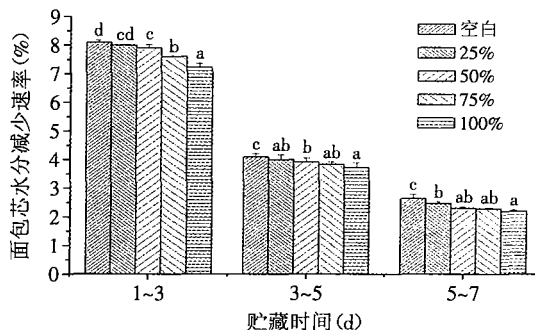


图3 蜂蜜干粉对贮藏期间面包芯水分减少速率的影响

Fig.3 Effect of honey powder on the moisture migration of bread crumb during storage

2.4.3 蜂蜜干粉对面包芯支链淀粉回生焓变的影响

淀粉是面包的主要成分,面包在贮藏过程中糊化的淀粉分子自动排列成序发生重结晶,这一过程称为淀粉回生,淀粉回生与面包老化紧密相关。直链淀粉的重结晶发生在面包冷却过程中,储藏过程中主要是支链淀粉的重结晶。DSC测定回生焓值来预测面包的老化情况。

表7 蜂蜜干粉对面包支链淀粉回生焓变的影

Table 7 Effect of honey powder on the amylopectin retrogradation enthalpy changes of bread during storage

蜂蜜干粉取代比例(%)	ΔH (J/g)			
	1d	3d	5d	7d
空白	0.573±0.002 ^c	1.783±0.013 ^c	2.013±0.056 ^c	2.411±0.032 ^c
25	0.572±0.002 ^c	1.706±0.009 ^{bc}	1.908±0.078 ^{bc}	2.292±0.021 ^{bc}
50	0.550±0.001 ^b	1.615±0.007 ^b	1.839±0.032 ^b	2.173±0.042 ^b
75	0.537±0.001 ^{ab}	1.555±0.012 ^{ab}	1.741±0.009 ^{ab}	2.003±0.056 ^{ab}
100	0.519±0.003 ^a	1.437±0.014 ^a	1.638±0.018 ^a	1.862±0.011 ^a

从表7中可以看出,随着贮藏期的延长, ΔH 增加,说明面包在贮藏过程中发生老化。1~5d淀粉重结晶速率迅速增加,5~7d淀粉重结晶速率增加缓慢,Bechtel等^[19]研究发现,贮藏2~3d的面包,其老化主要由淀粉聚合物形成引起,此时重结晶速率较快,随后主要是因面筋蛋白中的水分迁移引起,其速率较慢。含蜂蜜干粉的面包其 ΔH 值要显著小于空白组,面包储藏7d后,与空白组相比,蜂蜜干粉取代比例为25%、50%、75%和100%时,使得老化焓值分别降低了4.93%、9.87%、16.92%和22.77%,Lodi等^[20]认为面包中水分的均衡分布有利于延缓支链淀粉的回生,降低面包的老化速率。在用蜂蜜干粉取代蔗糖的面包样品中,由于果糖具有较好的吸水能力,抑制了面包中水分向外迁移扩散,因而可延缓支链淀粉回生,该结论与面包在贮藏时水分减少速率的变化是一致的。

3 结论

3.1 Mixolab实验表明,与空白组相比,蜂蜜干粉对蔗糖的取代使得面团吸水率显著增加,当蜂蜜干粉取代比例大于50%时,面团稳定时间显著降低,蛋白质弱化值C1-C2和弱化度 α 显著增加;此外随着蜂蜜干粉取代率的增加,回生值C5-C4显著减小,蜂蜜干粉的取代率为100%时,C5-C4降低了21.03%。

3.2 新鲜面包的理化参数(比容和色差)和质构数据表明,与空白组相比,蜂蜜干粉取代比例为25%、50%、75%和100%时,面包比容分别增加了3.81%、5.03%、4.11%和3.05%,而硬度分别减小了7.51%、14.77%、10.05%和7.93%。蜂蜜干粉的添加使得粘性显著减小,而弹性、内聚性和回复性增大;蜂蜜干粉的取代率为总蔗糖量的50%时,面包硬度最小,烘焙品质最佳。

3.3 面包老化实验表明,随着贮藏期的延长,面包芯硬度增加,蜂蜜干粉加入面包中,可以减小面包硬化速率;面包储藏7d后,与空白组面包相比,用蜂蜜干粉取代25%、50%、75%和100%的蔗糖,使得面包芯水分减少速率分别降低了2.43%、4.66%、7.43%和11.22%。长时间储藏使得面包的老化焓值 ΔH 增加,而含蜂蜜干粉的面包其 ΔH 值要显著小于空白组,面包储藏7d后,与空白组相比,蜂蜜干粉取代比例为25%、50%、75%和100%时,使得老化焓值分别降低了4.93%、9.87%、16.92%和22.77%,这表明蜂蜜干粉在面包中的应用可延缓淀粉的回生速率,延长面包货架期。

参考文献

[1] 李里特,江正强,卢山. 烘焙食品工艺学[M]. 北京:中国轻

工业出版社,2007:24-30.

[2] Ouchemoukh S, Louaileche H, Schweitzer P. Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Algerian honeys[J]. Food Control, 2007, 18: 52-58.

[3] Bogdanov S. Honey as a Nutritional and Functional food in Book of honey[EB/OL]. 2010. www.bee-hexagon.net

[4] Vaclavik V A, Christian E W. Baked products - Batters and Doughs In Essentials of Food Science[M]. NY, USA: Springer New York, 2003: 351-378.

[5] Subramanian R, Umeshbhar H, Rastogi N K. Processing of honey: A review[J]. International Journal of Food Properties, 2007, 10: 127-143.

[6] Glabe E, Anderson P W, Goldman P F. Dried honey and dry molasses[J]. Bakers' Digest, 1970(4): 70-72.

[7] Tong Q Y, Zhang X Y, Wu F, et al. Effects of honey powder on dough rheology and bread quality[J]. Food Research International, 2010, 41, 2284-2288.

[8] Addo K. Effects of honey type and level on the baking properties of frozen wheat flour dough[J]. Cereals Food World, 1997, 42: 36-40.

[9] 朱惠燕, 黄卫宁, 金亮秀, 等. 低聚木糖对面团热机械特性及冷冻面团发酵流变特性的影响研究[J]. 粮食工业与科技, 2009, 16(5): 20-24.

[10] Kim Y S, Huang W N, Zhu H Y, et al. Spontaneous sour-dough processing of Chinese Northern-style steamed breads and their volatile compounds[J]. Food Chemistry, 2009, 114: 685-692.

[11] 王凤, 黄卫宁, 刘若诗, 等. 采用Mixolab和Rheometer研究含外源蛋白燕麦面团的热机械学和动态流变学特性[J]. 食品科学, 2009, 30(13): 147-152.

[12] White J W, CRANE E. Composition of honey In Honey: A Comprehensive Survey[D]. London: University of California, 1976.

[13] Rodriguez G O, Ferrer B S, Ferrer A, et al. Characterization of honey produced in Venezuela[J]. Food Chemistry, 2004, 84: 499-502.

[14] 叶炯, 刘传富, 董海洲. 异麦芽低聚糖面包的研制[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(2): 112-116.

[15] 李里特, 江正强, 卢山. 烘焙食品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 135-136.

[16] 楚炎沛. 物性测试仪在食品品质评价中的应用研究[J]. 粮食与饲料工业, 2003(7): 40-42.

[17] Ronda F, Caballero P A, Quilez J, et al. Staling of frozen partly and fully baked products. Study of the combined effect of

(下转第250页)

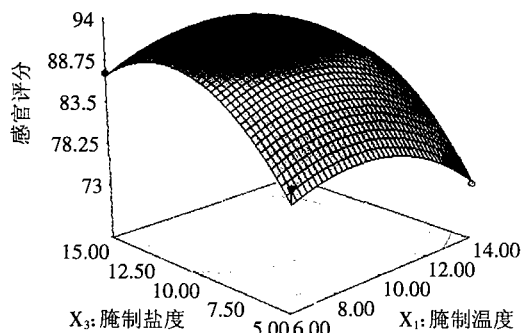


图5 $Y=F(X_1, X_3)$ 对感官评定值影响的响应曲面图

Fig.5 Response surface plot of the effects of X_1 and X_3 on the sensory evaluation value

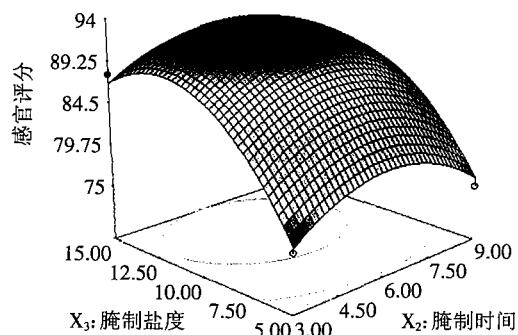


图6 $Y=F(X_2, X_3)$ 对感官评定值影响的响应曲面图

Fig.6 Response surface plot of the effects of X_2 and X_3 on the sensory evaluation value

原因在于鱼肉中氯化钠含量逐渐升高,达到一定量时咸淡适宜。随着腌制时间的增长及腌制温度的提高,鱼肉中的盐溶性蛋白含量降低,组织致密性下降。因此,只有在适宜的盐度和温度下腌制鱼肉,感官评定的结果才会较理想。同样,从图5、图6可以看出,只有盐度与时间、温度与盐度的比例适合,感官评定值才能达到最大值。

由图4~图6中响应曲面图可以看出,响应值存在最大值。通过软件分析、计算,当感官评定的最大预测值为93.49时,腌制温度为9.29℃,腌制时间6.02d,加盐量11.70%。考虑实际操作性,将工艺条件优化为腌制温度9.3℃,腌制时间6d,加盐量11.70%。为了检验模型预测的准确性,按上述优化的工艺参数进行腌制,实际测得草鱼肉中盐溶性蛋白含量2.56%、盐卤中蛋白含量0.7%、腊鱼中氯化钠含量4.07g/100g。与其他条件下腌制的产品相比,优化条件下腌制的

鱼肉中盐溶性蛋白含量较高,盐卤中蛋白质含量较少,所得腊鱼的感官评分值为93.50分,与理论预测值(93.49分)基本相符。实验结果表明,通过响应面建立数学模型,优化得到的草鱼干腌工艺参数准确可靠。在此条件下制得的腊鱼不但具有丰富的营养价值,而且改善了口感。

3 结论

腊鱼氯化钠含量及盐卤中蛋白质含量与腌制时间、温度和加盐量呈正相关。腌制时间、温度对鱼肉盐溶性蛋白含量有一定影响。通过响应面交互作用分析,优化的干腌工艺条件为腌制温度为9.3℃,腌制时间6d,加盐量11.70%。在此条件下腌制、烘干后的腊鱼制品的感官评分值为93.50分,与理论值(93.49分)基本相符。模型方程能够很好地反映真实的实验值,因此,本论文结果可为工厂大规模生产腌制腊鱼提供理论指导。

参考文献

- [1] 章银良,夏文水. 海藻糖对盐渍海鳗肌动球蛋白的影响[J]. 食品科学,2007,28(7):39-41.
- [2] Sannaveerappa, T, Ammu K, Joseph J. Protein-related changes during salting of milkfish (*Chanos chanos*) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(8): 863-869.
- [3] 谭汝成,赵思明,熊善柏. 白鲢腌制过程中鱼肉与盐卤成分的变化[J]. 华中农业大学学报,2005,24(3):300-303.
- [4] 杨文鸽,谢果凤,颜伟华,等. 响应面分析法优化海鳗的湿腌工艺[J]. 中国食品学报,2010,10(1):133-139.
- [5] 陈丽娇,郑明锋. 风味半干大黄鱼腌制工艺参数研究[J]. 中国食品学报,2005,5(3):31-35.
- [6] 章银良,夏文水. 海鳗腌渍过程中的渗透脱水规律研究[J]. 食品研究与开发,2006,27(11):93-98.
- [7] 徐清渠,龚玲娣. GB/T 12457-2008食品中氯化钠的测定[S]. 北京:中华人民共和国国家质量监督检验检疫局,2009.
- [8] 万建荣,洪玉菁,奚印慈,等. 水产品化学分析手册[M]. 上海:上海科学技术出版社,1993:198-202.
- [9] Benjakul S, Seymour T A, Morrissey M T, et al. Physicochemical changes in Pacific whiting muscle proteins during iced storage[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(4): 729-733.
- [10] 余疾风. 在食品感官质量的模糊综合评价中如何正确制定权重分配方案[J]. 食品科学,1990(1):15-16.
- [11] Barat J M, Gallart-Jorret L, Andrés A, et al. Influence of cod freshness on the salting, drying and desalting stages[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(1):9-19.
- [12] 代文亮,程龙,陶文沂. 响应面法在紫杉醇生产菌发酵前体优化中的应用[J]. 中国生物工程杂志,2007,27(11):66-72.

(上接第189页)

amylopectin recrystallization and water content on bread firmness [J]. Journal of Cereal Science, 2011, 53:97-103.

[18] Gray J A, Bemiller J N. Bread staling: Molecular basis and control[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Safety, 2003, 2(2):1-21.

[19] Bechte W G, Meisner D F. Staling studies of bread made

with flour fractions. III Effect of crumb moisture and of tailings starch[J]. Cereal Chem, 1954, 31:176.

[20] Lodi A, Abduljalil A M, Vodovotz Y. Characterization of water distribution in bread during storage using magnetic resonance imaging[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2007, 25: 1449-1458.