

高膳食纤维面团热机械学及面包的烘焙特性

王晓艳¹, 王宏兹², 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.福马咪咪(福建)食品工业有限公司, 福建 晋江 362216; 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: 研究大豆纤维粉(soybean dietary fibre, SDF)和玉米抗性淀粉(resistant starch, RS)及其混合物以 20%、30% 比例部分替代小麦粉在高膳食纤维面包中的应用, 并分析高膳食纤维对面团热机械学特性及面包烘焙特性的影响。结果表明: SDF 与 RS 的引入可提高面团持水性与吸水率(分别提高 43.3%~63.3% 和 5%~7.6%), 降低 $C_5 - C_4$ 值, 对淀粉回生产生一定的抑制作用。两者对面团稳定时间和 $C_1 - C_2$ 的影响不同, RS 会显著降低面团稳定时间(为对照组的 53.52%~66.46%), 增大 $C_1 - C_2$ 值 24.14%~27.59%, 蛋白质弱化度提高, 而 SDF 对此则具有积极作用; 通过对面包的烘焙特性分析发现, SDF 与 RS 共用时具有协同作用, 生产的面包不仅膳食纤维与蛋白质含量高, 质构与风味较单独添加 SDF 有所改善, 且提高了 RS 单独应用时的面包水分含量, 提高得率。综合面包比容、色泽、质构与营养而言, 5% SDF-15% RS 和 10% SDF-10% RS 组制作的高膳食纤维面包品质最佳, 且口感良好。

关键词: 大豆膳食纤维; 抗性淀粉; 热机械学特性; 烘焙特性

Termomechanical and Baking Characteristics of High Dietary Fiber Dough

WANG Xiao-yan¹, WANG Hong-zi², 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. Fuma MiMi(Fujian) Food Industry Co. Ltd., Jinjiang 362216, 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: This study was focused on partial replacement of wheat flour in breads with soybean dietary fibre (SDF), corn resistant starch (RS) and their mixtures at 20% and 30% levels. The effects of high fibre levels on the thermomechanical property and baking performances of dough were investigated. The addition of SDF and RS increased dough water binding capacity and water absorption by 43.3%—63.3% and 5%—7.6%, respectively, decreased $C_5 - C_4$, and inhibited the retrogradation of starch. SDF and RS had different influences on stabilization time and $C_1 - C_2$ of dough. RS decreased the stabilization time by 53.52%—66.46% compared with control and increased $C_1 - C_2$ by 24.14%—27.59%, while SDF played positive roles. Based on the baking performance analysis, it was found that SDF acted in synergy with RS, which not only increased dietary fibre and protein contents and improved the effects of SDF alone on bread texture and flavor, but also enhanced the moisture content of breads compared with RS alone and improved the bread yield. When bread specific volume, colour, texture and nutrition were all together concerned, the best quality of high-fibre breads could be obtained under conditions of 5% SDF-15% RS and 10% SDF-10% RS, with better mouthfeel.

Key words: soybean dietary fibre; resistant starch; thermomechanical property; baking performance

中图分类号: TS202.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)13-0078-06

收稿日期: 2011-04-12

基金项目: 美国农业部国际合作项目[A-(86269)]; 国家自然科学基金项目(31071595; 20576046);

国家“863”计划项目(2007AA100401)

作者简介: 王晓艳(1985—), 女, 硕士研究生, 研究方向为烘焙科学、功能配料与食品添加剂。

E-mail: wangxiaoyan_red@126.com

* 通信作者: 黄卫宁(1963—), 男, 教授, 博士, 研究方向为烘焙科学与发酵技术、谷物食品化学。

E-mail: wnhuang@jiangnan.edu.cn

膳食纤维(dietary fiber, DF), 是一类崭新的食品配料与活性成分, 由于其对人体有着重要的生理功能而被誉为“第七营养素”。其生理功效是明确而肯定的, 膳食纤维的不足或缺乏, 与现代“文明病”的发病率与发病程度有直接关系^[1]。因此, 研究开发高膳食纤维食品对人体健康非常重要。

面包已成为世界性的大众食品, 消费量大, 深受消费者欢迎, 是膳食纤维的良好载体。然而传统的膳食纤维面包色深、体积小、口感粗糙, 让消费者望而却步。因此, 研究开发新型高膳食纤维面包可迎合消费者的需求, 且是提高人们膳食纤维摄取量的良好途径。

大豆纤维粉(soybean dietary fibre, SDF), 是一种新型的多功能膳食纤维原料, 以豆渣为原料制作而成, 主要成分是膳食纤维与蛋白质, 可同时提高产品中的膳食纤维与蛋白质含量, 被认为是所有膳食纤维中功能最好的一种^[2-3]。抗性淀粉(resistant starch, RS), 粒细、色白、风味淡、口感好, 加到面团中不会改变质地和外观, 在生产高膳食纤维食品方面, RS 具有传统膳食纤维无可比拟的优势。RS 可以促进消化道健康, 作为益生元, 它可以促进有益细菌的生长, 提高丁酸的产量, 是一种优良的膳食纤维来源^[4]。SDF 与 RS 是食物中天然存在的, 因此不存在食品安全性方面的问题^[5]。

虽然将大豆纤维粉、抗性淀粉分别应用于面包中在国内外都已有研究, 但将两者同时应用研究尚未见报道。本实验拟用大豆纤维粉与抗性淀粉以不同添加比例同时应用来研究其对面团热机械学特性及面包烘焙特性的影响, 以期开发一种新型的营养价值高、质构良好的高膳食纤维面包提供基础理论信息。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

高筋粉 中粮面业鹏泰有限公司; 大豆膳食纤维粉 上海百奥特植物蛋白科技有限公司; 抗性淀粉(Hi-maize 260) 国民淀粉化学公司; 即发干酵母 广东梅山马利酵母有限公司; 白砂糖、起酥油、精盐等均为食用级。

1.2 仪器与设备

和面机、发酵柜、烤炉 新麦机械有限公司; TA-XT2i 质构仪 英国 Stable Micro System 公司; Pyris1 型差示扫描量热仪 英国 Perkin-Elmer 公司。

1.3 方法

1.3.1 原料的基本成分和理化特性分析

水分、粗蛋白、灰分及总膳食纤维含量的测定分别参照 AACC 方法 44-15A、46-12、08-01 和 32-07^[6]; 粉的粒径测定: 采用激光衍射粒度分析仪测定; 粉的色

度测定: 精密色差仪。

1.3.2 持水性的测定

准确称取 1.0g 原料粉置于 50mL 离心管中, 加入 20mL 水, 于室温下搅拌 1h 后离心, 3000r/min 离心 15min。去除分离水, 称量残留物质量, 持水性计算公式如式(1)。

$$\text{持水性}/\% = \frac{\text{残留物质量} - \text{试样干质量}}{\text{试样干质量}} \times 100 \quad (1)$$

1.3.3 原料热力学性质的测定

称取 3mg 原料粉(高筋粉与抗性淀粉质量比为 1:3, 大豆纤维粉质量比为 1:5)放入坩埚内, 按照一定的比例加入蒸馏水, 密封后置于 4℃冰箱中平衡 24h, 以空坩埚为对照, 采用差示扫描量热仪(DSC)进行分析, 升温范围为 30~180℃, 升温速率为 10℃/min。

1.3.4 高膳食纤维面团的制备

高膳食纤维面包的原料主要包括混合粉(高筋粉、大豆纤维粉和抗性淀粉以不同比例混合)、酵母(1.5%, 以混合粉 100% 计, 下同)、盐(1%)、白砂糖(10%)、起酥油(10%)和水。将干料混合, 慢速搅拌成团, 再快速搅拌至面筋网络结构形成, 室温覆膜静置松弛 10min。于 38℃、85% 相对湿度下醒发 1.5h, 将醒好的面团烘焙 20min(上火 170℃, 下火 210℃)。

1.3.5 高膳食纤维面团热机械学特性的研究

参照 Kim 等^[7]、王凤等^[8]、Huang 等^[9]的实验方法, 采用 Mixolab 酶流变仪来研究富含膳食纤维面团的搅拌特性, 分析面团加热冷却过程中蛋白质网络和淀粉的性质。根据 SDF 与 RS 的特性, 设定面团的总质量为 85g, 仪器自动按照达到最佳稠度最大扭矩为 1.1 的要求加入一定量的水。测试的初始温度为 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。每个样品重复两次操作。

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。

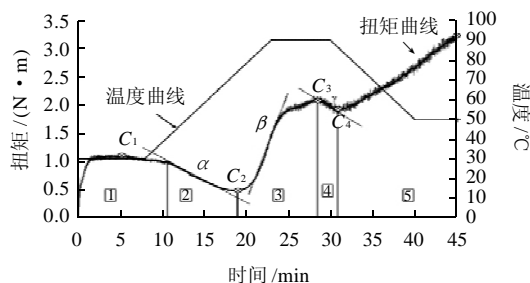


图 1 Mixolab 酶流变仪典型曲线图

Fig.1 Typical Mixolab curves

1.3.6 面包质构测定

采用 Rouille 等^[10]所采用的方法，进行一定调整。面包冷却 2h 后，用面包切片机将面包切成厚度为 20mm 薄片，置于探头下测定后取平均值。参数设定：探头型号为 P/25，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。

1.3.7 面包比容测定

采用菜籽替代法测定面包体积。面包在室温下冷却 1h 后，测定其质量与体积。

$$\text{比容}/(\text{mL/g}) = \frac{\text{体积}/\text{mL}}{\text{质量}/\text{g}} \quad (2)$$

1.3.8 数据分析处理

采用 SPSS 16.0 及 Excel 2007 进行数据统计分析。运用方差分析方法(Anova)进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 原料的基本成分和理化特性

2.1.1 原料的基本成分

表 1 原料的基本成分

Table 1 Basic components of raw materials

原料	水分含量/%	粗蛋白含量/%	粗灰分含量/%	总膳食纤维含量/%
高筋粉	13.58	13.90	0.57	2.35
抗性淀粉	12.17	0.40	0.15	60
大豆纤维粉	6.75	22.3	5.2	65.59

由表 1 可知，3 种原料的基本成分含量相差较大，变化范围分别为膳食纤维 2.35% (高筋粉)至 65.59% (SDF)，蛋白质 0.02% (RS)至 22.3% (SDF)，灰分 0.15% (RS)至 5.2% (SDF)。研究表明，大豆蛋白质所含氨基酸比值

与人体必需氨基酸需要模式较为接近，可以与谷类蛋白起“互补作用”提高膳食中蛋白质的生理价值^[11-12]，且搭配后的面制品中钙、磷、钾、钠等微量元素的含量增加^[13]。

2.1.2 原料的物化特性分析

表 2 原料的物化特性

Table 2 Physical properties of raw materials

原料	色泽			平均粒径/ μm	持水率/%
	L^*	a^*	b^*		
高筋粉	91.54	0.64	8.43	116~137	91
抗性淀粉	94.82	0.02	4.86	10~15	138
大豆纤维粉	90.31	0.56	9.72	134~159	742

由表 2 可知，抗性淀粉粒细(平均粒径 10~15 μm)、色白($L^*=94.82$)、风味淡、口感好，在生产高膳食纤维食品方面，抗性淀粉具有传统膳食纤维无可比拟的优势。Sajilata 等^[14]研究表明，在食品中添加抗性淀粉不会对产品的口感与质构产生显著影响，与很多传统的膳食纤维(如麸皮、食品胶等)相比，它还对产品的感官特性具有改良作用。

用这两种膳食纤维原料分别部分替代高筋粉时，大豆纤维粉可同时提高产品中的膳食纤维与蛋白质含量，而抗性淀粉虽会提高膳食纤维含量，但同时会显著降低蛋白质含量，从饮食的营养角度来说并不适合。因此 RS 不易添加过多，所以与大豆纤维粉共同使用，可以同时从营养和和质构两方面改善产品，具有一定的协同作用。

SDF 与 RS 的持水率均高于高筋粉，尤其是 SDF 的持水率达到 742%。在烘焙食品中，高持水特性可显著提高食品加工的经济意义，可减少水分损失延长产品的货架寿命。因此，从富含膳食纤维面包的营养与质构方面讲，将大豆纤维粉与抗性淀粉同时引入面包制作中可能会具有协同作用。

2.1.3 原料的糊化特性

表 3 原料的糊化特性

Table 3 Gelatinization properties of raw materials

原料	起始温度 $T_d/^\circ\text{C}$	峰值温度 $T_p/^\circ\text{C}$	终止温度 $T_e/^\circ\text{C}$	糊化焓值 $\Delta H/(\text{J/g})$
高筋粉	54.39 ^a	60.45 ^a	65.41 ^a	2.837 ^a
抗性淀粉	121.67 ^{ab}	133.31 ^b	145.49 ^b	2266.288 ^b
大豆纤维粉	143.16 ^b	153.47 ^b	167.19 ^b	10230.795 ^c

注：同列字母不同表示差异显著($P \leq 0.05$)。下同。

由表 3 可知，SDF 与 RS 的糊化温度分别为 153.47 $^\circ\text{C}$ 与 133.31 $^\circ\text{C}$ ，焓变值为 10230.795J/g 与 2266.288J/g，都显著高于普通小麦粉，说明这两种纤维粉内分子间和分子内部的相互作用力明显大于小麦淀粉分子。低于 T_e 。

表4 高膳食纤维对面团蛋白组分热机械学特性的影响

Table 4 Effects of high dietary fiber on thermomechanical properties of dough protein determined by Mixolab

样品		面团稳定时间/min	吸水率/%	$C_1 - C_2/(N \cdot m)$	C_1 宽度/($N \cdot m$)	α
组别	添加比例/%					
对照组	100+0	13.06 ± 0.177 ^{de}	62.2	0.58 ± 0.007 ^d	0.08 ± 0.014 ^a	-0.056 ± 0.017 ^a
W+RS	80+20	8.68 ± 0.714 ^b	67.2	0.72 ± 0.049 ^c	0.105 ± 0.021 ^a	-0.057 ± 0.007 ^a
	70+30	6.99 ± 0.375 ^a	69.8	0.74 ± 0.007 ^c	0.11 ± 0.014 ^a	-0.035 ± 0.007 ^{ab}
W+SDF	80+20	13.60 ± 0.318 ^{ef}	105.5	0.31 ± 0.007 ^{ab}	0.08 ± 0.000 ^a	-0.040 ± 0.000 ^{ab}
	70+30	15.05 ± 0.665 ^f	125.5	0.25 ± 0.014 ^a	0.53 ± 0.636 ^a	-0.031 ± 0.001 ^{ab}
W+SDF+RS(20%TDF)	80+5+15	9.02 ± 0.849 ^b	78.8	0.55 ± 0.000 ^d	0.095 ± 0.007 ^a	-0.023 ± 0.018 ^b
	80+10+10	11.31 ± 0.834 ^{cd}	88.3	0.41 ± 0.028 ^c	0.075 ± 0.007 ^a	-0.030 ± 0.006 ^{ab}
	80+15+5	11.68 ± 0.177 ^d	97.8	0.37 ± 0.007 ^{bc}	0.08 ± 0.000 ^a	-0.038 ± 0.003 ^{ab}
W+SDF+RS(30%TDF)	70+7.5+22.5	9.78 ± 0.346 ^{bc}	84.4	0.52 ± 0.007 ^d	0.075 ± 0.035 ^a	-0.030 ± 0.003 ^{ab}
	70+15+15	11.55 ± 0.354 ^d	99.9	0.41 ± 0.028 ^c	0.095 ± 0.007 ^a	-0.030 ± 0.014 ^{ab}
	70+22.5+7.5	13.63 ± 0.212 ^{ef}	113.3	0.33 ± 0.000 ^b	0.095 ± 0.007 ^a	-0.016 ± 0.003 ^b

注: W.小麦粉(wheat); RS.抗性淀粉(resistant starch); SDF.大豆膳食纤维粉; TDF.总膳食纤维。下同。

表5 高膳食纤维对面团淀粉组分热机械学特性的影响

Table 5 Effects of high dietary fiber on thermomechanical properties of dough starch determined by Mixolab

样品		β	γ	C_4/C_3	$C_5 - C_4/(N \cdot m)$
组别	添加比例/%				
对照组	100+0	0.399 ± 0.030 ^c	-0.037 ± 0.001 ^b	0.885 ± 0.007 ^f	0.50 ± 0.000 ⁱ
W+RS	80+20	0.331 ± 0.010 ^{cde}	-0.058 ± 0.014 ^{ab}	0.695 ± 0.007 ^c	0.28 ± 0.007 ^g
	70+30	0.339 ± 0.010 ^{cde}	-0.055 ± 0.016 ^{ab}	0.620 ± 0.000 ^d	0.22 ± 0.021 ^{ef}
W+SDF	80+20	0.283 ± 0.058 ^{bc}	-0.07 ± 0.011 ^{ab}	0.465 ± 0.007 ^b	0.14 ± 0.021 ^{bc}
	70+30	0.169 ± 0.001 ^a	-0.041 ± 0.007 ^{ab}	0.375 ± 0.021 ^a	0.09 ± 0.000 ^a
W+SDF+RS(20%TDF)	80+5+15	0.371 ± 0.016 ^{de}	-0.074 ± 0.003 ^a	0.610 ± 0.000 ^d	0.34 ± 0.007 ^h
	80+10+10	0.389 ± 0.001 ^{de}	-0.052 ± 0.006 ^{ab}	0.550 ± 0.000 ^c	0.24 ± 0.014 ^{fg}
	80+15+5	0.311 ± 0.004 ^{cd}	-0.056 ± 0.006 ^{ab}	0.480 ± 0.000 ^b	0.16 ± 0.014 ^{cd}
W+SDF+RS(30%TDF)	70+7.5+22.5	0.353 ± 0.016 ^{cde}	-0.068 ± 0.006 ^{ab}	0.460 ± 0.014 ^b	0.19 ± 0.014 ^{de}
	70+15+15	0.287 ± 0.018 ^{bc}	-0.058 ± 0.008 ^{ab}	0.395 ± 0.007 ^a	0.13 ± 0.007 ^{abc}
	70+22.5+7.5	0.214 ± 0.017 ^{ab}	-0.055 ± 0.004 ^{ab}	0.365 ± 0.007 ^a	0.10 ± 0.007 ^{ab}

时, SDF 与 RS 样品几乎不糊化, 具有与小麦粉不同的蒸煮和加工特性, 反映出这两种膳食纤维原料具有良好的食品处理耐受性。因此, SDF 与 RS 都具有很高的热稳定性, 可以作为良好的食品添加剂应用于烘焙食品之中, 这与 Fu 等^[15]的研究结果一致。

2.2 高膳食纤维对面团热机械学特性的影响

由表4可知, SDF 与 RS 的添入分别将面团的吸水率提高了43.3%~63.3%和5%~7.6%, 其中SDF最为显著, 这可能与SDF中膳食纤维与蛋白质含量较高有关。吸水率的提高, 增加了面包的保水性, 利于产品凝固和保鲜, 同时降低产品成本^[16]。但两者对面团的稳定时间和蛋白质弱化影响不同。与空白面团相比, SDF 的添加会延长面团的稳定时间(增加4.13%~15.24%), 降低 $C_1 - C_2$ 值(为对照组的43.10%~53.45%), 蛋白质弱化度降低, 分析原因可能是用SDF部分代替小麦粉后, 面团中的蛋白质含量提高, 蛋白质弱化度降低; 而用RS部分替代小麦粉, 由于其蛋白质含量极低(仅为0.4%),

面团中的蛋白质含量降低, 无法形成连续的面筋网络, 从而导致改良面团稳定时间降低(为对照组的53.52%~66.46%), $C_1 - C_2$ 值增大24.14%~27.59%, 蛋白质弱化度提高。胡国华等^[17]研究表明, RS加入后可在一定程度上改良面粉的加工性能, 但随着RS的添加, 面团的吸水率逐渐增高, 弱化度增加, 形成时间和稳定时间及评价价值略有降低。因而SDF与RS同时引入时可改善RS单独添加而存在的稳定时间下降、蛋白质弱化度提高的问题。

淀粉的诸多特性中, 糊化特性与回生特性对面包质构与品质影响最大^[18]。糊化特性会对烘焙过程中产生的多孔面包心的稳定性产生影响, 而回生特性则与面包的老化有关^[19]。在Mixolab中, β 值越大表明淀粉糊化速度越高, 由表5可知SDF与RS的添加都降低了糊化速度, 这可能与SDF和RS的糊化温度高、糊化焓值大有关; 由于SDF与RS中的纤维对面筋网络具有破坏作用, 普通高筋粉面团的蒸煮稳定性(C_4/C_3)高于纤维面

表6 高膳食纤维对面包色泽与质构的影响
Table 6 Effects of high dietary fiber on colour and texture parameters of breads

样品		比容/ (mL/g)	烘焙损 失/%	色泽			质构				
组别	添加比例/%			L^*	a^*	b^*	硬度/g	内聚性	胶着性/g	咀嚼性/g	回复性
对照组	100+0	5.46 ^e	11.70 ^e	81.43 ^c	0.10 ^a	15.20 ^a	332.04 ^a	0.720 ^f	238.931 ^a	218.801 ^a	0.333 ^e
	80+20	4.82 ^f	10.75 ^f	84.21 ^f	0.20 ^a	14.49 ^a	342.84 ^a	0.713 ^f	236.620 ^a	224.391 ^a	0.303 ^d
W+RS	70+30	4.78 ^f	9.63 ^{cde}	85.92 ^{bc}	0.43 ^c	14.52 ^c	353.69 ^a	0.708 ^f	244.374 ^{ab}	244.023 ^a	0.302 ^d
	80+20	1.78 ^b	8.89 ^{bc}	75.41 ^c	1.90 ^{ab}	20.39 ^b	2407.30 ^d	0.508 ^c	1223.293 ^d	1042.484 ^d	0.174 ^b
W+SDF	70+30	1.23 ^a	7.66 ^a	73.09 ^d	2.26 ^b	21.52 ^c	4303.82 ^f	0.416 ^a	1786.686 ^f	1559.491 ^c	0.108 ^a
	80+5+15	4.38 ^c	10.57 ^{def}	80.55 ^c	0.40 ^c	17.2 ^d	506.87 ^a	0.715 ^f	362.293 ^{ab}	337.251 ^{ab}	0.322 ^{de}
W+SDF+RS(20%TDF)	80+10+10	3.52 ^d	10.36 ^{def}	78.19 ^a	0.66 ^f	18.27 ^f	584.12 ^a	0.699 ^{ef}	408.306 ^{ab}	372.073 ^{ab}	0.312 ^d
	80+15+5	2.33 ^c	9.40 ^{cd}	76.46 ^g	1.18 ^{ab}	19.46 ^a	1027.06 ^b	0.625 ^d	641.437 ^c	568.367 ^{bc}	0.255 ^c
W+SDF+RS(30%TDF)	70+7.5+22.5	3.42 ^d	10.59 ^{ef}	81.64 ^c	0.53 ^b	17.97 ^{bc}	680.93 ^a	0.658 ^{de}	447.554 ^b	410.832 ^{ab}	0.269 ^c
	70+15+15	2.38 ^b	8.27 ^{ab}	77.98 ^d	1.53 ^d	19.33 ^d	1647.58 ^c	0.488 ^{bc}	803.292 ^c	715.183 ^c	0.159 ^b
	70+22.5+7.5	1.69 ^b	8.17 ^{ab}	74.67 ^b	1.89 ^c	20.85 ^c	3350.91 ^c	0.452 ^{ab}	1513.413 ^c	1317.909 ^c	0.125 ^a

团; $C_5 - C_4$ 体现了淀粉的老化回生性质, 与对照组相比, SDF 与 RS 的添加均可降低 $C_5 - C_4$ 值(分别为对照组的 18%~28% 与 44%~56%), 表明 SDF 与 RS 均可对淀粉回生产生一定的抑制作用。这与 Torbica 等^[20]的研究一致, 其研究发现, 在无面筋面包中随着荞麦粉特别是未去皮的荞麦粉添加量的增加, $C_5 - C_4$ 值呈下降趋势。

2.3 高膳食纤维对面包烘焙特性的影响

比容和硬度是衡量面包品质的主要指标, 由表 6 可知, 新鲜对照组面包的比容大于所有富含膳食纤维的面包, 且硬度小于后者, 这符合 Maleki 等^[21]得出的结论, 即比容较大的面包质地更松软。这种弱化作用可能是纤维破坏了面团网络结构, 致使面包比容减小、硬度有所增加, 但是 SDF 与 RS 可明显改善面包蜂窝状组织和口感。

由于两种纤维粉的吸水率和持水率均高于普通高筋粉, 与对照组面包相比, SDF 与 RS 的添加分别使面包烘焙损失显著降低 24.0%~34.5% 和 8.11%~17.7%, 这对提高面包加工的经济效益是非常有利的。色泽, 尤其是亮度(L^*)在焙烤食品中具有重要作用, 显著影响消费者的可接受性^[22]。与对照组相比, 抗性淀粉色白, 添加到高筋粉中可提高 L^* 值, 面包芯亮度增加 3.41%~5.51%; 而大豆纤维粉的添加则使面包芯 L^* 值下降 7.39%~10.24%, b^* 值提高 34.1%~41.6%, 说明大豆纤维粉的添加会对面包芯色泽产生不良影响。因此 SDF 与 RS 以不同比例同时添加时, 在一定程度上可以改善单独应用 SDF 对产品色泽的不良影响, 如 7.5% SDF-22.5%RS 组(81.64)的 L^* 值与空白组(81.43)相近。

质构参数主要包括硬度、内聚性、胶着性和咀嚼性等。内聚性、回复性与面包品质正相关, 即数值越大, 面包吃起来柔软又筋道、爽口不黏牙; 而胶着性、

咀嚼性与面包品质负相关, 数值越大, 面包吃起来就越硬, 缺乏弹性、绵软的感觉^[23]。RS 对面包的质构特性影响不大, 与对照组面包相近。而与对照组面包相比, 添加 SDF 则会显著提高面包的胶着性与咀嚼性(分别提高了 411.99%~647.79% 和 376.45%~612.74%), 降低内聚性和回复性(分别为对照组的 57.78%~70.55% 和 32.43%~52.25%), 说明大量添加 SDF 会使面包硬度增加、缺乏弹性、黏牙, 对面包质构影响较大。

通过不同配方的膳食纤维面包的比容、烘焙损失、色泽和质构的比较可以发现, SDF 与 RS 共用时具有协同作用。综合面包比容、色泽、质构与营养而言, 5%SDF-15%RS 和 10%SDF-10%RS 组制作的高膳食纤维面包品质最佳, 口感良好。

3 结 论

3.1 SDF 与 RS 的引入可提高面团持水性与吸水率(分别提高 43.3%~63.3% 和 5%~7.6%), 降低 $C_5 - C_4$ 值, 对淀粉回生产生一定的抑制作用。两者对面团稳定时间和 $C_1 - C_2$ 的影响不同, RS 会显著降低面团稳定时间(为对照组的 53.52%~66.46%), 增大 $C_1 - C_2$ 值 24.14%~27.59%, 蛋白质弱化度提高, 而 SDF 对此则具有积极作用。

3.2 通过对面包的比容、烘焙损失、色泽和质构分析发现, SDF 与 RS 共用时具有协同作用, 制作的面包不仅膳食纤维与蛋白质含量高, 质构与风味较单独添加 SDF 有所改善, 且提高了 RS 单独应用时的面包水分含量, 提高得率。

3.3 综合面包比容、色泽、质构与营养而言, 5% SDF-5% RS 和 10% SDF-10% RS 组制作的高膳食纤维面包品质最佳, 口感良好。

参考文献:

- [1] 郑建仙. 功能性膳食纤维[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] DHINGRA S, JOOD S. Organoleptic and nutritional evaluation of wheat breads supplemented with soybean and barley flour[J]. Food Chem, 2002, 77: 479-488.
- [3] FRIEDMAN M, BRANDON D. Nutritional and health benefits of soy proteins[J]. Agric Food Chem, 2001, 49: 1069-1086.
- [4] PERERA A, MEDA V, TYLER R T. Resistant starch: a review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods[J]. Food Research International, 2010, 43:1959-1974.
- [5] 石励. 抗性淀粉: 一种潜在的功能食物成分[J]. 预防医学论坛, 2005, 11(1): 70-72.
- [6] American Association of Cereal Chemist. Approved methods of the AACC[M]. 10th ed. Saint Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 2000.
- [7] KIM Y S, HUANG Weining, ZHU Huiyan, et al. Spontaneous sour-dough processing of Chinese Northern-style steamed breads and their volatile compounds[J]. Food Chemistry, 2009, 114: 685-692.
- [8] 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.
- [9] HUANG Weining, KIM Y S, LI Xianyu, et al. Rheofermentometer parameters and bread specific volume of frozen sweet dough influenced by ingredients and dough mixing temperature[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48(2): 639-646.
- [10] ROUILLE J, DELLA V G, LEFEBVRE J, et al. Shear and extensional properties of bread doughs affected by their minor components[J]. Journal of Cereal Science, 2005, 42(1): 45-57.
- [11] 房翠兰. 豆豉加工过程中蛋白质和膳食纤维生物学变化的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [12] D'APPOLONI B L. Rheological and baking studies of legume-wheat flour blends[J]. Cereal Chem, 1977, 54: 53-63.
- [13] 马栋, 李逸鹤, 郑学玲. 大豆粉对面粉及面制品品质影响[J]. 粮食加工, 2008, 33(1): 75-77.
- [14] SAJILATA M G, SINGHAL R S, KULKAMI P R. Resistant starch: a review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2006, 5(1): 1-17.
- [15] FU Lei, TIAN Jichun, SUN Cailing, et al. RVA and farinograph properties study on blends of resistant starch and wheat flour[J]. Agricultural Sciences in China, 2008, 7(7): 812-822.
- [16] 李晓东. 功能性大豆食品[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [17] 胡国华, 翟瑞文, 黄绍华. 米糠膳食纤维对面团粉质和烘焙特性影响的研究[J]. 中国食品添加剂, 2002(3): 27-30.
- [18] MIYAZAKI M, MAEDA T, MORITA N, et al. Recent advances in application of modified starches for breadmaking[J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17: 591-599.
- [19] GOESAERT H, BRIJS K, VERAVERBEKE W S, et al. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality[J]. Trends in Food Science & Technology, 2005, 16: 12-30.
- [20] TORBICA A. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24: 626-632.
- [21] MALEKI M, HOSENEY R C, MATTEM P J, et al. Effects of loaf volume, moisture content and protein quality on the softness and staling rate of bread[J]. Cereal Chem, 1980, 57: 138-140.
- [22] ANGIOLONI A, COLLAR C. Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44: 747-758.
- [23] 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.