

外源蛋白改良剂对米面团热力学性能及面包品质的影响

孙司卉, 杨 杨, 任丽琨, 徐 悦, 边 鑫, 张 娜*

(哈尔滨商业大学食品工程学院 哈尔滨 150028)

摘要 以小麦面包为对照,探究大豆分离蛋白、豌豆分离蛋白、玉米醇溶蛋白、乳清浓缩蛋白和蛋清蛋白 5 种外源植物和动物蛋白质对米面团及面包的混合特性、糊化特性、流变学特性、比容和感官分析的影响。结果表明,加入外源蛋白可以降低米面团的回生值到最小为 211 cP,使面包的比容增加至 1.810 mL/g,硬度下降约 55.3%,胶着性降低至 2 710.12 g。其中植物蛋白中添加量为 12%的大豆蛋白组面包气孔数量最多,质地细腻且颜色均匀,持水性及感官品质最好。动物蛋白中 9%的乳清浓缩蛋白组面包硬度显著下降,约 2 032.9 g($P<0.05$),此时面团硬度最接近于小麦面团,弹性为 0.82%,口感较软,对米面包质构特性改善效果最佳。结论:在植物蛋白中大豆蛋白添加量为 12%、动物蛋白中乳清浓缩蛋白添加量为 9%的条件下可以改善米面包品质。

关键词 无麸质; 米面包; 外源蛋白; 品质改良; 乳糜泻

文章编号 1009-7848(2024)03-0149-13 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2024.03.015

麸质过敏症是一类由麸质蛋白敏感触发免疫系统而刺激小肠损伤的一种自身免疫性疾病^[1],包括乳糜泻(CD)、小麦敏感症、非乳糜泻麸质敏感性疾病等,主要伴随着腹痛、腹泻、骨质疏松等多种疾病,如不及时治疗还会导致肠癌、贫血等并发症^[2]。据欧洲一些国家统计,这类腹腔疾病的发病率大约占欧洲人口的 1%^[3],同时,根据印度等国家的调查显示,CD 不仅在儿童中发病,在成人中也被认为是较常见的疾病^[4]。在中国,大约 2%的青少年的乳糜泻血清检测结果呈阳性。而部分地区以小麦为主食的人群,其乳糜泻自身免疫的患病率更高为 0.76%^[5]。如何治疗麸质过敏症等腹腔疾病是亟待解决的问题。目前为止,麸质不耐受人群最安全有效的治疗方法即为无麸质饮食^[6]。

麸质,又称谷蛋白或面筋蛋白,是由存在于小麦、大麦和黑麦中的醇溶蛋白和麦谷蛋白所组成,具有独特的黏弹性、吸水性等优点,可以赋予面制品较好的网络结构和品质^[7]。然而对于无麸质饮食的人群来讲,只能食用无麸质食品,常用的无麸

质原料主要包括:大米粉^[8]、荞麦粉^[9]、木薯淀粉^[10]、玉米淀粉、燕麦粉^[11]等。其中大米粉因低过敏性、高消化率、色泽洁白、味道清淡等特点,而被认为是最适生产无麸质产品的谷物粉之一^[12],目前已广泛应用于制备米面包等食品中,然而米粉中不含麸质,使形成的米面团缺少维持网状结构的蛋白质,其黏弹性、拉伸性及保气性等均变差,从而导致制作的米面包体积较小,营养价值也随之降低^[13]。

近年来,为获得高品质的无麸质面包,众多学者进行了广泛研究。Zhao 等^[14]发现添加亲水胶体对无麸质米面包品质有显著改善作用,其中随着羟丙基甲基纤维素和海藻酸丙二醇酯的共同添加,无麸质米面包的比容增至 350%。Jagelaviciute 等^[15]认为通过由种子粉制成的非传统发酵面团会增加无麸质米面包的水分含量,且孔隙率也增加了 13%,总体感官及结构特性更好。除此之外,原料发芽^[16]、酶改善^[17]等方法也被认为是可以提高无麸质米面包比容及柔软度等。以上方法虽对无麸质面包品质有显著改善,但由于缺乏醇溶蛋白和麦谷蛋白,使面包营养价值降低的问题未得到明显改善。也有研究表明,添加外源蛋白可以改善无麸质米面包的品质。如大豆蛋白可以增加面团中二硫键,使分子间发生巯基/二硫键交换和巯基氧化反应,构建模拟面筋蛋白的结构^[18]。同时,面团中非必需氨基酸(如赖氨酸)的含量也在提升,这

收稿日期: 2023-03-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFD2100803); 国家自然科学基金面上项目(32072258); 中央财政支持地方高校发展专项资金优秀青年人才支持计划项目

第一作者: 孙司卉,女,硕士生

通信作者: 张娜 E-mail: foodzhangna@163.com

种氨基酸的加入赋予无麸质面包更高的营养价值。除此之外,还有许多不同来源蛋白已应用于改善无麸质面包的品质。如鸡蛋类^[19]、乳制品类^[20],其它蛋白等。由于蛋白的来源不同,其氨基酸的组成及所具有的性质也不同,因此对无麸质米面包品质改良的程度也不同。目前添加蛋白改善无麸质米面包品质的单一研究较多,而多种外源蛋白相比较的研究较少。

本试验以米粉为无麸质原料生产米面包,探讨5种外源蛋白(大豆分离蛋白、豌豆分离蛋白、玉米醇溶蛋白、乳清浓缩蛋白和蛋清蛋白)对米面团及米面包的热机械性能、糊化特性、流变特性、质构特征及感官品质等的影响,确定最适蛋白的种类及添加量。研究结果可为改善无麸质产品感官品质提供试验参考。

1 材料与方法

1.1 材料、仪器与设备

碎米,黑龙江省五常金禾米业有限责任公司;高筋小麦粉,扶风斯洛特生物科技有限公司;干酵母,安琪酵母股份有限公司;脱脂奶粉,黑龙江省完达山乳业有限公司;无盐黄油,北京艾莉恒美商贸有限公司;白砂糖、食盐及鸡蛋,市售;大豆分离蛋白,哈高科大豆食品有限责任公司;玉米醇溶蛋白,上海兴隆圣物科技有限公司;豌豆分离蛋白,江苏鑫瑞生物科技有限公司;蛋清蛋白,安徽亳州市众意蛋业有限公司;乳清浓缩蛋白,深圳乐芙生物科技有限公司;上述均为食品级。

JE1002 电子天平,上海浦春计量仪器有限公司;TechMaster 快速黏度仪(RVA),瑞典 pertenin strum ents Ltd;Brookfired CT3 质构仪,美国 Brookfired 公司;NH300 色差仪,深圳市三恩驰科技有限公司;HR-1 流变仪,美国 TA 公司。HMJ-A20E1 和面机,小熊电器有限公司;VF-12 湿温自控醒发箱,沈阳市华恒伟业食品机械厂;YLBD-3A 电烤箱,上海多力食品机械制造有限公司;Mixolab 混合实验仪,法国肖邦技术公司;RS-FS1406 多功能粉碎机,合肥荣事达小家电有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 无麸质米面包基本配方 米粉 200.00 g,脱脂奶粉 6%,酵母 1.2%,鸡蛋 8%,食用盐 0.8%,绵

白糖 18%,水(吸水率的 85%),大豆蛋白、豌豆蛋白、玉米蛋白、乳清蛋白、蛋清蛋白的添加量分别为米粉总质量的 0%,3%,6%,9%,12%。

1.2.2 无麸质米面包制作流程 配料→面团调配制作→面团分割→装模成型→发酵→烘烤→冷却→存放→检测指标,评价品质。

1.2.3 无麸质米面包工艺操作要点 干料(米粉,脱脂奶粉,酵母,蛋白质)混合均匀,湿料(鸡蛋,食盐,白糖,三分之一的水)混合均匀,将干、湿料混合均匀,揉成面团,20 min 后加入黄油,待融入后加食盐持续揉面团约 20 min,面团分割 80 g 左右装模成型,38 °C 发酵 1 h,烤箱上火 185 °C,下火 160 °C 烤 20 min,冷却 2 h 后检测指标及评价品质。

1.2.4 热机械学特性测定 参照王凤等^[21]的方法,采用 Mixolab 混合实验仪研究添加不同来源蛋白后无麸质米面团的热机械学特性,并分析加热冷却过程中蛋白质网络结构及淀粉性质的变化,复配原料及水分含量以最佳稠度时扭矩为 (1.1 ± 0.07) Nm 而确定。试验条件如下:初始温度 30 °C,恒温时间 8 min;以 4 °C/min 的速度升温到 90 °C,保温 7 min;再以 4 °C/min 的速度降温到 50 °C,保温 5 min;搅拌速度保持在 80 r/min。

1.2.5 流变特性测定 通过频率扫描与温度扫描研究不同来源蛋白对米面团流变学特性的影响,样品取 1.2.4 节中扭矩为 1.1 Nm 时 Mixolab 制备的面团,室温静置 30 min,平板直径 25 mm,夹缝距离 1 mm。使面团置于两块平板之间并静置 5 min 为去除面团中残余压力,多于平板外的部分刮掉,用涂有矿物油的盖子盖好,以防面团中水分的损失。频率扫描参数:0.5%应变,0.1~40 Hz 频率。温度扫描参数:0.5%应变,1 Hz 频率,温度 25~85 °C;加热速度 5 °C/min。

1.2.6 RVA 特性测定 准确称量不同外源蛋白与米粉的混合粉 3.0 g(水分基准 12%),加 25.0 mL 蒸馏水,于 RVA 铝盒中混合并使用快速黏度仪进行检测。试验条件如下:50 °C 下保持 1 min,以 12 °C/min 升温至 95 °C 并保持 2.5 min,再以 12 °C/min 降温至 50 °C 并保持 1 min,测定过程中搅拌器以 960 r/min 混匀样品并保持 10 s,其余时间转速保持在 160 r/min,测定样品峰值黏度、最低黏度、崩解值、最终黏度和回生值。

1.2.7 比容、面包损失、色泽测定

1.2.7.1 采用菜籽取代法测量面包质量体积 具体操作如下:将米面包冷却 2 h 后进行称重 $M(g)$ 后放入量筒内,再将菜籽放入量筒直至装满,读出面包和菜籽的总体积为 $V_1(\text{cm}^3)$,后再读菜籽体积为 $V_2(\text{cm}^3)$,并通过计算公式(1)得到比容。

$$\text{比容}(\text{cm}^3)=\frac{V_1-V_2}{M} \quad (1)$$

式中: V_1 ——面包与菜籽的总体积, cm^3 ;
 V_2 ——菜籽体积, cm^3 ; M ——无麸质面包质量, g 。

1.2.7.2 面包损失计算 面包损失 (%)=(面团质量-面包质量)/面团质量 $\times 100$ (2)

1.2.7.3 色泽参照 Zhong 等^[22]的方法稍作修改。将面包在 25℃下冷却 2 h 后,在面包表面和中心切

下 5 cm^2 左右的面包片,切片均匀无裂纹。并用色度计测量外壳和内部(碎屑)的 L^* (光度)、 a^* (红色)和 b^* (黄色)值。

1.2.8 质构特性检测 采用 Brookfired CT3 型号的质构仪测定米面包的质构特性,选用 P/36R 探针。取面包中心部分 2 $\text{cm}\times 2\text{cm}\times 2\text{cm}$ 的小方块进行测试,厚度为 20.00 mm 左右。具体参数:测前探头运行速度 1 mm/s,测试中为 2 mm/s,返回速度为 1 mm/s,两次压缩过程中间停止 5 s 再继续,压缩比为 75%。

1.2.9 感官评价 按照测试系统,生产 18 组产品,随机调查 10 名消费者对产品进行感官评价,以取得结果。标准见表 1。

表 1 感官评价标准表

Table 1 Sensory evaluation standard table

项目	外观(20分)	结构(20分)	口感(45分)	香味(15分)
好	15~20分 外观饱满,色泽均匀,无裂纹、烧焦	15~20分 结构酥脆,断面结构精细	35~45分 清脆可口,无硬软味,甜度适中	12~15分 醇香
一般	6~14分 外观有轻微裂纹或燃烧	6~14分 质地较酥脆断面结构较粗糙	11~34分 较可口,口感略微硬或软,甜度较甜或淡	4~11分 香味稍淡或浓
差	<6分 外观松散、颜色不规则、开裂或明显烧焦	<6分 质感过硬或过软,断面粗糙	<11分 有明显粗糙感,甜度不当	<4分 无香味或有异味

1.2.10 面包剖面分析 将面包切成 2 cm 厚的薄片,观察切面气孔形成情况。

1.3 数据处理及分析

采用 Origin2018 进行绘图,采用 SPSS17.0 统计软件进行分析,以 $P<0.05$ 为显著性标准。

2 结果与分析

2.1 不同来源蛋白对面团热机械学特性的影响

以小麦为对照组,米粉为空白组,通过实时测量两个搅拌臂之间面团的扭矩,研究在加热冷却过程中面团内蛋白质网络结构及淀粉性质的变化。吸水率即是使面团产生扭矩为 1.1 Nm 时所需要的加水量,C1 与 C2 代表蛋白组分的热机械学特性,C3、C4、C5 代表淀粉组分的热机械学特性;C1-C2 数值低,代表面团蛋白质弱化程度强;C3-

C4 数值低,代表面团热稳定性强;C5-C4 数值低,代表面团回生性小。

由表 2 和表 3 可知不同来源蛋白对米面团的热机械学特性影响。研究发现不同来源蛋白的添加对无麸质米面团的吸水率有较大影响,其中植物蛋白吸水率随添加量的增加而增加,而动物蛋白则反之。这种差异可归因于外源蛋白来源及特性的不同,大豆蛋白等具有较多极性基团,结构更加疏松以致吸收更多水分,使得面团吸水率增加^[23]。而吸水率降低是由于如蛋清蛋白与水结合后会导致水分被固定,使米粉中淀粉和蛋白质不能吸收更多的水分,这与罗云等^[24]研究结果类似。吸水率的增加可以提高面制品的保水性并利于产品保鲜。

此外,添加外源蛋白后的 C1-C2 值普遍低于

表2 植物蛋白对热机械学特性的影响

Table 2 Effects of plant proteins on thermomechanical properties

蛋白添加量/%	最佳 吸水率/%	C1/ Nm	C2/ Nm	C3/ Nm	C4/ Nm	C5/ Nm	C3-C2/ Nm	C3-C4/ Nm	C5-C4/ Nm
对照	60.6	1.132	0.501	1.822	1.755	2.703	1.711	0.067	0.948
0%大豆蛋白	71.8	1.200	0.266	2.904	1.323	1.978	2.638	1.581	0.653
3%大豆蛋白	75.2	1.159	0.210	1.738	1.061	1.672	1.528	0.677	0.611
6%大豆蛋白	82.5	1.053	2.232	1.635	1.065	1.653	1.357	0.579	0.003
9%大豆蛋白	84.7	1.127	0.281	1.640	1.055	1.559	1.359	0.585	0.504
12%大豆蛋白	90.3	1.030	0.273	1.384	0.915	1.340	1.111	0.469	0.425
3%豌豆蛋白	75.5	1.029	0.141	1.705	1.001	1.523	1.564	0.704	0.522
6%豌豆蛋白	78.0	0.950	0.110	1.598	0.933	1.423	1.488	0.665	0.49
9%豌豆蛋白	80.0	0.985	0.091	1.549	0.887	1.353	1.548	0.662	0.446
12%豌豆蛋白	81.5	1.137	0.109	1.504	0.819	1.224	1.395	0.685	0.405
3%玉米蛋白	74.0	1.082	0.137	1.894	1.195	1.908	1.757	0.699	0.713
6%玉米蛋白	78.0	1.069	0.168	1.794	1.226	1.897	1.626	0.568	0.671
9%玉米蛋白	82.0	1.032	0.315	1.720	1.210	1.766	1.405	0.51	0.556
12%玉米蛋白	87.5	1.048	0.375	1.663	1.182	1.722	1.288	0.481	0.54

表3 动物蛋白对热机械学特性的影响

Table 3 Effect of animal protein on thermomechanical properties

蛋白添加量/%	最佳 吸水率/%	C1/ Nm	C2/ Nm	C3/ Nm	C4/ Nm	C5/ Nm	C3-C2/ Nm	C3-C4/ Nm	C5-C4/ Nm
对照	60.6	1.132	0.501	1.822	1.755	2.703	1.711	0.067	0.948
0%	71.8	1.200	0.266	2.904	1.323	1.978	2.638	1.581	0.653
3%乳清蛋白	66.5	1.145	0.194	2.309	1.370	1.996	1.176	0.939	0.626
6%乳清蛋白	62.0	1.223	0.214	2.585	1.536	2.243	2.371	1.049	0.707
9%乳清蛋白	58.5	1.189	0.234	2.917	1.762	2.606	2.683	1.155	0.844
12%乳清蛋白	55.5	1.104	0.222	3.356	1.959	2.935	3.134	1.397	0.976
3%蛋清蛋白	67.0	1.091	0.228	2.219	1.299	1.870	1.931	0.92	0.571
6%蛋清蛋白	62.5	1.149	0.241	2.184	1.374	1.933	1.934	0.81	0.599
9%蛋清蛋白	58.5	1.121	0.244	2.265	1.522	2.081	2.021	0.743	0.559
12%蛋清蛋白	54.5	1.064	0.247	2.237	1.690	2.307	1.99	0.547	0.617

米粉组,蛋白质弱化度降低,说明外源蛋白的加入改善了米面团的弹性,这可能是因为含有二硫键的蛋白质在和面、发酵等过程中会促使分子间发生巯基/二硫键交换和巯基氧化反应,构建了模拟面筋蛋白的网状结构,从而增加面团的弹性^[13],而动物蛋白C1-C2值普遍高于植物蛋白的原因因为动物蛋白中含有许多大分子蛋白质,增大了面团对外部机械力的抵抗能力。

C3-C4值反映的是面团的淀粉糊化及热稳定性,数值越低,说明面团的热稳定性越强。与米粉

相比,不同外源蛋白加入后C3-C4值均显著降低,其中植物蛋白试验组的C3-C4值高于动物蛋白,说明添加植物蛋白的面团糊化特性低,热稳定性更强。C5-C4值表示淀粉回生特性,值越小,说明回生可能性越小,当大豆蛋白添加量为6%时,此时回生特性最弱为0.003 Nm,大豆蛋白加入后通过氢键和离子键形成的空间效应阻碍了支链淀粉微晶的形成,从而抑制淀粉的老化^[20],同时也降低老化对面包所产生的品质影响,这与Marcoa等^[25]研究结果类似。

2.2 不同来源蛋白对面团流变特性分析

2.2.1 频率扫描 面团流变性质可以反映面团在加工过程中的品质变化和最终产品的质量,是评价面团性质的指标之一。 G' 储能模量代表物质的弹性本质, G'' 损耗模量代表物质的黏性本质, $\tan\delta = G''/G'$ 反映了弹性成分和黏性成分的占比,代表损

耗系数。如图 1~图 3 所示为频率变化过程中添加不同来源蛋白后,面团 G' 、 G'' 和 $\tan\delta$ 的测定结果。由图可知,随着频率的增加, G' 和 G'' 均呈现逐渐增加的趋势,且在一定频率的范围内,同一样品一直保持 $G' > G''$,此时面团以弹性模量为主。这是由于添加的蛋白具有较强结合水能力,使面团迅速

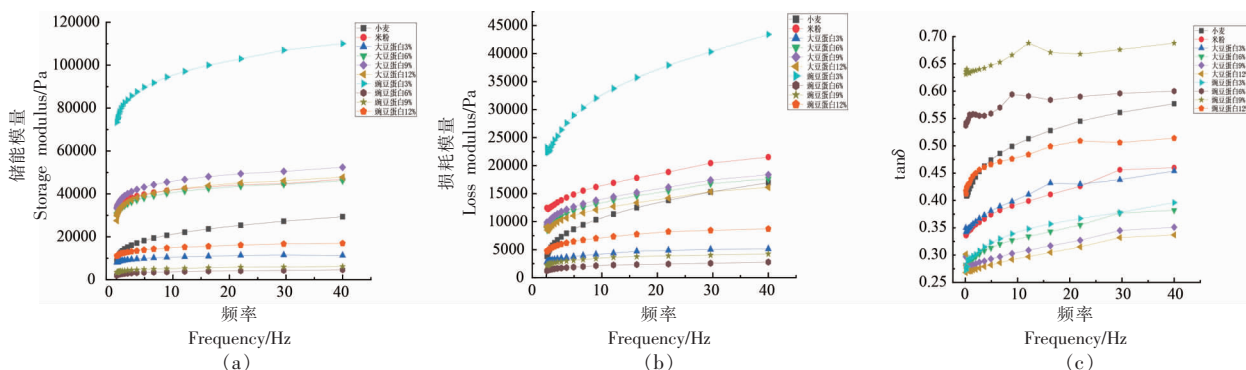


图 1 大豆分离蛋白和豌豆分离蛋白在频率扫描储能模量、损耗模量和损耗系数变化

Fig.1 Changes of storage modulus, loss modulus and loss coefficient of soybean protein isolate and pea protein isolate in frequency scanning

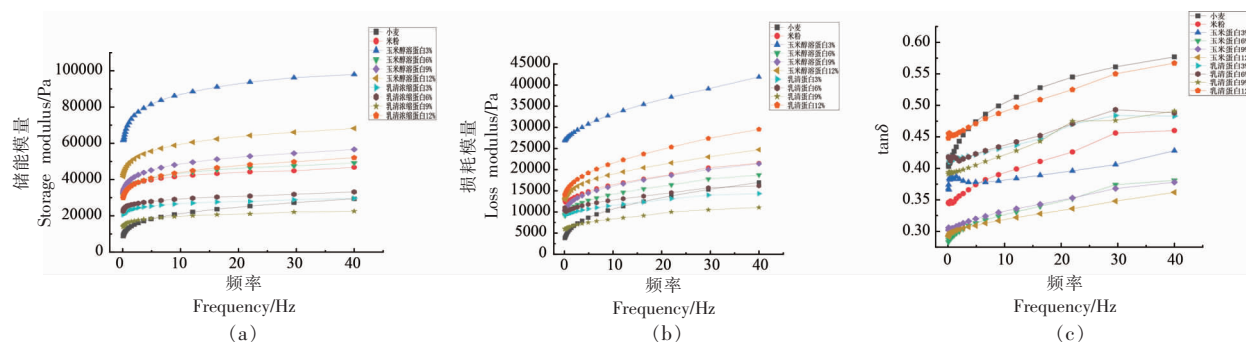


图 2 玉米醇溶蛋白和乳清浓缩蛋白在频率扫描储能模量、损耗模量和损耗系数变化

Fig.2 Changes of storage modulus, loss modulus and loss coefficient of zein and whey protein concentrate in frequency scanning

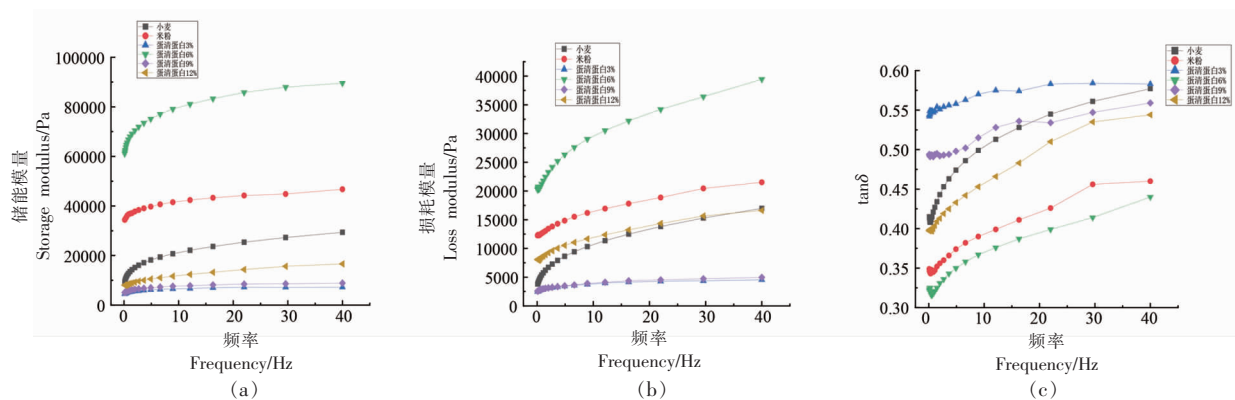


图 3 蛋清蛋白在频率扫描储能模量、损耗模量和损耗系数变化

Fig.3 Changes of storage modulus, loss modulus and loss coefficient of egg white protein in frequency scanning

锁住水分并增加了弹性模量,从而提高气体保留率和面包的体积^[26],除此之外,如大豆蛋白等的添加增加了面团体系中的二硫键,同时为烘焙食品提供最佳的弹性。但动物蛋白的 G' 和 G'' 普遍低于植物蛋白及米粉,这可能是由于面团的流变性质与蛋白质分子的大小和形状以及它们的氨基酸组成有关。如乳清蛋白是由分子质量为 18.4 ku 的 β -乳球蛋白和分子质量为 14.2 ku 的 α -乳清蛋白组成,相比之下,大豆蛋白包括 β -伴大豆球蛋白 (150~200 ku) 和大豆球蛋白 (300~380 ku)^[20],同时两者的亲水性也不同^[27]。

$\tan\delta=G''/G'$ 代表损耗系数, $\tan\delta$ 值越大,说明体系流动性越强。图中大豆蛋白和豌豆蛋白的 $\tan\delta$ 随频率的升高而增大,且豌豆蛋白添加量为 9% 时, $\tan\delta$ 最大, 3% 的蛋清蛋白其次,说明此时面

团的流动性最强呈液态,且黏性最大。

2.2.2 温度扫描 如图 4~图 6 所示为温度变化过程中添加不同来源蛋白后,面团 G' 、 G'' 的测定结果。在 25~55 °C 阶段, G' 和 G'' 均较小,随着温度升高到 55 °C 左右时, G' 和 G'' 迅速增加,这可能是由于淀粉糊化后蛋白质与淀粉分子间的相互作用协助了混合凝胶的形成,也有可能是蛋白质分子变性并且发生了分子间的交联,使在加热过程中形成了热诱导凝胶^[28]。当温度升高到 6~80 °C 时,蛋白凝胶的 G' 和 G'' 值达到最大值,而 80 °C 后 G' 和 G'' 又迅速下降,这与温度过高蛋白完全变性而不与淀粉形成凝胶有较大关系。此外,植物蛋白中玉米蛋白及动物蛋白中乳清蛋白的 G' 和 G'' 较高,说明其所形成的凝胶体系强度较好。

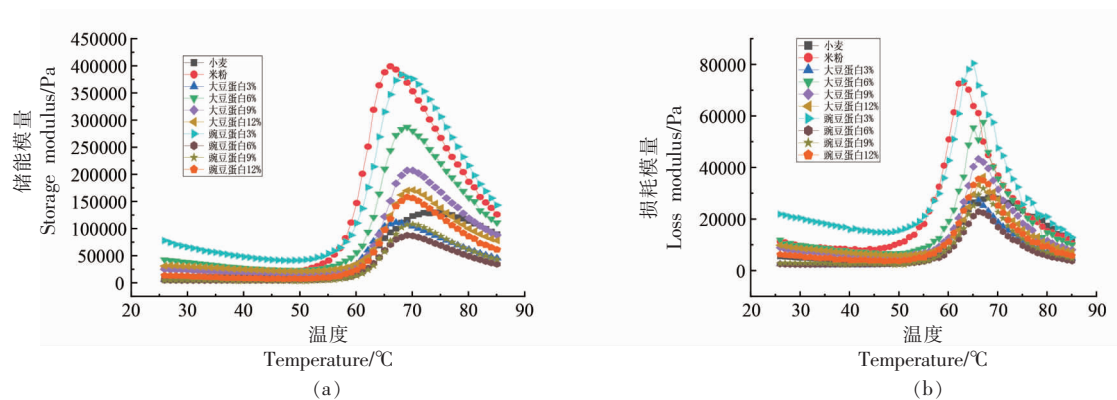


图 4 不同添加量大豆分离蛋白和豌豆分离蛋白在温度扫描储能模量和损耗模量的变化

Fig.4 Changes of storage modulus and loss modulus of soybean protein isolate and pea protein isolate with different addition amounts under temperature scanning

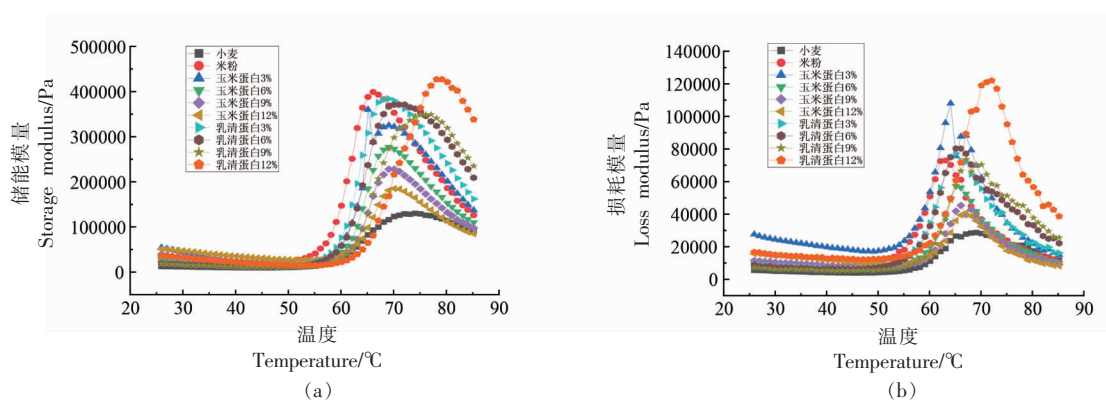


图 5 不同添加量玉米醇溶蛋白和乳清浓缩蛋白在温度扫描储能模量和损耗模量的变化

Fig.5 Changes of storage modulus and loss modulus of zein and whey protein concentrate with different addition amounts under temperature scanning

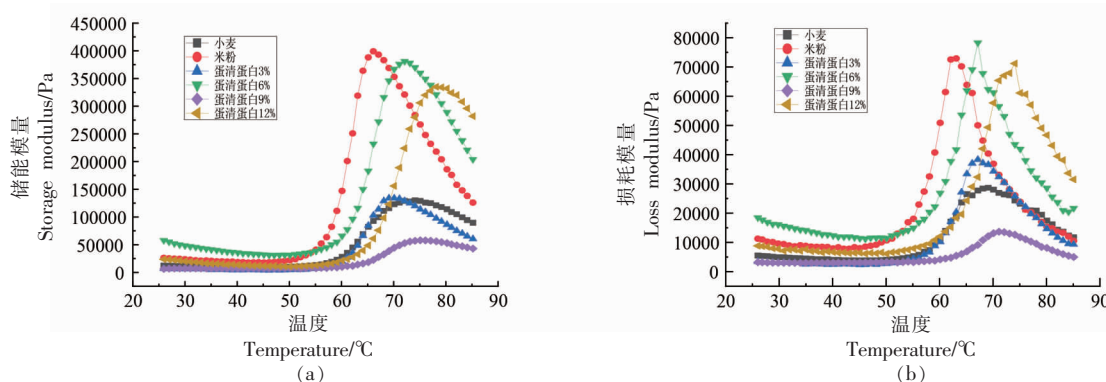


图 6 不同添加量蛋清浓缩蛋白在温度扫描储能模量和损耗模量的变化

Fig.6 Changes of storage modulus and loss modulus of egg white concentrate with different addition amounts under temperature scanning

2.3 不同来源蛋白对面团 RVA 特性的影响

快速黏度分析仪可以反映出混合粉中淀粉的糊化黏度。见表 4,表 5 可知,与米粉相比,随着不同外源蛋白的添加,面团的峰值黏度、最低黏度、最终黏度均显著下降,且随添加量的增加而持续下降。当不同蛋白的添加量为 12%时,此时面团的峰值黏度、最低黏度、最终黏度达到最低值。这可能是因为淀粉和所添加的蛋白带有相反电荷,两者通过静电相互吸引,导致淀粉颗粒周围被蛋白包围,使得淀粉吸水速率变慢从而影响糊化淀粉的峰值黏度^[18],且动物蛋白的峰值黏度普遍低于植物蛋白,这与动物蛋白的结构和氨基酸组成有较大关系。

崩解值反映了淀粉糊的热稳定性,与米粉相比,添加量为 12%时的大豆蛋白及乳清蛋白组崩解值最小,此时面团热稳定性、耐剪切性最强。回生值(最终黏度和最低黏度的差值)代表淀粉冷糊的稳定性,表中回生值随不同蛋白添加量的增加而逐渐下降,表明蛋白质的加入阻碍了淀粉分子的重新排列^[20],进而延缓老化。其中添加量为 12%的蛋清蛋白组回生值最小为 211 cP,此时面团老化速度最慢,更有利于提高感官品质和货架期。

RVA 测定的糊化特性与 Mixolab 测定的热机械特性一同证实了外源蛋白的添加的确改善了淀粉回生及老化带给无麸质米面包感官品质上的缺陷。

表 4 植物蛋白对面团 RVA 特性的影响

Table 4 Effect of plant protein on RVA characteristics of dough

蛋白添加量/%	峰值黏度/cP	最低黏度/cP	崩解值/cP	最终黏度/cP	回生值/cP
对照	1 602	1 208	394	2 210	1 002
0%	2 522	1 714	798	3 046	1 322
3%大豆蛋白	2 207	1 438	769	2 620	1 182
6%大豆蛋白	1 938	1 245	693	2 291	1 046
9%大豆蛋白	1 931	1 260	671	2 271	1 101
12%大豆蛋白	1 671	1 125	546	2 047	922
3%豌豆蛋白	2 521	1 630	991	2 849	1 219
6%豌豆蛋白	2 501	1 356	1 146	2 479	1 123
9%豌豆蛋白	2 440	1 234	1 206	2 294	1 060
12%豌豆蛋白	2 151	1 052	1 099	1 996	944
3%玉米蛋白	2 407	1 555	752	2 792	1 237
6%玉米蛋白	2 065	1 355	710	2 454	1 099
9%玉米蛋白	1 850	1 208	642	2 211	1 003
12%玉米蛋白	1 645	1 018	627	1 911	893

表5 动物蛋白对面团RVA特性的影响

Table 5 Effect of animal protein on RVA characteristics of dough

蛋白添加量/%	峰值黏度/cP	最低黏度/cP	崩解值/cP	最终黏度/cP	回生值/cP
对照	1 602	1 208	394	2 210	1 002
0%	2 522	1 714	798	3 046	1 322
3%乳清蛋白	2 389	1 490	899	2 786	1 296
6%乳清蛋白	1 875	982	893	2 138	1 156
9%乳清蛋白	1 633	764	869	1 773	1 009
12%乳清蛋白	1 421	696	725	1 620	924
3%蛋清蛋白	2 316	1 151	1 165	2 032	881
6%蛋清蛋白	2 015	804	1 211	1 341	537
9%蛋清蛋白	1 646	539	1 107	840	301
12%蛋清蛋白	1 368	380	988	591	211

2.4 不同来源蛋白对面包比容、面包损失、色泽的影响

面包比容是评价面包品质的主要指标之一,一定范围内,比容越大,相对硬度越低,感官品质越高。除此之外,比容对面包的质构特性(弹性、咀嚼性等)也有所影响。

如表6,表7为添加不同外源蛋白对米面包比容、损失和色泽的影响。从图中可以得出,随着不同外源蛋白的添加,面包的比容及损失均得到显著改善($P<0.05$),其中大豆蛋白组与乳清蛋白

组的比容随添加量的增加而呈先上升后下降趋势,玉米蛋白组和豌豆蛋白组比容无明显变化,而蛋清蛋白组呈下降趋势。其中添加量为9%时的乳清蛋白组面包体积增加最大,比容约为1.810 mL/g。这与烘烤中蛋白变性或与其它组分相互作用有较大关系,因此提升了面团品质。而试验组中比容没有明显增加的原因可能是添加蛋白后面团结构发生改变或稳定性较差所致^[29]。此外,小麦粉面包的损失率是5.32%,米粉面包的损失率最高为7.74%,这体现出米粉面包持水性更差、烘烤时水分蒸发

表6 植物蛋白对面包比容面包损失和色泽的影响

Table 6 Effect of plant protein on specific volume loss and color of bread

蛋白质含量/%	比容/mL·g ⁻¹	烘焙损失/%	色泽		
			L*	a*	b*
对照	1.50 ± 0.03 ^a	5.32 ± 0.07 ^a	41.83 ± 1.12 ^c	2.92 ± 0.06 ^d	5.26 ± 0.18 ^c
0%	0.79 ± 0.06 ^{ab}	7.74 ± 0.32 ^{bc}	41.90 ± 0.23 ^b	3.04 ± 0.01 ^c	5.80 ± 0.02 ^c
3%大豆蛋白	0.87 ± 0.09 ^{bc}	5.93 ± 0.09 ^{bc}	40.78 ± 0.04 ^a	3.16 ± 0.05 ^b	5.65 ± 0.02 ^{ab}
6%大豆蛋白	0.89 ± 0.04 ^{bc}	5.85 ± 0.08 ^{bc}	40.78 ± 0.56 ^b	3.13 ± 0.02 ^a	5.75 ± 0.14 ^{bc}
9%大豆蛋白	0.97 ± 0.05 ^c	5.79 ± 0.02 ^c	41.31 ± 0.12 ^{ab}	3.16 ± 0.05 ^a	6.11 ± 0.10 ^a
12%大豆蛋白	0.81 ± 0.07 ^c	5.40 ± 0.06 ^c	41.23 ± 0.18 ^{ab}	3.20 ± 0.07 ^a	5.98 ± 0.41 ^{abc}
3%豌豆蛋白	1.08 ± 0.14 ^{bc}	5.63 ± 0.09 ^{bc}	36.67 ± 0.03 ^a	3.13 ± 0.03 ^b	4.57 ± 0.32 ^{ab}
6%豌豆蛋白	0.97 ± 0.09 ^{bc}	6.05 ± 0.05 ^{bc}	37.14 ± 0.09 ^b	3.32 ± 0.02 ^a	5.59 ± 0.15 ^{bc}
9%豌豆蛋白	1.12 ± 0.06 ^c	6.64 ± 0.04 ^c	37.51 ± 0.08 ^{ab}	3.44 ± 0.02 ^a	5.12 ± 0.18 ^a
12%豌豆蛋白	0.99 ± 0.05 ^c	6.60 ± 0.06 ^c	41.82 ± 0.15 ^{ab}	3.45 ± 0.01 ^a	6.03 ± 0.21 ^{abc}
3%玉米蛋白	0.97 ± 0.05 ^{bc}	6.33 ± 0.07 ^{bc}	41.37 ± 0.03 ^a	2.87 ± 0.04 ^b	5.24 ± 0.06 ^{ab}
6%玉米蛋白	1.15 ± 0.04 ^{bc}	4.69 ± 0.05 ^{bc}	40.83 ± 0.41 ^b	2.92 ± 0.08 ^a	5.95 ± 0.24 ^{bc}
9%玉米蛋白	0.92 ± 0.09 ^c	4.73 ± 0.07 ^c	41.80 ± 0.12 ^{ab}	3.04 ± 0.8 ^a	6.55 ± 0.16 ^a
12%玉米蛋白	1.14 ± 0.07 ^c	3.76 ± 0.09 ^c	41.27 ± 0.18 ^{ab}	3.16 ± 0.13 ^a	5.44 ± 0.19 ^{abc}

注:表中同一参数后含有不相同字母表示差异显著($P<0.05$)。

表7 动物蛋白对面包比容面包损失和色泽的影响

Table 7 Effects of animal protein on specific volume loss and color of bread

蛋白质含量/%	比容/mL·g ⁻¹	烘焙损失/%	色泽		
			L*	a*	b*
对照	1.50 ± 0.03 ^a	5.32 ± 0.07 ^a	41.83 ± 1.12 ^c	2.92 ± 0.06 ^d	5.26 ± 0.18 ^c
0%	0.79 ± 0.06 ^{ab}	7.74 ± 0.32 ^{bc}	41.90 ± 0.23 ^b	3.04 ± 0.01 ^c	5.80 ± 0.07 ^c
3%乳清蛋白	1.10 ± 0.05 ^{bc}	10.10 ± 0.11 ^{bc}	41.87 ± 0.33 ^a	3.19 ± 0.13 ^b	6.20 ± 0.02 ^{ab}
6%乳清蛋白	1.62 ± 0.07 ^{bc}	12.47 ± 0.07 ^{bc}	40.26 ± 0.76 ^b	2.86 ± 0.09 ^a	5.45 ± 0.14 ^{bc}
9%乳清蛋白	1.81 ± 0.06 ^c	10.06 ± 0.08 ^c	41.19 ± 0.02 ^{ab}	2.94 ± 0.04 ^a	6.33 ± 0.30 ^a
12%乳清蛋白	1.76 ± 0.05 ^c	10.37 ± 0.06 ^c	41.03 ± 0.20 ^{ab}	3.24 ± 0.07 ^a	6.31 ± 0.37 ^{abc}
3%蛋清蛋白	1.10 ± 0.06 ^{bc}	16.37 ± 0.09 ^{bc}	41.67 ± 0.04 ^a	3.09 ± 0.03 ^b	6.01 ± 0.01 ^{ab}
6%蛋清蛋白	0.90 ± 0.05 ^{bc}	4.49 ± 0.05 ^{bc}	40.02 ± 0.26 ^b	2.99 ± 0.02 ^a	5.46 ± 0.34 ^{bc}
9%蛋清蛋白	0.76 ± 0.03 ^c	7.31 ± 0.04 ^c	41.26 ± 0.02 ^{ab}	2.95 ± 0.02 ^a	6.03 ± 0.10 ^a
12%蛋清蛋白	0.77 ± 0.05 ^c	4.90 ± 0.05 ^c	41.13 ± 0.10 ^{ab}	3.20 ± 0.01 ^a	5.69 ± 0.41 ^{abc}

注:表中同一参数后含有不相同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

的损失量也过多,而添加蛋白后面包的损失率普遍低于米粉组,最低可达到 3.76 mL/g,此时也低于小麦粉面包的损失率。

食品色泽影响着消费者对面包的感官评价,由表可知,添加外源蛋白后的面包其色差 L^* 值普遍低于米粉和小麦粉的 L^* 值,说明添加蛋白后的面包颜色要比米粉和小麦粉的颜色更加暗沉,而 a^* 值和 b^* 值明显大于米粉和小麦粉,此时的面包颜色偏黄。

2.5 不同来源蛋白对面包质构的影响

质构是检测面包品质的主要指标之一,硬度越大,则口感越粗糙;胶着性越大,则越黏牙;弹性值越高、黏聚性值越大,面包口感越好。

如表 8 和表 9 所示,添加外源蛋白后米面包的硬度值均有下降,其中添加量为 6% 的大豆蛋白组硬度下降约 19.0%。3% 和 6% 玉米蛋白组面包硬度下降约 39.6%、36.5%,而 9% 的豌豆组硬度下降最多约 48.5%,且面包的胶着性最小为 2 710.12

表8 植物蛋白对面包质构影响

Table 8 Effect of plant protein on bread texture

蛋白质含量/%	硬度/g	黏着性	弹性	胶着性/g	黏聚性
小麦	2 008.01 ± 46.00 ^c	1.02 ± 0.04 ^c	0.84 ± 0.02 ^{ab}	2 405.28 ± 50.98 ^c	1.2 ± 0.02 ^a
0%	4 546.66 ± 6.04 ^b	3.75 ± 1.09 ^c	0.89 ± 0.01 ^a	5 435.83 ± 39.13 ^b	1.17 ± 0.01 ^a
3%大豆蛋白	3 911.33 ± 301.67 ^b	32.57 ± 1.89 ^b	0.83 ± 0.04 ^{ab}	4 697.53 ± 217.82 ^b	1.16 ± 0.01 ^a
6%大豆蛋白	3 783.12 ± 103.15 ^b	5.5 ± 0.33 ^{ab}	0.85 ± 0.01 ^b	4 439.26 ± 109.53 ^b	1.17 ± 0.01 ^a
9%大豆蛋白	4 289.03 ± 103.5 ^b	12.2 ± 4.08 ^{ab}	0.81 ± 0.03 ^{bc}	6 413.91 ± 30.62 ^b	1.15 ± 0.01 ^a
12%大豆蛋白	4 198 ± 624.98 ^a	42.12 ± 5.94 ^a	0.77 ± 0.04 ^c	3 987.52 ± 757.31 ^a	1.14 ± 0.01 ^a
3%豌豆蛋白	3 745.01 ± 249.67 ^b	8.56 ± 4.01 ^b	0.73 ± 0.03 ^{ab}	4 370.93 ± 265.91 ^b	1.17 ± 0.01 ^a
6%豌豆蛋白	4 541.12 ± 203.15 ^b	6.47 ± 6.24 ^{ab}	0.71 ± 0.01 ^b	5 240.73 ± 387.83 ^b	1.15 ± 0.01 ^a
9%豌豆蛋白	2 339.03 ± 71.5 ^b	2.3 ± 1.08 ^{ab}	0.79 ± 0.08 ^{bc}	2 710.12 ± 91.48 ^b	1.15 ± 0.01 ^a
12%豌豆蛋白	3 465.05 ± 149.12 ^a	6.63 ± 1.24 ^a	0.76 ± 0.01 ^c	3 398.34 ± 139.56 ^a	1.15 ± 0.01 ^a
3%玉米蛋白	2 745.01 ± 249.67 ^b	4.56 ± 2.01 ^b	0.73 ± 0.02 ^{ab}	3 070.93 ± 165.91 ^b	1.16 ± 0.01 ^a
6%玉米蛋白	2 887.01 ± 113.15 ^b	3.66 ± 0.81 ^{ab}	0.72 ± 0.02 ^b	3 452.7 ± 91.18 ^b	1.16 ± 0.01 ^a
9%玉米蛋白	4 934.45 ± 282.1 ^b	23.02 ± 8.53 ^{ab}	0.71 ± 0.02 ^{bc}	5 712.84 ± 318.39 ^b	1.16 ± 0.01 ^a
12%玉米蛋白	3 616.05 ± 290.12 ^a	2.71 ± 0.83 ^a	0.82 ± 0.01 ^c	4 195.184 ± 300.46 ^a	1.16 ± 0.01 ^a

注:表中同一参数后含有不相同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

表9 动物蛋白对面包质构影响

Table 9 Effect of animal protein on bread texture

蛋白质含量/%	硬度/g	黏着性	弹性	胶着性/g	黏聚性
小麦	2 008.01 ± 46.00 ^c	1.02 ± 0.04 ^c	0.84 ± 0.02 ^{ab}	2 405.28 ± 50.98 ^c	1.2 ± 0.02 ^a
0	4 546.66 ± 6.04 ^b	3.75 ± 1.09 ^c	0.89 ± 0.01 ^a	5 435.83 ± 39.13 ^b	1.17 ± 0.01 ^a
3%乳清蛋白	3 660.01 ± 193.2 ^b	2.35 ± 1.58 ^b	0.81 ± 0.01 ^{ab}	7 804.31216.18 ^b	1.17 ± 0.02 ^a
6%乳清蛋白	3 163.76 ± 51.09 ^b	0.34 ± 0.04 ^{ab}	0.82 ± 0.02 ^b	3 687.61 ± 64.08 ^b	1.17 ± 0.01 ^a
9%乳清蛋白	2 032.9 ± 386.8 ^b	2.5 ± 2.71 ^{ab}	0.82 ± 0.01 ^{bc}	7 454.53 ± 391.94 ^b	1.15 ± 0.01 ^a
12%乳清蛋白	3 368.08 ± 710.1 ^a	1.25 ± 0.77 ^a	0.85 ± 0.01 ^c	11 701.11 ± 656.76 ^a	1.15 ± 0.02 ^a
3%蛋清蛋白	4 423.12 ± 41.2 ^b	84.15 ± 5.56 ^b	0.79 ± 0.02 ^{ab}	5 051.88 ± 5.02 ^b	1.14 ± 0.01 ^a
6%蛋清蛋白	5 875.09 ± 59.3 ^b	51.05 ± 1.07 ^{ab}	0.79 ± 0.01 ^b	6 675.48 ± 62.5 ^b	1.14 ± 0.01 ^a
9%蛋清蛋白	12 014.8 ± 472.8 ^b	2.53 ± 2.49 ^{ab}	0.45 ± 0.01 ^{bc}	13 103.53 ± 640.16 ^b	1.09 ± 0.01 ^a
12%蛋清蛋白	8 175.09 ± 759.1 ^a	10.84 ± 7.87 ^a	0.76 ± 0.07 ^c	8 879.92 ± 841.48 ^a	1.09 ± 0.01 ^a

注:表中同一参数后含有不相同字母表示差异显著(P<0.05)。

g。但从弹性和胶着性等综合来看,6%的大豆蛋白组总体数值偏小且弹性值较大,此时面包口感最好不黏牙。此外,动物蛋白中添加量为9%的乳清蛋白组硬度约为2 032.9 g,最接近小麦面包的硬度为2 008.0 g,胶着性也较小,弹性较好,综合感官品质最佳。而3%蛋清蛋白组硬度值最高,约为4 423.12 g,与米粉组对比下降约2.7%,而添加量为6%,9%,12%蛋清蛋白组的硬度无显著变化,弹性值虽较高,但质地较软,口感粗糙且黏牙,面包质构特性改善的效果不完善,总体感官性质远不如乳清蛋白组。综上所述,植物蛋白组中对面包质构改善的最佳添加量为:9%豌豆蛋白组>3%玉米蛋白组>6%大豆蛋白组;动物蛋白组中对面包质构改善的最佳的蛋白为:乳清蛋白组>蛋清蛋白组。

2.6 感官评价

根据工艺流程制作的成品米面包有18组,随机邀请10名消费者进行感官评价,如图10、图11所示为感官评价结果。纯米粉面包的结构外观分数偏低,这是因为米粉面包硬度大、气孔数量少、口感粗糙等原因。而小麦粉面包口感较软,味道醇香,总体感官评分较高。此外,植物蛋白中大豆蛋白总体评分较好,添加量为12%的大豆蛋白感官评分最高。而动物蛋白中乳清蛋白组整体感官评分比蛋清蛋白组更佳,其中6%乳清蛋白组面包评分最佳,气孔大小均一且数量多、口感软、不黏牙、无干裂,外皮颜色均匀。

整体分析:乳清蛋白组(329.1分)>大豆蛋白组(315.5分)>豌豆蛋白组(308.7分)>玉米蛋白组(298.2分)>蛋清蛋白组(294.7分)。

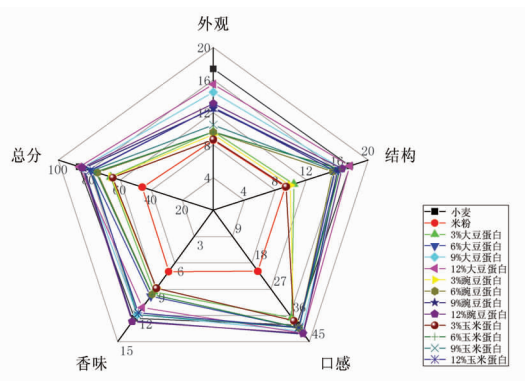


图7 植物蛋白添加量对无麸质食品感官品质影响
Fig.7 Effect of plant protein addition on sensory quality of gluten free food

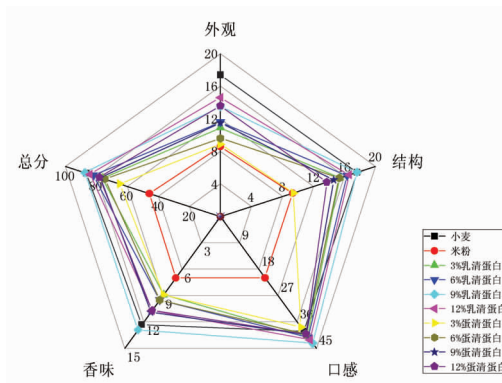


图8 动物蛋白添加量对无麸质食品感官品质影响
Fig.8 Effect of animal protein addition on sensory quality of gluten free food

2.7 面包剖面分析

由图可知,大豆蛋白组、豌豆蛋白组和乳清蛋白组气孔数量更多,质地也更加细腻均匀。此外,植物蛋白中添加量为12%的大豆蛋白组气孔数量最多,质地细腻且颜色均匀,感官品质更好,而玉米蛋白组气孔数量少且小,颜色偏白,品质较差。

动物蛋白组中添加量为12%的乳清蛋白组气孔数量多,但该组面包的整体剖面颜色均发黄,9%的乳清蛋白组气孔数量相对较多,感官品质最佳,而蛋清蛋白组气孔数量少,大小疏密不一,品质较差。

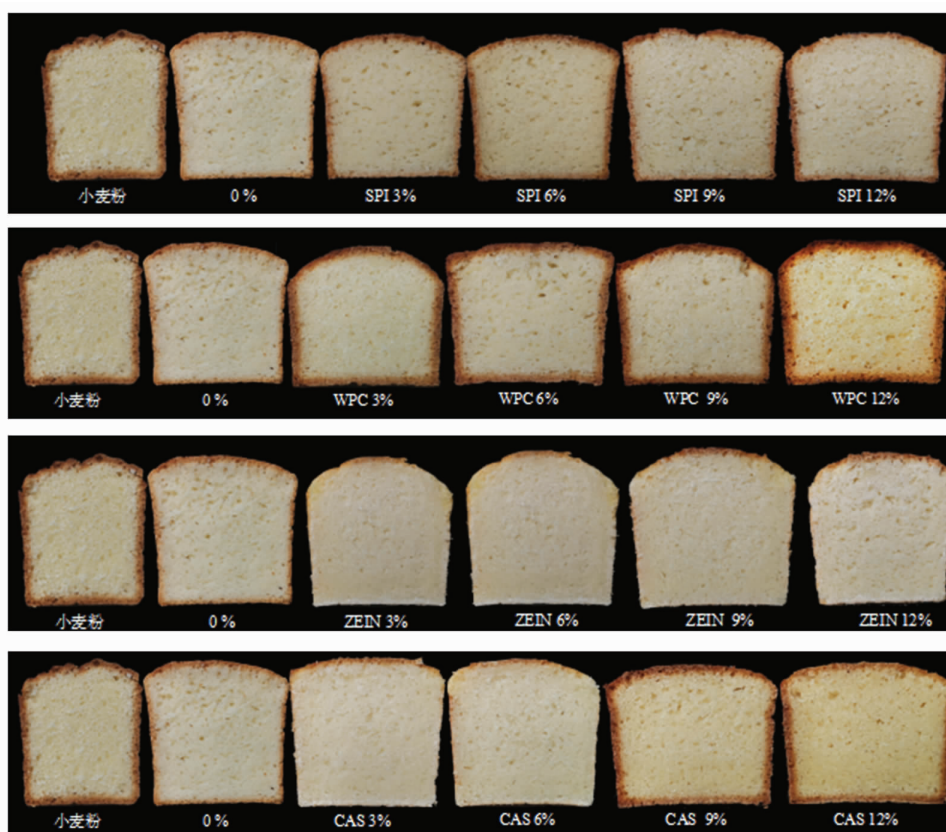


图9 不同种蛋白质面包剖面分析

Fig.9 Profile analysis of different protein bread

3 结论

添加大豆分离蛋白、豌豆分离蛋白、玉米醇溶蛋白、乳清浓缩蛋白和蛋清蛋白可以改善无麸质面团的黏弹性等感官品质,并与其添加量有关。添加量为9%的乳清浓缩蛋白组面包硬度下降约55.3%,胶着性较小不黏牙,口感较软,对无麸质米面包质构特性改善效果最佳。感官评分最高的是添加量为9%的乳清浓缩蛋白组的米面包感官评分为87.3分。其次是添加量为12%的大豆分离蛋白面包为86.3分。除此之外,根据产生气孔数量的综合来看:乳清浓缩蛋白组>大豆分离蛋白组>豌豆分离蛋白组>玉米醇溶蛋白组>蛋清蛋白

组。因此,添加乳清浓缩蛋白和大豆分离蛋白后对米面包品质改善效果最好,米面包硬度下降明显,弹性较大,口感宜软,综合评价分数高,其气孔数量增加明显且大小均匀。

参 考 文 献

- [1] SINGH P, ARORA A, STRAND T A, et al. Global prevalence of celiac disease: Systematic review and meta-analysis[J]. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 2018, 16(6): 823-836.
- [2] LEBWOHL B, SANDERS D S, GREEN P H R.

- Coeliac disease[J]. *Lancet*, 2018, 391(10115): 70–81.
- [3] NIEWINSKI M M. Advances in celiac disease and gluten-free diet[J]. *Journal of the American Dietetic Association*, 2008, 108(4): 661–672.
- [4] AGRAWAL S, GUPTA A, YACHHA S, et al. Association of human leucocyte-DR and DQ antigens in coeliac disease: A family study[J]. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 2000, 15 (7): 771–774.
- [5] LU Z X, ZHANG H Y, LUOTO S, et al. Gluten-free living in China: The characteristics, food choices and difficulties in following a gluten-free diet—An online survey [J]. *Appetite*, 2018, 127: 242–248.
- [6] VICI G, BELLI L, BIONDI M, et al. Gluten free diet and nutrient deficiencies: A review[J]. *Clinical Nutrition*, 2016, 35(6): 1236–1241.
- [7] HE J, WANG R, FENG W, et al. Design of novel edible hydrocolloids by structural interplays between wheat gluten proteins and soy protein isolates [J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 100: 105395.
- [8] BOUREKOUA H, BENATALLAH L, ZIDOUNE M N, et al. Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours[J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2016, 73: 342–350.
- [9] BURESOVD I, TOKDR M, MAREDEK J, et al. The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread[J]. *Journal of Cereal Science*, 2017, 75: 158–164.
- [10] SIGTIENZA-ANDRES T, GALLEGO C, GOMEZ M. Can cassava improve the quality of gluten free breads? [J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2021, 149: 111923.
- [11] CULETU A, SUSMAN I E, DUTA D E, et al. Nutritional and functional properties of gluten-free flours[J]. *Applied Sciences*, 2021, 11(14): 6283.
- [12] PONGJARUVAT W, METHACANON P, SEETAPAN N, et al. Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 36: 143–150.
- [13] VERBAUWHEDE A E, LAMBRECHT M A, JEKLE M, et al. Microscopic investigation of the formation of a thermoset wheat gluten network in a model system relevant for bread making [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2020, 55 (2): 891–898.
- [14] ZHAO F F, LI Y, LI C M, et al. Co-supported hydrocolloids improve the structure and texture quality of gluten-free bread [J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 152: 112248.
- [15] JAGELAVICIUTE J, CIZEIKIENE D. The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread [J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2021, 137(1): 110457.
- [16] CORNEJO F, ROSELL C M. Influence of germination time of brown rice in relation to flour and gluten free bread quality[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(10): 6591–6598.
- [17] KAWAMURA-KONISHI Y, SHODA K, KOGA H, et al. Improvement in gluten-free rice bread quality by protease treatment[J]. *Journal of Cereal Science*, 2013, 58(1): 45–50.
- [18] ZHANG Y Y, GUO X F, SHI C S, et al. Effect of soy proteins on characteristics of dough and gluten[J]. *Food Chemistry*, 2020, 318: 126494.
- [19] RACHMAN A, BRENNAN M A, MORTON J, et al. Gluten-free pasta production from banana and cassava flours with egg white protein and soy protein addition[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2020, 55(8): 3053–3060.
- [20] SRIKANLAYA C, THERDTHAI N, RITTHIRUANGDEJ P, et al. Effect of hydroxypropyl methylcellulose, whey protein concentrate and soy protein isolate enrichment on characteristics of gluten-free rice dough and bread [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2018, 53(7): 1760–1770.
- [21] 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.
- WANG F, HUANG W N, LIU R S, et al. Assessment of effects of exogenous proteins on the thermomechanical and dynamic rheological properties of oat dough using mixolab and rheometer[J]. *Food Science*, 2009, 30(13): 147–152.

- [22] ZHONG Y X, LI Y, ZHONG J W, et al. Starch granule size distribution in wheat endosperm indirectly correlates to pasting property indicated by near-isogenic lines with different null-waxy alleles [J]. *Starch*, 2016, 69(56): 1600139.
- [23] 李操, 程科, 黄文雄. 改良剂对面团热力学特性的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2021(6): 11-15.
LI C, CHENG K, HUANG W X. The influence of modifiers on the thermomechanical properties of dough[J]. *Grain and Feed Industry*, 2021(6): 11-15.
- [24] 罗云, 冯鹏, 朱科学, 等. 蛋清粉对小麦粉及挂面品质的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(19): 39-43.
LUO Y, FENG P, ZHU K X, et al. Effect of egg white powder on the quality of wheat flour and noodle[J]. *Food Science*, 2015, 36(19): 39-43.
- [25] MARCOA C, ROSELL C M. Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties [J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 84(1): 132-139.
- [26] CROCKETT R, IE P, VODOVOTZ Y. Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread [J]. *Food Chemistry*, 2011, 129(1): 84-91.
- [27] SIMMONS A L, SMITH K B, VODOVOTZ Y. Soy ingredients stabilize bread dough during frozen storage[J]. *Journal of Cereal Science*, 2012, 56(2): 232-238.
- [28] DREESE P, FAUBION J, HOSENEY R. Dynamic rheological properties of flour, gluten, and gluten-starch doughs. I. Temperature-dependent changes during heating[J]. *Cereal Chemistry*, 1988, 65(4): 348-353.
- [29] LUO Y, LI M, ZHU K X, et al. Heat-induced interaction between egg white protein and wheat gluten [J]. *Food Chemistry*, 2016, 197: 699-708.

Effect of Exogenous Protein Conditioner on the Thermodynamic Properties of Rice Dough and Bread Quality

Sun Sihui, Yang Yang, Ren Likun, Xu Yue, Bian Xin, Zhang Na*
(College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150028)

Abstract Taking wheat bread as the control, this study explored the effects of five exogenous plant and animal proteins, soybean protein isolate, pea protein isolate, corn gliadin, whey protein concentrate and egg white protein, on the mixing characteristics, gelatinization characteristics, rheological characteristics, specific volume and sensory analysis of rice dough and bread. The results showed the addition of exogenous proteins can reduce the retrogradation value of rice dough to a minimum of 211 cP, increase the specific volume of bread to 1.810 mL/g, decrease hardness by about 55.3%, and decrease adhesive strength to 2 710.12 g. The soybean protein group with 12% plant protein had the largest number of pores, fine texture and uniform color, and the water holding capacity and sensory quality were the best. The bread hardness of 9% whey concentrated protein group in animal protein decreased significantly by about 2 032.9 g ($P < 0.05$). At this time, the dough hardness was closest to that of wheat dough, and the elasticity was 0.82%. The taste was soft, which had the best effect on improving the texture characteristics of rice bread. Therefore, the quality of rice bread can be better improved when the addition of soybean protein in plant protein is 12% and whey concentrated protein in animal protein is 9%.

Keywords gluten free; rice bread; exogenous protein; quality improvement; celiac disease