

大豆分离蛋白及其改性产物对馒头品质的影响

董梦飞¹, 郭兴凤^{1*}, 张明², 赵树超³, 赵方园¹, 林凤岩²

¹ 河南工业大学粮油食品学院 郑州 450000

² 济宁市机械设计研究院 山东济宁 272100

³ 山东凯斯达机械制造有限公司 山东济宁 272100

摘要 为研究大豆蛋白及其改性产物对馒头品质的影响,将大豆蛋白以不同比例添加到面粉中,通过研究馒头的质构特性、感官品质、理化特性以及混合粉特性的变化,对比不同大豆蛋白对馒头质量的影响差异。结果表明:与原面粉面团相比,添加 1.5%SPI 面团的稳定时间延长 2.5 min,添加 4.5%TSP 面团的稳定时间延长 1 min;添加 1.5%SPH 的面团稳定时间约缩短 6 min。添加 4.5%TSP 的面团的面筋指数增大了 2.22%,面团持气性增强;添加 1.5%SPH 的面团持气性减弱。添加 1.5%SPI、4.5%TSP 可以提高 SDS 可溶性麦谷蛋白、麦谷蛋白大聚体(GMP)及馒头的水分含量,增加馒头的弹性;而添加 1.5%SPH 降低了面团中 SDS 可溶性麦谷蛋白和 GMP 的含量,馒头弹性减小。结论:通过研究馒头的品质特性,选定 SPI、TSP、SPH 的添加量分别为 1.5%、4.5%、1.5%时馒头品质最佳;经过对每种大豆蛋白最佳添加量的混合粉研究发现,不同种类的大豆蛋白对馒头的物理性质有不同的影响。

关键词 馒头;流变学特性;蛋白组分

文章编号 1009-7848(2023)04-0251-11 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.04.024

将大豆蛋白添加到面制品中可以提高面制品的营养价值^[1]。近年来,关于大豆分离蛋白(SPI)以及将大豆分离蛋白改性后的水解大豆蛋白(SPH)、质构化大豆蛋白(TSP)加入面制品的研究很多。大豆分离蛋白经水解后形成小分子的多肽和氨基酸等,具有抗营养因子较少的优点,适量添加可以促进发酵剂的生长和代谢,改善发酵过程,使中国传统馒头质量更好^[2]。经质构化处理的大豆分离蛋白分子质量增大,溶解性降低^[3-4],然而可以提高面团的稳定时间,降低弱化度和拉伸阻力,使馒头口感更好^[5]。Du 等^[6]通过挤压获得 5 种大豆挤压蛋白(ESPI),将 ESPI 与面粉混合制作馒头,通过 SDS-PAGE、TPA 分析挤压处理 SPI,结果表明该方法可以显著提高馒头的质量。以往的研究主要针对大豆蛋白-小麦粉馒头的品质,而有关其影响机制鲜有研究报道。本研究的目的是揭示大豆蛋白对小麦粉馒头品质的影响机理。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大豆分离蛋白(蛋白含量 91.35%),山东谷神生物科技集团有限公司;金苑特一粉(蛋白含量 11.09%),郑州金苑面业有限公司;高活性干酵母,安琪酵母股份有限公司。

1.2 仪器与设备

AY120 分析天平,日本岛津公司;DMT-10A 电动家用面条机,山东龙口市复兴机械有限公司;SPX 型生化培养箱,北京市永光明医疗仪器有限公司;F3 流变发酵仪,英国 Stable Micro System 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 质构化大豆蛋白的制备 参考 Fang 等^[7]的方法,略有改动。进料速度 30 g/min,物料水分 50%,螺旋转速 160 r/min,温度 160 °C。将挤出的物料在 55 °C 的烘箱中干燥,粉碎过 100 目筛。

1.3.2 大豆蛋白水解产物的制备及水解度的测定

大豆蛋白水解产物制备参考 Guo 等^[8]的方法,用茚三酮比色法测得水解度为(4.95±0.07)%。

1.3.3 混合粉的配制 每种大豆蛋白分别以质量分数 1.5%、3.0%、4.5%、6.0%的比例替代面粉(中筋粉),混合均匀,同时用纯面粉作对照。分别用

收稿日期:2022-04-25

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0400200, 2022YFD2101400);国家自然科学基金项目(U21A20270)

第一作者:董梦飞,女,硕士生

通信作者:郭兴凤 E-mail: guoxingfeng@haut.edu.cn

WF、WF-SPI、WF-TSP 和 WF-SPH 表示原面粉、SPI 与面粉的混合粉、TSP 与面粉的混合粉和 SPH 与面粉的混合粉。

1.3.4 馒头的制作 馒头制作参考黎芳等^[9]的方法。称取 100 g 混合粉,1 g 酵母,加水量为混合粉粉质吸水率的 78%,用 37 °C 的水活化干酵母 3 min,将混合粉、酵母溶液和水加入和面机后,和面 3 min,压片 10 次,整形后放入 30 °C 培养箱中发酵 40 min,105 °C 蒸制 25 min。

1.3.5 馒头质构特性测定 参考黄桂东等^[10]的方法,略有改动。测定条件:馒头切片厚度 15 mm;探头型号 P/35;测前速度 1.0 mm/s,测中速度 1.0 mm/s,测后速度 1.0 mm/s;压缩应变 50%;两次压缩的时间间隔为 2 s;触发力 10 g。

1.3.6 馒头感官评定 馒头感官评分标准参考 Xiao 等^[11]的方法,略有改动。各指标满分为 20 分,样品感官评价总分为 100 分。

1.3.7 馒头理化指标的测定 馒头的理化指标(比容、pH、水分含量)测定均参照 GB/T 21118-2007^[12]测定。

1.3.8 粉质特性和面团拉伸特性的测定 面粉粉质特性测定参照 GB/T 14614-2019^[13];面团拉伸特性测定参照 GB/T 14615-2019^[14]。

1.3.9 面筋指数的测定 湿面筋含量测定参照 GB/T 5506.2-2008^[15],干面筋含量测定参照 GB/T 5506.4-2008^[16],面筋指数测定参照 LS/T 6102-1995^[17]。

1.3.10 发酵特性的测定 采用 F3 发酵流变仪测定发酵特性^[18]。称取 250 g 混合粉,2.5 g 酵母,加水量为粉质吸水率的 78%,和面 3 min 后取 315 g 面团放入 F3 发酵流变仪的发酵盒中进行发酵,加 2 000 g 砝码,在 30 °C 发酵 3 h。

1.3.11 发酵面团中蛋白组分的测定 按照 1.3.4 节方法制备厚度为 1 mm 的面片,在 -20 °C 条件下冷冻 24 h 后冷冻干燥,将冻干样品粉碎,过 100 目筛。称取 2.0 g 冻干面团粉,参考石长硕等^[19]的方法依次提取盐溶蛋白、醇溶蛋白、SDS 可溶性蛋白和 GMP。使用双缩脲比色法测定样品的蛋白含量,用 0.5 mol/L NaOH 溶液配制 20 mg/mL 的牛血清蛋白,然后用 NaOH 溶液梯度稀释,稀释梯度为 0,2,4,6,8,10,12 mg/mL。分别取稀释后的牛血清

蛋白溶液 1 mL,加入 4 mL 双缩脲试剂,静置 30 min 后,在 540 nm 波长处测定吸光度,绘制标准曲线。分别取 2 mL 蛋白溶液与 3 mL 双缩脲试剂混合均匀,反应 30 min,测定其在波长 540 nm 处的吸光度,每种蛋白组分含量以每克发酵面团中含有该蛋白组分质量表示(mg/g)。

1.4 数据处理

每个指标测试样品重复测定 3 次,使用 Excel 软件作图,利用 SPSS 22.0 软件对试验数据进行分析,单因素方差分析采用 Duncan 法,差异显著水平 $P < 0.05$ 。

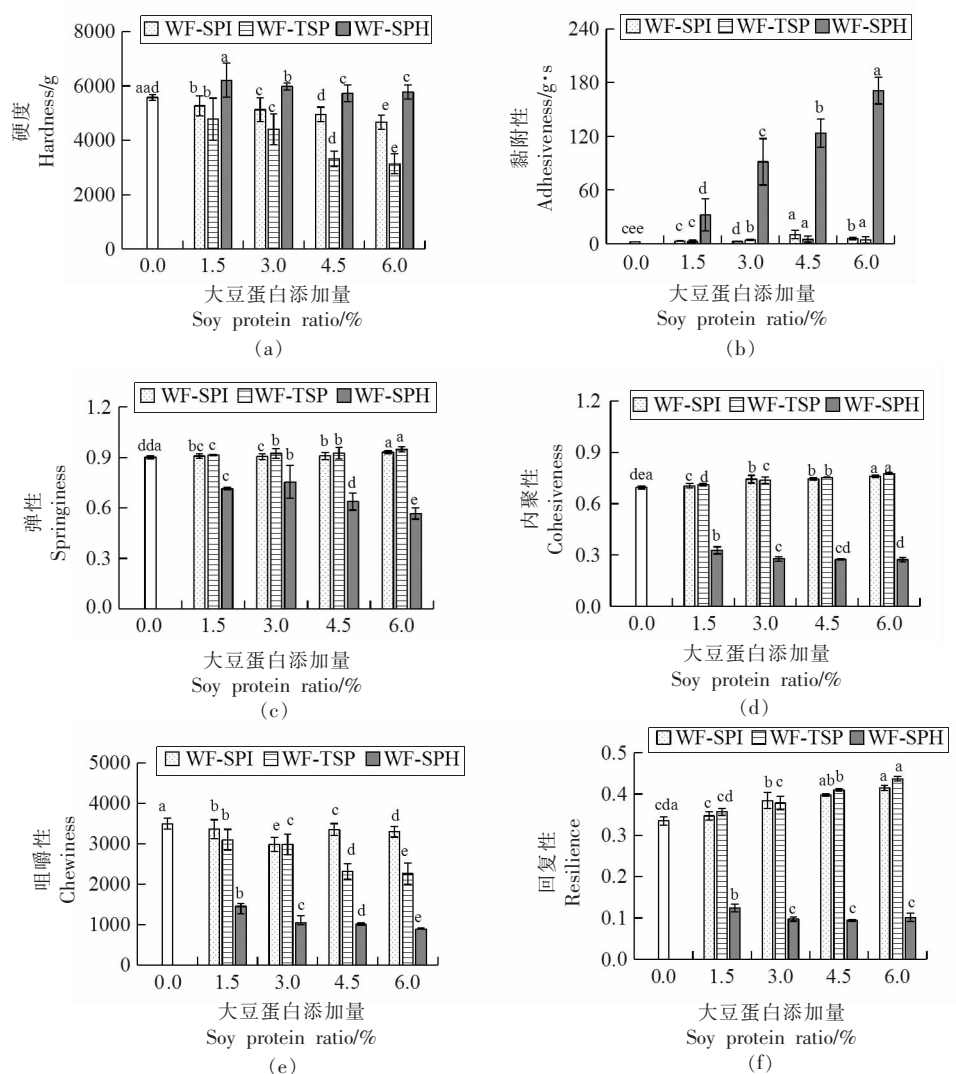
2 结果与分析

2.1 大豆蛋白添加量对馒头质构特性的影响

TPA 测试的指标与大多数品尝试验指标具有显著相关性,其中硬度、咀嚼性、弹性等指标对馒头综合评分的影响较大^[20]。由图 1 可知,WF-SPI 馒头和 WF-TSP 馒头的硬度随着大豆蛋白添加量的升高逐渐降低,WF-SPH 馒头的硬度比 WF 馒头大,然而,继续提高 SPH 添加量,WF-SPH 馒头的硬度呈逐渐降低趋势。李婷等^[21]研究发现谷蛋白/醇溶蛋白的比例影响面制品的品质,谷蛋白含量越高面制品的硬度越大,弹性越小,因此添加大豆蛋白可能改变了面团中谷蛋白的含量,使馒头的硬度和弹性发生改变。孙祥祥等^[22]研究表明,面团发酵过程中因酵母菌等微生物的呼吸作用产生的气体被包裹在面筋里,故使馒头的体积变大,硬度降低。WF-SPI 馒头、WF-TSP 馒头和 WF-SPH 馒头与 WF 馒头相比咀嚼性显著降低;WF-SPI 馒头与 WF-TSP 馒头和 WF 馒头相比,弹性、内聚性、回复性显著性升高,WF-SPH 馒头则与之相反。回复性表示馒头在受到外力作用发生变化,其内部结构回复到原始状态的能力,回复性和弹性均与样品的弹性有关,回复性是弹性的即时体现^[23]。

2.2 大豆蛋白添加量对馒头感官品质的影响

由图 2 可看出 WF-SPI 馒头、WF-TSP 馒头、WF-SPH 馒头的比容随着大豆蛋白添加量的增大,呈先增大后减小的趋势,说明少量添加大豆蛋白可提高酵母的发酵能力^[24]。这是由于 SPI 富含多肽和游离氨基酸,为酵母提供充足的营养和氮源。



注:图中不同小写字母代表差异显著, $P < 0.05$,下同。

图 1 大豆蛋白添加量对馒头质构特性的影响

Fig.1 Effect of soy protein ratio on the texture characteristics of the steamed bread

WF-SPI馒头、WF-TSP馒头和WF-SPH馒头相对于WF馒头而言,表皮不光滑、颜色发暗,导致外观评分显著减小,这可能是因为大豆蛋白中含有异黄酮、磷脂等呈色物质^[25]。WF-SPH馒头由于表皮出现裂痕,外观评分比WF-SPI馒头和WF-TSP馒头低。WF-SPI馒头、WF-TSP馒头和WF-SPH馒头的口感风味评分比WF馒头低。添加1.5%SPI后馒头的口感评分为17.12,添加1.5%TSP后馒头口感评分为17.79,添加1.5%SPH后馒头的口感评分为14.96,WF馒头口感评分为19.21。这说明添加少量的大豆蛋白时,对馒头口感影响最大的是SPH,这是因为添加SPH后面团面筋含量

降低^[24],制成馒头后,馒头咀嚼性显著下降。

2.3 大豆蛋白添加量对馒头水分含量的影响

馒头的水分含量是评价馒头品质的重要指标。由图3可知,WF-SPI馒头和WF-TSP馒头的水分含量大于WF馒头,并且随着SPI添加量的增加,馒头的水分含量呈逐渐增加的趋势。而WF-SPH馒头的水分含量小于WF馒头,且随着SPH添加量的增加,馒头的水分含量呈逐渐降低趋势,其中WF-TSP馒头和WF-SPH馒头的水分变化具有显著性,WF-SPI馒头水分的变化无显著性差异。SPI和TSP具有较好的吸水性^[26],这使得WF-SPI馒头和WF-TSP馒头的水分含量高于

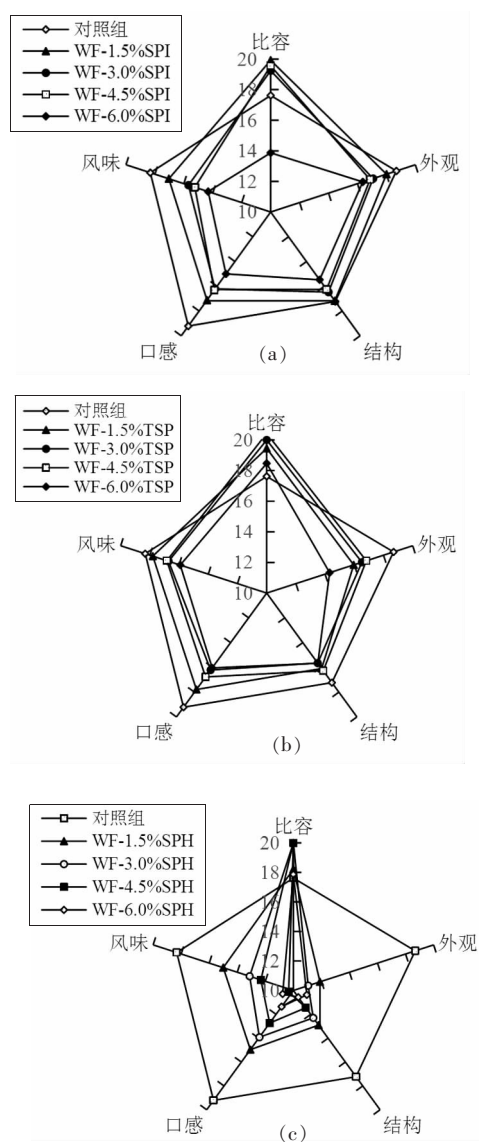


图2 大豆蛋白添加量对馒头感官品质的影响

Fig.2 Effect of soy protein ratio on the sensory quality of the steamed bread

WF馒头。而WF-SPH馒头的水分含量低于WF馒头,一方面是因为添加SPH时面粉的吸水率(如表3)降低,使和面时加水量减小;另一方面可能是因为SPH破坏了面团中麦谷蛋白和醇溶蛋白之间形成大分子聚合物(GMP)的二硫键,蛋白质结合水的能力降低^[8],导致蒸制过程中水分流失。除此之外,周小玲等^[27]研究发现面团中的麦谷蛋白会因受热膨胀作用,使网状孔隙增大,吸附更多的水分子,而添加大豆蛋白可能会改变面团中麦谷蛋白的含量,使馒头在蒸制过程中水分发生

变化。

2.4 大豆蛋白添加量对馒头pH的影响

馒头的pH值影响其风味,馒头pH值体现游离氢离子水平,pH值越小,游离氢离子越多,吃起来越来越有发酸的感觉,因此pH值影响馒头的品质^[10]。如图4可看出WF馒头的pH值最小,随着大豆蛋白添加量的增大,WF-SPI馒头、WF-TSP馒头、WF-SPH馒头的pH值呈增大的趋势,均在国家标准范围(5.6~7.2)。添加大豆蛋白使馒头蛋白质含量升高,酵母菌能够分解更多的蛋白质生成更多的胺和氨等碱性物质,中和馒头中的游离氢离子^[28],使馒头的pH值升高。当大豆蛋白添加量小于3.0%时,WF-SPI馒头的pH值大于WF-TSP馒头和WF-SPH馒头的pH值,而当大豆蛋白添加量大于4.5%时,WF-TSP馒头的pH值大于WF-SPI馒头和WF-SPH馒头的pH值。这是因为

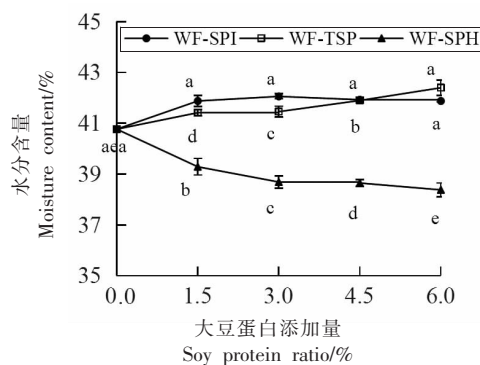


图3 大豆蛋白添加量对馒头水分含量的影响

Fig.3 Effect of soy protein ratio on the moisture content of the steamed bread

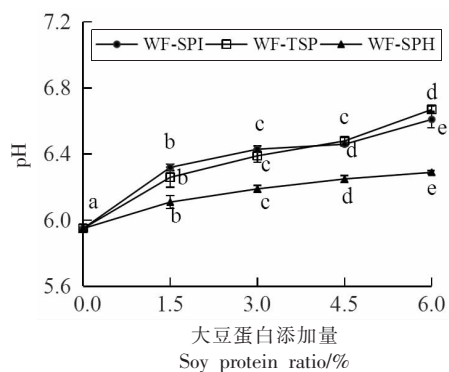


图4 大豆蛋白添加量对馒头pH值的影响

Fig.4 Effect of soy protein ratio on the pH value of the steamed bread

当大豆蛋白添加量大于 4.5% 时,WF-TSP 馒头的水分高于 WF-SPI 馒头和 WF-SPH 馒头 (如图 3), 因此馒头中游离氢离子的含量降低, 馒头的 pH 值升高。

2.5 大豆蛋白添加量对馒头比容的影响

由图 5 可知, 随着 3 种大豆蛋白添加量的增加, 馒头的比容呈现先增大后减小的趋势, 当大豆蛋白添加量增到 6.0% 时, WF-SPI、WF-TSP 和 WF-SPH 馒头的比容小于 WF 馒头。添加少量的大豆蛋白可为酵母菌提供一定的氮源^[29], 促进发酵的进行, 而添加大豆蛋白过多, 使面团的面筋网络结构增强, 不利于发酵产生的气体释放^[30], 导致馒头比容减小。SPI 添加量为 1.5% 时馒头比容最大, TSP 添加量为 4.5% 时馒头比容最大, SPH 添加量为 1.5% 时馒头比容最大。

研究表明添加 SPI 影响面粉的粉质吸水率^[31]。粉质吸水率是制作时馒头加水量的依据, 影响馒头中的水分含量。添加 TSP 能增强面团的面筋网络结构, 而添加 SPH 使得面团的面筋特性变差^[32]。面团的持气性与面筋结构具有正相关关系, 面筋结构越稳定, 面团持气性能越好, 发酵时保留的气体越多。SDS 可溶性麦谷蛋白呈纤维状, 具有较强的弹性。张莹莹等^[29]在研究大豆蛋白对面团的影响时发现添加 TSP 使面团的面筋结构增强, 添加 SPH 使面团面筋网络结构被弱化, 而添加 SPI 后面团与 WF 面团相比变化不大。本文通过测定添加大豆蛋白后馒头的品质指标, 发现馒头的水分和 pH 值随大豆蛋白添加量的增加呈直线增加的趋势, 而馒头比容的变化趋势出现拐点, 且拐点位置不同, 说明添加不同种类的大豆蛋白对馒头比容影响较大。本文选取馒头比容最大时的大豆蛋白的添加量, 研究大豆蛋白对馒头品质的影响。

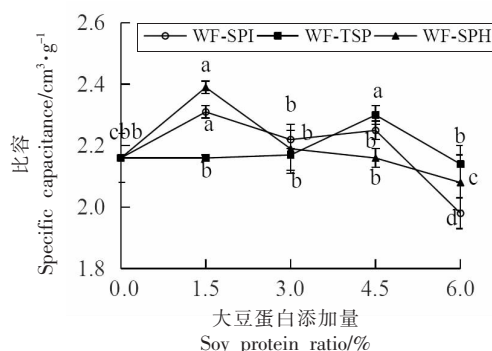


图 5 大豆蛋白添加量对馒头比容的影响

Fig.5 Effect of soy protein ratio on the specific capacitance of the steamed bread

2.6 大豆蛋白对面粉粉质特性和面团拉伸特性的影响

由表 1 可看出 WF-1.5%SPI 面团和 WF-4.5%TSP 面团的吸水率大于 WF 面团的吸水率, 而 WF-1.5%SPH 面团的吸水率小于 WF 面团的吸水率。左贯杰等^[31]研究也表明添加 SPH 后面团的吸水率、形成时间和稳定时间小于 WF 面团。混合粉吸水率的变化是馒头水分变化的原因 (和面过程加水量是混合粉粉质吸水率的 78%)。除面粉的吸水率外, 其它粉质参数测定结果也显示出较大差异。WF-1.5%SPI 面团和 WF-4.5%TSP 面团与 WF 面团相比, 形成时间和稳定时间增大, 弱化度降低, 说明 WF-1.5%SPI 面团和 WF-4.5%TSP 面团的稳定性上升, 更耐搅拌。WF-1.5%SPH 面团的形成时间和稳定时间比 WF 面团显著减小, 面团硬度降低、不耐搅拌。Schmiele 等^[32]研究表明: SPH 通过改变氢键和疏水性相互作用以及共价键相互作用, 影响面筋网络水合过程, 使面筋网络结构弱化, 面团稳定时间减小。

表 1 大豆蛋白对面粉粉质特性的影响

Table 1 Effects of soy proteins on the farinographical properties of flour

项目	吸水率/%	面团形成时间/min	面团稳定时间/min	弱化度/FU	评价值
WF	61.15 ± 0.07 ^b	3.65 ± 0.51 ^a	7.99 ± 0.64 ^c	52.50 ± 0.71 ^b	126.50 ± 3.54 ^a
WF-1.5%SPI	61.40 ± 0.14 ^{ab}	3.74 ± 0.39 ^a	10.40 ± 0.04 ^a	40.00 ± 4.07 ^c	124.5 ± 0.00 ^a
WF-4.5%TSP	62.35 ± 0.24 ^a	3.95 ± 0.58 ^a	9.03 ± 0.23 ^b	51.00 ± 1.41 ^b	107.00 ± 7.07 ^b
WF-1.5%SPH	57.30 ± 0.01 ^c	1.35 ± 0.07 ^b	2.05 ± 0.02 ^d	261.00 ± 12.00 ^a	41.33 ± 2.40 ^c

注: 同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

如表1粉质测定结果所示,WF-1.5%SPH面团的稳定时间小于5 min,不能进行拉伸测定。由图6可知,随着醒发时间的延长,面团的最大拉伸阻力逐渐增大。同一醒发时间下,WF-1.5%SPI面团和WF-4.5%TSP面团的拉伸阻力大于WF面团,延展度和拉伸面积小于WF面团。面团的

拉伸阻力与面团中结合水的比例有关,结合水比例越高的面团在拉伸测定时因润滑作用不足,使得最大拉伸阻力增大^[26]。醇溶蛋白主要赋予面团延展性,延展度下降可能是面团中醇溶蛋白含量降低导致的^[33]。

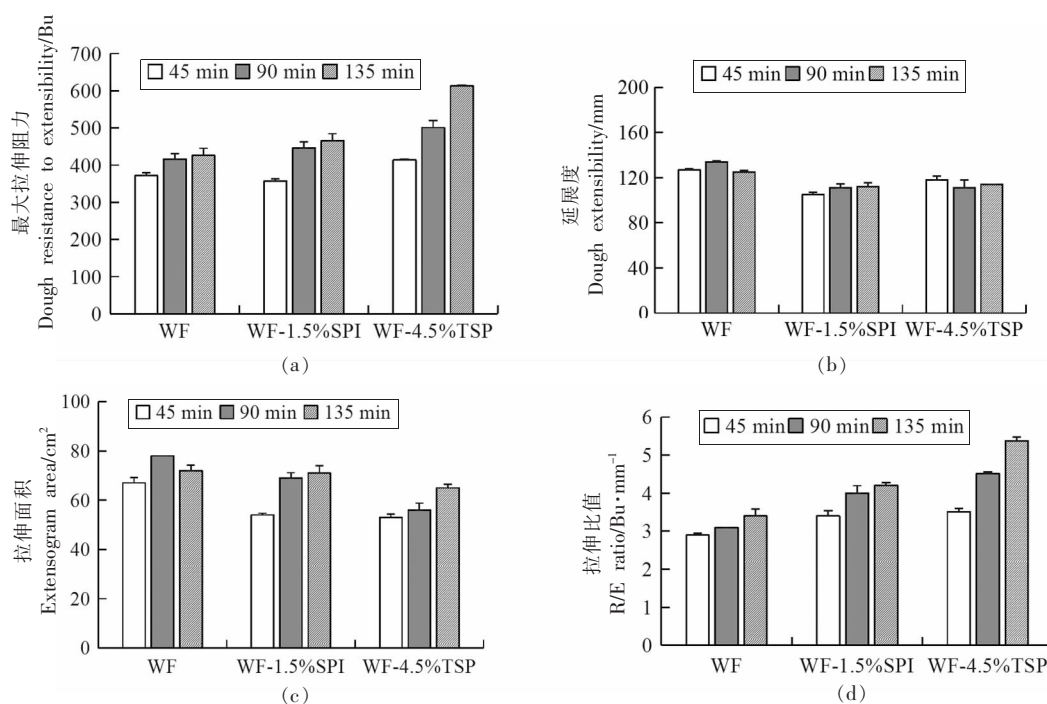


图6 大豆蛋白对面团拉伸特性的影响

Fig.6 Effects of soy proteins on tensile properties of dough

2.7 大豆蛋白对面团面筋特性的影响

由表2可知,WF-1.5%SPI、WF-4.5%TSP面团的干湿面筋得率及面筋指数升高,而WF-1.5%SPH面团无面筋洗出,结合前文所述面粉粉质特性测定(表1)的结果分析,发现WF-1.5%SPI面团和WF-4.5%TSP面团相比WF面团来说稳定时间延长,这说明SPI、TSP与面筋蛋白之间存在相互作用,部分SPI、TSP可能通过S-S和分子间作用

力与面筋蛋白相互作用,形成新的面筋大分子聚合物^[13],使干、湿面筋得率及面筋指数升高。此结果中SPI对面团面筋特性的影响与Zhang等^[34]的研究结果不同,这可能是由大豆蛋白添加量不同导致。Zhang等^[34]的研究中SPI的添加量为6%。有研究表明少量添加SPI有助于面筋网络结构的增强^[1],面筋指数升高。

表2 大豆蛋白对面团面筋特性的影响

Table 2 Effects of soy proteins on gluten properties of dough

面筋特性	湿面筋得率/%	面筋指数	干面筋得率/%
WF	28.75 ± 0.17 ^c	73.37 ± 1.47 ^c	9.65 ± 0.34 ^b
WF-1.5%SPI	29.67 ± 0.25 ^b	77.22 ± 2.88 ^b	9.73 ± 0.15 ^b
WF-4.5%TSP	31.4 ± 1.09 ^a	80.16 ± 1.39 ^a	11.87 ± 0.38 ^a
WF-1.5%SPH	-	-	-

注:同列不同肩标字母表示差异显著($P < 0.05$),“-”表示未洗出面筋。

2.8 大豆蛋白对面团发酵特性的影响

由表 3 可知,WF-1.5%SPI 面团、WF-4.5%TSP 面团和 WF-1.5%SPH 面团发酵后保留的气体体积(V_r)大于 WF 面团,保留气体体积排序依次为 WF-1.5%SPH、WF-1.5%SPI、WF-4.5%TSP、WF,该条件下馒头比容分别为 2.39、2.36、2.30、2.16,说明面团发酵后保留气体体积越大,馒头体积就越大^[35]。不同种类的大豆蛋白对面团发酵特性的影响差异较大,WF-1.5%SPI 面团和 WF-1.5%SPH 面团的持气性(R_c)大于 WF 面团,WF-

1.5%SPH 面团的持气性小于 WF 面团,结合前面面团的面筋特性测定(表 2)的结果分析,面团的持气性与面团中面筋指数呈正相关关系。SPH 为酵母提供一定的氮源^[2],促进发酵的进行。WF-1.5%SPH 面团发酵产生气体总体积最大,即使持气性显著下降导致发酵过程中泄漏了更多的气体^[32],气体保留体积也仍是最大,这是 WF-1.5%SPH 馒头的比容大于 WF-1.5%SPI 馒头、WF-4.5%TSP 馒头和 WF 馒头的主要原因。

表 3 大豆蛋白对面团发酵特性的影响

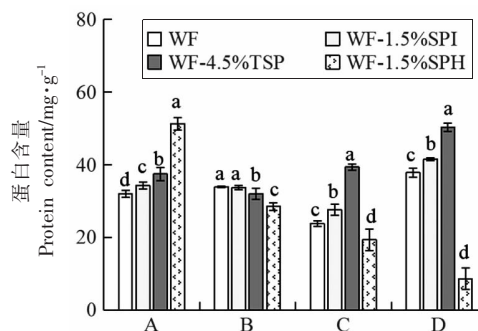
Table 3 Effects of soy proteins on fermentation characteristics of dough

组别	最大发酵高度 (Hm)/mm	气体释放最大 高度(H'm)/mm	气体达到最高 度时间(Tx)/min	发酵产气总体 积(Vt)/mL	面团保留气体 体积(Vr)/mL	持气性(R_c)/%
WF	30.50 ± 1.41 ^a	88.40 ± 2.5 ^c	23.00 ± 1.41 ^b	1651 ± 36.77 ^b	1071 ± 28.99 ^b	64.94 ± 3.20 ^c
WF-1.5%SPI	21.35 ± 2.05 ^d	90.40 ± 3.39 ^a	22.30 ± 0.00 ^b	1638 ± 57.98 ^c	1143 ± 26.16 ^c	69.70 ± 0.85 ^b
WF-4.5%TSP	25.35 ± 2.33 ^b	78.10 ± 5.66 ^d	25.30 ± 1.49 ^a	1553 ± 31.82 ^d	1100 ± 2.83 ^d	72.20 ± 1.56 ^a
WF-1.5%SPH	24.60 ± 1.13 ^c	89.30 ± 0.99 ^b	23.80 ± 2.38 ^{ab}	2045 ± 16.97 ^a	1286 ± 41.01 ^a	62.40 ± 3.25 ^d

注:同列不同肩标字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.9 大豆蛋白对发酵面团蛋白组分的影响

由图 7 可知,WF-1.5%SPI 发酵面团、WF-4.5%TSP 发酵面团和 WF-1.5%SPH 发酵面团中盐溶蛋白含量显著高于 WF 发酵面团,这是因为大豆蛋白中 90%都是球蛋白^[36],易溶于盐溶液。WF-1.5%SPH 发酵面团中盐溶蛋白含量增加最多,其次是 WF-4.5%TSP 发酵面团,最后是 WF-1.5%SPI 发酵面团。WF-4.5%TSP 发酵面团和 WF-1.5%SPH 发酵面团中醇溶蛋白含量显著低于 WF 发酵面团,WF-1.5%SPI 发酵面团与 WF 发酵面团相比醇溶蛋白含量的变化不具有显著性。醇溶蛋白主要赋予面团延展性,面团中醇溶蛋白含量减小,面团延展性降低^[25],这与拉伸测定结果(图 6b)一致。WF-1.5%SPI 发酵面团和 WF-4.5%TSP 发酵面团中的 SDS 可溶性蛋白含量相比 WF 发酵面团升高,WF-4.5%TSP 发酵面团相比其它 3 种发酵面团来说,SDS 可溶性麦谷蛋白含量最高。Perez 等^[37]研究发现,SPI 和麦谷蛋白会通过 S-S 相互作用,使得面团中 SDS 可溶性麦谷蛋白含量明显增加。SDS 可溶性麦谷蛋白呈纤维状,具有较强的弹性^[38],其相对含量越高面团弹性性能越好。Guo 等^[39]研究发现,面团弹性的增加可使面包体积



注:A:盐溶蛋白;B:醇溶蛋白;C:SDS 可溶性麦谷蛋白;D:GMP。

图 7 大豆蛋白对发酵面团蛋白组分的影响

Fig.7 Effects of soy proteins on protein components of fermented dough

增大,然而,面团弹性过大会阻碍发酵过程中发酵气体的释放,在发酵特性测定中 WF-4.5%TSP 面团的发酵释放气体总体积不是最大。4 种发酵面团中 SDS 可溶性麦谷蛋白含量与图 1 馒头弹性排序一致,依次为 WF-4.5%TSP、WF-1.5%SPI、WF、WF-1.5%SPH。Zhu 等^[40]研究发现谷蛋白含量变化影响馒头的质地,面团中谷蛋白含量越高蛋白质网络结构越稳定,面团在发酵过程中产生的气孔增多,体积增大,使馒头的弹性有所提高;此外,蒸

制过程中谷蛋白含量增加,将加强面筋网络和直链淀粉分子之间的交联,使明胶化的淀粉颗粒完全被谷蛋白包裹,从而提高馒头的保水能力。Aisikaer等^[41]将米酒沉淀物加到面粉中制成馒头,研究发现降低了发酵面团中谷蛋白的含量,使馒头的硬度增大,弹性减小,从侧面说明谷蛋白含量增加对馒头的弹性具有积极的影响。WF-1.5%SPI发酵面团和WF-4.5%TSP发酵面团中GMP含量相比WF发酵面团升高,TSP经改性后分子量增大,溶解性降低,可能形成不溶性聚集体与麦谷蛋白大聚体共沉,导致GMP含量的升高^[42]。WF-1.5%SPH发酵面团中GMP含量比WF发酵面团低,在面筋特性测定时WF-1.5%SPH面团无面筋洗出,这是因为SPH是大豆分离蛋白通过酶水解得来,分子量较小,易溶于水,洗面筋时更容易通过滤网流失^[19]。这与蛋白组分测定(图7)中WF-1.5%SPH发酵面团中盐溶蛋白含量明显大于WF发酵面团的结果相符。刘锐等^[43]研究了贮藏蛋白组分与馒头质量的关系,结果表明GMP含量与馒头光滑度呈显著负相关,这是馒头感官评价中添加SPI、TSP后外观评分降低的原因之一。

3 结论

馒头的比容、水分含量、感官评分以及质构特性是评价馒头品质的主要指标。当3种大豆蛋白的添加量分别小于6.0%时,WF-SPI馒头和WF-TSP馒头与WF馒头相比比容更大,弹性更好。分别添加1.5%SPI和4.5%TSP后,面团的干、湿面筋得率升高,持气性增强;添加1.5%SPH的面团无面筋洗出,面团的持气性变差,而WF-1.5%SPH馒头的比容比WF馒头大。分别添加1.5%SPI和4.5%TSP后面团的吸水率、SDS可溶性麦谷蛋白含量和GMP含量升高,馒头的水分含量升高。添加1.5%SPH后面团吸水率、GMP含量显著降低,并且无面筋洗出,馒头水分显著降低。综上,大豆蛋白通过与面筋蛋白相互作用,改变面团的流变学特性和蛋白质各组分含量,引起馒头品质发生改变。

参 考 文 献

[1] 吕婷,李秀花,孔维凤,等.大豆粉-平菇粉-麦粉

为基料的面条配方优化[J].食品工业科技,2021,42(9):154-159.

LÜ W, LI X H, KONG W F, et al. Soybean powder - mushroom powder - wheat flour for the base of the noodle formula optimization[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(9): 154-159.

[2] LI W W, CAO W H, WANG P, et al. Selectively hydrolyzed soy protein as an efficient quality improver for steamed bread and its influence on dough components [J]. Food Chemistry, 2021, 359 (10): 129926.

[3] 朱秀清,杨宏哲,孙冰玉,等.挤压膨化对大豆蛋白结构及协同酶解对其乳化特性影响研究进展[J].粮食与油脂,2021,34(2):1-4.

ZHU X Q, YANG H Z, SUN B Y, et al. The study progress of extrusion puffing on soybean protein structure and coenzyme solution on its emulsification properties[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(2): 1-4.

[4] 王雅卉,刑霁云,徐靖婷,等.高温热处理对大豆蛋白消化利用效果的影响[J].食品科学,2019,40(15):92-99.

WANG Y H, XING Q Y, XU J T, et al. Effect of high temperature heat treatment on the digestion and utilization of soybean protein[J]. Food Science, 2019, 40(15): 92-99.

[5] 杜振亚,刘少博,陈复生.湿法挤压大豆蛋白对馒头品质的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2016,37(6):34-38.

DU Z Y, LIU S B, CHEN F S. Effect of wet squeeze soybean protein on the quality of the hoe[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2016, 37(6): 34-38.

[6] DU Z Y, CHEN F S, LIU K L, et al. Effects of extruded soy protein on the quality of Chinese steamed bread[J]. Journal of Chemistry, 2016, 2016(1): 3691523.

[7] FANG Y Q, ZHANG B, WEI Y M. Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high - moisture extrusion cooking[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 121(1): 32-38.

[8] GUO X F, SUN X H, ZHAN Y Y, et al. Interactions between soy protein hydrolyzates and wheat proteins in noodle making dough[J]. Food Chemistry, 2018, 245(15): 500-507.

- [9] 黎芳, 滕文韶, 刘野, 等. 3种功能性蛋白对淀粉-面筋重组面团流变学特性及馒头品质的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(3): 103-111.
LI F, TENG W X, LIU Y, et al. 3 Functional proteins on the rheumatic properties of starch-gluten recombinant dough and the quality of the hoe [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(3): 103-111.
- [10] 黄桂东, 黄伟志, 冯结铎, 等. 冻藏时间对冷冻面团馒头品质的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(8): 44-51.
HUANG G D, HUANG W Z, FENG J X, et al. Effect of frozen dough steaming time on the quality of frozen dough hoe [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(8): 44-51.
- [11] XIAO S, WANG S Y, RAO P F, et al. Preparation of Chinese steamed bread with good water-binding capacity and emulsibility[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2014, 38(3): 1289-1297.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 小麦粉馒头: GB/T 21118-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 4-6.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Chinese steamed bread made of wheat flour; GB/T 21118-2007 [S]. Beijing: China Standards Press, 2007: 4-6.
- [13] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法: GB/T 14614-2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019: 1-2.
State Administration of Market Supervision, Standardization Administration of the People's Republic of China. Inspection of grain and oils-Doughs rheological properties determination of wheat flour-Farinograph test; GB/T 14614-2019 [S]. Beijing: China Standards Press, 2019: 1-2.
- [14] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 拉伸仪法: GB/T 14615-2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019: 1-6.
State Administration of Market Supervision, Standardization Administration of the People's Republic of China. Inspection of grain and oils-Doughs rheological properties determination of wheat flour-Extensograph test; GB/T 14615-2019[S]. Beijing: China Standards Press, 2019: 1-6.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 小麦和小麦粉 面筋含量 第2部分: 仪器法测定湿面筋: GB/T 5506.2-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-3.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Wheat and wheat flour-Gluten content-Part 2: Determination of wet gluten by mechanical means; GB/T 5506.2-2008 [S]. Beijing: China Standards Press, 2008: 1-3.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 小麦和小麦粉 面筋含量 第4部分: 快速干燥法测定干面筋: GB/T 5506.4-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-3.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Wheat and wheat flour-Gluten content-Part 4: Determination of dry gluten from wet gluten by a rapid drying method; GB/T 5506.4-2008[S]. Beijing: China Standards Press, 2008: 1-3.
- [17] 中华人民共和国国内贸易部. 小麦粉湿面筋质量测定法-面筋指数法: LS/T 6102-1995[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995: 1-3.
People's Republic of China (PRC) domestic Manchu trade department. Method for the Determination of Wet Gluten Quality in Wheat Flour-Gluten Index; LS/T 6102-1995[S]. Beijing: China Standards Press, 1995: 1-3.
- [18] 雷雅男, 谢东东, 谢岩黎, 等. 麦麸改性后营养成分变化及对发酵面团品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2020, 41(2): 50-57.
LEI Y N, XIE D D, XIE Y L, et al. Changes in nutrients after wheat bran modification and its effect on the quality of fermented dough [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 41(2): 50-57.
- [19] 石长硕, 张明, 赵方圆, 等. 大豆蛋白对小麦面筋蛋白特性的影响研究[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(19): 174-179.
SHI C S, ZHANG M, ZHAO F Y, et al. Study on the effect of soybean protein on the characteristics of wheat gluten protein [J]. Food and Fermentation

- Industry, 2021, 47(19): 174-179.
- [20] 高雪丽, 陈复生, 张丽芬, 等. 大豆 7S 和 11S 球蛋白对面团特性及馒头品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(10): 13-18.
- GAO X L, CHEN F S, ZHANG L F, et al. Effects of the group characteristics opposite the soybean 7S and 11S globulin and the quality of the hoe[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(10): 13-18.
- [21] 李婷, 李双, 周小玲, 等. 1BL/1RS 易位小麦面筋蛋白的分离重组及其面条品质研究[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(5): 71-77.
- LI W, LI S, ZHOU X L, et al. 1BL/1RS translocation wheat gluten protein separation recombination and noodle quality research[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(5): 71-77.
- [22] 孙祥祥, 王远辉, 姚洁琼, 等. 米酒老面发酵工艺对馒头品质的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(1): 135-142.
- SUN X X, WANG Y H, YAO J Q, et al. The influence of rice wine old -faced fermentation process on the quality of shantou[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(1): 135-142.
- [23] 郭兴凤, 阎欣, 王瑞红, 等. 大豆分离蛋白与大豆蛋白酶水解产物复配对面条品质的影响[J]. 中国油脂, 2019, 44(2): 153-157.
- GUO X F, YAN X, WANG R H, et al. Effects of soybean isolate protein and soybean protease hydrolysis products on the quality of noodles[J]. China Oil and Fats, 2019, 44(2): 153-157.
- [24] LIU X, LI T, LIU B, et al. An external addition of soy protein isolate hydrolysate to sourdough as a new strategy to improve the quality of Chinese steamed bread[J]. Journal of Food Quality, 2015, 39(1): 3-12.
- [25] 张莹莹, 石长硕, 王瑞红, 等. SPI 与 SPH 及其复配产物对面团特性和面条品质的影响机制[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 46-51, 57.
- ZHANG Y Y, SHI C S, WANG R H, et al. The mechanism of influence of the group characteristics and noodle quality opposite SPH and its compound products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(3): 46-51, 57.
- [26] ROCCIA P, RIBOTTA P D, PEREZ G T, et al. Influence of soy protein on rheological properties and water retention capacity of the at gluten [J]. LWT -Food Science and Technology, 2009, 42, (1): 358-362.
- [27] 周小玲, 李娜, 张冬生. 高温高湿处理对小麦中蛋白质性质的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 7-13.
- ZHOU X L, LI N, ZHANG D S. Effect of high temperature and high humidity treatment on protein properties in wheat[J]. Food & Machinery, 2021, 37(7): 7-13.
- [28] 孝英达, 吴凤凤, 王沛, 等. 冷藏对面团发酵及面包品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(7): 679-687.
- XIAO Y D, WU F F, WANG P, et al. Refrigerate opposite the group fermentation and the impact of bread quality [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2018, 37(7): 679-687.
- [29] LIU X, LI T, LIU B, et al. An external addition of soy protein isolate hydrolysate to sourdough as a new strategy to improve the quality of Chinese steamed bread [J]. Journal of Food Quality, 2015, 39(1): 3-12.
- [30] EDUARDA M, BAINY M C, VAINO P, et al. Assessment of the effects of soy protein isolates with different protein compositions on gluten thermosetting gelation[J]. Food Research International, 2010, 43: 1684-1691.
- [31] 左贯杰, 杜振亚, 陈复生, 等. 酶解大豆分离蛋白对馒头品质的影响规律研究[J]. 食品科技, 2017, 42(4): 128-133.
- ZUO G J, DU Z Y, CHEN F S, et al. Study on the effect of enzyme-disassembly soy protein on the quality of the hoe[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(4): 128-133.
- [32] SCHMIELE M, ARAUJO T L, GURGUEIRA M D, et al. Determination of the concentration of different solvents systems in the protein solubilization of meat analogue[J]. Ciencia Rural, 2015, 45(6): 1120-1125.
- [33] WANG X L, ZHANG X K, MA W J, et al. Solubility variation of wheat dough proteins: A practical way to track protein behaviors in dough processing [J]. Food Chemistry, 2020, 312: 126038.
- [34] 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.

- [35] 梁强, 姚英政, 熊伟, 等. 亲水胶体对马铃薯-小麦面团粉质和发酵特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(11): 188-193.
LIANG Q, YAO Y Z, XIONG W, et al. Effects of hydrophilic colloids on potato-wheat dough powder and fermentation properties[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(11): 188-193.
- [36] WANG P, CHEN H, MOHANAD B, et al. Effect of frozen storage on physico-chemistry of wheat gluten proteins: Studies on gluten-, glutenin- and gliadin-rich fractions[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 39(1): 187-194.
- [37] PEREZ G T, RRBOTTA P D, STEFFOLANI M E, et al. Effect of soybean proteins on gluten depolymerization during mixing and resting[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88(3): 455-463.
- [38] 潘治利, 邢仕敏, 张秀玲, 等. 反复冻融对麦谷蛋白结构及其功能性质的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(9): 47-53.
PAN Z L, XING S M, ZHANG X L, et al. Effects of repeated freezing and thawing on the structure of wheat gluten and its functional properties[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(9): 47-53.
- [39] GUO X N, YANG S, ZHU K. Influences of alkali on the quality and protein polymerization of buckwheat Chinese steamed bread [J]. Food Chemistry, 2019, 283(15): 52-58.
- [40] ZHU Y, XIONG W F, WANG L F, et al. Insight into the effect of gluten-starch ratio on the properties of Chinese steamed bread (Mantou)[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 163(15): 1821-1827.
- [41] AISIKAER A, LIU S, LI X, et al. Effect of Chinese rice wine sludge on the production of Chinese steamed buns [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(4): 363-368.
- [42] KRISTIAWAN M, MICARD V, MAIADIRA P, et al. Multi-scale structural changes of starch and proteins during pea flour extrusion[J]. Food Research International, 2018, 108: 203-215.
- [43] 刘锐, 魏益民, 张影全, 等. 谷蛋白大聚体在小麦加工中的作用[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(1): 119-122, 128.
LIU R, WEI Y M, ZHANG Y Q, et al. The role of gluten polymers in wheat processing[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(1): 119-122, 128.

Effect of Soy Protein Isolate and Its Modified Products on Steamed Bread Quality

Dong Mengfei¹, Guo Xingfeng^{1*}, Zhang Ming², Zhao Shuchao³, Zhao Fangyuan¹, Lin Fengyan²

¹College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450000

²Jining Machinery Design and Research Institute, Jining 272100, Shandong

³Shandong Kesida Machinery Manufacturing Co., Ltd., Jining 272100, Shandong)

Abstract In order to research the effect of soy protein and its modified products on the quality of steamed bread, soybean proteins were added into flour in different ratio, texture properties, sensory evaluating value and physicochemical properties of the steamed bread, and the properties of flour and dough were determined. The results showed that dough development time and dough stability increased by 2.5 min after adding 1.5%, and that of adding 4.5% TSP dough increased by 1 min, but decreased by about 6 min after adding 1.5% SPH. After adding and 4.5% TSP, the gluten index and the air-holding capacity of the dough increased by 2.22%, but the air-holding capacity decreased after adding 1.5% SPH. Adding 1.5% SPI and 4.5% TSP could increase the contents of SDS soluble glutenin and glutelin macropolymer (GMP), and improve the springiness and moisture content of steamed bread. However, adding 1.5% SPH reduced the contents of SDS soluble glutenin and GMP, and decreased the springiness of steamed bread. Conclusion: by studying the quality of steamed bread, it is found that the quality of steamed bread is the best when the addition of SPI, TSP and SPH is 1.5%, 4.5% and 1.5% respectively. Through the study on the optimum amount of mixed flour of each soy protein, it is found that different kinds of soy protein have different effects on the quality of steamed bread.

Keywords steamed bread; rheological properties; protein components