

大米蛋白水解物对面团特性及酥性饼干品质变化的影响

刘天, 柴清天, 童慕贤, 张久田, 马亚楠, 姚雨辰, 范晓婕, 余振宇*, 王乃富*

(安徽农业大学茶与食品科技学院, 农业农村部江淮农产品精深加工与资源利用重点实验室, 安徽省农产品加工工程实验室, 安徽合肥 230036)

摘要: 大米蛋白经水解后产生的多肽和氨基酸具有极高的营养价值和功能性, 为充分利用大米蛋白, 比较研究大米蛋白及其水解物其与小麦粉混合后互相作用的性质及制备的饼干品质。将不同添加量的大米蛋白粉(大米水解蛋白 RPH、大米蛋白 RP)与小麦粉混合, 探究了其对面团混合特性、面团质构特性、面团拉伸特性、酥性饼干质构与感官特性的影响, 并从自由巯基和二硫键含量等方面进行了结构分析。结果表明, 在相同添加量 2.0 g/100 g 时, 添加 RPH 稳定时间为 2.57 min 显著低于添加 RP 面团 3.05 min。自由巯基和二硫键的分析结果表明, 随着 RPH 和 RP 添加量的增加, 自由巯基分别增加了 0.29、0.17 $\mu\text{mol/g}$, 而二硫键含量相对减少了 0.44、0.36 $\mu\text{mol/g}$, 这表明 RPH 和 RP 均影响了面筋蛋白网络结构。质构与感官特性测定实验表明, 添加 1.0 g RPH 酥性饼干的折断力 (14.15 N) 显著低于添加 RP 饼干的折断力 (20.27 N), 添加 1.5 g RPH 感官评分 (85.67) 最高。综上, 该研究为小麦粉中添加 RPH 和 RP 能够有效提升面团的加工性质和产品质量提供理论依据。

关键词: 大米蛋白水解物; 面团; 酥性饼干; 面筋结构; 最大折断力

文章编号: 1673-9078(2025)02-215-222

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.2.0109

Effect of Rice Protein Hydrolysate on the Dough Properties and Quality of Crispy Crackers

LIU Tian, CHAI Qingtian, TONG Muxian, ZHANG Jiutian, MA Ya'nan, YAO Yuchen,
FAN Xiaojie, YU Zhenyu*, WANG Naifu*

(Key Laboratory of Agricultural Product Fine Processing and Resource Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Anhui Engineering Laboratory for Agro-products Processing, College of Tea & Food Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: The peptides and amino acids produced via the hydrolysis of rice protein are of very high nutritional value and functionality. In order to make full use of rice protein, comparative studies were made to study the interactive nature of

引文格式:
刘天,柴清天,童慕贤,等.大米蛋白水解物对面团特性及酥性饼干品质变化的影响[J].现代食品科技,2025,41(2): 215-222.

LIU Tian, CHAI Qingtian, TONG Muxian, et al. Effect of rice protein hydrolysate on the dough properties and quality of crispy crackers [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(2): 215-222.

收稿日期: 2024-01-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32172162); 安徽农业大学稳定与人才引进项目 (rc352008)

作者简介: 刘天 (2003-), 女, 本科生, 研究方向: 农产品加工, E-mail: liutian12103@163.com

通讯作者: 余振宇 (1992-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 农产品加工、功能性食品, E-mail: yuzhenyuHF@163.com; 共同通讯作者: 王乃富 (1977-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 粮油食品加工, E-mail: naifuwang@163.com

rice protein and its hydrolysates with wheat flour upon mixing and the quality of the resulting crackers. Rice protein powders at different addition amounts (rice protein hydrolysate RPH, rice protein RP) were blended with wheat flour to investigate their effects on the dough mixing properties, dough textural characteristics, dough stretching features, and crackers' textural and sensory properties. Also, structural analyses were carried out from the aspects of free sulfhydryl groups and disulphide bond content. The results showed that at the same addition amount (2.0 g/100 g), the stabilisation time for the dough with the added RPH (2.57 min) was significantly shorter than that with the added RP dough (3.05 min). The analyses of free sulfhydryl groups and disulfide bonds revealed that the free sulfhydryl groups increased by 0.29 and 0.17 $\mu\text{mol/g}$, respectively, with an increase in the addition amount of RPH or RP, whilst the corresponding disulfide bond contents decreased by 0.44 and 0.36 $\mu\text{mol/g}$, respectively, suggesting that both RPH and RP affected the structure of the gluten protein network. The experimental results of textural and sensory measurements showed that the breaking force of the crispy crackers fortified with 1.0 g of RPH (14.15 N) was significantly lower than that of cracker fortified with RP (20.27 N), and the highest sensory score was with the cracker fortified with 1.5 g of RPH (score: 85.67). In conclusion, this study provides a theoretical basis for the addition of RPH or RP to wheat flour to improve effectively the processing properties and product quality of dough.

Key words: rice protein hydrolysate; dough; crisp biscuit; gluten structure; maximum breaking force

大米蛋白是一种天然的优质蛋白，具有低脂肪、低胆固醇、低热量的特点，是一种理想的优质蛋白来源，常从破碎或残米中提取大米蛋白^[1]。大米蛋白被认为具有较高的生物学价值和低致敏性等特点^[2]，研究表明大米蛋白及其水解物释放的一些肽或游离氨基酸能与淀粉形成络合物，从而有助于缓慢淀粉的消化^[3]，可用于生产低 GI 产品。将大米蛋白与其他植物蛋白如豆类植物中的豌豆等结合，并补充钙和一些必需氨基酸，可以获得氨基酸结构完整且平衡良好的新型植物蛋白成分，可以使这些成分的营养价值达到或超过乳制品蛋白质成分的营养价值，这将有利于蛋白质系统和新的食品生产机会，在未来食品发展过程中有着远大的前景^[4]。然而由于大米蛋白二级结构导致的低溶解性，大米蛋白在作为食品成分的使用中一直受到限制^[5]，一般用于制作动物饲料或丢弃，造成大量资源浪费。

在面团和酥性饼干中加入大米蛋白作为减筋剂，不仅能提高大米蛋白的利用率，减少资源的浪费，还能提高产品的营养价值。相较于大米蛋白的低溶解性，大米蛋白水解物的溶解度得到了很好的提升，其功能特性也得到了较好的改善，有利于改善食品的风味和质地^[6]。研究表明，大米蛋白水解物具有很强的生物活性，包括抗诱变、抗心血管疾病、抗菌等^[7]，还具有潜在的抗酒精和保肝活性^[8]。同时大米蛋白水解物有利于提高脂质的氧化稳定性，相较完整的蛋白质具有更高的抗氧化能力^[9]。

在当前，随着饼干品种的日益增多，对其质量要求也越来越高，食品厂多用亚硫酸盐，如亚硫酸

氢钠等化学添加剂来调节面筋膨润度和控制面筋的弹性强度，以改善烘焙产品品质，这引起了很多消费者的担忧。由于生活水平的提高，人们更多追求的是天然、无添加食品。然而，生产饼干和桃酥等低筋度食品时，不可避免使用化学减筋剂，同时，目前关于用天然大米蛋白和米蛋白水解物来替代减筋剂的研究较少。本实验的目的是评价大米蛋白水解物对小麦面团性质与酥性饼干品质的影响。此外，还测定了不同添加量的大米蛋白粉对酥性饼干品质的影响，以确定与饼干性质的相关性，同时为提升烘焙类产品的品质提供可行的数据参考支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大米蛋白（蛋白含量 80 g/100 g，水分含量 4.58 g/100 g），上海鑫泰实业有限公司；大米水解蛋白（蛋白含量 90 g/100 g，水分含量 3.37 g/100 g），上海鑫泰实业有限公司；低筋小麦粉（蛋白含量 8.8 g/100 g，淀粉含量 72 g/100 g，水分含量 11.27 g/100 g），安琪食品有限公司；食用臭粉，河南万邦化工科技有限公司。

DSC 8000 差示扫描量热仪，美国 PerkinElmer 公司；TA 质构仪，英国 Stable Micro Systems 公司；Nicolet 6700 型傅里叶变换红外光谱，美国 Thermol Nicolet 公司；紫外分光光度计，美国 PerkinElmer 公司。

表 1 酥性饼干感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation criteria for biscuits

项目	标准		
	15~25 分	7~14 分	0~6 分
形态	外观完整、厚度一致、表面精致、不变形、不起泡	外观基本完好，厚度基本上一致，变形小，无气泡	外形略不完整，厚薄较均匀，变形较小，没有大气泡
组织结构	组织精细，横截面上的气孔分布均匀，纹理清晰	组织精细，横截面上的气孔分布比较均匀，层次比较清晰	横截面上有较大的孔洞，纹理清晰，组织稍厚
口感	口感酥脆，细致，不粘牙	口感较酥脆，无沙质感，有一点粘性	口感不太酥脆，有沙质感，更有粘性
色泽	颜色一致，没有明显的焦边，颜色为褐色或金色	颜色基本均匀，存在少许的焦边	颜色分布不均匀，存在大部分的焦边

1.2 试验方法

1.2.1 大米蛋白水解物水解度的测定

参照 Klost 等^[10]的方法对大米蛋白水解物的水解度进行测定，使用 PH-stat 方法，将样品在 75 °C 下加热 30 min，然后放在凉水中冷却至室温（约 20 min），然后冻干来停止水解，之后进行水解度的测定。

1.2.2 混合粉热机械学特性的测定

参考张纷等^[11]的方法， C_1 扭矩在 1.1 N·m 范围，设定初始温度 30 °C 恒温 8 min，然后升温至 90 °C，且保持 7 min，最后降温至 50 °C。最终记录面团的吸水率、面团形成时间、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 值。

1.2.3 面团及酥性饼干的制备

参考 Ujong 等^[12]的饼干制作方法并稍修改：将大米蛋白粉（RPH、RP）分别按质量分数为 0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5% 的比例与小麦粉制成大米蛋白-小麦粉混粉。在 200 g 混合粉中，加入 50 g 起酥油、30 g 白糖、2 g 食盐、1 g 小苏打、64 g 水和 0.4 g 臭粉，混匀后倒入和面机，在转速 650 r/min 下搅拌 2 min，制得饼干面团。

将饼干面团密封，室温醒发 5 min。饼干面团置于压片机中，经过两次反复压片制得 1 mm 厚度的饼干面片。将饼干面片用长方形饼干模具压制成形后，在预热至 140 °C 的风箱中上下火烤制 8 min 取出。待风箱温度达 180 °C，将饼干放入风箱烤制 5 min 上色，完成烤制。室温冷却后得到饼干样品。

1.2.4 混合面团质构分析

将 1.2.3 制备的面团包上保鲜膜置于室温下平衡 10 min，使用 P36R 探头，在 TPA 模式下对面团的硬度进行测定。测试条件为：测前 2.0 mm/s、测中 1.0 mm/s，测后 1.0 mm/s，触发力为 5 g，压缩程

度为原始样品的 30%。

1.2.5 面团拉伸特性的测定

本实验参考 Londono 等^[13]的方法进行面团拉伸特性的测定。将 1.2.3 中制得的面团在室温下放松 10 min 后，用手将面团均匀，并置于两个涂了油的凹槽之间压成面团条。在 24 °C 和恒定相对湿度的条件下，将面团条放入塑料容器的凹槽底座放松 40 min 后取出测定。测试条件为：测前 2.0 mm/s，测中 2.0 mm/s，测后 10 mm/s；拉伸距离为 75 mm。

1.2.6 自由巯基和二硫键分析

参考 Wang 等^[14]方法进行自由巯基和二硫键含量的测定。

1.2.7 最大折断力测定

参考 Adedara 等^[15]的方法稍加改动测定酥性饼干最大折断力。测试条件为：测前 1.00 mm/s，测中 0.30 mm/s，测后 10.00 mm/s。

1.2.8 感官评价

随机抽取 10 名食品专业人员按照表 1 感官评价标准进行评分。

1.3 数据分析

所有实验均做 3 次以上独立平行实验。所有实验结果采用平均值 ± 标准差，本研究实验数据以 SPSS 为分析工具，运用 Origin 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 大米蛋白水解物水解度分析

由表 2 可见，大米蛋白经复合蛋白酶分别水解 1、2 h 后，水解度分别达到 12.56% 和 17.44%，由此可见，水解时间越长，水解度越高，而水解程度也决

定着产品的质量。张敏^[16]研究指出,在淀粉凝胶中添加水解度较高的蛋白,表现出一个较柔软的质地,并且在储藏期间,凝胶也呈现出较低的硬度,这表明水解度越高的蛋白可以有效的抑制淀粉的回生。

表 2 大米蛋白水解物的水解度

Table 2 Degree of hydrolysis of rice protein hydrolysates

水解时间/h	水解度/%
1	12.56 ± 0.61
2	17.44 ± 0.14

2.2 RPH对混合面团机械热力学特性的影响

由表 3 可见,与空白相比,由于大米蛋白和小米水解蛋白本身所具有的吸水能力较小麦粉面筋蛋白吸水性强,所以添加 RPH 和 RP 面团的吸水率都呈现上升的趋势。而面团在 Mioxlab 混合期间的形成时间和稳定时间都在一定程度上反应了面团的耐揉性和面筋强度。由表可见,随着 RPH 和 RP 添加量的提升,面团的形成时间有所提升而稳定时间都有所降低,这可能是因为 RPH 和 RP 的添加隔绝了面筋蛋白质之间的相互作用,从而在一定程度上延缓了面筋基质的形成。当同样的 RPH 和 RP 的用

量下,加入 RPH 能明显延长面团的成型和稳定性 ($P < 0.05$),这是因为大米蛋白经水解后提升了与小麦粉中的淀粉竞争水分的能力,从而使得面团成熟时间增加^[17]。同时,也表明当 RPH 按照一定的添加比例与小麦粉混合时,随着面团在形成过程中温度的提升,面团的稳定越好。这是因为在面团混合过程中,打破 RPH 的隔绝效应持续生成新的面筋速率高于正常面筋断裂的速率^[18]。

C_2 值表示面团在受到机械应力和加热过程中的蛋白质弱化作用^[19],而添加 RPH 和 RP 的 C_2 值都随着添加量的增大而降低,表明这两种物质都能抑制面团中面筋的形成,高雪丽等^[20]也研究发现,随着大豆分离蛋白的添加,湿面筋含量逐渐下降,抑制了面筋网络的形成。同时,添加 RPH 和 RP 与空白相比,总体降低了 C_3 淀粉糊化速率值,这是因为 RPH 和 RP 在与面团混合时,与面团中的淀粉竞争自由水,从而导致淀粉溶胀所需要的水分减少,致使淀粉糊化值降低^[20]。 C_5 - C_4 值反应淀粉的回生程度,结果表明,加入 RPH 和 RP 这两种蛋白均能减缓面团在糊化后降温过程中的淀粉的回生,并且能够延缓曲奇及其他制品饼干在储藏过程中的老化程度。

表 3 RPH和RP对小麦粉混合特性的影响

Table 3 Effect of RPH and RP on mixing characteristics of wheat flour

添加量质量分数/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	C_2 /Nm	C_3 /Nm	C_5 - C_4 /Nm
空白	57.50 ± 0.10 ^j	1.40 ± 0.21 ^j	2.80 ± 0.13 ^{ef}	0.35 ± 0.01 ^{ab}	2.56 ± 0.03 ^{bc}	1.63 ± 0.03 ^a
0.5 RP	60.00 ± 0.20 ^h	1.38 ± 0.39 ^j	2.83 ± 0.17 ^e	0.38 ± 0.03 ^a	2.63 ± 0.06 ^a	1.47 ± 0.02 ^b
1.0 RP	62.30 ± 0.20 ^g	1.46 ± 0.27 ⁱ	2.85 ± 0.21 ^a	0.37 ± 0.01 ^{ab}	2.60 ± 0.05 ^{ab}	1.35 ± 0.03 ^d
1.5 RP	64.60 ± 0.20 ^d	1.51 ± 0.25 ^h	2.89 ± 0.11 ^d	0.37 ± 0.03 ^{ab}	2.54 ± 0.11 ^{cd}	1.21 ± 0.04 ^f
2.0 RP	67.30 ± 0.10 ^e	1.75 ± 0.37 ^g	3.05 ± 0.16 ^c	0.36 ± 0.02 ^{ab}	2.51 ± 0.01 ^{def}	1.10 ± 0.03 ^g
2.5 RP	68.70 ± 0.10 ^b	1.83 ± 0.31 ^f	3.55 ± 0.20 ^b	0.36 ± 0.04 ^{ab}	2.51 ± 0.06 ^{def}	0.98 ± 0.02 ⁱ
0.5 RPH	69.40 ± 0.20 ^a	5.53 ± 0.42 ^e	2.48 ± 0.31 ⁱ	0.33 ± 0.02 ^{bc}	2.52 ± 0.09 ^{cdc}	1.41 ± 0.02 ^c
1.0 RPH	67.10 ± 0.20 ^e	6.66 ± 0.36 ^d	2.52 ± 0.26 ^{hi}	0.30 ± 0.02 ^{cd}	2.50 ± 0.13 ^{def}	1.30 ± 0.04 ^e
1.5 RPH	64.30 ± 0.20 ^e	6.95 ± 0.23 ^c	2.56 ± 0.17 ^{gh}	0.27 ± 0.01 ^{dc}	2.48 ± 0.10 ^{ef}	1.14 ± 0.04 ^g
2.0 RPH	63.10 ± 0.10 ^f	7.03 ± 0.31 ^b	2.57 ± 0.21 ^g	0.24 ± 0.02 ^c	2.47 ± 0.16 ^f	1.03 ± 0.03 ^h
2.5 RPH	58.70 ± 0.20 ⁱ	7.33 ± 0.46 ^a	3.55 ± 0.20 ^b	0.23 ± 0.03 ^c	2.34 ± 0.03 ^g	0.93 ± 0.02 ^j

注:小写字母不同表示组内差异显著 ($P < 0.05$),大写字母不同表示组间差异显著,下同。

2.3 RPH对小麦面团质构特性的影响

从图 1 可以看出,将 RPH 和 RP 按照不同比例添加到小麦粉中制备面团,对面团的硬度均造成不同程度的影响 ($P < 0.05$)。由图可见,当 RPH 的添加比例按照一定量的增加,而面团的硬度却随之

降低,而添加 RP 面团的硬度却随着添加比例的增大而增加。与空白组相比,RPH 有利于改善小麦面团硬度,RP 不利于改善小麦面团硬度,这与 2.4 的结果相符。Zhang 等^[21]的研究表明,淀粉基产品硬度的增加是淀粉老化最显著的影响之一,而大米蛋

白水解物有利于抑制小麦淀粉老化。这可能是 RPH 改善小麦面团硬度的原因。Zhao 等^[22]的研究表明,适当浓度的 RP 提高了面团的储能和粘弹性,但过量的 RP 会削弱面团的结构强度,这与本实验的结果相似。原因可能是过多的 RP 会降低面团中所含有的面筋蛋白质量,从而影响面团在静置醒发过程中面筋结构的形成,并对蛋白聚合有弱化影响,使增塑面团含量提高,从而增加了面团的硬度。并且 RP 会与面筋蛋白的水竞争结合,导致面筋蛋白结构和硬度的变化^[23]。小麦面团硬度过大,产品的质构和风味也会受到影响,不利于产品优化。

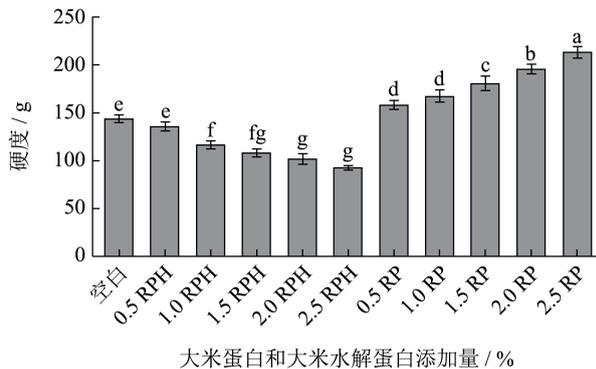


图 1 不同添加量的 RPH 和 RP 对面团硬度的影响

Fig.1 Effect of different additions of RPH and RP on dough hardness

注: 图中小写字母不同表示组内差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示组间差异显著, 下同。

2.4 RPH对小麦面团拉伸特性的影响

由图 2 可见,不同添加量的 RPH 和 RP,小麦面团的拉伸长度均比空白组低,说明这两种物质都能有效地降低面团的面筋网络结构。并且当 RPH 和 RP 的添加量增大,却显示出拉伸长度的降低,说明面团的延伸性下降,其中,添加 RPH 的面团拉伸长度下降更显著。更高的阻力表明面团需要更多的力来拉伸。由图 3 可见,与空白组相比,随着 RPH 添加量的变化,面团的拉伸阻力表现出一个下降的趋势;而面团随着 RP 添加量的变化,拉伸阻力呈现出上升的趋势。($P < 0.05$)。

小麦面团拉伸度与大米蛋白 (RPH、RP) 添加量呈负相关,小麦面团拉伸阻力与 RPH 添加量呈负相关,与 RP 添加量呈正相关。有研究表明,在面团中加入米粉且随着添加量的增大,面筋网络结构逐渐劣化,出现断层结构^[24]。因此推断大米蛋白的加入使小麦粉中面筋蛋白含量下降,降低了小麦面

团面筋网络结构的连续性与稳定性,进而降低小麦面团的拉伸长度。R/E 为拉伸阻力和拉伸长度的比值,比值增大面团就越硬,延伸性也随之降低^[25]。研究表明,面筋/大米淀粉复合材料在揉制过程中发生水化作用,面筋分子通过共价或非共价相互作用发生交联^[26]。因此,推测 RP 可有效增强小麦面团的强度,但面团在受力较大时会断裂。而一定添加量的 RPH 能阻碍面筋的形成,有利于提高饼干的酥性与改善品质。范金磊^[27]的研究发现了相似的结果,即大米蛋白无法像面筋蛋白形成粘弹性网络结构。

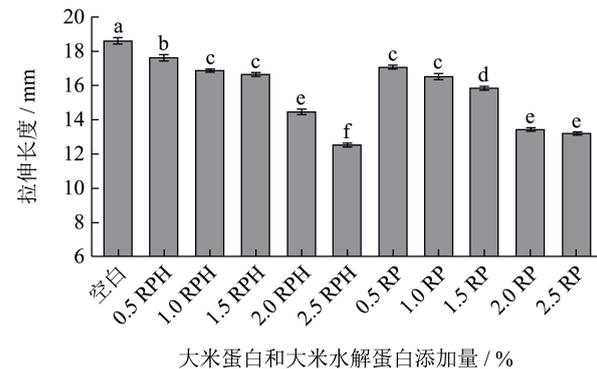


图 2 不同添加量的 RPH 和 RP 对小麦面团拉伸长度的影响

Fig.2 Effect of different additions of RPH and RP on stretch length of wheat dough

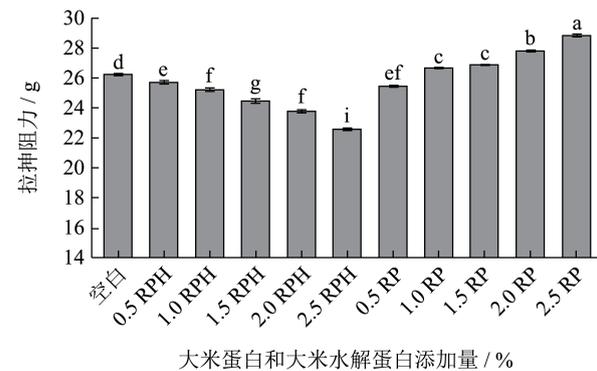


图 3 不同添加量的 RPH 和 RP 对小麦面团拉伸阻力的影响

Fig.3 Effect of different additions of RPH and RP on the tensile resistance of wheat doughs

2.5 RPH对小麦面团自由巯基和二硫键的影响

从表 4 结果可知,当添加不同比例的 RPH 和 RP 时,小麦面团中所含有的游离巯基含量增大,而二硫键的含量显著减小 ($P < 0.05$),但是均大于空白组。当 RPH 和 RP 添加量相同时,RPH 组自由巯基含量上升均大于 RP 组,而 RPH 组二硫键含量下

降趋势大于 RP 组, 表明 RPH 更不利于稳定混合面团筋网络结构的强度, 与前文的结论相符。Wang 等^[28]的研究发现了相似的结果, 加入米糠的面团自由巯基含量增多, 这与米糠中的多酚有关。这也可能与 RPH 和 RP 自带的巯基相关, 添加大米蛋白 (RPH、RP) 使面团中自由巯基含量增加。相较 RP, RPH 蛋白质结构更松散^[29], 因此推断 RPH 对小麦面团自由巯基和二硫键影响更显著。增加大米蛋白 (RPH、RP) 的添加量, 而稳定面团筋结构的二硫键含量显著下降, 高雪丽等^[20]研究发现, 在小麦粉中加入大豆分离蛋白会导致自由巯基含量增大, 二硫键降低, 这与本实验呈现相似的结果。说明 RPH 或 RP 均影响了面筋蛋白网络结构, 有利于改良面团的质构特性, RPH 效果更好。

表 4 RPH和RP对小麦面团自由巯基及二硫键含量的影响
Table 4 Effect of RPH and RP on disulfide and free sulfhydryl contents of wheat dough

样品	自由巯基含量/($\mu\text{mol/g}$)	二硫键含量/($\mu\text{mol/g}$)
空白	$2.37 \pm 0.04^{\text{e}}$	$4.24 \pm 0.22^{\text{c}}$
0.5 RPH	$2.42 \pm 0.05^{\text{f}}$	$4.97 \pm 0.23^{\text{abc}}$
1.0 RPH	$2.51 \pm 0.03^{\text{d}}$	$4.83 \pm 0.19^{\text{bcd}}$
1.5 RPH	$2.59 \pm 0.04^{\text{c}}$	$4.71 \pm 0.23^{\text{bcd}}$
2.0 RPH	$2.65 \pm 0.05^{\text{b}}$	$4.65 \pm 0.26^{\text{cde}}$
2.5 RPH	$2.71 \pm 0.06^{\text{a}}$	$4.53 \pm 0.20^{\text{de}}$
0.5 RP	$2.40 \pm 0.05^{\text{fe}}$	$5.13 \pm 0.23^{\text{ab}}$
1.0 RP	$2.44 \pm 0.06^{\text{ef}}$	$5.04 \pm 0.16^{\text{a}}$
1.5 RP	$2.48 \pm 0.04^{\text{de}}$	$4.93 \pm 0.29^{\text{abc}}$
2.0 RP	$2.56 \pm 0.05^{\text{c}}$	$4.83 \pm 0.19^{\text{bcd}}$
2.5 RP	$2.57 \pm 0.03^{\text{c}}$	$4.77 \pm 0.24^{\text{bcd}}$

2.6 大米蛋白水解物对酥性饼干特性的影响

2.6.1 RPH对酥性饼干最大折断力的影响

由表 5 可见, 不同添加量的大米蛋白 (RPH、RP) 饼干的在最大折断力均表现出明显的下降趋势 ($P < 0.05$), RPH 组最大折断力下降更显著, 感官评分更高。大米蛋白 (RPH、RP) 能降低饼干的硬度, 这与大米蛋白阻碍小麦面团筋形成有关, Mancebo 等^[30]的研究中也表现出相似的结论。在一定添加量内, RPH 和 RP 使酥性饼干最大折断力大于空白组, 这可能是因为大米蛋白的添加量过少使其对面团水分的影响大于对面筋结构的破坏。在感官实验中, 随着 RPH 用量的增大, 饼干的感官品

质呈现出先增后减的变化, 当 RPH 含量为 1.5 g 时达到最高值。RPH 添加量较少, 面团中面筋蛋白含量多, 导致产品不够酥脆; RPH 添加量过多, 面团筋结构被破坏程度大, 使产品过度酥脆。同时, 与未添加外源蛋白的空白组相比, 添加了 RPH 的样品感官评分普遍更高, 控制 RPH 添加量在 1.0、1.5、2.0 g 水平较佳。

表 5 不同添加量的RPH和RP对酥性饼干质构的影响

Table 5 Effect of different amount of RPH and RP on the quality of biscuits

样品	最大折断力/N	感官评分/分
空白	$16.31 \pm 0.13^{\text{d}}$	$77.67 \pm 1.25^{\text{cde}}$
0.5 RPH	$17.85 \pm 0.03^{\text{c}}$	$78.00 \pm 0.82^{\text{cde}}$
1.0 RPH	$14.93 \pm 0.68^{\text{c}}$	$80.00 \pm 0.82^{\text{bcd}}$
1.5 RPH	$14.15 \pm 0.05^{\text{f}}$	$85.67 \pm 1.25^{\text{a}}$
2.0 RPH	$13.06 \pm 0.02^{\text{e}}$	$82.67 \pm 0.94^{\text{ab}}$
2.5 RPH	$12.63 \pm 0.04^{\text{e}}$	$78.00 \pm 0.82^{\text{cde}}$
0.5 RP	$21.35 \pm 0.02^{\text{a}}$	$77.00 \pm 0.82^{\text{dc}}$
1.0 RP	$20.27 \pm 0.13^{\text{b}}$	$75.33 \pm 0.47^{\text{c}}$
1.5 RP	$17.16 \pm 0.07^{\text{c}}$	$83.00 \pm 0.82^{\text{ab}}$
2.0 RP	$15.48 \pm 0.08^{\text{c}}$	$80.67 \pm 0.47^{\text{bc}}$
2.5 RP	$15.08 \pm 0.10^{\text{c}}$	$76.67 \pm 0.47^{\text{c}}$

2.6.2 RPH对酥性饼干厚度及重量的影响

饼干厚度大小的变化, 会造成消费者产生不同的口感。从表 6 可见, 随着 RPH 用量的增大, 饼干的厚度先减小后增大, 添加量为 1.5 g 时, 饼干重量和厚度达最小值。当 RP 添加比例逐渐增大, 饼干的厚度呈现出先增大后减少。且当 RPH 和 RP 用量为 1.0 g 时, 饼干的总体重量和厚度均最大。如图 7、8 所示为不同添加量的 RPH 和 RP 对酥性饼干质量影响。

根据 Honda 等^[31]的研究, 在无麸质大米淀粉面包中添加大米蛋白可以有效的提高面包的比容, 其中 α -谷蛋白及其水解产物的降解是提高无谷蛋白大米淀粉面包比容的必要条件。因此, 猜想在一定添加范围内, RPH 促进了酥性饼干的比体积与重量的提高; 当 RPH 添加量过多时, 面筋结构被破坏较多反而导致其比体积与重量的下降。RP 添加过程中, 在一定范围内 RP 易被水解导致酥性饼干比体积与重量的提高, 添加过量使 RP 中被水解的蛋白量大于未被水解的蛋白, 导致结果的下降。

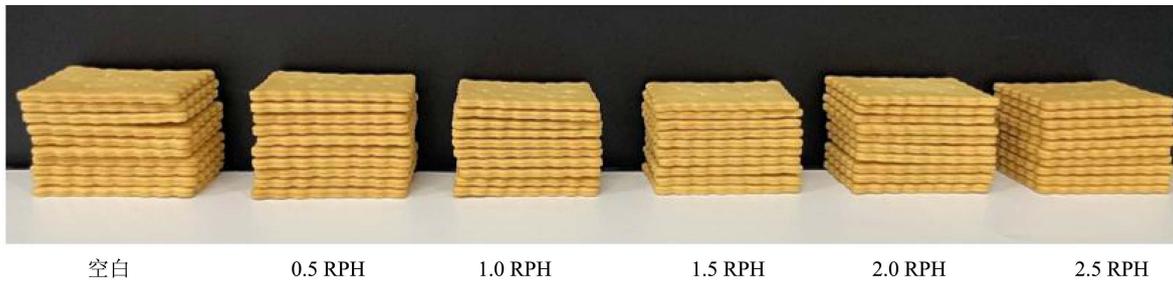


图 7 RPH 不同添加量对饼干质量影响图

Fig.7 Effect of different additive levels of RPH on biscuit quality

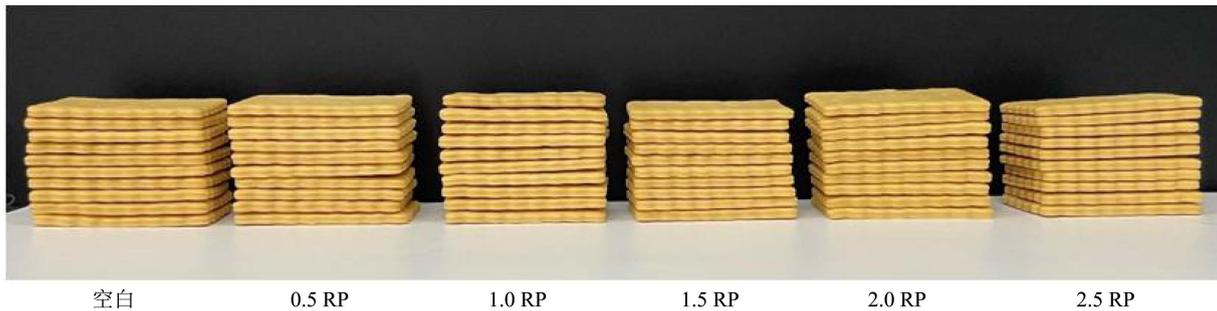


图 8 RP 不同添加量对饼干质量影响图

Fig.8 Effect of different additive levels of RP on biscuit quality

表 6 不同添加量的RPH和RP对酥性饼干厚度和质量的影响

Table 6 Effect of different amount of RPH and RP on the thickness and weight of biscuits

样品	堆积高度/mm	质量/g
空白	39.62 ± 0.01 ^c	48.24 ± 0.30 ^c
0.5 RPH	40.39 ± 0.01 ^d	48.19 ± 0.61 ^c
1.0 RPH	37.90 ± 0.09 ^b	44.24 ± 0.27 ^{ef}
1.5 RPH	37.20 ± 0.03 ⁱ	43.53 ± 0.27 ^f
2.0 RPH	38.60 ± 0.12 ^g	45.37 ± 0.85 ^{de}
2.5 RPH	39.10 ± 0.01 ^f	46.50 ± 0.12 ^d
0.5 RP	40.92 ± 0.02 ^{bc}	49.11 ± 0.28 ^{bc}
1.0 RP	41.85 ± 0.01 ^a	50.72 ± 0.25 ^a
1.5 RP	40.74 ± 0.01 ^c	50.53 ± 0.18 ^a
2.0 RP	40.98 ± 0.10 ^b	50.31 ± 0.09 ^{ab}
2.5 RP	39.81 ± 0.08 ^e	48.85 ± 0.07 ^c

3 结论

本试验主要探究大米蛋白水解物对小麦面团特性及酥性饼干品质变化的影响，研究发现添加 RPH 和 RP 均能提高面团的形成时间和稳定时间，而添加 RPH 显著高于 RP ($P < 0.05$)，说明 RPH 和 RP 在一定程度上可以提高面制品的制作性能，且 RPH 的添加更加优于 RP。同时，添加大米蛋白

(RPH、RP) 对小麦面团的拉伸长度、拉伸阻力均有不同程度的影响，相比 RP，RPH 能显著降低面筋结构的连续性和稳定性。在酥性饼干的最大折断力结果可以得出，RPH 的减筋作用更显著，加入 RPH 后，酥性饼干的最大折断力明显降低，且具有较高的感官评价。综上，适量添加 RPH 和 RP 可作为烘焙产品的减筋剂，两者都有益于提高面制品的质量以及面团的工艺性能，且添加 RPH 效果更为显著。通过以上研究，可以更好地了解大米蛋白水解产物对面粉中面筋网络结构的影响，为烘焙产品优化提供理论依据。

参考文献

- [1] AMAGLIANI L, O'REGAN J, KELLY A L, et al. The composition, extraction, functionality and applications of rice proteins: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 64: 1-12.
- [2] ROY T, SINGH A, SARI T P, et al. Rice protein: Emerging insights of extraction, structural characteristics, functionality, and application in the food industry [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 123: 105581.
- [3] LU X, MA R, QIU H, et al. Mechanism of effect of endogenous/exogenous rice protein and its hydrolysates on rice starch digestibility [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 193: 311-318.
- [4] AMAGLIANI L, O'REGAN J, KELLY A L, et al.

- Composition and protein profile analysis of rice protein ingredients [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2017, 59: 18-26.
- [5] ZHENG L, REGENSTEIN J M, WANG Z, et al. Reconstituted rice protein: The raw materials, techniques and challenges [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2023, 133: 267-276.
- [6] RANI S, POOJA K, PAL G K. Exploration of rice protein hydrolysates and peptides with special reference to antioxidant potential: Computational derived approaches for bio-activity determination [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 80: 61-70.
- [7] YANG T, ZHU H, ZHOU H, et al. Rice protein hydrolysate attenuates hydrogen peroxide induced apoptosis of myocardiocytes H9c2 through the Bcl-2/Bax pathway [J]. *Food Research International*, 2012, 48(2): 736-741.
- [8] SONG R, DAI T, DENG L, et al. Ultrafiltration fractionation of rice protein hydrolysates: Physicochemical properties and potential biological activities of different rice protein hydrolysate fractions [J]. *Food Bioscience*, 2023, 56: 103418.
- [9] GIMOMES M H G, KUROZAWA L E. Influence of rice protein hydrolysate on lipid oxidation stability and physicochemical properties of linseed oil microparticles obtained through spray-drying [J]. *LWT*, 2021, 139: 110510.
- [10] KLOST M, DRUSCH S. Functionalisation of pea protein by tryptic hydrolysis-Characterisation of interfacial and functional properties. [J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 86: 134-140.
- [11] 张纷,赵亮,靖卓,等.藜麦-小麦混合粉面团特性及藜麦馒头加工工艺[J].*食品科学*,2019,40(14):323-332.
- [12] UJONG A E, EMELIKE N J T, WOKA F I, et al. Formulation of fiber enriched crackers biscuit: Effect on nutritional composition, physical and sensory properties [J]. *Heliyon*, 2023, 9(5): e15941.
- [13] LONDONO D M, SMULDERS M J M, VISSER R G F, et al. Development of a standard test for dough-making properties of oat cultivars [J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 59(1): 56-61.
- [14] WANG N, MA S, LI L, et al. Aggregation characteristics of protein during wheat flour maturation [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(2): 719-725.
- [15] ADEDARA O A, TAYLOR J R N. Roles of protein, starch and sugar in the texture of sorghum biscuits [J]. *LWT*, 2021, 136: 110323.
- [16] 张敏.大米蛋白水解物对小麦淀粉及面团的影响研究[D].合肥:安徽农业大学,2021.
- [17] 王景.大米蛋白、玉米醇溶蛋白及其水解物与小麦粉相容性研究[D].合肥:安徽农业大学,2023.
- [18] 王正德.豌豆分离蛋白对面团特性影响及其产品开发的研究[D].泰安:山东农业大学,2018.
- [19] 杜振亚.改性大豆分离蛋白对馒头品质影响的研究[D].郑州:河南工业大学,2016.
- [20] 高雪丽,陈复生,张丽芬,等.大豆分离蛋白影响面团特性的作用机制研究[J].*现代食品科技*,2015,31(12):177-184.
- [21] ZHANG M, SUN C, WANG X, et al. Effect of rice protein hydrolysates on the short-term and long-term retrogradation of wheat starch [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 155: 1169-1175.
- [22] ZHAO F, LI Y, LI C, et al. Insight into the regulations of rice protein on the gluten-free bread matrix properties [J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 131: 107796.
- [23] DING J, HU H, YANG J, et al. Mechanistic study of the impact of germinated brown rice flour on gluten network formation, dough properties and bread quality [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2023, 83: 103217.
- [24] 王强,李文钊,曹壮,等.糜米粉对面团特性及面包品质的影响[J].*食品工业科技*,2019,40(9):44-48.
- [25] YU W, XU D, LI D, et al. Effect of pigskin-originated gelatin on properties of wheat flour dough and bread [J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 94: 183-190.
- [26] FAN J L, HAN N, CHEN H Q. Physicochemical and structural properties of wheat gluten/rice starch dough-like model [J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 98: 103181.
- [27] 范金磊.小麦面筋蛋白-大米淀粉模型面团的制备、结构性质及应用研究[D].合肥:合肥工业大学,2021.
- [28] WANG Z, HAO J, DENG Y, et al. Viscoelastic properties, antioxidant activities and structure of wheat gluten modified by rice bran [J]. *LWT*, 2021, 150: 112003.
- [29] 林丽.大米蛋白水解物对小麦淀粉理化性质及体外消化性影响的研究[D].合肥:安徽农业大学,2022.
- [30] MANCEBO C M, RODRIGUEZ P, GOMEZ M. Assessing rice flour-starch-protein mixtures to produce gluten free sugar-snap cookies [J]. *LWT-food Science and Technology*, 2016, 67: 127-132.
- [31] HONDA Y, INOUE N, KURITA M, et al. Alpha-glutelin degradation and its hydrolysate by protease enhance the specific volume of gluten-free rice starch bread [J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 102: 103338.