

蛋黄与蛋清对特二粉面筋聚集特性的影响

Effects of egg yolk/egg white on the aggregation characteristics of second-grade wheat flour

王雍清 王嘉璐 李海峰 范沛 贾峰

WANG Yong-qing WANG Jia-lu LI Hai-feng FAN Pei JIA Feng

(河南工业大学生物工程学院, 河南 郑州 450001)

(School of Biological Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要:目的: 蛋黄与蛋清添加到小麦粉中以期加工与改良特色面制食品提供数据支撑。方法: 以特二粉及鸡蛋为原料, 利用面筋聚集仪研究特二粉在添加蛋黄与蛋清时面筋聚集特性的变化, 并分析了聚集过程中面团显微结构和淀粉颗粒度的变化。结果: 蛋黄添加量为 5 mL 时峰值扭矩(BEM)下降了 9.5 BU, 下降比例为 19.39%; 蛋清添加量为 3 mL 时 BEM 增加了 4.08%, 达到最大值; 蛋清更有利于峰值扭矩的维持。蛋黄添加量为 2 mL 时峰值时间(PMT)下降了 18.56%, 达到最低值; 蛋清添加量为 1 mL 时 PMT 上升了 29.52%, 达到最大值; 表明添加蛋黄与蛋清对 PMT 的影响作用相反。随蛋黄添加量的增加 S_3 值占总能量的比例从 81% 增加到 96%; 而蛋清随添加量的增加 S_3 值占总能量的比例从 43% 波动增加到 52%。结论: 蛋黄与蛋清对面筋聚集特性的影响作用效果不一致, 蛋黄与蛋清均显著改变面筋聚集能量的分布状态, 蛋黄可降低面筋网络结构的连接力, 使面筋蛋白网络结构断裂而分布更加均匀; 而蛋清对面筋蛋白网络连接有促进作用, 且蛋清对淀粉颗粒具有一定的保护作用。**关键词:** 小麦粉; 蛋黄; 蛋清; 峰值扭矩; 峰值时间; 面团显微结构

Abstract: Objective: Egg yolk and egg white were added to wheat flour to provide data support for the processing and improvement of characteristic flour food. **Methods:** The present study aims to disclose the influence of egg yolk and white on the aggregation characteristics of gluten in wheat flour using a special gluten aggregation instrument, as well as second-grade wheat flour and eggs as materials. Moreover, the dough microstructure and

starch particle size during the aggregation process were also analyzed. **Results:** The results showed that BEM dropped 9.5 BU (i.e., 19.39%) with 5 mL egg yolk added. However, the BEM increased by 4.08% to the peak with the addition of 3 mL egg white, indicating that egg white is helpful to the maintenance of BEM. The supplement of 2 mL egg yolk or 1 mL egg white resulted in the 18.56% decrease (to the min. value) or the 29.52% increase (to the max. value) of PMT, which suggested that yolk and white may exert the opposite effect on PMT. Interestingly, with the addition of yolk and white, the ratios of S_3 /total energy scaled up from 81% and 43% to 96% and 52%, respectively. Such a fact indicated that both yolk and white from egg significantly change the distribution of gluten aggregation energy. **Conclusion:** Taken together, yolk and white have varied roles in regulating gluten aggregation properties. To be noted, egg yolk inhibited the linking strength of the gluten network, giving rise to its breakage and a more even distribution; while egg white promoted such connection, and protected the starch particles. Our data will technically support the improvement of quality for flour-associated food.

Keywords: the second-grade wheat flour; egg yolk; egg white; peak maximum time (PMT); brabender equivalents maximum (BEM); microstructure of dough

特二粉是制作馒头和面条等主食的常用面粉, 其面粉面团的加工特性与面筋聚集特性关系密切^[1], 而面筋聚集特性主要包括峰值时间、峰值扭矩与能量面积等参数^[2], 可作为快速评价面团品质的一个指标, 又可间接评价面团流变学特性^[3]。

鸡蛋富含人体所需的蛋白质^[4]、维生素^[5]等对人体健康有益成分, 鸡蛋作为整体添加到面团中可降低面条的蒸煮损失率和吸水率, 且有效提高鲜熟面的硬度和拉断距离^[6]。其中, 蛋黄含有丰富的卵磷脂、胆固醇和唾液酸化糖肽^[7-9], 有助于提高免疫力和抗骨质疏松作用^[10-11], 在

基金项目: 国家重点研究和发展计划项目 (编号: 2016YFD0400203)

作者简介: 王雍清, 男, 河南工业大学在读硕士研究生。

通信作者: 贾峰 (1974—), 男, 河南工业大学副教授, 博士。
Email: mrjiafeng@163.com

收稿日期: 2022-09-26 **改回日期:** 2023-01-09

面粉中添加蛋黄能提高食品的营养价值^[12-13]及口感等功能特性^[14-15];蛋清含有丰富的蛋清蛋白及大量高纯度高活力的溶菌酶^[16-17],具有消炎和防癌等生理功能^[18],另外,蛋清具有优良的起泡性、乳化剂和凝胶性^[19-20],在焙烤等食品加工领域中添加蛋清可改善乳化特性^[21]和凝胶强度^[22-23]。目前研究仅把鸡蛋作为整体添加到面团中分析其作用,如在面条、馒头和面包等面制品加工中,但是,由于鸡蛋中蛋黄与蛋清的组分差异较大,对面团特性影响不同,有些甚至功能相异。因此,需要针对蛋黄与蛋清对小麦粉面筋聚集特性影响分别进行研究。

研究拟以特制二等小麦粉为材料,通过添加不同量的蛋黄与蛋清,分析蛋黄与蛋清对面筋聚集特性及面团网络结构的影响,以为加工与改良特色面制食品提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器

特制二等小麦粉(以下简称特二粉):河南金苑粮油有限公司;

鸡蛋:市售;

面筋聚集仪:803400 型,德国 Brabender 公司;

显微镜:Nikon E200MV 型,南京尼康江南光学仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 特二粉面筋聚集特性测定及蛋黄与蛋清添加

(1) 面筋聚集特性测定:将 8 g 面粉分散在 9 mL 水中,置于不锈钢杯中,以水分含量 14%为基础调整水和面粉质量,保持液固比恒定。面筋聚集仪检测条件:温度 25 °C,转速 2 500 r/min,测定时长 300 s,分别记录峰值时间、峰值扭矩、能量特性。

(2) 鸡蛋预处理:小心分离出蛋黄与蛋清,并保持二者相互独立。

(3) 蛋黄添加方法:根据预试验,取 8 g 面粉于检测杯中,将分离的蛋黄分别按照 1,2,3,4,5 mL 的体积添加到面粉中,加水量统一为 9 mL,再进行面筋聚集检测。

(4) 蛋清添加方法:根据预试验,取 8 g 面粉于检测杯中,将分离的蛋清分别按照 1,3,5,7,9 mL 的体积添加到面粉中,加水时分别抵减相同体积的水,最终保持液体体积为 9 mL,再进行面筋聚集检测。

1.2.2 面筋聚集过程中关键点的选取 根据面筋聚集过程中扭矩和时间的变化情况(图 1),分别选取 5 个典型的点进行检测:选取 A 点(平稳起始点)、B 点(聚集起飞点)、C 点(峰值扭矩点)、D 点(聚集结束点)、E 点(记录结束点)作为特征时期;能量特性根据聚集过程,又分为三部分:启动能量(S_1)是零点到 A 点所需要的能量;稳定能量(S_2)是 A 点到 B 点所需要的能量;聚集能量(S_3)是 B 点到 C 点后 15 s 处所需要的能量。具体取样过程为:

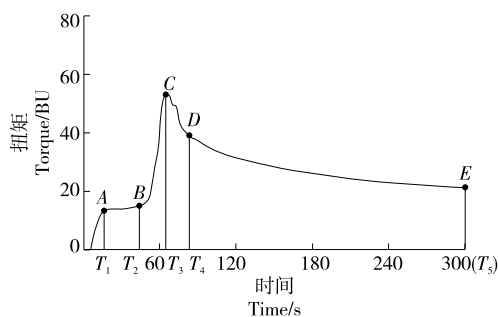


图 1 面筋聚集过程选取 5 个关键点的位置图

Figure 1 The location of five key points selected in the gluten aggregation process

在面筋聚集仪运行过程中,分别确定 A~E 5 个关键点的运行时间,每次当达到选取的采样点时,迅速暂停面筋聚集仪取出相应面团,取样检测相应的指标。利用 S_1/S_2 值、 S_1/S_3 值和 S_2/S_3 值分析 3 种能量之间的比例关系。

1.2.3 特二粉面筋聚集过程中面团显微结构观察 选取 A~E 点处一定量面团,点在载玻片上,用另一个载玻片进行压片,每次压片力度应保持基本一致,压片时间为 30 s 左右,使样品均匀分布在玻片上即得到显微观察玻片,使用 Nikon E200MV 型显微镜观察 40× 的倍数记录图片。

1.2.4 面筋聚集过程中淀粉颗粒粒度的检测 分别选取 A~E 点处 400× 的面团样品显微照片,利用 Nikon E200MV 型显微镜的软件 ISCapture,使用测量线检测淀粉颗粒粒度,每个图片中淀粉颗粒从大到小取 6~10 个测量直径,计算平均值。

1.2.5 统计分析 所有试验数据最少进行 3 次重复,求平均值。试验设计及计算采用 Microsoft Excel 2019 和 PASW Statistics 18.0 软件进行,各水平处理之间用 Duncan's 显著性分析 ($P < 0.05$),制作图表应用 Excel 2019。

2 结果与分析

2.1 蛋黄与蛋清对面筋聚集峰值扭矩的影响

由图 2 可知,当蛋黄添加量为 1 mL 时,峰值扭矩与对照(CK)相比显著增加,达到 51.0 BU;而随着蛋黄添加量的增加,峰值扭矩值则又显著下降,当蛋黄添加量为 5 mL 时,峰值扭矩与 CK 相比下降了 9.5 BU,下降比例为 19.39%。当蛋清添加量为 1 mL 时,峰值扭矩与 CK 相比差异不显著;当蛋清添加量为 3 mL 时,峰值扭矩与 CK 相比显著增加,增加比例为 4.08%,达到最大值;当蛋清添加量为 5 mL 时,峰值扭矩虽然差异不显著,但亦缓慢下降;当蛋清添加量为 7~9 mL 时,峰值扭矩与 CK 相比显著下降,但二者之间差异不显著。结果表明,添加少量蛋黄与适量蛋清均有利于增加峰值扭矩,其中蛋清更有利于峰值扭矩的维持。

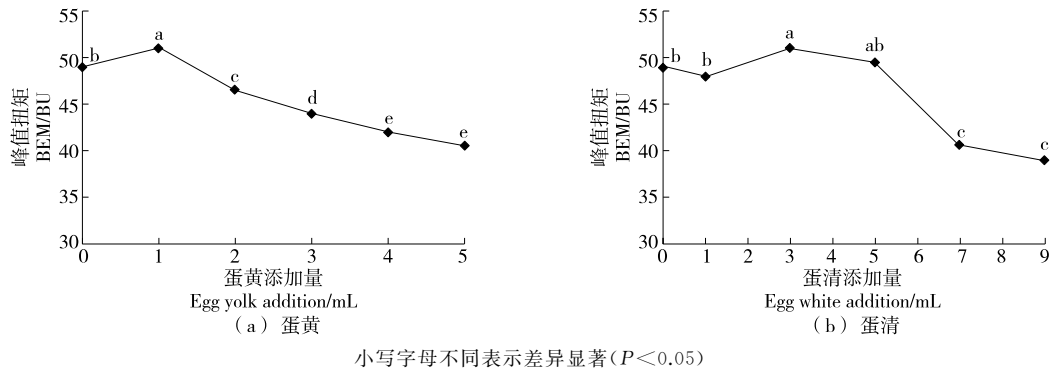


图2 蛋黄与蛋清对面筋聚集特性峰值扭矩的影响

Figure 2 Effect of egg yolk and egg white on BEM of gluten aggregation characteristics

2.2 蛋黄与蛋清对面筋聚集峰值时间的影响

由图3可知,添加蛋黄后峰值时间呈“U”型曲线变化,当蛋黄添加量为2~3 mL时,峰值时间与CK相比显著下降,下降比例为18.56%,达到最低值;而后随蛋黄添加量的增加,峰值时间又有所增加,当蛋黄添加量为5 mL时,峰值时间与CK相比差异不显著,但是其值误差值较大。当

蛋清添加量为1 mL时,峰值时间与CK相比显著增加,上升比例为29.52%,达到了最大值;然而随蛋清添加量的增加,峰值时间呈波动减小,当蛋清添加量为5 mL时,峰值时间显著下降,达到最低点;而后随蛋清添加量的增加,峰值时间又有所波动增加。结果表明,添加蛋黄与蛋清对峰值时间的影响差异较大,且作用可能相反。

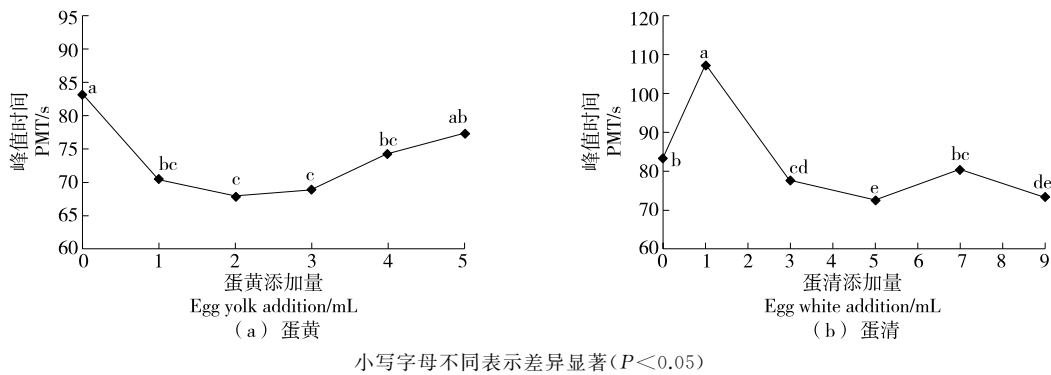


图3 蛋黄与蛋清对面筋聚集特性峰值时间的影响

Figure 3 Effect of egg yolk and egg white on PMT of gluten aggregation characteristics

2.3 蛋黄与蛋清对面筋聚集能量的影响

由表1可知,随蛋黄添加量的增加 S_1 值与CK相比出现波动下降,当蛋黄添加量为2 mL时 S_1 值显著高于CK,稳定能量 S_2 随蛋黄添加量增加显著下降。 S_3 值呈上升趋势,占总能量的比例随蛋黄添加量的增加不断增加,从81%到96%;其中 S_1/S_2 值随蛋黄添加量的增加也快速增加, S_1/S_3 值呈下降趋势。蛋清添加量为3~9 mL时 S_1 值显著增加;蛋清添加量为1~7 mL时 S_2 值之间差异不显著,当蛋清添加量为9 mL时 S_2 值显著下降;蛋清添加量为1~7 mL时 S_3 值呈先增加后减小,但均显著高于对照;随蛋清添加量的增加整体能量增加不多, S_3 值占总能量的比例随蛋清添加量的增加波动变化,从43%到52%;其中 S_1/S_2 值与 S_1/S_3 值随蛋清添加量的增加同步增加(表1)。结果表明,蛋黄与蛋清均能显著改变面筋聚集能量的分布状态,但是二者影响的结果不一致,特别是 S_1/S_3 值的变化相反,暗示蛋黄与蛋清对面筋聚集影响的机

制存在明显差异。

2.4 面筋聚集过程中蛋黄与蛋清对面团显微结构的影响

由图4可知,添加蛋黄后,A点的面团尚未形成蛋白质网格结构,淀粉与面筋蛋白的分布不均匀;B点的淀粉与面筋蛋白的分布相对均匀,有少许蛋白质网格结构开始形成;C点的淀粉与面筋蛋白的分布更为规律,蛋白质网络结构已经建立;D点的淀粉与面筋蛋白的分布之间有较大空隙,面筋网络已经断裂;E点的淀粉与面筋蛋白的分布最为规律。添加蛋清后,A点的面团尚未形成蛋白质网格结构,与蛋黄处理相比出现了更多的细丝连接,表明蛋清中含有更多的黏性物质;B点的淀粉与面筋蛋白的分布比蛋黄处理的更加细小,有少许面筋蛋白网格结构开始形成;C点的淀粉与面筋蛋白的分布更为规律,与蛋黄处理相比网络的结构更加纤细,蛋白质网络结构已经建立;D点的淀粉与面筋蛋白的分布与蛋黄处理相比更加均匀,聚集度较低,出现局部有较大空隙,面筋网

表 1 面筋聚集过程中蛋黄与蛋清对聚集能量的影响[†]

Table 1 Effect of egg yolk and egg white on AgE during gluten aggregation

样品组	添加量/mL	S ₁ 值/cm ²	S ₂ 值/cm ²	S ₃ 值/cm ²	S ₁ /S ₂ 值	S ₁ /S ₃ 值	S ₂ /S ₃ 值
蛋黄	0	87.20 ^b	595.15 ^a	1 281.65 ^b	0.15	0.07	0.46
	1	78.00 ^{bc}	255.00 ^b	1 455.20 ^a	0.31	0.05	0.18
	2	108.35 ^a	173.75 ^c	1 452.25 ^a	0.63	0.07	0.12
	3	71.30 ^{cd}	43.10 ^d	1 550.70 ^a	1.72	0.05	0.03
	4	61.05 ^{de}	26.00 ^d	1 519.90 ^a	2.39	0.04	0.02
蛋清	5	52.45 ^e	18.40 ^d	1 557.90 ^a	2.92	0.03	0.01
	0	87.20 ^c	595.15 ^a	1 281.65 ^b	0.15	0.07	0.46
	1	86.20 ^c	630.70 ^a	1 537.20 ^a	0.14	0.06	0.41
	3	140.75 ^b	638.55 ^a	1 488.30 ^a	0.22	0.09	0.43
	5	129.60 ^b	542.35 ^{ab}	1 538.55 ^a	0.24	0.08	0.35
蛋清	7	139.30 ^b	582.20 ^a	1 565.40 ^a	0.24	0.09	0.37
	9	229.60 ^a	471.45 ^b	1 463.00 ^{ab}	0.49	0.16	0.33

[†] 同列小写字母不同表示组间差异显著($P<0.05$)。

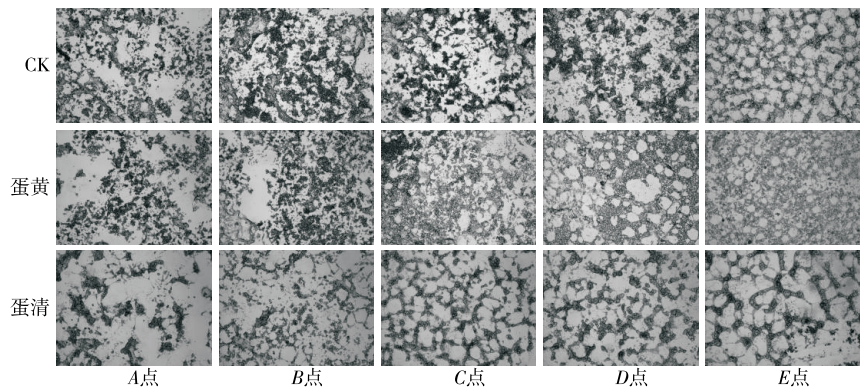


图 4 面筋聚集过程中蛋黄与蛋清对面团显微结构的影响

Figure 4 Effects of egg yolk and egg white on the microstructure of dough during gluten aggregation

络已经断裂;E 点的淀粉与面筋蛋白的分布比 D 点的聚集度有所增加,但没有蛋黄处理的均匀。结果表明,添加蛋黄可降低面筋网络结构的连接力,使面筋蛋白网络结构断裂而分布更加均匀;而添加蛋清对面筋蛋白网络连接有促进作用。

2.5 面筋聚集过程中蛋黄与蛋清对淀粉颗粒粒度的影响

面筋聚集过程中蛋黄与蛋清对淀粉颗粒粒度的影响如图 5 所示。添加蛋黄后,A 点到 C 点淀粉颗粒粒度小于 CK,但在 E 点时,蛋黄处理的淀粉颗粒粒度比 CK 的大;添加蛋清后淀粉颗粒的平均直径均高于 CK 和蛋黄组,从 A 点到 D 点淀粉颗粒的平均直径逐渐下降,而淀粉颗粒的平均直径从 D 点到 E 点又有所增加。结果表明,蛋黄容易使淀粉颗粒暴露,增加淀粉颗粒受力的几率,增加破碎的可能,使其直径减小;而蛋清对淀粉颗粒具有一定的保护作用,减少了淀粉颗粒的破碎。

3 结论

结果表明,蛋黄添加量为 5 mL 时峰值扭矩下降了 9.5 BU,下降比例为 19.39%;蛋清添加量 3 mL 时峰值扭矩

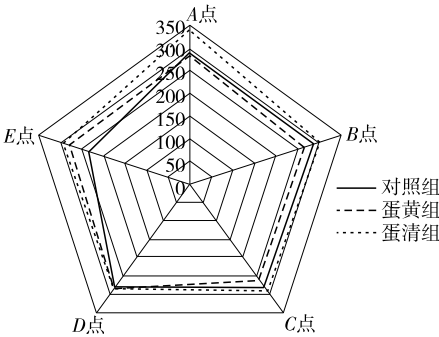


图 5 面筋聚集过程中蛋黄与蛋清对淀粉颗粒粒度的影响

Figure 5 Effects of egg yolk and egg white on the diameter of starch granules during gluten aggregation

矩增加了 4.08%,达到最大值;蛋清更有利于峰值扭矩的维持。蛋黄添加量为 2 mL 时峰值时间下降了 18.56%,达到最低值;蛋清添加量为 1 mL 时峰值时间上升了 29.52%,达到最大值;表明添加蛋黄与蛋清对峰值时间的

影响作用相反。随蛋黄添加量的增加聚集能量占总能量的比例从 81% 增加到 96%; 而随蛋清添加量的增加聚集能量占总能量的比例从 43% 波动增加到 52%; 表明蛋黄与蛋清均显著改变面筋聚集能量的分布状态, 但是二者影响的结果不一致。蛋黄可降低面筋网络结构的连接能力, 使面筋蛋白网络结构断裂而分布更加均匀; 而蛋清对面筋蛋白网络连接有促进作用, 且蛋清对淀粉颗粒具有一定的保护作用, 减少了淀粉颗粒的破碎。综上, 蛋黄与蛋清对面筋聚集特性的影响作用效果不一致, 表明蛋黄与蛋清面筋聚集影响的机制存在明显差异。

参考文献

- [1] 贾峰, 耿瑞蝶, 张长付, 等. 小麦特一粉和特二粉的面筋聚集特性分析[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2020, 41(1): 1-7.
JIA F, GENG R D, ZHANG C F, et al. Aggregation characteristic analysis of gluten in first-grade and second-grade wheat flour[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 41(1): 1-7.
- [2] 赵春晖, 刘静, 曾淑萍, 等. 面筋聚集仪及其研究进展[J]. 现代面粉工业, 2016, 30(1): 27-29.
ZHAO C H, LIU J, ZENG S P, et al. Gluten aggregation instrument and its research progress[J]. Modern Flour Milling Industry, 2016, 30(1): 27-29.
- [3] ISSARNY C, CAO W, FALK D, et al. Exploring functionality of hard and soft wheat flour blends for improved end-use quality prediction[J]. Cereal Chemistry, 2017, 94(4): 723-732.
- [4] 陈琛, 徐尤美, 蔺蓓蓓, 等. 血管紧张素转化酶抑制肽 Ovokinin 的研究进展[J]. 食品科技, 2018, 43(12): 298-304.
CHEN C, XU Y M, LIN B B, et al. Research and development on angiotensin-I-converting enzyme inhibitory peptides Ovokinin[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(12): 298-304.
- [5] 贺娟妮, 贺宝锋, 姚海伟, 等. 鸡蛋中功能蛋白质及多肽研究现状[J]. 农业工程, 2021, 11(12): 54-58.
HE J N, HE B F, YAO H W, et al. Research status of functional proteins and polypeptides in egg[J]. Agricultural Engineering, 2021, 11(12): 54-58.
- [6] 曹宗宝, 郭晓娜, 朱科学. 全蛋液对鲜熟面品质保持的影响[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(3): 31-38.
CAO Z B, GUO X N, ZHU K X. Effects of whole egg liquid on quality maintenance of cooked wet noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(3): 31-38.
- [7] NADERI N, HOUSE J D, POULIOT Y. Effect of selected pre-treatments on folate recovery of granule suspensions prepared from hen egg yolk[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 68: 341-348.
- [8] 韩健利, 陈庆辉, 邹美义, 等. 基于棉花亲水色谱从鸡蛋黄中分离纯化唾液酸化糖肽研究[J]. 分析化学, 2020, 48(1): 34-39.
HAN J L, CHEN Q H, ZOU M Y, et al. Purification of sialylated glycopeptides from egg yolk based on cotton hydrophilic chromatography[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2020, 48(1): 34-39.
- [9] 介怡琳, 李晓云, 纪胜男, 等. 鸡蛋中卵黄高磷蛋白对 RAW264.7 细胞生长及分化的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(8): 29-40.
JIE Y L, LI X Y, JI S N, et al. Effects of yolk high-phosphorus protein in eggs on the growth and differentiation of RAW264.7 cells[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(8): 29-40.
- [10] 陈宏杰, 金永国, 马美湖. 鸡蛋黄蛋白质水解产物制备及其对 MC3T3-E1 细胞增殖分化的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(22): 95-101.
CHEN H J, JIN Y G, MA M H. Preparation of egg yolk protein hydrolysate and its effect on proliferation and differentiation of MC3T3-E1 cells[J]. Food Science, 2017, 38(22): 95-101.
- [11] MARCET I, SÁEZ-ORVIZ S, RENDUELES M, et al. Egg yolk granules and phosvitin. Recent advances in food technology and applications [J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 153: 112442.
- [12] MARCET I, PAREDES B, DÍAZ M. Egg yolk granules as low-cholesterol replacer of whole egg yolk in the preparation of gluten-free muffins[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 613-619.
- [13] AHMED J, RAMASWAMY H S, ALLI I, et al. Effect of high pressure on rheological characteristics of liquid egg[J]. LWT-Food Science and Technology, 2003, 36(5): 517-524.
- [14] WANG R H, MA Y Q, ZHANG L Y, et al. Changes in egg yolk gelation behaviour and mechanisms during freezing[J]. LWT-Food Science & Technology, 2021, 151: 112223.
- [15] 史胜娟, 刘丽莉, 杨协力, 等. 基于 iTRAQ 技术的鸡蛋清三种干燥方式差异蛋白质组分析[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(2): 260-266, 273.
SHI S J, LIU Y L, YANG X L, et al. Proteomics analysis of egg white treated with three drying methods based on iTRAQ technology[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(2): 260-266, 273.
- [16] 明辉, 李浩, 徐婷. 鸡蛋清溶菌酶分离纯化研究进展[J]. 农产品加工, 2021(11): 81-85.
MING H, LI H, XU T. Research progress on isolation and purification of lysozyme from egg white [J]. Farm Products Processing, 2021(11): 81-85.
- [17] 马晓彤, 刘曼, 裴海闰, 等. 新型离子液体亲和萃取鸡蛋清中的溶菌酶[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 35-40, 47.
MA X T, LIU M, PEI H R, et al. Affinity extraction of lysozyme from egg white by novel ionic liquid[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(21): 35-40, 47.
- [18] 杨福明, 王立枫, 赵英, 等. 鸡蛋黄中天然活性物质的开发与利用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(7): 1 890-1 895.
YANG F M, WANG L F, ZHAO Y, et al. Development and utilization of natural active substances in egg yolk[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(7): 1 890-1 895.

(下转第 18 页)

- nucifera L.) haustorium[J]. Food Chemistry, 2018, 238: 153-159.
- [3] 卢丽兰, 刘蕊, 肖勇, 等. 椰子种质资源、栽培与利用研究进展[J]. 热带作物学报, 2021, 42(6): 1 795-1 803.
- LU L L, LIU R, XIAO Y, et al. Research progress on coconut germplasm resources, cultivation and utilization [J]. Journal of Tropical Crops, 2021, 42(6): 1 795-1 803.
- [4] 宋彦博. 椰蓉膳食纤维的制备与功能特性评价及其在面包中的应用[D]. 海口: 海南大学, 2017: 1-2.
- SONG Y B. Preparation and functional properties evaluation of coconut pulp dietary fiber and its application in bread[D]. Haikou: Hainan University, 2017: 1-2.
- [5] 沈晓君, 李瑞, 邓福明, 等. 初榨椰子油在烘焙食品中的应用[J]. 中国油脂, 2019, 44(8): 147-149.
- SHEN X J, LI R, DENG F M, et al. Application of virgin coconut oil in baking goods[J]. China Oils and Fats, 2019, 44(8): 147-149.
- [6] 张玉锋, 宋彦博, 王静, 等. 椰蓉膳食纤维对面包品质的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(12): 84-88.
- ZHANG Y F, SONG Y B, WANG J, et al. Effect of coconut pulp dietary fiber on bread quality[J]. The Food Industry, 2018, 39(12): 84-88.
- [7] 刘艳玲, 田纪春, 韩祥铭, 等. 面团流变学特性分析方法比较及与烘烤品质的通径分析[J]. 中国农业科学, 2005, 38(1): 45-51.
- LIU Y L, TIAN J C, HAN X M, et al. Comparison of dough rheological properties analysis methods and path analysis of baking quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(1): 45-51.
- [8] YU L W, GUO L, LIU Y C, et al. Novel parameters characterizing size distribution of A and B starch granules in the gluten network: Effects on dough stability in bread wheat[J]. Carbohydr Polym, 2021, 257: 117623.
- [9] LIU D, SONG S, TAO L, et al. Effects of common buckwheat bran on wheat dough properties and noodle quality compared with common buckwheat hull [J]. LWT-Food Sci Technol, 2022, 155: 112971.
- [10] WANG C C, YANG Z, XING J J, et al. Effects of insoluble dietary fiber and ferulic acid on the rheological properties of dough[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 121: 107008.
- [11] ZHOU Y, DHITAL S, ZHAO C, et al. Dietary fiber-gluten protein interaction in wheat flour dough: Analysis, consequences and proposed mechanisms[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 111: 106203.
- [12] HU X, CHENG L, HONG Y, et al. Impact of celluloses and pectins restrictions on gluten development and water distribution in potato-wheat flour dough[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 206: 534-542.
- [13] 张龔, 陈志成, 龚号迪. 青稞复配体系与馒头品质研究[J]. 中国食品学报, 2022, 22(1): 135-143.
- ZHANG Y, CHEN Z C, GONG H D. Research on highland barley compound system and steamed bread quality[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(1): 135-143.
- [14] 马启昱, 刘忠义, 付满, 等. 油脂对面团特性及面制品品质影响研究进展[J]. 食品与机械, 2021, 37(10): 235-240.
- MA Q Y, LIU Z Y, FU M, et al. Research progress on the influence of oil and fat on dough properties and quality of flour products[J]. Food & Machinery, 2021, 37(10): 235-240.
- [15] 崔岩岩, 庞丽珍, 郭毓昕, 等. 不同脱脂方法对椰子分离蛋白结构与理化性质影响研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(7): 57-65.
- CUI Y Y, PANG L Z, GUO Y X, et al. Effects of different degreasing methods on the structure and physicochemical properties of coconut protein isolate[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(7): 57-65.
- [16] 陈朴森. 椰子蛋白与甜菜果胶、壳聚糖相互作用对其乳液稳定性影响的研究[D]. 海口: 海南大学, 2019: 3-4.
- CHEN P S. Effects of the interaction of coconut protein with sugar beet pectin and chitosan on the stability of emulsions[D]. Haikou: Hainan University, 2019: 3-4.
- [17] 刘宁. 麦麸膳食纤维对馒头发酵过程中蛋白特性及其品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2020: 16-24.
- LIU N. Effects of wheat bran dietary fiber on protein characteristics and quality of steamed bread during fermentation [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2020: 16-24.
- [18] SUDHA M L, SRIVASTAVA A K, VETRIMANI R, et al. Fat replacement in soft dough biscuits: its implications on dough rheology and biscuit quality[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(3): 922-930.

(上接第 13 页)

- [19] ROMERO A, PEREZ-PUYANA V, MARCHAL P, et al. Emulsification process controlled by a mixer type rheometer in O/W protein-based emulsions [J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 76: 26-32.
- [20] 付博菲, 杜方岭, 徐同成, 等. 谷朊粉应用概述[J]. 粮食与饲料工业, 2013, 12(10): 25-27.
- FU B F, DU F L, XU T C, et al. Application overview of wheat gluten[J]. Cereal & Feed Industry, 2013, 12(10): 25-27.
- [21] 刘丽莉, 代晓凝, 杨晓盼, 等. 喷雾冷冻干燥对鸡蛋清蛋白结构和特性的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 30-35, 41.
- LIU L L, DAI X N, YANG X P, et al. Effect of spray freeze drying on the structure and properties of egg white protein[J]. Food & Machinery, 2020, 36(1): 30-35, 41.
- [22] 李媛媛, 刘丽莉, 杨晓盼, 等. 超声功率对鸡蛋清蛋白聚集行为的影响[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2021, 42(4): 83-90, 96.
- LI Y Y, LIU L L, YANG X P, et al. Effect of ultrasound power on the protein aggregation behavior of egg white[J]. Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science), 2021, 42(4): 83-90, 96.
- [23] 谭文, 张钦俊, 万鹏宇, 等. 球磨处理对鸡蛋清蛋白结构、性质及起泡性的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(11): 124-129.
- TAN W, ZHANG Q J, WAN P Y, et al. Effect of ball-milling treatment on protein structure and physicochemical and foaming properties of egg white[J]. Food Science, 2021, 42(11): 124-129.