

豆浆固形物含量及浆液深度对腐竹生产及品质的影响

Research on efficient production and quality optimization of yuba based on soymilk solids concentration and slurry depth control

张炎¹ 任广跃^{1,2} 段续^{1,2} 刘文超¹ 王喆¹

ZHANG Yan¹ REN Guangyue^{1,2} DUAN Xu^{1,2} LIU Wenchao¹ WANG Zhe¹

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023;

2. 粮食储藏安全河南省协同创新中心, 河南 郑州 450001)

(1. College of Food and Biological Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China; 2. Collaborative Innovation Center of Grain Storage Security, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要:目的:确定腐竹高效优质生产适宜的豆浆固形物含量和浆液深度。方法:探究豆浆固形物含量和浆液深度对腐竹得率、成膜速率、营养成分、机械性能、蒸煮损失率和复水比等的影响。结果:当豆浆固形物含量为 6%, 豆浆浆液深度为 6 cm 时, 腐竹得率(34.68%)和营养物质含量最高, 其蛋白质含量为 51.05%, 脂肪含量为 23.42%, 且抗拉强度和复水性较好, 分别为 3.74 MPa 和 3.80 g/g。结论:综合考虑腐竹得率、成膜速率和食用品质等指标, 建议采用豆浆固形物含量 6%, 豆浆浆液深度 6 cm 进行腐竹的高效优质生产。

关键词:腐竹; 豆浆固形物含量; 豆浆浆液深度; 高效优质

Abstract: **Objective:** Determine the appropriate soymilk concentration and slurry depth to provide a theoretical reference for the efficient and high-quality production of yuba. **Methods:** The effect of soymilk solids concentration and slurry depth on the yield, film-forming rate, nutrient contents, mechanical properties, cooking loss rate, and rehydration ratio were investigated. **Results:** The optimal yield solids of yuba (34.68%) and highest nutritional value occurs when the soymilk solids concentration is 6% and the soymilk slurry depth is 6 cm, which presents 51.05% protein, 23.42% fats, and it also has good tensile strength and rehydration qualities, with respective measurements of 3.74 MPa and 3.80 g/g. **Conclusion:** Considering various factors such as yield, film formation rate and

overall food quality, it is recommended to employ processing conditions with a soymilk solids concentration of 6% and a slurry depth of 6 cm for the efficient and high-quality production of yuba.

Keywords: yuba; solids concentration of soymilk; slurry depth of soymilk; efficient and high-quality

腐竹是豆浆受热时蛋白质变性, 同时与脂肪、碳水化合物等聚合而形成的聚集于豆浆表面的薄膜^[1], 在中国传统豆制品中占有重要的地位^[2]。腐竹因其独特的口感和丰富的营养价值而被大众所喜爱, 除含有 19 种氨基酸(特别是赖氨酸)外, 腐竹中还富含多种矿物质, 其异黄酮含量比生大豆及豆腐高 1.12~2.90 倍^[3]; 此外, 腐竹中的蛋白质体外消化率比整粒大豆高 1.24~2.68 倍^[4]。

豆浆固形物含量是影响腐竹形成的重要因素, 它通过影响蛋白质浓度、分子间交联、溶解度、浓缩效应以及各组分的相互作用, 进而影响腐竹的营养成分含量、得率和机械性能^[5]。此外, 豆浆固形物含量对大豆蛋白中的氢键、范德华力、离子键等分子作用也有所影响^[6]。豆浆的浆液深度则主要通过影响热传导和温度均匀性, 间接影响腐竹的得率和机械性能等。豆浆浆液深度较浅可加快腐竹的形成, 但浆液深度过浅会使热传导速度过快, 使蛋白质分子过度变性, 分子链大量断裂, 不利于网络结构的形成; 浆液深度过深, 则豆浆中心部分的蛋白质没有足够的时间凝结, 腐竹得率会降低^[7]。另一方面, 豆浆浆液的深度还会影响蛋白质分子的扩散, 浆液深度过高导致的扩散限制会使蛋白质分子的扩散速率降低, 进一步影响蛋白质的凝结效率^[8]。

韩智等^[9]研究了豆浆固形物含量和深度对腐竹得率

基金项目: 中原科技创新领军人才项目(编号: 234200510020)

作者简介: 张炎, 男, 河南科技大学在读硕士研究生。

通信作者: 任广跃(1971—), 男, 河南科技大学教授, 博士。

E-mail: guangyueyao@163.com

收稿日期: 2023-10-08 改回日期: 2023-12-20

和成膜速率的影响,但缺少对腐竹食用品质的研究。蓝伟杰^[7]研究了豆浆固形物含量和深度对腐竹得率、机械性能和色差的影响,但对其营养成分含量以及蒸煮损失率的影响未有探讨。研究拟设定不同的豆浆固形物含量和深度,全面探讨这两个因素对腐竹得率、成膜速率、营养成分含量、机械性能、蒸煮损失率和复水比等的影响,并分析其作用机制,以期对腐竹的高效优质生产提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

东北大豆:吉林 20 号,湿基含水率为 13%,市售;

石油醚、硫酸铜、硫酸钾:分析纯,天津市德恩化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

料理机:MJ-WBL2501B 型,美的集团股份有限公司;

电磁炉:C21-SK611 型,九阳股份有限公司;

手持折射仪:WYT 型,成都豪创光电仪器有限公司;

腐竹成型槽:实验室自制;

电热恒温水浴锅:HH-S6 型,北京科伟永兴仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱:101 型,北京科伟永兴仪器有限公司;

质构仪:TA.XT express 型,英国 SMS 公司;

色差仪:Color i5 型,美国 X Rite 公司。

1.2 方 法

1.2.1 腐竹的生产工艺 准确称取 100 g 经筛选后的东北大豆,清洗,室温浸泡 12 h,沥干,加入蒸馏水打浆。使用 100 目纱布过滤,将浆液煮沸后保持 2 min。而后转入水浴锅中 85 ℃ 恒温揭膜,每隔 15 min 揭膜一次,直到不能揭膜为止。所得高湿腐竹经 60 ℃ 热风干燥 6 h 后得到腐竹成品。试验中各项腐竹品质指标均是基于第 2 次揭膜所得腐竹测得。

1.2.2 豆浆固形物含量对腐竹得率和品质的影响 打浆时加入不同量的蒸馏水,调整豆浆的固形物含量分别为 4%,5%,6%,7%,8%,采用手持折射仪测定固形物含量。为探究豆浆固形物含量对腐竹得率及产品品质的影响,将腐竹成型槽中豆浆浆液厚度固定为 6 cm,揭竹温度为 85 ℃。

1.2.3 豆浆浆液深度对腐竹得率和品质的影响 将豆浆固形物含量固定为 6%,调整腐竹成型槽中豆浆浆液厚度为 3,4,5,6,7 cm,于 85 ℃ 恒温揭竹。

1.2.4 腐竹得率测定 将烘干后的腐竹用电子天平测定其质量,并按式(1)计算其得率。

$$Y = \frac{m}{M} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

Y——得率,%;

m——烘干后的腐竹质量,g;

M——干大豆质量,g。

1.2.5 腐竹成膜速率测定 按式(2)进行计算。

$$F = \frac{m}{T}, \quad (2)$$

式中:

F——成膜速率,g/min;

m——烘干后的腐竹质量,g;

T——成膜所需时间,min。

1.2.6 腐竹营养成分含量测定

(1) 蛋白质含量:根据 GB/T 5009.5—2016。

(2) 脂肪含量:根据 GB/T 5009.6—2016。

(3) 灰分含量:根据 GB/T 5009.4—2016。

(4) 水分含量:根据 GB/T 5009.3—2016。

(5) 碳水化合物含量:由 100% 减去蛋白质、脂肪、灰分和水分含量求得。

1.2.7 腐竹机械性能和厚度的测定 参考蓝伟杰等^[10]的方法并略作修改。将腐竹于饱和氯化钡溶液中平衡 12 h,切成 2 cm×6 cm 长条,用游标卡尺在腐竹上随机选择 5 个点测定其厚度和宽度,取平均值,并测定断裂前后的总长度,利用质构仪测定其断裂时最大的拉伸力度。每个样品平行测定 3 次,探头选用 A/KIE 型,测前速率 3 mm/s,测时速率 1 mm/s,测后速率 5 mm/s。按式(3)、式(4)分别计算抗拉强度和延伸率。

$$T_s = \frac{F}{S}, \quad (3)$$

$$E = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

T_s ——拉伸强度,MPa;

F——样品断裂时所受的最大拉力,N;

S——样品的横截面积,mm²;

E——延伸率,%;

L_1 ——样品断裂后的总长度,mm;

L_0 ——样品断裂前的长度,mm。

1.2.8 腐竹色泽测定 使用小型粉碎机将烘干后的腐竹打粉后装入自封袋,使用 Xrite Color i5 型色差仪随机选取 3 个点测定其 L^* 、 a^* 、 b^* 值。

1.2.9 腐竹复水比测定 参考赵梦月等^[11]的方法并略作修改。取质量为 m_1 的腐竹于 30 ℃ 水浴中处理 2 h,用吸水纸吸干表面水分后称重,每组样品测定 3 次取平均值,按式(5)计算复水比。

$$R = \frac{m_2}{m_1}, \quad (5)$$

式中:

R——复水比,g/g;

m_1 ——腐竹初始质量, g;
 m_2 ——腐竹复水后的质量, g。

1.2.10 腐竹蒸煮损失率测定 参考郭星星等^[12]的方法并略作修改。取干燥后的腐竹, 切成 2 cm×6 cm 长条, 置于沸水浴中处理 15 min, 捞出沥干 5 min, 烘干至恒重, 按式(6)计算蒸煮损失率。

$$C = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (6)$$

式中:

C ——蒸煮损失率, %;
 m_1 ——腐竹蒸煮前质量, g;
 m_2 ——腐竹蒸煮后质量, g。

1.3 数据处理

所有试验平行测定 3 次, 使用 Excel 2021、SPSS 26、Origin 2023 软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 豆浆固形物含量对腐竹得率和成膜速率的影响

由图 1 可知, 随着豆浆固形物含量的升高, 腐竹得率和成膜速率均呈先上升后下降趋势, 当豆浆固形物含量为 6% 时, 腐竹得率和成膜速率均达到最大, 分别为 34.10% 和 0.32 g/min。随着豆浆固形物含量的进一步增加, 腐竹得率出现较快速率的下降, 且在豆浆固形物含量为 8% 时达到最低点(为 25.78%), 与蓝杰伟等^[10]的研究结果相似。腐竹是豆浆中的蛋白质与其他组分在特定条件下相互作用形成的凝胶层^[13], 当豆浆固形物含量增加, 蛋白质分子之间的相互作用机会就会增多。因此, 增大豆浆固形物含量有利于蛋白质分子之间的交联作用, 从而加速腐竹的成膜速率, 并提高得率^[12], 当豆浆固形物含量为 6% 时, 豆浆的黏稠度有助于形成稳定的凝胶结构, 从而达到腐竹的最大得率。由于豆浆中其他组分(如脂肪和多糖)的影响, 继续增大豆浆固形物含量, 这些组分可能会影响蛋白质之间的相互作用, 对腐竹的形成产生不利影响^[14]。

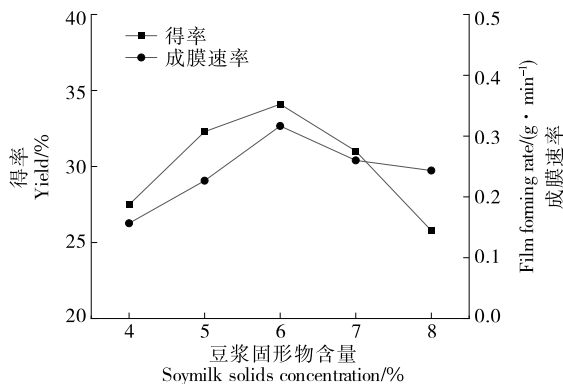


图 1 豆浆固形物含量对腐竹得率和成膜速率的影响

Figure 1 Effects of soymilk solids concentration on yield and film forming rate of yuba

腐竹形成过程中涉及到各种组分在溶液中的扩散, 过高的豆浆固形物含量可能导致扩散阻力的增加, 从而导致蛋白质扩散速率降低, 影响腐竹得率和成膜速率^[15]。

2.2 豆浆固形物含量对腐竹营养成分含量的影响

由图 2 可知, 随着豆浆固形物含量的升高, 腐竹中的蛋白质、脂肪和碳水化合物含量均呈先上升后下降趋势, 当豆浆固形物含量为 6% 时, 其蛋白质、脂肪含量达到最高点, 分别为 50.31% 和 21.66%; 当豆浆固形物含量为 8% 时, 蛋白质含量降到最低, 为 47.23%。但蛋白质和脂肪含量在上升阶段变化较小, 碳水化合物含量变化较大。豆浆固形物含量较低时, 蛋白质之间的交联作用不足, 形成的凝胶较弱, 豆浆中的碳水化合物(如多糖)会与蛋白质竞争形成凝胶的位置, 在豆浆固形物含量较低时多糖的影响更为显著, 因此碳水化合物含量在豆浆固形物含量为 5% 时达到最大。随着豆浆固形物含量的增加, 蛋白质之间的交联作用增强, 有助于形成更稳定的凝胶结构。脂肪还可以与蛋白质分子通过疏水相互作用形成复合物, 有助于脂肪更好地包埋至腐竹结构中, 因此蛋白质和脂肪含量在豆浆固形物含量为 6% 时达最大^[7, 16-17]。但随着豆浆固形物含量的进一步升高, 蛋白质分子之间的间隙变小, 蛋白质分子之间更容易发生聚集和结块, 而不是形成可溶解的状态, 这会导致蛋白质分子被排除在腐竹之外, 使得腐竹中的蛋白质含量降低^[18]。此外, 豆浆固形物含量过高会导致豆浆体系中各分子扩散受限, 从而导致腐竹中各组分含量在达到最高点之后出现下降。

2.3 豆浆固形物含量对腐竹机械性能、厚度和色泽的影响

由表 1 可知, 随着豆浆固形物含量的升高, 腐竹的抗拉强度和延伸率均呈先增大后减小趋势, 腐竹的厚度逐渐增加。当豆浆固形物含量为 6% 时, 腐竹具有较好的抗拉强度和延伸率, 分别为 3.35 MPa 和 12.28%, 且色泽较好(L^* 值为 66.37)。大豆蛋白中的极性氨基酸残基可以

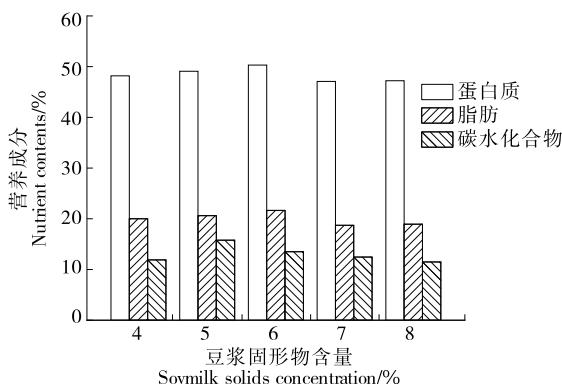


图 2 豆浆固形物含量对腐竹营养成分含量的影响

Figure 2 Effects of soymilk solids concentration on nutrient contents of yuba

表 1 豆浆固形物含量对腐竹机械性能、厚度和色泽的影响

豆浆固形物含量/%	抗拉强度/MPa	延伸率/%	厚度/($\times 10^{-2}$ mm)	L^*	a^*	b^*
4	2.47 \pm 0.13	10.16 \pm 0.35	15.39 \pm 0.53	61.15 \pm 0.46	-2.17 \pm 0.16	5.27 \pm 0.20
5	3.36 \pm 0.12	10.50 \pm 0.58	17.61 \pm 0.54	66.12 \pm 0.39	-0.72 \pm 0.30	8.31 \pm 0.33
6	3.35 \pm 0.12	12.28 \pm 0.44	20.37 \pm 0.57	66.37 \pm 0.43	-1.57 \pm 0.11	6.94 \pm 0.11
7	3.03 \pm 0.09	11.16 \pm 0.32	23.58 \pm 0.58	64.50 \pm 0.74	-1.78 \pm 0.12	4.82 \pm 0.23
8	2.63 \pm 0.20	10.85 \pm 0.24	26.17 \pm 0.80	64.95 \pm 0.55	-1.75 \pm 0.12	3.24 \pm 0.07

通过氢键与其他分子(如水和蛋白质分子)相互作用^[19]。随着豆浆固形物含量的增加,蛋白质分子之间的氢键形成机会增加,有助于稳定腐竹的凝胶结构,从而提高其机械性能^[10]。此外,大豆蛋白中带正电或负电的氨基酸残基在特定条件下形成的离子键以及蛋白质与脂肪之间的疏水相互作用,也会进一步增强腐竹的凝胶强度^[20-21]。Ma等^[22]研究发现,豆浆固形物含量过高不利于大豆蛋白次级键的断裂,分子间的二硫键、疏水键等无法转移到外部与其他粒子相互作用,从而导致腐竹机械性能下降。腐竹的颜色与豆浆中的天然色素、蛋白质和脂肪的相互作用有关^[23],当豆浆固形物含量为6%时,这些组分以最佳的方式相互作用,使腐竹具有最好的色泽,但在更高或更低的固形物含量下,腐竹的颜色不均匀或色泽变暗。

2.4 豆浆固形物含量对腐竹复水比和蒸煮损失率的影响

由图3可知,随着豆浆固形物含量的增加,腐竹的复水比不断上升,而腐竹的蒸煮损失率呈先下降后上升趋势。当豆浆固形物含量为6%时,蒸煮损失率最低(为5.84%),可能是随着豆浆固形物含量的增加,蛋白质浓度也相应增加,高浓度的蛋白质意味着更多的分子间交互,导致腐竹凝胶孔隙度增大,从而增加其复水能力^[24]。在高固形物含量的豆浆中,分子间的氢键和范德华相互作用

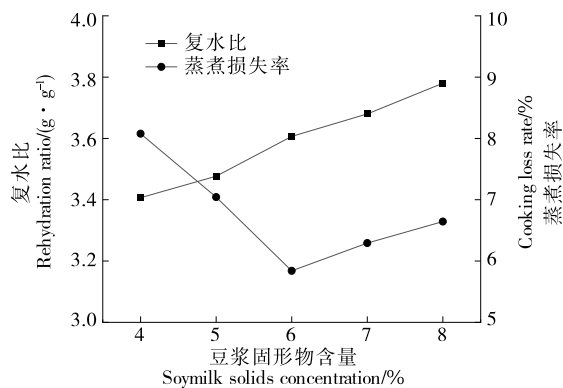


图3 豆浆固形物含量对腐竹复水比和蒸煮损失率的影响
Figure 3 Effects of soymilk solids concentration on rehydration ratio and cooking loss rate of yuba

用也更为显著,使得腐竹在复水时更容易吸收水分^[25]。当豆浆固形物含量为6%时,由于有足够的蛋白质分子形成稳定的交联,腐竹的凝胶结构达到一个相对稳定的状态。此外,6%的豆浆固形物含量下,氢键、范德华力、离子键等分子间作用也达到了最佳平衡,为腐竹提供了最佳的稳定性,使其在蒸煮过程中损失较少^[26]。继续增大豆浆固形物含量,过度的交联可能导致腐竹凝胶结构过于紧密,从而在蒸煮时更容易断裂或破损。

2.5 豆浆浆液深度对腐竹得率和成膜速率的影响

由图4可知,随着豆浆浆液深度的不断增加,腐竹得率呈先上升后下降趋势,且在豆浆浆液深度为6cm时达最大为34.68%,而腐竹的成膜速率则呈不断下降趋势,最低为0.23 g/min。当豆浆浆液深度为6cm时,豆浆体系中的热传导达到最佳平衡,使得整个深度范围内的蛋白质都能得到适当的凝结,从而达到最大得率。继续增大浆液深度,豆浆中心部分的蛋白质没有足够的时间凝结,导致得率降低,与蓝伟杰^[7]的研究结果相似。豆浆浆液深度较浅时,由于热传导时间较短,蛋白质快速凝结,从而快速形成腐竹膜^[27]。继续增大豆浆浆液深度,表面与空气接触的蛋白质需要经历更长时间的热传导来达到凝结所需的温度,此外,由于豆浆浆液深度增加而导致的扩散限制使蛋白质分子的扩散速率降低,因此,腐竹的成膜速率不断下降^[28]。

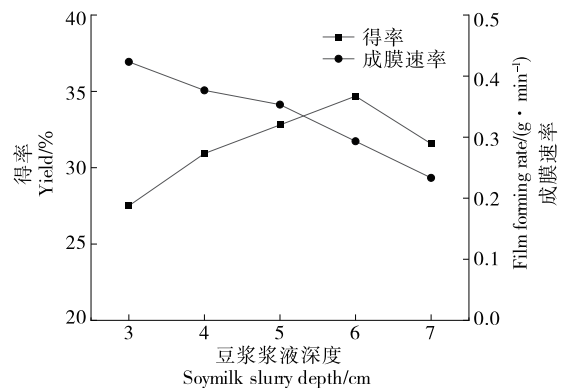


图4 豆浆浆液深度对腐竹得率和成膜速率的影响
Figure 4 Effects of soymilk slurry depth on yield and film forming rate of yuba

2.6 豆浆浆液深度对腐竹营养成分含量的影响

由图 5 可知,随着豆浆浆液深度的增加,腐竹中的蛋白质、脂肪和碳水化合物含量均表现出先增加后减少的变化规律,但脂肪含量的变化较大,蛋白质和碳水化合物含量的变化较小。当豆浆浆液深度为 6 cm 时,腐竹中的蛋白质、脂肪和碳水化合物含量达到最大值,分别为 51.05%,23.42%,15.01%。豆浆浆液深度较浅,热传导迅速,导致蛋白质快速凝结,但热传导速度过快会使蛋白质分子过度变性,分子链大量断裂,不利于网络结构的形成,因此在较浅的深度下腐竹的营养成分含量较低^[29]。

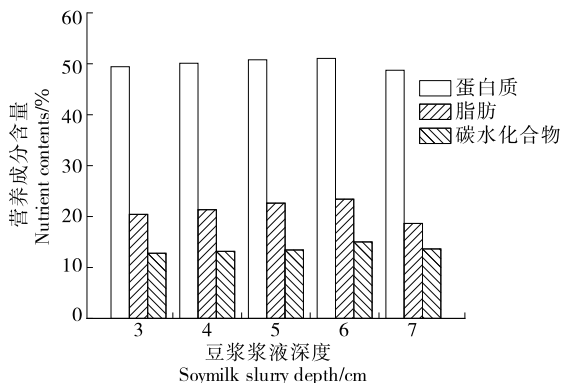


图 5 豆浆浆液深度对腐竹营养成分含量的影响

Figure 5 Effects of soy milk slurry depth on nutrient contents of yuba

表 2 豆浆浆液深度对腐竹机械性能、厚度和色泽的影响

Table 2 Effect of soy milk slurry depth on mechanical properties, thickness and color of yuba

豆浆浆液深度/cm	抗拉强度/MPa	延伸率/%	厚度/($\times 10^{-2}$ mm)	L^*	a^*	b^*
3	2.89±0.15	10.71±0.51	27.80±0.72	62.16±0.64	-1.39±0.11	4.42±0.20
4	2.97±0.21	10.45±0.47	26.60±0.95	62.94±0.25	-1.86±0.23	5.63±0.20
5	3.31±0.18	9.20±0.45	22.85±0.45	63.45±0.64	-1.48±0.03	6.05±0.16
6	3.74±0.11	10.58±0.62	20.17±0.48	63.76±0.61	-1.63±0.12	5.50±0.13
7	3.58±0.13	9.38±0.32	17.14±0.55	67.72±0.48	-1.51±0.14	9.40±0.71

豆浆浆液深度增大,体系热传导速率变慢,腐竹形成的速度减缓^[32]。因此,相同间隔时间内的腐竹形成量会减少,从而导致腐竹厚度减小。Chen 等^[33]研究表明,豆浆体系中的温度梯度和浓度梯度会影响粒子的扩散过程。

2.8 豆浆浆液深度对腐竹复水比和蒸煮损失率的影响

由图 6 可知,随着豆浆浆液深度的增加,腐竹的复水比和蒸煮损失率均呈不断上升趋势,且在浆液深度为 6 cm 时具有较好的蒸煮损失率(6.52%)。随着豆浆浆液深度的增加,豆浆体系热传导作用变得相对缓慢,进而导致豆浆体系温度分布不均匀,这种非均匀的热分布会导致豆浆中的部分蛋白质未能完全凝结,形成的腐竹结构较为疏松,从而导致复水比上升。这种疏松的腐竹结构会导致腐竹在蒸煮过程中更容易损失部分结构,从而增

随着豆浆浆液深度的增加,热传导变得缓慢,温度分布变得不均匀,影响蛋白质的凝结。此外,物质的扩散速率对腐竹的形成也有一定影响,豆浆浆液深度过高,蛋白质、脂肪和碳水化合物的扩散受限,导致其在腐竹中的含量降低^[30]。脂肪分子具有较低的密度并倾向于向上浮动,当豆浆浆液深度较浅时,脂肪分子可以更容易地浮到表面,随着深度的增加,脂肪的上升速度受到制约,导致其在腐竹中的含量先逐渐增加,在到达最高点后开始减少^[31]。当豆浆浆液深度为 6 cm 时,体系的热传导和物质扩散达到了一个平衡点,有助于形成稳定的腐竹结构,并最大程度地保留这些成分。

2.7 豆浆浆液深度对腐竹机械性能、厚度和色泽的影响

由表 2 可知,随着豆浆浆液深度的增加,腐竹的抗拉强度呈先增大后减小的趋势; L^* 值不断增大,而厚度不断减小。当豆浆浆液深度为 6 cm 时,腐竹具有较好的抗拉强度和延伸率,分别为 3.74 MPa 和 10.58%,且色泽较好(L^* 值为 63.76)。蛋白质分子之间的氢键是确保腐竹稳定性和结构完整性的关键因素。当豆浆浆液深度较低时,蛋白质聚合的时间和空间相对受限,导致蛋白质之间的键合作用不够紧密,所以腐竹的抗拉强度较低。随着豆浆浆液深度的增大,豆浆体系温度梯度增大且热传导效应变慢,豆浆表面的温度相对较低,这种相对较低的温度有助于形成更多的氢键,进而增加了腐竹的抗拉强度。

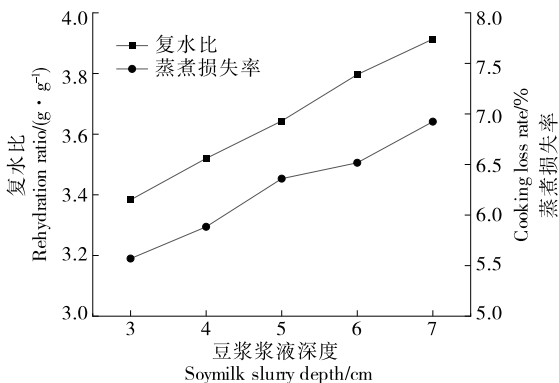


图 6 豆浆浆液深度对腐竹复水比和蒸煮损失率的影响

Figure 6 Effects of soy milk slurry depth on rehydration ratio and cooking loss rate of yuba

加蒸煮损失率^[34]。此外,豆浆浆液深度过深,蛋白质与其他分子之间的交联和相互作用也会减弱,这种减弱的交联作用会使腐竹结构变得较为脆弱,导致其在蒸煮过程中更容易受到损伤。

3 结论

试验表明,当豆浆固形物含量为6%,豆浆浆液深度为6 cm时,腐竹得率最高为34.68%;营养成分含量最高,其蛋白质和脂肪含量分别为51.05%和23.42%;抗拉强度和延伸性较好,分别为3.74 MPa和10.58%;复水性较好为3.80 g/g。综合考虑各因素,在腐竹的实际生产中,建议采用豆浆固形物含量为6%、豆浆浆液深度为6 cm的工艺条件,不仅可以提高腐竹得率,还可以改善腐竹的食用品质。

试验未考虑可能影响腐竹品质的外在因素,如环境温度、超声处理等,后续研究应进行深入探讨。为进一步优化腐竹的生产工艺和提高其品质,后续可以开发新的豆浆制备和腐竹生产工艺,以实现更高的效率和更好的品质。

参考文献

- [1] 葛宏贺, 潘思轶, 徐晓云. 不同大豆品种对腐竹品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(6): 10-14.
- [2] 李永吉, 曾茂茂, 何志勇, 等. 腐竹加工技术及品质影响因素的研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(23): 333-337.
- [3] 王建光, 霍建治, 成玉梁, 等. 正交试验优化全子叶腐竹生产工艺[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(12): 225-229.
- [4] 谢丽燕. 腐竹生产工艺及影响因素研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014: 1.
- [5] 张伟, 邱楠, 杨红萍, 等. 成膜条件对腐竹品质的影响研究[J]. 食品科技, 2021, 46(1): 105-112.
- [6] 赵秋艳, 张平安, 宋莲军, 等. 揭竹过程中浆液成分与腐竹品质的变化及其相关性研究[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(9): 157-160.
- [7] 蓝伟杰. 大豆蛋白成膜性质的影响因素研究及腐竹生产工艺的优化[D]. 南宁: 广西大学, 2020: 47.
- [8] ZHANG S, LEE J, KIM Y. Chemical composition, water vapor permeability, and mechanical properties of yuba film influenced by soymilk depth and concentration[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(5): 1751-1756.
- [9] 韩智, 石谷孝佑, 李再贵. 不同豆浆浓度和浆液深度对腐竹生产的影响[J]. 农业工程学报, 2005(11): 187-189.
- [10] 蓝伟杰, 林莹, 康庆, 等. 原料组分与工艺条件对腐竹品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(16): 252-258.
- [11] 赵梦月, 段续, 任广跃, 等. 山茱萸微波冷冻干燥动力学及品质变化分析[J]. 食品与机械, 2021, 37(11): 111-117, 129.
- [12] 郭星星, 赵秋艳, 赵瑞芳, 等. L-半胱氨酸对揭竹过程中腐竹品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 49(21): 235-242.
- [13] ZHANG S R, KIM N, YOKOYAMA W, et al. Effects of moisture content on mechanical properties, transparency, and thermal stability of yuba film[J]. Food Chemistry, 2018, 243: 202-207.
- [14] JIN Y, SONG K Y, KIM Y. A soy-based jerky made from transglutaminase-treated yuba film[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(12): 146-154.
- [15] 曾仕晓. 不同来源大豆品种对腐竹产量及品质的影响[D]. 广州: 华南农业大学, 2018: 6.
- [16] 兰天彤, 李炎彤, 刘磊, 等. 蛋白质-卵磷脂复合体系功能特性的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(11): 96-102.
- [17] ZHAO Q Y, ZHANG P A, SONG L J, et al. Changes of soymilk composition and yuba quality and their correlation on the formation of yuba[J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(9): 157-160.
- [18] LAN W J. Study on influencing factors for film-forming properties of soybean proteins and optimization of yuba production technology [D]. Nanning: Guangxi University, 2020: 47.
- [19] HAN Z, Ishitani Takasuke, LI Z G. Effects of different soymilk concentrations and depth on the formation of yuba[J]. Transactions of the CSAE, 2005(11): 187-189.
- [20] LAN W J, LIN Y, KANG Q, et al. Effects of raw material composition and processing conditions on quality of yuba[J]. Food Science, 2020, 41(16): 252-258.
- [21] ZHAO M Y, DUAN X, REN G Y, et al. Drying kinetics and quality changes analysis of *Cornus officinalis* dried by microwave freeze-drying[J]. Food & Machinery, 2021, 37(11): 111-117, 129.
- [22] GUO X X, ZHAO Q Y, ZHAO R F, et al. Effect of L-cysteine on the quality of yuba during the process of unveiling[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 49(21): 235-242.
- [23] ZENG S X. Effects of different soybean varieties on yield and quality of yuba [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018: 6.
- [24] LAN T T, LI Y T, LIU L, et al. Advances in functional characteristics of protein-lecithin composite system[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2023, 14(11): 96-102.

- [17] 毕爽, 张巧智, 丁俭, 等. 红外光谱研究超声促聚集作用对大豆蛋白-磷脂结构与功能的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(11): 18-24.
BI S, ZHANG Q Z, DING J, et al. Infrared spectroscopic analysis of the effect of ultrasound-promoted aggregation behavior on structural and functional properties of soybean protein-lecithin system[J]. Food Science, 2017, 38(11): 18-24.
- [18] 马骏骅, 颜金鑫, 樊炯, 等. 亲水多糖对谷氨酰胺转氨酶交联大豆分离蛋白凝胶特性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(15): 20-32.
MA J H, YAN J X, FAN J, et al. Effects of hydrophilic polysaccharides on the properties of transglutaminase enzyme cross linked soy protein isolate gel[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2023, 14(15): 20-32.
- [19] 安然. 大豆分离蛋白可溶性热聚集行为及其超声调控研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019: 33.
AN R. Study on soluble thermal aggregates of soybean protein isolate and its ultrasonic regulation [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019: 33.
- [20] KIM N, SEO E, KIM Y. Physical, mechanical and water barrier properties of yuba films incorporated with various types of additives[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(6): 2 808-2 817.
- [21] 张麒, 吴海波, 颜文文, 等. 大豆 7S 与 11S 球蛋白理化特性及其改性修饰的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(9): 324-335.
ZHANG Q, WU H B, YAN W W, et al. Research progress on physicochemical properties and modification of soybean 7S and 11S globulins[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(9): 324-335.
- [22] MA W, WANG T, WANG J, et al. Enhancing the thermal stability of soy proteins by preheat treatment at lower protein concentration [J]. Food Chemistry, 2020, 306: 182-212.
- [23] 杨月, 乔明武, 宋莲军, 等. 添加剂对腐竹色泽及其质构特性的影响研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(11): 371-373.
YANG Y, QIAO M W, SONG L J, et al. Study on the effect of additives on properties of yuba in color and texture[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(11): 371-373.
- [24] MENG Y, KIM Y. Effects of heat curing and transglutaminase treatments on the physical, mechanical, and water barrier properties of yuba films [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(12): 160-168.
- [25] 李向红. 大豆蛋白聚集体-多糖混合体系相行为及微观结构的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 50.
LI X H. Phase behavior and microstructure of soy protein aggregate-polysaccharide mixtures[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008: 50.
- [26] 李嘉欣, 马萧杰, 兰欣, 等. 豆粕陈化对于大豆蛋白结构性质及腐竹制备的影响[J/OL]. 中国油脂. (2023-03-03) [2023-09-10]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1099.TS.20230303.1151.004.html>.
- LI J X, MA X J, LAN X, et al. Effect of soybean meal aging on the structure and properties of soybean protein and the preparation of yuba[J]. China Oils and Fats. (2023-03-03) [2023-09-10]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1099.TS.20230303.1151.004.html>.
- [27] 李加双, 张良, 王晶, 等. 热处理方式对豆腐品质特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(23): 142-148.
LI J S, ZHANG L, WANG J, et al. Effects of different heat treatments on the quality and characteristics of tofu[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(23): 142-148.
- [28] 贾子璇, 冉安琪, 刘季善, 等. 工业改性对大豆蛋白结构及大豆蛋白-肌原纤维蛋白复合凝胶的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(4): 67-73.
JIA Z X, RAN A Q, LIU J S, et al. Effect of industrial modifications on soybean protein structure and the texture and microstructure of soybean protein-myofibrillar protein hybrid gels [J]. Food Science, 2020, 41(4): 67-73.
- [29] 臧茜茜, 吴婧, 潘思轶, 等. 蛋白及脂肪含量对腐竹差异成膜的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(6): 129-135.
ZANG Q Q, WU J, PAN S Y, et al. Effect of protein and lipid content on yuba film-formation [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(6): 129-135.
- [30] 尹秀华, 谢丽燕, 林静, 等. 大豆蛋白质改性及添加剂对腐竹得率和机械性能影响比较[J]. 轻工科技, 2014, 30(6): 7-10.
YIN X H, XIE L Y, LIN J, et al. Comparison of effects of soybean protein modification and additives on yield and mechanical properties of yuba [J]. Light Industry Science and Technology, 2014, 30(6): 7-10.
- [31] CHEN Y, ONO T. The mechanisms for yuba formation and its stable lipid[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(10): 6 485-6 489.
- [32] 谢丽燕, 林莹, 谭瑶瑶, 等. 正交试验优化传统腐竹制作工艺[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 36-40.
XIE L Y, LIN Y, TAN Y Y, et al. Optimization of the traditional production process of yuba[J]. Food Science, 2014, 35(2): 36-40.
- [33] CHEN Y M, YAMAGUCHI S, ONO T. Mechanism of the chemical composition changes of yuba prepared by a laboratory processing method[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(9): 3 831-3 836.
- [34] 刘伟峰, 张友胜, 黄利华, 等. 马铃薯淀粉添加量对腐竹品质的影响[J]. 广东农业科学, 2021, 48(7): 145-151.
LIU W F, ZHANG Y S, HUANG L H, et al. Effects of addition of potato starch on quality of yuba [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2021, 48(7): 145-151.