

NaCl、糖类和木瓜蛋白酶对碱诱导蛋清凝胶性的影响

吴胤霆, 王洋, 郑贵中, 叶阳*

(四川轻化工大学生物工程学院, 四川宜宾 644000)

摘要: 为了研究不同添加物在高温条件下对碱诱导蛋清凝胶硬度和色度所作出的贡献, 把 NaCl、糖类和木瓜蛋白酶加入到碱诱导的蛋清中并加热, 以蛋清凝胶强度和色差等为评价指标, 对不同添加剂作用于碱诱导下的蛋清凝胶进行研究。结果表明: 1% 的 NaCl 使凝胶硬度显著上升 ($p < 0.05$), 透光率显著下降 ($p < 0.05$), 且显著增加了凝胶的白度 ($p < 0.05$), 硬度从 81.94 g 上升到 144.94 g, 增加了 77%, 透光率从 34.33% 下降到 9.10%, 持水性随盐浓度增加而上升。蔗糖和麦芽糖的加入使凝胶质构变化较小, 高浓度麦芽糖可降低凝胶的硬度, 5% 浓度的麦芽糖使凝胶的透光率显著下降 ($p < 0.05$), 从 25.3% 下降到 9.34%, 减少了 63%, 而蔗糖的透光率却增加了 26%, 凝胶的总体白度都下降。木瓜蛋白酶的添加使凝胶的透光率显著上升 ($p < 0.05$), 从 34.33% 上升到 54.27%, 增加了 60%, 凝胶的总体白度略微下降, 凝胶硬度和咀嚼性下降了 30% 左右。综上所述, NaCl、木瓜蛋白酶、蔗糖和麦芽糖对高温条件碱诱导的蛋清凝胶均有不同的影响, 可为不同蛋制品的理化和感官需求提供参考依据。

关键词: 碱诱导; 蛋清凝胶; NaCl; 木瓜蛋白酶; 糖类

文章编号: 1673-9078(2022)01-256-263

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.1.0490

The Effects of NaCl, Sugars and Papaya Proteases on Alkali-induced Egg White Gels

WU Yinting, WANG Yang, ZHENG Guizhong, YE Yang*

(College of Bioengineering, Sichuan University of Science and Engineering, Yibin 644000, China)

Abstract: In order to study the contribution of different additives to the hardness and color of alkali-induced egg white gel at high temperature, NaCl, sugars and papain were added to alkali-induced egg white and heated. The gel strength and color difference of egg white were used as evaluation indexes to study the effect of different additives on alkali-induced egg white gel. The results showed that 1% NaCl significantly increased the hardness of the gel ($p < 0.05$), decreased the transmittance ($p < 0.05$), and significantly increased the whiteness of the gel ($p < 0.05$). The hardness increased from 81.94 g to 144.94 g, increased by 77%, and the transmittance decreased from 34.33% to 9.10%. The water holding capacity increased with the increase of salt concentration. The addition of sucrose and maltose made the gel texture change little, high concentration of maltose could reduce the hardness of the gel, 5% concentration of maltose made the transmittance of the gel decreased significantly ($p < 0.05$), from 25.3% to 9.34%, decreased by 63%, while the transmittance of sucrose increased by 26%, the overall whiteness of the gel decreased. The addition of papain significantly increased the transmittance of the gel ($p < 0.05$), from 34.33% to 54.27%, increasing by 60%. The overall whiteness of the gel slightly decreased, and the hardness and chewiness of the gel decreased by about 30%. In summary, NaCl, papain, sucrose and maltose had different effects on alkali-induced egg white gel under high temperature conditions, which could provide reference for the physicochemical and sensory needs of different egg products.

Key words: alkali induction; egg white gel; NaCl; papain; sugars

引文格式:

吴胤霆,王洋,郑贵中,等.NaCl、糖类和木瓜蛋白酶对碱诱导蛋清凝胶性的影响[J].现代食品科技,2022,38(1):256-263,+323

WU Yinting, WANG Yang, ZHENG Guizhong, et al. The effects of NaCl, sugars and papaya proteases on alkali-induced egg white gels [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(1): 256-263, +323

收稿日期: 2021-05-07

基金项目: 四川省教育厅重点科研项目 (18ZA0354); 四川轻化工大学科研项目 (2017RCL74)

作者简介: 吴胤霆 (1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农畜产品精深加工, E-mail: wuyinting161@163.com

通讯作者: 叶阳 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农畜产品精深加工, E-mail: yeyang161@163.com

中国是世界的产蛋大国^[1],其中鸡蛋占比最多^[2],因营养价值丰富^[3]和蛋清多功能的性质被广泛应用于食品工业,但是国内对蛋制品加工和对鸡蛋的利用率与国外还存在一定的差距^[4]。鸡蛋清凝胶化是鸡蛋的一个重要特点,着重用于食品的感官方面,引起了许多研究人员的关注。目前研究发现,蛋清凝胶可通过酶、碱^[5]、加热^[6]等方式形成^[7],而形成过程又受蛋白质浓度、糖类^[8]、盐、温度^[9]、加热时间等因素影响^[10,11]。

其中传统皮蛋制品可在常温条件下直接加入碱缓慢而制得,高温条件下加碱诱导的生产蛋制品的效率比常温下生产效率更高,所以急需研究在高温条件下的碱诱导蛋清凝胶的性质。对于常温下碱诱导蛋清凝胶形成机理及凝胶特性研究比较深入,但高温处理碱诱导蛋清凝胶少有报道^[12]。然而 Gomes 等^[13]发现蛋清凝胶从 90 °C 到 100 °C 过程中凝胶的胶凝性会下降;凌子庭等^[5]发现在 70 °C 加热并添加 0.50% NaOH 可获得优良特性的碱诱导蛋清凝胶,但是在 95 °C 时的凝胶的质构特性较 75 °C 会下降。以上研究说明高温条件会降低凝胶的品质,甚至凝胶在高温下又可发生“液化”、“褐变”等现象,所以研究高温状态下的碱诱导凝胶性质很有必要。根据最新文献,范红等人^[14]将多糖与蛋清混合置于高压釜中 115 °C 处理 30 min 形成碱诱导的凝胶,结果发现多糖可以抑制碱诱导蛋清凝胶在高温处理过程中的凝胶液化现象,改善了高温状态下的碱诱导凝胶性。有文献报道,蛋清蛋白质经蛋白酶水解成多肽的混合物,能够提高蛋白对热的稳定性并且小分子肽更有助于人体吸收^[15]。所以添加适量的不同添加物是否会改善高温状态下的碱诱导凝胶性能值得我们思考。

因此本实验用 NaCl、糖类、木瓜蛋白酶分别加入到碱诱导的蛋清中,并加热到 95 °C 处理 20 min,分析蛋清凝胶的变化,以期丰富高温条件下碱诱导蛋清凝胶这一方面的研究,为控制蛋制品在生产过程中的液化现象提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鸡蛋,自贡市农贸市场同批次新鲜鸡蛋; NaCl、NaOH,成都市科龙化工试剂厂,AR 级;木瓜蛋白酶,成都市科龙化工试剂厂,食品级。

DH11 型电子计重秤,佛山顺德区拓普域电子有限公司; AR1140 分析天平,梅特勒-托利多仪器(上海); NS800 分光测色仪,深圳市三恩驰科技有限公

司; TA-XTplus 型物性分析仪, Stable Micro Systems (UK); HH-S 型恒温水浴锅,金士市正基仪器有限公司; SHZ-D (III) 循环水式真空泵,巩义市予华仪器有限公司; 78HW-1 型恒温磁力搅拌器,金坛市医疗仪器厂; PHS-2C 精密 pH 计,上海虹益仪器仪表有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 蛋清制备^[16]

将鲜鸡蛋的蛋清手工分离,用磁力搅拌器搅拌至分散均匀,静置 2 h 后弃除底层脐带等杂质,置于 4 °C 冰箱待用。

1.2.2 pH 对蛋清凝胶性质的影响

称取蛋清液 180 g 于烧杯中搅拌均匀。再向烧杯中滴加 1 mol/L 的 NaOH 溶液,调节蛋清液的 pH 为 11.1、11.2、11.3、11.4、11.5、11.6。抽真空 8 min,然后用保鲜膜封好后放入 95 °C 水浴锅加热 20 min 形成凝胶,取出测定凝胶质构、色差、持水性、吸光度等。

1.2.3 NaCl 对碱诱导的蛋清凝胶性质的影响

称取蛋清液 180 g 于烧杯中,将蛋清均匀的分装到 6 个小烧杯,并准确称取 0%、1%、2%、3%、4%、5% 的 NaCl 加入小烧杯搅拌均匀。再向烧杯中滴加 1 mol/L 的 NaOH 溶液,调节蛋清液的 pH 为 11.5。抽真空 8 min,然后用保鲜膜封好后放入 95 °C 水浴锅加热 20 min 形成凝胶,取出测定凝胶质构、色差、持水性、吸光度等。

1.2.4 蔗糖和麦芽糖对碱诱导的蛋清凝胶性质的影响

称取蛋清液 180 g,均匀的分装到 6 个小烧杯中,称取浓度梯度为 0%、1%、2%、3%、4%、5% 的麦芽糖和蔗糖分别加入小烧杯中做好标记并搅拌均匀。然后向烧杯中滴加 1 mol/L 的 NaOH 溶液,调节蛋清液的 pH 为 11.5。抽真空 8 min,然后用保鲜膜封好后放入 95 °C 水浴锅加热 20 min 形成凝胶,取出测定凝胶质构、色差、持水性、吸光度等。

1.2.5 酶对碱诱导的咸蛋清凝胶性质的影响

称取蛋清液 180 g 于烧杯中,添加蛋清液万分之四的木瓜蛋白酶直接加入蛋清液中搅拌均匀,搅拌均匀后将蛋清液放入 55 °C 水浴锅反应 20 min。在向烧杯中滴加 1 mol/L 的 NaOH 溶液,调节蛋清液的 pH 为 11.5。抽真空 8 min,然后用保鲜膜封好后放入 95 °C 水浴锅加热 20 min 形成凝胶,取出测定凝胶质构、色差、持水性、吸光度等。

1.2.6 蛋清凝胶性质测定

1.2.6.1 凝胶吸光度测定

取配置并调节好 pH 的蛋清液与比色皿中, 将比色皿放在 95 °C 水浴锅中加热凝固, 取出冷却到室温。然后在 600 nm 波长下测定该蛋清液凝胶的吸光度值。平行测 3 次, 实验结果为 3 次的平均值。

1.2.6.2 凝胶透光率测定

取配置并调节好 pH 的蛋清液与比色皿中, 将比色皿放在 95 °C 水浴锅中加热凝固, 取出冷却到室温。然后在 600 nm 波长下测定该蛋清液凝胶的透光率。平行测 3 次, 实验结果为 3 次的平均值。

1.2.6.3 全质构测定

样品凝胶质构分析参照 Chen 等^[17]的方法并稍作修改。采用 TA.XT.plus 物理测试仪进行全质构测定。将待测样品蛋清液凝胶切成 15 mm×15 mm×15 mm 的小块置于平台上固定好, 参数如下: 探头型号选择 P/0.5, 测前速度、测中速度和测后速度分别为 2 mm/s、1 mm/s、2 mm/s, 下压距离为 5 mm, 触发力为 5 g。采用全质构指令测定, 主要测硬度、弹性、耐咀嚼性。

1.2.6.4 色差测定^[18]

用色差仪测定蛋清凝胶样品色泽。每个样品取 3 个部位测定, 取平均值。分析样品前, 用标准白板校正色差计, 测定样品 b* 值 (黄度值, 正数代表黄色, 负数代表蓝色)、a* 值 (红度值, 反映样品的红色程度, 正数代表红色, 负数代表绿色)、L* 值 (亮度值, 反映色泽的亮度)。白度 (W) 值计算: 按下式计算, 白度值越大, 色泽品质可接受度越高。

$$W = 100 - \left[(100 - L)^2 + a^{*2} + b^{*2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

1.2.6.5 持水性测定

样品持水性测定参照迟玉杰^[19]的方法并适当修改。将蛋清凝胶切成 30 mm×10 mm×5 mm 厚片状, 称其重量 m_1 , 取长条滤纸将其裹住, 用 1 kg 的力压此蛋清凝胶 2 min, 称量压后的重量 m_2 , 持水力用正压前后凝胶的重量比来表示^[20]。每一样品平行测定 3 次, 实验结果为 3 次实验结果的平均值。

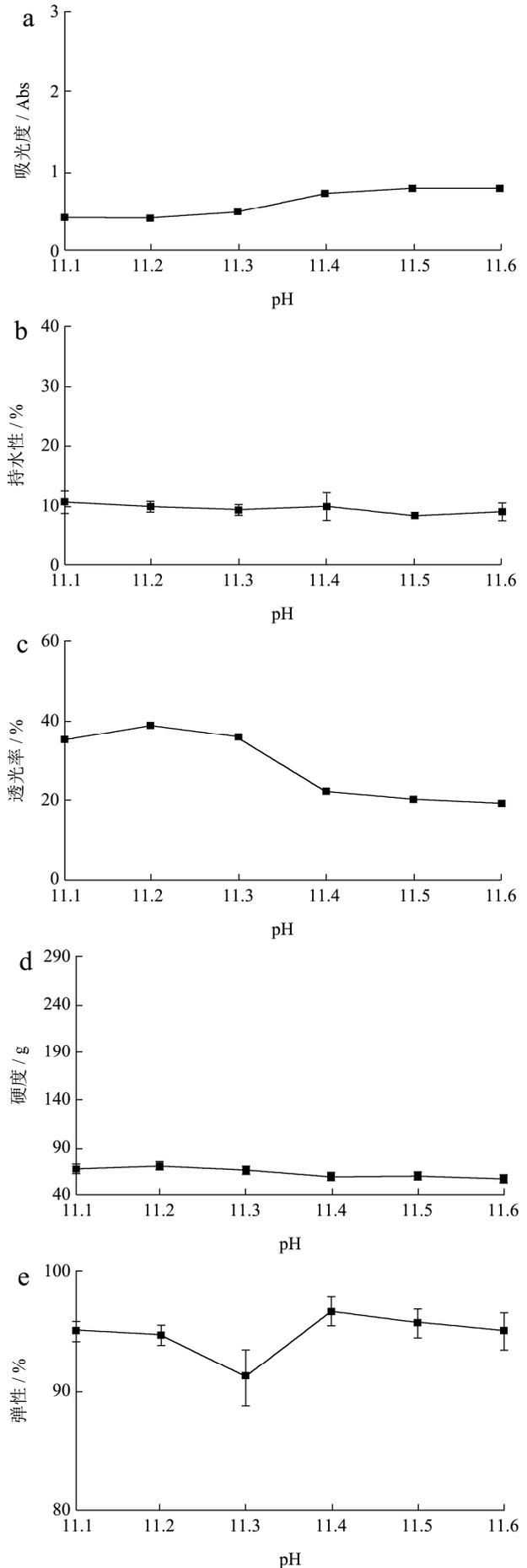
$$\text{持水性}/\% = \left(1 - \frac{m_1 - m_2}{m_2} \right) \times 100\%$$

1.3 数据处理

采用 Oringin 8.5 和 SPSS 25 对数据进行计算和分析, 每个数据重复 3 次取平均值。

2 结果与分析

2.1 pH 对蛋清凝胶性质的影响



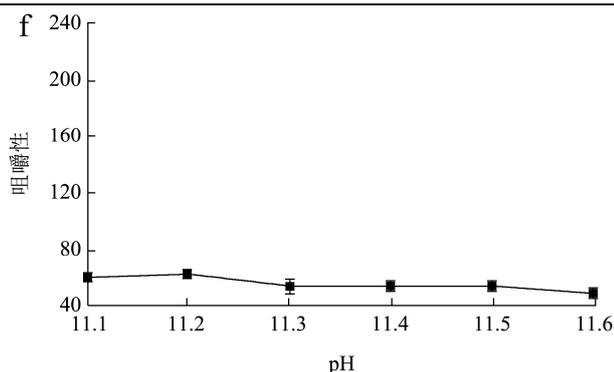


图1 不同pH值下蛋清凝胶性的影响

Fig.1 Effect of different pH values on gelatinous properties of egg white

李俐鑫等^[19]研究得出在碱性条件下蛋清凝胶硬度在 pH=11 时达到最大后呈急速下降趋势,所以本文直接从 pH=11.1 开始研究。由图 1 可知,加入 NaOH 调不同 pH 值形成凝胶后,透光率随 pH 的增加呈先升后下降趋势,吸光度随 pH 的增加呈上升趋势,但 pH=11.5 时它们上升或下降的趋势减缓。而硬度、弹性、咀嚼性随 pH 的增加则呈现上下波动的变化,但波动范围都比较小,且在 pH=11.5 后呈下降趋势。持水性随 pH 的增加呈波浪型波动并整体呈下降趋势,到 pH=11.5 时达到最低值 8.21%。持水性和凝胶的强度变化范围不大,这可能是过量的碱使变性蛋白表面带上了大量的负电荷,从而破坏了蛋白质之间或蛋白质与蛋白质之间的水合作用使持水性呈下降趋势,逐渐呈松散状态,凝胶的强度也有微弱的变化。Zhao 等^[21]的研究说明 NaOH 会造成蛋清蛋白的损伤,并形成松散性且有网状结构的弹性凝胶,因为本研究 pH 的梯度较小,所以弹性上升不明显,但也呈不断上升的趋势,继续增加碱的浓度甚至会表现为常说的“碱伤”现象。而叶剑等^[22]的研究中发现碱浓度高于 0.50 mol/L 时明显影响凝胶的热凝聚性和其它品质。综合以上结果,将蛋清液 pH 调到 11.5 时用做后续实验。该结果可为高碱和高温处理蛋制品的应用提供一定的参考。

2.2 NaCl 对碱诱导的蛋清凝胶性质的影响

由图 2 和表 1 分析可知,向蛋清液中加入不同含盐并调 pH 为 11.5,形成凝胶的持水性、吸光度、硬度、咀嚼性、L*值和 b*值随盐含量的增加呈上升趋势,且都在 NaCl 含量为 1%时变化较为明显,其中硬度从 81.94 g 上升到 144.94 g,增加了 63.00 g,咀嚼性从 67.68 上升到 121.71,增加了 54.03。表 3 中木瓜蛋白酶降低凝胶强度 30%左右与 NaCl 的结果形成鲜明对比,而图 3 中发现加糖后凝胶强度并无太大变化。透光率在 NaCl 为 1%比 NaCl 为 0%时减少了 25.23%,到 NaCl 浓度为 2%透光率仅为 0.22%;L*值大幅度增加,a*值随盐含量的增加先下降后增加的趋势,且在 NaCl 含量为 1%时达到最低值-4.07,极大程度增加了该凝胶的白度 ($p<0.05$),但从图 3 和表 3 中可发现糖和木瓜蛋白酶可以略微降低凝胶白度;弹性随盐含量的增加先上升后下降趋势,且在盐含量为 1%时达到最高值 93.97%,可以得出该转折点为 NaCl 含量 1%。该结果的色差变化与 Zhang 等^[23]研究类似,NaCl 的加入导致蛋清凝胶的形成,表面疏水性变化、凝胶颗粒变浑浊等,可以看出 NaCl 对蛋清凝胶的影响较大。周长旭等^[24]将凝胶 90 °C 水浴加热,并在加热 35 min 时凝胶的强度不变,而本研究仅用了 20 min 对凝胶 95 °C 加热,可见 NaCl 可加速凝胶的形成,从而为凝胶的形成提高了效率和节约了能源。当 NaCl 含量升高后,透光率下降的趋势急剧变化,这可能是 NaCl 含量增多使凝胶白度增加所导致的。Li 等人^[25]研究发现使用不同浓度的钠盐处理蛋清后,发现蛋清蛋白受钠盐诱导后水合能力会降低,从而会降低蛋白凝胶结构的持水力。蛋清凝胶主要是由于离子键与二硫键作用形成的球状蛋白质聚集体^[26]。而盐含量升高后,凝胶的硬度,弹性和咀嚼性的变化范围较小且在盐含量在 4%后皆呈下降趋势,这可能是高浓度的盐破坏了蛋白质的离子键,较高的盐浓度可以稳定蛋白质的分子构象,升高了蛋清蛋白的变性温度,从而不易形成凝胶,使凝胶强度下降。综上可得出 1% NaCl 可显著提高在高温状态下蛋清凝胶的白度 ($p<0.05$) 和凝胶硬度,可为盐蛋或盐皮蛋的生产提供一定的理论思考。

表 1 NaCl 含量对蛋清凝胶性质的影响 (调节蛋液 pH=11.5)

Table 1 Effect of NaCl content on gel properties of egg white (regulating egg pH=11.5)

盐含量	0%	1%	2%	3%	4%	5%
L*	27.03±1.11	50.73±1.14	68.10±1.02	73.33±0.79	75.67±1.07	76.95±1.18
a*	-2.70±0.14	-4.07±0.22	-1.87±0.09	-0.49±0.05	0.33±0.04	0.50±0.06
b*	7.24±0.16	15.15±0.10	20.80±0.26	22.22±0.45	22.99±0.87	23.14±0.95

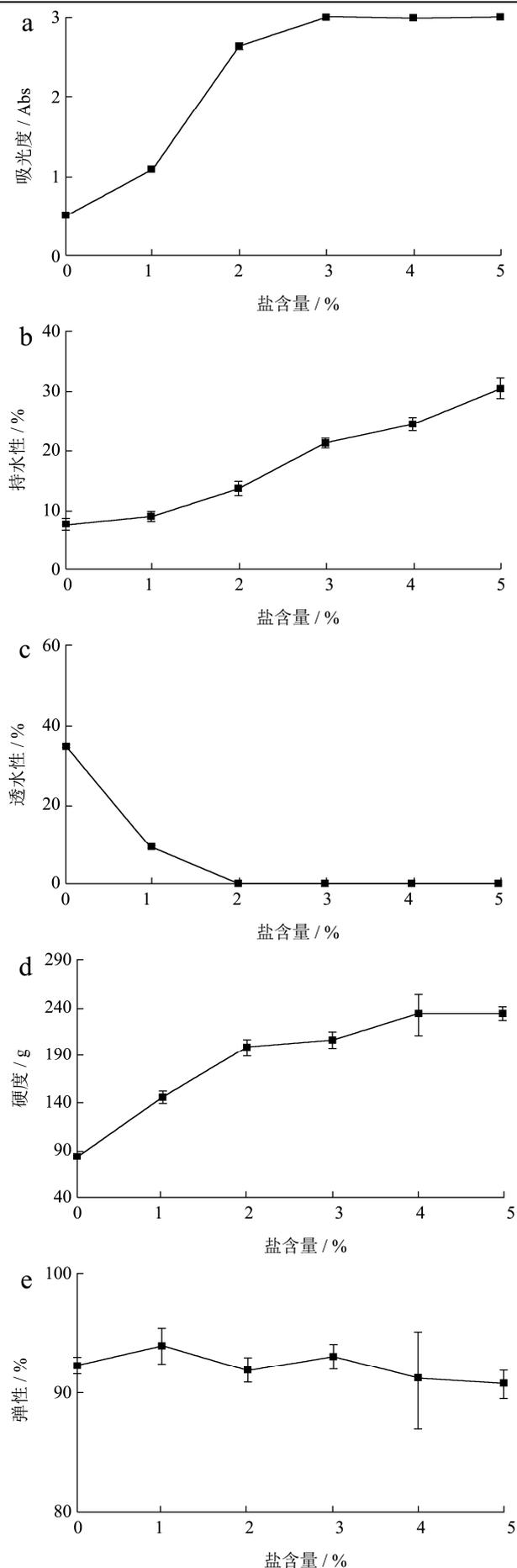


图 2 不同盐含量对碱诱导的蛋清凝胶性质的影响

Fig.2 Effect of different salt contents on the gel properties of alkali induced egg white

2.3 蔗糖和麦芽糖对碱诱导的蛋清凝胶性质的影响

蔗糖是由葡萄糖和果糖通过糖苷键结合形成的非还原性糖^[27]。由表 2 和图 3 分析可知, 5%的麦芽糖使凝胶的透光率从 25.3%下降到 9.34%, 减少了原有的 63%, 而蔗糖却增加了 26%。L*、a*、b*的变化导致总体白度略微下降。以上数据分析可知, 添加不同浓度的蔗糖对蛋清蛋白凝胶强度基本无影响。这可能是由于蛋清凝胶的强度受到蔗糖分子产生了两种截然不同的作用, 一方面蔗糖本身并无胶凝作用, 它没有帮助凝胶网络形成, 另一方面蔗糖分子作为糖而具有的水合作用与自由水结合, 从而凝胶网络结构变得更紧密, 这两方面同时作用, 因此总体上蔗糖对蛋清凝胶强度作用不明显。涂勇刚等^[28]发现蔗糖对蛋清蛋白凝胶强度基本无影响, 但其研究的温度(80 °C)并不能使蛋清凝胶产生液化现象, 而本实验研究的温度(95 °C)更能说明蔗糖对凝胶高温下的抑制作用。

麦芽糖是由两分子的葡萄糖通过糖苷键结合形成的还原性二糖。由表 2 和图 3 可见, 凝胶吸光度随麦芽糖含量增加整体呈上升趋势, 透光率在添加量为 1% 时先上升后随麦芽糖的增加逐渐降低, L*值、a*值、b*值的变化说明凝胶的总体白度略微下降。王丹等^[28]发现麦芽糖在低浓度呈现增加凝胶硬度的趋势, 高浓度时呈现降低凝胶硬度的趋势, 但其研究与本实验的麦芽糖的浓度不太一致, 究其原因应该是温度和 pH 值不同造成的, 但都可得出高浓度麦芽糖对凝胶的强度起降低的作用与前面图 2 中高浓度 NaCl 可降低凝胶强度类似。原因可能是: 麦芽糖具有还原性, 可破坏蛋清蛋白中的二硫键, 所以在麦芽糖低浓度时可以破坏蛋白质的三级结构, 帮助蛋白质分子的延展, 增强了凝胶的强度, 这也可能是由于凝胶的水分子聚合,

使蛋白质分子内和蛋白质与蛋白质分子间的作用力增强后形成了氢键，蛋白质的凝胶硬度提高；而当麦芽糖浓度很高时，麦芽糖的还原性使蛋白质分子的二硫键断裂，从而蛋清蛋白的凝胶强度降低。

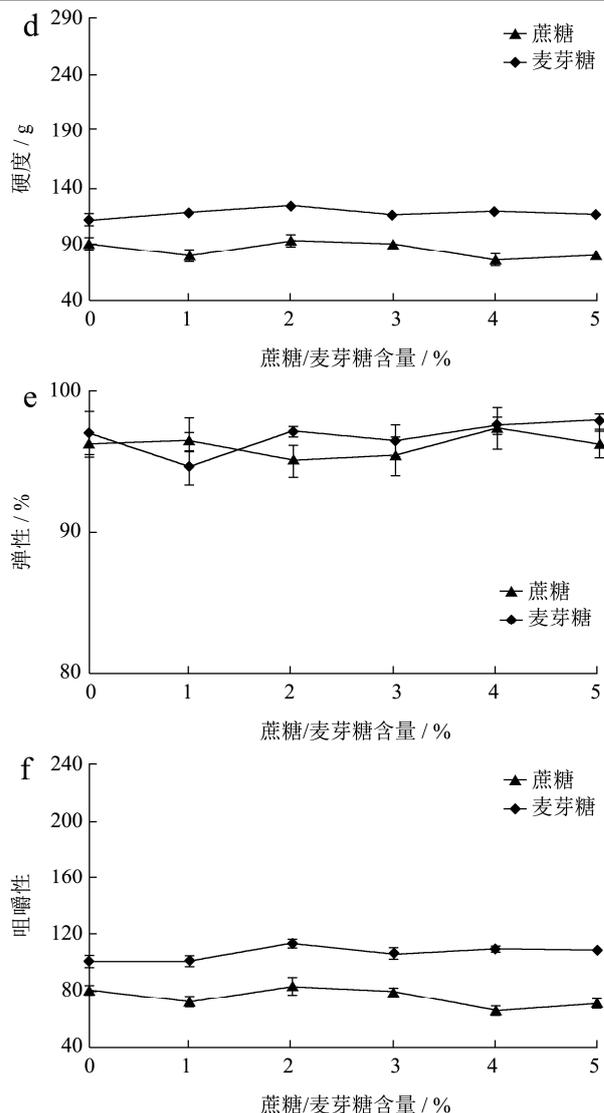
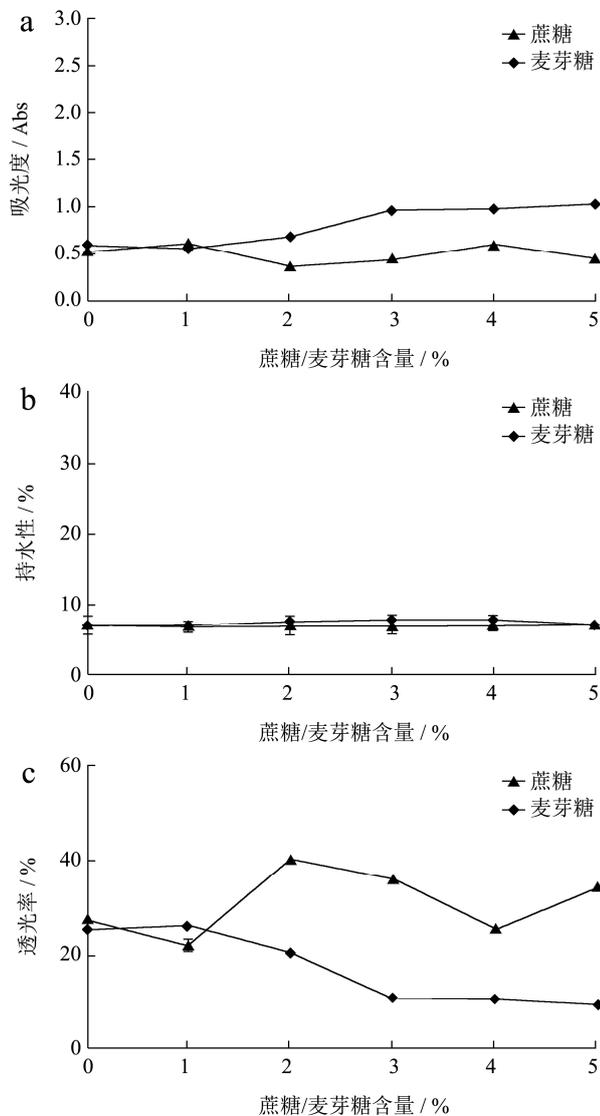


图3 不同蔗糖和麦芽糖含量对碱诱导的蛋清凝胶性质的影响

Fig.3 Effects of different sucrose and maltose contents on the gel properties of alkali induced egg white

表2 蔗糖和麦芽糖对蛋清凝胶性质的影响 (调节蛋液 pH=11.5)

Table 2 Effect of sucrose and maltose on gel properties of egg white (regulating egg pH=11.5)

项目	糖含量						
	0%	1%	2%	3%	4%	5%	
麦芽糖	L*	26.28±0.87	23.39±0.67	22.64±0.76	22.14±0.68	20.89±0.56	20.79±0.59
	a*	-3.96±0.11	-0.19±0.01	1.31±0.04	2.21±0.07	2.72±1.14	2.95±0.07
	b*	5.79±0.21	10.98±0.43	11.46±0.45	9.10±0.37	10.19±0.38	9.65±0.31
蔗糖	L*	26.45±0.78	24.33±0.65	26.14±0.79	23.88±0.58	26.62±0.82	23.68±0.67
	a*	-5.98±0.28	-4.87±0.21	-4.13±0.17	-5.15±0.23	-4.42±0.17	-4.24±0.14
	b*	4.86±0.17	6.40±0.32	6.29±0.32	4.79±0.26	5.13±0.27	7.85±0.34

持水性变化不大，弹性呈现波动变化，但波动范围不大。透光率、L*值和a*值的变化表明凝胶的亮度变暗，颜色变深，也许是在搅拌过程中有美拉德反应的参与，生成了类黑色素的物质。王晨莹^[29]也发现此

颜色变化，但其研究的 pH 为中性，并没有在强碱性的条件下进行。综上所述我们可以得出，蔗糖可提高凝胶的透光率，麦芽糖可降低凝胶透光率且高浓度麦芽糖有降低凝胶强度的趋势，添加还原糖和非还原糖对蛋

清凝胶性质的影响是不一样的,而且糖的种类和条件不同对凝胶的影响也是不同的。

2.4 木瓜蛋白酶对碱诱导的蛋清的凝胶性质的影响

由表3可以看出,木瓜蛋白酶对凝胶的影响比较大。木瓜蛋白酶使凝胶的透光率从34.33%上升到54.27%,增加了原有的60%。吸光度减少0.207和L*值与a*、b*值的变化得出凝胶总体白度略微降低,持水性变化不大。硬度减少了25.563g,下降了30%,咀嚼性减少了21.767,下降了32%。硬度和咀嚼性的变化说明木瓜蛋白酶对蛋白质分子的肽键可能有催化水解作用,将凝胶表面的蛋白质分子催化水解,从而影响了蛋白质与蛋白质分子之间的交联作用,凝胶网络结构的强度下降。凝胶的硬度和咀嚼性降低与已有

研究的发现不同,雷明辉等^[30]的研究发现谷氨酰胺转氨酶可提高蛋清的凝胶性能,这主要可能是由于酶的种类不同,谷氨酰胺转氨酶本身就具有良好的热稳定性和亲水性,再者可能是因为NaOH与木瓜蛋白酶反应的结果,因为木瓜蛋白酶最适pH值6~7,而本实验研究的pH值为11.5,高浓度的pH条件下使该酶失活,破坏了酶的水解,从而影响了酶的作用,说明控制酶的活性对结果的正确性起着关键的作用。而卞君杰^[31]的研究中发现TG酶能显著改善凝胶的性能,这是由于该酶可催化相应的底物发生反应,从而形成稳定的网络结构。通过以上分析可得出酶的种类,处理的温度和时间都是影响的碱诱导的凝胶性能的重要条件。总的来说,木瓜蛋白酶可显著提高酶的透光率,对皮蛋所需要的透明且具琥珀状的蛋清凝胶的特性有一定的参考作用。

表3 木瓜蛋白酶对碱诱导的蛋清凝胶性质的影响

Table 3 Effect of papain on the properties of alkali induced egg white gel

指标	吸光度	透光率/%	L*	a*	b*	持水性/%	硬度/g	弹性/%	咀嚼性
不加酶	0.480±0.001	34.33±0.25	27.03±0.85	-2.7±0.04	7.24±0.24	7.7±1.18	81.943±1.544	92.268±0.657	67.682±1.709
0.04%酶用量	0.273±0.001	54.27±0.06	22.69±0.63	4.6±0.11	15.4±0.37	6.4±0.56	56.380±1.443	91.548±1.231	45.915±1.454

注:酶含量0.04%,且55℃水浴20min,调节pH=11.5。

3 结论

本研究主要探索不同添加物对高温条件下蛋清凝胶液化的影响,探索其对凝胶强度和色度等的具体贡献。研究发现1%的NaCl使凝胶硬度显著上升($p<0.05$),透光率显著下降($p<0.05$),且显著增加了凝胶的白度($p<0.05$),持水性随盐浓度增加而上升。蔗糖和麦芽糖的加入使凝胶质构变化较小,高浓度麦芽糖可降低凝胶的硬度,5%浓度的麦芽糖使凝胶的透光率显著下降($p<0.05$),而蔗糖的透光率却增加了26%,凝胶的总体白度都下降。木瓜蛋白酶的添加使凝胶的透光率显著上升($p<0.05$),凝胶的总体白度略微下降,凝胶硬度和咀嚼性下降了30%左右。本试验可应用于对不同的蛋制品的加工需求,拓宽高温条件下碱诱导蛋清凝胶的应用范围。

参考文献

- [1] 张华智.当前我国禽蛋加工的主要方式与未来发展的几点建议[J].广西畜牧兽医,2016,32(4):213-215
ZHANG Huazhi. Main methods of egg processing and suggestions for future development in China [J]. Guangxi Animal Husbandry and Veterinary, 2016, 32(4): 213-215
- [2] 刘超.蛋清蛋白的改性及其起泡特性研究[D].武汉:湖北工

业大学,2008

- LIU Chao. Modification and foaming properties of egg white protein [D]. Wuhan: Hubei University of technology, 2008
- [3] Chen C, Chi Y J, Zhao M Y, et al. Influence of degree of hydrolysis on functional properties, antioxidant and ACE inhibitory activities of egg white protein hydrolysate [J]. Food Science and Biotechnology, 2012, 21(1): 27-34
- [4] 郑平.关于加快禽蛋加工业发展的思考[J].台湾农业探索, 2011,3:46-49
ZHENG Ping. Thoughts on accelerating the development of egg processing industry [J]. Agricultural Exploration in Taiwan, 2011, 3: 46-49
- [5] 凌子庭,蒋爱民,周佳,等.碱诱导鸭蛋蛋清凝胶特性的变化规律[J].食品与机械,2020,36(3):1-6
LING Ziting, JIANG Aimin, ZHOU Quan, et al. The change of gel properties of duck's egg white induced by alkali [J]. Food and Machinery, 2020, 36(3): 1-6
- [6] 刘欣慈,吕云雄,孙维宝,等.热诱导鸡蛋蛋清蛋白凝胶化影响因素研究进展[J].食品与机械,2021,37(1):210-214
LIU Xinci, LYU Yunxiong, SUN Weibao, et al. Research progress on the factors affecting gelation of heat induced egg white protein [J]. Food and Machinery, 2021, 37(1): 210-214
- [7] 张映萍,杨慧娟,张晋,等.鸡蛋蛋白质凝胶特性影响因素的

- 研究进展[J].食品工业科技,2021,42(6):343-347,356
- ZHANG Yingping, YANG Huijuan, ZHANG Jin, et al. Research progress on the factors affecting egg protein gel properties [J]. Food Industry Technology, 2021, 42(6): 343-347, 356
- [8] 辛楠.蛋液凝胶形成影响因素分析及产品创制[D].长春:吉林大学,2018
- XIN Nan. Factors affecting egg gel formation and product creation [D]. Changchun: Jilin University, 2018
- [9] 陈晓,郭善广,周佳,等.温度对蛋清碱诱导凝胶形成的影响及机理研究[J].食品工业,2017,38(12):196-200
- CHEN Xiao, GUO Shanguang, ZHOU Quan, et al. Effects of temperature on the formation of alkali induced gel in egg white [J]. Food Industry, 2017, 38(12): 196-200
- [10] LI Junhua, ZHANG Mengqi, CHANG Cuihua, et al. Molecular forces and gelling properties of heat-set whole chicken egg protein gel as affected by NaCl or pH [J]. Food Chemistry, 2018, 261
- [11] ZHAO Yan, TU Yonggang, LI Jianke, et al. Effects of alkaline concentration, temperature, and additives on the strength of alkaline-induced egg white gel [J]. Poultry Science, 2014, 93(10)
- [12] ZHANG Mengqi, LI Junhua, CHANG Cuihua, et al. Effect of egg yolk on the textural, rheology and structural properties of egg gels [J]. Journal of Food Engineering, 2019, 246
- [13] Gomes M T M S, Pelegri D H G. Solubility of egg white proteins: effect of pH and temperature [J]. International Journal of Food Engineering, 2012, 8(3)
- [14] 范红,艾民珉,曹媛媛,等.黄原胶和魔芋胶抑制碱诱导鸭蛋清凝胶的高温液化[J].现代食品科技,2021,37(4):172-179, 86
- FAN Hong, AI Minmin, CAO Yuanyuan, et al. Xanthan gum and konjac gum inhibit alkali-induced high temperature liquefaction of duck egg white gel [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(4): 172-179, 86
- [15] 刘俊梅,王丹,李琢伟,等.酶法提高蛋清蛋白热稳定性的研究[J].粮油加工,2014,5:66-70
- LIU Junmei, WANG Dan, LI Zhuowei, et al. Studies on enzymatic improvement of thermal stability of egg white protein [J]. Grain and Oil Processing, 2014, 5: 66-70
- [16] 徐保立,李斌,范劲松,等.食品添加剂对鸡蛋清凝胶强度的影响[J].食品工业科技,2010,8:297-299
- XU Baoli, LI Bin, FAN Jinsong, et al. Effects of food additives on gel strength of egg white [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 8: 297-299
- [17] CHEN Zhangyi, LI Jianke, TU Yonggang, et al. Changes in gel characteristics of egg white under strong alkali treatment [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 45
- [18] 王健一,郭泽镔,李致瑜,等.超高压处理对低盐鱼糜制品凝胶特性的影响研究[J].食品工业,2018,39(2):58-62
- WANG Jianyi, GUO Zebin, LI Zhiyu, et al. Effect of ultrahigh pressure treatment on gel properties of low-salt surimi products [J]. Food Industry, 2018, 39(2): 58-62
- [19] 李俐鑫,迟玉杰,孙波,等.蛋清蛋白凝胶特性影响因素的研究[J].食品工业,2008,2:54-57
- LI Lixin, CHI Yujie, SUN Bo, et al. Factors affecting the gel properties of egg white protein [J]. Food Industry, 2008, 2: 54-57
- [20] Divair C, Katiuchia P T, Rosiane L C. Effect of sucrose addition and heat treatment on egg albumen protein gelation [J]. Journal of Food Science, 2005, 70(3)
- [21] ZHAO Yan, CHEN Zhangyi, LI Jianke, et al. Changes of microstructure characteristics and intermolecular interactions of preserved egg white gel during pickling [J]. Food Chemistry, 2016, 203(Jul.15): 323-330
- [22] 叶剑,郑志永,詹晓北,等.热凝胶在碱溶过程的流变学和质构学行为分析[J].食品与发酵工业,2018,44(11):86-92
- YE Jian, ZHENG Zhiyong, ZHAN Xiaobei, et al. Rheological and textural behavior of hot gelatin in alkali dissolution process [J]. Food and Fermentation Industry, 2018, 44(11): 86-92
- [23] LI Junhua, ZHANG Yufan, FAN Qiao, et al. Combination effects of NaOH and NaCl on the rheology and gel characteristics of hen egg white proteins [J]. Food Chemistry, 2018, 250
- [24] 周长旭.鸡蛋热诱导凝胶形成及凝胶特性的研究[D].南京:南京农业大学,2012
- ZHOU Changxu. Study on gel formation and gel properties of egg induced heat [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012
- [25] LI Junhua, WANG Chenying, ZHANG Mengqi, et al. Effects of selected phosphate salts on gelling properties and water state of whole egg gel [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 77
- [26] 陈彰毅,赵燕,涂勇刚,等.蛋清蛋白质凝胶化机理的研究进展[J].食品工业科技,2014,35(4):369-373,379
- CHEN Zhangyi, ZHAO Yan, TU Yonggang, et al. Research progress in the gelation mechanism of egg white protein [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(4): 369-373, 379