

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.09.025

鹿肉盐溶蛋白热诱导凝胶特性影响因素试验*

王淑杰 周亚军 苏丹 钱曦 贺连彬 冯占荣

(吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025)

【摘要】 通过单因素试验研究各因素对鹿肉盐溶蛋白热诱导凝胶特性参数的影响, 得出: 持水性和断裂强度随食盐、六偏磷酸钠、焦磷酸钠和多聚磷酸钠用量的增加先增大后减小, 粘度随其用量增加逐渐增大; 随着 pH 值增大, 持水性先显著后缓慢增大, 断裂强度和粘度先增大后减小; 随着温度升高, 持水性先减小后增大, 断裂强度先增大后减小, 粘度先显著后缓慢增大。借助均匀组合设计试验和二次多项式回归方程探讨各因子与凝胶特性参数间关系, 得到各因子对持水性的影响从大到小依次为 pH 值、多聚磷酸钠、六偏磷酸钠、离子强度, 焦磷酸钠与温度的影响不显著, 因子间作用显著; 各因子对断裂强度的影响从大到小依次为六偏磷酸钠、离子强度、温度、pH 值、多聚磷酸钠、焦磷酸钠, 因子间作用显著; 各因子对粘度的影响从大到小依次为多聚磷酸钠、离子强度、六偏磷酸钠、温度、pH 值、焦磷酸钠, 因子间作用显著。

关键词: 鹿肉 盐溶蛋白热诱导凝胶 持水性 断裂强度 粘度 数学模型

中图分类号: TS201.2⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)09-0122-06

Properties of Venison Protein Gelatin and Mathematical Model

Wang Shujie Zhou Yajun Su Dan Qian Xi He Lianbin Feng Zhanrong

(College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract

The effect of heat inducible gelatin of salt soluble protein of venison on water retention property, breakdown strength and viscosity was investigated. The conclusions was as follows: as the amount of NaCl, sodium hexametaphosphate, sodium pyrophosphate and sodium polyphosphate increase, water retention property and breakdown strength increase first and then decrease, viscosity increases gradually; as pH value increases, water retention property first increases strikingly and smoothly then, breakdown strength and viscosity first increase and then decrease; as the temperature increases, water retention property first decreases and increases then, breakdown strength first increases and decreases then, and viscosity first increases and decreases then. The relation between affecting factors and water retention property, breakdown strength and viscosity was discussed through homogeneous experimental design and quadratic regression equations. The effect of factors on water retention property is as follows: the effect of sodium pyrophosphate and temperature is not notable while interaction effect among factors is notable. The influencing factors on breaking strength and viscosity are as follows: odium hexametaphosphate, ionic strength, temperature, pH value, sodium polyphosphate and sodium pyrophosphate, and interaction effect among factors is notable.

Key words Venison, Heat inducible gelatin of salt soluble protein, Water retention property, Breakdown strength, Viscosity, Mathematical model

收稿日期: 2010-05-12 修回日期: 2010-07-05

* 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(20071108)、长春市科技计划国际合作项目(08GH11)、长春市科技局科技特派员计划资助项目(09KT10)和吉林省科技支撑计划重点项目(20090227)

作者简介: 王淑杰, 副教授, 主要从事生物资源高效利用技术研究, E-mail: shujie@jlu.edu.cn

通讯作者: 周亚军, 教授, 主要从事肉品科学与加工技术研究, E-mail: zhoyaj@jlu.edu.cn

引言

鹿肉是高蛋白、低脂肪的动物性绿色天然肌肉类原料,其产品开发及相关研究国内外少见报道^[1]。肌肉蛋白质凝胶特性是肌肉食品加工中重要的功能特性之一^[2~5]。肌球蛋白是加入食盐后从肌肉中提取的主要蛋白质之一,其加热时形成凝胶的弹性、硬度、持水性、断裂强度和粘度等特性与肉制品的质构、外观和出品率等密切相关^[6~9]。肌球蛋白热诱导凝胶特性不仅与蛋白质结构和分子特征有关,还受加工条件、环境因素(pH值、离子强度)及与其他成分相互作用等因素的影响,因此研究肌球蛋白热诱导凝胶特性对肉制品加工具有指导意义^[10~12]。鹿肉盐溶蛋白热诱导凝胶特性及其数学建模研究至今国内外未见报道。本文对鹿肉肌原纤维盐溶蛋白热诱导凝胶特性(持水性、断裂强度、粘度)与影响因素及其关系数学模型进行研究,以期为鹿肉蛋白凝胶深入研究和高品质鹿肉制品开发提供理论依据并奠定实践基础。

1 材料与方 法

1.1 材料与设备

原料:新鲜鹿里脊肉购于长春市双阳区鹿乡梅花鹿定点屠宰场。

试剂:盐酸、氯化钠、氢氧化钠、焦磷酸钠、多聚磷酸钠、六偏磷酸钠均为分析纯。

设备:千分尺,上海量具刀具厂;双联水浴锅,余姚市东方电工仪器厂;电子托盘天平,上海精天电子仪器有限公司;多功能食品加工机,上海海菱电器有限公司;pHS-25型数字酸度计,杭州东星仪器设备厂;NDJ-9S型数显粘度计,上海天平仪器厂;酸式滴定管(25 mL),沈阳玻璃仪器股份有限公司;TDL-50B型台式离心机,上海安亭科学仪器厂;TDL-40B型台式离心机,上海安亭科学仪器厂;90-1型双向磁力搅拌器,上海振荣科学仪器有限公司;玻璃仪器气流干燥器,巩义市予华仪器有限责任公司;DZ-600/2S型真空包装机,山东诸城市技工机械厂;GB204型电子分析天平,瑞士METTLER TOLEDO公司;TJS12型绞肉-灌肠双用机,广州市番禺恒联食品机械厂;HC-TP11-10型架盘药物天平,上海精密科学仪器有限公司;BCD-266SN型美菱生态保鲜箱:合肥美菱股份有限公司。

1.2 鹿肉蛋白凝胶性能测试

1.2.1 凝胶持水性

将制备好的盐溶蛋白置于离心管内称重后,于水浴锅中加热,从20℃至所设定温度按每分钟上升

1℃的速率升温,达设定温度,恒温水浴5 min,取出放凉水中冷却,即为鹿肉蛋白凝胶。对制好凝胶称重,在4 000 r/min下离心5 min,除去离心管中水,再称重。凝胶持水性计算公式为

$$W_{uc} = \frac{W_1 - W}{W_2 - W} \times 100\% \quad (1)$$

式中 W_1 ——离心后的凝胶与离心管总质量,g

W_2 ——离心前的凝胶与离心管总质量,g

W ——离心管质量,g

每样品重复测5次,求其平均值,即为凝胶持水性。

1.2.2 凝胶断裂强度

将文献[13]中凝胶断裂强度的测定方法加以改进,用以测试鹿肉蛋白凝胶的断裂强度。将装有鹿肉蛋白凝胶的烧杯放于天平左托盘,右托盘放另一支小烧杯,并在托盘中加砝码,调游标,使天平平衡,左端烧杯上方垂直固定一横截面积8.1 cm²的铁制圆柱体,使圆柱体底端与凝胶表面恰好接触。用酸式滴定管向右托盘烧杯内注水,至凝胶表面刚好破裂瞬间停止注水,称取右托盘烧杯中加水的质量,记为 W' 。凝胶的断裂强度计算公式为

$$M = \frac{W'}{S} \quad (2)$$

式中 M ——凝胶的断裂强度,g/cm²

S ——铁圆柱体横截面积,cm²

每样品重复测5次,取平均值,得凝胶断裂强度。

1.2.3 凝胶粘度

用NDJ-9S型数显粘度计测凝胶粘度,每样品重复测5次,求平均值,即得凝胶粘度。

2 鹿肉盐溶蛋白凝胶特性单因素试验

2.1 持水性

氯化钠浓度、六偏磷酸钠用量、焦磷酸钠用量、多聚磷酸钠用量、pH值和温度对鹿肉肌原纤维蛋白热诱导凝胶持水性的影响如图1所示。由图1可知,随着氯化钠浓度、焦磷酸钠和多聚磷酸钠用量增加,离子强度增大,鹿肉蛋白凝胶的持水性呈先增大后减小变化;随着六偏磷酸钠加量增加,持水性先显著后缓慢增大;随着pH值增大,持水性先显著后缓慢增大;随着温度升高,持水性先减小后增大。

2.2 断裂强度

氯化钠浓度、六偏磷酸钠用量、焦磷酸钠用量、多聚磷酸钠用量、pH值和温度对鹿肉肌原纤维蛋白热诱导凝胶断裂强度的影响如图2所示。由图2可知,随着氯化钠浓度增加,离子强度逐渐增大,凝胶

断裂强度先增大后减小;六偏磷酸钠用量增加,断裂强度先显著后缓慢增大;焦磷酸钠对断裂强度的影响则不太显著;随着多聚磷酸钠用量增加,断裂强度

呈先增大后减小变化;随着 pH 值增大,断裂强度先增大后减小;断裂强度随温度升高先增大后减小,但减小幅度不显著。

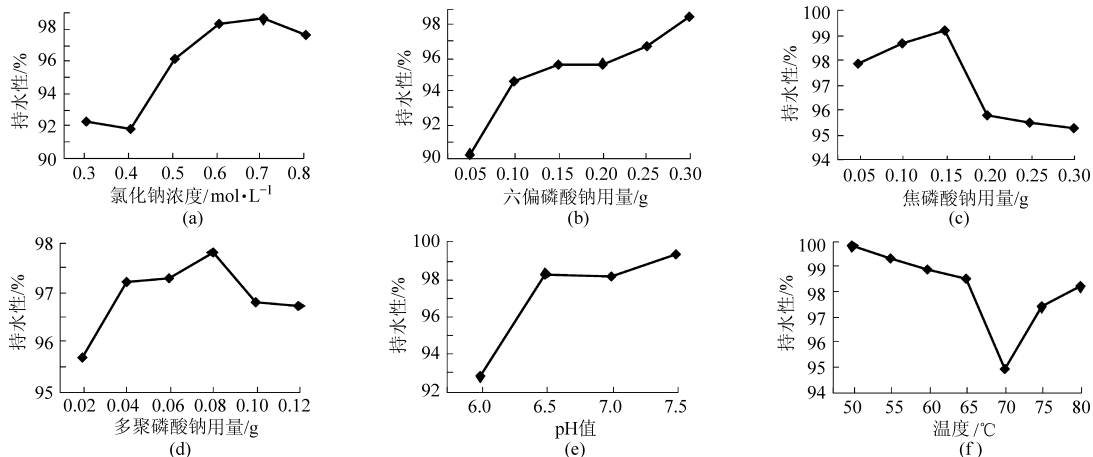


图1 各因素对鹿肉盐溶蛋白热诱导凝胶持水性的影响

Fig. 1 Effect of factors on water retention property of heat inducible gelatin of salt soluble protein of venison

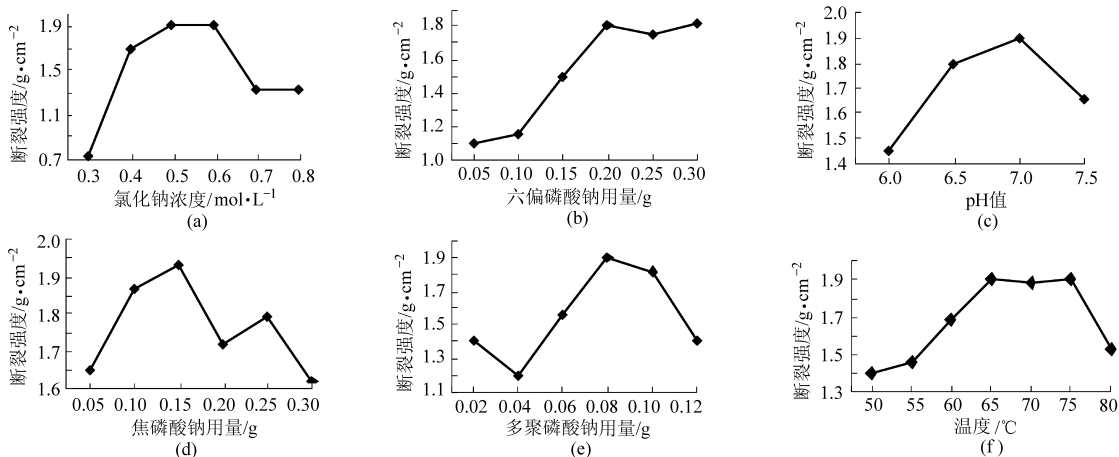


图2 各因素对鹿肉盐溶蛋白热诱导凝胶断裂强度的影响

Fig. 2 Effect of factors on breakdown strength of heat inducible gelatin of salt soluble protein of venison

2.3 粘度

氯化钠浓度、六偏磷酸钠用量、焦磷酸钠用量、多聚磷酸钠用量、pH 值和温度对鹿肉肌原纤维蛋白热诱导凝胶粘度的影响规律分别如图 3 所示。由图 3 可知,粘度随着温度升高,先显著后缓慢增大;随着 pH 值增大,粘度先增大后减小;多聚磷酸钠对粘度的影响不太显著;随着焦磷酸钠和六偏磷酸钠用量增加,粘度值逐渐增大;随着氯化钠浓度增加,离子强度逐渐增大,粘度先显著后缓慢增大。

3 鹿肉蛋白凝胶特性均匀组合设计试验

3.1 试验方案设计

鹿肉蛋白凝胶特性均匀组合设计试验因素水平及编码如表 1 所示。

鹿肉蛋白凝胶特性均匀组合设计试验方案与凝

表 1 试验因素水平编码表

Tab. 1 Coding table for factor and level of the test

水平	因素					
	氯化钠 浓度 x_1 /mol·L ⁻¹	六偏磷 酸钠用 量 x_2 /g	多聚磷 酸钠用 量 x_3 /g	焦磷酸 钠用量 x_4 /g	pH 值 x_5	温度 x_6 /°C
1	0.60	0.20	0.06	0.10	6	65
2	0.65	0.25	0.08	0.15	7	70
3	0.70	0.30	0.10	0.20	8	75

胶特性测试结果如表 2 所示, Y_1 、 Y_2 、 Y_3 分别表示持水性、断裂强度和粘度的测试值。

3.2 凝胶特性与影响因素关系模型的建立与分析

3.2.1 持水性与因素关系模型

采用均匀试验设计和数理统计方法,对 Y_1 进行

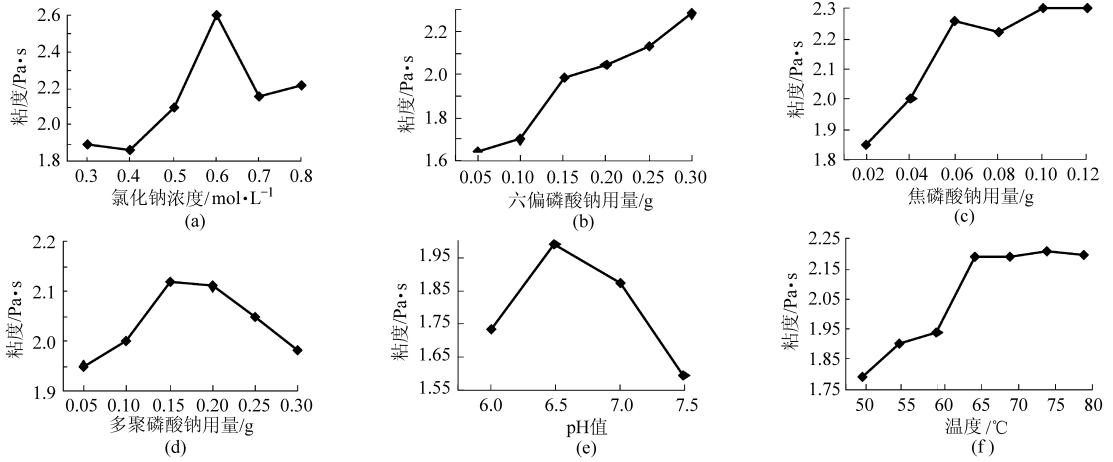


图 3 各因素对鹿肉盐溶蛋白热诱导凝胶粘度的影响

Fig. 3 Effect factors on viscosity of heat inducible gelatin of salt soluble protein of venison

表 2 试验设计方案与凝胶特性测试结果

Tab.2 Test design and results of gelatin properties

试验 序号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	$Y_1/\%$	Y_2 / $g \cdot cm^{-2}$	Y_3 / $Pa \cdot s$
1	1	2	2	3	1	1	94.513 0	1.527 9	2.413 3
2	2	1	2	3	2	3	95.295 8	0.977 3	2.408 0
3	3	3	2	1	1	1	92.425 0	1.747 4	2.424 3
4	2	3	1	3	1	3	90.191 6	0.814 4	2.404 0
5	2	2	1	2	3	3	92.112 1	0.831 6	2.408 3
6	2	1	3	2	3	2	99.271 7	0.984 7	2.166 7
7	2	1	2	3	3	1	99.086 2	1.120 5	2.424 3
8	3	3	1	2	2	2	95.671 8	1.340 9	2.198 3
9	3	1	1	1	3	3	92.936 1	1.092 3	2.145 3
10	1	2	1	1	1	2	95.661 0	1.328 3	2.351 0
11	3	2	2	2	1	3	85.519 4	1.002 0	2.351 0
12	3	3	2	3	3	2	99.498 5	1.508 8	2.116 7
13	1	2	2	1	3	2	97.403 0	0.655 7	2.099 7
14	2	1	1	2	1	1	97.132 6	1.417 2	2.141 0
15	2	3	3	1	3	2	98.018 8	0.728 4	2.380 7
16	2	3	3	3	2	1	96.637 4	1.176 1	2.156 3
17	3	2	1	3	2	1	92.047 4	1.252 6	2.131 0
18	1	1	1	3	2	2	93.063 9	1.090 5	2.379 3
19	2	2	3	1	1	3	91.083 6	1.604 9	2.366 0
20	2	2	1	1	2	1	89.173 3	1.212 3	2.162 0
21	1	1	2	2	1	3	90.897 2	1.946 6	2.363 3
22	1	1	3	1	2	1	93.577 5	0.950 8	2.150 3
23	1	3	1	2	3	1	96.893 8	0.753 1	2.151 7
24	1	3	2	1	2	3	90.480 2	1.095 8	2.391 3
25	3	1	2	1	2	2	86.424 3	0.971 8	2.357 7
26	1	3	3	2	1	2	91.960 5	1.803 6	2.348 7
27	3	2	3	2	3	1	98.384 5	0.947 7	2.149 7
28	1	2	3	3	3	3	98.787 3	0.955 9	2.371 7
29	3	3	3	2	2	3	92.288 3	1.871 5	2.118 0
30	3	1	3	3	1	2	93.759 2	0.986 4	2.341 3

二次多项式回归分析,得回归方程为

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 125.89 - 6.33X_1 - 4.09X_2 - 8.79X_3 - 1.79X_4 - \\
 & 16.71X_5 - 0.46X_6 - 0.39X_1^2 + 1.77X_2^2 + \\
 & 1.28X_3^2 + 0.43X_4^2 + 2.73X_5^2 - 0.29X_6^2 + 1.11X_1X_2 - \\
 & 0.07X_1X_3 + 1.34X_1X_4 + 0.56X_1X_5 + 0.65X_1X_6 - \\
 & 0.60X_2X_3 - 0.93X_2X_4 + 0.02X_2X_5 - 1.02X_2X_6 + \\
 & 0.58X_3X_4 + 1.76X_3X_5 + 0.51X_3X_6 + 0.52X_4X_5 - \\
 & 0.96X_4X_6 + 1.14X_5X_6 \quad (3)
 \end{aligned}$$

用回归方程中回归系数的显著性水平和方程相关系数 R 判定回归系数的取舍,用二次多项式回归分析法对式(3)进行回归系数不显著项剔除,得回归方程为

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 122.70 - 5.44X_1 - 5.58X_2 - 7.83X_3 - \\
 & 16.00X_5 + 1.76X_2^2 + 1.30X_3^2 + 1.27X_5^2 + \\
 & 0.87X_1X_2 + 1.48X_1X_4 - 0.66X_2X_4 - \\
 & 0.94X_2X_6 + 1.62X_3X_5 + 0.58X_4X_5 - \\
 & 0.86X_4X_6 + 1.27X_5X_6 \quad (4)
 \end{aligned}$$

方程相关系数 $R = 0.93$, $F = 5.853 1 > F_{0.001}(15, 14) = 3.75$, 即回归方程的显著性水平为 0.001。由回归方程可得出,各因素对持水性的影响从大到小依次为 X_5 、 X_3 、 X_2 、 X_1 、 X_4 和 X_6 对持水性的影响不显著,但 X_4 和 X_6 与其他因素间交互作用显著;交互项对持水性的影响从大到小依次为 X_3X_5 、 X_1X_4 、 X_5X_6 、 X_2X_6 、 X_1X_2 、 X_4X_6 、 X_2X_4 、 X_4X_5 , 剩余的交互项均对持水性影响不显著。用规划求解法对式(4)求最大值,得: X_1 取 3 水平(0.70 mol/L)、 X_2 取 3 水平(0.30 g)、 X_3 取 3 水平(0.10 g)、 X_4 取 3 水平(0.20 g)、 X_5 取 3 水平(8)和 X_6 取 1 水平(65℃)时,持水性得理论最大值 100%。

3.2.2 断裂强度与因素关系模型

采用均匀试验设计和数理统计法,对 Y_2 进行二次多项式回归分析,得回归方程为

$$Y_2 = 4.36 - 0.98X_1 - 1.10X_2 - 0.18X_3 + 0.14X_4 - 0.52X_5 - 0.61X_6 + 0.04X_1^2 + 0.16X_2^2 - 0.06X_3^2 - 0.09X_4^2 + 0.08X_5^2 + 0.06X_6^2 + 0.26X_1X_2 - 0.03X_1X_3 + 0.0017X_1X_4 + 0.24X_1X_5 - 0.11X_1X_6 + 0.03X_2X_3 + 0.05X_2X_4 - 0.11X_2X_5 + 0.01X_2X_6 + 0.09X_3X_4 - 0.17X_3X_5 + 0.27X_3X_6 - 0.0036X_4X_5 - 0.05X_4X_6 + 0.05X_5X_6 \quad (5)$$

进行回归系数不显著项剔除,得回归方程为

$$Y_2 = 4.31 - 0.98X_1 - 1.06X_2 - 0.18X_3 + 0.15X_4 - 0.53X_5 - 0.59X_6 + 0.04X_1^2 + 0.16X_2^2 - 0.06X_3^2 - 0.09X_4^2 + 0.08X_5^2 + 0.06X_6^2 + 0.26X_1X_2 - 0.03X_1X_3 + 0.24X_1X_5 - 0.11X_1X_6 + 0.03X_2X_3 + 0.05X_2X_4 - 0.11X_2X_5 + 0.09X_3X_4 - 0.16X_3X_5 + 0.27X_3X_6 - 0.05X_4X_6 + 0.06X_5X_6 \quad (6)$$

方程的相关系数 $R = 0.999$, $F = 83.2377 > F_{0.0001}(24,5)$,即回归方程的显著性水平为 0.0001。

由回归方程可得出,各因素对断裂强度影响从大到小依次为 X_2 、 X_1 、 X_6 、 X_5 、 X_3 、 X_4 ;交互项对断裂强度影响从大到小依次为 X_3X_6 、 X_1X_2 、 X_1X_5 、 X_3X_5 、 X_2X_5 、 X_1X_6 、 X_3X_4 、 X_5X_6 、 X_4X_6 、 X_2X_4 、 X_2X_3 、 X_1X_3 ,其他交互项均对断裂强度影响不显著。采用规划求解法对式(6)求最大值,得出: X_1 取1水平(0.60 mol/L)、 X_2 取1水平(0.20 g)、 X_3 取3水平(0.10 g)、 X_4 取1.8水平(0.14 g)、 X_5 取1水平(6)和 X_6 取3水平(75℃)时,断裂强度得理论最大值 2.312 g/cm²。

3.2.3 粘度与因素关系模型

采用均匀试验设计和数理统计方法,对 Y_3 进行二次多项式回归分析,得回归方程为

$$Y_3 = 1.00 + 0.44X_1 + 0.38X_2 + 0.49X_3 + 0.11X_4 - 0.32X_5 + 0.24X_6 - 0.03X_1^2 - 0.03X_2^2 - 0.04X_3^2 + 0.05X_4^2 + 0.01X_5^2 - 0.03X_6^2 - 0.05X_1X_2 - 0.02X_1X_3 - 0.10X_1X_4 + 0.01X_1X_5 + 0.004X_1X_6 - 0.03X_2X_3 - 0.01X_2X_4 + 0.05X_2X_5 + 0.03X_2X_6 - 0.02X_3X_4 - 0.01X_3X_5 - 0.09X_3X_6 + 0.07X_4X_5 + 0.01X_4X_6 - 0.01X_5X_6 \quad (7)$$

进行回归系数不显著项剔除,得回归方程为

$$Y_3 = 0.97 + 0.44X_1 + 0.38X_2 + 0.44X_3 + 0.13X_4 - 0.26X_5 + 0.27X_6 - 0.03X_1^2 - 0.03X_2^2 - 0.04X_3^2 + 0.05X_4^2 - 0.03X_5^2 - 0.05X_1X_2 - 0.10X_1X_4 - 0.03X_2X_3 - 0.09X_2X_4 + 0.04X_2X_5 + 0.03X_2X_6 - 0.03X_3X_4 - 0.09X_3X_6 + 0.07X_4X_5 \quad (8)$$

方程的相关系数为 $R = 0.958$, $F = 5.0166 > F_{0.0001}(20,9)$,即回归方程的显著性水平为 0.0001。

由回归方程可得各因素对粘度影响从大到小依次为 X_3 、 X_1 、 X_2 、 X_6 、 X_5 、 X_4 ;交互项对粘度影响从大到小依次为 X_1X_4 、 X_2X_4 、 X_3X_6 、 X_4X_5 、 X_1X_2 、 X_2X_5 、 X_2X_3 、 X_3X_4 、 X_2X_6 ,其他交互项均对粘度影响不显著。对式(8)求最大值,得 X_1 取1水平(0.60 mol/L)、 X_2 取3水平(0.30 g)、 X_3 取1水平(0.06 g)、 X_4 取3水平(0.20 g)、 X_5 取3水平(8)和 X_6 取3水平(75℃)时,粘度得理论最大值 2.6364 Pa·s。

4 结论

(1) 通过单因素试验研究各因素对鹿肉蛋白热诱导凝胶的持水性、断裂强度和粘度的影响,得出:持水性和断裂强度随着氯化钠、六偏磷酸钠、焦磷酸钠和多聚磷酸钠用量的增加先增大后减小,粘度随其用量增加逐渐增大;随着 pH 值增大,持水性先显著后缓慢增大,断裂强度和粘度先增大后减小;随着温度升高,持水性先减小后增大,断裂强度先增大后减小,减小幅度不显著,粘度先显著后缓慢增大。

(2) 通过均匀试验设计优化,建立了持水性、断裂强度、粘度与影响因素关系回归模型,得出:各因子对持水性的影响从大到小依次为 pH 值、多聚磷酸钠、六偏磷酸钠、氯化钠,焦磷酸钠与温度的影响作用不显著,各因子间作用显著;各因子对断裂强度的影响从大到小依次为六偏磷酸钠、氯化钠、温度、pH 值、多聚磷酸钠、焦磷酸钠,因素间交互作用显著;各因子对粘度的影响从大到小依次为多聚磷酸钠、氯化钠、六偏磷酸钠、温度、pH 值、焦磷酸钠,因素间交互作用显著。

参 考 文 献

- 姜媛媛,刘兆庆,王曙文. 我国肉制品的生产加工与发展趋势[J]. 肉类工业,2004(10):40~42.
Jiang Yuanyuan, Liu Zhaoqing, Wang Shuwen. The trends of production processing and development of meat in China[J]. Meat Industry, 2004(10):40~42. (in Chinese)
- 赵春青,彭增起. 肌球蛋白功能特性的研究进展[J]. 肉类研究,2002(1):17~19.
Zhao Chunqing, Peng Zengqi. Research development on functional characteristics of myosin[J]. Meat Research, 2002(1):17~19. (in Chinese)
- 杨速攀,彭增起. 肌原纤维蛋白凝胶研究进展[J]. 河北农业大学学报,2003,26(增刊):160~166.
Yang Supan, Peng Zengqi. Study advances on gelation of myofibrils[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2003, 26(Supp.):160~166. (in Chinese)

- 4 亢春雨,赵春青. 鸡胸肉盐溶蛋白质热诱导凝胶保水性的研究[J]. 食品科学,2007,28(1):50~53.
Kang Chunyu, Zhao Chunqing. Study on WHC of heat-induced gelation of CB salt-soluble protein [J]. Food Science, 2007, 28(1):50~53. (in Chinese)
 - 5 Gang Liu, Xiong Y L. Gelation of chicken muscle myofibrillar proteins treated with protease inhibitors and phosphates[J]. J. Agric. Food Chem., 1997, 45(9):3437~3442.
 - 6 徐幸莲,王霞,周光宏,等. 磷酸盐对肌球蛋白热凝胶硬度、保水性和超微结构的影响[J]. 食品科学,2005,26(3):42~46.
Xu Xinglian, Wang Xia, Zhou Guanghong, et al. Effect of phosphates on heat-induced gelation properties of myosin from rabbit skeletal muscles[J]. Food Science, 2005, 26(3):42~46. (in Chinese)
 - 7 徐幸莲,周光宏,黄鸿兵,等. 蛋白质浓度、pH值、离子强度对兔骨骼肌肌球蛋白热凝胶特性的影响[J]. 江苏农业学报,2004,20(3):159~163.
Xu Xinglian, Zhou Guanghong, Huang Hongbing, et al. Effects of protein concentration, pH value and ionic strength on heat-induced gel properties of myosin from rabbit skeletal muscle[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences,2004,20(3):159~163. (in Chinese)
 - 8 孔保华,刁新平,郑冬梅. 磷酸盐和氯化钙对牛肉凝胶特性的影响[J]. 东北农业大学学报,2004,35(5):573~577.
Kong Baohua, Diao Xinping, Zheng Dongmei. The effect of phosphate and calcium chloride on gel properties of beef surimi [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2004, 35(5):573~577. (in Chinese)
 - 9 秦卫东,尹秋霞. 狗肉肌肉蛋白质胶凝化特性的研究[J]. 徐州工程学院学报,2005,20(1):98~103.
Qin Weidong, Yin Qiuxia. Study on gelling characters of muscle proteins of dog-meat[J]. Xuzhou Institute of Technology, 2005, 20(1):98~103. (in Chinese)
 - 10 Peter J, Torley, Bruce R D, et al. The effect of ionic strength, polyphosphates type, pH, cooking temperature and preblending on the functional properties of normal and PSE pork[J]. Meat Science, 2000,55(4):451~462.
 - 11 Verbeken D, Neirinc N, Meeren PVD, et al. Influence of K-carrageenan on the thermal gelation of salt-soluble meat proteins[J]. Meat Science, 2005,70(1):161~166.
 - 12 Trespalacios P, Pla R. Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels[J]. Food Chemistry, 2007,100(1):264~272.
 - 13 华侨大学化工系. 食品胶和工业胶手册[M]. 福州:福建人民出版社,1987:25~28.
-

(上接第74页)

- 5 王国权,王树凤,李世雄,等. 汽车操纵稳定性的虚拟试验技术[J]. 上海交通大学学报,2006,40(1):172~176.
Wang Guoquan, Wang Shufeng, Li Shixiong, et al. The virtual environment test technique on vehicle handling and stability [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2006, 40(1):172~176. (in Chinese)
- 6 周文辉. 基于 MultiGen Creator 的汽车虚拟试验平台仿真研究[D]. 西安:长安大学,2008.
Zhou Wenhui. Research on virtual test platform for vehicle based on MultiGen Creator[D]. Xi'an: Changan University, 2008. (in Chinese)
- 7 MultiGen-Paradigm Inc. MultiGen Creator user's guide[R]. U. S. A: MultiGen Paradigm Inc.,2004.
- 8 吴绍斌,李剑峰,高利. 车辆稳定性控制的虚拟实验[J]. 农业机械学报,2008,39(5):6~9.
Wu Shaobin, Li Jianfeng, Gao Li. Vehicle stability control approach based on virtual reality[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5):6~9. (in Chinese)
- 9 申蔚. 虚拟现实技术的理论、实现及应用[D]. 北京:首都经济贸易大学,2001.
Shen Wei. The theory, implementation and application of the virtual reality technology[D]. Beijing: Capital University of Economics and Business, 2001. (in Chinese)
- 10 王蒙,夏青. 基于 PC 网络的多通道视景仿真技术[J]. 测绘学院学报,2005,22(1):54~57.
Wang Meng, Xia Qing. Visualization simulation technology for multi-view based on PC network[J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 2005, 22(1):54~57. (in Chinese)
- 11 胡立教,陈军,朱忠祥,等. 虚拟现实系统中农业装备模型转换方法[J]. 农业机械学报,2010,41(4):90~94.
Hu Lijiao, Chen Jun, Zhu Zhongxiang, et al. Model transformation of agricultural equipment in virtual reality [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(4):90~94. (in Chinese)