

响应面法优化复合磷酸盐提高鱼糜的保水性

刘安军, 王平, 郑捷, 尹诗, 陈影, 尚校兰

(天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

摘要: 通过响应面试验设计研究了复合磷酸盐对鱼糜保水性的影响。分析结果表明: 磷酸三钠、三聚磷酸钠以及磷酸三钠与焦磷酸钠的交互作用对鱼糜的蒸煮损失具有显著性影响。并确定了鲤鱼鱼糜具有最低蒸煮损失时各磷酸盐的添加量分别为: 磷酸三钠 0.25 g/kg, 三聚磷酸钠 1.75 g/kg, 焦磷酸钠 0.86 g/kg, 六偏磷酸钠 1.47 g/kg。

关键词: 鲤鱼鱼糜; 复合磷酸盐; 保水性; 响应面法

文章篇号: 1673-9078(2012)4-412-415

Optimization of Phosphate Dosages to Promoting Water Holding Capacity of Surimi by Response Surface Methodology

LIU An-jun, WANG Ping, ZHENG Jie, YIN Shi, CHEN Ying, SHANG Xiao-lan

(Faculty of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: The effect of phosphates on water holding capacity of carp surimi was studied by response surface methodology. The results showed that the trisodium phosphate, tripolyphosphate, and the interaction between trisodium phosphate and pyrophosphate significantly affected the cooking loss of surimi. And the best dosages of each phosphate was obtained as: trisodium phosphate 0.25 g/kg, tripolyphosphate 1.75 g/kg, pyrophosphate 0.86 g/kg and hexametaphosphate 1.47 g/kg.

Key words: carp surimi; composite phosphates; water holding capacity; response surface methodology

肉的保水性一般指在加工过程中, 肉的水分及添加到肉中的水分的保持能力, 持水性的高低直接关系到肉制品的质地和成品率^[1-3]。近年来国内外学者对肉制品保水性进行了较多的研究, 但多是针对畜禽肉制品, 而对于鱼糜制品的保水性研究则报道较少, 国内在这方面的研究则更少。

磷酸盐是肉制品加工中常用的食品添加剂, 它有调节 pH 值、乳化、缓冲、螯合金属离子等功能, 能够提高肉制品质地、风味和嫩度^[4-6]。添加磷酸盐能有效提高鱼糜制品的保水性, 从而在感官品质及经济价值方面提高鱼糜制品的质量。

有报道指出, 磷酸盐在肉中发生了解离, 以多种分子形式存在于肌肉组织中, 有些分子形式对肌肉的蛋白功能特性有促进作用, 但有些形式没有作用, 因此磷酸盐在肌肉中的解离程度及不同的分子存在方式可能决定了其产生的效果, 具体形式和作用机理还不

甚清楚^[7]。

本研究拟以鲤鱼鱼糜为原材料, 探讨复合磷酸盐对鱼糜保水性的影响, 并应用响应面法对其进行优化。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜鲤鱼(市售); 磷酸三钠、三聚磷酸钠、焦磷酸钠、六偏磷酸钠均为食品级添加剂。

1.2 主要仪器设备

ESJ205-4 型电子天平, JB200-D 型强力电动搅拌机, HW·SY 系列电热恒温水浴锅, PH-3CW 微机型酸度计。

1.3 试验方法

1.3.1 鱼糜的制备

将采购的新鲜鲤鱼去除头、内脏、结缔组织等, 取背部白色鱼肉打碎成糜状, 置于 4℃ 冰箱中备用。

1.3.2 蒸煮损失测定

参考黄明的方法, 略有改动^[8]。准确称取 10 g 处理好的鱼糜, 放入蒸煮袋中, 于 72℃ 水浴加热到肉样中心温度达到 70℃, 保温 30 min, 取出后用流动自来水冷却直至室温, 然后取出鱼糜样品, 用滤纸吸干样品表面的水分, 称重, 并用下式计算蒸煮损失。

收稿日期: 2011-07-26

项目基金: 天津市农业科技成果转化与推广项目(201002090)、天津市科技成果转化及产业化推进计划项目(09ZHXHNC04900)、天津东丽科委科技成果转化项目(2010301)、天津东丽科委科技成果转化项目(2010303)

作者简介: 刘安军(1963-)男, 教授, 博士生导师, 主要从事水产品、畜产(副产)品高附加值的开发利用及功能性食品研究等

$$X(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

注: m_1 , m_2 分别为蒸煮前后鱼糜样品的质量, 单位为 g。

1.3.3 复合磷酸盐用量的优化

分别讨论磷酸三钠、三聚磷酸钠、焦磷酸钠、六偏磷酸钠对鲤鱼鱼糜蒸煮损失的影响, 并以单因素试验结果为依据, 选取四种磷酸盐为相应变量, 利用 Design-Expert 7.0 设计 4 因素 3 水平试验方案, 进行复合磷酸盐用量的优化。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验结果

磷酸三钠、三聚磷酸钠、焦磷酸钠及六偏磷酸钠对鱼糜蒸煮损失的影响见图 1~4。

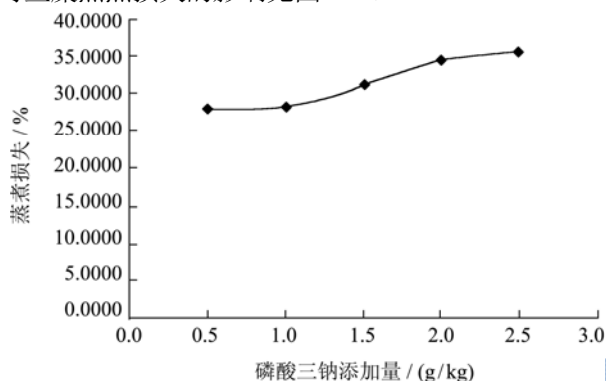


图 1 不同磷酸三钠添加量对鱼糜蒸煮损失的影响

Fig.1 Changes in cooking loss of surimi with different concentration of trisodium phosphate

在三聚磷酸钠、焦磷酸钠、六偏磷酸钠用量均为 1.0 g/kg 鱼肉的条件下, 分别考察不同磷酸三钠添加量 (0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 g/kg) 对鱼糜蒸煮损失的影响, 图 1 为磷酸三钠对鱼糜蒸煮损失的影响曲线。由图 1 可知, 随着磷酸三钠添加量的增加, 鱼糜蒸煮损失逐渐增大, 即磷酸三钠添加量为 0.5 g/kg 时, 鱼糜蒸煮损失最小, 保水性最好。

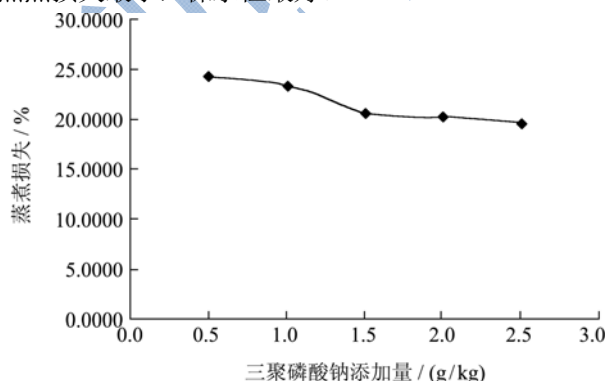


图 2 不同三聚磷酸钠添加量对鱼糜蒸煮损失的影响

Fig.2 Changes in cooking loss of surimi with different concentration of tripolyphosphate

由图 2 可以看出, 当磷酸三钠、焦磷酸钠、六偏磷酸钠添加量分别固定为 0.5、1.0、1.0 g/kg 时, 随着三聚磷酸钠添加量的增加, 鱼糜蒸煮损失逐渐减小, 但是当三聚磷酸钠添加量超过 1.5 g/kg 时, 鱼糜蒸煮损失的变化趋于平缓。

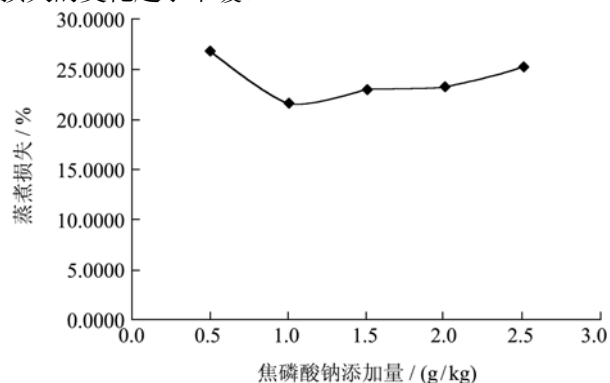


图 3 不同焦磷酸钠添加量对鱼糜蒸煮损失的影响

Fig.3 Changes in cooking loss of surimi with different concentration of pyrophosphate

当磷酸三钠、三聚磷酸钠、六偏磷酸钠添加量分别取固定值 0.5、1.5、1.0 g/kg 时, 由上图观察可知, 焦磷酸钠添加量为 1.0 g/kg 时, 鱼糜蒸煮损失最小。

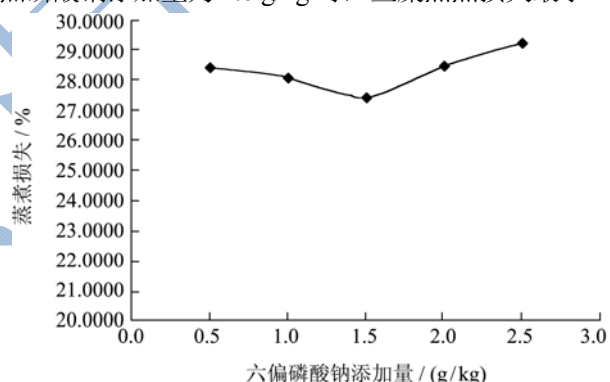


图 4 不同六偏磷酸钠添加量对鱼糜蒸煮损失的影响

Fig.4 Changes in cooking loss of surimi with different concentration of hexametaphosphate

取上述三种磷酸盐的最佳添加量, 进行六偏磷酸钠添加量的筛选。根据图 4 中的曲线可以看出, 随六偏磷酸钠添加量增加, 鱼糜蒸煮损失呈现先减小后增大的趋势, 即当六偏磷酸钠添加量为 1.5 g/kg 时, 鱼糜的蒸煮损失最小。

试验测得不添加磷酸盐的样品即空白样的蒸煮损失为 36.85%。经比较可知, 添加磷酸盐后, 鱼糜的蒸煮损失均比空白样的蒸煮损失小。

2.2 响应面试验设计方案及结果

根据中心组合试验设计原理, 在单因素试验的基础上, 借助 Design-Expert 7.0 软件进行 4 因素 3 水平的响应曲面试验设计, 产生 29 个试验。表 1 为试验的因素水平表, 响应曲面设计方案及结果见表 2。

表1 响应曲面试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of response surface methodology

| 因素 | 水平/(g/kg) | | |
|----------|-----------|------|------|
| | -1 | 0 | 1 |
| A(磷酸三钠) | 0.25 | 0.50 | 0.75 |
| B(三聚磷酸钠) | 1.25 | 1.50 | 1.75 |
| C(焦磷酸钠) | 0.75 | 1.00 | 1.25 |
| D(六偏磷酸钠) | 1.25 | 1.50 | 1.75 |

表2 响应曲面设计方案及结果

Table 2 Test scheme and results for response surface analysis

| 试验号 | A | B | C | D | 蒸煮损/% |
|-----|----|----|----|----|-------|
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 34.33 |
| 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 30.25 |
| 3 | -1 | -1 | 0 | 0 | 30.24 |
| 4 | 0 | -1 | 0 | -1 | 34.06 |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 30.22 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30.33 |
| 7 | -1 | 0 | -1 | 0 | 28.50 |
| 8 | 0 | 1 | 1 | 0 | 30.24 |
| 9 | -1 | 0 | 0 | 1 | 27.11 |
| 10 | -1 | 0 | 1 | 0 | 30.20 |
| 11 | 0 | -1 | -1 | 0 | 34.03 |
| 12 | 0 | 0 | 1 | 1 | 33.74 |
| 13 | 0 | 0 | -1 | 1 | 32.42 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30.95 |
| 15 | 0 | 1 | 0 | -1 | 30.21 |
| 16 | 1 | -1 | 0 | 0 | 36.41 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31.05 |
| 18 | 0 | 0 | -1 | -1 | 31.48 |
| 19 | 1 | 0 | -1 | 0 | 35.63 |
| 20 | 0 | 0 | 1 | -1 | 32.27 |
| 21 | 0 | -1 | 1 | 0 | 32.28 |
| 22 | -1 | 0 | 0 | -1 | 29.55 |
| 23 | 0 | -1 | 0 | 1 | 34.31 |
| 24 | 1 | 0 | 0 | -1 | 34.92 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30.30 |
| 26 | 1 | 0 | 0 | 1 | 35.36 |
| 27 | -1 | 1 | 0 | 0 | 27.99 |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31.27 |
| 29 | 0 | 1 | -1 | 0 | 30.24 |

2.3 建立回归方程及统计分析

根据Design-Expert 7.0软件对数据的回归分析,建立的蒸煮损失的回归方程为:

$$\begin{aligned} \text{蒸煮损失}(\%) = & 30.78 + 2.36A - 2.18B + 0.23C + 0.31D \\ & - 0.48AB - 0.75AC - 0.031AD - 0.063BC - 0.062BD + 0.13CD \\ & + 0.59A^2 + 0.46B^2 + 0.82C^2 + 0.98D^2 \end{aligned}$$

所得回归方程的方差分析结果见表3。

表3 回归方程的方差分析结果

Table 3 The variance analysis of regression equation

| | 平方和 | 自由度 | 均方 | F值 | P (F>F α) |
|----------------|----------|-----|----------|----------|-------------------|
| 模型 | 138.6725 | 14 | 9.905176 | 20.79518 | <0.0001 |
| A | 66.8083 | 1 | 66.8083 | 140.2591 | <0.0001 |
| B | 57.09466 | 1 | 57.09466 | 119.866 | <0.0001 |
| C | 0.631401 | 1 | 0.631401 | 1.325579 | 0.2689 |
| D | 1.124979 | 1 | 1.124979 | 2.36181 | 0.1466 |
| AB | 0.914032 | 1 | 0.914032 | 1.918942 | 0.1876 |
| AC | 2.24985 | 1 | 2.24985 | 4.723393 | 0.0474 |
| AD | 0.003825 | 1 | 0.003825 | 0.008031 | 0.9299 |
| BC | 0.015663 | 1 | 0.015663 | 0.032882 | 0.8587 |
| BD | 0.015314 | 1 | 0.015314 | 0.032151 | 0.8603 |
| CD | 0.067185 | 1 | 0.067185 | 0.141049 | 0.7129 |
| A ² | 2.244062 | 1 | 2.244062 | 4.711243 | 0.0477 |
| B ² | 1.381107 | 1 | 1.381107 | 2.899533 | 0.1107 |
| C ² | 4.39264 | 1 | 4.39264 | 9.222022 | 0.0089 |
| D ² | 6.269362 | 1 | 6.269362 | 13.16206 | 0.0027 |
| 残差 | 6.66849 | 14 | 0.476321 | | |
| 失拟度 | 5.894216 | 10 | 0.589422 | 3.04503 | 0.1473 |
| 误差 | 0.774274 | 4 | 0.193568 | | |
| 总回归 | 145.341 | 28 | | | |

由表3可以看出,蒸煮损失的回归模型极显著, p<0.0001,失拟度 p>0.05。并且由统计分析得出 R²和校正 R²分别为 0.95、0.91,信噪比为 18.30,远高于临界值 4,由以上分析可知该模型拟合程度良好。一次项 A、B,二次项 A²、C²、D²及交互项 AC 对鱼糜蒸煮损失都有显著性影响 (p<0.05)。

2.4 响应曲面分析

2.4.1 磷酸三钠与三聚磷酸钠的交互作用

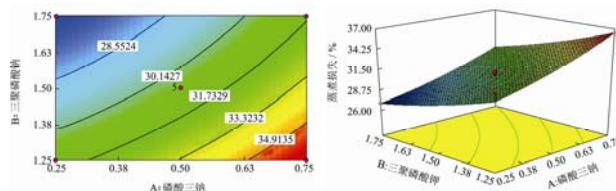


图5 磷酸三钠与三聚磷酸钠对蒸煮损失的交互作用

Fig.5 The interaction of trisodium phosphate and tripolyphosphate to the cooking loss

由图5分析可知,焦磷酸钠和六偏磷酸钠用量分

别固定为 1.0、1.5 g/kg，当三聚磷酸钠含量较低时，随着磷酸三钠添加量的增加，鱼糜的蒸煮损失显著增加；而当三聚磷酸钠含量较高时，蒸煮损失随磷酸三钠的增加变化相对较平缓。

2.4.2 磷酸三钠与焦磷酸钠的交互作用

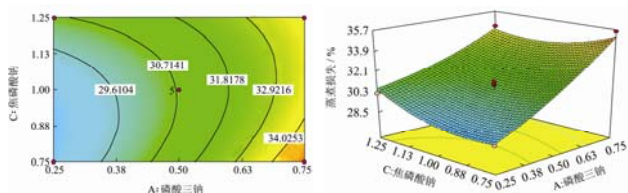


图 6 磷酸三钠与焦磷酸钠对蒸煮损失的交互作用

Fig.6 The interaction of trisodium phosphate and pyrophosphate to the cooking loss

固定三聚磷酸钠及六偏磷酸钠的用量均为 1.5 g/kg，磷酸三钠与焦磷酸钠的交互作用见图 6。由图 6 可以看出，随焦磷酸钠用量的增加，蒸煮损失先减小后增大。当焦磷酸钠添加量较少时，随磷酸三钠添加量的增加，蒸煮损失的显著增大；当焦磷酸钠含量较高时，蒸煮损失随磷酸三钠含量的增加而缓慢增大。

2.4.3 磷酸三钠与六偏磷酸钠的交互作用

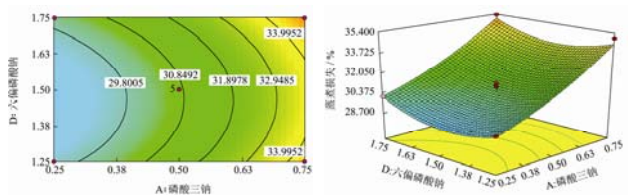


图 7 磷酸三钠与六偏磷酸钠对蒸煮损失的交互作用

Fig.7 The interaction of trisodium phosphate and hexametaphosphate to the cooking loss

由图 7 分析可知，固定三聚磷酸钠添加量为 1.5 g/kg，焦磷酸钠添加量为 1.0 g/kg，当磷酸三钠含量在 0.25~0.5 g/kg 范围内，六偏磷酸钠含量在 1.25~1.75 g/kg 范围内时，鱼糜的蒸煮损失较小，并且六偏磷酸钠含量由 1.25 g/kg 增加到 1.5 g/kg 时，蒸煮损失逐渐减小。

2.4.4 三聚磷酸钠与焦磷酸钠的交互作用

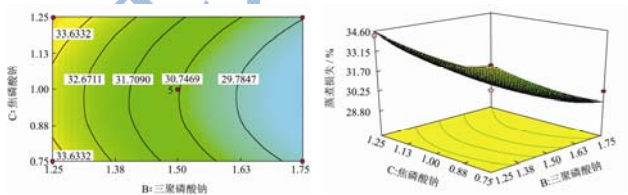


图 8 三聚磷酸钠与焦磷酸钠对蒸煮损失的交互作用

Fig.8 The interaction of tripolyphosphate and pyrophosphate to the cooking loss

图 8 为磷酸三钠和六偏磷酸钠添加量分别为 0.5 g/kg、1.5 g/kg 时，三聚磷酸钠及焦磷酸钠对鱼糜蒸煮

损失的交互影响。从图 8 中可以看出，三聚磷酸钠对蒸煮损失的影响较为显著，随三聚磷酸钠含量的增加，蒸煮损失逐渐减小；而焦磷酸钠对蒸煮损失的影响则是呈现先减小后增大的趋势，但三聚磷酸钠与焦磷酸钠的交互作用表现的并不显著。

2.4.5 三聚磷酸钠与六偏磷酸钠的交互作用

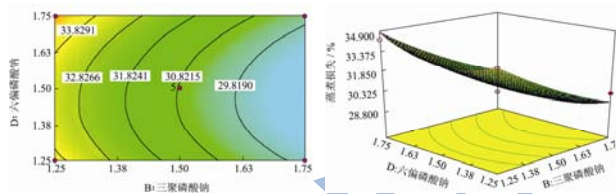


图 9 三聚磷酸钠与六偏磷酸钠对蒸煮损失的交互作用

Fig.9 The interaction of tripolyphosphate and hexametaphosphate to the cooking loss

图 9 的变化趋势与图 8 相似，即三聚磷酸钠与焦磷酸钠及六偏磷酸钠之间的交互作用相似。

2.4.6 焦磷酸钠与六偏磷酸钠的交互作用

当磷酸三钠和三聚磷酸钠添加量分别为 0.5 g/kg、1.5 g/kg 时，焦磷酸钠与六偏磷酸钠对蒸煮损失的影响如图 10 所示。焦磷酸钠在 0.75~1.25 g/kg 范围内，六偏磷酸钠在 1.25~1.75 g/kg 范围内变化时，鱼糜蒸煮损失呈现先减小后增大的趋势。分析等高线图可知，二者的交互作用不十分显著。

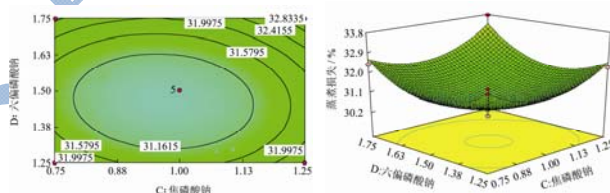


图 10 焦磷酸钠与六偏磷酸钠对蒸煮损失的交互作用

Fig.10 The interaction of pyrophosphate and hexametaphosphate to the cooking loss

2.5 复合磷酸盐添加量的最优值预测及验证

通过统计分析预测出的最佳的复合磷酸盐添加量为：磷酸三钠 0.25 g/kg，三聚磷酸钠 1.75 g/kg，焦磷酸钠 0.83 g/kg，六偏磷酸钠 1.57 g/kg。

经验证，三次平行试验所得的蒸煮损失的平均值为 27.84%，接近预测值 27.50%。

3 结论

3.1 由单因素试验可知，添加不同的磷酸盐均能降低鱼糜的蒸煮损失，从而提高其保水性。

3.2 通过响应曲面试验设计，建立了鱼糜蒸煮损失的数学模型，根据方差分析结果得出：一次项 A、B，二次项 A²、C²、D² 及交互项 AC 对鱼糜蒸煮损失都有显著性影响 (p<0.05)。

3.3 响应面法对四种磷酸盐最优添加量的预测值为: 磷酸三钠 0.25 g/kg, 三聚磷酸钠 1.75 g/kg, 焦磷酸钠 0.86 g/kg, 六偏磷酸钠 1.47 g/kg。此条件下, 试验所得的蒸煮损失平均值为 27.84%, 接近模型预测值。

参考文献

- [1] 于巍,周坚.草鱼盐溶蛋白保水性及流变性质的研究[J].食品与发酵工业,2007,33(10):72-75
- [2] 刘红英.水产品加工与贮藏[M].北京:化学工业出版社,2006
- [3] 刘颖,王俊修,邱树毅,等.复合磷酸盐对鲜切猪里脊肉肌球蛋白凝胶保水性的影响研究[J].现代食品科技,2008,24(4):324-326
- [4] 李苗云,赵改名,张秋会,等.复合磷酸盐对肉制品加工中的保水性优化研究[J].食品科学,2009,30(8):80-85
- [5] 王占忠,黎鸿.基于响应面法优化复合添加剂提高牛肉保水性[J].食品科技,2009,34(4):124-129
- [6] 王修俊,刘颖,邱树毅,等.复合磷酸盐在鱼肉保水性方面的应用研究[J].肉类工业,2008,3:42
- [7] 赵新淮,徐红华,姜毓君.食品蛋白质结构、性质与功能[M].北京:科学出版社,2009
- [8] 黄明,罗欣.热处理对牛肉剪切力值及蒸煮损失的影响[J].肉类工业,1999,10:24-25