

基于神经网络法优化即食皱纹盘鲍栅栏模式

席庆^{1,2}, 章超桦^{1,3,4}, 曾少葵^{1,3,4}

(1. 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东湛江 524088) (2. 广东普通高等学校水产品深加工重点实验室, 广东湛江 524088) (3. 国家贝类加工技术研发分中心(湛江), 广东湛江 524088) (4. 广东海洋大学食品科技学院, 广东湛江 524088)

摘要: 以栅栏技术理论为指导, 采用神经网络模型优化不同栅栏模式对即食鲍鱼 (*Haliotis discus hannai* Ino) 产品的防腐保鲜效果。通过研究几个栅栏因子 (烘干后产品的水分活度 (a_w)、乳酸链球菌素 (Nisin)、乳酸钠的添加量以及杀菌温度) 组合得到的不同栅栏模式的防腐保鲜效果以及对产品品质的影响, 以菌落总数及感官评分作为响应值建立神经网络模型并进行优化。结果表明: 产品最适栅栏模式为: a_w 为 0.92, Nisin、乳酸钠添加量分别为 0.39 g/kg、1.6%, 杀菌温度 89 °C, 此栅栏模式防腐保鲜效果好, 且能较好地保持产品的质地和风味。

关键词: 皱纹盘鲍; 神经网络; 栅栏模式

文章编号: 1673-9078(2013)6-1311-1315

Optimization of Hurdle Pattern for Preservation of Ready-to-eat Abalone (*Haliotis discus hannai* Ino) Based on Neural Network

XI Qing^{1,2}, ZHANG Chao-hua^{1,3,4}, ZENG Shao-kui^{1,3,4}

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Products Processing and Safety, Zhanjiang 524088, China) (2. Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic Products of Guangdong Higher Education Institution, Zhanjiang 524088, China) (3. National Research and Development Branch Center for Shellfish Processing (Zhanjiang), Zhanjiang 524088, China) (4. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: Based on the theory of hurdle effect, the effects of different hurdle pattern formed by different hurdle factor and factor intensity on the antibacterial action and quality of ready-to-eat abalone were studied. A neural network model was established and the hurdle pattern was optimized. The result showed that the best hurdle pattern was: a_w 0.92, Nisin 0.39 g/kg, Sodium lactate 1.6% and temperature 89 °C, under which the longest storage time of ready-to-eat abalone was achieved and the products can maintain their special taste and texture during storage.

Key words: abalone; neural network; hurdle mode

皱纹盘鲍 (*Haliotis discus hannai* Ino) 属于软体动物门、鲍科 (*Haliotidae*) 鲍属 (*Haliotis*)^[1], 是我国鲍鱼主要经济品种之一, 其个体大, 营养丰富, 乃八大海珍之首^[2-3]。目前对鲍鱼的加工利用主要是干鲍、罐头^[4], 保质期较鲜鲍长, 但品质均遭到破坏。水产软罐头因其节约能源、成本低越来越受到消费者的青睐^[5], 因此开发软罐头即食鲍鱼必将有广阔前景。人工神经网络 (Artificial Neural Networks) 简称神经网络, 是模仿动物神经网络行为特征, 能够进行复杂的逻辑操作和非线性映射^[5]。近些年在食品加工方面已有广泛应用,

收稿日期: 2013-01-19

基金项目: 国家现代农业产业项目, 贝类产业技术体系科学家岗位专项经费 (200908010); 广东省教育厅育苗工程(自然科学)项目

作者简介: 席庆 (1987-), 女, 硕士研究生, 主要从事水产品高值化加工与利用

主要用来优化控制干燥、焙烤、挤压、发酵、采后保藏等食品加工工艺^[6-8]。神经网络较因传统的分析方法可避免混杂效应或损失信息, 因而用于即食鲍鱼栅栏模式的优化将会取得比较理想的实验结果。本研究采用多种栅栏因子, 运用神经网络建立栅栏因子防腐效果的神经网络模型, 优化栅栏因子及强度, 使得产品的品质和安

1 材料与方法

1.1 材料与设备

皱纹盘鲍购于霞山水产品批发市场, 壳长 5.8 ± 0.3 cm, 宽 3.5 ± 0.3 cm、厚度为 2 ± 0.1 cm; 实验所用试剂: Nisin, 乳酸钠均为食品级, 琼脂培养基等。

Adventurer AR2140 分析天平, 奥豪斯仪器(上海)

有限公司; HH.S21-6 型恒温水浴锅, 上海博迅实业有限公司; HEGON 美的电磁炉, 美的有限公司; IKA T25 数显均质机, 上海申鹿均质机有限公司; EYELA WFO-700 型鼓风干燥箱, 东京理化器械株式会社埃朗科技国际贸易(上海)有限公司; DZ-1000 真空包装机, 上海余特包装机械制造有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

新鲜/经解冻的皱纹盘鲍→清洗→脱腥→漂烫→腌制→煮制→烘干→涂膜→真空包装→杀菌→成品

在腌制过程中添加 Nisin 以及乳酸钠, 通过控制 60 °C 烘干时间调节 a_w 。

1.2.2 主要操作要点

1.2.2.1 脱腥

将皱纹盘鲍肌肉浸泡于姜汁(1%)、盐(3%)复合脱腥液腥中。

1.2.2.2 漂烫

将鲍鱼肌肉于 95 °C 热水中漂烫 5~7 s, 立即捞出沥干。

1.2.2.3 腌制

将漂烫的鲍鱼加入腌制液中于 40 °C 腌制 3 h。

1.2.2.4 煮制

将漂烫后的鲍鱼于含有花椒、桂皮、八角和辣椒干、辣椒粉等香辛料的复合调味料中于 85 °C 煮 15 min。

1.2.2.5 涂膜

将鲍鱼置于一定浓度的保鲜液中 1 min, 捞出沥干。

1.2.3 分析检测方法

1.2.3.1 水分含量测定

按 GB5009.3-2003 食品中水分的测定方法^[9], 常压干燥法。

1.2.3.2 a_w 测定

采用扩散法^[10]将 5 g 左右样品剪碎, 放入 a_w 测定仪测定。

1.2.3.3 菌落总数的测定

按照 GB/T 4789.2-2010 进行。

1.2.3.4 感官评定

采用九点标度法^[11], 指标体系及标度如表 1。

1.2.4 实验设计

本研究中主要针对不同栅栏因子组合模式对产品品质及耐贮藏性的影响。有研究复合防腐剂对畜禽鱼肉的防腐效果, 显示传统栅栏因子以及新型天然防腐剂有相乘作用^[12]。本研究将产品在 37 °C 条件下进行保温试验, 以菌落总数以及感官得分作为响应因子,

考虑的栅栏因子 Nisin、乳酸钠添加量、烘干以后的 a_w 以及杀菌温度, 在单因素的基础上, 确定每个因素的变量范围。采用 Box-Behnken 设计来确定神经网络优化需要输入的训练数据, 因素水平编码表见表 2。

表 1 感官评分标准

Table 1 Standards of sensory evaluation

项目与分值		1	2	3	4	5	6	7	8	9
口感	差					一般				好
气味	差					一般				好
色泽	差					一般				好
总体可接受性	厌恶					既不喜欢也不厌恶				喜欢

表 2 因素水平编码表

Table 2 Code of factors and levels

水平	因素			
	X_1 (a_w)	X_2 [Nisin/(g/Kg)]	X_3 (乳酸钠/%)	X_4 (杀菌温度/°C)
-1	0.887	0.25	0.8	80
0	0.917	0.35	1.6	90
1	0.945	0.45	2.4	100

1.2.5 数据处理

采用 JMP7.0 数据处理软件中的神经网络平台。

2 结果与分析

2.1 Box-Behnken 设计及结果

Box-Behnken 设计及结果见表 3 所示。

表 3 试验设计及结果

Table 3 Experimental design and results

试验号	模式	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1^a	Y_2^a
1	-00+	-1	0	0	1	2.84±0.11	6.3±0.8
2	+0+0	1	0	1	0	2.97±0.14	7.8±1.7
3	00--	0	0	-1	-1	3.70±0.15	6.9±2.3
4	0++0	0	1	1	0	2.43±0.11	8.4±1.0
5	00+-	0	0	1	-1	2.48±0.09	7.9±0.8
6	-0-0	-1	0	-1	0	2.15±0.03	6.1±0.6
7	0000	0	0	0	0	1.94±0.20	8.9±2.1
8	0000	0	0	0	0	1.80±0.02	8.8±0.2
9	00++	0	0	-1	1	2.73±0.14	6.3±1.0
10	-+00	-1	1	0	0	3.03±0.04	6.0±0.1
11	+00+	1	0	0	1	2.10±0.02	6.9±0.1

转下页

接上页

12	0+-0	0	1	-1	0	3.22±0.05	6.9±0.6
13	+0-0	1	0	-1	0	3.31±0.06	6.7±0.9
14	0-0+	0	-1	0	1	3.20±0.07	6.7±1.5
15	0--0	0	-1	-1	0	3.20±1.01	7.3±1.2
16	-00-	-1	0	0	-1	2.64±0.23	6.2±1.4
17	00++	0	0	1	1	2.25±0.17	6.9±0.5
18	0+0-	0	1	0	-1	3.65±0.13	7.7±0.6
19	0+0+	0	1	0	1	2.62±0.21	8.1±1.2
20	0-0-	0	-1	0	-1	1.98±0.31	8.7±0.3
21	-0+0	-1	0	1	0	2.27±0.36	6.5±1.1
22	--00	-1	-1	0	0	3.14±0.09	7.3±0.2
23	++00	1	1	0	0	3.15±0.18	8.7±0.7
24	0+-0	0	-1	1	0	2.99±0.62	7.5±1.3
25	+--00	1	-1	0	0	3.59±0.04	6.8±1.2
26	0000	0	0	0	0	1.80±0.02	9.0±0.9
27	+00-	1	0	0	-1	3.67±0.23	8.2±0.5

注：^a 每组均为3次平行实验，以平均数±标准差来表示；

Y₁: 菌落总数 Lg(CFU/g); Y₂: 感官评分。

2.2 神经网络模型的建立

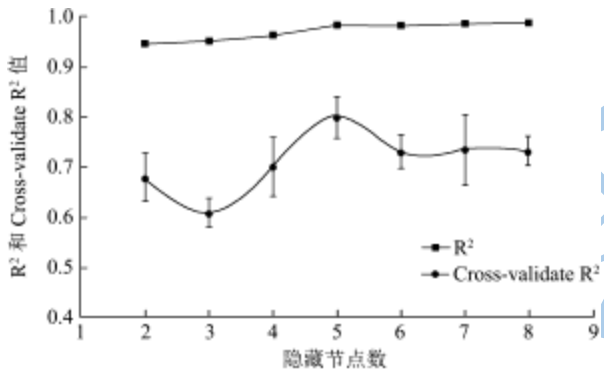


图1 不同隐藏节点数的R²与 cross-validated R²值

Fig.1 R² values and cross-validated R² of different hidden nodes

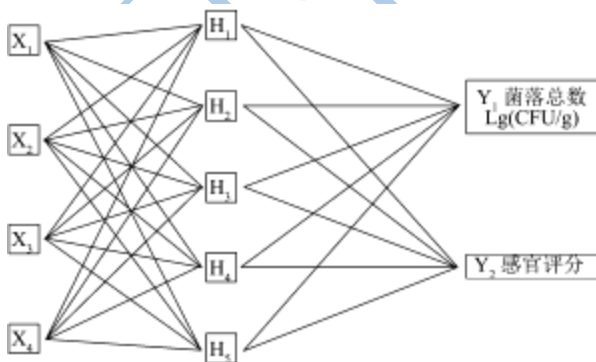


图2 神经网络结构图

Fig.2 Structure of artificial neural network (ANN)

根据试验数据情况，选择“K 折叠”交叉验证的方法拟合响应目标的神经网络模型，交叉验证组数为

5，采用 2~8 个隐藏节点数来进行神经网络训练，每个指定的隐藏节点数重复 5 次，拟合决定系数 R² 和交叉验证 R² 值用来评估神经网络模型。拟合决定系数 R² 和交叉验证 R² 值如图 1 所示。从图 1 可以看出随着隐藏节点数的增加拟合决定系数 R² 值增加，拟合罚项递减。但是交叉验证 R² 值随着隐藏节点数先增加，当隐藏节点数超过 5 时又随隐藏节点数的增加而下降。可见当隐藏节点数大于 5 时，神经网络模型会出现过拟合。因此确定采用 4*5*2 结构的三层神经网络（见图 2），即 4 个输入神经元，分别代表水分活度 a_w (X₁)、Nisin (X₂)、乳酸钠 (X₃)、温度 (X₄)；5 个隐含层神经元；2 个输出神经元，分别代表试验指标菌落总数 (Y₁)、感官评分 (Y₂)。设置各参数值，隐藏节点数 5，过拟合罚项 0.001，历程数 16，最大迭代数 50，收敛准则 0.00001，交叉验证组数 K 为 5，执行神经网络模型的拟合迭代过程，拟合决定系数 R² 值为 0.9906、0.9978，说明 4*5*2 结构的三层神经网络模型具有较好的预测能力。

2.3 神经网络模型的优化与分析

为了研究 a_w (X₁)，Nisin (X₂)，乳酸钠 (X₃)，温度 (X₄) 4 个条件对菌落总数 (Y₁) 感官评分 (Y₂) 的影响，先固定其中的 1 个因素为 0 水平，利用 JMP7.0 软件中的曲面刻画器作三维曲面图，然后对其进行正投影处理，结果见图 3、图 4。图 3、图 4 形象地概括了 a_w (X₁)，Nisin (X₂)，乳酸钠 (X₃)，温度 (X₄) 这 4 个栅栏因子对菌落总数及感官评分的影响。

2.3.1 不同栅栏因子对菌落总数 (Y₁) 的影响分析

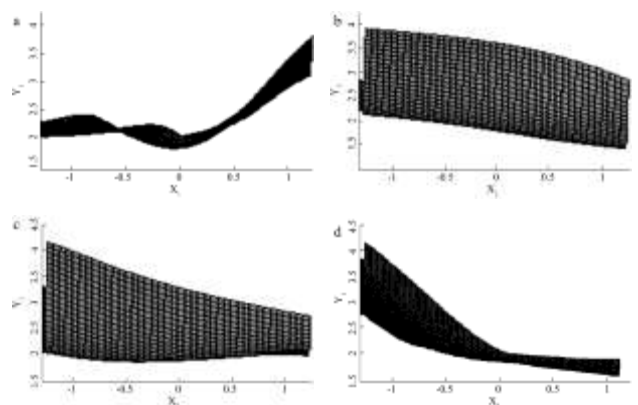


图3 a_w (X₁)，Nisin 含量 (X₂)，乳酸钠含量 (X₃)，温度 (X₄) 对菌落总数 (Y₁) 影响

Fig.3 Effect of a_w (X₁), Nisin concentration (X₂), sodium lactate concentration (X₃), temperature on Lg(CFU/g) (Y₁)

从图 3a 可以看出，Y₁ 随 X₁ 的增大而增大，即随着水分活度的增加，菌落总数逐渐增大。可见 a_w (X₁) 对产品的抑菌性有显著影响，水分活度处于较低水平 (-1 < a_w < 0)，菌落总数较少且变化缓慢，说明 a_w < 0.917

时可有效地抑制细菌的繁殖,水分活度处于较高水平 ($0 < a_w < 1$) 时,细菌总数急剧增加,高于 0.917 时菌落总数明显增加,这与陈丽娇^[12]的研究结果一致;每种微生物都有最低生长水分活度:大多数微生物在 0.91 以上;一般酵母在 0.91~0.87;霉菌、金黄色葡萄球菌在 0.87~0.80^[13],一般低酸性食品($pH > 5$)的 a_w 达到 0.96 时难以在常温下贮藏^[14]; Nisin 的抑菌效果如图 3b 所示,随着 Nisin 添加量的增加,菌落总数呈下降趋势,上边界变化较下边界变化明显,这说明在高水分活度下 Nisin 的抑菌效果比低水分活度下更明显;乳酸钠的抑菌效果如图 3c 所示,与 Nisin 的抑菌效果相似;杀菌温度对抑菌效果影响显著,随着温度的升高,菌落总数下降,特别是在低水平 ($-1 < \text{温度} < 0$) 90 °C 之前,下降趋势明显,高水平 ($0 < \text{温度} < 1$) 90 °C 之后,菌落总数变化趋势缓慢。

2.3.2 不同栅栏模式对感官评分 (Y_2) 的影响分析

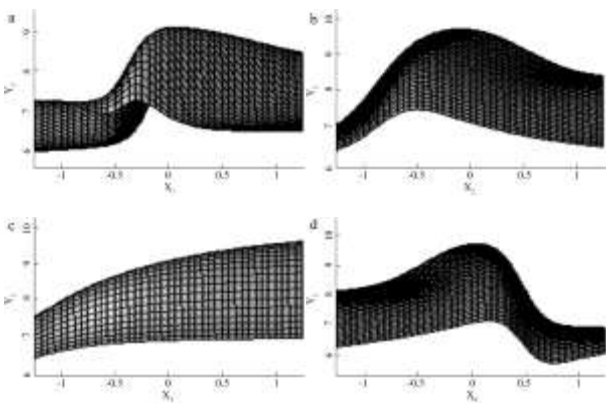


图 4 a_w (X_1), Nisin (X_2), 乳酸钠 (X_3), 温度 (X_4) 对感官得分 (Y_2) 的影响

Fig.4 Effect of a_w (X_1), Nisin concentration (X_2), sodium lactate concentration (X_3), temperature on sensory score (Y_2)

从图 4a 可以看出,水分活度在较低水平 ($-1 < a_w < 0$) 随着水分活度的增加,感官评分持续上升,而达到 0.917 后,感官评分趋于平缓。水分活度越高时,产品肌肉组织含水量高,质地鲜嫩有弹性,但风味、色泽不佳,水分活度低时,产品表现出令人愉快的风味、色泽,但质地较硬。由图 4b 可以看出随着 Nisin 的增加,感官评分先增大后减少,0.35 g/kg 时感官评分最大。由图 4c 可以看出随着乳酸钠的增加感官

评分增大,其含量在 1.6~2.4% 是变化趋于平缓。由图 4d 可以看出,随着杀菌温度的增加,感官评分先增加后下降,85~92 °C 范围内感官评分较好,美拉德反应适度,产品色泽为金黄色,温度越高时美拉德反应加剧,导致色泽严重褐变。

2.3.3 即食鲍鱼栅栏模式的确定

由前面的分析可知, a_w (X_1)、温度 (X_4) 对菌落总数以及感官评分的影响最大, Nisin (X_2) 次之,乳酸钠 (X_3) 影响最小。在寻求最佳栅栏模式参数时,既要考虑抑菌效果、感官效果,又要考虑成本。根据相关水产食品卫生标准^[15],当菌落总数低于 10^4 CFU/g 时,即能达到水产熟制品卫生标准。为了获得更安全的即食鲍鱼本研究以菌落总数的对数值为 2.25 的标准,借助 JMP 7.0 软件的预测刻画器对栅栏模式进行优化,确定适合的 a_w (X_1)、Nisin (X_2)、乳酸钠 (X_3)、温度 (X_4)。结果见图 5。

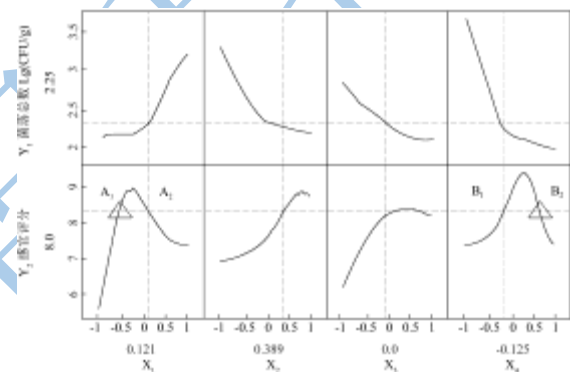


图 5 神经网络预测刻画图

Fig.5 Prediction plot of the neural network

从图 5 可知,以菌落总数对数值为 2.25、感官评分 8.0 的标准, a_w (X_1) 与温度 (X_4) 分别两处均可达到此标准, A_1 处 a_w 较 A_2 低,而水产品本身水分含量比较高,降到 A_1 需要消耗更多的能量和成本,同理 B_2 较 B_1 也是如此。因此达到菌落总数对数值为 2.25、感官评分 8.0 的标准, a_w (X_1)、Nisin (X_2)、乳酸钠 (X_3)、温度 (X_4) 水平分别为 0.121、0.389、0.0、-0.125,即 a_w 、Nisin、乳酸钠、温度分别为 0.92、0.39 g/kg、1.6%、89 °C。

2.4 神经网络模型的验证

表 4 神经网络模型的预测值与试验值的比较

Table 4 Comparison of predicted values and experimental values of ANN

X_1	X_2 (g/kg)	X_3 /%	X_4 /°C	Y_1 Lg(CFU/g)		相对 误差	Y_2		相对 误差
				实测值 ^a	预测值		实测值 ^a	预测值	
0.92	0.39	1.6	89	2.23±0.02	2.25	0.89	8.1±0.9	8.0	1.3
0.92	0.34	1.6	84	2.77±0.12	2.75	0.73	7.7±1.4	7.8	1.3
0.89	0.44	1.6	94	1.95±0.09	1.96	0.51	6.8±1.1	7.0	1.4

注：^a 每组均为3次平行实验，以平均数±标准差来表示。

为了验证建立的神经网络模型是否符合实际情况，选取3组新的因素水平组合数据（见表4）来测试该神经网络模型，其中一组为最佳栅栏模式。以3组试验数据为验证输入，利用建立好的神经网络模型对结果进行预测，然后与试验结果进行比较和检验，以检验人工神经网络预测的准确性和稳定性，结果见表4。

从表4可知，建立的神经网络模型具有较好的预测能力，能较为准确地预测即食鲍鱼栅栏模式的防腐效果，预测值与试验值的相对误差较小，因此可利用该神经网络对栅栏模式防腐效果进行预测分析。

3 结论

利用 Box-Behnken 响应面实验设计建立数据集，以贮藏 10 d 后的菌落总数以及感官评分为响应因子，建立了即食鲍鱼栅栏模式的神经网络模型，验证试验表明建立的神经网络模型对于本研究具有良好的预测精确性。最终得到的优化结果为： a_w 为 0.92，Nisin 为 0.39 g/kg，乳酸钠 1.6%，杀菌温度 89 °C。此条件下所得即食鲍鱼产品符合水产食品卫生标准且有较好的质地和风味。

参考文献

- [1] 程婷婷,李冬梅.一种鲍鱼脏器多糖的鉴定及活性研究[J].中国海洋药物,2008,27(2):9-13
- [2] 康平,汪秋宽,宋琳琳,等.皱纹盘鲍内脏酶的酶学性质及褐藻胶裂解酶的分离纯化[J].水产学报,2007,31(1):15-22
- [3] 高元戔,耿晓修,郑永华,等.八大海珍品之首[J].水利渔业,2007,27(4):33
- [4] 张汉祥.海味“四珍”之首鲍鱼[J].科学养鱼,2007,57(11):71
- [5] 薛兴成,汪世英.水产品软管头生产中加工工艺浅谈[J].现代食品科技,1987,16(3):14-16
- [6] 史德芳,高虹,程薇,等.人工神经网络在食品加工过程模拟控制中的应用[J].食品研究与开发,2009,30(1):176-179
- [7] Torrecilla J S, Otero L, Sanz P D. A neural network approach for thermal/pressure food processing [J]. Journal of Food Engineering, 2004,62(1):89-95
- [8] Movagharnjad K, Nikzad M. Modeling of tomato drying using artificial neural network [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007, 59 (1-2): 78-85
- [9] 刘静,管晓.SVM 方法在肉品新鲜度分类问题中的应用[J].食品工业科技,2011,32(4):112-116
- [10] 关志苗.水分活度及其在水产食品保藏上的意义[J].水产科学,1996,15(2):35-37
- [11] 王琳.食品分析[M].北京:中国轻工业出版社,1994
- [12] 张菊梅,石立三,吴清平,等.复合防腐剂对几种常见畜禽鱼肉的防腐效果研究[J].现代食品科技,2009,15(10):38-42
- [13] Lawless H T 著,王栋,李崎等译.食品感官评价原理与技术[M].北京:中国轻工业出版社,2001
- [14] 陈丽娇,郑明锋.应用栅栏技术确定带鱼软罐头杀菌工艺的研究[J].农业工程学报,2004,20(2):196-198
- [15] 关志苗.水分活度及其在水产食品保藏上的意义[J].水产科学,1996,15(2):35-37
- [16] 古应龙,杨宪时.南美白对虾温和加工即食制品栅栏因子的优化设置[J].食品科技,2006,10(6):68-72
- [17] DB11/617-2009,熟制水产品卫生要求[S]