腌制工艺对风味罗非鱼制品品质的影响

陈娇娇，蒋爱民
（华南农业大学食品学院，广东广州 510640）

摘要： 以罗非鱼为研究对象，以氨基酸态氮、盐卤中的蛋白质和氯化钠含量为指标，在单因素实验基础上，腌制时间、温度、浓度为自变量，感官评定为响应值，利用 Box-Behnken 中心组合设计原理和响应面分析方法，研究不同腌制条件（时间、温度、浓度）对罗非鱼鱼肉及盐卤中成分的影响，并建立感官评定结果与指标间的数学模型，以此优化干腌工艺条件。研究结果表明：腌制时间对鱼肉中氯化钠含量、鱼肉中氨基肽氮含量和盐卤中蛋白质含量有影响显著（$p<0.05$，鱼肉中的氯化钠含量与腌制盐度呈正相关，盐卤中的蛋白质含随着腌制盐度增加而增加。采用响应面分析法建立感官评定与腌制条件的数学模型，曲面方程拟合性好。盐水浓度对感官评定结果影响极显著（$p<0.0001$），腌制时间对其影响较显著（$p=0.0421$），腌制温度对其影响不显著（$p=0.4621$）。通过响应面交互作用分析与优化，最佳腌制条件为腌制时间为 4.28 h，腌制温度 9.64 ℃，腌制盐度为 1.64%，按照最佳工艺加工所得罗非鱼的感官评分最优，且感官评分值与模型预测值基本相符。

关键词： 罗非鱼；干腌；氯化钠含量；响应面分析法
文章篇号： 1673-9078(2012)7-1128-1132

Optimization of Curing Conditions for Production of Flavor Tilapia

CHEN Jiao-jiao, JIANG Ai-min
(College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Curing tilapia was used as the research objective and the content of salt in fish , amino nitrogen in fish and the content of protein in brine were adopted as the investigating indicators .Three curing parameters including curing time, dry-salting temperature and curing concentration were optimized using central composite design and response surface methodology based on single factor investigations for achieving maximum the sensory evaluation value .The influence of curing condition on the content of salt in fish ,amino nitrogen in fish ,the content in brine and the quality of products were studied ,the simulated quadratic polynomial regression equation of prediction model was set up between the results of sensory evaluation and determined indicators in different dry-salting factors .The results showed that the dry-salting time significantly affects the contents of salt and amino nitrogen in fish as well as the content in brine, while the effect of dry-salting concentration on amino nitrogen in fish is not significantly. The model set up by response surface method showed that regression equation fit well with experimental data and the content of sodium chloride greatly affects the sensory evaluation, followed by dry-salting time and dry-salting temperature. When the dry-salting time, dry-salting temperature and sodium chloride content were 4.28h, 9.64 ℃ and 1.64%, respectively, tiptia showed the best sensory quality. The results were basically corresponding to model prediction.

Key words: tilapia; dry-salting; the content of salt in fish; response surface method

腌腊鱼制品是以淡水鱼为原料，经食盐和香辛料腌制后，干燥加工而成的具有传统特色的水产品，有着广泛的市场需求。腌制鱼肉制品种类繁多，如云南贵州的侗乡腌鱼、四川湖南的熏鱼、湖北安徽的腊鱼、江西福建的酒糟鱼等。近年来，淡水风味鱼制品已越来越受市场青睐。然而传统加工腌制品的腌制过程中，主要采用的是高盐量、长时间的干腌方法，腌制环节主要靠生产经验进行操作，目前国内腌制品方面研究主要集中长时高盐对产品品质的影响,缺乏科学性的关键技术参数及其控制方法研究报道，产品存在含盐量高，脂肪氧化过度质量问题[1~2]。谭汝成等人通过湿腌法对腌制过程中鱼肉与盐卤成分的变化进行了观察，发现降低腌制温度、缩短腌制时间和提高盐水浓度可降低鱼肉氯化钠的含量，控制肌肉营养成分的析出[3]。为达到降低产品含盐量同时保证产品品质的目的，且满足现代消费者对食品低盐、营养、风味的消费要求，本研究采用低盐短时腌制方式腌制罗非鱼样品，研究腌制工艺条件对风味罗非鱼品质的影响，明确风味罗非鱼制品含盐量变化的内在规律、制定稳定

收稿日期：2012-03-27
基金项目：广东省重大科技计划项目（2010A08043002）
作者简介：陈娇娇（1987-），女，硕士研究生，农产品加工与保藏
通讯作者：蒋爱民（1957-），男，教授，博士，畜产品加工与质量安全控制

的生产工艺对促进地方特色罗非鱼制品产业的发展具有实际意义。

以本团队优化的风味罗非鱼加工工艺为基础，以罗非鱼鱼肉中氯化钠含量、鱼肉中氨基肽氮含量以及盐卤中蛋白质含量为指标，建立产品感官品质与各项指标。利用响应面法分析不同腌制条件对产品感官评价结果的影响，优化腌制过程的关键参数，为改进罗非鱼“低盐短时干腌”工艺提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

新鲜罗非鱼：佛山市举世农业开发有限公司提供；硝酸银、铬酸钾、氢氧化钠、硫酸钾、硫酸铜、浓硫酸等均为分析纯，国药集团化学试剂；酸度计：PHS-3C 精密酸度计；磁力搅拌器：常州澳华仪器有限公司 78-1 磁力加热搅拌器；Foss 凯氏定氮仪器：Kjeltec 8200。

1.2 方法

1.2.1 加工工艺流程

原料预处理→腌制→脱水→调味→油炸→包装→高温杀菌

1.2.2 样品腌制方法

清洗新鲜罗非鱼，沿脊椎剖开，去内脏，取背脊肉切成 3 cm×3 cm×1.5 cm 大小，以鱼重为计量比例，腌制加盐量按以下试验设计，同时加入鱼肉重量 1.5%的糖和 1.8%的白酒，混合均匀后放置在生物培养箱中，每 2 h 翻动一次。

1.2.3 氯化钠含量的测定

采用 SC/T 3001-2001 水产品中盐分测定方法。

1.2.4 氨基肽氮含量测定

甲醛滴定法。

1.2.5 蛋白质含量测定

GB/5009.5-2010。

1.2.6 感官评定

按照响应面试验方案腌制罗非鱼肉，腌制一定时间后 50 ℃烘制到水分含量为 40%，蒸煮，感官评定标准见表 1。由 10 人组成感官评审小组，采用 100 分制，从组织状态、色泽、气味鲜味和咀嚼度等方面进行判定。根据组织状态权重 0.15，色泽 0.1，气味 0.3，口感 0.3，咀嚼度 0.15 进行数据处理[4~5]。感官评定标准见表 1。

表 1 罗非鱼感官评定标准

Table 1 Standards of sensory evaluation for dried tiapia

分值	评分标准				
	组织状态	色泽	气味	风味	咀嚼
100	保持腊鱼原有形态，组织均匀、紧密	肉色正常，靠近表皮边缘肌肉呈微红色	具有腊鱼固有的香味，无腥臭味或氨味等异味	腊鱼特有的厚味明显，回味感强	肉质有弹性，有嚼劲，无碎肉感
80	组织较紧密	肉色正常	较清香，无腥味	厚味较好	肉质有弹性，嚼劲一般
60	组织紧密和均匀一般	肉色一般	清香度一般，略有腥味	厚味淡，回味感一般	肉质较松散，嚼劲一般
40	组织均匀度较差	肉色较差	清香味较差，有腥味	厚味较差，回味薄弱	肉质松散，嚼劲较差
20	组织形态不均匀，表皮干燥紧密，内部脱水不足	肉色差	清香度差，腥味明显	无腊鱼特有的香味，无回味感	肉质很松散，有明显碎肉感

2 结果与讨论

2.1 罗非鱼腌制条件的单因素实验

腌渍加工是离子渗入组织同时组织中水分渗出过程，主要包括盐渍和成熟两个阶段。盐渍阶段主要完成组织和腌渍液中的物质的交换，从而使得食品的水分活度降低，而成熟过程中组织发生了复杂的生化反应而形成特征性的口感和风味。

相关研究表明腌制过程中腌制时间、腌制温度和腌制浓度均会对腊鱼成品的质量产生影响，曾令彬[6]等研究腌制条件对腊鱼微生物菌群、理化性质及挥发性成分影响，结果表明，降低食盐用量，提高腌制温度，腊鱼中各类微生物和游离氨基酸含量增加，而随着腌制时间的延长，其游离氨基酸中部分氨基酸如谷氨酸会大大增加，从而最终能够影响产品的风味品质。

以鱼肉中的氨基肽氮含量、氯化钠含量和盐卤中的蛋白质含量为指标，分别考察腌制时间、腌制温度和腌制盐度对各个指标的影响。

2.1.1 腌制盐度对鱼肉氨基肽氮和氯化钠成分的影响

取新鲜鱼肉，将鱼肉切成 3 cm×3 cm×1.5 cm，将切好的罗非鱼片用不同的腌制盐度进行腌制，10 ℃腌制 4 h，测定结果见图 1。

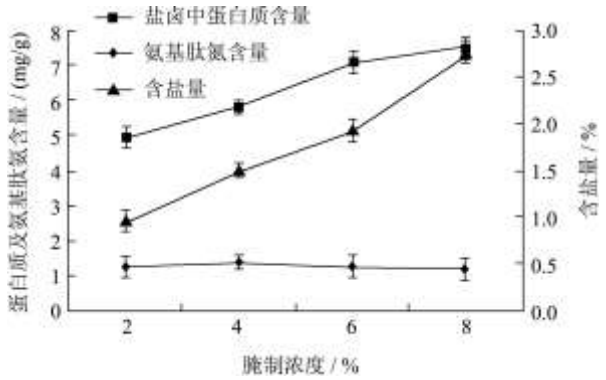


图 1 腌制浓度对鱼肉和盐卤成分的影响

Fig.1 The effect of concentration on the component of fish muscle and bittern

从图 1 可以看出，随着盐度的提高，鱼中氯化钠含量明显有所升高，而鱼肉中的氨基肽氮含量却有所下降，这主要是由于腌制时鱼肉中的蛋白质等含氮成分析出，造成蛋白质含量减少，为减少蛋白质流失，且保证产品最终的含盐量控制在人口感接受范围内，以含盐量 0.8%~1%范围为基准，选择 2%的腌制盐度为宜；

2.1.2 腌制时间对鱼肉氨基肽氮和氯化钠成分的影响

取新鲜鱼肉，将鱼肉切成 3 cm×3 cm×1.5 cm，在 10 ℃、2%盐度下腌制罗非鱼肉，不同时间取样测定各项指标，不同腌制时间对各项指标的影响结果如图 2。

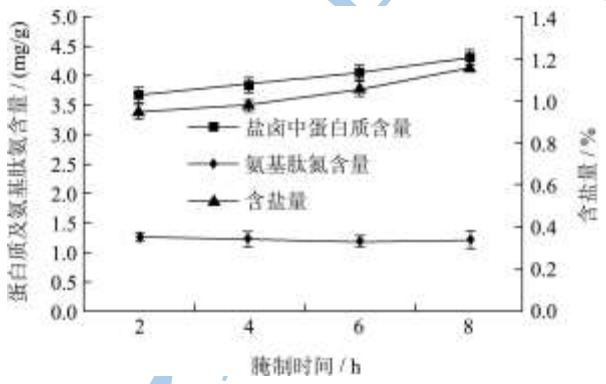


图 2 腌制时间对鱼肉和盐卤成分的影响

Fig.2 The effectof time on the component of fish muscle and bittern

图 2 表明，腌制时间与鱼肉中的含盐量及盐卤中蛋白质含量呈正相关；而鱼肉中的氨基肽氮含量随着腌制时间的延长，变化趋势不够明显，为了保证产品的营养成分和控制产品最终的含盐量，以腌制时间为 4 h 为适宜。

2.1.3 腌制温度对鱼肉氨基肽氮和氯化钠成分的影响

取新鲜鱼肉，将鱼肉切成 3 cm×3 cm×1.5 cm，在不同腌制温度下用 2%盐浓度腌制 4 h，对鱼肉中氨基肽氮含量和氯化钠含量进行测定，结果见图 3。

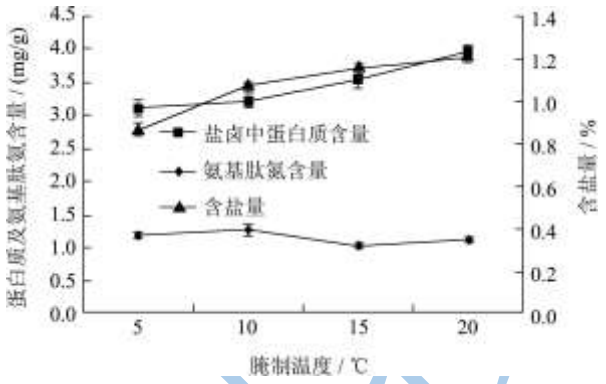


图 3 腌制温度对鱼肉和盐卤成分的影响

Fig.3 The effect of temperature on the component of fish muscle and bittern

由图 3 可知，随着腌制温度的升高，鱼肉中的盐分含量增加，氨基肽氮含量在 10 ℃时保持稳定，但随着温度升高，氨基肽氮含量有所下降，鱼肉中的蛋白质产物是产品风味的前提物质，因此，为保证产品最佳的风味和营养品质，且考虑到生产加工过程中的能源消耗，将腌制温度控制在 10 ℃比较可行，因此选择 10 ℃为适宜的腌制温度；

图 1~3 可知，鱼肉中的氨基肽氮含量随着腌制时间的增长呈先上升后下降趋势，而腌制温度和腌制盐度对鱼肉中的氨基肽氮含量不明显。鱼肉中氯化钠含量与腌制时间、腌制盐度呈正相关，这与谭汝成等研究白鲢腌制过程中鱼肉与盐卤成分的变化结论类似。盐卤中的蛋白质含量随着腌制时间的延长，蛋白质流失越严重，为使得腌制后的鱼肉中的氨基肽氮含量相对较高，并且保证最终产品咸淡适宜，营养损失较小，初步得到腌制条件为：腌制时间 4 h，腌制温度 10 ℃，腌制盐度 2%。

2.2 罗飞鱼腌制工艺的响应面分析与优化

2.2.1 响应面试验（RSM）设计

根据 Box-Behnken 中心设计原理，结合罗非鱼腌制工艺，以腌制时间、腌制温度和腌制盐度 3 个因素为自变量，以产品感官评定结果为响应值，设计 3 因素 3 水平试验，设计 15 个试验点，其中 12 个为分析点，3 个零点，所有测定实验重复 3 次，试验设计见表 3。

对试验数据进行二次回归拟合，得到带交互项和平方项的二次方程

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \sum \beta_{ii} X_i^2$$

式中，Y-预测响应值；x_i-自变量，主要指腌制时间、腌制温度和腌制盐度；β_0、β_i、β_{ij}和β_{ii}-待估计参数偏移值。分析各因素的主效应和交互效应，在一定水平范围内求出最佳值。

表 2 试验设计因素和水平

Table 2 Design table of factors and levels

因素	编码值	水平
A (腌制时间/h)	-1	2
	0	4
	1	6
B (腌制温度/℃)	-1	5
	0	10
	1	15
C (腌制盐度/%)	-1	1
	0	2
	1	3

表 3 Box-Behnken 试验设计表及结果

Table 3 The design and results of Box-Behnken experiments

序号	A	B	C	含盐量/%	氨基肽氮含量/(mg/g)	盐卤中蛋白质含量/(mg/g)	感官评定
1	-1	-1	0	0.62	1.33	4.78	89.81
2	1	-1	0	1.16	1.01	5.15	86.72
3	-1	1	0	0.71	1.43	4.97	90.21
4	1	1	0	1.35	1.11	5.32	88.93
5	-1	0	-1	0.48	1.30	4.36	90.51
6	1	0	-1	0.72	1.10	4.52	88.20
7	-1	0	1	1.03	1.39	5.26	80.23
8	1	0	1	1.55	1.02	4.99	79.40
9	0	-1	-1	0.79	1.02	3.74	91.20
10	0	1	-1	0.78	1.09	3.93	87.11
11	0	-1	1	1.21	1.01	4.73	75.25
12	0	1	1	1.37	0.98	5.05	78.90
13	0	0	0	0.95	1.06	4.04	92.24
14	0	0	0	1.00	1.09	4.16	92.41
15	0	0	0	0.99	1.00	4.10	92.81

2.2.2 腌制条件对鱼肉和盐卤成分的影响

比较表 3 中 1、2 两组数据，在相同温度和相同腌制盐度下，腌制时间越短，鱼肉中的氯化钠含量和盐卤中蛋白质含量越低，鱼肉中的氨基肽氮含量和感官评定值越高；比较 5、7 两组数据，在相同时间和温度下，盐水浓度越低，鱼肉中氯化钠含量及盐卤中蛋白质含量越低，鱼肉中的氨基肽氮含量也相对较低。

2.2.3 感官评定结果与测定指标间数学模型的建立

鱼肉中的氨基肽氮含量、盐卤中的蛋白质含量和鱼肉中的氯化钠含量是考察工艺的具有意义的测定指标，对不同腌制条件下的这 3 个指标进行测定，并对相应产品进行感官评定。对试验数据使用 Design-Expert 软件进行二次回归拟合，得到回归方程：

$$Y=74.07+0.7979X_1+1.11X_2+17.32X_3+0.05X_1X_2+0.19X_1X_3+0.39X_2X_3-0.26X_1^2-0.10X_2^2-6.84X_3^2$$

注：X_1、X_2和 X_3 分别代表腌制时间、腌制温度和腌制盐度。

通过 Design-Expert 软件进行方差分析，验证回归模型及各参数的显著性，结果见表 4。由表 4 可以看出，模型的 P=0.0006（<0.05），说明该模型在概率 α=0.01 水平上能够拟合试验数据，回归模型高度显著。模型中的参数腌制盐度的 P 水平小于 0.01，说明腌制盐度对感官评定结果影响显著，而腌制时间对感官评定影响次之，腌制温度的影响不显著。

模型失拟项表示模型预测值与实际值之间的不拟合概率，表中的模型失拟项 P=0.0527（<0.05），模型失拟项不显著，说明所选模型是适合的。同时，由软件分析得到模型的相关系数 R^2 为 98.94%，大于 90%，说明模型相关程度很好。模型变异系数（CV）主要反应模型的置信度，CV 值越低，模型的置信度越高，本实验中模型 CV 值为 1.12%，说明该模型能够很好地反应真实的实验值，可以使用该模型来分析响应值的变化。

表 4 响应面方差分析

Table 4 Analysis of variance for response surface

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P*
模型	446.92	9	49.66	52.01	0.0002**
A	7.03	1	7.03	7.36	0.0421*
B	0.60	1	0.60	0.63	0.4621
C	234.36	1	234.36	245.45	<0.0001**
AB	0.81	1	0.81	0.85	0.3993
AC	0.56	1	0.56	0.59	0.4774
BC	15.21	1	15.21	15.93	0.0104*
A^2	4.04	1	4.04	4.23	0.0948
B^2	23.46	1	23.46	24.57	0.0043**
C^2	173.04	1	173.04	181.21	<0.0001**
失拟项	4.59	3	1.53	16.38	0.0581

注：P 值大小表明模型及各个考察因素之间的显著水平。P<0.05 表明模型或各因素显著相关性，P<0.01 表明有极显著相关性。

2.2.4 响应面交互作用分析与优化

为进一步研究相关变量之间的交互作用以及确定腌制条件的最优点，通过 Design-Expert 软件绘制响应面曲线图，进行可视化的分析。图 4~图 6 分别显示 3 组试验参数以感官评定分数为响应值的趋势图。等高线图可以直观地反应两变量交互作用的显著程度，圆

形表示两因素交互作用不显著，而椭圆形与之相反[5]。图 4a，图 5a 及图 6a 中等高线均呈椭圆形，这可以说明两个因素之间的交互作用比较显著。

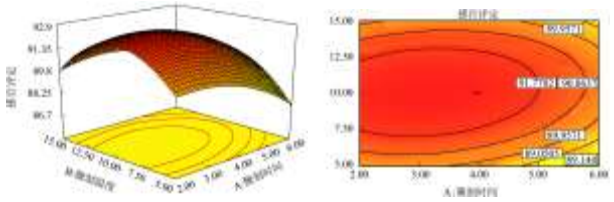


图 4 Y=F（腌制时间、腌制温度）对感官评定值影响的响应曲面图与响应等高线

Fig.4 Response surface plot and contour plot of the effects of concentration and temperature on the sensory evaluation value

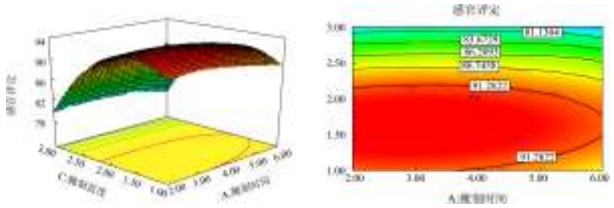


图 5 Y=F（腌制时间、腌制盐度）对感官评定值影响的响应曲面图与响应等高线

Fig.5 Response surface plot and contour plot of the effects of concentration and temperature on the sensory evaluation value

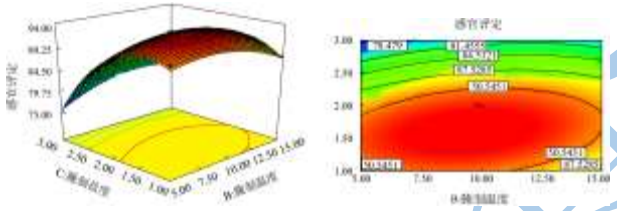


图 6 Y=F（腌制温度、腌制盐度）对感官评定值影响的响应曲面图与响应等高线

Fig6 Response surface plot and contour plot of the effects of concentration and temperature on the sensory evaluation value

从图 4 中可以看出，时间和温度的交互作用对感官评定结果影响较显著，腌制时间增长和腌制温度提高，感官评定的分值呈先升高后降低趋势，其主要是由于鱼肉中的含盐量逐渐增加，产品咸度超过人口感可接受范围，且由于腌制时间增长，鱼肉中的蛋白质流失程度增加，腌制鱼中含氮化合物减少，曾令彬研究表明，腌制鱼中含氮化合物含量最终能够影响产品的风味品质。因此，只有在合适的腌制条件下腌制罗非鱼片，最终产品的感官评定结果相对理想。同理，从图 5，图 6 可看出，盐度与时间、温度与盐度同样影响产品感官评定结果，只有在合理的腌制盐度、腌制温度和腌制时间下，才能获得感官评定较好的产品。

由图 4b、图 5b 及图 6b 中响应面立体图可以看出，响应值存在最大值。通过软件分析计算，当感官评定的最大预测值 93.41 时，腌制时间为 4.28 h，腌制温度 9.64 ℃，腌制盐度为 1.64%。为了验证模型预测的准确性，按上述优化的工艺参数进行腌制，实际测定得到罗非鱼肉中含盐量、氨基肽氮含量和盐卤中蛋白质含量分别为：0.9853%、1.0035 mg/g 和 4.2104 mg/g，与其他腌制条件下的产品相比，鱼肉中含盐量相对合理，氨基肽氮含量和盐卤中的蛋白质的含量相对较低，营养成分损失相对较低，且所得的罗非鱼的感官评定值为 93.10，与理论预测值偏差较小。

3 结论

3.1 腌制时间对鱼肉中氯化钠含量、鱼肉中氨基肽氮含量和盐卤中蛋白质含量的影响显著，鱼肉中的氯化钠含量与腌制盐度呈正相关，盐卤中的蛋白质含随着腌制盐度增加而增加，腌制盐度对鱼肉中的氨基肽氮含量影响不显著。

3.2 采用响应面分析法建立感官评定与腌制条件的模型： $Y=74.07+0.7979X_1+1.11X_2+17.32X_3+0.05X_1X_2+0.19X_1X_3+0.39X_2X_3-0.26X_1^2-0.10X_2^2-6.84X_3^2$

3.3 通过响应面交互作用分析与优化，最佳腌制条件为腌制时间为 4.28 h，腌制温度 9.64 ℃，腌制盐度为 1.64%，按照最佳工艺加工所得罗非鱼营养成分损失较少，含盐量适宜，符合现代消费者安全营养健康饮食理念，最佳工艺加工所得罗非鱼的感官评分值为 93.10，与模型预测值（93.38）基本相符，该模型方程能很好反映真实的试验值，在腌制条件确定的条件下，可以利用此模型来预测感官品质的变化。

参考文献

[1] 陈勇.柴家槽鱼现代工艺的应用[J].肉类工业,2002, 259(11): 4-5

[2] 陈维娟.咸鱼深加工工艺探讨[J].中国水产,2002,4:74-75

[3] 谭汝成,赵思明,熊善柏.白鲢腌制过程中鱼肉与盐卤成分的变化[J].华中农业大学学报,2005,24(3):300-303

[4] Barat J M, Gallart-Jomet L. Influence of cod freshness on the salting, drying and desalting stage [J]. Journal of Food Enginering, 2006, 73(1): 9-19

[5] Tyrrell M H. Evolution of natural flavor development with the assistance of modem technologies [J]. Food Technology, 1990, 44(1): 68-72

[6] 曾令彬.腊鱼加工过程中微生物菌群、理化特性及挥发性成分的研究[D].武汉:华中农业大学,2008

[7] 代文亮,程龙,陶文沂,等.响应面法在紫杉醇产生菌发酵前体优化中的应用[J].中国生物工程杂志,2007,27(11):66-72