

热泵冷风干燥鲢鱼的挥发性盐基氮和脂质氧化品质模型

高瑞昌, 袁 丽, 刘伟民^{*}, 于茂帅, 周存山, 马海乐

(江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013)

摘 要: 为深入了解带热泵的冷风干燥机干燥鱼类产品的特点, 以鲢鱼为研究对象, 确定冷风干燥工艺参数对风干鱼品质劣变的影响, 并建立相关模型, 通过 U_{10}^* (10^3) 均匀设计试验, 在不同热泵干燥工艺参数(温度、空气旁通率、风速)下, 对决定风干鲢鱼品质劣变的挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)和脂质氧化硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)值变化情况进行研究, 并以 TVB-N 和 TBA 值作为风干鲢鱼制品品质判断指标。经统计分析, 分别得到冷风干燥鲢鱼样品中 TVB-N 和 TBA 的回归方程。结果表明: 在试验水平范围内, 温度是影响风干鲢鱼制品中 TVB-N 和 TBA 的主要因素。由模型方程确定腌制鲢鱼冷风干燥工艺的最优参数分别为温度 15.5℃、空气旁通率 0.6 (考虑能耗)、风速 1.65 m/s, 此条件下干燥的鲢鱼 TVB-N 和 TBA 值最小, 品质最好, 能耗较低。研究结果为控制热泵冷风干燥过程中鲢鱼的质量品质提供参考。

关键词: 干燥, 模型, 品质调控, 热泵冷风干燥机, 鲢鱼, 挥发性盐基氮, 脂质氧化

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.031

中图分类号: S984.1; S126

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0227-06

高瑞昌, 袁 丽, 刘伟民, 等. 热泵冷风干燥鲢鱼的挥发性盐基氮和脂质氧化品质模型[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 227-232.

Gao Ruichang, Yuan Li, Liu Weimin, et al. Modeling of total volatile basic nitrogen and thiobarbituric acid of silver carp dried in cold-air dryer with heat pump[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 227-232. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

风干鱼是中国传统的鱼类干制品。干燥是风干鱼加工工序的重要步骤之一, 干燥条件对风干鱼的品质产生重要影响。适宜的干燥条件能提高产品的贮藏性能^[1-2]、提高干燥产品的质量并促进其风味物质的形成^[3-7]。干燥是一个复杂的传热、传质过程, 鱼肉中水分能否快速除去直接影响到干燥产品的质量。温度是影响鱼肉中酶活性和微生物活动的重要因素, 一定的温度范围内, 温度的升高将导致微生物的大量繁殖^[8-9]和产品脂肪的氧化(用硫代巴比妥酸检测, thiobarbituric acid, TBA)^[10]。油脂的分解和氧化与产品质量的好坏密切相关^[11-12], 影响产品的色泽和质量安全。水产品的蛋白质含量极高, 发生变质腐败时挥发性盐基氮(total volatile

basic nitrogen, TVB-N)含量会发生显著增加, 因此 TVB-N 常被用来衡量水产品等富含蛋白质食品的腐败程度, 是目前国际上水产、肉、蛋等食品使用较为普遍的鲜度指标^[13]。干燥可采用热风干燥也可采用冷风干燥, 但是热风干燥温度高, 易造成食品中营养物质的氧化及细菌的滋生, 不利于食品的加工储藏。热泵冷风干燥技术可将低温热源的热量加以利用, 是一种节能低温干燥的技术, 整个干燥过程不与外界环境接触, 有效减少了食品中营养物质的氧化, 减少了细菌的滋生。目前, 国内外对罗非鱼^[14]、沙丁鱼^[15]、白鲢^[16-17]、草鱼^[18-19]等干燥产品的研究有所报道, 但主要集中在热风干燥对干燥过程中物料含水率的变化和能耗的评估研究, 对于冷风干燥工艺对鲢鱼产品的 TVB-N 和 TBA 值影响的研究还未见文献报道, 此类品质模型对确定冷风干燥工艺和开发冷风干燥鱼的电子鼻现代检测技术研究至关重要。石启龙^[20]对热泵冷风干燥竹荚鱼的能耗已经做了详细的研究, 本研究不再做此方面的具体研究, 只对其结论加以选用。风干鱼品质内涵很丰富, 干燥工艺因素也较复杂, 在江苏省自然科学基金和中国博士后科学基金资助下, 在前期试验基础上, 本研究的重点在于, 以鲢鱼为原料, 以干燥温度、风速、空气旁通率等为试验因素, 通过均匀设计试验, 重点得出冷风干燥鲢鱼的 TVB-N

收稿日期: 2013-04-03 修订日期: 2013-10-25

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK2009215); 江苏大学“青年骨干教师培养工程”, 中国博士后科学基金资助项目(2008044107); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD2012); 浙江省宁波市农业支撑项目(2012C10030)。

作者简介: 高瑞昌(1976—), 男, 副教授, 主要研究方向水产品化学与综合利用。镇江 江苏大学食品与生物工程学院, 212013。

Email: xiyuan2008@ujs.edu.cn。

※通信作者: 刘伟民(1964—), 男, 教授, 主要从事食品工程和保健食品研究。镇江 江苏大学食品与生物工程学院, 212013。

Email: liuwmwu@ujs.edu.cn

$U_{10}(10^8)$ 的使用表查得 $s=3$ 时, 使用 $U_{10}(10^8)$ 表的第 1、5、6 列来安排试验, 其均匀性最好, $U_{10}^*(10^3)$ 的试验安排结果见表 2。根据试验需要考察的内容, 保持干燥产品含水率为 50%, 对腌制鲢鱼冷风干燥的温度、空气旁通率 (bypass-air ratio, BAR)、风速设计均匀试验, 以 TVB-N 值和 TBA 值为指标, 得出冷风干燥工艺的最佳条件。

表 2 均匀试验设计表 $U_{10}^*(10^3)$ 的水平号和实际值
Table 2 Level number and value of Uniform Design $U_{10}^*(10^3)$

试验序号 Number	温度 Temperature/℃	空气旁通率 Bypass-air ratio	风速 Air velocity ($m s^{-1}$)
1	1 (8)	7 (0.7)	5 (0.9)
2	2 (11)	3 (0.3)	10 (1.65)
3	3 (14)	10 (1.0)	4 (0.75)
4	4 (17)	6 (0.6)	9 (1.5)
5	5 (20)	2 (0.2)	3 (0.6)
6	6 (23)	9 (0.9)	8 (1.35)
7	7 (26)	5 (0.5)	2 (0.45)
8	8 (29)	1 (0.1)	7 (1.2)
9	9 (32)	8 (0.8)	1 (0.3)
10	10 (35)	4 (0.4)	6 (1.05)

1.2.3 含水率的测定

利用快速水分测定仪对新鲜腌制鲢鱼进行水分测定, 并通过设备自带的称量传感器在线检测系统记录的数据计算风干鲢鱼的含水率。

1.2.4 TVB-N 值的测定

采用半微量凯氏定氮法, 参照国家标准 SC/T 3032-2007 水产品中 TVB-N 的测定。

1.2.5 TBA 值的测定

参照包建强^[21]的方法。

2 结果与分析

2.1 干燥时间

均匀设计试验干燥时间如表 3 所示。表 3 显示了在各个条件下干燥至鲢鱼含水率为 50%时的试验终点时间, 同时显示各个干燥条件下在试验达到干燥终点时均进入了恒速干燥阶段。由结果可知温度对干燥速率的影响较为显著, 随着温度升高, 整个试验时间缩短, 并且试验进入恒速干燥所需的时间也缩短。

2.2 TVB-N 和 TBA 值的均匀试验结果

均匀设计试验结果如表 3。从表 3 中可以看出, 干燥工艺对 TVB-N 和 TBA 的形成产生较大的影响。随温度升高, 蛋白质腐败程度增大, TVB-N 产生量也随之增加^[22]。温度的升高也促进了脂肪氧化, 导致 TBA 质升高^[23]。腌制鲢鱼热泵干燥在试验条件 4 下 TVB-N 及 TBA 值都达到较低值, 即温度 17℃、空气旁通率 0.6, 风速 1.5 m/s 时, 用冷风干燥得到的风干腌制鲢鱼制品 (含水率为 50%) 的

TVB-N 值较少、TBA 值也较小, 分别为 31.64 mg/100g、3.36 mg/kg。

表 3 均匀设计试验结果

Table 3 Results of uniform design experiments

试验序号 Number	试验终点 时间 Terminal time/h	恒速干燥起 点时间 Constant rate of drying starting time/h	挥发性盐基 氮值 TVB-N ($mg \cdot (100g)^{-1}$)	脂质 氧化值 TBA for lipid oxidation ($mg \cdot kg^{-1}$)
1	58	44	36.12	4.32
2	49	39	34.72	4.65
3	48	40	34.44	3.68
4	43	40	31.64	3.36
5	37	32	47.04	4.74
6	34	27	35.28	3.59
7	36	25	42.00	6.67
8	33	24	52.92	6.53
9	34	31	97.44	7.96
10	37	26	85.40	10.58

2.3 试验结果的回归分析

2.3.1 TVB-N 值的回归分析结果

为了考察均匀设计试验中各因素对风干腌制鲢鱼品质的影响, 以风干腌制鲢鱼 (含水率为 50%) 中 TVB-N 值为考察指标, 利用 SPSS 软件, 采用二项式回归法, 对均匀试验结果进行回归模型分析, 并对结果进行比较, 选取合适的回归模型。冷风干燥鲢鱼 TVB-N 分析结果分别如表 4、表 5、表 6 所示。

表 4 方程的拟合优度检验

Table 4 Simulation level

模型 Model	相关系数 R Correlation coefficient	决定系数 R^2 Determinant coefficient	调整 R_{adj}^2 Adjusted R_{adj}^2	估计标准 误差 SE
TVB-N	0.933	0.871	0.806	10.17404

表 5 方程显著性检验

Table 5 Overall significance

模型 Model	平方和 Sum of square	df	均方 Mean square	F 值 F-value	p 值 Probability
回归 Regression	4185.050	3	1395.017	13.477	0.004
残差 Residual error	621.066	6	103.511		
总计 Total	4806.116	9			

表 6 系数显著性检验

Table 6 Coefficient significance

模型 Model	非标准化系数 Non standardized coefficient		标准化系数 Stand coefficient		t 值 t value	p 值 Probabilit y
	B	标准误差 SE	β			
常量 Constants	80.364	22.956			-3.424	0.014
温度 x_1 Temperature	-4.629	2.152	-1.819		-2.151	0.075
风速 x_3 Air velocity	-11.813	0.297	-0.232		-1.490	0.187
温度平方 x_1^2 Square of temperature	0.150	0.049	2.571		3.045	0.023

注: B 回归系数; Beta-标准回归系数。下同。

Note: B-regression coefficients; Beta-stand regression coefficients; The same as below.

因变量选取 TVB-N 值 Y_1 ，自变量为温度 x_1 、空气旁通率 x_2 、风速 x_3 ，采用二项式回归法。拟合的相关系数 R 为 0.933，决定系数 R^2 为 0.871，调整 R_{adj}^2 为 0.806，认为拟合优度较好。对方程的显著性进行检验， F 值为 13.477， p 值为 0.014，因此回归模型显著。对模型的系数进行 t 检验， x_1 的系数的 t 值为 -2.151， p 值为 0.075，不显著； x_3 的系数的 t 值为 -1.490， p 值为 0.187，不显著； x_1^2 的系数的 t 值为 3.045， p 值为 0.023，显著；常数项的 t 值为 -3.424， p 值为 0.014，显著。回归计算软件根据系数的显著性和变量的排除规则，排除了变量 x_2 。得到冷风干燥鲢鱼样品（含水率为 50%）中 TVB-N 值 Y_1 （mg/100g）的回归方程为

$$Y_1 = 80.364 - 4.629x_1 + 0.150x_1^2 - 11.813x_3 \quad (1)$$

由回归方程（1）可以看出，温度平方是影响风干腌制鲢鱼 TVB-N 值的主要因素，影响显著。这可能是因为试验的温度范围内，干燥温度影响微生物生长繁殖，而微生物的增加将导致 TVB-N 值的增加，刘丽媛等报道 TVB-N 和细菌总数对一级化学反应模型和 Arrhenius 方程具有较高的拟合精度^[22]。由模型方程解出较优的冷风干燥腌制鲢鱼条件为温度 15.4℃，风速 1.65 m/s，此条件下风干鲢鱼中 TVB-N 值最少。经过验证试验，干燥条件 15.4℃，风速 1.65 m/s 下，风干鲢鱼中 TVB-N 值预测值为 25.16 mg/100g，实测值为 27.03 mg/100g。

2.3.2 TBA 值的回归分析结果

为了考察均匀设计试验中各因素对风干腌制鲢鱼（含水率为 50%）TBA 值的影响，以 TBA 值为指标，利用 SPSS 软件，采用二项式回归法，对均匀试验结果进行回归模型分析，并对结果进行比较，选取合适的回归模型。冷风干燥腌制鲢鱼 TBA 值的分析结果分别如表 7、表 8、表 9 所示。

表 7 方程的拟合优度检验

Table 7 Simulation level

模型 Model	相关系数 R Correlation coefficient R	决定系数 R^2 Determinant coefficient R^2	调整 R_{adj}^2 Adjusted R_{adj}^2	估计标准误差 SE
TBA 值	0.960	0.921	0.899	0.73708

表 8 方程显著性检验

Table 8 Overall significance

模型 Model	平方和 Sum of square	df	均方 Mean square	F 值 F -value	p 值 Probability
回归 Regressi on	44.613	2	22.306	41.058	<0.001
残差 Residual error	3.803	7	0.543		
总计 Total	48.416	9			

表 9 系数显著性检验

Table 9 Coefficient significance

模型 Model	非标准化系数 Non standardized coefficient		标准化系数 Stand coefficient		<i>t</i> 值 <i>t</i> -value	<i>p</i> 值 Probability
	<i>B</i>	标准 误差 <i>SE</i>	β			
常量Constants	7.854	1.518			5.174	0.001
温度 x_1 Temperature	-0.535	0.156	-2.097		-3.441	0.011
x_1^2	0.017	0.004	2.953		4.845	0.002

因变量选取 TBA 值 Y_2 ，自变量为温度 x_1 、空气旁通率 x_2 、风速 x_3 ，采用二项式回归法。拟合的相关系数 R 为 0.960，决定系数 R^2 为 0.921，调整 R_{adj}^2 为 0.899，认为拟合优度较好。对方程的显著性进行检验， F 值为 41.058， p 值为小于 0.001，因此回归模型极显著。对模型的系数进行 t 检验， x_1 的系数的 t 值为 -3.441， p 值为 0.011，显著； x_1^2 的系数的 t 值为 4.845， p 值为 0.002，极显著；常数项的 t 值为 5.174， p 值为 0.001，极显著。 x_2 和 x_3 的排除理由同回归方程 1。得到冷风干燥腌制鲢鱼样品（含水率为 50%）TBA 值 Y_2 （mg/kg）的回归方程为

$$Y_2 = 7.854 - 0.535x_1 + 0.017 x_1^2 \quad (2)$$

由表 8 和回归方程 2 可以看出，干燥温度是影响风干鲢鱼制品 TBA 值的主要因素，且影响极显著（ $p < 0.05$ ），这是由于脂质的氧化是在脂肪氧化酶的作用下引起的，而温度是影响脂肪氧化酶活性的主要因素。而风速和旁通的选择对 TBA 值无显著影响，因此对于 TBA 值最终得到较优的冷风干燥腌制鲢鱼条件为温度 15.7℃，而风速在试验设计范围内（0.3~1.65 m/s）均可选，此条件下干燥的鲢鱼 TBA 值最小。经过验证试验，干燥条件 15.7℃，风速 1.65 m/s 下，风干鲢鱼 TBA 值预测值为 3.64 mg/kg，实测值为 3.50 mg/kg。

2.3.3 带热泵的冷风干燥鲢鱼最优工艺确定

综合 2.2.1、2.2.2 和前期试验并参考石启龙^[20]关于热泵干燥竹荪鱼能耗的结论，确定带热泵的冷风干燥鲢鱼最优工艺为 15.5℃，风速 1.65 m/s，空气旁通率 0.6。理由是：温度 15.4 和 15.7℃ 相近，考虑测量误差，取 15.5℃，空气风速 1.65 m/s，干燥能耗在空气旁通率 0.6 时较小。通过最优条件试验验证，测得风干鲢鱼 TVB-N 值实测值为 25.08 mg/100g，TBA 值实测值为 3.29 mg/kg。

3 结 论

以干燥鲢鱼产品中 TVB-N 和 TBA 值为指标，经过均匀设计试验，回归得到冷风干燥鲢鱼样品中

TVB-N 和 TBA 值分别与冷风干燥的工艺参数温度、风速、空气旁通率的模型方程。由模型方程得到影响风干鲢鱼制品中 TVB-N 和 TBA 的主要因素是温度和风速。根据模型和已有他人的能耗试验结果, 综合确定出腌制鲢鱼热泵冷风干燥工艺的最优工艺为温度 15.5℃、风速 1.65 m/s、空气旁通率 0.6, 此条件下干燥的鲢鱼 TVB-N 和 TBA 值最小, 能耗较低, 单位能耗除湿量为 29.66 g/kWh。

[参 考 文 献]

- [1] 赵思明, 熊善柏, 张仁军, 等. 人造米热风干燥数学模型的建立及其应用[J]. 农业工程学报, 1997, 13(1): 211—215.
Zhao Siming, Xiong Shanbai, Zhang Renjun, et al. Mathematics models of heated-air drying for artificial rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1997, 13(1): 211—215. (in Chinese with English abstract)
- [2] Tippayawong N, Tantakitti C, Thavornun S. Energy efficiency improvements in longan drying practice[J]. Energy, 2008, 33(7): 1137—1143.
- [3] 韩月峰, 彭光华, 张声华, 等. 热风干燥工艺对蒜片中有有机硫化物的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 271—274.
Han Yuefeng, Peng Guanghua, Zhang Shenghua, et al. Effects of hot-air drying technology on the yield of organic sulfide in garlic slice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(10): 271—274. (in Chinese with English abstract)
- [4] 张亚琦, 高昕, 许加超, 等. 鲍鱼热风、晾晒干燥的比较试验[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 296—299.
Zhang Yaqi, Gao Xin, Xu Jiachao, et al. Comparative study on natural drying and hot-air drying of abalone[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(1): 296—299. (in Chinese with English abstract)
- [5] 张建军, 王海霞, 马永昌, 等. 辣椒热风干燥特性的研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 298—301.
Zhang Jianjun, Wang Haixia, Ma Yongchang, et al. Experimental research on hot-air drying properties of capsicum[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(3): 298—301. (in Chinese with English abstract)
- [6] Cui Z, Xu S, Sun D. Dehydration of garlic slices by combined microwave-vacuum and drying[J]. Drying Technology, 2003, 21(7): 1173—1184.
- [7] Medeni Maskan. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 48 (2) : 169—175.
- [8] 彭城宇. 罗非鱼片冰温气调保鲜工艺及其货架期预测模型研究[D]. 山东青岛: 中国海洋大学, 2010.
- Peng Chengyu. Research on Preservation Technology of Tilapia Fillet with Controlled Freezing-point and Modified Atmosphere Packaging and Shelf life Predictive Model[D]. Qingdao, Shandong province: Ocean University of China, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张国琛, 毛志怀. 水产品干燥技术的研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 297—300.
Zhang Guochen, Mao Zhihui. Research advances of aquatic product drying technologies[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(4): 297—300. (in Chinese with English abstract)
- [10] 赵淑娥. 硫代巴比妥酸法(TBA 模型)预测鱼糜制品冷藏货架期研究[J]. 江西食品工业, 2012(2): 26—27.
Zhao Shu'e. TBA model for surimi shelf life predicting[J]. Jiangxi Food Industry, 2012(2): 26—27. (in Chinese with English abstract)
- [11] Pacheco-Aguilar R, Lugo-Sánchez M E, Robles-Burgueño M R. Postmortem biochemical and functional characteristic of Monterey sardine muscle stored at 0℃[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(1): 40—47.
- [12] Ruiz D G, Martinez M J, Chiralt A. Modelling of dehydratin-rehydration of orange slices in combined microwave/air drying[J]. Food Sci and Eng Tech, 2003, 4(2): 203—209.
- [13] 沈月新. 水产食品学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 79.
- [14] 关志强, 王秀芝, 李敏, 等. 罗非鱼肉干燥过程平衡含水率模型研究[J]. 食品科学, 2012, 33(15): 118—121.
Guan Zhiqiang, Wang Xiuzhi, Li Min, et al. Modeling of equilibrium moisture content of Tilapia fillets during drying process[J]. Food Science, 2012, 33(15): 118—121. (in Chinese with English abstract)
- [15] Bellagha S, Sahli A, Farth A, et al. Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): Experimental kinetics and modeling[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(3): 947—952.
- [16] 曾令彬, 赵思明, 熊山柏, 等. 风干白鲢的热风干燥模型及内部水分扩散特性[J]. 农业工程学报, 2008, 7(7): 280—283.
Zeng Lingbin, Zhao Siming, Xiong Shanbai, et al. Modeling and moisture diffusion properties of salted silver carp during hot-air drying[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 7(7): 280—283. (in Chinese with English abstract)
- [17] Wang Y Q, Zhang M, Mujumdar A S. Convective drying kinetics and physical properties of Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) Fillets[J]. Journal of Food Biochemistry, 2011, 20(4): 361—378.
- [18] 张琼, 章梁, 黄泽元. 草鱼鱼片热风干燥特性的研究[J]. 武汉工业学院学报, 2008, 12(4): 13—18.
Zhang Qiong, Zhang Liang, Huang Zeyuan. Study on

- characteristics of hot-air drying of Grass Carp (*Ctenopharyngodon Idellus*)[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2008, 12(4): 13–18. (in Chinese with English abstract)
- [19] Wasswa J, Tang J, Gu X H. Optimization of the production of hydrolysates from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) skin using Alcalase[J]. Journal of Food Biochemistry, 2008, 32(4): 460–473.
- [20] 石启龙. 竹荚鱼热泵干燥工艺及其状态图研究[D]. 山东青岛: 中国海洋大学, 2008.
Shi Qilong. Study on the Technology of Heat Pump Dried Horse Mackerel and State Diagram for Freeze-dried Horse Mackerel Meat[D]. Shandong Qingdao: Ocean University of China, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [21] 包建强, 路昊, 岳晓华, 等. 冻藏期间金枪鱼的 TVB-N、脂肪氧化、pH 值的变化[C]// 上海市制冷学会二零零五年学术年会论文集, 246–248.
- Bao Jianqiang, Lu Hao, Yue Xiaohua, et al. The change of TUNA'S quality during the storage[C]// Shanghai Institute of Refrigeration 2005 Annual Conference Proceedings, 246 – 248. (in Chinese with English abstract)
- [22] 刘丽媛, 谢晶, 励建荣. 预测南美白对虾品质变化的动力学模型的建立. 食品工业科技[J]. 2009, 30(9): 278–281.
Liu Liyuan, Xie Jing, Li Jianrong. Building of the kinetics model for prediction of the quality change of *Penaeus vannamei* Boone[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(9): 278–281. (in Chinese with English abstract)
- [23] 郭月红. 腊肉中脂肪氧化变化及其影响因素研究[D]. 重庆: 西南大学, 2006.
Guo Yuehong. Study on the Lipid Oxidation and its Influence Factors of Cured Meat[D]. Chongqing: Xinan University, 2006. (in Chinese with English abstract)

Modeling of total volatile basic nitrogen and thiobarbituric acid of silver carp dried in cold-air dryer with heat pump

Gao Ruichang, Yuan Li, Liu Weimin*, Yu Maoshuai, Zhou Cunshan, Ma Haile
(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The quality and flavor of dried fish products tend to be affected by dry conditions. A high drying temperature will lead to the propagation of microorganisms, the oxidation of fat, and the increase of the content of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in fish. A cold-air dryer with a heat pump can be used to keep the quality and flavor of dried fish stable, and to reduce drying energy consumption, in which the lower temperature source is used to heat the drying air with the help of a compressor. The drying medium of air in this technique is not in contact with the outside environment, so that the oxidation of nutrients and propagation of microorganisms are effectively avoided. To realize the characteristics of fish products dried by cold air in a dryer with a heat pump, and determine the effects of the cold wind drying process parameters on the dried fish quality, silver carp was used as the drying material and tested by a uniform design of experiments of $U_{10}(10^3)$. TVB-N and the value of thiobarbituric acid (TBA) for oxidation of fat was investigated as the criteria of quality of dried silver carp in the conditions of different cold air drying process parameters. The drying air temperature (x_1) was 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29, 32, and 35°C, the by-pass air ratio (x_2) was 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, and 1.0, and the air velocity (x_3) was 0.3, 0.45, 0.6, 0.75, 0.9, 1.05, 1.2, 1.35, 1.5, and 1.65 m/s, respectively. The value of TVB-N of 10 experiments was 36.12, 34.72, 34.44, 31.64, 47.04, 35.28, 42.00, 52.92, 97.44, and 85.40 mg/100g, and the value of TBA was 4.32, 4.65, 3.68, 3.36, 4.74, 3.59, 6.67, 6.53, 7.96, and 10.58 mg/kg respectively. By SPSS analysis, the regression equations of TVB-N (mg/100g) and TBA value (mg/kg) was $Y_1=80.364-4.629x_1+0.150x_1^2-11.813x_3$, $Y_2=7.854-0.535x_1+0.017x_1^2$, respectively. The results show that the fit of the regression equations are good. The drying temperature was the main factor that had an effect on TVB-N and TBA. However, the effects of the by-pass air ratio and air velocity were not significant. The optimal parameters of the silver carp drying process were determined as temperature 15.5°C, air velocity 1.65m/s, and by-pass air ratio 0.6. The results can provide references for the industrial production of silver carp dried in a cold-air dryer with a heat pump.

Key words: drying, models, quality control, cold-air dryer with heat pump, silver carp, TVB-N, TBA

(责任编辑: 刘丽英)