

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.10.044

带鱼鱼丸腥味变化的预测模型

茅林春^{1,2} 任兴晨^{1,2} 李钰金^{3,4} 苑佳佳^{1,2} 卢文静^{1,2}

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058; 2. 农业部农产品采后重点实验室, 杭州 310058;
3. 海洋功能食品开发国家地方联合工程实验室(山东), 荣成 264300; 4. 山东省海洋食品营养研究院, 荣成 264309)

摘要: 为研究带鱼鱼糜制品冷藏过程中腥味变化的规律,以鱼丸为研究对象,在不同温度 0、3、6、9、12℃ 下监测鱼丸腥味活性值变化,采用零级反应方程拟合腥味活性值变化曲线,拟合系数均大于 0.9。根据 Arrhenius 方程确定了变化速率 K 与温度 T 的关系,建立腥味活性值变化预测模型 $F = 2.332 \times 10^{13} e^{-8190/T} t + 5.035$ 。贮藏期间 F 的实测值与预测值相对误差在 15% 以内,证明该模型能够较准确地预测鱼丸腥味活性值的变化。

关键词: 带鱼; 鱼丸; 腥味; 活性值; 预测模型

中图分类号: TS254.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)10-0345-06

Predictive Model of Fishy Odor for Hairtail Fish Ball

MAO Linchun^{1,2} REN Xingchen^{1,2} LI Yujin^{3,4} YUAN Jiajia^{1,2} LU Wenjing^{1,2}

(1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

2. Key Laboratory of Postharvest Handling Agro-Products, Ministry of Agriculture, Hangzhou 310058, China

3. National and Local United Engineering Laboratory of Marine Functional Food Development (Shandong), Rongcheng 264300, China

4. Marine Food and Nutrition Research Institute of Shandong Province, Rongcheng 264309, China)

Abstract: Hairtail is regarded as one of the main raw materials for surimi-based products in China because of its large production and abundant nutrition. Hairtail fish ball is welcomed by the people. However, the fishy odor develops gradually during refrigerated storage, which influences the eating quality and commodity value. So, it is important to predict the change of fishy odor. To evaluate and predict the fishy odor in hairtail fish ball during refrigerated storage, the concentration of fishy odor compounds was detected every 3 d at 0℃, 3℃, 6℃, 9℃ and 12℃. In addition, fishy-odor activity value (F) was calculated through the ratio of concentration of fishy odor compounds to corresponding threshold. The change curve of F was fitted using zero order reaction equation and one order reaction equation. The fitting coefficient of zero order reaction curve was higher than that of one order reaction curve, which was greater than 0.9. The change rate K was the slope of zero order reaction fitting curve. Arrhenius equation described the relationship of change rate K and temperature T , as $K = 2.332 \times 10^{13} e^{-8190/T}$. The predictive model of fishy odor was established as $F = 2.332 \times 10^{13} e^{-8190/T} t + 5.035$. The actual and predictive F values during storage were compared, and the relative errors were within 15%. Therefore, the model was proved to be effective to predict the change of fishy odor in surimi products during storage.

Key words: hairtail; fish ball; fishy odor; activity value; predictive model

引言

鱼糜制品营养丰富、味美价廉、食用方便,受到广大消费者的青睐^[1]。同时,其生产工艺简单,处理原料鱼的能力大,可以在渔汛期集中处理原料鱼

加工成鱼糜,解决渔汛期渔货集中的问题,有效提高鱼类的利用价值,增加经济效益^[1]。鱼糜制品已成为目前水产品深加工和提高水产资源综合利用的重要途径^[2]。

带鱼营养丰富,蛋白质含量高,产量大,是我国

收稿日期: 2017-01-20 修回日期: 2017-02-12

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAD17B03)和浙江省重点计划项目(2015C02046)

作者简介: 茅林春(1962—),男,教授,博士生导师,主要从事农产品及水产品加工保鲜研究,E-mail: linchun@zju.edu.cn

鱼糜制品的主要原料之一^[3]。鱼糜制品在冷冻条件下贮运,存在能耗大、成本高的问题,且弹性下降,食用品质大大降低^[4]。而冷藏贮运不仅能够节省成本,还能提高食用品质。但是,鱼糜制品在冷藏过程中易产生鱼腥味、土腥味等不良气味,并且腥味逐渐增大,严重影响了鱼糜制品的风味,降低其商品价值^[2]。

加工以后贮运过程的腥味变化是影响鱼糜制品品质的重要因素。现有的跟踪检测方法就是在贮藏过程中对鱼糜制品进行抽样检测,且不同贮藏条件下的鱼糜制品都需进行抽测,不但会耗费大量的人力,还造成了产品的浪费^[5]。因此,建立鱼糜制品腥味变化的预测模型,根据贮藏条件就能够对腥味进行有效的预测,可大大节省人力和物力。目前对腥味的研究集中于腥味物质种类和成分的检测,而关于冷藏过程中腥味变化的研究很少^[6]。有关腥味变化预测模型的研究还未见相关报道。

本文将食品品质变化预测模型的研究方法引入腥味变化的研究中,通过监测不同冷藏温度下带鱼鱼丸腥味活性值的变化,建立腥味活性值预测模型,用于评价带鱼鱼丸冷藏过程中的腥味,力求为鱼糜制品腥味的研究提供基础。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

冰鲜带鱼,购于杭州市温州村农贸市场。2-辛酮为色谱纯,上海晶纯生化科技股份有限公司。

1.2 实验仪器

AUX-J19型绞肉机,奥克斯集团有限公司; Universal 320R型台式离心机,德国 Hettich 科学仪器公司; FSH-2A FS-2型可调分散器,金坛市科析仪器有限公司; 数显恒温水浴锅,浙江省嘉兴市俊思仪器设备厂; 7890N/5975型气相色谱-质谱联用仪,美国 Agilent 公司; 固相微萃取前处理平台,德国 Gerstel 公司; 50/30 μm DVB/CAR on PDMS 萃取头,上海安谱实验科技股份有限公司; HP-5MS 型气相色谱毛细管色谱柱,美国 Agilent 公司。

1.3 实验方法

带鱼鱼糜制品的种类有鱼丸、鱼糕、鱼卷等,本文以鱼丸为研究对象。

1.3.1 带鱼鱼丸的制作

制作工艺为:冰鲜带鱼→去内脏、去头、去鳞→清洗→采肉→绞肉→漂洗→脱水→鱼糜→斩拌→成型→加热凝胶化→冷却→鱼丸。

(1)绞肉:将 250 g 鱼肉放入 AUX-J19 型家用多功能绞肉机中,绞肉 30 s。

(2)漂洗:水温 4℃,液料比(水的体积与鱼肉质量的比值) 3 mL/g,先缓慢搅拌 5 min,再静置 10 min,用纱布滤掉漂洗液,重复 2 次,并在第 3 次漂洗中加入 0.003 g/mL 的食盐^[7]。

(3)脱水:用纱布预脱水后用离心机脱水,以 3 000 r/min 转速离心 10 min,倒出水分,至滤出的水不呈线状流出。

(4)斩拌:将鱼糜放入斩拌机内,先空斩 15 s,进一步提取鱼肉的肌纤维组织,使盐溶性蛋白质充分溶出。后加入淀粉(15%)、盐(3%)、水(15%)继续斩拌 30 s。

(5)成型:将斩拌后的鱼糜手工成丸,每个鱼丸的质量为(4±0.5)g。

(6)加热凝胶化:水浴 45℃ 条件下凝胶化 20 min 后,沸水煮 3 min。

(7)冷却:加热结束后立刻放入冰水中充分冷却后,沥干水分,放于 4℃ 冰箱中静置 12 h。

1.3.2 挥发性物质检测

带鱼鱼丸在 6℃ 下分别贮藏 0、3、6、9、12 d 后,用 SPME-GC-MS 联用仪进行挥发性物质检测,每个样品重复 5 次。

(1)固相微萃取条件

萃取头在 270℃ 下活化 15 min。样品(3 g)加 7 mL 饱和食盐水混合,在冰上以 10 000 r/min 转速进行匀浆 1 min,将匀浆液倒入 20 mL 进样瓶中,迅速用隔垫密封,60℃ 下平衡 15 min。插入萃取头,60℃ 下萃取 45 min。进样口 250℃ 下解析 5 min^[8]。

(2)气质条件

气相色谱:程序升温,柱初温 40℃,保持 3 min,以 5℃/min 的速度升温到 200℃,保持 2 min,再以 10℃/min 上升到 250℃,保持 5 min;载气为氦气,流量 1.0 mL/min,不分流模式进样。

质谱:溶剂切除时间 2 min,离子化方式 EI,电离电压 70 eV,离子源温度 230℃,传输线温度 280℃,四极杆温度 150℃;质谱扫描范围 35~350。

(3)挥发性物质定性分析

GC-MS 实验数据处理通过 GC-MSD 化学工作站完成,未知化合物经计算机检索同时与 NIST11 进行匹配定性,当匹配度大于 85 时,鉴定结果才予以采纳。

(4)挥发性物质半定量分析

取 50 μL 质量浓度 5.24 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的 2-辛酮标准溶液加入到样品匀浆液中,标准物的质量比为 $\frac{50 \times 5.24}{3} = 87.333 \text{ ng/g}$ 。

挥发性物质质量比计算公式为

$$M = \frac{A_v}{A_s} \times 87.333$$

式中 M ——挥发性物质质量比, ng/g
 A_v ——挥发性物质峰面积, $\mu\text{V}\cdot\text{s}$
 A_s ——标准物峰面积, $\mu\text{V}\cdot\text{s}$

1.3.3 腥味活性值 F 变化预测模型

将带鱼鱼丸分别在 0、3、6、9、12℃ 下贮藏, 每 3 d 进行挥发性物质检测, 条件同 1.3.2 节, 每个样品重复 5 次。根据文献报道的各挥发性物质气味特征, 将呈鱼腥味或土腥味的挥发性物质确定为腥味物质, 并计算其腥味活性值, 将各腥味物质的腥味活性值的累加作为鱼丸的腥味活性值 F , 计算公式为

$$F = \sum C/D$$

式中 C ——腥味物质质量比, ng/g
 D ——腥味物质阈值, ng/g

(1) F 动力学分析

分别用零级和一级反应模型来拟合 F 变化, 拟合系数决定最佳反应级数。零级和一级模型分别为:

$$\text{零级反应} \quad F = F_0 + Kt \quad (1)$$

$$\text{一级反应} \quad F = F_0 e^{Kt} \quad (2)$$

式中 F_0 ——带鱼鱼丸贮藏前总腥味活性值
 K —— F 变化速率 t ——贮藏时间

变化速率 K 与温度 T 的关系一般遵循 Arrhenius 方程^[8], 即

$$K = K_0 e^{-E_a/(RT)} \quad (3)$$

式中 K_0 —— F 变化速率常数
 E_a ——活化能

R ——摩尔气体常量, 取 8.315 J/(mol·K)

将式(3)分别代入式(1)、(2)中, 得到 F 预测方程:

$$\text{零级模型} \quad F = F_0 + K_0 e^{-E_a/(RT)} t \quad (4)$$

$$\text{一级模型} \quad F = F_0 \exp(K_0 e^{-E_a/(RT)} t) \quad (5)$$

(2) 预测模型的验证

用带鱼鱼丸在 3℃ 贮藏时 F 的预测值与实测值的相对误差验证模型的准确性, 计算公式为

$$\delta = \frac{F_p - F_m}{F_m} \times 100\% \quad (6)$$

式中 δ ——相对误差
 F_p —— F 的预测值
 F_m —— F 的实测值

2 结果与分析

2.1 带鱼鱼丸挥发性化合物含量的变化

带鱼鱼丸中共检测到 34 种挥发性物质, 其中醛类 9 种, 酮类 3 种, 醇类 6 种, 芳香族 4 种, 直链烃类

8 种, 其他化合物 4 种, 如表 1 所示。

醛类化合物是脂肪氧化的重要产物^[9], 其阈值很低, 对风味贡献很大^[10]。随着贮藏时间的增加, 醛类物质含量不断上升。实验中共检测到 9 种醛类物质, 包括己醛、辛醛、壬醛、癸醛、十二醛等饱和直链醛和 E、E-2,4-壬二烯醛、E-2-辛烯醛、E-2-癸烯醛、E-2-十一烯醛等烯醛类。其中己醛是含量最大的醛类物质, 被认为是鱼腥味的代表物质, 是鱼腥味的关键成分^[9]。辛醛具有油脂氧化味, 也有报道称其与鱼腥味有关^[11]; 壬醛^[12]、E-2-癸烯醛^[13] 具有鱼腥味。E、E-2,4-壬二烯醛呈强烈的花果和油脂香气, 有鸡汤香味^[14]。十二醛具有强烈的脂肪香气, 癸醛具有柑橘香味, E-2-辛烯醛具有脂肪气息、清香气味, E-2-十一烯醛具有清香气味^[15]。

酮类物质可能是由不饱和脂肪酸降解而来, 具有特殊的香气, 且酮类物质含量少, 阈值高, 一般认为对鱼腥味影响不大^[16]。本实验中检测到 3 种酮类, 呋喃酮微量存在于食品、烟草、饮料中, 有增香修饰效果, 因而广泛用作食品、烟草、饮料的增香剂^[16]。关于 2-甲基-3-辛酮、苯基苯丙酮的报道很少。

醇类物质主要由脂肪的氧化分解或糖基化合物的还原产生^[17]。饱和醇类气味阈值较高, 一般对气味影响不大。不饱和醇类阈值较低, 对鱼肉气味有一定的影响。1-辛烯-3-醇的阈值仅 1 ng/g, 该物质具有蘑菇味以及油腻的气味, 被认为是水产品中土腥味的来源^[18]。本实验检测到的其他醇类未在腥味物质的有关文章中报道。

烃类化合物包括芳香族和直链烃类。芳香族化合物可能从环境污染物中转移到鱼体内, 贮藏过程中芳香族化合物含量变化很少。实验中检测到的芳香族化合物含量变化, 有可能是由实验中的杂质产生的^[19]。直链烃类化合物共 8 种, 含量较大, 包括 5 种烷类和 3 种烯类。烷烃类阈值高, 对风味无影响。烯烃类化合物可产生醛类和酮类, 是产生鱼腥味的潜在物质^[20]。

其他化合物主要为酯类和呋喃类。2-戊基呋喃可能是亚油酸氧化的产物, 是脂质氧化的重要指示物, 具有豆香、果香、青香^[21]。酯类化合物一般会赋予食品一种果香^[22], 但本实验中检测到的酯类化合物含量小, 对水产品腥味无影响。

2.2 腥味活性值 F 变化的预测模型

带鱼鱼丸中主要腥味物质为醛类和少量的醇类, 包括己醛、辛醛、壬醛、E-2-癸烯醛和 1-辛烯-3-醇。在 0、3、6、9、12℃ 不同温度下贮藏的带鱼鱼丸的 F 变化如表 2 所示, 随着贮藏时间的增加, F 呈现

表1 带鱼鱼丸的挥发性化合物含量变化
Tab.1 Volatile compounds in hairtail fish balls

种类	保留时间/ min	物质名称	质量比/(ng·g ⁻¹)				
			0 d	3 d	6 d	9 d	12 d
醛类	4.966	己醛	2.320	5.763	15.020	27.475	44.116
	10.618	E,E-2,4-壬二烯醛			20.454	21.503	22.940
	10.955	辛醛				3.950	4.766
	13.104	E-2-十一烯醛			4.650	2.800	3.310
	13.104	E-2-辛烯醛				3.810	4.710
	13.118	E-2-癸烯醛		2.561	3.992	5.015	6.351
	14.106	壬醛	1.980	6.742	13.430	16.527	23.826
	16.127	十二醛			1.321	1.783	1.926
17.101	癸醛	0.650	0.714	2.135	1.374	2.019	
酮类	7.452	2,2-二甲基-5-苯基-二氢-3(2H)-呋喃酮	16.641	22.182	24.313	27.805	38.883
	10.460	2-甲基-3-辛酮	9.222	8.781	8.295	8.531	8.325
	32.573	苯基苯丙酮					1.473
醇类	10.253	1-辛烯-3-醇	3.235	3.447	3.842	5.061	7.182
	11.807	2-甲基-5-(1-异丙烯基)环己醇		9.516	15.908	14.263	17.030
	12.244	4-乙基-1-辛烯-3-醇		1.340		0.720	
	12.681	2,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇			2.033	2.750	3.021
	16.263	松油烯-4-醇			0.793	0.818	1.240
	16.979	2-丁基-1-辛醇	0.974	1.163	1.149	1.108	1.010
芳香族	6.843	对二甲苯				28.690	
	11.621	4-乙基-1,2-二甲苯		0.605		1.180	0.802
	25.195	丁羟甲苯	1.154				
	28.318	1,1'-(1,3-丙二基)双苯					1.230
直链烃	13.756	1-十一烯				23.185	42.620
	19.543	4-十三烯		3.813	4.094	6.497	
	19.766	十三烷		3.540		3.179	
	22.394	十四烷	3.651	4.362	4.015	4.331	4.206
	23.963	2,6,10,14-四甲基十七烷	1.091				
	24.407	1-十五烯	1.581	1.640	1.839	2.255	1.880
	24.916	十五烷	132.705	135.347	115.645	108.935	131.940
	29.615	2,6,10,14-四甲基十五烷	23.555	23.689	19.284	21.831	21.340
其他	10.618	2-戊基呋喃				18.639	18.920
	11.342	乙酸己酯			1.670	1.160	0.670
	21.334	γ-十一内酯	1.990	1.170	1.211	0.756	0.600
	32.609	三丁酸甘油酯	7.730				

上升趋势。

在食品加工或贮藏过程中,食品品质的变化大多由化学反应引起,大多数与食品品质相关的变化规律都遵循零级或一级反应^[23]。而腥味物质的变化也是由脂肪酸氧化等化学反应引起,同样遵循零级或一级反应。分别用零级和一级反应模型来拟合 F 变化, F 变化的动力学分析如表3所示。除了273 K 冷藏条件,其他温度下零级反应的拟合程度均高于一级反应,且决定系数均大于0.95,在273 K 时零级反应的 $R^2 > 0.9$,拟合程度也较好。因此判断腥味物质变化符合零级反应,并且零级反应在食品品质变化中常有报道^[5]。则 F 值与变化速率 K

及时间 t 的关系为 $F = Kt + 5.035$ 。

变化速率 K 与温度 T 的关系可以用 Arrhenius 方程,即 $\ln K = \ln K_0 - E_a/(RT)$ 来描述,以 $\ln K$ 对 $1/T$ 作线性图(图1),则斜率为 $-E_a/R$ ^[24],得到回归方程 $y = -8190.900x + 30.776$, R^2 为 0.964。计算得 E_a 为 6.810×10^4 J/mol, K_0 为 2.332×10^{13} d⁻¹。所以 K 与 T 的关系为 $K = 2.332 \times 10^{13} e^{-8190/T}$ 。因此鱼糜制品在不同温度(0~15℃)贮藏时腥味活性值变化预测模型为: $F = 2.332 \times 10^{13} e^{-8190/T} t + 5.035$ 。

2.3 预测模型的验证

带鱼鱼丸在3℃贮藏时所得 F 的实测值与预测值进行比较。将温度 T 为3℃即276 K 代入预测模

表 2 不同温度下带鱼鱼丸 F 的变化

Tab.2 Change of F in hairtail fish balls stored at different temperatures

温度/ ℃	腥味物质	阈值/ (ng·g ⁻¹)	质量比/(ng·g ⁻¹)					活性值 F				
			0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d
0	己醛	4.500	2.320	3.806	11.234	18.234	28.792	0	0	2.496	4.052	6.398
	辛醛	0.587				3.211	4.368	0	0	0	5.470	7.441
	壬醛	1.100	1.980	4.825	6.922	9.236	11.521	1.800	4.386	6.293	8.396	10.474
	E-2-癸烯醛	0.400					1.258	0	0	0	0	3.145
	1-辛烯-3-醇	1.000	3.235	3.611	3.428	3.897	4.464	3.235	3.611	3.428	3.897	4.464
	总和							5.035	7.997	12.217	21.815	31.922
3	己醛	4.500	2.320	4.511	12.873	20.976	31.452	0	1.003	2.861	4.661	6.989
	辛醛	0.587					4.210	0	0	0	0	7.172
	壬醛	1.100	1.980	5.722	9.632	12.423	19.633	1.800	5.202	8.756	11.294	17.848
	E-2-癸烯醛	0.400		2.180	3.010	3.980	5.170	0	5.450	7.525	9.950	12.925
	1-辛烯-3-醇	1.000	3.235	2.891	3.122	3.362	3.453	3.235	2.891	3.122	3.362	3.453
	总和							5.035	14.546	22.264	29.267	48.387
6	己醛	4.500	2.320	5.763	15.020	27.475	44.116	0	1.281	3.338	6.106	9.804
	辛醛	0.587				3.950	4.766	0	0	0	6.729	8.119
	壬醛	1.100	1.980	4.742	13.430	16.527	24.826	1.800	4.311	12.209	15.025	22.569
	E-2-癸烯醛	0.400		2.361	3.992	5.015	6.951	0	5.903	9.980	12.538	17.378
	1-辛烯-3-醇	1.000	3.235	3.447	3.842	5.061	7.882	3.235	3.447	3.842	5.061	7.882
	总和							5.035	14.942	29.369	45.459	65.752
9	己醛	4.500	2.320	8.996	19.006	36.034	49.108	0	1.999	4.224	8.008	10.913
	辛醛	0.587			2.899	4.365	5.586	0	0	4.939	7.436	9.516
	壬醛	1.100	1.980	7.860	17.249	18.877	27.915	1.800	7.145	15.681	17.161	25.377
	E-2-癸烯醛	0.400		2.347	4.071	4.610	7.061	0	5.868	10.178	11.525	17.653
	1-辛烯-3-醇	1.000	3.235	3.766	4.568	6.139	9.312	3.235	3.766	4.568	6.139	9.312
	总和							5.035	18.778	39.590	50.269	72.771
12	己醛	4.500	2.320	11.068	16.208	42.761	69.281	0	2.460	3.602	9.502	15.396
	辛醛	0.587		2.168	4.014	7.637	10.792	0	0	6.838	13.010	18.385
	壬醛	1.100	1.980	9.512	19.830	23.835	33.964	1.800	8.647	18.027	21.668	30.876
	E-2-癸烯醛	0.400		2.562	3.993	5.015	8.051	0	6.405	9.983	12.538	20.128
	1-辛烯-3-醇	1.000	3.235	6.024	5.963	7.421	14.614	3.235	6.024	5.963	7.421	14.614
	总和							5.035	23.536	44.413	64.139	99.399

表 3 带鱼鱼丸冷藏时 F 变化的动力学分析

Tab.3 Kinetic analysis of F in hairtail fish balls during chilled storage

温度/K	零级反应		一级反应	
	R^2	K	R^2	K
273	0.915	1.947	0.997	0.156
276	0.954	3.223	0.894	0.204
279	0.977	4.697	0.918	0.239
282	0.989	5.439	0.835	0.256
285	0.978	7.245	0.837	0.283

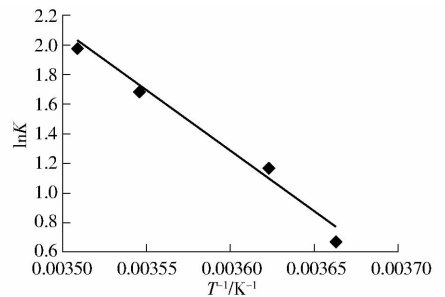


图 1 变化速率 K 与温度 T 关系图

Fig.1 Relationship between change rate K and temperature

表 4 带鱼鱼丸在 3℃ 贮藏时 F 实测值和预测值比较

Tab.4 Comparison of measured and predicted F values of hairtail fish balls stored at 3℃

参数	贮藏时间 t/d				
	0	3	6	9	12
实测值	5.035	14.545	22.264	29.267	48.388
预测值	5.035	14.107	23.179	32.251	41.323
相对误差/%	0	-3.0	4.1	10.2	-14.6

型中,得到预测值 $F = 3.024t + 5.035$ 。比较结果见表 4。在贮藏的前 12 d 内,实测值与预测值的相对误差均在 15% 以内。可见该模型能够较准确地反映冷藏条件下带鱼鱼糜制品的腥味活性值的变化。

3 结束语

带鱼鱼丸的挥发性化合物主要有醛类、酮类、醇

类、烃类、其他酯类和呋喃类等。主要呈腥物质有己醛、辛醛、壬醛、E-2-癸烯醛、1-辛烯-3-醇。腥味活性值 F 在不同温度下的变化符合零级反应动力学模型, 决定系数均大于 0.9, 即呈线性变化规律, 则 $F = Kt + 5.035$ 。通过 Arrhenius 方程确定了变化速率 K

与温度 T 的关系 $K = 2.332 \times 10^{13} e^{-8190/T}$ 。因此带鱼鱼丸在冷藏 ($0 \sim 15^\circ\text{C}$) 期间腥味活性值 F 变化预测模型为: $F = 2.332 \times 10^{13} e^{-8190/T} t + 5.035$ 。3℃ 下 F 的实测值和预测值相对误差在 15% 以内, 可见该模型能够较准确地预测带鱼鱼丸腥味活性值的变化。

参 考 文 献

- 1 仪淑敏, 王雪琦, 励建荣, 等. 市售鱼糜制品微生物菌相的初步分析[J]. 食品工业科技, 2013, 34(9): 183-185.
YI Shumin, WANG Xueqi, LI Jianrong, et al. Analysis of the microflora of fish surimi products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(9): 183-185. (in Chinese)
- 2 刘永吉, 励建荣, 郭红辉, 等. 冰温 and 冷藏对气调包装鱼糜制品品质的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 321-324.
LIU Yongji, LI Jianrong, GUO Honghui, et al. Effect of ice-temperature and cold preservation on quality of surimi product with modified atmosphere packaging[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(5): 321-324. (in Chinese)
- 3 HUANG S B, LIN H M, DENG S G. Study of anti-fatigue effect in rats of ferrous chelates including hairtail protein hydrolysates [J]. Nutrients, 2015(7): 9860-9871.
- 4 SOOTTAWAT B, WONNOP V, CHUTIMA T. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage[J]. Food Research International, 2003, 36(8): 787-795.
- 5 张月美, 罗永康, 朱思潮, 等. 鱼体鲜度评价技术和方法的研究进展[J]. 中国渔业质量与标准, 2015, 5(3): 1-7.
ZHANG Yuemei, LUO Yongkang, ZHU Sichao, et al. Research progress on assessment techniques and methods for fish freshness [J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2015, 5(3): 1-7. (in Chinese)
- 6 THANASAK S L, SOOTTAWAT B. Fatty acid composition, lipid oxidation, and fishy odour development in seabass (*Lates calcarifer*) skin during iced storage[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2014, 116(7): 885-894.
- 7 LIN T M, PARK J W. Extraction of proteins from pacific whiting mince at various washing conditions [J]. Journal of Food Science, 1996, 61(2): 432-438.
- 8 陈晓宇, 朱志强, 张小栓, 等. 食品货架期预测研究进展与趋势[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(8): 192-199. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150826&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.08.026
CHEN Xiaoyu, ZHU Zhiqiang, ZHANG Xiaoshuan, et al. Research progress and trend of food shelf life prediction [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(8): 192-199. (in Chinese)
- 9 SELLI S, CAYHAN G G. Analysis of volatile compounds of wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by simultaneous distillation-extraction (SDE) and GC-MS[J]. Microchemical Journal, 2009, 93(2): 232-235.
- 10 田迪英, 焦慧, 陶崑, 等. 5种海鱼挥发性风味成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(10): 155-159.
TIAN Diying, JIAO Hui, TAO Wei, et al. Analysis of volatile flavor components of five kinds of marine fish[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(10): 155-159. (in Chinese)
- 11 GIRI A, OSAKO K, OHSHIMA T. Identification and characterization of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing[J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 621-631.
- 12 姜琳琳, 苏婕. 鱼肉风味品质的研究进展[J]. 水利渔业, 2008, 28(4): 19-20.
- 13 刘玉平, 陈海涛, 孙宝国. 鱼肉中挥发性成分提取与分析的研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 447-451.
LIU Yuping, CHEN Haitao, SUN Baoguo. Recent advances in extraction and analysis of volatile components in fish[J]. Food Science, 2009, 30(23): 447-451. (in Chinese)
- 14 GIRI A, OSAKO K, OKAMOTO A, et al. Olfactometric characterization of aroma active compounds in fermented fish paste in comparison with fish sauce, fermented soy paste and sauce products[J]. Food Research International, 2010, 43(4): 1027-1040.
- 15 徐永霞, 刘滢, 仪淑敏, 等. 大菱鲆鱼体不同部位的挥发性成分分析[J]. 中国食品学报, 2014, 14(6): 236-243.
XU Yongxia, LIU Ying, YI Shumin, et al. Comparison of volatile compounds in different parts of turbot[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(6): 236-243. (in Chinese)
- 16 FRANK D, POOLE S U E, KIRCHHOFF S, et al. Investigation of sensory and volatile characteristics of farmed and wild barramundi (*Latescalcarifer*) using gas chromatography-olfactometry mass spectrometry and descriptive sensory analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(21): 10302-10312.
- 17 付湘晋, 许时婴, 王璋, 等. 电子鼻检测白鲢鱼腥味[J]. 浙江大学学报, 2010, 36(3): 316-321.
FU Xiangjin, XU Shiyong, WANG Zhang, et al. Determination of off-flavors in silver carp mince using electronic nose [J]. Journal of Zhejiang University, 2010, 36(3): 316-321. (in Chinese)
- 18 JIANG J J, ZENG Q X, ZHU Z W. Analysis of volatile compounds in traditional Chinese fish sauce (Yu Lu)[J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 4(2): 266-271.
- 19 刘奇, 郝淑贤, 李来好, 等. 鲟鱼不同部位挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 142-145.
LIU Qi, HAO Shuxian, LI Laihao, et al. Volatile component analysis of different parts of sturgeon[J]. Food Science, 2012, 33(16): 142-145. (in Chinese)
- 20 VARIET V, KNOCKAERT C, PROST C, et al. Comparison of odor-active volatile compounds of fresh and smoked salmon[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(9): 3391-3401.
- 21 LI C P, WU J J, LI Y, et al. Identification of the aroma compounds in stinky mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) and comparison of volatiles during fermentation and storage[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2013, 48(11): 2429-2437.
- 22 LIU Y P, MIAO Z W, GUAN W, et al. Analysis of organic volatile flavor compounds in fermented stinky tofu using SPME with different fiber coatings[J]. Molecules, 2012, 17(4): 3708-3722.
- 23 THEODORE P L, MIRIAN S, JAMES K. Prediction of nutrient losses[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1978, 2(2): 91-99.
- 24 任兴晨, 茅林春, 苑佳佳, 等. 低温碱性脂肪酶时间-温度指示剂的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 36(10): 251-254.
REN Xingchen, MAO Linchun, YUAN Jiajia, et al. Research on low-temperature TTI based on lipase [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 36(10): 251-254. (in Chinese)