

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2016.01.001

文章编号:2095-6002(2016)01-0001-08

引用格式:励建荣,李婷婷,丁婷.水产品新鲜度综合评价与货架期预测模型的构建研究进展[J].食品科学技术学报,2016,34(1):1-8.



LI Jianrong, LI Tingting, DING Ting. Review on freshness comprehensive evaluation and establishment of prediction model for aquatic products[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016,34(1):1-8.

水产品新鲜度综合评价与货架期预测模型的构建研究进展

励建荣^{1,2,3}, 李婷婷^{2,4}, 丁婷³

(1. 渤海大学 食品科学与工程学院/生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心,辽宁 锦州 121013; 2. 西南大学 食品科学学院,重庆 400715;

3. 江南大学 食品学院,江苏 无锡 214122; 4. 大连民族大学 生命科学学院,辽宁 大连 116600)

摘要:对近年来水产品新鲜度的评价方法进行了分析,包括传统的评价方法和国内外最新的方法;同时介绍了水产品的货架期预测模型,包括一级、二级和三级模型;最后提出了水产品新鲜度综合评价和货架期模型构建的主要问题和研究方向,以期今后水产品的品质和相关保鲜技术的研发提供一定参考。

关键词:水产品;新鲜度;货架期;预测模型

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

我国是水产品生产和消费大国,水产品产量连续24年居世界首位^[1]。水产品营养丰富,味道鲜美,深受消费者的喜爱^[2]。随着生活水平的提高,消费者对水产品的感官品质、营养价值和安全性要求也越来越高。但水产品水分和可溶性蛋白质含量高、不饱和脂肪酸易氧化,加之目前低温保藏技术还不完善,从而很容易导致水产品的腐败变质,造成经济损失^[3-4]。因此控制水产品中微生物的生长,延长水产品货架期,加强对水产品新鲜度综合评价体系的研究和货架期预测模型的构建显得十分必要。

本研究探讨了水产品新鲜度综合评价的各种指标,包括理化指标、微生物指标、感官评价等传统指标和近年来各种新鲜度检测的新指标和新方法;介绍了货架期的各级模型,包括货架期一级模型、二级模型和三级模型,以期开发水产品的冷藏保鲜技

术提供一定的理论参考。

1 水产品新鲜度和货架期的影响因素

食品的货架期(food shelf-life)是指从感官和食用安全角度分析,食品品质保持在消费者可接受程度下的贮藏时间^[5]。延长水产品的货架期是生产者、加工者和销售者共同关注的问题。水产品的腐败是各种因素综合作用的结果,影响水产品新鲜度以及货架期的因素包括内部因素和外部因素两方面^[6]。内部因素是指水产品本身特性,包括水产品的pH值、含水量、营养成分、抵抗微生物成分、生物结构因素、水产品本身的酶,还有生化反应(主要是氧化还原反应)。外部因素是指水产品所处的环境因素,包括温度、湿度、水分含量、水分活度、金属离子、氧化还原电势、压力和辐射、气体成分、其他微生

收稿日期:2015-08-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31301572;31471639);“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD29B06);中国博士后科学基金资助项目(2014M552302);重庆市博士后基金资助项目(Xm2014041)。

作者简介:励建荣,男,教授,博士生导师,博士,主要从事水产品 and 果蔬贮藏加工及质量安全控制方面的研究。

物组成和活性等;还有产品的包装材料和包装方式等也会影响水产品的货架期。影响货架期最主要的因素是微生物因素^[7],由于水产品中富含大量的蛋白质,水分含量高,肌肉组织疏松而且 pH 值偏中性等,导致水产品特别适合微生物的生长。因此,当水产品受到污染后,微生物会在水产品上迅速大量增殖,分解蛋白质、脂肪以及糖类等物质供自身生长繁殖需要,并且产生大量的不愉快气味,如硫化氢、尸胺、腐胺、酮、酯、有机酸等以及各种有毒物质,致使水产品腐败不可食用^[8]。

研究发现,并不是所有的微生物都会导致水产品的腐败,那些在腐败过程中起主要作用的微生物是水产品的特定腐败菌(specific spoilage organism, SSO)^[9]。据报道^[10-11],在有氧冷藏中,水产品最常见的腐败菌是假单胞菌(*Pseudomonas* spp.)和腐败希瓦氏菌(*Shewanella putrefaciens*);真空冷藏或气调包装的 SSO 包括磷发光杆菌(*Photobacterium phosphoreum*)、乳酸菌(*Lactobacillus*)和肠杆菌(*Enterobacteriaceae*);温和加工水产品的 SSO,通常为乳酸菌(*Lactobacillus*),磷发光杆菌(*Photobacterium phosphoreum*)和肠杆菌(*Enterobacteriaceae*)。

2 水产品的新鲜度综合评价标准与方法

目前,国内外针对水产品新鲜度的检测评价指标包括:化学指标、物理指标、微生物指标等。检测方法包括传统的检测方法及新的检测方法。传统的检测方法包括:感官评价、菌落总数、pH 值、挥发性盐基氮(TVB-N)的含量、挥发性脂肪酸硫代巴比妥酸(TBA)、色差值(L^* 值, a^* 值, b^* 值或 ΔE 值)、滴水损失与水分含量、K 值、电导率、生物胺的含量(包括尸胺、精胺、组胺等)、总氮含量、硫化氢的含量、三甲胺氮(TMA-N)的含量、剪切力值、失水率等^[12]。

近年来各种新的检测方法不断涌现,使得新鲜度的检测更加准确、方便和快捷。如电位传感器(电子鼻、电子舌等)、智能检测、多功能数字检测仪、近红外漫反射光谱法(NIRS)、流动注射-化学发光法、酶法、表面荧光光谱法、固相酶反应器、NSPES 膜电极法、液相色谱法、聚合链式反应(polymerase chain reaction, PCR)、计算机视觉检测技术等。其中,电子鼻^[13]法、计算机视觉检测技术和光谱分析

法^[14]等应用越来越广泛;应用聚合链式反应技术^[15]可以定量检测水产品中的微生物,对未来的研究意义重大。

2.1 传统的检测方法

2.1.1 感官评价

感官评价包括检测水产品的色泽、黏度、组织弹性、气味、嫩度、硬度、胶黏性等,是利用人的感觉器官对食品的感官性状进行评价^[16],主要是通过专业评价人员进行判别。王二震等^[17]研究表明,感官评价快速、简便,是消费者判断食品新鲜度的主要方式,但是由于存在主观因素,会导致评价的结果不准确,因此需要结合其他的理化检测方法来判断。

2.1.2 微生物的测定

水产品中的细菌数量是表示其腐败程度的一个重要指标^[18]。细菌总数可以按照 GB/T 4789.2—2008 中的方法进行测定^[19]。适合在水产品中生存和繁殖并产生腐败异味代谢产物的微生物,就是该水产品的优势腐败菌。Sabrina 等^[20]研究表明,深入了解特定腐败菌在微生物学检验、货架期预测、新型保存及生产方法设计等方面的特性,将会有效减少由于微生物造成的腐败而导致的损失,从而提高水产品的质量。

2.1.3 挥发性盐基氮的测定

挥发性盐基氮也称挥发性碱基总氮,是水产品新鲜度评价中的经典评定方法,最能反映水产品的的新鲜度变化。水产品中的蛋白质经过微生物的分解会产生氨以及胺类等碱性含氮物质,这些物质可按照 GB/T 5009.44—2003 中的方法进行测定。国际上主要是用半微量凯氏定氮法和微量扩散法来测定 TVB-N,结果精确,但是过程烦琐,而且耗时较长。陈莎莎等^[21]对国标中的半微量定氮法进行改进,使测定方法更加快捷、方便,还可用自动定氮仪来测定,该方法快捷、精确^[22]。

2.1.4 pH 值的测定

水产品如活鱼的 pH 值为 7.0~7.3。鱼体死后,由于体内的糖类酵解及 ATP 酶的作用导致乳酸积累,pH 值降低。但是经过一段时间后,鱼体内的蛋白质在微生物的作用下开始分解,生成氨、三甲胺、硫化氢等碱性物质,pH 值又开始上升,因此可以通过测定 pH 值的变化来评价水产品的新鲜度。检测方法多采用肉浸液的 pH 试纸法、比色法和酸度计法等。由于 pH 值会受到各种因素的影响,因此

这种检测方法不做唯一的标准,要结合其他的理化指标进行综合检测。

2.1.5 显色法^[23]

显色法主要包括:1) 氨的测定(纳氏试剂法, Nessler)。特征产物氨及胺类化合物与纳氏试剂反应可生成黄色沉淀,即碘化汞铵。通过观察试剂消耗量,颜色变化可以判断水产品的的新鲜度,但是此法检测结果并不准确,可作为辅助参考。2) H_2S 和氨的测定。在酶的作用下,含-SH 基的氨基酸分解产生的 H_2S 与可溶性铅盐反应可产生黑色的硫化铅沉淀。此法一般可用乙酸铅试纸法进行检测。具体方法是将肉绞碎后置于三角瓶中,用 10% 的醋酸铅碱溶液浸湿后的滤纸悬于瓶内壁上,接近肉块但不触及,15 min 后,观察滤纸条颜色变化。若滤纸条颜色无变化,则水产品新鲜;如果变成淡褐色,则较新鲜;如果下部变为深褐色,则水产品已经腐败。这种方法也不做唯一测定方法,要与其他方法结合进行判定。3) 过氧化物酶反应实验(联苯胺法)。取水产品浸液滴加联苯胺溶液和 1% H_2O_2 溶液。这种方法不太准确,需要跟其他方法联用进行判断。4) 对二氨基苯甲醛法。利用酸性条件下对二氨基苯甲醛与盐基态氮进行显色反应。在一定条件下,吸光度与溶液浓度成正比。此种方法可用分光光度法测定,这种方法实现了水产品新鲜度的快速检测。5) 茚三酮显色法。水产品中的氨和氨基酸与茚三酮反应生成蓝紫色化合物,且随着水产品新鲜度的下降,颜色逐渐加深。此方法可实现对水产品的快速检测。6) TTC 显色法(2,3,5-氯化三苯基四氮唑法)。水产品腐败过程中产生的酶能使 TTC 试剂还原成红色化合物,因此根据颜色变化可以判断水产品的的新鲜度,这种方法适合于现场检测。7) 碘吸收判定法。氨基酸、 NH_3 以及 H_2S 是细菌分解水产品的产物,产物越多,吸收碘的能力越大。根据此原理可对水产品的的新鲜度进行测定,但此法不能作为唯一的判定标准。

2.1.6 K 值的测定

鱼体死亡后,体内发生一系列生化反应,是鱼体新鲜度变化的本质。刘亚等^[24]研究表明,鱼体内的腺苷三磷酸(ATP)在酶的作用下进行有规律的变化,依次变为二磷酸腺苷(ADP)、一磷酸腺苷(AMP)、肌苷酸(IMP)、肌苷(HxR)、次黄嘌呤(Hx)。随着肌苷和次黄嘌呤比值的增大,水产品的的新鲜度越差。

K 值的计算公式为

$$K = \frac{HxR + Hx}{ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx} \times 100\%。$$

K 值的测定方法有化学滴定法、紫外比色法、离子交换树脂法、高效液相色谱法(HPLC)以及酶比色法等,其中高效液相色谱法比较常用。佟懿等^[25]通过测定鲜带鱼在不同温度下的 K 值,并基于其变化规律建立了货架期模型,而酶比色法则是新兴起的一种检测方法。

2.1.7 组织结构镜检法

在显微镜下观察水产品完整脂肪细胞含量或者个数,可反映其新鲜度变化,此法不做唯一的判定标准。

2.1.8 电导率、含水量的测定

随着储藏时间的增加,水产品电导率增大、黏度增加,保水率也会发生变化^[26],因此可通过水产品肉浸液的电导率值变化来判断水产品的的新鲜度。通过微波法和核磁共振法可快速检测水产品中的水分和脂肪含量,对于新鲜度的测定快速简便,但是检测位置不同,结果会有差异。

2.1.9 色差、质构的测定

色差值是色差计测定的样品颜色的偏差值,比人眼更客观、准确,通过水产品色泽的变化可对其新鲜度进行评价^[27]。色差值可以用评分色板、波长测定仪、白度仪、色差仪等测定。Giménez 等^[28]研究表明,食品储藏过程中硬度、弹性、可恢复形变、黏差性、内聚性、咀嚼性等均会发生改变,因此对这些指标的测定也可反应新鲜度的变化。水产品的上述特性可用质构仪进行测定。

2.1.10 脂肪氧化值的测定

过氧化物是含脂肪食物在酸败过程中生成的一种中间产物,并能继续分解成酸类、酮类和一些氧化物。过氧化值是衡量含油脂食品酸败程度和贮存品质的又一重要指标。一般来说,过氧化值越高,表明食品酸败越严重。魏艳丽等^[29]对乳化型香肠脂肪氧化值(TBA)的测定方法做出了研究,以提高 TBA 的回收率。测定脂肪氧化的化学方法有过氧化值法、硫代巴比妥酸(TBA)实验、共轭双烯法、荧光分析法和免疫法等^[30]。常用的方法是紫外分光光度计法。

2.1.11 三甲胺的测定

氧化三甲胺广泛分布在水产品中,在微生物和酶的作用下,可分解为二甲胺和三甲胺。随水产品

新鲜度的下降,三甲胺含量也越来越高。马妍等^[31]通过对暗纹东方鲀不同贮藏温度下三甲胺含量的测定,探究三甲胺含量的变化规律并建立其货架期预测模型。三甲胺的测定用的是苦味酸法。

2.2 水产品新鲜度检测的新方法

2.2.1 近红外光谱分析技术

水产品贮藏过程中蛋白质发生分解,导致其对不同波长的可见光吸收不同,根据这一现象,可以用光谱技术来测定水产品的新鲜度。王丽等^[32]利用近红外光谱技术建立了猪肉新鲜度指标快速检测方法,发现该方法与传统的化学分析相比,具有快速、无损、简单的特点。近红外分析法是一种高效、绿色的分析测试技术,其光谱稳定、信息量大,能够反映样品的综合信息,可通过多元校正模型实现多组分同时测定。该方法可与传统的理化检测结合,实现水产品的快速检测。

2.2.2 电子鼻、电子舌技术

电子鼻和电子舌技术是模拟人的嗅觉和味觉系统,用各种传感器区分因水产品腐败产生的各种气体,如氨气、醇类、含硫化合物和各种胺类,从而预测水产品的新鲜程度。电子鼻技术可以利用主成分分析(principal component analysis, PCA)、负荷加载分析(loading analysis, LA)以及判别因子分析(linear discriminant analysis, LDA)方法,与理化指标结合,客观、准确、快捷地进行气味区分,重复性好,从而达到无损检测目的。李来好等^[33]用电子鼻检测冷冻罗非鱼肉,考察冷冻贮藏时间对罗非鱼肉挥发性物质的影响;杨华等^[34]用电子鼻对不同储藏温度下的美国红鱼风味成分进行检测分析,为探索方便快捷的美国红鱼新鲜程度的无损检测提供了依据。电子舌是一种分析、识别液体的新型检测手段。可以用主成分分析(PCA)、人工神经网络(self-organizing map, SOM)、模糊识别(fuzzy recognition, FR)和混沌识别(chaos recognition, CR)等来进行模式识别。韩剑众等^[35]用电子舌探究宰后不同品种生鲜肉品的品质和新鲜度,发现电子舌对鸡肉品质和新鲜度的辨识评价是有效的。一些国外研究者建议把电子舌和电子鼻结合来测定相关指标,这样可以有效地解决食品评价手段对食品工业化的制约^[36]。

2.2.3 基于计算机视觉技术的检测方法

计算机视觉技术检测方法是基于对图像的处理和分析,从中提取特征参数,模拟人的视觉和判别准则来理解图像和识别图像,从而对产品进行分类或

分级,实现新鲜度的评价。计算机视觉技术包括摄像头、光源、采集箱、图像采集卡和计算机等几部分。首先要将水产品的色泽量化,通过数码摄像机,基于红(R)、绿(G)、蓝(B)的模型图片,转化成人眼观察到的色彩模型,即色度(H)、饱和度(S)、亮度(I),再应用图像数字技术,对其色泽等特征值进行量化处理。以[R, G, B]或[H, S, I]或[C, M, Y, K]作为图像颜色特征信息,构建图像的数据库。构成评价新鲜度的特征值组成特征向量,以该特征值作为神经网络的输入,进行新鲜度的评定^[37]。

2.2.4 BP神经网络模型法

近年来,BP神经网络模型在判断新鲜度中应用较多。BP(back propagation)神经网络模型拓扑结构包括输入层(input)、隐层(hidden layer)和输出层(output layer)。输入层各神经元负责接收来自外界的输入信息,并传递给中间层的各神经元;中间层是内部信息处理层,负责信息变换与处理,最后再将信息传递到输出层的各神经元,经进一步处理,输出层完成信息的处理过程。当实际输出与期望输出不符时,进入误差的反向传播阶段,各层权值通过不断调整,最终得数满足误差要求^[38]。

2.2.5 气相色谱-质谱联用法

近几年,气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术越来越多地被应用到与水产品相关物质的检测中。由于色谱仪可用于复杂混合物的分离,一般用于对化合物的定量分析,而质谱分析具有良好的定性功能,可用来测定化合物的相对分子质量和化学结构。GC-MS技术则兼具二者的优点,尤其适合挥发性物质的分析,该技术已越来越多地被用于食品的检测与分析^[39-40]。在贮藏过程中,水产品在某些微生物(特别是SSO)的作用下,鲜度下降,体内各种蛋白质、脂肪降解成氧化三甲胺、三甲胺、吡啶、硫化物、组氨、醇及有机酸等小分子化合物,并伴有明显腐败特征的气味,因此分析挥发性气体,可以间接研究相关微生物在腐败过程中的行为特征,并对水产品的新鲜度进行评价。

3 水产品货架期模型的构建研究

预测微生物学是用数学模型来预测微生物的生长从而预测产品货架期的一门学科。没有一种模型适合所有的产品,因此要构建水产品货架期模型,首先,应该了解研究对象的性质,弄清预测食品的货架

期主要受哪些因素影响,确定该产品的优势腐败菌,然后选择合适的模型和方法来预测产品的货架期和新鲜度^[41-42]。

水产品在储藏过程中会发生一系列的品质变化。食品品质变化一般是指水产品在生产过程中一些化学、物理、微生物的变化,这些变化可以用化学反应动力学模型来描述。近年来,关于如何延长食品的货架期,以及快速检测食品的货架期成为研究的热点。李学英等^[43]建立了用于预测冷藏大黄鱼微生物学质量和剩余货架期的产 H₂S 菌生长动力学模型和剩余货架期模型,可以快速实时地预测其在有氧冷藏过程中的鲜度品质和剩余货架期。Stefanie 等^[44]建立了猪肉和家禽在储藏过程中的货架期预测模型,来预测产品的品质变化和货架期。温度是影响微生物生长最重要的因素,也是导致水产品腐败的重要原因,因此目前大多数货架期预测模型根据温度来建立^[45-48]。微生物的预测模型按照不同的分类标准可以有不同的分类,但是只有一级模型、二级模型和三级模型能把大部分的模型明确归类^[49-50]。3 个级别的模型归类如表 1。

Tab. 1 Three-stages of microbial prediction shelf-life model		
一级模型	二级模型	三级模型
Gompertz 模型	Belehradek 模型 (平方根模型)	美国农业部病原菌
修正的 Gompertz 模型	Ratkowsk 模型 (平方根模型)	
Whitin 和 Cygnarowicz 模型	Arrhenius 模型	
Baranyi 模型	修正的 Arrhenius 模型	食品微生物模型项目计划
改进的 Monod 模型	概率模型	
热致死 D 值	多项式或响应模型	
Logistic 模型	Williams-Landel Ferry	假单胞菌预报技术专家系统
三阶段的线性模型	表面模型	

3.1 一级模型的研究

一级模型是指在一定的环境和条件下微生物的数量随时间变化的关系。常用的一级模型有:线性模型、逻辑斯蒂克方程 (logistic function)、Gompertz 模型、修正的 Gompertz 模型、Monod 模型、Baranyi&Robertz 模型、Richards 模型、Stannard 模型

和 Schnute 模型等。一级模型可以计算微生物的迟滞期,增殖速率和最大增殖密度值。一级模型使用方便简单,但是不够准确,适合生长环境和影响因素单一的情况,如果条件复杂时要用其他模型^[51]。1) 线性模型。其表达式为 $\log N = A + kt$, 其中 $\log N$ 是微生物在时间 t 时常用地数值, A 是随时间无限减小时渐进对数值 (初始菌数), k 是生长速率。2) Gompertz 方程。表达式为 $\log N = A + C \times \exp \{ - \exp [- B(t - M)] \}$, 其中 $\log N$ 是微生物在时间 t 时常用地数值, A 是随时间无限减小时渐进对数值 (相当于初始菌数), C 是随时间无限增加时菌增量的对数值, B 是在时间 M 时相对最大生长速率, M 是达到相对最大生长速率所需要的时间。Gompertz 模型没有考虑延滞期的影响,因此准确性有问题。3) 修正的 Gompertz 模型。近年来使用修正的 Gompertz 模型比较多^[52], 修正的 Gompertz 模型表达式为 $\log N(t) = \log N_0 + \log \left(\frac{N_{\max}}{N_0} \right) \times \exp \left\{ - \exp \left[\frac{\mu_{\max} \times 2.718}{\log(N_{\max}/N_0)} \times (lag - t) + 1 \right] \right\}$, 其中 t 为时间, h; $N(t)$ 为时间 t 时的菌数; $N_{\max}$, N_0 为最大和初始菌数, CFU/g; $\mu_{\max}$ 为最大生长速率, h^{-1} ; lag 为生长延滞时间, h。4) Barany&Roberts 模型。其表达式为 $N = N_{\min} + (N_0 - N_{\min}) e^{-k_{\max}[t - B(t)]}$, $B(t) = \int_0^t \left[\frac{r^n}{r^n + s^n} \right] ds$, 其中 N, t 时微生物的数量; $N_0, 0$ 时微生物的数量; $N_{\min}$, 最小微生物数量; $k_{\max}$, 最大相对死亡率; r, s 是参数。Barany&Roberts 模型广泛应用,而且比较方便准确。

3.2 二级模型的研究

二级模型是描述环境因子的变化如何影响一级模型中的参数,即一个或多个因子,如温度、pH 值、水活性等对微生物增殖的影响^[53-54]。二级模型包括:反应表模型、平方根模型 (square-root model)、阿留乌斯等式方程 (Arrhenius relationship)、响应面模型 (response surface model)、WLF (Williams-Landel-Ferry) 方程、Z 值模型、Q 值模型、Ratkowsky model 等。1) 反应表模型。这个模型是将微生物生长参数定义为一个多项式,方程为 $Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_ix_i + \cdots + b_nx_{i2} + \cdots + b_ix_i + b_nx_{i2} + \cdots + b_ix_{i2} + b_{x_1x_2} + \cdots + b_{m_i}x_ix_j$, 其中, $a, b \sim b_m$ 是回归系数; $x_i \sim x_j$ 是温度、时间、pH 值、水分活度、 a_w 等影响微生物生长的因素。2) 平方根模型。其表达式为 $\sqrt{\mu} = b(T - T_{\min})$ 。

平方根模型比较简单,但是对于多个影响因素共同作用的微生物生长的预测性较差。3) 响应面模型。要先确定出温度范围、pH 值等其他必要的参数,多于3个控制因素时,响应面模型会相对比较复杂,但是结果比较准确。4) Arrhenius 方程。Arrhenius 方程最为常用,其方程式为 $K = K_0 \times \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right)$ 。其中, k_0 为前因子(又称频率因子); E_a 为活化能, J/mol (品质因子 A 或 B 变化或形成过程中所需克服的能耗); T 为绝对温度, K; R 为摩尔气体常数, 8.314 J/(mol·K); k_0 和 E_a 都是与反应系统物质有关的经验常数。5) Belehradek 方程。方程式为 $\sqrt{\mu_{\max}} = b_{\mu} \times (T - T_{\min})$, $\sqrt{1/\text{lag}} = b_{\text{lag}} \times (T - T_{\min\text{lag}})$ 。式中, b_{μ} 和 b_{lag} 为系数, 单位为 $^{\circ}\text{C}^{-1} \text{h}^{-0.5}$; T 为培养温度, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\min}$ 为最低生长温度, $^{\circ}\text{C}$, $T_{\min}$ 为通过延长回归线与温度轴相交得到温度, 是一个假设的概念, 表示的是微生物没有代谢活动时的温度。6) Q_{10} 模型。 Q_{10} 货架期预测模型 $SL = \theta_s(T_0) \times Q_{10}(T_0 - T)/10$ 。式中, T_0 指已知的较大贮藏温度点; T 指所要求货架期的温度点; θ_s 指货架寿命终点切分点, d ; $T_0 > T$ 。

$$Q_{10} = \frac{\theta_s(T)}{\theta_s(T+10)} = \exp\left[\frac{E_a 10}{RT(T+10)}\right]$$

其中 Q_{10} 为温度差为 10 K 时, 品质降低速度的比值; θ_s 为货架寿命, d 。近年来, 有学者探究了一些新的模型, 并将其应用于预测水产品的货架期^[54], 如基于最小二乘法支持向量机的识别模型(support vector machines, SVM), 解决了在神经网络中无法避免的局部极小值问题^[55], 这一模型比传统的模型更能符合水产品货架期的预测。

3.3 三级模型的研究

三级模型是模型的最终形式, 主要是通过计算机程序, 将一个或者多个一级模型和二级模型整合成计算机软件包。该模型可应用于食品工业和研究领域。三级模型有 Growth predictor、PMP(pathogen modelling program)、海产食品腐败和安全预测器(seafood spoilage and safety predictor, SSSP)、相对腐败速率(relative rate of spoilage, RRS)模型、微生物腐败(microbial spoilage, MS)模型、Sym' Previous 模型、ComBase 模型等。

4 模型的检验方法

模型的检验方法主要包括: 1) 作图法。分别做

出预测的货架期模型曲线和实际测量的货架期曲线, 进行客观比较。这种方法往往需要将原始数据转化为对数或其他形式, 使图像容易对比和观察。2) 代入法。此种方法用得较多, 在做出货架期预测模型后, 找一个合适的温度, 测定其细菌总数、挥发性盐基氮含量、三甲胺的含量等, 把得到的数据带入模型, 从而检验模型的准确率。3) 比较法。比较预测模型所得到的货架期或微生物的生长速率等数据是否跟文献提供的一样, 如果不同, 则要通过实验来进行比较。4) 统计学方法。通过一些统计学方法来检测, 如 F 检验、 t 检验、均方误相关因子、偏差因子、准确因子等。可采用相关矩阵分析(correlation matrices)方法来研究两组或多组变量之间的密切程度, 或者采用主成分分析法(factor analysis), 将复杂的指标问题转化成为少数几个独立变量的问题, 也可通过相关的软件, 使分析变得简单。此外还可使用威布尔危险值分析法(Weibull hazard analysis, WHA), 这是一种能够直接预测食品货架期的统计学方法, 可使分析更直观、全面。

5 结 论

通过研究水产品的新鲜度和货架期预测模型方面的内容, 可以更好地对水产品的品质进行预测和控制, 对提高水产品的质量意义重大。水产品的货架期模型还有很多需要提高和改进的地方, 比如在研究多菌种混合培养方面以及温度波动条件方面, 需要对模型进行改进以提高货架期模型的预测精度。此外, 将货架期初级模型和二级模型进行结合, 构建货架期预测模型的三级专家软件, 建立起一套完善的预测系统仍是亟待解决的问题。

参考文献:

- [1] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 1-15.
- [2] LI Tingting, LI Jianrong, HU Wenzhong, et al. Shelf-life extension of crucian carp (*Carassius auratus*) using natural preservatives during chilled storage[J]. Food Chemistry, 2012, 135: 140-145.
- [3] LLOYD M A, HESS S J, DRAKE M A. Effect of nitrogen flushing and storage temperature on flavor and shelf-life of whole milk powder[J]. Journal of Dairy Science, 2009, 92(6): 2409-2422.
- [4] 沈月新. 水产食品学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 56-67.

- [5] DAVID K, PERSIS S. The stability and shelf-life of food [M]. England: Woodhead Publishing Limited, 2000: 6-13.
- [6] CHYTIRI S, CHOULIARA I, SAVVAIDIS I N, et al. Microbiological, chemical and sensory assessment of iced whole and filleted aquacultured rainbow trout[J]. Food Microbiology, 2004, 21: 157-165.
- [7] 肖枫, 康怀彬, 辛利. 鲫鱼在冷藏过程中的鲜度变化[J]. 食品科学, 2007, 28(7): 508-511.
- [8] SHAHIDI F. 肉制品与水产品的风味[M]. 李洁, 朱国斌, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 123-131.
- [9] 许振伟, 杨宪时. 鱼类腐败菌腐败能力的研究进展[J]. 湖南农业科学, 2010, 19: 130-133.
- [10] 罗庆华. 水产品特定腐败菌研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(23): 468-472.
- [11] AIASALVAR C, TAYLOR K D A, OKSUZ A, et al. Freshness assessment of cultured sea bream (*Sarus aurata*) by chemical, physical and sensory methods[J]. Food Chemistry, 2001, 72(1): 33-40.
- [12] 黄丽娟, 韩剑众. 生肉新鲜度评定方法研究进展[J]. 肉类研究, 2007(6): 37-39.
- [13] 惠国华, 陈裕泉. 基于电子鼻的低温贮藏草鱼品质预测方法研究[J]. 传感技术学报, 2012, 25(2): 157-161.
- [14] 孙永海, 赵锡维, 鲜于建川. 基于计算机视觉的冷却牛肉新鲜度评价方法[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 104-107.
- [15] 石丽敏, 黄岚, 梁志宏. 冷鲜猪肉的新鲜度评价研究进展[J]. 肉类研究, 2011, 25(12): 40-43.
- [16] 朱金虎, 黄卉, 李来好. 食品中感官评定发展现状[J]. 食品工业科技, 2012, 33(8): 398-401.
- [17] 王二霞, 赵健. 感官评价原理及其在肉质评价中的应用[J]. 肉类研究, 2008(4): 71-74.
- [18] 李苗云, 张秋会, 高晓平. 冷却猪肉贮藏过程中腐败品质指标的关系研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(7): 168-171.
- [19] 中华人民共和国卫生部. 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [20] SABRINA M, MIREILLE C, EMMANUEL J, et al. Evaluation of the spoilage potential of bacteria isolated from spoiled cooked whole tropical shrimp (*Penaeus vannamei*) stored under modified atmosphere packaging [J]. Food Microbiology, 2014, 40: 9-17.
- [21] 陈莎莎, 陈中祥, 杨桂玲, 等. 水产调味品中挥发性盐基氮的测定[J]. 中国调味品, 2011, 36(9): 91-93.
- [22] 朱文秀, 候燕, 赵继献. 自动定氮仪与国标凯氏定氮法测定油菜籽蛋白质含量的比较研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(26): 10826-10827.
- [23] 林亚青, 房子舒. 猪肉新鲜度检测方法综述[J]. 肉类研究, 2011, 25(5): 62-65.
- [24] 刘亚, 章超桦, 陆子锋. 高效液相色谱法检测水产品种的 ATP 关联化合物[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(6): 137-141.
- [25] 佟懿, 谢晶. 鲜带鱼不同贮藏温度的货架期预测模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 301-305.
- [26] OCANO-HIGUERA V M, MAEDA-MARTINEZ A N, MARQUEZ-RIOS E, et al. Freshness assessment of ray fish stored in ice by biochemical, chemical and physical methods[J]. Food Chemistry, 2011(125): 49-54.
- [27] HERNANDEZ M D, LOPEZ M B, ALVAREZ A, et al. Sensory, physical, chemical and microbiological changes in aquacultured meagre (*Argyrosomus regius*) fillets during ice storage[J]. Food Chemistry, 2009, 114: 237-245.
- [28] GIMENEZ B, GOMEZ-GUILLEN M C, PEREZ-MA-TEOS M, et al. Evaluation of lipid oxidation in horse mackerel patties covered with borage-containing film during frozen storage[J]. Food Chemistry, 2011, 124(4): 1393-1403.
- [29] 魏艳丽, 张坤生, 任云霞. 乳化型香肠脂肪氧化值 TBA 测定方法的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(6): 336-340.
- [30] 赵淑娥. 硫代巴比妥酸法(TBA 模型)预测鱼糜制品保藏货架期研究[J]. 食品科技, 2012(2): 26-27.
- [31] 马妍, 谢晶, 周然, 等. 暗纹东方鲀不同贮藏温度货架期模型的预测研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(6): 390-393, 408.
- [32] 王丽, 刘兆丰, 励建荣. 近红外光谱技术快速检测猪肉新鲜度指标的方法研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(6): 159-165.
- [33] 李来好, 王国超, 郝淑贤, 等. 电子鼻检测冷冻罗非鱼肉的研究[J]. 南方水产科学, 2012, 8(4): 1-5.
- [34] 杨华, 耿利华. 不同贮藏温度下美国红鱼风味的电子鼻检测研究[J]. 食品科技, 2011, 36(4): 276-279.
- [35] 韩剑众, 黄丽娟, 顾振宇. 基于电子舌的肉品品质及新鲜度评价研究[J]. 中国食品学报, 2008, 8(3): 125-131.
- [36] TIAN Xiuying, CAI Qiang, ZHANG Yongming. Rapid classification of hairtail fish and pork freshness using an electronic nose based on the PCA method[J]. Sensors, 2012, 12: 260-277.
- [37] 黄星亦, 周芳, 蒋飞燕. 基于嗅觉可视化技术的猪肉新鲜度等级评判[J]. 农业机械学报, 2011, 42(5): 142-145.
- [38] 黄懿, 李小昱, 王为, 等. 多源信息融合技术的猪肉新鲜度检测方法研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(12): 2536-2540.
- [39] IGLESIAS J, MEDINA I, BIANCHI F, et al. Study of the volatile compounds useful for the characterisation of fresh and frozen-thawed cultured gilthead sea bream fish by solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2009, 115(4):

- 1473 – 1478.
- [40] NICHOLAS P L, JACQUELINE R D, MATTHEW R M. Determination of volatile compounds in New Zealand Greenshell™ mussels (*Perna canaliculus*) during chilled storage using solid phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2013, 136(1): 218 – 223.
- [41] 曹悦, 陆利霞, 熊晓辉. 食品货架期预测新技术发展 [J]. 食品研究与开发, 2009, 30 (5): 165 – 168.
- [42] 张一敏. 冷却牛肉假单胞菌生长动力学模型及货架期预测模型的研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.
- [43] 李学英, 许钟, 杨宪时, 等. 大黄鱼产 H₂S 菌生长动力学模型和货架期预测 [J]. 现代食品科技, 2010, 26 (9): 921 – 925.
- [44] STEFANIE B, ANTONIA A, BTIGITTE P, et al. A predictive shelf life model as a tool for the improvement of quality management in pork and poultry chains [J]. Food Control, 2013, 29(2): 451 – 460.
- [45] SUMIT G, GYANENDRA K G. Artificial neural expert computing models for determining shelf life of processed cheese [J]. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2012, 2(3): 333 – 338.
- [46] NGA T T M, MARIA G, HELENE, et al. Continuous quality and shelf life monitoring of retail-packed fresh cod loins in comparison with conventional methods [J]. Food Control, 2011, 22: 1000 – 1007.
- [47] 田秋实, 谢晶, 励建荣. 白鲢鱼糜制品货架期模型的建立 [J]. 食品工业科技, 2009, 30 (4): 70 – 72.
- [48] 蒋慧亮, 郭全友, 杨宪时, 等. 大菱鲆 0, 25℃ 贮藏的鲜度变化和货架期 [J]. 海洋渔业, 2011, 33 (4): 447 – 454.
- [49] 程凤林. 食品微生物生长预测模型 [J]. 福建电脑, 2011(5): 16 – 24.
- [50] 梁琼, 万金庆, 王国强. 冰温下贮藏的青鱼片菌落增长的预测数学模型 [J]. 大连水产学院学报, 2010, 25(1): 80 – 84.
- [51] 周康, 刘寿春, 李平兰, 等. 食品微生物生长预测模型研究新进展 [J]. 微生物学通报, 2008, 35(4): 589 – 594.
- [52] 崔正翠, 许钟, 杨宪时, 等. 大菱鲆腐败菌生长动力学研究和货架期预测 [J]. 海洋渔业, 2010, 32 (4): 454 – 460.
- [53] JUDITH K, HENNING C, ANTONIA H, et al. A novel photochromic time-temperature indicator to support cold chain management [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 45(2): 208 – 215.
- [54] ZHANG Yimin, MAO Yanwei, LI Ke, et al. Models of *Pseudomonas* growth kinetics and shelf life in chilled *Longissimus dorsi* muscles of beef [J]. Asian-Aust J Anim Sci, 2011, 24(5): 713 – 722.
- [55] 王铭海, 郭文川, 商亮, 等. 基于近红外漫反射光谱的多品种桃可溶性固形物的无损检测 [J]. 西北农林科技大学学报, 2014, 42(2): 142 – 148.

Review on Freshness Comprehensive Evaluation and Establishment of Prediction Model for Aquatic Products

LI Jianrong^{1,2,3}, LI Tingting^{2,4}, DING Ting³

(1. College of Food Science and Technology, Bohai University/National and Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China;

2. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

4. College of Life Science, Dalian Nationality University, Dalian 116600, China)

Abstract: Aquatic product freshness evaluation standards were reviewed in this paper, including the traditional freshness evaluation methods and some kinds of new methods in recent years. Meanwhile, shelf-life predicting models of aquatic products were also introduced, including primary shelf-life model, secondary shelf-life model and tertiary shelf-life model. Moreover, the main problems and the research tendency of freshness comprehensive evaluation and establishment of shelf-life model of aquatic products were discussed, aiming to provide the convenience for the future research of aquatic products.

Key words: aquatic products; freshness; shelf-life; prediction model

(责任编辑: 叶红波)