

罗建波,李应仁,刘雪华,等.我国渔业生态环境质量评价研究进展[J].江苏农业科学,2020,48(2):52-57.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.02.009

我国渔业生态环境质量评价研究进展

罗建波^{1,2},李应仁¹,刘雪华²,黄 瑛¹,穆希岩¹,李绪兴¹,雷云雷¹,沈公铭¹

(1. 中国水产科学研究院/农业农村部渔业生态环境监测中心,北京 100141; 2. 清华大学环境学院,北京 100084)

摘要:渔业生态环境质量监测和评价是管理渔业生态环境的基础。对于渔业生态环境质量评价来讲,管理上常用单因子法评价。近年来,某些环境质量评价领域常用方法如内梅罗指数法、有机污染指数法、富营养化指数法、主成分分析法等也被借鉴应用在不同的渔业水域环境质量评价中。本文结合渔业行业特征,对行业领域内常用的渔业生态环境评价方法进行了归纳总结,对方法的原理、运用和优缺点进行了分析说明;对近年来渔业生态环境质量评价科研进展进行了综述,在此基础上,总结提出开展渔业生态环境质量评价的工作步骤;分析了目前渔业生态环境质量评价在评价方法开发和实际应用管理等方面存在的问题,并对研究发展方向进行了展望。

关键词:渔业生态环境;环境质量评价;评价指标;评价方法;评价流程

中图分类号: X822.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)02-0052-05

中华人民共和国渔业法实施细则定义渔业水域是指中华人民共和国管辖水域中鱼、虾、蟹、贝的产卵场、索饵场、越冬场^[1],与普通水域相比,渔业水域通常是水产品的产地,与人类身体健康和水生生物健康具有更为密切的联系,因此渔业水域生态环境现状和变化趋势需要特别的关注和管理。

开展科学合理管理的前提是准确客观的评价渔业生态环境质量状况,目前在渔业领域常用的方法包括单因子法、内梅罗污染指数法、有机污染指数法、富营养指数法、生物多样性指数法、灰色关联法、主成分分析法、综合质量指数法等,适用于不同目的和范围的评价。其中,单因子评价法是目前渔业生态环境管理实践中采用的方法,其他方法多见于学术研究。

本文目的是对目前实际渔业环境管理和学术研究中渔业生态环境评价方法进展进行归纳梳理,对各种方法的优缺点进行讨论。并在总结目前开展的评价研究基础上,归纳总结开展渔业生态环境现状评价的过程,分析目前渔业生态环境评价存在

的问题,并对未来的研究发展方向进行展望。

1 渔业生态环境质量评价方法

1.1 单因子法

该方法是目前渔业环境评价最为常用的评价方法,也是渔业水质标准要求:“标准值单项超标,即表明不能保证鱼、虾、贝正常生长繁殖,并产生危害,危害程度应参考背景值、渔业环境的调查数据及有关渔业水质基准资料进行综合评价^[2]。”该方法将实际监测值与标准值进行比较,得出环境质量好坏的结论,计算公式:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中: P_i 为第*i*项指标污染指数; C_i 为*i*项指标实际检测值; S_i 为*i*项指标标准值。单因子污染指数1.0作为该因子是否对环境产生污染的基本分界线,大于1.0表明调查水域水质已受该因子污染^[3]。

当*i*为溶氧量DO或者pH值时,公式如下:

$$P_{DO} = \frac{|DO_f - DO|}{DO_f - DO_s}, DO \geq DO_s;$$

$$P_{DO} = 10 - 9 \frac{DO}{DO_s}, DO < DO_s;$$

$$DO_f = \frac{468}{31.6 + T} \quad (2)$$

式中: P_{DO} 为溶解氧指数; DO_f 为饱和DO,mg/L; DO_s 为DO的标准值; T 为水温,℃^[4]。

当*i*为pH值时,公式如下:

收稿日期:2018-11-06

基金项目:中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(编号:2016C007);农业财政专项(编号:2130135-0001020)。

作者简介:罗建波(1985—),男,四川广安人,博士研究生,助理研究员,主要从事渔业资源环境保护研究。E-mail:luojb@cafs.ac.cn。
通信作者:沈公铭,硕士,副研究员,主要从事渔业资源环境管理及研究。E-mail:sgm@cafs.ac.cn。

$$P_i = \frac{C_i - C_m'}{C_m - C_m'} \quad (3)$$

式中: C_m' 为 pH 值标准的上限和下限的平均值; C_m 为 pH 值的上限或下限^[5]。

该方法具有操作简单、容易理解的优点。单因子评价法对水质从严要求,能够确保水体安全,但有时会由于过于严格的要求把水域使用功能评价得偏低,而且各评价参数之间互不联系,不能全面反映水体污染的综合情况^[6]。《2016 年中国渔业生态环境状况公报》主要采用单因子评价法,结果显示,中国渔业生态环境状况总体保持稳定,但局部水域氮磷污染严重^[7]。蔡燕红等采用单因子评价法评价象山港海水养殖功能区环境质量,结果表明,象山港海水养殖功能区营养盐类超标,导致养殖区整体水质超出四类海水水质标准,已远远超出二类海水水质标准(渔业水质标准),影响了海水增殖功能区主导功能的发挥^[4]。

1.2 内梅罗指数法

又称最大指数法,是当前国内外进行综合污染指数计算的最常用的方法之一,其计算公式如下:

$$P = \sqrt{\left[\left(\frac{C_i}{S_i} \right)_{\max}^2 + \left(\frac{C_i}{S_i} \right)_{\text{avr}}^2 \right]} / 2 \quad (4)$$

式中: P 为环境污染最大指数; C_i 是 i 指标实测值; S_i 为 i 指标标准值; $\left(\frac{C_i}{S_i} \right)_{\max}$ 为单项指标最大值;

$\left(\frac{C_i}{S_i} \right)_{\text{avr}}$ 为单项指标平均值。

内梅罗指数充分重视某污染物出现的最大浓度值对水质的影响和作用,是一种兼顾极值的计权型多因子环境质量指数。但在污染物波动大时,可能出现 1 个由最大值决定的高峰,反映不出其他污染指数的贡献^[8-9]。王益昌采用内梅罗指数法,评价了 2004—2007 年陕西省有关河流、湖泊水库及部分渔场渔业生态环境状况。结果显示,陕西省渔业环境质量整体趋势处于中度污染水平,主要污染物来自总氮、总磷和铜^[8]。何歆等采用内梅罗指数等评价了广东省广州市重点渔业增殖区环境质量评价,结果表明,2004 年和 2005 年广州市重点渔业增殖区水质内梅罗综合污染指数为 1.65 和 2.40,分别属于轻度污染和中度污染,并且有逐渐加重的趋势,表明大部分养殖区的水质已经受到不同程度的污染,养殖水体环境质量不容乐观^[10]。

1.3 有机污染指数法

有机污染指数法又叫 A 指法,用于衡量水质有

机污染状况,其计算公式如下:

$$A = \frac{C_{\text{COD}}}{C_{\text{COD}}'} + \frac{C_{\text{DIN}}}{C_{\text{DIN}}'} + \frac{C_{\text{PO}_4^{3-}-\text{P}}}{C_{\text{PO}_4^{3-}-\text{P}}'} - \frac{C_{\text{DO}}}{C_{\text{DO}}'} \quad (5)$$

式中: COD 为化学需氧量; DIN 为溶解性无机氮; PO_4^{3-} 为活性磷酸盐; DO 为溶氧量。分子代表各项指标实测值,分母表示标准值。当 $A < 0$, 为优良; 当 A 在 0~1 之间, 为清洁; 当 A 在 1~2 之间, 为较清洁; 当 A 在 2~3 之间, 为轻度污染; 当 A 在 3~4 之间, 为中度污染; 当 $A > 4$, 为严重污染^[11-12]。贾晓平等用有机污染指数法,评价了北部湾渔场海水有机污染营养状况,评价结果显示海水有机污染指数 A 为 -0.881~0.239, 平均 -0.411, 水质总体上为优良等级。其中最高值出现在夏季,水质污染程度为 2 级,即较好等级,其他 3 个季节水质均处于优良等级^[11]。沈公铭等应用有机指数法,评价了 2009—2011 年间莱州湾渔业水域水环境质量,从有机污染指数来看,2010 年水质质量较好,污染程度较轻,但 2009 年和 2011 年海水受有机污染较为严重,属于严重污染状况^[12]。

1.4 富营养化指数法

海水渔业水域的富营养化程度评价一般采用营养质量指数法(NQI 指数)或富营养指数法(E 值法)。湖泊渔业水域可按照湖泊营养状态指数(TSI)法进行营养状态评价。

NQI 营养指数法计算公式如下:

$$\text{NQI} = \frac{C_{\text{COD}_i}}{C_{\text{COD}_s}} + \frac{C_{\text{DIN}_i}}{C_{\text{DIN}_s}} + \frac{(C_{\text{PO}_4^{3-}-\text{P}})_i}{(C_{\text{PO}_4^{3-}-\text{P}})_s} \quad (6)$$

式中: NQI 为海水营养水平指数,各分子分别为 COD、DIN 和 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 的实测浓度值,分母为各因子的评价标准值,当 $\text{NQI} < 2$ 时,为贫营养状态;当 NQI 在 2~3 之间,为中营养化状态,当 $\text{NQI} > 3$,为富营养化状态^[11]。

蒋国昌等参照日本学者提出了一种富营养化指数计算公式^[13]:

$$E = \frac{C_{\text{COD}} \times C_{\text{DIN}} \times C_{\text{PO}_4^{3-}-\text{P}}}{1\ 500} \quad (7)$$

式中: E 值在 0~0.5 之间,贫营养;0.5~1.0 之间,中营养; > 1 富营养状态。 C_{COD} 、 C_{DIN} 、 $C_{\text{PO}_4^{3-}-\text{P}}$ 分别为海水中 COD、DIN 和 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 的实测浓度值; C_{COD} 单位为 mg/L, C_{DIN} 、 $C_{\text{PO}_4^{3-}-\text{P}}$ 单位为 $\mu\text{g/L}$ ^[11]。马祖友等提出,另外 1 种富营养化指数法, E 值计算公式^[14]为:

$$E = \frac{L_{\text{COD}} \times L_{\text{DIN}} \times L_{\text{DIP}}}{4\ 500} \quad (8)$$

式中: L_{COD} 含量单位为, mg/L; L_{DIN} 含量的单位为, $\mu\text{g/L}$; L_{DIP} 含量以 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 含量表示, $\mu\text{g/L}$, 且均为现场测定值。一般当 $E \geq 1$ 就可视为富营养化, E 越大, 则富营养化程度越高。

湖泊渔业水域可按照湖泊营养状态指数 (TSI) 法进行营养状态评价, 分营养状态指数计算公式:

$$\text{TSI} [\text{叶绿素 a (Chl a)}] = 10 \times (2.46 + 1.091 \ln \text{Chl a}); \quad (9)$$

$$\text{TSI} (\text{TP}) = 10 \times (9.436 + 1.624 \ln \text{TP}); \quad (10)$$

$$\text{TSI} (\text{TN}) = 10 \times (5.453 + 1.694 \ln \text{TN}); \quad (11)$$

$$\text{TSI} (\text{COD}_{\text{Mn}}) = 10 \times (0.109 + 2.661 \ln \text{COD}_{\text{Mn}}) \quad (12)$$

式中: Chl a 单位为 mg/m^3 , 其他指标单位均为 mg/L , 取各 TSI 平均值作为综合评价指数。水体富营养化分级标准为: $\text{TSI} < 30$ 为贫营养, $30 \leq \text{TSI} \leq 50$ 为中营养, $\text{TSI} > 50$ 为富营养^[15-16]。徐勇等运用公式(8)富营养指数法, 对渤海渔业水域富营养状况进行评价^[17], 结果显示, 渤海中部海区水域夏季环境质量从整个调查区域来看, 氮、磷营养盐含量较低, 未表现出明显富营养化。任惠丽等运用富营养状态指数^[15]评价红碱淖富营养状态, 计算结果为: $\text{TSI} (\text{Chl a}) = 25.24$, $\text{TSI} (\text{TP}) = 94.84$, $\text{TSI} (\text{TN}) = 70.52$, $\text{TSI} (\text{COD}_{\text{Mn}}) = 76.48$ 。从分营养指数来看, 除叶绿素处于贫营养水平外, 其他 3 项均达到富营养水平, 综合营养指数为 66.77, 表明红碱淖已处于富营养状态。

1.5 生物多样性指数

水生生物特征指标采用 Shannon - Wiener 多样性指数 (H')、Pielou 均匀度指数 (J) 来计算水生生物的群集特征值, 其计算方法见公式(13)、公式(14)。

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i; \quad (13)$$

$$J = \frac{H'}{\ln s} \quad (14)$$

式中: s 为该站位的生物种类数; P_i 为该站中第 i 种个体数目与该站总个体数目的比值^[12,18]。Shannon - Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数采用分级标准, 当 $H' < 1$ 时, 水体为重污染; 当 $H' = 1 \sim 3$ 时, 水体为中度污染, 其中, 当 $H' = 1 \sim 2$ 时表示 α - 中度污染, 当 $H' = 2 \sim 3$ 时, 表示 β - 中度污染; 当 $H' >$

3 时, 表示水体轻度污染至无污染。当 $J = 0 \sim 0.3$ 时, 水体为重污染; 当 $J = 0.3 \sim 0.5$ 时, 为中污染; 当 $J > 0.5$ 时, 为轻污染^[19]。

沈公铭等运用浮游植物 Shannon - Wiener 多样性指数, 评价 2009—2011 年莱州湾水环境质量状况, 其评价结果为 3 年均属于 α - 中度污染; Pielou 均匀度指数其评价结果均属于轻度污染^[12]。根据 Shannon - Wiener 浮游动物多样性指数, 其评价结果均属于 α - 中度污染; Pielou 均匀度指数其评价结果均属于轻度污染。

1.6 灰色聚类法

在环境质量评价中, 有限的时空监测数据所提供的信息是不完全的, 污染物与环境之间存在着复杂多变的联系, 这种联系往往带有一定的不确定性, 实际上构成了灰色系统的基本特征。灰色聚类分析应用灰色系统理论的思想、方法进行分析, 根据关联矩阵或灰数的白化权函数将一些观测指标或观测对象聚集成若干个可定义类别^[20-21]。

灰色聚类计算的一般步骤如下: n 个聚类样本即各个监测点; m 个聚类指标也就是各个污染指标; 把水质类别作为聚类灰数 (灰类), 用 k ($k = 1, 2, \dots, P$) 表示, 即 P 个环境质量等级。

第 1 步, 给出第 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 个对象关于第 j ($j = 1, 2, \dots, m$) 个指标的样本值 x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m$)。

第 2 步, 确定各灰类白化函数 $f_{kj}(x_{ij})$ (第 j 个指标第 k 个灰类的白化函数 ($j = 1, 2, \dots, m$; $k = 1, 2, \dots, P$))。

第 3 步, 计算聚类权 η_{kj} (第 j 个指标对第 k 个灰类的权重)。按照地面水域的使用目的和保护目标, 确定该水域的参考标准, 对各灰类进行无量化处理。计算权重的方法即考虑到了同种组分在不同灰类中所占份额, 同时还考虑到了同灰类不同组分所占份额, 这种相结合的归一化方法是比较令人可信的方法。

第 4 步, 聚类系数 σ_{ki} 的确定聚类系数 σ_{ki} 可按下式计算:

$$\sigma_{ki} = \sum_{j=1}^m f_{kj}(x_{ij}) \times \eta_{kj} \quad (15)$$

第 5 步, 构造聚类向量 $\sigma_{ki} = \{\sigma_{1i}, \sigma_{2i}, \dots, \sigma_{pi}\}$

第 6 步, 聚类。

按聚类系数最大归类原则, $\sigma_{ki} = \max \sigma_{ki}$ 判断聚类对象属于哪个类别^[22-23]。

平仙隐等应用灰色聚类方法对 2004 年长江口及邻近水域渔业环境水质状况进行评价^[20],结果表明,长江口、杭州湾和舟山群岛水域属于第 3 类海水水质,水质污染程度表现为杭州湾 > 长江口 > 舟山群岛。杭州湾与长江口污染较为严重,舟山群岛水域污染较轻。

1.7 主成分分析法

主成分分析法也称定量分析法,由 Hotelling 于 1933 年首先提出,主要是利用降维思想,把多指标转化为少数几个综合指标的多元统计分析方法。这些指标是原指标的线性组合,且彼此不相关,它可以在力保原始数据丢失最少情况下,对高维变量空间进行降维。主成分分析法能够客观地确定各指标的权重,避免主观随意性,较其他的方法有一定的优越性,是环境质量综合评价的一种简单有效的方法,已广泛运用在重金属污染以及富营养化评价中^[24]。

建立原始变量矩阵,则构成 1 个 $n \times p$ 阶的水质数据矩阵:

$$X = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_p) = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}。$$

将各变量标准化,即对同一变量减去其均值再除以标准差,以消除量纲影响;在标准化数据矩阵的基础上计算原始指标相关系数矩阵 R ;解特征方程,并将其 P 个特征根按大小顺序排列并依据累计方差贡献率 ≥ 0.85 确定 1 个 m 值;依据前 m 个特征值对应的单位特征向量即可以写出主成分计算公式;将各待评样点的标准化数据分别代入各主成分的表达式中,计算得出采样点的各主成分得分 F_i ,以方差贡献率(d_i)为权数求和计算综合得分:

$$F = \sum_{i=1}^m d_i F_i。 \quad (16)$$

各项得分值即是对水体采样点污染程度的量化描述^[25]。滕瑶等采用主成分分析法^[26],分析评价靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区生态环境质量状况,结果显示,靖海湾保护区调查海域主要污染物为 DIN、As 和 Zn。以后应加强对靖海湾保护区有机污染、富营养化和重金属(As 和 Zn)的监测和管理。

1.8 综合指标法

严格来讲,综合指标法并不是指唯一的方法,而是研究者根据可用的数据和类型划分设计出的

一种方法,常用公式如下:

$$I_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i。 \quad (17)$$

式中: I_p 为环境综合质量指数; P_i 为各因子分指数。当 $I_p = 0.2$ 时,渔场综合环境质量为优级; I_p 在 0.2 ~ 0.4 之间,为优良; I_p 在 0.4 ~ 0.6 之间,为良好; I_p 在 0.6 ~ 0.8 之间,为一般; I_p 在 0.8 ~ 1.0 之间,为较差; $I_p > 1.0$ 时,为很差。贾晓平等构建的分因子指数包括即海水水质指数、初级生产力水平指数和饵料生物水平指数,并用其评价了北部湾渔场环境综合质量,综合指数为 0.45,总体上处于良好水平^[11]。刘绿叶等使用 NQI 值法、A 值法和标准指数法等对吕四渔场生态环境质量进行了综合评价^[27],综合评价结果表明,吕四渔场环境质量状况大部分时间处于较差状态。因此,其生态环境质量有待改善。邹丽珍采用水环境质量综合评价法,分因子为监测指标单因子评价结果^[28],综合评价结论是福建省三明市 7 个水库(库区)中街面水库水环境综合评价指数 P 值为 $0.173 < 0.20$,表明街面水库水质状况良好;其他水库评价指数 P 值介于 0.21 ~ 0.40 之间,表明这些水库的水环境质量总体情况良好,均符合渔业用水。

2 渔业生态环境质量评价过程

笔者通过分析参考文献和本身参与渔业生态环境质量实际评价,认为渔业生态环境质量评价过程大致可以分为 5 个步骤:(1)明确评价范围;(2)选择合适评价指标;(3)开展实际监测搜集环境数据;(4)选择评价标准和建立分级标准;(5)开展环境质量评估并得出评价结果。

2.1 明确评价范围

主要包括评价的时间范围、空间范围以及环境介质范围等。时间范围包括评价是单次评价还是多次评价,是周、月度、季度、年度还是多年评价,单次评价一般为现状评价,多次或多年评价可以进行变化趋势分析和预警评价。空间范围是明确单个监测点、单个渔业水域还是流域、海区评价。环境介质范围通常是指水质评价、底泥评价、水生生物评价以及他们之间的组合。

2.2 其次筛选评价指标

渔业水域生态环境指标应该涵盖水环境质量指标、底泥质量指标、水生生物环境指标等几个方面,但在实际操作过程中,部分研究因为资金或者

技术原因,通常会忽略水生生物指标的评价。常用评价指标包括常规理化指标如温度、盐度、pH 值等,有机污染指标化学需氧量、挥发酚含量、石油类含量等,重金属指标铜锌铅镉含量等、水生生物指标叶绿素 a 含量以及浮游植物、浮游动物、底栖生物多样性等。

2.3 开展实际监测搜集环境数据

按照相关国家或行业监测规范开展监测的布点、样品采集、样品运输存储、前处理、分析测试、数据处理等工作。目前常用环境数据采集过程一般依照《渔业生态环境监测规范》《海水增殖养殖区监测技术规程》《海洋调查规范》(GB 12763.1 ~ GB 12763.7—2007)和《海洋监测规范》(GB 17378.1 ~ GB 17378.5—2007)等技术规定。

2.4 建立评价的方法和分级判断的标准

评价方法通常为单独使用或综合“1.1”节~“1.8”节的方法,评价方法和分级标准通常建立在《渔业水质标准》《海水水质标准》《无公害食品水产品有毒有害物质限量》《贝类净化技术规范》等标准和规范基础上。

2.5 得出渔业生态环境质量状况的评价结论

根据采集到的环境数据和评价方法进行数据计算,得到环境状况的评价结果。

3 结论及展望

渔业生态环境质量评价是对渔业生态系统中各要素优劣程度的定量和定性描述,是环境系统分析的基本方法,通过质量评价可以为环境污染的综合治理、环境规划及管理提供科学依据。虽然渔业水域环境直接关系到人和水生动物的健康,具有非常重要的意义,但当相对于环境领域水环境质量评价来讲,目前研究还存在以下不足:(1)学术研究不重视,开展渔业生态环境评价的研究比较少,难以对实际管理提供支撑。实际管理过程以单因子评价法为主,但单因子方法有明显的缺陷,难以满足综合管理需求。(2)渔业环境质量评价方法研究主要集中在借鉴应用环境领域存在的方法,缺乏对原理的研究和阐述,且不同方法之间缺少对比性研究,各个研究均属自说自话,对方法的合理性难以评价。(3)对于综合性评价方法,没有大家公认的统一指标和分级标准,指标选取和质量分级均比较主观,不能准确客观反映渔业生态环境质量状况,评价结果缺少对比性。如对于富营养化状况评

价研究,当 E 值 >1 ,公式(7)和公式(8)均可判断水质为富营养化,但二者计算公式却完全不一样,公式(7)计算的 E 值是公式(8)的3倍。(4)对于新出现的一些环境质量评价方法,如神经网络、层次分析法等缺少应用和研究。

对于渔业生态环境质量评价,笔者认为下一步应该开展渔业水质基准和标准的研究,构建科学合理的渔业生态环境质量指标体系,为开展客观科学评价打下基础。加强环境评价和数学之间的交叉渗透,从原理上建立更科学合理的评价方法。建立公认统一的评价指标和分级标准,让相关研究具有可比性,从而便于推广实施。同时,可以结合GIS遥感环境数据,当地渔业水域污染源分布和种类,与主要污染物评价结果相符合程度等,交叉验证评价方法的科学性。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国农业农村部渔业渔政局. 水生生物资源养护管理法律法规[M]. 北京:中华人民共和国农业农村部渔业渔政局,2010.
- [2] 国家环境保护局. 渔业水质标准:GB 11607—1989[S]. 北京:中国标准出版社,1989.
- [3] 郑钦华. 福建三都澳渔业水域环境监测与评价[J]. 宁德师专学报(自然科学版),2010,22(3):250-254,267.
- [4] 蔡燕红,项有堂. 象山港海水养殖功能区环境质量评价[J]. 海洋通报,2002,21(4):91-95.
- [5] 柯常亮,王增焕,李刘冬,等. 广东省流沙湾贝类养殖环境质量评价[J]. 江苏农业科学,2011,39(1):336-338.
- [6] 李茜,张建辉,林兰钰,等. 水环境质量评价方法综述[J]. 现代农业科技,2011(19):285-287,290.
- [7] 中国水产科学研究院. 2016 年中国渔业生态环境状况公报[R]. 2016.
- [8] 王益昌. 陕西省渔业水域环境质量评价研究[J]. 中国渔业经济,2008(6):59-62.
- [9] 姜北. 海河流域水环境质量评价与预测方法研究[D]. 郑州:华北水利水电大学,2017.
- [10] 何歆,冯佳和,李松青,等. 广州市重点渔业增殖区环境质量评价[J]. 水产科学,2007(3):142-145.
- [11] 贾晓平,杜飞雁,林钦,等. 海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法探讨[J]. 中国水产科学,2003,10(2):160-164.
- [12] 沈公铭,黄经献,黄瑛,等. 莱州湾渔业水域水环境质量评价[J]. 中国渔业质量与标准,2014(6):50-58.
- [13] 蒋国昌,王玉衡,董恒霖,等. 浙江沿海富营养化程度的初步探讨[J]. 海洋通报,1987(4):38-46.
- [14] 马祖友,夏永健,石志洲,等. 2011 年三沙湾增殖区水环境质量评价[J]. 海洋开发与管理,2013(7):75-78.
- [15] 任惠丽,刘爱华,田强兵,等. 红碱淖渔业环境质量评价[J]. 水生生态学杂志,2012(4):96-99.

王 卉,刘庆菊,韩 平. 基于液相色谱串联高分辨质谱的动物源农产品兽药残留检测研究综述[J]. 江苏农业科学,2020,48(2):57-64.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.02.010

基于液相色谱串联高分辨质谱的动物源农产品 兽药残留检测研究综述

王 卉,刘庆菊,韩 平

[1. 北京农业质量标准与检测技术研究中心,北京 100097; 2. 农业农村部农产品质量安全风险评估实验室(北京),北京 100097;
3. 农产品产地环境监测北京市重点实验室,北京 100097]

摘要:液相色谱-高分辨质谱(LC-HRMS)具有高分辨率、高通量、高精度等优势,在动物源农产品的兽药残留检测研究中显示出极大的潜力。本文综述了2014—2018年LC-HRMS检测动物源农产品中兽药残留的应用研究进展。其中,QuEChERS方法和有机溶剂提取法是常用的兽药残留提取方法,提取液用PSA、C₁₈和氧化铝等吸附剂净化,绿色的样品前处理方法是未来的发展趋势;液相系统和色谱柱的改良,使兽药化合物得到更好的分离,提高了质谱检测的灵敏度;HRMS分辨率和灵敏度的提高,增强了LC-HRMS定性定量分析动物源农产品中兽药残留的能力;数据处理软件的开发和应用,提高了LC-HRMS在兽药残留检测中的工作效率。尽管LC-HRMS在兽药残留检测中取得了进展,但仍存在不足和发展空间。

关键词:液相色谱(LC)-高分辨质谱(HRMS);动物源农产品;兽药残留;样品前处理;色谱分离;质谱检测;数据处理

中图分类号:TS207.5⁺3 文献标志码:A 文章编号:1002-1302(2020)02-0057-08

兽药残留是畜禽产品质量的主要监控指标,兽药的不科学使用会导致动物体内药物蓄积,对人类及环境产生慢性、长远和积累性的影响。兽药经畜

禽代谢后,通常以原药的形式进入环境中,引起土壤污染、水污染和植物蓄积,环境中的兽药残留再通过食物链进入人体,影响人体健康^[1]。当人体中的兽药残留蓄积到一定量时,会引起人体毒性反应,导致癌变、畸变、基因突变等不良后果^[2]。因此,动物源农产品的兽药残留问题已经成为国际上公认的农业和环境问题^[3]。

液相色谱(LC)-高分辨质谱(HRMS)检测技术是动物源农产品中兽药残留检测分析的常规技术手段^[4],LC能够分离非挥发性化合物和大部分挥

收稿日期:2018-11-08

基金项目:农业农村部农产品质量安全风险评估实验室(北京)开放课题(编号:kfkt201703);北京市农林科学院青年基金项目(编号:QNJJ201833)。

作者简介:王 卉(1982—),女,内蒙古鄂伦春人,博士,助理研究员,主要从事农产品安全检测工作。E-mail:wangh@breast.org.cn。
通信作者:韩 平,副研究员,主要从事农产品安全检测工作。
E-mail:hanp@breast.org.cn。

[16]金相灿,刘鸿亮,屠清瑛. 中国湖泊富营养化[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990.

[17]徐 勇,曲克明,赵 俊,等. 渤海中部海区水域夏季环境质量综合评价[J]. 渔业科学进展,2017(2):8-15.

[18]王 晶,焦 燕,任一平,等. Shannon-Wiener多样性指数2种计算方法的比较研究[J]. 水产学报,2015(8):1257-1263.

[19]陈燕琴,申志新,刘玉婷. 黄河一级支流泽曲河春秋季节浮游植物群落结构及多样性评价[J]. 河北渔业,2013(8):16-23,63.

[20]平仙隐,沈新强. 灰色聚类法在海水水质评价中的应用[J]. 海洋渔业,2006(4):326-330.

[21]邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.

[22]邓 璇,陈庆华,张江山. 灰色聚类法在福建晋江水系水质评价中的应用[J]. 环境科学与管理,2010,35(9):187-191.

[23]吴立根,张江山,陈 盛. 灰色聚类法评价山仔水库富营养类型[J]. 环境科学与管理,2007(4):190-192.

[24]周广峰,刘 欣. 主成分分析法在水环境质量评价中的应用进展[J]. 环境科学导刊,2011(1):75-78.

[25]夏 斌,马菲菲,陈碧鹃,等. 海州湾大竹蛏资源保护区海水环境质量评价[J]. 渔业科学进展,2014(6):16-22.

[26]滕 瑶,陈碧鹃,夏 斌,等. 靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区生态环境质量分析与评价[J]. 渔业科学进展,2018,39(2):1-10.

[27]刘绿叶,刘培廷,陈玉生,等. 应用综合评价法研究江苏吕四渔场生态环境质量[J]. 渔业科学进展,2009(5):83-87.

[28]邹丽珍. 三明水库渔业环境质量评价[C]. 全国水库养鱼技术问题与发展交流研讨会论文集,2009.