

壬基酚对 *Americamysis bahia* 种群安全暴露基准浓度的确定*

安 伟 胡建英** 陶 澍

(北京大学环境学院, 北京, 100871)

摘 要 采用正态分布累积函数和幂函数, 分别建立了壬基酚 (NP) 对 *Americamysis bahia* 多代种群暴露影响的浓度-种群周限增长率 (r) 和浓度-种群内禀增长率 (r) 曲线, 根据各自拟合的模型选择基准 (MSC) 值选择幂函数浓度- r 曲线来估算种群安全暴露浓度. 使用浓度- r 曲线的浓度 ($r=0$) 的 95% 置信区间下限作为种群水平上的安全暴露基准浓度, 确定了 NP 对 *Americamysis bahia* 种群多代安全暴露浓度 ($1.87\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$). 这个基准浓度要低于多代暴露实验所获得的 NP 的个体水平上的慢性繁殖毒性的安全浓度 ($12\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$).

关键词 种群, 模型选择基准, 安全暴露基准浓度, 壬基酚.

自从上世纪 80 年代初在英国 River Lee 地区发现鱼类雌雄同体以来, 内分泌干扰物质的污染愈来愈引起人们的重视^[1]. 野外调查和实验室研究证明, 壬基酚 (NP) 是具有雌激素活性的内分泌干扰物质. 关于 NP 的毒性, USEPA 和 EU 都在个体水平上做了系统的毒性评价, 给出了在个体水平上的预测无影响浓度基准, 如对 *Americamysis bahia* 28d 的体长, NOEC 和 LOEC 分别为 $3.9\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 和 $6.7\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ^[2]. Kuhn 采用 28d 的 *Americamysis bahia* 部分生命史, 预测了其 55d 的多代种群数量变化, 并且采用正态分布累积函数拟合了浓度-种群周限增长率 (r) 曲线, 把 $r=1$ 时所对应的浓度作为 NP 的安全暴露的基准浓度 ($16\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)^[3].

研究表明, 种群的内禀增长率 (r) 和周限增长率 (r) 是衡量种群延续能力的一个重要的综合指标 ($r = \ln(\lambda)$), 也常常作为种群水平上的评价终点^[3-5]. 当 $\lambda > 1$ 或 $r > 0$ 时, 表示种群处于安全水平, 否则种群面临萎缩灭绝危险; 当 $\lambda = 1$ (或 $r = 0$) 时, 种群处于安全临界状态^[4, 6]. 因此, 估算污染物对种群的周限增长率或者内禀增长率的影响成为种群水平上生态风险评价的一种重要方法^[3, 5, 8]. 污染物导致种群增长的能力下降到临界状态时, 浓度 95% 置信区间的下限作为种群安全暴露的基准浓度. 低于此域值浓度就意味着 NP 使 *Americamysis bahia* 种群失去增长的能力, 其萎缩灭绝发生的概率小于 5%.

确定种群水平上安全暴露基准浓度目前没有统一的方法. 常用的方法是采用浓度 (C) 响应 (r 或者 λ) 拟合曲线来确定能够保证种群持续增长时的临界浓度 ($r=0$ 或者 $\lambda=1$) 作为种群安全暴露的基准浓度^[4]. 但是拟合的方法很多, 不同的方法得到的安全暴露浓度也不尽相同^[3].

本文采用模型选择基准 (MSC) 选择了具有最优拟合度的拟合方法来确定种群水平上的安全暴露基准浓度^[7].

1 浓度-效应模型

表 1 为 NP 多代暴露下 *Americamysis bahia* 的种群周限增长率 (r) 和内禀增长率 (r). 采用正态分布的累积函数对表 1 所示的种群周限增长率进行拟合.

$$r(C) = r_0 \Phi[(EC_x - C) / \sigma + Z_x] \quad (1)$$

式中, r_0 为无污染暴露时的种群周限增长率; EC_x 为当 r 从 r_0 降低 $x\%$ 时所对应的浓度值; σ 为浓度对数正态分布的方差. r 是 NP 暴露下的种群周限增长率, C 是污染物的浓度值; Φ 是正态分布的累积函数; Z_x 为标准正态分布的方差, 在方差以上的累积概率为 $x\%$.

采用非线性最小二乘法拟合, 拟合所需要的参数如表 1 所示^[3].

2005 年 3 月 25 日收稿.

* 国家自然科学基金优秀创新群体基金资助 (40021101). ** 通讯联系人: huji@urban.pku.edu.cn

表 1 NP多代暴露下 *Americam ysis bahia* 种群的周限增长率和内禀增长率^[3]Table 1 The observed estimate of population growth rate () and intrinsic rate (r) of population growth per day from the 55d multigenerational experiment^[3]

浓度 / $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$	对照 1*	对照 2*	5.79	7.56	10.88	15.75	21.44	33.19	106
	1.03	1.03	1	0.99	0.98	0.99	0.97	0.95	0
r	0.030	0.030	0	-0.010	-0.020	-0.010	-0.030	-0.051	—

*对照 1: 海水 (天然过滤), 对照 2: 三甘醇.

幂函数拟合公式为:

$$r(x) = R_0 [1 - (\frac{C}{x})^p] \quad (2)$$

式中, R_0 为无污染暴露时种群的内禀增长率; x_0 为 $r=0$ 时的浓度值; p 为曲线变化参数; r 为种群内禀增长率; C 为污染物的浓度值.

2 模型选择基准 (MSC) 的计算

两种拟合曲线的拟合效果可以根据 MSC来衡量, MSC定义为:

$$MSC = \ln \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i (x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n w_i (x_i - \tilde{x}_i)^2} \right] - \frac{2p}{n} \quad (3)$$

式中, x_i 为第 i 次观察数据, \bar{x} 为观测值的平均值, \tilde{x}_i 为第 i 次的预测值. p 为参数的个数, n 为观测值的个数. w_i 为数据的权重.

根据表 1的数据, 获得两种拟合函数的参数及 95%的置信区间 (表 2).

表 2 NP多代暴露下两种函数参数^[3]Table 2 Value of function parameters based on the 55d multigenerational experiment^[3]

参数值	正态分布累积函数			幂函数	
	μ	σ	λ	p	R_0
参数值	0.11	1	5.42	0.533	0.029
置信区间上限	0.31	1.02	8.98	0.82	0.042
置信区间下限	-0.09	0.97	1.87	0.25	0.017

3 结果和讨论

图 1和图 2分别表示浓度 - r 和浓度 - r 的拟合曲线. 从图中可以发现, 正态分布累积函数在低浓度和高浓度区拟合效果比较好, 但在中间浓度段, 拟合效果比较差; 对于浓度 - r 曲线, 在 0—33 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 范围内, 拟合效果都相对较好.

为了检验两种函数的拟合效果, 采用表 2所示的参数和表 1的数据, 计算两种拟合函数的模型选择基准 (MSC). 通常情况下, MSC值应该在 2—6的范围内, MSC值愈高拟合效果愈好^[8]. 由于实验浓度设置呈对数均匀分布, 在低浓度区的数据点比较密集, 因此, 低浓度区的拟合不确定性就相对小些, 所以选择权重 w_i 为 $1/x_i$ ^[9]. 使用公式 3计算得到的正态分布累积函数和幂函数的 MSC分别为 1.97和 4.73, 所以采用幂函数来估算基准浓度.

在确定 NP对于 *Americam ysis bahia*种群水平上的安全基准暴露时, 如图 2所示, 当 $r=0$ 时, 可以从浓度 - r 拟合曲线获得相应的浓度值, 也即种群灭绝临界暴露浓度值 5.4 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. 因为在实验中考虑到拟合的不确定性, 所以曲线所对应浓度 ($r=0$) 的 95%置信区间的下限所对应的浓度作为基准浓度 (1.87 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$).

虾类在淡水和海水食物网中占有非常重要的地位, 是鱼类重要的饵料. 其中 *Americam ysis bahia*由于其实验室养殖条件简单, 繁殖速度快, 对污染物敏感, 在美国作为无脊椎实验动物被广泛运用于海水水质标准的制定. 我国目前还没有建立系统的水质标准制定体系, 今后可以借鉴国外基于包括

*Americanysis bahia*在内的实验动物的水质标准制定的方法体系. NP多代暴露实验对于 *Americanysis bahia*的个体水平上的慢性繁殖毒性(每个雌性个体在繁殖时间段所产的个体平均数目)安全暴露浓度为 $12\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ^[4], 远远高于种群水平上的安全暴露基准浓度.

上述结果表明, 风险评价的终点不同, 所获得环境基准浓度也有很大的不同, NP对个体水平上的安全基准浓度无法保护种群水平上的安全. 因此, 壬基酚的种群水平上的安全暴露浓度应该设定为 $1.87\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. 胡建英等关于我国长江等水体中壬基酚的环境调查数据表明, 该水域环境暴露浓度为 $0.02\text{--}6.85\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, 高于种群水平上的基准浓度值, 表明我国长江流域中的无脊椎动物种群所处的生态环境处于一个较高的风险状态^[10].

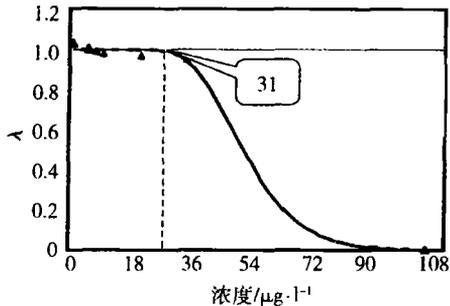


图 1 55d多代暴露下种群周群增长率正态分布的累积函数拟合曲线和域值 ($r=1$)

Fig. 1 Concentration-response (λ) model based on normal cumulative function for *Americanysis bahia* exposed to *p*-nonylphenol in a 55d multigenerational life-cycle assay

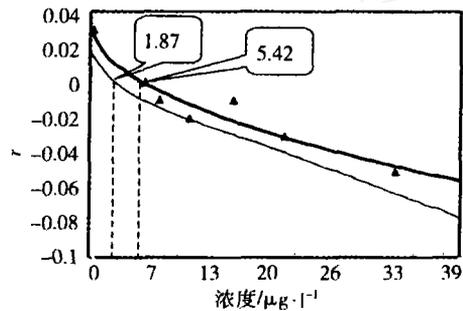


图 2 55d多代暴露下种群内禀增长率的幂函数拟合曲线和域值 ($r=0$)

Fig. 2 Concentration-response (r) model based on power function for *Americanysis bahia* exposed to *p*-nonylphenol in a 55d multigenerational life-cycle assay

4 结论

采用幂函数拟合 NP对 *Americanysis bahia*多代暴露下的浓度- r 效应曲线是有效的. 采用域值浓度 ($r=0$) 的 95%的下限获得在种群水平上的安全暴露浓度为 $1.87\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, 低于个体水平上的慢性繁殖毒性的安全浓度, 表明目前个体水平上的安全浓度并不能保证种群水平上的安全.

参 考 文 献

- [1] Thames W, Hemaphrodite Roach in the River Lee. National Rivers Authority: Nottingham, UK, 1981
- [2] Ward T J, Boeri R L, Chronic Toxicity of Nonylphenol to the Mysid ("Mysidopsis Bahia"). Report Prepared for Chemical Manufacturers Association by Resource Analysts Study No 8977—CMA, 1991
- [3] Kuhn A, Munns W R, Champlin D et al, Evaluation of the Efficacy of Extrapolation Population Modeling to Predict the Dynamics of *Americanysis Bahia* Populations in the Laboratory. *Environ Toxicol Chem.*, 2001, **20** (1) 213—221
- [4] Tanaka Y, Nakanishi U, Model Selection and Parameterization of the Concentration-Response Functions for Population-Level Effects. *Environ Toxicol and Chem.*, 2001, **20** (8) 1857—1865
- [5] Valery E F, Peter C, Is the Per Capita Rate of Increase a Good Measure of Population-Level Effects in *Ecotoxicology*? *Environ Toxicol Chem.*, 1999, **18** (7) 1544—1556
- [6] Sun R, Principles of Animal Ecology, ed 3rd Peking: Beijing Normal University Press, China, 2001
- [7] Newman, M C, Quantitative Methods in Aquatic Ecotoxicology. Lewis Publishers, USA, 1995
- [8] Suter, G W, Ecological Risk Assessment. CRC Press Inc., Baton FL, 1993
- [9] Robert D B, Donald J V, A Statistical Procedure for Modeling Continuous Toxicity Data. *Environ Toxicol and Chem.* 1992, **11** 1485—1494
- [10] 邵兵, 胡建英, 杨敏, 重庆流域嘉陵江和长江水环境中壬基酚污染状况调查. *环境科学学报*, 2002, **22** (1) 12—16

IDENTIFICATION OF NP SAFE BENCHMARK CONCENTRATION FOR AMERICAM YSIS BAHIA POPULATION

AN Wei HU Jian-ying TAO Shu

(Laboratory for Earth Surface Processes, Department of Urban and Environmental Science, Peking University, Beijing, 100871, China)

ABSTRACT

In this paper, the concentration-population growth rate (λ) and concentration-intrinsic rate of population increase (r) relationship curve were development based on multigenerational *Americam ysis bahia* population exposed to *p*-nonylphenol (NP) by normal cumulative function and power function, respectively, and then only the power function was applied to estimate the benchmark concentration considering their goodness of fit (Model selection Criterion). The lower bound of benchmark concentration corresponding to benchmark response ($r = 0$) was recommended as safe benchmark concentration of *Americam ysis bahia* population to $1.87\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. The benchmark concentration is lower than the one ($12\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) estimated based on the chronic fertility toxicity of *Americam ysis bahia* at individual level

Keywords: population, model selection criterion, safe benchmark concentration, *p*-nonylphenol

江西省资溪县负氧离子检测获高值

结合国家杰出青年科学基金项目以及“环境、健康与负氧离子”合作研究课题,中国科学院生态环境研究中心环境分析化学研究组于2005年10月30日至2005年11月7日分别对位于江西省资溪县境内的主要旅游景点:大觉山、法水温泉、狮子山度假村、方家山自然保护区、马头山国家自然保护区,以及以资溪宾馆为中心资溪镇东、南、西、北四个方位的几十个监测点进行了监测,其中方家山自然保护区的负氧离子高达每立方厘米16万个,这在全国来说也是不多见的。说明资溪县作为江西省的重点林业县,全国生态示范区,具有非常好的生态环境。这次监测自始至终都受到了资溪县科技局的大力支持,对监测点的选择与分布提供了许多宝贵的意见。

空气负氧离子是一种带负电荷的空气微粒,它像食物中的维生素一样,对人的生命活动有着很重要的影响,所以有人称其为“空气维生素”,有的甚至认为空气负氧离子与长寿有关,称它为“长寿素”。空气中负氧离子浓度每立方厘米20个以下时,人就会感到倦怠、头昏脑胀;当每立方厘米空气中的负氧离子数在1000—10000个之间时,人就会感到心平气和、平静安定;当每立方厘米空气中的负氧离子数在10000个以上时,人就会感到神清气爽、舒适惬意;而当每立方厘米空气中的负氧离子数高达10万个以上时,就能起到镇静、止喘、消除疲劳、调节神经等防病治病效果。

作为活性氧重要成员之一的负氧离子,其在自然界的含量、分布与生态环境以及人们的健康有着密切的关系。通过对负氧离子的监测,可以揭示环境、健康与负氧离子的相关性,对于区域的生态建设将起到指导性的作用。

由林金明、宋冠群、赵利霞编著的《环境、健康与负氧离子》一书将于2006年由化学工业出版社出版。

(本刊讯)