

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20210311001

陈宣樾, 熊忆茗, 秦占芬. 两栖动物与鱼类对化学物质急性毒性敏感性的比较[J]. 生态毒理学报, 2022, 17(2): 211-215

Chen X Y, Xiong Y M, Qin Z F. Sensitivity of amphibians and fish to chemicals in terms of acute toxicity: A comparison based on literatures [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2022, 17(2): 211-215 (in Chinese)

两栖动物与鱼类对化学物质急性毒性敏感性的比较

陈宣樾^{1,2}, 熊忆茗^{1,2}, 秦占芬^{1,2,*}

1. 中国科学院生态环境研究中心, 环境化学与生态毒理学国家重点实验室, 北京 100085

2. 中国科学院大学, 北京 100049

收稿日期: 2021-03-11 录用日期: 2021-05-27

摘要: 鱼类是化学物质水生生物毒性测试的物种, 同时两栖动物的蝌蚪也作为水生态风险的受体被关注。笔者利用文献报道的蝌蚪和鱼类的 96 h 半致死浓度(96-h half lethal concentration, 96 h-LC₅₀)的数据比较 2 类生物对化学物质急性毒性的敏感性。首先从常用数据库中检索到 371 篇相关文献, 然后对同一化学物质的多个 LC₅₀ 取几何平均值, 获得了 98 种化学物质对 2 类生物 LC₅₀ 的配对数据。对配对数据进行皮尔逊相关性分析, 发现转换后 2 类物种的 96 h-LC₅₀ 显著相关(Pearson's $r=0.839$, $P<0.01$)。根据《全球化学品统一分类和标签制度》对 2 类生物的 LC₅₀ 进行毒性分级, 发现 58 种(59.2%)物质对蝌蚪和鱼类的急性毒性等级相同, 26 种(26.5%)物质对鱼类的毒性等级高于蝌蚪, 14 种(14.3%)物质对鱼类的毒性等级低于蝌蚪。进一步对配对 LC₅₀ 的比值进行分析, 发现 71 种(72.5%)物质对 2 类生物的 LC₅₀ 的差异在 1 个数量级以内, 16 种(16.3%)物质对鱼类的 LC₅₀ 比蝌蚪低一个数量级以上, 仅有 11 种(11.2%)物质对蝌蚪的 LC₅₀ 比鱼类低一个数量级以上。总体来看, 蝌蚪对大部分化学物质急性毒性的敏感性与鱼类相当或者更低, 仅有大概 10% 的化学物质, 蝌蚪对其的敏感性比鱼类更高。因此, 鱼类急性毒性的数据基本可以概括对两栖动物蝌蚪的急性毒性。

关键词: 两栖动物; 蝌蚪; 鱼类; 急性毒性; 敏感性

文章编号: 1673-5897(2022)2-211-05 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Sensitivity of Amphibians and Fish to Chemicals in Terms of Acute Toxicity: A Comparison Based on Literatures

Chen Xuanyue^{1,2}, Xiong Yiming^{1,2}, Qin Zhanfen^{1,2,*}

1. State Key Laboratory of Environmental Chemistry and Ecotoxicology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Received 11 March 2021 accepted 27 May 2021

Abstract: Fish is required in aquatic toxicity test for chemical substances, such as industrial chemicals and pesticides. Besides, as aquatic ecological risk receptors, amphibian tadpoles are also concerned. This study aimed to compare the sensitivity of the two species to chemical substances based on the 96-h half lethal concentration (96 h-LC₅₀) from literatures. First, we obtained 371 relevant studies from the frequently used databases. If there were several LC₅₀ values of a substance from different literatures, the geomean was used as the only LC₅₀ of this substance.

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(21876196); 国家重点研发计划资助项目(2017YFF0211203)

第一作者: 陈宣樾(1998—), 女, 博士研究生, 研究方向为环境毒理学, E-mail: cxyrcees@163.com

* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: qinzhanfen@rcees.ac.cn

The LC_{50} values of 98 substances for tadpoles and fish were paired. Pearson correlation analysis revealed a significant correlation of transformed LC_{50} values between tadpoles and fish (Pearson's $r=0.839$, $P<0.01$). Then, the LC_{50} values were classified into different levels according to the "Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals". The toxicity levels of 58 substances (59.2%) were same for tadpoles and fish, 26 substances (26.5%) have higher levels for fish than tadpoles, while the levels of 14 substances (14.3%) were lower for fish than tadpoles. Moreover, the LC_{50} ratio between tadpoles and fish was also analyzed. We found that the LC_{50} ratios for 71 substances (72.5%) ranged from 0.1 to 10, with 16 substances (16.3%) exhibiting higher LC_{50} ratios than 10, and 11 substances (11.2%) exhibiting lower LC_{50} ratios than 0.1. In terms of acute toxicity, overall, it is concluded that the sensitivity of tadpoles is comparative or lower than that of fish in most cases, with about 10% of substances exhibiting higher toxicity to tadpoles than fish. Therefore, the acute toxicity data for fish can roughly indicate the acute toxicity for amphibian tadpoles.

Keywords: amphibian; tadpole; fish; acute toxicity; sensitivity

近几十年来,全球两栖动物的种群数量减少引起了学术界和公众的广泛关注^[1]。2020 年的评估数据显示,全球有 40% (约 6 000 种) 的两栖动物处于濒危状态^[2]。有学者认为,两栖动物的濒危程度比其他脊椎动物更严重^[3]。目前一般认为,两栖动物种群数量的减少与栖息地改变、气候变化、真菌感染以及化学污染等因素有关^[4]。化学物质对两栖动物的毒性作用得到了越来越多的关注,相应的毒性数据也在增加。

鱼类是化学品、农药等化学物质水生生物毒性测试的要求物种,大部分工业化学品和农药都有鱼类急性毒性的数据。同鱼类一样,两栖动物蝌蚪在水中生活,也面临着水中化学物质的急性损伤,因此也有不少关于两栖动物蝌蚪的急性毒性报道。一些化学物质对蝌蚪和鱼类的急性毒性比较也有一些早期的实验研究。如 Thurston 等^[5]研究了 10 种化学物质对牛蛙蝌蚪和鱼类的 96 h 半致死浓度 (96-h half lethal concentration, 96 h- LC_{50}), 发现二者的 96 h- LC_{50} 接近。Bridges 等^[6]报道 5 种化学物质对北方蟾蜍蝌蚪和虹鳟的 96 h- LC_{50} , 发现虹鳟对甲萘威、五氯苯酚和氯菊酯的急性毒性敏感性更强, 而北方蟾蜍蝌蚪对 4-正壬基酚和铜的敏感性更强。此外, 还有学者利用数据库的信息对更多种的化学品进行分析。Vaal 等^[7]从美国环境保护局 (United States Environmental Protection Agency, US EPA) 的资料中获得了 21 种化学物质对蝌蚪和鱼类的 LC_{50} , 通过主成分分析认为鱼类和两栖类的急性毒性敏感性分布接近。此外, Aldrich^[8]通过对 33 种化学物质的分析, 得出鱼类比蝌蚪更敏感的结论。同样, Weltje 等^[9]对 55 种化学物质的分析也得到相似的结论。

但总体看来, 关于鱼类与两栖类蝌蚪的急性毒性敏感性的问题还需要利用更多的数据进行讨论。

为此, 本文从常用数据库检索文献报道的化学物质对鱼类和两栖动物蝌蚪的 96 h- LC_{50} , 系统比较了 2 类生物的急性毒性敏感性, 以期对化学物质水生毒性测试的生物种选择提供指导。

1 材料与方法 (Materials and methods)

1.1 文献浏览和数据采集

研究方案如图 1 所示, 以检索词汇 "amphibians"、"fish"、" LC_{50} "、"morality" 在美国环境保护局 ECOTOX 数据库^[10] (US EPA ECOTOX) 中检索; 以 "两栖动物" 或 "鱼类" 在关键词中、以 "急性毒性" 在全文中于中国知网^[11] (China National Knowledge Infrastructure, CNKI)、WOS^[12] (Web of Science) 以及 PubMed^[13] (National Library of Medicine) 中搜索 2020 年 11 月以前的文献。对所有检索到的数据进行原始文献追溯。

随后按照如下条件进行筛选: 数据是实验研究中两栖动物蝌蚪和鱼类经过半静态或静态暴露 96 h 后得到的 LC_{50} 。其中两栖动物包含了蝌蚪或幼体的 96 h- LC_{50} , 鱼类则排除了胚胎阶段试验获得的 96 h- LC_{50} 。

1.2 数据分析

同一化学物质对同类物种有多个 LC_{50} 时, 取几何平均数。将所有化学物质按照 CAS 登录号 (Chemical Abstract Service Registry Number, CASRN) 进行分类和匹配。配对的 96 h- LC_{50} 数值通过 Box-Cox 广义幂变换处理后, 进行线性拟合 (Origin, 2018) 和皮尔逊相关分析 (Pearson's correlation, SPSS 2013)。

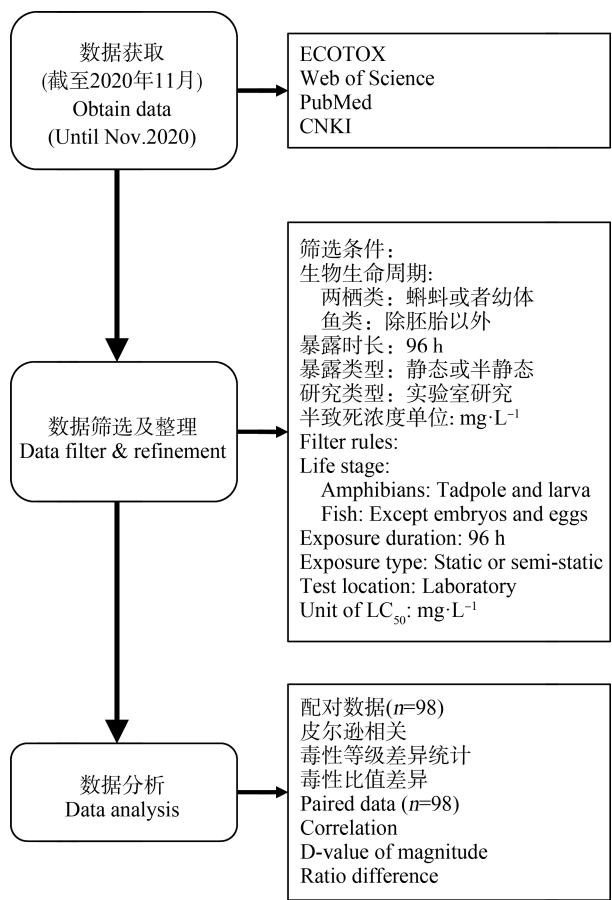


图 1 研究流程图

Fig. 1 Flow chart of research

化学物质的急性毒性按照《全球化学品统一分类和标签制度》^[14]进行分级。此外,由于收集到的数据包含了大量农药的 96 h- LC_{50} ,因此《化学农药环境安全评价试验准则》(GB/T 31270.18—2014)^[15]也被纳入急性毒性分级中。化学物质的急性毒性的分级标准如表 1 所示。计算蝌蚪 96 h- LC_{50} 等级与鱼类 96 h- LC_{50} 等级的差值(D-value)并对其分布进行统计。D-value=0 表明化学物质对鱼类的急性毒性等级与蝌蚪相当,>0 表明对鱼类的急性毒性等级高于蝌蚪,例如毒性等级差异为“3”代表鱼类的急性毒性等级比蝌蚪高了 3 级。

进一步,对配对的 LC_{50} 进行比值比较以分析蝌蚪和鱼类的急性毒性敏感性的差异。计算蝌蚪 96 h- LC_{50} 与鱼类 96 h- LC_{50} 的比值(r),比值被按照不同数量级被划分为 5 类(0.01, 0.1, 1, 10, 100)进行分析。比值等于 1($r=1$)表明化学物质对鱼类的 LC_{50} 与蝌蚪的 LC_{50} 的差异在 1 个数量级以内,两者敏感性相当;比值超过 1($r>10$)表明鱼类的 LC_{50} 比蝌蚪低 1

个数量级以上,敏感性高于蝌蚪;而比值小于 1($r<0.1$)表明鱼类的 LC_{50} 比蝌蚪高 1 个数量级以上。

2 结果 (Result)

2.1 物种间 96 h- LC_{50} 的相关性

从常用数据库中检索到 371 篇相关文献,获得了 98 种化学物质对蝌蚪和鱼类的 96 h- LC_{50} 。Box-Cox 变换后的配对数据之间存在显著的相关性($P<0.01$),2 类生物转换后急性毒性数据的拟合公式为 $y = -0.060 + 0.824x$ (Pearson's $r=0.839$,图 2),其中 x 是 Box-Cox 转换后蝌蚪的 96 h- LC_{50} , y 代表了 Box-Cox 转换后鱼类的 96 h- LC_{50} 。

2.2 急性毒性等级差异

急性毒性等级差异(D-value)的统计结果如图 3 所示。在 D-value 的统计结果中,有 58 种(59.2%)化

表 1 化合物急性毒性等级划分
Table 1 Cut-off value limit for toxicant magnitude class

级别 Magnitudes	96 h- $\text{LC}_{50}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
级别 1 Magnitude 1	$\text{LC}_{50} \leq 0.1$
级别 2 Magnitude 2	$0.1 < \text{LC}_{50} \leq 1$
级别 3 Magnitude 3	$1 < \text{LC}_{50} \leq 10$
级别 4 Magnitude 4	$10 < \text{LC}_{50} \leq 100$
级别 5 Magnitude 5	$100 < \text{LC}_{50}$

注:96 h- LC_{50} 为 96 h 半致死浓度。
Note: 96 h- LC_{50} is 96 h half lethal concentration.

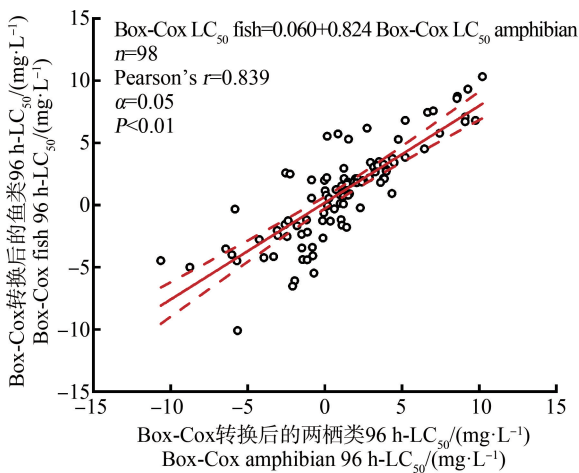


图 2 Box-Cox 转换后两栖类 96 h- LC_{50} 和鱼类 96 h- LC_{50} 相关性

Fig. 2 Correlation between Box-Cox amphibian 96 h- LC_{50} and fish 96 h- LC_{50}

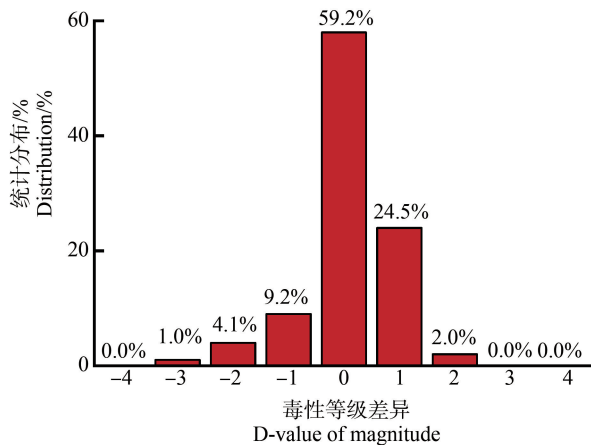


图3 毒性等级 D-value 的分布

注: D-value 等于两栖类 96 h-LC₅₀ 急性毒性等级减去鱼类的毒性等级。

Fig. 3 D-value distribution of magnitude

Note: D-value is equal to the magnitude of amphibian 96 h-LC₅₀ minus that of fish.

合物对蝌蚪和鱼类的急性毒性等级相同。在急性毒性等级不同的物质中,26种(26.5%)物质对蝌蚪的急性毒性等级低于鱼类,氯化镉和全氟辛基磺酸对蝌蚪的急性毒性等级低于鱼类2级。仅有14种(14.3%)物质对蝌蚪的等级高于鱼类,其中阿维菌素对蝌蚪的等级高于鱼类3级,4-正壬基酚、代森锰锌、氯化钾、氯菊酯和纳米二氧化钛这5种物质对蝌蚪的等级比鱼类高2级。

2.3 急性毒性比值差异

如图4所示,71种(72.5%)化学物质对蝌蚪和鱼类 LC₅₀ 的差异在1个数量级以内($0.1 < r < 10$),27种(27.5%)化合物对2类生物的差异超过了1个数量级($r < 0.1$, $r > 10$)。其中,16种(16.3%)物质对蝌蚪的 LC₅₀ 比对鱼类的 LC₅₀ 高1个数量级以上($r > 10$),六氯乙烷对蝌蚪的 LC₅₀ 高于鱼类2个数量级($r > 100$)。仅11种(11.2%)物质对蝌蚪的 LC₅₀ 比对鱼类的 LC₅₀ 低1个数量级以上($r < 0.1$),其中包括了5种对蝌蚪 LC₅₀ 低于鱼类2个数量级($r < 0.01$)的物质(阿维菌素、代森锰锌、氯菊酯、氯化钾和4-正壬基酚)。

3 讨论 (Discussion)

通过分析98种物质对于蝌蚪和鱼类的96 h-LC₅₀,发现蝌蚪与鱼类的96 h-LC₅₀在Box-Cox转换后显著相关。59.2%的化学物质对2类生物的急性毒性等级相同,26.5%的物质对蝌蚪的急性毒性等级低于鱼类;72.5%的化学物质对2类生物的96 h-LC₅₀接近,16.3%的物质对蝌蚪的96 h-LC₅₀高于鱼类。总体来看,蝌蚪的敏感性与鱼类基本相当或更低。这与Vaal等^[7]、Aldrich^[8]和Weltje等^[9]的研究相吻合。所有化学物质中,仅有14种物质(14.3%)对蝌蚪的急性毒性等级高于鱼类,11种(11.2%)物质对蝌蚪的96 h-LC₅₀低于鱼类1个数量级以上。这可能与两栖动物本身的特点有关^[6]。两栖动物表皮的高渗透性^[16]以及相比于其他同营养级更高的转化效率^[17]使两栖动物对某些化学物质更敏感。

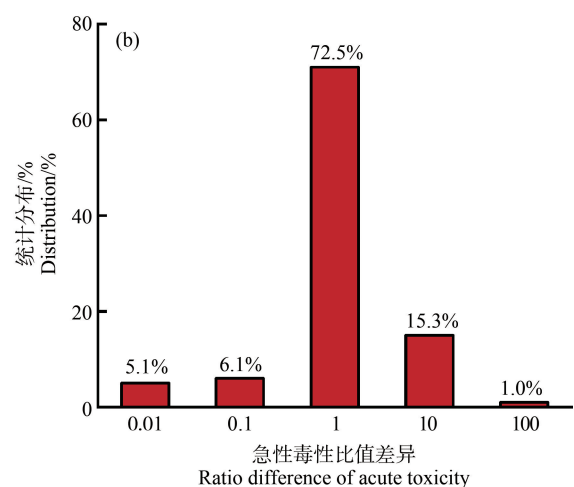
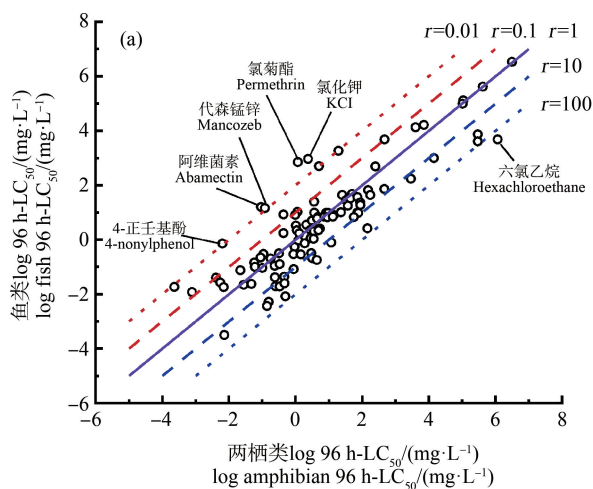


图4 2个物种急性毒性比值差异

注:(a) 两物种 96 h-LC₅₀ 对数转换后的散点图;(b) 两物种 96 h-LC₅₀ 比值(两栖类 96 h-LC₅₀/鱼类 96 h-LC₅₀)分布统计。

Fig. 4 Ratio difference of acute toxicity for amphibians and fish

Note: (a) Scatter plot of amphibian 96 h-LC₅₀ and fish 96 h-LC₅₀; (b) Distribution of (96 h-LC₅₀ amphibian/96 h-LC₅₀ fish).

在我国《化学农药环境安全评价试验准则》^[15]中,要求进行早期蝌蚪的急性毒性测试。鉴于鱼类的急性毒性数据能够基本概括两栖动物蝌蚪的急性毒性数据,因此进行蝌蚪的急性毒性测试的必要性是有待商榷的。然而,相对于早期蝌蚪而言,两栖动物的变态发育期更容易受到化学物质的影响^[18-21],但两栖动物变态发育期急性毒性试验的数据还不够充分^[21],这值得更多的研究。

总之,本研究比较了化学物质对鱼类和两栖动物蝌蚪急性毒性敏感性的差异,发现鱼类对大部分化学物质急性毒性的敏感性与蝌蚪相当或者更高,仅对大概10%的化学物质的急性毒性敏感性比蝌蚪更低。因此认为鱼类急性毒性的数据基本可以概括对两栖动物蝌蚪的急性毒性。但两栖动物特有的变态发育期也值得关注和研究。这项研究可以为化学物质水生毒性测试的生物种选择提供指导。

通讯作者简介:秦占芬(1971—),女,博士,研究员,研究方向为环境物质的内分泌干扰作用及相关的发育毒性,主要关注不良效应的早期分子和细胞事件并以此开发更为敏感和快速的毒性测试方法。

参考文献(References):

- [1] Wake D B, Vredenburg V T. Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians [J]. PNAS, 2008, 105(supplement_1): 11466-11473
- [2] International Union for Conservation of Nature (IUCN). The IUCN red list of threatened species [R/OL]. [2021-03-11]. <https://www.iucnredlist.org/>
- [3] Stuart S N, Chanson J S, Cox N A, et al. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide [J]. Science, 2004, 306(5702): 1783-1786
- [4] Orton F, Tyler C R. Do hormone-modulating chemicals impact on reproduction and development of wild amphibians? [J]. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society, 2015, 90(4): 1100-1117
- [5] Thurston R V, Gilfoil T A, Meyn E L, et al. Comparative toxicity of ten organic chemicals to ten common aquatic species [J]. Water Research, 1985, 19(9): 1145-1155
- [6] Bridges C M, Dwyer F J, Hardesty D K, et al. Comparative contaminant toxicity: Are amphibian larvae more sensitive than fish? [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2002, 69(4): 562-569
- [7] Vaal M, van der Wal J T, Hermens J, et al. Pattern analysis of the variation in the sensitivity of aquatic species to toxicants [J]. Chemosphere, 1997, 35(6): 1291-1309
- [8] Aldrich A. Sensitivity of amphibians to pesticides [J]. Agrarforschung, 2009, 16(11-12): 466-471
- [9] Weltje L, Simpson P, Gross M, et al. Comparative acute and chronic sensitivity of fish and amphibians: A critical review of data [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2013, 32(5): 984-994
- [10] United States Environmental Protection Agency (US EPA). ECOTOX Knowledgebase [DB/OL]. (2020-10-05) [2021-03-11]. <https://cfpub.epa.gov/ecotox/>
- [11] China National Knowledge Infrastructure [DB/OL]. (2020-12-15) [2021-03-11]. <http://www.cnki.net/>
- [12] Web of Science [DB/OL]. (2020-12-18) [2021-03-11]. http://apps.webofknowledge.com/ua_generalsearch.do
- [13] National Library of Medicine [DB/OL]. (2020-12-20) [2021-03-11]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>
- [14] United Nations (UN). Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) [M]. New York and Geneva: UN, 2019
- [15] 国家质量监督及检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 化学农药环境安全评价试验准则: GB/T 31270. 18—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014
- [16] Quaranta A, Bellantuono V, Cassano G, et al. Why amphibians are more sensitive than mammals to xenobiotics [J]. PLoS One, 2009, 4(11): e7699
- [17] Hopkins W A. Amphibians as models for studying environmental change [J]. ILAR Journal, 2007, 48(3): 270-277
- [18] Ortiz-Santaliestra M E, Maia J P, Egea-Serrano A, et al. Validity of fish, birds and mammals as surrogates for amphibians and reptiles in pesticide toxicity assessment [J]. Ecotoxicology, 2018, 27(7): 819-833
- [19] Hayes T B, Falso P, Gallipeau S, et al. The cause of global amphibian declines: A developmental endocrinologist's perspective [J]. The Journal of Experimental Biology, 2010, 213(6): 921-933
- [20] Boyd C E, Vinson S B, Ferguson D E. Possible DDT resistance in two species of frogs [J]. Copeia, 1963(2): 426-429
- [21] Brühl C A, Pieper S, Weber B. Amphibians at risk? Susceptibility of terrestrial amphibian life stages to pesticides [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2011, 30(11): 2465-2472