

◆ 综述与专论 ◆

农药对蛙类的影响研究进展

孔玄庆^{1,3}, 张旭业², 喻快^{1,3}, 欧晓明^{1,2,3*}, 吴晓峰², 李建明^{1,3}, 金晨钟², 郭军²

(1.湖南化工研究院 国家农药创制工程研究中心 / 湖南省农用化学品重点实验室, 长沙 410014; 2. 湖南人文科技学院 / 农田杂草防控技术与应用协同创新中心, 湖南娄底 417000; 3. 湖南加法检测有限公司, 长沙 410014)

摘要: 农药使用量与日俱增, 农药污染日益严重, 导致蛙类的数量和种类逐渐减少。本文根据国内外的研究情况, 从急性毒性、生长发育、组织器官、生理生化及遗传物质等方面进行了农药对蛙类毒害效应的探讨。以期详细认识农药对蛙类的影响、保护蛙类和环境提供资料参考。

关键词: 农药; 蛙类; 毒害效应

中图分类号: TQ 450.2+6 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-5284.2020.02.004

Research Progress in Effects of Pesticides on Frogs

KONG Xuanqing^{1,3}, ZHANG Xuye², YU Kuai^{1,3}, OU Xiaoming^{1,2,3*}, WU Xiaofeng², LI Jianming^{1,3}, JIN Chenzhong², GUO Jun²

(1. Hunan Research Institute of Chemical Industry/National Engineering Research center for Agrochemicals/Hunan Provincial Key Laboratory of Agricultural Chemicals, Changsha 410014, China; 2. Hunan University of Humanities, Collaborative Innovation Center for Field Weeds Control/Science and Technology, Hunan Loudi 417000, China; 3. Hunan J & F Test Co., Ltd., Changsha 410014, China)

Abstract: With the increasing use of pesticides, the pollution of pesticides is becoming more and more serious, resulting in a gradual decrease in the number and species of frogs. According to the research situation at home and abroad, the toxic effects of pesticides on frogs were discussed in terms of acute toxicity, growth and development, organs, physiology, biochemistry and genetic material, to provide information for the detailed understanding of the impact of pesticides on frogs and protection of frogs and the environment.

Key words: pesticides; frogs; toxic effects

水稻是我国的主要粮食作物。近年来, 由于劳动力大量转移至城市, 农村劳动力严重短缺。在劳动力不足的情况下, 为保障粮食产量、促进水稻的可持续生产, 水稻直播技术正在大面积使用和推广^[1]。与传统的栽插技术相比, 水稻直播更容易发生病虫害。为保证水稻产量和品质, 农药的使用成为了不可或缺的环节。在不断用药的过程中, 病虫害均产生了相应的抗性, 且抗性逐渐增强。为达到同样的防治效果, 需要通过不断增加用药次数和用药量的方法来实现。这导致环境污染日益加剧, 稻田生态系统的平衡遭到严重破坏。

全球两栖类动物种群衰退现象十分严重, 约1/3

的两栖动物种类受到有害物质的威胁^[2], 有研究证明这些有害物质包括农药^[3]。蛙类是较常见的两栖动物, 其数量的减少和种群的消失与除草剂和杀虫剂的使用都有一定的关系^[4], Bradford等^[5]通过在加利福尼亚28个站点上两次测量多种介质中的农药浓度, 验证了农药浓度与蛙类种群状况(即某一地点2 km范围内适宜水体的比例)呈负相关的假设。稻田中农药的大量使用, 最直接受到影响的便是蛙类。在我国, 黑斑蛙种群数量急剧减少, 已于2004年4月30号被列入世界自然保护联盟濒危物种红色名录^[6], 其他蛙类数量也在急剧下降。蛙类在生态系统中扮演着重要的角色, 并且与人类关系越来越

收稿日期: 2019-09-20

基金项目: 湖南省高校创新平台开放基金项目(16K065); 湖南人文科技学院产学研合作引导项目(2016CXY04)

作者简介: 孔玄庆(1991—), 男, 湖南澧县人, 硕士, 助理研究员, 主要从事农药环境毒理学研究。E-mail: 731815254@qq.com

通信作者: 欧晓明(1964—), 男, 湖南宁远人, 博士, 教授, 主要从事农药残留化学、环境毒理学等研究。E-mail: xmouhn@163.com

越密切,在农业生物防治中能食害虫、保护作物,起到重要的作用,也是反映环境污染的前哨生物^[7]。探讨农药对蛙类的影响,对保护蛙类和环境具有重要的意义。

1 农药对蛙类的急性毒性研究

急性毒性试验是评价农药对蛙类毒性的重要手段,以死亡情况为毒性终点,阐明不同农药剂量与效应之间的关系,根据分析获得的半致死浓度LC₅₀进行毒性评价,可为慢性毒性、遗传毒性等研究提供理论基础。国内外关于不同农药对蛙类急性毒性的研究较多(表1),参照GB/T 31270.18—2014《化学农药环境安全评价试验准则》^[8]进行毒性评价,发现同一农药对不同蛙类的毒性等级不同,可能是品种间的敏感性差异导致的。

表 1 农药对蛙类的急性毒性结果

类别	农药	蛙类	LC ₅₀ / (mg·L ⁻¹)	毒性 等级	数据 来源
杀虫剂	吡虫啉	泽蛙	88.6229	低毒	[9]
	敌百虫	中国林蛙	15.55	低毒	[10]
	敌敌畏	沼蛙	5.680	中毒	[11]
		云南小狭口蛙	51.29	低毒	[12]
	啶虫脒	虎纹蛙	90.55	低毒	[13]
	毒死蜱	花姬蛙	1.63	中毒	[14]
		黑眶蟾蜍	2.34	中毒	[14]
	溴氰菊酯	中华大蟾蜍	0.06914	剧毒	[15]
		中国林蛙	0.06517	剧毒	[15]
	马拉硫磷	中华大蟾蜍	1.81	中毒	[15]
		中国林蛙	1.67	中毒	[15]
		沼蛙	29	低毒	[16]
		黑眶蟾蜍	7.5	中毒	[17]
	三唑磷	印度塘蛙	3.588	中毒	[18]
		花姬蛙	8.10	中毒	[14]
		黑眶蟾蜍	5.54	中毒	[14]
	三氯杀螨醇	泽蛙	10.876	低毒	[9]
		黑斑蛙	8.21	中毒	[19]
除草剂	百草枯	中华大蟾蜍	8.74	中毒	[15]
		中国林蛙	6.49	中毒	[15]
	草甘膦	中华大蟾蜍	205.52	低毒	[15]
		中国林蛙	184.63	低毒	[15]
	丁草胺	沼蛙	0.735	高毒	[11]
		花姬蛙	1.16	中毒	[14]
		黑眶蟾蜍	0.39	高毒	[14]
		乙草胺	2.70	中毒	[14]
	乙草胺	黑眶蟾蜍	1.82	中毒	[14]
		泽蛙	0.677	高毒	[20]
杀菌剂	阿特拉津	东北林蛙	2.99	中毒	[21]
	苯醚甲环唑	花姬蛙	2.95	中毒	[14]
		黑眶蟾蜍	2.69	中毒	[14]
	咪鲜胺	花姬蛙	3.38	中毒	[14]
		黑眶蟾蜍	2.20	中毒	[14]

2 农药对蛙类毒性效应研究

蛙类的生命周期从体外受精开始,经历受精卵、蝌蚪、幼蛙、成蛙4个过程,属于变态发育。胚胎和幼体的生长均在水中完成,且皮肤具有高透性,对农药敏感,在发育过程中易受到农药的胁迫,对蛙类的整个生命阶段均会产生一定的毒性影响。

2.1 农药对蛙类生长发育的影响

在农药的胁迫下,蛙类在不同的生命阶段均呈现出抑制效应,对整个生长发育过程产生负面影响。在胚胎阶段,农药的暴露会导致孵化时间延长,对胚胎发育具有一定的抑制作用^[22]。在蝌蚪阶段,农药的暴露同样也会导致生长发育受到抑制,赛林霖等^[23]发现在0.40 μg/L的高效氯氰菊酯处理下,非洲爪蟾蝌蚪从第51期到完成变态发育所需时间长于对照组;肖永红等^[24]发现中华大蟾蜍蝌蚪的体长、体宽、尾长、尾宽和体质量的增长率均与草甘膦浓度呈极显著负相关,同时还能抑制运动频率,并且对成体的扑食能力产生负面效应;Babalola等^[25]也发现草甘膦对蛙类蝌蚪生长具有抑制效应;马瑜等^[10]研究发现,敌百虫能明显抑制中国林蛙蝌蚪的生长发育;王坤英等^[26]发现噻嗪酮对黑斑蛙的生长有明显的抑制作用。胚胎和蝌蚪对农药的敏感程度也具有一定的差别,孔玄庆等^[22]发现在双唑草腈的胁迫下,非洲爪蟾胚胎较蝌蚪更为敏感;赵艳等^[27]发现在丁草胺的胁迫下,胚后发育的毒性作用明显强于胚胎发育。

农药对蛙类生长发育的影响除了产生抑制效应外,还会在蛙类生长过程中诱导畸变效应。一些野外调查表明两栖类的畸形现象的确与包括农药在内的污染物有关^[28]。Babalola等^[25]研究发现草甘膦对蛙类的致畸指数分别为1.7和1.6;刘迎等^[14]发现农药三唑磷、毒死蜱、乙草胺和丁草胺均能导致花姬蛙蝌蚪尾部出现弯曲;李贤宾等^[29]也发现了乙草胺对热带爪蟾具有致畸效应,表现为腹部水肿、面部畸形、脊柱弯曲;施时迪等^[30]和卢祥云等^[31]分别发现农药对虎纹蛙和黑斑蛙产生的致畸表现为腹部膨大、尾部弯曲。当蛙类出现畸变后,会影响其正常的取食、运动等生命活动,最终导致死亡。

2.2 农药对蛙类器官的影响

蛙类长期暴露在含有农药的水体中,农药会对蛙类体内的鳃、肝脏、精巢、卵巢、胆囊等器官产生毒害作用。Allran等^[32]发现阿特拉津能干扰非洲爪蟾器官的正常发育;Jaclyn等^[33]发现阿特拉津质量浓度

大于200 $\mu\text{g/L}$ 时,对蛙类心肌形态产生负面影响,可能引起心脏组织收缩功能紊乱和功能障碍,对蛙类的存活和寿命均不利;马瑜等^[10]解剖蝌蚪发现,敌百虫对蝌蚪器官的毒性效应表现为鳃腔内充水、内鳃萎缩,从而影响蝌蚪的正常呼吸,肝脏、肠管和肾脏呈灰白色;黄敏毅等^[34]研究发现,三氯杀螨醇对黑斑蛙的胆囊渗透压具有一定的影响,渗透压波动范围较大时,会引起胆道疾病,最终影响蛙类的新陈代谢;耿宝荣等^[11]发现在敌敌畏和丁草胺处理下,沼蛙蝌蚪精巢体积分别缩小68.14%和68.27%,造成性腺发育缺陷;王丹丹等^[35]报道了阿维菌素对黑斑侧褶蛙肝脏损伤较大,损伤程度与药剂浓度呈正相关。综上所述,农药的胁迫可影响器官的各项生理功能,最终可导致呼吸、生殖、消化等系统的运转受到阻碍。

2.3 农药对蛙类抗氧化系统的影响

蛙类暴露于含有农药的水体中,农药会诱导氧自由基的产生。为维持内环境的稳定、保护机体免受伤害,抗氧化系统将会清除氧自由基,以达到动态平衡,当这种平衡被打破,体内氧自由基大量蓄积,会导致过氧化,对细胞造成损害。动物在正常的生理状态下,抗氧化系统能维持体内氧自由基的平衡,其中抗氧化酶是组成抗氧化系统的主要成分,主要包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、谷胱甘肽还原酶(GR)等。抗氧化系统对外界的胁迫比较敏感,其各种酶活性的变化常作为生态环境污染的监测指标^[36]。SOD可以清除体内过量的超氧自由基对不饱和脂肪酸的过氧化作用,从而维持细胞的正常代谢功能,CAT保护生物免受活性氧的损害,是一种催化 H_2O_2 分解成水和氧的抗氧化防御性功能酶,钟碧瑾等^[37]研究发现三唑磷和乙酰甲胺磷对沼水蛙蝌蚪的SOD和CAT活性皆有一定的影响,因此这两种有机磷农药不同程度地改变了沼水蛙蝌蚪抗氧化系统,造成毒害作用。T-AOC是衡量机体抗氧化系统功能状况的综合性指标,其大小反映了机体清除自由基的能力,可以直观地反映环境污染物对生物体的生理毒性影响,常作为检测及评价污染物引起的机体生化效应的一种重要生物标志物^[38-39],郑书梅等^[40]等的研究表明,吡蚜酮会影响镇海林蛙蝌蚪抗氧化酶系统活性的变化,对抗氧化系统产生了毒性。黄修平等^[41]研究发现,高效氯氟菊酯对中华蟾蜍蝌蚪的总抗氧化能力(T-AOC)具有一定的抑制作用,随着时间的延长逐渐降低。

2.4 农药对蛙类遗传物质的影响

农药对蛙类遗传物质的影响主要表现为对遗传物质DNA的损伤和染色体的损伤,也称为遗传毒性。其中DNA的损伤可通过单细胞凝胶电泳试验也称彗星试验来进行鉴别^[42],染色体的损伤可通过微核试验来完成,彗星试验和微核试验在检测污染物对蝌蚪的遗传毒性方面具有较大的应用价值^[43]。李贤宾等^[29]发现乙草胺能引起热带爪蟾蝌蚪血细胞的微核率升高和DNA的损伤,且随着药剂浓度的增加,DNA损伤程度增强;方晓清等^[44]研究发现甲维盐的剂量与镇海林蛙蝌蚪红细胞损伤率及DNA损伤程度呈显著的线性相关关系;王坤英等^[26]也发现噻嗪酮对黑斑蛙外周血细胞DNA具有损伤效应;钟碧瑾等^[45]发现三唑磷对沼水蛙蝌蚪具有遗传损伤效应,其中DNA的损伤具有明显的剂量-效应关系,微核试验中同一染毒时间下,随着三唑磷浓度的升高,蝌蚪的微核率和核异常率总体上随之增加,在同一染毒浓度下,随着染毒时间的增加,低质量浓度组($\leq 0.4 \text{ mg/L}$)微核率呈升高趋势,而高质量浓度组($\geq 1.2 \text{ mg/L}$)微核率则先增加后降低;潘海乙等^[45]发现吡虫啉质量浓度达到0.04 g/L时,红细胞微核率及核异常率产生了极显著的影响;南旭阳等^[46]和林小娜等^[47]分别报道了除草剂精克草星制剂对牛蛙和泽蛙血红细胞的影响,其主要成分为19.4%乙草胺和5.6%苄嘧磺隆,研究均发现血红细胞微核率出现较大的变化,与对照组相比,皆达到了差异显著水平。遗传物质含有蛙类全套遗传信息,在农药的胁迫下,遗传信息的表达可能受到影响,导致蛙类的生存受到不同程度的威胁,轻者发生发育受阻、突变,重者可导致死亡。

2.5 农药对蛙类繁殖能力的影响

蛙类繁殖能力与其生殖系统的健康与否有关。在农药的胁迫下,蛙类的生殖器官和两性分化受到影响,从而影响其繁殖能力。李焕婷等^[48]发现西玛津可能与阿特拉津一样能够通过雌性化/去雄性化作用影响非洲爪蟾睾丸的发育;秦晓飞等^[49]研究发现乙草胺也对非洲爪蟾的睾丸发育有抑制雄性化作用和雌性化作用,睾丸发育不良会影响雄性非洲爪蟾产生精细胞受到影响,影响受精的完成,甚至是丧失生育能力;黄敏毅等^[50]发现三氯杀螨醇能降低黑斑蛙精子活力,减少精子总数,增加精子畸形率,影响黑斑蛙的繁殖和种群发展;Tavera-Mendoza等^[51-52]报道阿特拉津能够严重影响两栖动物非洲爪蟾的睾丸和卵巢的性别分化,Hayes^[53-54]等报道环境

剂量的阿特拉津能导致雄性非洲爪蟾和野外豹蛙的雌雄同体现象;王栋等^[55]发现敌百虫可促进非洲爪蟾卵母细胞生发泡破裂的发生,但高剂量可能通过对细胞毒性等其他生理作用,影响卵母细胞最终成熟,从而影响蛙类的繁殖。

3 展望

20世纪80年代以来,国外逐渐加强开展了环境污染对蛙类的影响研究,并建立相关的保护机制,但国内关于农药对蛙类影响的深入研究相对较少。相关研究人员应开展更深层次、更系统化的研究,从宏观到微观,从个体到分子水平,为探索不同农药对蛙类的致毒机理提供依据,为维持水生生态系统平衡和保护蛙类提供更多的理论依据和指导作用。

参考文献

- [1] 汪汉敏,孙松英.常用茎叶处理剂对直播稻田杂草的防除效果初探[J].湖南农业科学,2015(3):37-39.
- [2] GYLLENHAMMAR I, ERIKSSON H, SÖDERPVIK A, et al. Clotrimazole exposure modulates aromatase activity in gonads and brain during gonadal differentiation in *Xenopus tropicalis* frogs[J]. Aquatic Toxicology, 2009, 91(2): 102-109.
- [3] SAKA M, TADA N, KAMATA Y. Application of an amphibian (*Silurana tropicalis*) metamorphosis assay to the testing of the chronic toxicity of three rice paddy herbicides: Simetryn, mefenacet, and thiobencarb[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2013, 92: 135-143.
- [4] MATERNA E J, RABENI C F, LAPOINT T W. Effects of the synthetic pyrethroid insecticide, esfenvalerate, on larval leopard frogs (*Rana* spp.)[J]. Environmental Toxicology & Chemistry, 1995, 14(4): 613-622.
- [5] BRADFORD D F, KNAPP R A, SPARLING D W, et al. Pesticide distributions and population declines of California, USA, alpine frogs, *Rana muscosa* and *Rana sierrae*[J]. Environmental Toxicology & Chemistry, 2011, 30(3): 682-691.
- [6] The IUCN red list of threatened species. *Pelophylax nigromaculatus* [EB/OL]. [2019-06-25]. <https://www.iucnredlist.org/species/58679/11809026>.
- [7] 秦晓飞,秦占芬,徐晓白.前哨动物在环境污染人体健康风险评估中的应用[J].生态毒理学报,2007,2(4):476-480.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 31270.18—2014,化学农药环境安全评价试验准则[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [9] 王冬兰,余向阳,张存政,等.阿维菌素与吡虫啉、三唑磷对泽蛙蝌蚪的毒性研究[J].江苏农业科学,2008(2):203-205.
- [10] 马瑜,李勃,张育辉.敌百虫对中国林蛙蝌蚪生长发育的毒性效应[J].生态毒理学报,2014,9(3):531-537.
- [11] 耿宝荣,姚丹,张秋金,等.敌敌畏和丁草胺对沼蛙蝌蚪的毒性影响[J].中国环境科学,2005(增刊1):118-121.
- [12] 何海艳,杨红燕,周伟,等.敌敌畏对云南小狭口蛙蝌蚪的急性毒性影响[J].西南林学院学报,2008(5):52-56.
- [13] 符史杭,李玉凤,曹露露,等.农药啶虫脒对虎纹蛙蝌蚪的急性毒性研究[J].北京农业,2014(15):9-10.
- [14] 刘迎,胡燕,姜蕾,等.稻田6种农药对花姬蛙和黑眶蟾蜍蝌蚪的急性毒性评价[J].农药,2015,54(11):825-827;851.
- [15] 柴丽红,王宏元,赵洪峰,等.4种农药对中华大蟾蜍蝌蚪和中国林蛙蝌蚪的急性毒性[J].安全与环境学报,2016,16(6):377-382.
- [16] SAYIM F. Acute toxic effects of malathion on the 21st stage larvae of the marsh frog[J]. Turkish Journal of Zoology, 2008, 32(1): 99-106.
- [17] DAVID M, KARTHEEK R M. Malathion acute toxicity in tadpoles of *Duttaphrynus melanostictus*, morphological and behavioural study[J]. The Journal of Basic & Applied Zoology, 2015, 72: 1-7.
- [18] GIRI A, YADAV S S, GIRI S, et al. Effect of predator stress and malathion on tadpoles of Indian skittering frog[J]. Aquatic Toxicology, 2012, 106/107: 157-163.
- [19] 黄敏毅,陈娟娟,于道平,等.三氯杀螨醇对黑斑蛙蝌蚪的急性毒性效应研究[J].安庆师范学院学报(自然科学版),2011,17(1):66-68.
- [20] 吴长兴,赵学平,吴声敢,等.氰氟草酯对泽蛙蝌蚪毒性及风险[J].浙江农业学报,2011,23(4):771-775.
- [21] 孙胜男,张治斌,王倩,等.阿特拉津和毒死蜱对东北林蛙的急性毒性研究[J].黑龙江畜牧兽医,2017(5):205-208.
- [22] 孔玄庆,欧晓明,金晨钟,等.双唑草腈对非洲爪蟾蝌蚪和胚胎的影响[J].农药,2018,57(7):503-505.
- [23] 赛林霖,薄存香,李兰波,等.高效氯氰菊酯对非洲爪蟾蝌蚪生存和变态发育影响[J].中国职业医学,2014,41(5):502-506.
- [24] 肖永红,廖永强,周昌旭,等.除草剂草甘膦对中华大蟾蜍的慢性毒性[J].四川动物,2007,26(2):430-433.
- [25] BABALOLA O O, TRUTER J C, VANWYK J H. Mortality, teratogenicity and growth inhibition of three glyphosate formulations using frog embryo teratogenesis assay-xenopus[J]. Journal of Applied Toxicology, 2019, 39(1): 1-10.
- [26] 王坤英,赵俊伟,李宁宁,等.噻嗪酮对黑斑蛙胚胎发育和蝌蚪生长的影响及血细胞DNA损伤效应[J].河南师范大学学报(自然科学版),2007(4):203-206.
- [27] 赵艳,刘伟.除草剂丁草胺对黑斑蛙胚胎及胚后发育的毒性作用[J].黑龙江畜牧兽医,2010(23):143-144.
- [28] MANN R M, HYNNE R V, CHOUNG C B, et al. Amphibians and agricultural chemicals: review of the risks in a complex environment[J]. Environmental Pollution, 2009, 157(11): 2903-2927.
- [29] 李贤宾,李少南,袁丙强,等.乙草胺对热带爪蟾的早期致畸效应及遗传毒性研究[J].农药学报,2011,13(1):40-46.
- [30] 施时迪,邵晨.二种除草剂对虎纹蛙蝌蚪的毒性研究[J].科技通

- 报, 2006(2): 173-175.
- [31] 卢祥云, 陈海波, 韩曜平. 几种农药对黑斑蛙黑斑蛙胚胎及蝌蚪的毒性[J]. 四川动物, 2002, 21(2): 84-86.
- [32] ALLRAN J W, KARASOV W H. Effects of atrazine and nitrate on northern leopard frog (*Rana pipiens*) larvae exposed in the laboratory from posthatch through metamorphosis[J]. Environmental Toxicology & Chemistry, 2010, 29(11): 2850-2855.
- [33] JACLYN A J, AMADI I, LUKE C, et al. Cardiotoxicity in African clawed frog (*Xenopus laevis*) sub-chronically exposed to environmentally relevant atrazine concentrations: implications for species survival[J]. Aquatic Toxicology, 2019, 213: 105218.
- [34] 黄敏毅, 季晓丽, 张欣, 等. 三氯杀螨醇对黑斑蛙胆囊渗透压的影响[J]. 光谱实验室, 2011, 28(5): 2465-2467.
- [35] 王丹丹, 赵尔宓. 阿维菌素对黑斑侧褶蛙毒理效应的研究[J]. 四川动物, 2013, 32(3): 334-342.
- [36] BOX A, SUREDA A, GALGANI F, et al. Assessment of environmental pollution at Balearic Islands applying oxidativestress biomarkers in the mussel *Mytilus galloprovincialis*[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology, 2007, 146: 531-539.
- [37] 钟碧瑾, 姚丹, 刘娟娟, 等. 两种有机磷农药对沼水蛙蝌蚪抗氧化系统及MDA浓度的影响[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2009, 25(2): 91-96.
- [38] ALMEUDA J A, DINIZ Y S, MARQUES S F G, et al. The use of the oxidative stress responses as biomarkers in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to in vivo cadmium contamination[J]. Environment International, 2002, 27: 673-679.
- [39] 李安娜, 张迎梅, 李媛伶, 等. 十二烷基硫酸钠对斑马鱼抗氧化能力的影响[J]. 四川动物, 2008, 27(6): 993-996.
- [40] 郑书梅, 陈姣姣, 张秋金, 等. 吡蚜酮对镇海林蛙蝌蚪的急性毒性及抗氧化系统的影响[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2018, 34(6): 72-77.
- [41] 黄修平, 江芸, 耿宝荣. 高效氯氰菊酯对中华蟾蜍蝌蚪的毒性影响[J]. 四川动物, 2013, 32(4): 555-559.
- [42] STEINERT S A. DNA damage as a bivalve biomarker[J]. Biomarkers, 1999, 4(6): 492-496.
- [43] 钟碧瑾, 黄增财, 林玲, 等. 杀虫剂三唑磷对沼水蛙(*Hylarana guentheri*)蝌蚪的遗传毒性研究[J]. 生态毒理学报, 2009, 4(2): 244-250.
- [44] 方晓清, 陈朝霞, 林玲, 等. 氨基阿维菌素苯甲酸盐对镇海林蛙蝌蚪的遗传毒性[J]. 宁德师专学报(自然科学版), 2010, 22(4): 373-376.
- [45] 潘海乙, 南旭阳, 陈院豪, 等. 农药吡虫啉对牛蛙外周血红细胞的影响[J]. 河南科学, 2013, 31(5): 599-602.
- [46] 南旭阳, 戴灵鹏, 贺超燕. 除草剂精克草星胁迫对牛蛙心脏功能和血红细胞的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(6): 1060-1065.
- [47] 林小娜, 南旭阳, 施晶, 等. 除草剂精克草星胁迫对泽蛙血细胞的影响[J]. 河南科学, 2015, 33(1): 39-43.
- [48] 李焕婷, 秦占芬, 秦晓飞, 等. 除草剂西玛津对非洲爪蟾生存和性腺发育的影响[J]. 生态毒理学报, 2008, 3(3): 280-285.
- [49] 秦晓飞, 秦占芬, 杨蕾, 等. 除草剂乙草胺对非洲爪蟾性腺发育的影响[J]. 生态毒理学报, 2006, 1(2): 135-138.
- [50] 黄敏毅, 季晓丽, 段仁燕, 等. 三氯杀螨醇对雄性黑斑蛙的毒性效应研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2011, 32(3): 70-73.
- [51] TAVERA-MENDOZA L, RUBY S, BROUSSEAU P, et al. Response of the amphibian tadpole (*Xenopus laevis*) to atrazine during sexual differentiation of the testis[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2002, 21(3): 527-531.
- [52] TAVERA-MENDOZA L, RUBY S, BROUSSEAU P, et al. Response of the amphibian tadpole *Xenopus laevis* to atrazine during sexual differentiation of the ovary[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2002, 21(6): 1264-1267.
- [53] HAYES T B, COLLINS A, LEE M, et al. Hermaphroditic, demasculinized frogs after exposure to the herbicide atrazine at low ecologically relevant doses[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2002, 99(8): 5476-5480.
- [54] HAYES T B, HASTON K, TSUI M, et al. Herbicides: feminization of male frogs in the wild[J]. Nature, 2002, 419(6910): 895-896.
- [55] 王栋, 王书惠, 白吉祥. 敌百虫对非洲爪蟾卵母细胞体外成熟的影响[J]. 中国科技投资, 2012(21): 271. (责任编辑: 徐娟)

欧盟禁用毒死蜱和噻虫啉

鉴于在人体健康风险评估讨论中提出的对基因毒性和发育神经毒性的担忧, 欧盟委员会向欧洲食品安全局发出指令, 要求就人类健康评估的可用结果发表声明。经欧洲食品安全局证实: 根据现有资料, 不能排除毒死蜱、甲基毒死蜱具有遗传毒性的可能性。为此, 欧盟不再批准杀虫剂毒死蜱、甲基毒死蜱和噻虫啉的正式决定已在欧盟官方刊物上公布, 为3种活性成分的逐步淘汰拟定了具体日期。明确规定欧盟成员国不得迟于2020年2月16日之前撤销对含有毒死蜱和甲基毒死蜱作为活性物质的植物保护产品进行授权的过渡措施, 相关法规于2月3日起实施生效, 任何使用现有库存的宽限期必须在4月16日前到期。要求欧盟成员国最迟应于2020年8月3日之前撤销关于含有噻虫啉作为活性物质的植物保护产品授权的过渡措施, 宽限期最迟于2021年2月3日届满。

(范小燕译自《AGROW》)