

酸性水与碱性水中 Mg^{2+} 浓度对黑眶蟾蜍蝌蚪存活率的影响叶志强¹, 刘文华¹, 罗斯特², 徐大德^{1*}, 赵健荣¹

(1. 肇庆学院生命科学学院, 广东肇庆 526062; 2. 厦门大学生命科学院, 福建厦门 361102)

摘要 [目的]研究野外黑眶蟾蜍(*Bufo melanostictus*)蝌蚪的生存状况。[方法]研究分别在碱性水(pH 7.5~8.0)以及酸性水(pH 5.5~6.0)2种模拟环境条件下,通过急性毒性试验方法以不同的浓度梯度 Mg^{2+} 对黑眶蟾蜍蝌蚪进行24和48 h的胁迫试验。[结果]在相同浓度梯度和相同观察时间下,黑眶蟾蜍蝌蚪在碱性水中的存活率低于酸性水;不同pH的水环境与 Mg^{2+} 的协同作用显著影响黑眶蟾蜍蝌蚪的48 h存活率($F_{7,32}=3.373, P<0.05$);黑眶蟾蜍蝌蚪在酸性水环境下适宜生存的 Mg^{2+} 浓度范围为1 418.41~1 590.54 mg/L,半致死浓度(LC_{50})为2 357.32 mg/L,安全浓度为521.51 mg/L;在碱性水环境下适宜生存的 Mg^{2+} 浓度范围为1 264.91~1 418.41 mg/L, LC_{50} 为1 879.81 mg/L,安全浓度为533.99 mg/L。[结论]该研究可为今后黑眶蟾蜍的保护提供理论依据。

关键词 黑眶蟾蜍; 蝌蚪; 存活率; Mg^{2+} ; 急性毒性试验

中图分类号 Q494 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)05-060-03

DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2016.05.023

The Influence of Magnesium Concentration for the Survival Rate of *Bufo melanostictus* Tadpoles in the Acidity Water and Alkaline Water

YE Zhi-qiang¹, LIU Wen-hua¹, LUO Si-te², XU Da-de^{1*} et al (1. School of Life Science, Zhaoqing University, Zhaoqing, Guangdong 526062; 2. School of Life Science, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361102)

Abstract [Objective] The aim was to study the survival status of *Bufo melanostictus* tadpoles in the field. [Method] The regular acute toxicity test was carried out that *Bufo melanostictus* tadpoles were breed in the alkaline water (pH 7.5-8.0) and acidity water (pH 5.5-6.0) with different Mg^{2+} concentration gradient for 24 and 48 h. [Result] The results showed that the survival rate of *Bufo melanostictus* tadpoles in the alkaline water was lower than the acidity water in the same condition. Synergistic effects of different pH and Mg^{2+} concentration had a significant effect on the survival rate of *Bufo melanostictus* tadpoles in the 48 h toxicity experiment ($F_{7,32}=3.373, P<0.05$). In the acidity water environment, 48 h toxicity experiment results showed that the optimal Mg^{2+} concentration was 1 418.41-1 590.54 mg/L, the median lethal concentration (LC_{50}) was 2 357.32 mg/L and the safe concentration was 521.51 mg/L. By contract, these three indexes in the alkaline water environment were 1 264.91-1 418.41, 1 879.81 and 533.99 mg/L, respectively. [Conclusion] The study can provide theoretical basis for protection of *Bufo melanostictus*.

Key words *Bufo melanostictus*; Tadpoles; Survival rate; Mg^{2+} ; Acute toxicity test

黑眶蟾蜍(*Bufo melanostictus*)隶属两栖纲(Amphibia)无尾目(Anura)蟾蜍科(Bufonidae)蟾蜍属(*Bufo*)^[1-2],主要分布在我国南部地区,包括广东、广西、福建、云南、香港等。黑眶蟾蜍在肇庆市属于常见种类,其繁殖期一般在3~6月,主要食物来源为昆虫。由于黑眶蟾蜍能够大量捕食农林业的害虫,对促进农林业发展及维持生态平衡具有重要作用^[3]。生物防治作为现代农业防治的重要一环,其中的天敌防治直接反映了农田中各类生物的生存状态(如两栖类等),其生存效果与生态环境的优劣存在密切关系^[3]。然而,随着现代农业的发展,农药及化肥的广泛使用却对农田生态平衡造成一定的负面影响,主要表现为危及农田中各类两栖动物的存活。镁作为化肥中的重要组成成分,在我国南方地区使用量较大,高浓度的 Mg^{2+} 对两栖类幼体具有毒性及致死效应^[4]。为了研究黑眶蟾蜍的野外生存状况,笔者用 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 通过急性毒性试验探讨在酸性水与碱性水中 Mg^{2+} 浓度对黑眶蟾蜍蝌蚪存活率的影响,以期对黑眶蟾蜍的保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 黑眶蟾蜍蝌蚪来源于广东省肇庆学院生物园的水池中,捕获的蝌蚪放进装有当地水源(原池水)的养殖

水箱中,放入水草和碎石等,以模拟蝌蚪野外生活的环境,确保在试验前蝌蚪的活性。

1.2 试验时间与水源 2014年3~5月,在肇庆学院生物园生理实验室中进行试验,气温(23.0 ± 3.8) $^{\circ}C$,水温(19.6 ± 6.8) $^{\circ}C$,水源是经过曝气的原池水,符合试验用水要求。

1.3 药品与仪器

1.3.1 药品。 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$,分析纯,由广东省汕头光华化学厂生产;盐酸,分析纯,由广州化学试剂厂生产。

1.3.2 仪器。日本生产(MOD-EL)型·DJ-200S电子天平、(精度0.000 1 mg)、500 mL烧杯、Thermo Eutech pH计(pH 700)。

1.4 试验方法 参照付泽春等^[5]的研究方法,测定原池水pH范围为7.5~8.0, Na^+ 和 Mg^{2+} 质量浓度分别为1.8和4.5 mg/L,试验所用 Mg^{2+} 的基础浓度为4.5 mg/L。

试验用水:①保持原池水初始各项指标的状态不变,作为试验所用的碱性水;②模拟酸雨的pH,逐滴滴加1 mol/L盐酸至原池水中,将pH调节至5.5~6.0,作为试验所用的酸性水;③配制 Na^+ 、 Mg^{2+} 质量浓度分别为1.8和3 154.6 mg/L的母液。

1.5 试验设计 取酸性母液和碱性母液各75 mL,分别设置3个平行组,取生长状况一致、体重相近的黑眶蟾蜍蝌蚪60尾,每个平行组投入蝌蚪10尾,不投放饵料连续养殖48 h,每12 h换水1次,以保证水体的清洁与pH不变。

Mg^{2+} 的梯度浓度设置为4.5、45.0、450.0、800.0、1 600.0

基金项目 国家自然科学基金项目(31271124);广东省自然科学基金项目(s2013010016062)。

作者简介 叶志强(1957-)男,广东罗定人,实验师,从事动物学方面的研究。*通讯作者,教授,从事动物生理生态方面的研究。

收稿日期 2016-01-08

和 3 000.0 mg/L, 每个浓度梯度设置 3 个平行组, 每个平行组投放黑眶蟾蜍蝌蚪 10 尾, 不换水, 不投饲, 分别在 24 和 48 h 后观察, 确定其 100% 死亡与 0% 死亡的最低浓度范围大致为 800 ~ 2 000 mg/L。根据这个范围以等对数间距法分成 7 个浓度梯度, 稀释原池水后将每个浓度梯度设置 3 个平行组, 每个平行组投放相同规格的黑眶蟾蜍蝌蚪 10 尾, 每 12 h 换水 1 次, 以保证水体的清洁与 pH 不变, 24 和 48 h 后观察 2 组水中各 Mg^{2+} 浓度下黑眶蟾蜍蝌蚪的存活数。

1.6 测定项目与方法 对于黑眶蟾蜍蝌蚪对 Mg^{2+} 的适应能力, 采用存活率 10%、50% 与 90% 为标准来确定; 同时, 计算不同 pH 水环境下 24 和 48 h 各浓度梯度下蝌蚪的存活率, 采用直线回归分析计算致死浓度 LC_{10} 、 LC_{50} 和 LC_{90} , 按照以下

公式计算安全浓度 SC (Safe concentration) [6]: $SC = 0.3 \times 48 h LC_{50}^3 / 24 h LC_{50}^2$ 。

1.7 数据处理 利用 SPSS 22.0 统计软件和 Systat Sigma-Plot 12.1 软件对试验数据进行统计和绘图, 数据在进一步统计检验前, 用 Kolmogorov-Smirnov 和 Bartlett 分别检验其正态性和方差同质性, 采用双因素方差分析进行分析。24 和 48 h 各浓度存活尾数描述性统计值用平均值 \pm 标准误 ($\bar{x} \pm SE$) 表示, 显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与分析

由表 1 和表 2 可知, 当 Mg^{2+} 的质量浓度范围为 800 ~ 1 600 mg/L 时, 碱性水与酸性水环境下均出现黑眶蟾蜍蝌蚪个体死亡现象。

表 1 相同 Mg^{2+} 浓度下碱性水与酸性水中黑眶蟾蜍蝌蚪的 24 和 48 h 的平均存活数与存活率

Table 1 The average survival number and rate in 24 h and 48 h of *Bufo melanostictus* tadpoles in alkaline water and acidity water under the same concentration of Mg^{2+}

Mg^{2+} 浓度 Mg^{2+} concentration mg/L	碱性水 Alkaline water				酸性水 Acidity water			
	24 h 平均存活数//尾	24 h 平均存活率//%	48 h 平均存活数//尾	48 h 平均存活率//%	24 h 平均存活数//尾	24 h 平均存活率//%	48 h 平均存活数//尾	48 h 平均存活率//%
4.5	10	100.0	10	100.0	10	100.0	10	100.0
45.0	10	100.0	10	100.0	10	100.0	10	100.0
450.0	10	100.0	10	100.0	10	100.0	10	100.0
800.0	10	100.0	10	100.0	9	93.3	9	90.0
1 600.0	7	76.7	5	56.7	0	0	0	0
3 000.0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2 碱性水与酸性水条件下相同的 Mg^{2+} 质量浓度范围中黑眶蟾蜍蝌蚪的 24 和 48 h 的平均存活数与存活率

Table 2 The average survival number and rate in 24 h and 48 h of *Bufo melanostictus* tadpoles under the same Mg^{2+} quality concentration in alkaline water and acidity water

Mg^{2+} 浓度 Mg^{2+} concentration mg/L	碱性水 Alkaline water				酸性水 Acidity water			
	24 h 平均存活数//尾	24 h 平均存活率//%	48 h 平均存活数//尾	48 h 平均存活率//%	24 h 平均存活数//尾	24 h 平均存活率//%	48 h 平均存活数//尾	48 h 平均存活率//%
897.08	10	100.0	10	100.0	10	100.0	10	100.0
1 005.94	10	100.0	10	100.0	10	100.0	10	100.0
1 128.02	10	100.0	10	100.0	10	100.0	10	100.0
1 264.91	10	100.0	10	100.0	10	100.0	10	100.0
1 418.41	9	96.7	9	90.0	10	100.0	10	100.0
1 590.54	8	86.7	7	76.7	9	90.0	9	90.0
1 783.56	8	86.7	8	86.7	8	86.7	8	86.7
2 000.00	1	10.0	0	0	6	66.7	5	56.7

由表 1 可知, 在碱性水与酸性水环境下 Mg^{2+} 对黑眶蟾蜍蝌蚪的毒性均呈现为单向剂量效应, Mg^{2+} 质量浓度越高, 急性毒性越大。在 2 种不同水环境下, 不同 Mg^{2+} 浓度对黑眶蟾蜍蝌蚪的 24 h 和 48 h 存活尾数均具有显著影响 (24 h: $F_{7,32} = 4.078$, $P < 0.05$; 48 h: $F_{7,32} = 3.646$, $P < 0.05$)。当 Mg^{2+} 浓度达到 1 418.41 mg/L 时, 碱性水环境下黑眶蟾蜍蝌蚪 24 h 和 48 h 的存活率均明显低于酸性水环境。

由表 3 和表 4 可知, 在相同 Mg^{2+} 浓度下, 酸性水环境与碱性水环境中黑眶蟾蜍蝌蚪对 Mg^{2+} 耐受能力差异明显, 表现为酸性水中黑眶蟾蜍蝌蚪的 24 h LC_{50} 为 2 745.10 mg/L, 而

碱性水中 24 h LC_{50} 为 1 931.82 mg/L; 酸性水环境中黑眶蟾蜍蝌蚪的 48 h LC_{50} 为 2 357.32 mg/L, 碱性水环境中 48 h LC_{50} 为 1 879.81 mg/L。以 48 h LC_{10} 与 48 h LC_{90} 分别为最适生存浓度与最高耐受浓度, 酸性水条件下黑眶蟾蜍蝌蚪最适生存浓度为 1 364.76 mg/L, 最高耐受浓度为 3 349.88 mg/L; 碱性水条件下, 黑眶蟾蜍蝌蚪最适生存浓度为 1 263.48 mg/L, 最高耐受浓度为 2 496.15 mg/L; 酸性水条件下黑眶蟾蜍蝌蚪长期适宜生存的安全浓度为 521.51 mg/L, 碱性水条件下黑眶蟾蜍蝌蚪长期适宜生存的安全浓度为 533.99 mg/L。

表3 酸性水中 Mg^{2+} 浓度对黑眶蟾蜍蝌蚪急性中毒的致死浓度与安全浓度
Table 3 LC and safety concentration of Mg^{2+} in acidity water on *Bufo melanostictus*

Mg^{2+} 浓度 Mg^{2+} concentration mg/L	不同时间存活率		24 h			48 h			SC
	Different time survival rate//%		LC_{10}	LC_{50}	LC_{90}	LC_{10}	LC_{50}	LC_{90}	
	24 h	48 h	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
897.08	100.0	100.0							
1 005.95	100.0	100.0							
1 128.02	100.0	100.0							
1 264.91	100.0	100.0							
1 418.41	100.0	100.0							
1 590.54	90.0	90.0	1 437.91	2 745.10	4 052.29	1 364.76	2 357.32	3 349.88	521.51
1 783.56	86.7	86.7							
2 000.00	60.0	53.3							

注:存活率与浓度的线性回归方程:24 h $Y=1.34-3.06 \times 10^{-4} X$ ($r^2=0.709$);48 h $Y=1.45-4.03 \times 10^{-4} X$ ($r^2=0.744$)。

Note: Survival rate and concentration linear regression equation:24 h $Y=1.34-3.06 \times 10^{-4} X$ ($r^2=0.709$);48 h $Y=1.45-4.03 \times 10^{-4} X$ ($r^2=0.744$).

表4 碱性水中 Mg^{2+} 浓度对黑眶蟾蜍蝌蚪急性中毒的致死浓度与安全浓度

Table 4 The LC and safety concentration of Mg^{2+} in alkaline water on *Bufo melanostictus* tadpoles

Mg^{2+} 浓度 Mg^{2+} concentration mg/L	不同时间存活率		24 h			48 h			SC
	Different time survival rate//%		LC_{10}	LC_{50}	LC_{90}	LC_{10}	LC_{50}	LC_{90}	
	24 h	48 h	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
897.08	100.0	100.0							
1 005.95	100.0	100.0							
1 128.02	100.0	100.0							
1 264.91	100.0	100.0							
1 418.41	90.0	90.0	1 282.47	1 931.82	2 581.17	1 263.48	1 879.81	2 496.15	533.99
1 590.54	83.3	76.7							
1 783.56	86.7	86.7							
2 000.00	10.0	6.7							

注:存活率与浓度的线性回归方程:24 h $Y=1.69-6.16 \times 10^{-4} X$ ($r^2=0.606$);48 h $Y=1.72-6.49 \times 10^{-4} X$ ($r^2=0.620$)。

Note: Survival rate and concentration linear regression equation:24 h $Y=1.69-6.16 \times 10^{-4} X$ ($r^2=0.606$);48 h $Y=1.72-6.49 \times 10^{-4} X$ ($r^2=0.620$).

3 讨论

3.1 Mg^{2+} 对黑眶蟾蜍蝌蚪的急性毒性作用 Mg^{2+} 在动物体内除了维持细胞的势位差、维持细胞结构稳定外,还广泛参与各类酶代谢反应,是多种酶的活性剂和重要组分,同时作为重要的辅助因子、激活剂、活化剂以及拮抗剂,保护心脏、调节神经的兴奋与抑制,并且通过与 Ca^{2+} 拮抗作用抑制肌肉过度收缩,起到调节酶代谢与神经的重要作用^[7]。该试验结果表明,当 Mg^{2+} 达到一定浓度时,无论是碱性或是酸性水环境均对黑眶蟾蜍蝌蚪具有显著的急性毒性作用。在酸性水环境下,当 Mg^{2+} 浓度达到 1 590.54 mg/L 时,黑眶蟾蜍蝌蚪开始出现个体死亡现象,而在碱性水环境下黑眶蟾蜍蝌蚪开始出现死亡的 Mg^{2+} 浓度则为 1 418.41 mg/L。死亡个体均表现为身体僵直或尾部不自然的弯曲且沉没水体^[8],而其余存活个体则表现为焦躁不安和无规律地游动,身体失去平衡以及反应迟缓等反应。据此推测,应为过量的 Mg^{2+} 对黑眶蟾蜍蝌蚪神经产生刺激所造成的中毒现象。

与东北长白山的林蛙蝌蚪相比,黑眶蟾蜍蝌蚪对 Mg^{2+} 具有较高的耐受性^[9]。在 pH 相同的水环境条件下,东北长白山林蛙蝌蚪对 Mg^{2+} 的耐受浓度范围为 133.8 ~ 501.6 mg/L,黑眶蟾蜍蝌蚪则为 1 264.91 ~ 1 418.41 mg/L,这可能是与南方土壤 Mg^{2+} 迁出率较高,导致水中 Mg^{2+} 浓度较大,从而提高了黑眶蟾蜍蝌蚪对环境 Mg^{2+} 的耐受性^[10]。

3.2 pH 对 Mg^{2+} 毒性作用的影响 在不添加 Mg^{2+} 的情况下,通过观察黑眶蟾蜍蝌蚪碱性水和酸性水环境中的生存状况,发现二者在短期内(48 h)无明显差异。随着水中的 Mg^{2+} 浓度的不断递增,在达到一定浓度后均出现黑眶蟾蜍蝌蚪个体死亡现象,个体存活率不断下降。

该试验中 Mg^{2+} 浓度在碱性水与酸性水环境中对黑眶蟾蜍蝌蚪的急性毒性作用存在差异,表明 Mg^{2+} 与 pH 值水环境的协同作用对黑眶蟾蜍蝌蚪的急性毒性作用差异显著($F_{7,32}=4.078$, $P<0.05$)。在碱性水中对 Mg^{2+} 的耐受浓度范围为 1 264.91 ~ 1 418.41 mg/L,低于酸性水 1 418.41 ~ 1 590.54 mg/L。与酸性水环境相比,碱性水环境中 Mg^{2+} 急性毒性作用更大,更不利于黑眶蟾蜍蝌蚪的生存。 Mg^{2+} 一般作为重要的功能元素参与到植物的光合作用之中,而在水环境中更是被水生植物以及藻类吸收。在自然条件下,水中的 Mg^{2+} 浓度通常不会过高^[9]。但是,由于南方土壤多为红壤,其 Mg^{2+} 的迁移率较高,从而放大了 Mg^{2+} 在碱性水环境条件下的毒性作用。两栖类的幼体对水环境的敏感性与重金属对水生大型蚤类的毒性作用存在着较大差异情况十分类似,在自然条件下随着 pH 的增大, Cu^{2+} 对水生大型蚤类的毒性不断升高^[11]。因此,在碱性环境下 Mg^{2+} 对黑斑蛙蝌蚪的急性毒性效应也会随着 pH 的增大而升高^[12]。控制自然环境水体的
(下转第 87 页)

物是最多的, 占据所有行业总量的 96.83% 左右。其中, 计算机、通信和其他电子设备制造业产生的废物种类比较分散, 包含废化学试剂、废电池、表面处理废物等多种废物, 占比 37.80%; 电力、热力生产和供应业主要产生飞灰、废盐酸等废物, 占比 30.38%。

表 2 2014 年成都市危险废物产生源的行业分布情况

Table 2 Industry distribution of generation source of hazardous wastes in Chengdu City in 2014

序号 Code	行业类别 Industry type	产生量 Output // t	比例 Percentage // %
1	计算机、通信和其他电子设备制造业	79 360.83	36.60
2	电力、热力生产和供应业	64 408.07	29.70
3	废弃资源综合利用业	16 314.12	7.52
4	汽车制造业	16 211.42	7.47
5	医疗卫生	10 516.27	4.85
6	电子器件制造	7 754.09	3.57
7	化学原料和化学制品制造业	7 380.04	3.40
8	石油加工、炼焦和核燃料加工业	4 390.55	2.02
9	输配电及控制设备制造	1 863.77	0.86
10	金属制品业	1 756.62	0.81
总计		209 955.80	96.83

2 危险废物的处置利用现状

成都市的危险废物包含焚烧处置残渣、废酸、表面处理废物、医疗废物、乳化液等种类繁多, 特性复杂, 需要各企业根据自身情况进行处置处理。由表 3 可知 2014 年成都市产生危废的企业, 大部分是委托外单位处理处置, 共 193 075.51 t, 占比 89.04%, 其次是企业自行处置利用量和往年的贮存量分别占 9.46%、1.50%。

3 对策

通过调查统计发现, 成都市的危险废物管理还存在部分企业自行处理少报、漏报, 管理力度不够, 产生危废的企业工艺落后, 产生的危险废物量过大, 安全处置水平过低、方式落后等问题, 因此笔者提出以下对策:

(上接第 62 页)

pH 和 Mg^{2+} 浓度具有极为重要的生态效应。例如, 在广东粤西地区的水质为硬水, 具有较高的碱性, 因此为维持野外两栖类的正常生存条件, 需要在农业生产过程中科学合理控制镁肥的添加量, 从而使水中 Mg^{2+} 浓度控制在合理范围内。

参考文献

- [1] 费梁. 中国两栖动物[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1999.
- [2] 庆宁, 马天峰, 卢文华, 等. 华南地区黑眶蟾蜍的遗传变异与地理分布[J]. 动物分类学报, 2011, 36(2): 356-367.
- [3] 徐大德, 李军, 李方满. 水热环境对黑眶蟾蜍幼体存活的影响[J]. 生态学报, 2007, 26(1): 59-62.
- [4] 武正军, 李义明. 两栖类种群数量下降原因及保护对策[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 140-146.
- [5] 付泽春, 王改芳, 王琴. 蟾蜍蝌蚪对 pH 值的适应性研究[J]. 黑龙江畜

表 3 2014 年成都市危险废物处置情况

Table 3 Disposition of hazardous wastes in Chengdu City in 2014

项目 Item	总量 Output // t	比例 Percentage // %
企业自行处置利用 Disposition and utilization of enterprise	20 505.26	9.46
委托处置量 Delegation and disposition quantity	193 075.51	89.04
往年贮存量 Storage capacity in previous years	3 255.00	1.50
合计 Total	216 835.77	100

3.1 重视危险废物排放的申报登记, 加强危险废物的排放与监管, 切实掌握每个有危险废物排放企业的具体产生量、种类和去向, 确保数据的准确性, 并形成基础数据库和信息交换平台, 提高废物的资源化利用。

3.2 加大危险废物处理的新技术研究, 我国对危险废物的处理主要是综合利用、贮存和处置 3 个方面, 提高危险废物的综合利用比例^[4], 将危险废物更多地进行综合利用, 使其再循环, 需要高校及众多科研单位积极开展危险废物处理的新技术研究, 如热解析、地下深井灌注技术等, 以减少填埋和贮存量。

3.3 加强监管力度, 完善管理法规体系, 加强执法队伍的建设, 严格执行危险废物鉴别、管理计划、经营许可、转移管理、应急预案等制度, 完善危险废物贮存、利用、处置的相关污染控制标准规范, 建立健全危险废物综合利用产品的质量标准体系, 增强可操作性。

参考文献

- [1] 国家环境保护部科技标准司. 危险废物鉴别标准通则: GB5085.7-2007[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [2] 胡文涛, 张金流. 危险废物处理与处置现状综述[J]. 安徽农业科学, 2014(34): 12386-12388.
- [3] 王祺. 工业固体废物处理及回收利用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [4] 熊善高, 李洪远, 张清敏, 等. 英国危险废物管理策略及对我国的启示[J]. 环境保护, 2012(14): 75-78.
- [5] 牧兽医, 2014(1): 177.
- [6] 徐明岗, 张久权, 文石材. 南方红壤丘陵区牧草的肥料效应与施肥[J]. 草业科学, 1997, 14(6): 21-23.
- [7] 吕选忠, 于宙, 王广仪. 元素生物学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2011: 245-259.
- [8] 杨富亿, 李秀军, 杨欣乔, 等. 水环境镁、钙对中国林蛙蝌蚪生存的影响[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(5): 64.
- [9] 杨富亿, 李秀军, 杨欣乔, 等. 水环境 Mg^{2+} 对长白山林蛙蝌蚪生存的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(S2): 499-502.
- [10] 凌大炯, 章家恩, 黄倩春, 等. 模拟酸雨对砖红壤盐基离子迁移和释放的影响[J]. 土壤学报, 2007, 44(3): 444-449.
- [11] 张琪. pH 与 DOM 影响下的几种重金属对大型蚤的急性毒性影响研究[D]. 南京: 南京大学, 2012: 14-25.
- [12] 黄斌, 李杰, 刘新浩. 铜(II)对蝌蚪的急性毒性研究[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2005, 18(4): 480-481.