

微生物发酵马铃薯部分代替精饲料对奶水牛泌乳性能和血液生化指标的影响

韦科龙, 卢 瑛, 文崇利, 谭正准, 潘玉红, 李治培, 李舒露, 覃广胜*

(中国农业科学院广西壮族自治区水牛研究所, 广西南宁 530001)

摘要 采用单因素分析法, 选择 63 头体况良好、5~8 胎、平均日泌乳量(7.47±2.44) kg 的健康产奶中后期奶水牛, 研究利用微生物发酵马铃薯饲料部分代替精饲料对育成奶水牛生长发育和血液生化指标的影响。结果表明, 试验期间各组泌乳量比试验前均有所下降($P>0.05$), 水牛奶中乳蛋白质率、乳脂肪率、乳总固形物率和乳糖率差异均不显著($P>0.05$), 血液中总蛋白、尿素氮、空腹葡萄糖均无显著差异($P>0.05$); 在该试验中相同的投入产出最高的是对照组(1:2.48)。用微生物发酵马铃薯替代精料饲喂奶水牛对其泌乳性能乳品质及血液生化指标均无显著影响, 经济效益也不理想。

关键词 微生物发酵马铃薯; 奶水牛; 泌乳性能; 乳品质

中图分类号 S823.5 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)17-0118-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.17.030



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Partial Replacement of Concentrate Feed by Microbial Fermented Potato on Lactation Performance and Blood Biochemical Indices of Dairy Buffalo

WEI Ke-long, LU Ying, WEN Chong-li et al (Buffalo Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences and Guangxi Zhuang Nationality Autonomous Region, Nanning, Guangxi 530001)

Abstract By using single factor analysis method, 63 healthy buffaloes in middle and later stage of milk production which were in good condition, 5-8 parities, with average daily milk yield of (7.47±2.44) kg were randomly divided into 3 treatments to study the effects of microbial fermented potato feed instead of concentrate feed on the growth and development and blood biochemical indices of dairy buffaloes. The results showed that the milk yield of each group during the experiment was lower than that before the experiment ($P>0.05$). There was no significant difference in milk protein rate, milk fat rate, total milk solids rate and lactose rate in buffalo milk ($P>0.05$). There was no significant difference in blood total protein content, urea nitrogen content and fasting glucose content ($P>0.05$), which in control group were the highest at the same input-output ratio in this experiment (1:2.48). Feeding milk buffalo with fermented potato instead of concentrate had no significant effect on its lactation performance, milk quality and blood biochemical indices, and its economic benefit was not ideal.

Key words Microbial fermented potato; Dairy buffalo; Lactation performance; Milk quality

据联合国粮农组织 2008 年统计, 我国的马铃薯种植面积超过 566.7 万 hm^2 , 年产量已突破 $7\,200\times 10^4$ t, 马铃薯种植面积和总产量均跃居世界第一^[1], 全世界 50% ~ 70% 的马铃薯被加工升值, 而我国加工比例不足 5%。随着我国马铃薯淀粉行业的发展, 南方地区每年有大量的马铃薯被加工成淀粉, 同时也有大量的食用次薯因无人收购最终腐烂在田间地头, 造成环境污染等问题。

国外早在 20 世纪 40 年代就开始薯渣的开发利用研究, 而我国 20 世纪 90 年代末才逐渐重视此方面的研究。闫晓波^[1]和雒瑞瑞等^[2]报道, 利用马铃薯渣发酵后饲喂反刍动物取得了一定的效果, 但利用微生物发酵马铃薯饲喂奶水牛未见报道。为解决南方地区食用次品马铃薯丢弃腐烂而产生的环境污染问题, 开发出廉价微生物发酵马铃薯饲料, 并在奶水牛生产中应用, 笔者对马铃薯进行微生物发酵处理制成饲料后进行饲养试验, 旨在为马铃薯饲料化在畜牧业生产实践中应用提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 微生物发酵马铃薯饲料 微生物发酵马铃薯饲料是指用鲜马铃薯经过粉碎后按 1:1 的比例加入麦麸的同时, 喷洒

微生物菌种经过充分搅拌装袋密封发酵后制成的饲料。其优点是制作过程能最大限度保留马铃薯的各种营养成分。微生物菌种主要是由乳酸菌、酵母菌、芽孢菌等多种细菌组成, 其含菌数为 2×10^9 CFU/mL。它具有用量少、易操作等特点, 每吨发酵料添加量约 4 kg。应用此工艺每吨饲料生产成本约 1 000 元。

1.2 试验动物及其分组 选择体况良好、5~8 胎、日均泌乳量(7.47±2.44) kg 的健康产奶中期奶水牛 63 头, 随机分成 3 组, 每组 21 头。经计算发现, 各试验组间日均泌乳量差异不显著($P>0.05$)。

1.3 试验设计 试验采用单因素设计, 如表 1 所示, 试验过程各试验组以精饲料干物质采食量相同为基础。对照组饲喂基础精料 4 kg, 试验 I、II 组分别用 20% 和 50% 微生物发酵马铃薯饲料(风干基础)替代精饲料。微生物发酵马铃薯饲料实测含水量为(50.72±3.69)%。试验时间为 2019 年 6 月 10 日至 8 月 9 日, 共 60 d。其中, 预饲期 10 d, 试验期 50 d。

1.4 饲料日粮与饲养管理 饲料日粮主要包括精料与粗料。精料由广西水牛研究所营养研究室提供配方, 委托广西某饲料厂生产, 其主要组成及营养水平见表 2。粗饲料主要饲喂自产象草约 20 kg、青贮玉米秆约 12 kg、啤酒渣约 13 kg。微生物发酵马铃薯饲料由广西中科润华环保有限公司生产。试验牛进行分组专人管理, 采用先饲喂粗料再放精料的饲喂

基金项目 广西水牛研究所基本科研业务费项目(180509)。

作者简介 韦科龙(1989—), 男, 广西兴业人, 助理畜牧师, 从事奶水牛生产管理。* 通信作者, 研究员, 博士, 从事水牛繁殖与育种研究。

收稿日期 2019-11-21; **修回日期** 2019-12-26

顺序,保证每组每头牛每天采食精饲料和发酵马铃薯(风干基础)4 kg。粗饲料则视当天采食情况第 2 天略有增减或维持原有水平。

表 1 试验设计方案
Table 1 Experimental design scheme

组别 Group	精料 添加量 Adding amount of concentrate feed/kg	发酵马铃 薯添加量 Adding amount of fermented potato/kg	替代比例 Replacement proportion %	折合精料 干物质量 Converted weight of dry matter in concentrate feed //kg
对照组 Control group	4	0	0	4
试验Ⅰ组 Experiment group I	3	2	20	4
试验Ⅱ组 Experiment group II	2	4	50	4

表 2 精料组成及营养水平
Table 2 The composition and nutrition level of concentrate feed

原料 Materials	添加比例 Adding proportion//%	营养成分 Nutritional components	含量 Content
玉米 Corn	52.0	粗蛋白 Crude protein//%	17.80
豆粕 Soybean meal	17.0	产奶净能 Net energy for lac- tation//MJ/kg	18.70
麦麸 Wheat bran	21.5	磷 Phosphorus//%	1.04
磷酸氢钙 Dicalcium phosphate	2.0	钙 Calcium//%	1.31
贝壳粉 Shell powder	1.5	赖氨酸 Lysine//%	0.86
食盐 Salt	2.0	蛋氨酸 Methionine//%	0.21
小苏打 Sodium bicarbonate	2.5		
预混料 Premix	1.0		

注:每千克预混料含 V_A 500 000 IU, V_D 150 000 IU, V_E 3 000 IU, Fe 4.0 g, Cu 1.3 g, Mn 3.0 g, Zn 6.0 g, I 80 mg, Se 50 mg, Co 80 mg
Note: One kilogram of premix contained V_A 500 000 IU, V_D 150 000 IU, V_E 3 000 IU, Fe 4.0 g, Cu 1.3 g, Mn 3.0 g, Zn 6.0 g, I 80 mg, Se 50 mg, Co 80 mg

1.5 测定项目与方法

1.5.1 泌乳量记录。试验期间严格记录每天每头牛上、下午的泌乳量。

1.5.2 乳成分测定。试验结束当天 07:00 和 16:00 分别取一次奶样,分析乳常规成分。

1.5.3 血液生化指标测定。采用颈静脉采血的方法在试验

期最后一天早上,空腹将牛保定后取每头牛的颈静脉血约 5 mL 置于试管中,然后将试管放入装有冰袋的泡沫箱中保存,并立即送至医院检测血液中蛋白质、尿素氮、葡萄糖的含量。

1.6 数据统计与分析 试验数据先用 Excel 软件处理,然后再利用 SPSS 17.0 统计软件进行分析,试验结果均以“平均值±标准差”表示,并进行差异显著性检验,采用 Duncan 氏法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 微生物发酵马铃薯部分代替精饲料对奶水牛泌乳量的影响 微生物发酵马铃薯部分代替精饲料对奶水牛泌乳量的影响见表 3。由表 3 可知,试验期间各组泌乳量比试验前均有所下降,但差异均不显著($P>0.05$)。这主要是因为参试牛处于泌乳中后期,泌乳量已开始进入下降阶段。与对照组相比,试验Ⅱ组泌乳量下降更为明显。

2.2 微生物发酵马铃薯部分代替精饲料对奶水牛乳成分的影响 微生物发酵马铃薯部分代替精饲料对奶水牛泌乳量的影响见表 4。由表 4 可知,各试验组乳脂肪、乳蛋白质、乳糖、乳总固形物差异均不显著($P>0.05$)。试验Ⅰ、Ⅱ组乳脂肪含量比对照组分别高 3.08%和 7.50%,乳蛋白质比对照组高 5.00%和 2.17%,乳总固形物比对照组低 2.77%和 2.13%。

表 3 微生物发酵马铃薯部分代替精饲料对奶水牛泌乳量的影响
Table 3 The effects of partial replacement of concentrate feed by microbial fermented potato on milk production of dairy buffalo

组别 Group	试验前头 均日泌乳量 Average daily milk production before the experiment	试验期头 均日泌乳量 Average daily milk production during the experiment	头均日泌乳 量增减量 Changing amount of average daily milk production
试验Ⅰ组 Experiment group I	7.41±2.21	6.18±2.29	-1.23
试验Ⅱ组 Experiment group II	7.12±2.39	5.67±2.28	-1.45
对照组 Control group	7.89±2.76	7.09±2.46	-0.80

表 4 微生物发酵马铃薯部分代替精饲料对奶水牛乳成分含量的影响

Table 4 The effects of partial replacement of concentrate feed by microbial fermented potato on the content of milk components in dairy buffalo

组别 Group	乳脂肪 Milk fat	乳蛋白质 Milk protein	乳糖 Lactose	乳总固形物 Total milk solids
试验Ⅰ组 Experiment group I	7.36±1.20	4.84±0.55	5.14±0.31	18.27±1.40
试验Ⅱ组 Experiment group II	7.72±1.22	4.71±0.68	5.02±0.41	18.39±1.57
对照组 Control group	7.14±1.29	4.61±0.28	5.12±0.31	18.79±1.43

2.3 微生物发酵马铃薯部分代替精饲料对奶水牛血清生化指标的影响 微生物发酵马铃薯部分代替精饲料对奶水牛血

清生化指标的影响见表 5。由表 5 可知,各试验组间血清中总蛋白、尿素氮、葡萄糖含量差异均不显著($P>0.05$)。

表5 微生物发酵马铃薯部分代替精饲料对奶水牛血清生化指标的影响

Table 5 The effects of partial replacement of concentrate feed by microbial fermented potato on serum biochemical indices of dairy buffalo

组别 Group	总蛋白含量 Total protein g/L	尿素氮含量 Urea nitrogen mmol/L	葡萄糖含量 Glucose mmol/L
试验Ⅰ组 Experiment group I	68.79±8.79	5.70±0.93	3.92±0.58
试验Ⅱ组 Experiment group II	63.96±18.94	6.29±1.74	3.85±1.22
对照组 Control group	69.25±6.05	5.82±1.27	3.85±0.41

表6 微生物发酵马铃薯饲料部分代替精料经济效益分析

Table 6 Economic benefit analysis for the partial replacement of concentrate feed by microbial fermented potato

组别 Group	头均日耗精料成本 Average daily cost of concentrate feed//元				头均日泌乳量 Average daily milk production kg	利润 Profit 元	投入产出比 Input-output ratio
	精料 Concentrate feed	发酵马铃薯 Fermented potato	粗饲料 Roughage feed	合计 Total			
试验Ⅰ组 Experiment group I	7.8	1	12.21	21.01	6.18	49.44	1:2.35
试验Ⅱ组 Experiment group II	5.2	2	12.21	19.41	5.67	45.36	1:2.33
对照组 Control group	10.6	0	12.21	22.81	7.09	56.72	1:2.48

3 讨论

3.1 微生物发酵马铃薯饲料部分代替精料对奶水牛泌乳性能与乳品质的影响 奶水牛产奶量是评价水牛生产效益的主要指标,受遗传因素、营养因素和生理状态等的影响^[3]。Mayer 等^[4]研究发现,马铃薯渣中的自带菌共 15 类 33 种,其中 28 种细菌、4 种霉菌和 1 种酵母菌。经过菌种发酵马铃薯制成的饲料产品,在发酵过程中产生多种消化酶,能够促进动物的消化吸收,发酵后氨基酸态氮含量大大增加,可增加奶牛对氨基酸的吸收与利用。李伟等^[5]研究发现以 15% 马铃薯糟渣饲料替代玉米饲喂奶牛是可行的,其对奶牛产奶量无显著影响($P>0.05$)。马希景^[6]用新鲜的马铃薯饲喂奶牛进行试验,试验组每天给奶牛添加新鲜马铃薯 3.5 kg,对照组不添加新鲜马铃薯,其他饲料供给量相同,结果表明其试验组每天比对照组多产奶 1.52 kg,比对照组提高 8.9%,经 t 检验发现 2 组差异显著($P<0.05$)。闫晓波^[1]用马铃薯渣和玉米秸秆混合青贮替代青贮玉米饲喂奶牛,结果表明其对奶牛产奶量无显著影响($P>0.05$),乳脂率、乳蛋白率和乳糖率显著提高($P<0.05$),说明发酵马铃薯渣有利于提高奶牛生产性能和乳品质。该试验结果表明,试验期间各组产奶量比试验前均有所下降,但差异不显著($P>0.05$);乳脂肪、乳蛋白质、乳糖、乳总固形物差异均不显著($P>0.05$),这与前人研究结果相一致,但可能是由于品种因素的影响,发酵马铃薯对奶水牛泌乳量及乳品质的提升效果并不显著。

3.2 微生物发酵马铃薯饲料部分代替精料对奶水牛血清生化指标的影响 血清中各种生化成分是动物体生命活动的物质基础,其含量及其变化规律是动物体重要的生物学特

2.4 微生物发酵马铃薯饲料部分代替精料对奶水牛养殖经济效益的影响 该试验中经济效益分析主要是通过计算平均每头产奶牛每天的投入产出比而得出的。投入主要计算消耗精饲料、粗饲料和微生物发酵马铃薯的成本,其他成本(主要包括人工、折旧等)相同,不列入计算范围;产出则按每组头均日泌乳量计算。基础成本精料 2 600 元/t、发酵马铃薯 1 000 元/t,粗饲料中青贮玉米秆 280 元/t、啤酒渣 450 元/t、自产象草 150 元/t。商品奶出售价格为 8 元/kg。由表 6 可知,试验 I、II 组和对照组的投入产出比分别为 1:2.24、1:2.22 和 1:2.38,其中投入产出比最高的是对照组。

征^[7-8]。血清蛋白质是机体蛋白质合成代谢的一个重要标志,其中血清总蛋白浓度高是蛋白质代谢旺盛的表现,有利于促进动物的生长和提高饲料转化率^[9]。血清尿素氮是动物体内反映蛋白质代谢和日粮氨基酸平衡状况的指标^[10],当日粮中含氮物质增高,或体内氨基酸代谢旺盛、肾功能障碍和血中尿素得不到有效利用时均会使血清尿素氮浓度升高^[11-13]。血糖含量变化是机体对糖吸收、运转和代谢的动态平衡的反映。据报道,正常情况下动物血糖浓度不应超过 6.1 mmol/L。Claudia 等^[14]认为在正常浓度范围内高产动物血糖含量高于低产动物^[15-16]。王典等^[7]在肉羊饲粮中添加一定比例的马铃薯淀粉渣-玉米秸秆混合青贮料对肉羊血液生化指标基本无影响。该试验中各处理组血清总蛋白、尿素氮、葡萄糖含量均无显著差异($P>0.05$),由此推测在保证奶水牛营养需要后,微生物发酵马铃薯饲料部分代替精料不影响奶水牛机体内蛋白质代谢强度和日粮氨基酸平衡的问题,同时也能满足动物体内糖的代谢需要。

3.3 微生物发酵马铃薯饲料部分代替精料对奶水牛的经济效益分析 王卓等^[17]和袁惠君等^[18]研究表明马铃薯投入产出比为 1:4,优于大豆(1:2.5)和小麦(1:2)。闫晓波^[1]用马铃薯渣和秸秆混合青贮料全部代替全株青贮玉米饲喂奶牛每天可增加收入 2.56 元。该试验中相同的投入产出比最高的是对照组。这与前人研究用马铃薯渣代替粗饲料喂结果有一定的差异,可能是由于品种因素或者与该试验用马铃薯发酵饲料代替粗饲料的原因造成的。这说明用 20% 以上的微生物发酵马铃薯替代精料饲喂奶水牛的经济效益并不理想,还需要进一步降低微生物发酵马铃薯的替代比例,通过试验探讨其最佳经济效益。

4 结论

微生物发酵马铃薯饲料部分代替精饲料对奶水牛泌乳性能乳品质和血液生化指标均无显著影响,综合考虑用发酵马铃薯饲料替代精饲料饲喂奶水牛的比例最好低于 20%。

参考文献

[1] 闫晓波. 马铃薯渣和秸秆混合青贮对奶牛生产性能的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.

[2] 邹瑞端, 郭艳丽, 韩海珠, 等. 基于瘤胃模拟技术的马铃薯茎叶混合青贮料体外瘤胃发酵特性研究[J]. 动物营养学报, 2018, 30(3): 1185–1191.

[3] ABUMWEIS S S, MARINANGELI C P, FROHLICH J, et al. Implementing phytosterols into medical practice as a cholesterol-lowering strategy: Overview of efficacy, effectiveness, and safety [J]. Canadian journal of cardiology, 2014, 30(10): 1225–1232.

[4] MAYER F, HILLEBRANDT J O. Potato pulp: Microbiological characterization, physical modification, and application of this agricultural waste product[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 1997, 48(4): 435–440.

[5] 李伟, 刘学良, 郭春晖, 等. 马铃薯糟渣饲料部分替代玉米对奶牛产奶量的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(24): 72–74.

[6] 马希景. 夏季高温季节泌乳牛饲喂马铃薯对产乳性能的影响[J]. 中国奶牛, 2003(3): 35–36.

[7] 王典, 李发弟, 张养东, 等. 马铃薯淀粉渣-玉米秸秆混合青贮料对肉羊生产性能、瘤胃内环境和血液生化指标的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 47–54.

[8] 汪张贵. 日粮核黄素添加水平对新扬州仔鸡免疫机能和血液生化指标

的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2005.

[9] 陈文, 冯于明, 黄艳群. 玉米油和猪油对肉鸡生产性能、屠宰性能及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2011, 23(7): 1101–1108.

[10] STANLEY C C, WILLIAMS C C, JENNY B F, et al. Effects of feeding milk replacer once versus twice daily on glucose metabolism in Holstein and Jersey calves[J]. Journal of dairy science, 2002, 85(9): 2335–2343.

[11] 张宏福, 秦加华, 卢庆萍, 等. 断奶日龄对仔猪血清中几种生化成分的影响[M]//张宏福, 顾宪红. 仔猪营养生理与饲料配制技术研究. 北京: 中国农业科技出版社, 2001: 234–239.

[12] KANJANAPRUTHIPONG J. Supplementation of milk replacers containing soy protein with threonine, methionine, and lysine in the diets of calves [J]. Journal of dairy science, 1998, 81(11): 2912–2915.

[13] 李建国, 孙凤莉, 李英, 等. 代乳粉对羔羊生产性能及血液生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2006, 18(1): 37–42.

[14] CLAUDIA B, HARALD H, GOIVANNI L R, et al. Small intestinal morphology in eight-day-old calves fed colostrum for different durations or only milk replacer and reated with Long-R3-insulin growth factor I and growth hormone[J]. Journal of animal science, 1998, 76(3): 758–766.

[15] AHMED A F, CONSTABLE P D, MISK N A. Effcet of feeding frequency and route of administ ration on abomasal luminal pH in dairy calves fed milk replacer[J]. J Dairy Sci, 2002, 85(6): 1502–1508.

[16] 周顺伍. 动物生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[17] 王卓, 顾正彪, 洪雁. 马铃薯渣的开发与利用[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(2): 133–136.

[18] 袁惠君, 赵萍, 李志忠. 马铃薯渣的开发利用价值及前景[J]. 甘肃科技纵横, 2004, 33(6): 67–68.

(上接第 117 页)

表 4 重金属 Cu²⁺对 7 种蛙类的毒性评价
Table 4 Toxicity evaluation of heavy metal Cu²⁺ to 7 species of frogs

试验动物 Test animals	LC ₅₀ //mg/L				SC mg/L	毒性 Toxicity	平均体长 Average body length//cm	体质量 Body mass//g
	24 h	48 h	72 h	96 h				
中国林蛙 ^[5] <i>Rana chinsinensis</i>	0.131	0.105	0.038	—	0.020	剧毒	0.567	0.046
东北林蛙 ^[6] <i>Rana dybowskii</i>	0.198	0.118	0.058	0.027	0.002	剧毒	1.376	0.102
泽蛙 ^[7] <i>Rana limnocharis</i> Boie	0.201	0.138	—	0.118	0.012	剧毒	1.180	0.250
中华大蟾蜍 ^[8] <i>Bufo bufogargarizans</i>	0.527	0.351	—	0.262	0.026	剧毒	—	0.800
日本林蛙 ^[9] <i>Rana japonica</i>	—	0.142	0.116	0.101	0.010	剧毒	—	—
蟾蜍 ^[10] Toad	—	0.211	0.228	0.273	0.027	剧毒	1.800~2.300	0.114
海陆蛙 ^[11] <i>Rana cancrivora</i> Gravenhorst	5.690	3.370	1.340	0.950	0.095	剧毒	2.333	0.134

参考文献

[1] 冯光兴. 汶川震区清平镇生态环境特征及对策[J]. 山西建筑, 2019, 45(18): 153–155.

[2] 郑晓静. 棘胸蛙(*Rana spinosa*)蝌蚪对氨氮的耐受与响应特征[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2015.

[3] 郑燕倩, 雷瑾, 刘子明, 等. 重金属对石蛙蝌蚪存活、行为和体重增长的影响[J]. 丽水学院学报, 2015, 37(5): 21–25.

[4] 杨再福, 陈立侨, 陈华友. 重金属铜、镉对蝌蚪毒性的研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(1): 102–103.

[5] 石戈, 王健鑫, 武佳, 等. Cu²⁺和 Cr⁶⁺对中国林蛙蝌蚪的急性毒性[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2007, 39(2): 116–121.

[6] 金鑫, 周丹, 于东. Cu²⁺对东北林蛙的急性毒性[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2014, 30(3): 129–132.

[7] 贾秀英, 董爱华, 杨亚琴. 铜、锌和三唑磷对泽蛙蝌蚪的毒性研究[J]. 环境科学研究, 2005, 18(5): 26–29.

[8] 杨再福. 铜(Cu²⁺)对中华大蟾蜍蝌蚪的毒性试验[J]. 环境保护科学, 2000, 26(5): 37–38.

[9] 姚丹, 万琳燕, 耿宝荣, 等. Cu²⁺对日本林蛙蝌蚪的急性毒性研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2004, 20(4): 117–120.

[10] 王改芳, 郝之黎. 铜离子、汞离子对蟾蜍蝌蚪的联合毒性的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(11): 41–48.

[11] 李春瑜. 重金属铜、镉对海陆蛙蝌蚪毒性作用的初步研究[D]. 海口: 海南师范大学, 2013.