

# 京大戟提取物对福寿螺的毒力效应及作用机制

韩浩宇<sup>1</sup>, 鲁仙<sup>1,2</sup>, 赵志淼<sup>1,2</sup>, 陆秋露<sup>1</sup>, 李勤芬<sup>1</sup>, 张饮江<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>上海海洋大学海洋科学与生态环境学院, 上海 201306;

<sup>2</sup>水域环境生态上海高校工程研究中心, 上海 201306

**摘要:**【目的】福寿螺入侵对我国湿地生态系统和农业生态系统造成严重危害, 开发绿色生物灭螺剂有利于保障我国的生物安全、生态安全和粮食安全, 是筑牢生物安全屏障的重要举措。【方法】本研究采用冷浸超声法, 对植物源药剂京大戟进行提取, 研究其提取物对福寿螺的毒力效应, 并基于动态观察法深入分析提取物的毒杀作用机制。【结果】京大戟乙醇提取物具有显著灭螺活性, 药液处理 12 h 即可造成福寿螺死亡, 死亡率与药液浓度和处理时间呈正比, 概率单位法回归分析得出福寿螺幼螺和成螺 72 h 的半数致死浓度(LC<sub>50</sub>)分别为 0.639 和 0.926 g · L<sup>-1</sup>, 说明幼螺对供试提取物更敏感; 72 h 半数致死浓度下福寿螺腹足乙酰胆碱酯酶和一氧化氮合酶呈先上升后下降的趋势; 经药液处理后福寿螺肝脏中丙二醛含量显著升高( $P < 0.05$ ), 而谷丙转氨酶和谷草转氨酶与空白对照相比明显下降, 说明京大戟提取物对福寿螺的肝功能和抗氧化机制造成明显破坏。【结论】京大戟对福寿螺具有显著的灭杀生物活性, 具备开发为生物灭螺剂的潜力。

**关键词:** 福寿螺; 京大戟; 绿色防控; 毒力效应; 作用机制



开放科学标识码  
(OSID 码)

## Toxicity effects and mechanism of ethonal extract from *Euphorbia peginensis* on *Pomacea canaliculata*

HAN Haoyu<sup>1</sup>, LU Xian<sup>1,2</sup>, ZHAO Zhimiao<sup>1,2</sup>, LU Qiulu<sup>1</sup>, LI Qinfen<sup>1</sup>, ZHANG Yinjiang<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>College of Oceanography and Ecological Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

<sup>2</sup>Water Environment and Ecology Engineering Research Center of Shanghai Universities, Shanghai 201306, China

**Abstract:** 【Aim】The invasion of the golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) poses a severe threat to China's wetland and agricultural ecosystems. To ensure national biosecurity, ecological safety, and food security, developing green biological molluscicides is essential for control of this pest. 【Method】Herein, we obtained an extract of the botanical agent *Euphorbia peginensis* using a cold soaking ultrasonic extraction procedure and assessed the toxic effects of this extract on *P. canaliculata*. In addition, we comprehensively analyzed the mode of action of the extract based on dynamic observations. 【Result】We found that the ethanol extract of *E. peginensis* has notable molluscicidal activity, with snail mortality being observed within 12 h of treatment, and positive correlations being detected among the rate of mortality, extract concentration, and exposure duration. By performing regression analysis based on the probit unit method, we determined the 72-h median lethal concentration (LC<sub>50</sub>) values of 0.639 and 0.926 g · L<sup>-1</sup> for juvenile and adult snails, respectively, thereby indicating the higher sensitivity of juveniles. Treatment using the LC<sub>50</sub> of the extract over a 72-h period revealed an initial increase and subsequent decline in the levels of pedal acetylcholinesterase and nitric oxide synthase in snails. After treatment, we detected a significant increase in malondialdehyde content in the snail's liver ( $P < 0.05$ ), along with notable reductions in glutamic-pyruvic transaminase and glutamic-oxaloacetic transaminase, compared with the control group. These findings indicate that *E. peginensis* extracts can significantly disrupt snail liver function and antioxidant mechanisms. 【Conclusion】The findings of this study reveal that an extract of *E. peginensis* has significant molluscicidal bioactivity against *P. canaliculata*, thereby indicating its potential for development as a biological molluscicide.

**Key words:** *Pomacea canaliculata*; *Euphorbia peginensis*; green control; toxicity effects; mechanism

收稿日期(Received): 2023-11-09 接受日期(Accepted): 2024-04-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC2601303, 2022YFC2601305, 2022YFC2601304)

作者简介: 韩浩宇, 男, 硕士研究生。研究方向: 水域生态环境。E-mail: haoyu2050@163.com

\* 通信作者(Author for correspondence), 张饮江, E-mail: yjzhang@shou.edu.cn

外来生物入侵会威胁本地物种生存,导致地区生态平衡受到迫害甚至造成生物多样性丧失和物种灭绝,还会对人类健康、粮食生产和生态环境安全造成危害,是最为严重的世界环境问题之一(Schnase *et al.*, 2002)。福寿螺 *Pomacea canaliculata* (Lamarck) 别名苹果螺、金宝螺,是栖息于热带和亚热带的一种瓶螺科 Ampullariidae 福寿螺属 *Pomacea* 软体生物,1981年作为一种水产经济动物引入我国广东省(陈露露等,2023),由于缺乏天敌,在当地大量繁殖造成入侵,并扩散蔓延至我国中、西部地区。目前,我国长江沿线及以南的省市都遭受着不同程度的福寿螺侵害(章家恩等,2019)。福寿螺具有适应性强、食量大、繁殖速度快、成熟周期短等生物学特性,易于取食鲜嫩的植物茎叶,严重危害入侵地水稻、芡实和茭白等农作物生产,还会挤压抑制其他本土生物,造成生物多样性降低,破坏湿地生态系统的结构与功能。福寿螺还是卷棘口吸虫 *Echinostoma revolutum* Froehlich 和广州管圆线虫 *Angiostrongylus cantonensis* Chen 的重要中间宿主,严重威胁居民身体健康(段清星等,2016)。作为世界性恶性入侵生物,福寿螺在2003和2022年分别被列入我国《第一批外来入侵物种名单》和《重点管理外来入侵物种名录》(谭茵等,2023)。现有的福寿螺防治方法存在较多不足之处,如何绿色高效地防治福寿螺已成为一个世界性的难题。生物农药是利用细菌、真菌等活体生物或生物的代谢产物灭杀有害生物的制剂,具有长效、低毒、不易产生抗药性和易生物降解等优点(Khursheed *et al.*, 2022),已成为福寿螺防控的主流研究方向。

植物次生代谢产物是植物体在长期进化过程中为适应生存环境生产出的一类具有生物活性的小分子有机化合物,在帮助植物适应生存环境、抵御天敌危害和保持种间竞争优势等方面发挥着重要作用,还具有一定的药用价值,是很多昂贵保健品和植物源农药的主要成分(Jamwal *et al.*, 2018)。植物体中具有杀虫活性的次生代谢产物根据化学结构大致可以分为生物碱类、萜类、精油类和黄酮类等,目前利用植物次生代谢产物研发的鱼藤酮、烟碱和印楝素等绿色生物农药已对相关有害生物实现了有效防治(岑小凤和李晶晶,2023),但可用于灭杀福寿螺的绿色生物剂较少,其中更少涉及对福寿螺体内生理生化指标等的分析,而福寿螺的危害日益严

重,亟待研发出一种绿色生态的灭螺药物。

京大戟是我国的一味传统中药,为大戟科 Euphorbiaceae 大戟 *Euphorbia pekinensis* Rupr. 的干燥根,在我国华西及华南沿海等地存在广泛分布(刘淑岚等,2019)。其次生代谢产物主要包括萜类、黄酮类、鞣质及酚酸类等化合物,具有抗病毒、抗菌和抗肝癌等功效(姚芳等,2019)。有研究发现,京大戟具有一定的刺激性毒性和细胞毒性(曹雨诞等,2014;葛秀允等,2015),与氯硝柳胺和五氯酚钠等化学灭螺药具有同样的毒性(魏雪涛等,2007;徐颖和戴建荣,2015)。因此,京大戟具有开发成环境友好的生物灭螺剂的潜力,但目前京大戟用于灭螺活性的研究尚未见报道。

本研究以外来入侵生物福寿螺为研究对象,开展京大戟乙醇提取物对福寿螺的灭螺活性研究,并测定半数致死浓度(median lethal concentration,  $LC_{50}$ )下福寿螺体内生理生化指标随时间的变化,探究京大戟乙醇提取物对福寿螺的毒杀机制,以期高效生态防控福寿螺和开发植物源灭螺剂提供理论依据及科技支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

亲代福寿螺于2022年9月采自上海青浦区某荷花塘,采集健康、平均螺高约为3 cm的成螺,在人工气候箱中饲养繁殖,温度( $25 \pm 2$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度( $60 \pm 5$ )%,光周期 L:D = 14:10,光照强度3000 lx,饲养期间每天投喂生菜,培育建立包括不同龄级的福寿螺子一代种群用于试验。中药京大戟的块根购于安徽亳州物华食品有限公司。

### 1.2 京大戟乙醇提取物的制备

将京大戟块根置于恒温鼓风干燥箱中烘至恒重,粉碎机粉碎后过孔径0.25 mm网筛得京大戟细粉。用分析天平称取900 g京大戟细粉,与无水乙醇按1:10(质量:体积)配比,超声辅助冷浸提取30 min,然后在室温下静置24 h,合并滤液,重复3次。用旋转蒸发器减压浓缩滤液,浓缩至无醇味,自然晾干后获得乙醇提取物,于4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存备用。

### 1.3 毒力测定

参照王蝉娟等(2021)生物浸泡法,将京大戟提取物准确称量,用超纯水分别配置有效浓度为0.57、0.69、0.83、1.00、1.20和1.44  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,体积为2 L的提取物溶液,装入体积为2.5 L的试验容器

(PE 材质, 上底半径×下底半径×高 = 24.5 cm×20.0 cm×7.6 cm), 以等量超纯水作为空白对照组。参考陈泽柠等(2014)对福寿螺龄级的划分, 随机挑选壳高(1.5±0.2) cm 的活泼幼螺和(3.5±0.2) cm 的活泼成螺放入容器中, 为防止福寿螺逃逸, 用含有气孔的盖子密闭, 每个试验容器放置 15 只福寿螺, 且每个浓度处理设置 3 个平行。实验室温度为(25±2) °C, 定期观察福寿螺活动情况和死亡情况, 为避免药液受到污染, 试验期间不喂食福寿螺, 并及时清理福寿螺分泌物和死螺。

#### 1.4 福寿螺死亡测定

各时段福寿螺死亡鉴定采用腹水法和针刺法(靳书瑞等, 2019), 即解剖针轻刺福寿螺角质盾与螺壳间的肉足部分, 无反应的为死螺; 若福寿螺紧闭厖甲, 则按压福寿螺角质盾, 通过排出腹水情况判断福寿螺死活, 鉴定过程中记录死亡个数, 并计算各组福寿螺的死亡率和校正死亡率。

$$\text{死亡率}/\% = \frac{\text{死亡螺数}}{\text{供试螺数}} \times 100$$

$$\text{校正死亡率}/\% = \frac{\text{处理组死亡率} - \text{对照组死亡率}}{1 - \text{对照组死亡率}} \times 100$$

#### 1.5 福寿螺生理生化指标动态测定

福寿螺乙酰胆碱酯酶(acetylcholinesterase, AChE)、一氧化氮合酶(nitric oxide synthase, NOS)和丙二醛(malondialdehyde, MDA)的测试盒购于南京建成生物工程研究所, 谷丙转氨酶(glutamic-pyruvic transaminase, ALT/GPT)、谷草转氨酶(glutamic-oxalacetic transaminase, AST/GOT)的测试盒购于北京迈瑞达科技有限公司, 试验用水为超纯水, 所用试剂均为分析纯。

采用毒力测定试验相同的试验条件和方法, 开展药液胁迫下福寿螺成螺生理生化指标动态变化观察试验。通过预试验结果, 随机选取 40 只福寿螺置于浓度为 72 h 半数致死浓度的提取物溶液中, 对照组在等量的超纯水中进行, 每组试验设置 3 个平行。药液处理 6、12、24、48、72、96 h 后在试验组和对照组中随机选取 5 只活福寿螺, 用超纯水冲洗螺体, 解剖分解福寿螺的肝脏和腹足组织, 用 4 °C 生理盐水(质量分数 0.9%)冲洗 3 次后用滤纸吸干组织表面的水分, 并放置于-80 °C 冰箱存储备用。分别称取 1 g 福寿螺肝脏和腹足组织, 冰水浴条件下置于研钵中, 按组织重量(g): 体积(mL) = 1 : 9

的比例加入匀浆介质(0.9%生理盐水), 手动研磨得到 10%组织匀浆后, 将 2 种组织匀浆离心分离(4 °C, 3500 r·min<sup>-1</sup>, 15 min), 取上清液置于 4 °C 冰箱, 作为福寿螺生理生化指标 AChE、NOS、MDA、ALT/GPT、AST/GOT 的测定酶源。

AChE、NOS、MDA、ALT/GPT 和 AST/GOT 活性测定参照检测试剂盒说明书进行。每个处理重复 4 次。

#### 1.6 数据分析

在 Microsoft Excel 2010 软件中对试验数据进行预处理, 使用 SPSS 27.0 和 GraphPad Prism 软件对数据进行统计分析, 并用 GraphPad Prism 绘图。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较不同浓度京大戟乙醇提取物不同时间对福寿螺的毒杀活性的差异性; 相同处理时间, 试验组与对照组生理生化指标之间差异性采用独立样本 *t* 检验, *P* < 0.05 说明数据间存在显著差异, 具有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 京大戟乙醇提取物对福寿螺的毒力

如图 1 所示, 京大戟乙醇提取物对福寿螺幼螺和成螺均存在显著的灭杀生物活性, 1.44 g·L<sup>-1</sup> 药液浓度处理下, 幼螺和成螺在 12 h 便开始出现死亡现象, 校正死亡率分别为 11.11% 和 2.22%; 120 h 后, 幼螺和成螺的校正死亡率均达到 100%。相同药液浓度处理下, 福寿螺幼螺和成螺的校正死亡率都随着处理时间的延长而不断升高, 与福寿螺成螺相比, 京大戟乙醇提取物对幼螺表现出更高的灭杀生物活性; 相同处理时间下, 福寿螺幼螺和成螺的校正死亡率与药液浓度呈正比, 在试验浓度范围内, 药液浓度越高, 幼螺和成螺的校正死亡率越大, 差异也不断增大。总体而言, 京大戟乙醇提取物表现出显著的灭螺生物活性, 并具有长效性的特点, 经京大戟乙醇提取物处理后, 福寿螺幼螺和成螺的校正死亡率随处理时间延长均呈现上升趋势, 并且与浓度呈正相关, 但与福寿螺龄级呈负相关, 相对于成螺, 幼螺对京大戟乙醇提取物表现出更强的敏感性。

如表 1 所示, 处理 24、48 和 72 h 后福寿螺幼螺和成螺的 LC<sub>50</sub> 分别为 1.397、0.845、0.639 g·L<sup>-1</sup> 和 1.556、1.201、0.926 g·L<sup>-1</sup>, 相同处理时间下, 福寿螺幼螺的 LC<sub>50</sub> 均低于成螺; 并且随着处理时间延长, 幼螺和成螺的 LC<sub>50</sub> 均表现出下降的趋势, 其中福寿螺幼螺的 LC<sub>50</sub> 值下降幅度最大, 降低了 0.758 g·L<sup>-1</sup>。

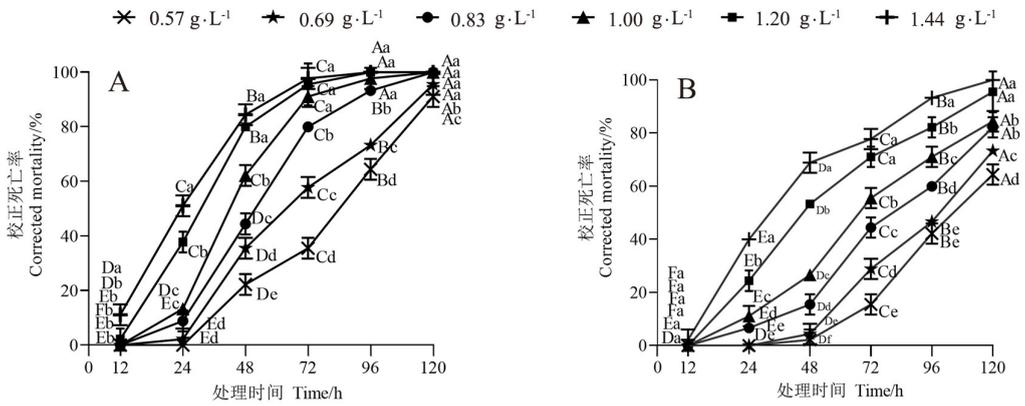


图 1 京大戟乙醇提取物处理下幼螺 (A) 和成螺 (B) 死亡情况

Fig.1 Mortality of juvenile (A) and adult (B) snail following treatment with ethanol extract from *E. pекinensis*

不同大写字母表示同一处理浓度不同处理时间之间差异显著 ( $P < 0.05$ );  
不同小写字母表示不同处理浓度同一处理时间之间差异显著 ( $P < 0.05$ ).

Different capital letters indicate significant differences within the same treatment concentration but various treatment durations ( $P < 0.05$ );

Different lowercase letters indicate significant differences among treatment concentrations at the same treatment duration ( $P < 0.05$ ).

表 1 京大戟乙醇提取物对不同龄级福寿螺的毒力

Table 1 Toxicity of ethanol extract from *E. pекinensis* against various age snails

处理 Treatment	处理时间 Treatment time/h	毒力方程 Toxicity equation	Pearson 卡方 Pearson's chi-squared	相关系数 Correlation coefficient	半致死浓度 LC <sub>50</sub> /(g·L <sup>-1</sup> )
幼螺 Juvenile snail	24	$Y = 6.585X - 0.955$	1.480	0.972	1.397 (1.286~1.584)
	48	$Y = 4.624X + 0.337$	0.850	0.980	0.845 (0.774~0.916)
	72	$Y = 6.436X + 1.254$	0.957	0.890	0.639 (0.576~0.688)
成螺 Adult snail	24	$Y = 6.339X - 1.217$	1.455	0.977	1.556 (1.400~1.881)
	48	$Y = 6.620X - 0.528$	0.724	0.987	1.201 (1.124~1.307)
	72	$Y = 4.429X + 0.148$	0.523	0.979	0.926 (0.850~1.010)

## 2.2 京大戟乙醇提取物对福寿螺神经系统靶标酶活性的影响

经京大戟乙醇提取物处理后,福寿螺腹足神经系统靶标酶 AChE 和 NOS 活性变化见图 2。如图 2A 所示,药液处理组福寿螺腹足 AChE 活性表现出前期(0~12 h)先升高,中期(12~72 h)逐渐下降,后期(72~96 h)趋于稳定的趋势,其中 12 h 福寿螺腹足 AChE 活性为  $2.40 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,显著高于空白对照组 ( $P < 0.0001$ ),是空白对照组的 1.67 倍;96 h

后,AChE 活性不再下降,为  $1.55 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,与空白对照组水平相当 ( $P > 0.05$ )。

福寿螺腹足 NOS 活性随处理时间的动态变化如图 2B 所示,前期(0~12 h) NOS 活性逐渐升高,12 h 后,NOS 活性为  $3.52 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,显著高于空白对照组 ( $P < 0.0001$ ),增加了 91.3%,之后急剧下降,96 h 后,NOS 活性已明显低于空白对照组 ( $P < 0.001$ ),降低了 29.8%。

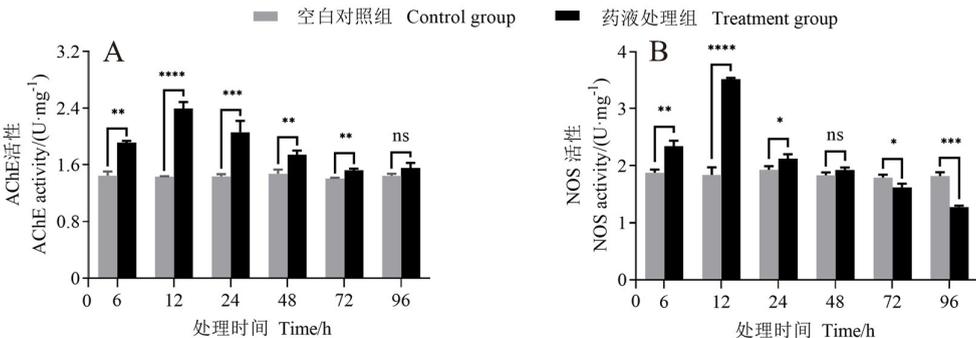


图 2 京大戟乙醇提取物对福寿螺 AChE (A)、NOS (B) 酶活性的影响

Fig.2 Effect of ethanol extract from *E. pекinensis* on the enzyme activities of AChE (A) and NOS (B) in *P. canaliculata*

\*\*\*\*:  $P < 0.0001$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; \*:  $P < 0.05$ ; ns: 差异不显著。

\*\*\*\*:  $P < 0.0001$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; \*:  $P < 0.05$ ; ns: No significant difference.

### 2.3 京大戟乙醇提取物对福寿螺抗氧化系统的影响

福寿螺经京大戟乙醇提取物处理后,肝脏中 MDA 含量随时间总体表现为先升高,后下降并趋于稳定的趋势(图 3)。6 h 时,药液处理组福寿螺肝脏中 MDA 含量相对于空白对照组上升显著 ( $P < 0.0001$ ),是空白对照组的 2.89 倍,此时药液处理组 MDA 含量为  $0.35 \text{ nmol} \cdot \text{mL}^{-1}$ ;12 h 后,药液处理组 MDA 含量相对降低了 25.7%,为  $0.26 \text{ nmol} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,之后 MDA 含量基本维持不变,但仍显著高于空白对照组 ( $P < 0.05$ )。

### 2.4 京大戟乙醇提取物对福寿螺肝脏解毒酶活性的影响

由图 4A 可知,经药液处理后,福寿螺肝脏 ALT/GPT 活性大致呈前期(0~6 h)先上升,中期(6~48 h)逐渐下降,后期(48~96 h)趋于稳定的趋势。其中,6 h 药液处理组 ALT/GPT 活性为  $2.14 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,与空白对照组相比上升显著 ( $P < 0.001$ ),上升了 17.5%;24 h 后,药液处理组 ALT/GPT 活性开始低于对照组,比对照组下降了 6.5%

( $P > 0.05$ );48 h 后,ALT/GPT 活性为  $1.13 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,与对照组相比下降 34.3% ( $P < 0.01$ ),之后 ALT/GPT 活性趋于稳定。由如图 4B 可知,药液处理组福寿螺肝脏 AST/GOT 活性被抑制,在 0~12 h 快速下降,并保持较低水平,其中 12 h 时,药液处理组 AST/GOT 活性为  $7.31 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,与空白对照组相比下降显著 ( $P < 0.0001$ ),活性下降了 51.1%。

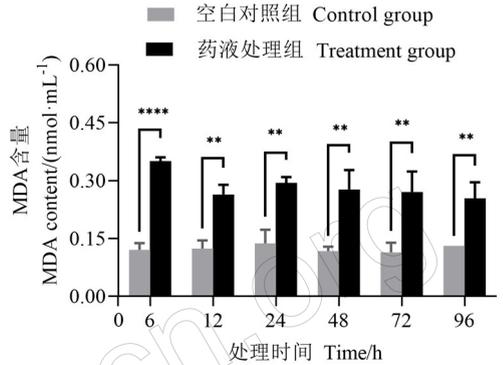


图 3 京大戟乙醇提取物对福寿螺 MDA 含量的影响

Fig.3 Effect of ethanol extract from *E. peginensis* on MDA content in *P. canaliculata*

\*\*\*\*:  $P < 0.0001$ ; \*\*:  $P < 0.01$ .

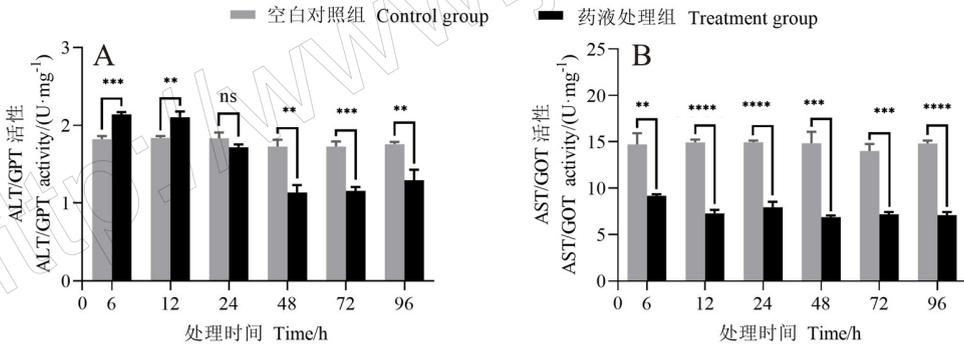


图 4 京大戟乙醇提取物对福寿螺 ALT/GPT (A)、AST/GOT (B) 酶活性的影响

Fig.4 Effect of ethanol extract from *E. peginensis* on the activities of ALT/GPT (A) and AST/GOT (B) in liver of *P. canaliculata*

\*\*\*\*:  $P < 0.0001$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; ns: 差异不显著。

\*\*\*\*:  $P < 0.0001$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; ns: No significant difference.

## 3 讨论和结论

福寿螺作为世界性典型外来入侵水生生物,具有极强的耐受性,在极端温度 (Matsukura *et al.*, 2016)、盐度 (Qin *et al.*, 2020)、干旱 (Yoshida *et al.*, 2014)、污染水体 (Kruatrachue *et al.*, 2011) 等环境中仍能生存,主要是由于福寿螺独特的生物体结构,其体内既有鳃又有肺,具有两栖呼吸能力,此外,还有着坚硬的螺壳和角质厣,当周围环境恶化的情况下,会通过爬离和紧闭螺厣等物理方式与环境污染进行隔绝,同时螺体还会分泌酸性的蛋白粘液将自身包裹 (尹绍武等, 2000)。本研究中,京

大戟乙醇提取物药液处理后,福寿螺幼螺和成螺的活动能力均有不同程度的减弱。研究表明,供试提取物对福寿螺具有显著的灭杀生物活性,短时间内即可对螺体造成致命性伤害,随着处理时间延长和药液浓度增加,福寿螺死亡率也在不断升高,这可能是因为超过福寿螺的耐受阈值之后,福寿螺机体所受伤害成倍扩大,死亡风险也增加, Yang *et al.* (2017) 在研究葛根提取物对福寿螺的生物灭杀活性中发现了同样的规律。相同时间下,福寿螺成螺的  $LC_{50}$  高于幼螺,说明成螺具有更强的抵抗药液的能力,在贤振华等 (2012) 开展的茶皂素对不同发育阶段福寿螺生长的影响研究中同样发现这种差异。

乙酰胆碱酯酶(AChE)是目前农药研发中最重要 的靶标酶之一,当 AChE 活性被抑制,乙酰胆碱 无法被水解,产生集聚现象,导致胆碱能神经处于 过度兴奋状态,机体出现类似有机磷中毒的症状, 严重时因呼吸麻痹而死(邹湘辉等,2016)。本研究 发现,72 h 半数致死浓度处理下,AChE 活性在前期 升高后恢复至正常水平,说明京大戟乙醇提取物并 不以乙酰胆碱酯酶为靶标,其短期内升高可能是因 为福寿螺的腹足接触药液而出现炎症,从而激活了 胆碱能抗炎通路(秦雨涵等,2022),机体通过提高 AChE 活性,减少其他促炎因子释放,达到抑制炎症 的目的。这与外源药物处理后动物组织中的 AChE 活性变化相似(Dai *et al.*,2011)。

一氧化氮合酶(NOS)是新型神经递质中的一 种,在信号传递过程中发挥着重要作用(王晓安等, 2003)。当 NOS 活性受到抑制,机体神经信号传 递、肌肉运动和神经主导的腺体分泌等功能会随之 受到抑制,严重时会造成机体死亡;外源药物诱导 NOS 活性上升,同时诱导 NOS 酶催化 L-精氨酸产 生大量 NO,对肠道黏膜产生杀伤性毒性(彭志锋 等,2022)。本研究发现,NOS 活性在试验前期升 高,12 h 后急剧下降,72 h 后更是低于正常水平,说 明京大戟乙醇提取物对 NOS 具有一定的靶向作 用,前期 NOS 活性升高,可能是由于螺体为抵抗药 液作用而做出的应急反应,72 h 后,NOS 活性的变 化与李洪军等(2006)试验中钉螺经氯硝磺胺处理 后体内 NOS 活性变化基本一致。

丙二醛(MDA)是外源性药物或有毒物质在体 内通过代谢过程产生自由基并引起脂质发生过氧 化作用后的主要代谢产物,是反应机体组织氧化损 伤程度的常用指标之一(刘时中等,1985)。在本试 验中,京大戟乙醇提取物处理下福寿螺肝脏中 MDA 含量上升显著( $P<0.05$ ),说明药液成分会破 坏福寿螺体内抗氧化机制,造成体内大量活性氧自 由基无法被及时清理,引起脂质发生过氧化作用, 从而产生大量的 MDA,是肝组织氧化损伤严重 的重要标志,这与毛蚴入侵后钉螺体内 MDA 含量变 化相似(易佳等,2021)。

ALT/GPT 和 AST/GOT 是肝脏中 2 种最常见的 转氨酶,它们参与肝脏的解毒过程,也是连接生物 体内糖类代谢和蛋白质代谢的桥梁,其活性的变化 可看作是肝脏活动功能的直接体现(熊涛等,

2018)。本研究中,经京大戟乙醇提取物处理后,福 寿螺肝脏中 ALT/GPT 活性总体呈先上升后下降的 趋势,而 AST/GOT 活性则对京大戟乙醇提取物更 为敏感,一直处于较低水平,这说明低浓度和短时 间处理下,可能福寿螺机体的自身免疫机制做出相 应的应激反应,通过调控转氨酶活性升高进行解 毒,后期降低可能是由于福寿螺肝细胞死亡,转氨 酶脱离肝脏内循环系统进入外周循环系统,药液处 理组转氨酶活性显著低于空白对照组可能是福寿 螺肝脏功能衰竭的象征,或许是福寿螺死亡的主要 原因。柯文山等(2000)灭杀钉螺的研究中发现,低 浓度羊蹄水浸液处理后钉螺肝脏转氨酶活性呈现 上升趋势,但当浓度高于 2.5%时,转氨酶活性开始 下降,转氨酶活性变化趋势与本研究结果相似。

综上所述,本研究结果表明,京大戟提取物会 对福寿螺体内抗氧化机制和肝脏组织功能造成明 显破坏并干扰福寿螺机体神经系统功能;京大戟对 福寿螺幼螺和成螺均具有显著的灭杀生物活性,极 具开发为生物灭螺剂的潜力。研究成果为京大戟 的开发利用和生物防治福寿螺提供了新的可能性。

## 参考文献

- 曹雨诞,陈海鹰,张丽,丁安伟,2014. 醋制降低京大戟细 胞毒性部位对小鼠肝脏氧化损伤机制研究. 中国药理学 通报, 30(2): 295-296.
- 岑小凤,李晶晶,2023. 4 种天然产物对福寿螺肝脏和头足 酶活性的影响. 江西农业大学学报, 45(2): 413-421.
- 陈露露,李旭,李波,谢永宏,张晟娟,钟家蓉,孙婷, 2023. 三种化学药物灭杀洋湖国家湿地公园福寿螺的效 果研究. 湿地科学, 21(1): 86-92.
- 陈泽柠,姚家丽,肖文君,廖锐,武正军,2014. 辣椒碱对 外来入侵种福寿螺的急性毒性作用. 湖北农业科学, 53(14): 3300-3302, 3309.
- 段清星,李湘,王本君,刘春红,高霞,敬凯,2016. 福寿螺密 度变化的环境影响因素研究. 四川动物, 35(4): 503-510.
- 葛秀允,孙立立,张乐林,2015. 醋制对京大戟刺激性毒性 作用的影响. 中国医院药学杂志, 35(5): 380-385.
- 靳书瑞,罗渡,张海涛,牟希东,胡隐昌,2019. 不同生活 史时期福寿螺(*Pomacea canaliculata*)对酸胁迫的响应. 生 态学杂志, 38(5): 1426-1432.
- 柯文山,杨毅,陈全胜,王万贤,马安宁,2000. 枫杨、羊蹄 水浸液对钉螺肝功能的影响. 湖北大学学报(自然科学 版), 22(1): 77-79.

- 李洪军, 梁幼生, 戴建荣, 徐明, 茹炜炜, 许永良, 2006. 氯硝柳胺悬浮剂对钉螺影响的酶组织化学观察. *中国血吸虫病防治杂志*, 18(6): 427-430.
- 刘时中, 林壮基, 黄谷送, 1985. 血清脂质过氧化产物——丙二醛测定及其意义. *广东医药学院学报*, 1(1): 18-22.
- 刘淑岚, 翁连进, 韩媛媛, 杨欣, 闵知大, 耿頔, 2019. 京大戟的化学成分和药理作用研究概述. *中国现代中药*, 21(1): 129-38.
- 彭志锋, 马国英, 杨靖辉, 刘颖, 2022. 大鼠缺血再灌注后早期运动干预通过诱导内皮型一氧化氮合酶活化发挥神经保护作用的机制研究. *中国康复医学杂志*, 37(10): 1301-1305.
- 秦雨涵, 侯宏卫, 胡清源, 2022.  $\alpha 7$  烟碱型乙酰胆碱受体在胆碱能抗炎通路中的作用机制及应用现状. *中国生物化学与分子生物学报*, 38(10): 1304-1310.
- 谭茵, 周子豪, 黄锦龙, 武正军, 2023. 福寿螺属主要入侵种(*Pomacea canaliculata* 和 *Pomacea maculata*) 研究趋势可视化. *南京师大学报(自然科学版)*, 46(1): 88-99.
- 王蝉娟, 徐成龙, 马俊, 那定勋, 张饮江, 2021. 蓖麻籽提取液对福寿螺毒杀效果及作用机制. *水生生物学报*, 45(2): 284-291.
- 王晓安, 蒋小满, 郑哲民, 2003. 软体动物的一氧化氮及其合酶的研究进展. *动物学杂志*, 38(6): 97-103.
- 魏雪涛, 尚兰琴, 蒋建军, 杨晓华, 张宝旭, 2007. 五氯酚钠急性染毒对小鼠免疫细胞损伤影响. *中国公共卫生*, 23(5): 597-599.
- 贤振华, 贾道田, 韩微, 艾辉建, 2012. 茶皂素对不同发育阶段福寿螺生长的影响. *南方农业学报*, 43(8): 1129-1134.
- 熊涛, 赵琴平, 刘镛, 蒋明森, 董惠芬, 2018. 灭螺药物作用下的螺类酶学研究. *中国血吸虫病防治杂志*, 30(2): 237-240, 243.
- 徐颖, 戴建荣, 2015. 氯硝柳胺的细胞毒性机制研究. *中国血吸虫病防治杂志*, 27(1): 104-107.
- 姚芳, 张楷承, 曹雨涎, 张丽, 2019. 京大戟醋制前后对斑马鱼胚胎肝、胃肠毒性的影响. *中国中药杂志*, 44(6): 1179-1185.
- 易佳, 何汇, 李博, 涂珍, 唐丽, 张聪, 刘建兵, 2021. 毛蚴感染对湖北钉螺生存及抗氧化酶系统的影响. *热带病与寄生虫学*, 19(1): 10-14.
- 尹绍武, 颜亨梅, 王洪全, 许芳, 2000. 福寿螺的生物学研究. *湖南师范大学自然科学学报*, 23(2): 76-82.
- 章家恩, 郭靖, 赵本良, 秦钟, 2019. 福寿螺的全方位综合防控技术体系构建与开发利用. *生态学杂志*, 38(12): 3831-3838.
- 邹湘辉, 谢东, 吴丽娜, 查广才, 孙延杰, 2016. 入侵植物乙醇提取物对福寿螺胆碱酯酶活性的影响. *湖北农业科学*, 55(6): 1451-1454.
- DAI L P, WANG W X, DONG X J, HU R Y, NAN X Y, 2011. Molluscicidal activity of cardiac glycosides from *Nerium indicum* against *Pomacea canaliculata* and its implications for the mechanisms of toxicity. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 32(2): 226-232.
- JAMWAL K, BHATTACHARYA S, PURI S, 2018. Plant growth regulator mediated consequences of secondary metabolites in medicinal plants. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 9: 26-38.
- KHURSHED A, RATHER M A, JAIN V, WANI A, RA-SOOL S, NAZIR R, MALIK N A, MAJID S A, 2022. Plant based natural products as potential ecofriendly and safer biopesticides: a comprehensive overview of their advantages over conventional pesticides, limitations and regulatory aspects. *Microbial Pathogenesis*, 173: 105854.
- KRUATRACHUE M, SUMRITDEE C, POKETHITIYOOK P, SINGHAKAEW S, 2011. Histopathological effects of contaminated sediments on golden apple snail (*Pomacea canaliculata*, Lamarck 1822). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86(6): 610-614.
- MATSUKURA K, IZUMI Y, YOSHIDA K, WADA T, 2016. Cold tolerance of invasive freshwater snails, *Pomacea canaliculata*, *P. maculata*, and their hybrids helps explain their different distributions. *Freshwater Biology*, 61(1): 80-87.
- QIN Z, YANG M Y, ZHANG J E, DENG Z X, 2020. Effects of salinity on survival, growth and reproduction of the invasive aquatic snail *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae). *Hydrobiologia*, 847(14): 3103-3114.
- SCHNASE J L, SMITH J A, STOHLGREN T J, GRAVES S, TREES C, 2002. Biological invasions: a challenge in ecological forecasting // IEEE. *International geoscience and remote sensing symposium*. Toronto, Canada: IEEE Xplore: 122-124.
- YANG C P, ZHANG M, LEI B, GONG G S, YUE G Z, CHANG X L, SUN X F, TIAN Y, CHEN H B, 2017. Active saponins from root of *Pueraria peduncularis* (Grah. ex Benth.) Benth. and their molluscicidal effects on *Pomacea canaliculata*. *Pest Management Science*, 73(6): 1143-1147.
- YOSHIDA K, MATSUKURA K, CAZZANIGA N J, WADA T, 2014. Tolerance to low temperature and desiccation in two invasive apple snails, *Pomacea canaliculata* and *P. maculata* (Caenogastropoda: Ampullariidae), collected in their original distribution area (northern and central Argentina). *Journal of Molluscan Studies*, 80: 62-66.