

# 夹竹桃水浸液与化学试剂对沼蛤防控技术比较

谭纤茹, 刘德富, 张佳磊, 李 阳, 魏小熙

(湖北工业大学土木建筑与环境学院 河湖生态修复与藻类利用湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430068)

**摘要:** 化学试剂灭杀沼蛤(*Limnoperna fortunei*)容易对水质产生二次污染, 物理防控方法操作困难, 利用植物的化感作用防控沼蛤效果好、生物毒性低、不会对水质造成二次污染。基于预实验筛选出对沼蛤具有化感作用的植物—夹竹桃(*Nerium indicum*), 比较夹竹桃水浸液与化学试剂的防治效果, 为沼蛤的防控技术提供理论依据。比较了5种常用试剂草甘膦、丹宁酸、高锰酸钾、次氯酸钠和氯胺对沼蛤的防治效果, 观察沼蛤的死亡率、开壳率、粘附率和移动距离, 筛选出防治效果较好的化学试剂, 然后与前期筛选出夹竹桃水浸液进行沼蛤防治效果比较实验, 确定夹竹桃对淡水壳菜的灭杀能力。结果表明, 通过不同化学试剂防治效果比较实验, 初步筛选出3种对沼蛤灭杀效果较好的次氯酸钠、高锰酸钾和氯胺, 其沼蛤最高死亡率均大于50%, 开壳率均在30%以下, 而粘附率在50%以下且沼蛤基本未移动; 通过夹竹桃水浸液与化学试剂的防治效果比较, 次氯酸钠、高锰酸钾、氯胺和夹竹桃水浸液均具有较好的防控效果, 其最佳投放浓度分别11 mg/L、4 mg/L、4 mg/L和4 mg/L, 半致死时间为111 h、109 h、122 h和82 h。

**关键词:** 沼蛤; 夹竹桃; 化学试剂; 化感作用; 防控技术

**中图分类号:** X174      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1674-3075(2019)01-0102-11

沼蛤(*Limnoperna fortunei*)属双壳纲、异柱目、贻贝科, 俗名淡水壳菜, 是一种典型的入侵型生物(刘月英, 1979; 中国科学院水生生物研究所管道小组, 1979; 王祯瑞, 1997), 源于南亚及我国南方沿海地区(Ohkawa et al., 2001), 随后通过船舶等工具入侵至长江流域、珠江流域、淮河流域以及黄河流域(Boltovskoy, 2015; Xu, 2015); 沼蛤生命周期短、成长快、繁殖能力较强(李代茂, 2009), 以滤食水中的硅藻、原生动物和有机碎屑等为生, 极易附着于硬物表面, 附着后很难去除, 而且会腐蚀附着面, 大量死亡后还会严重污染水质, 聚集附着至输水工程的管道、闸门、阀门等区域后, 会减小输水能力, 造成水头损失, 增大输水阻力、堵塞管道, 减少建筑物的使用寿命(董军和庄美琪, 2005)。沼蛤污损已经成为威胁水利工程运营的世界性问题(Ricciardi, 1998; 徐梦珍, 2012)。

沼蛤防治措施主要有物理方法、化学方法和生

物方法。物理方法包括水力冲刷、涂料防护法(姚国友等, 2016)、脱水干燥法(李名进和苏学敏, 2007)、封闭缺氧法(Darrigran et al., 2004)、高温水灭杀法(Morton, 1977)和人工去除(Morton, 1975)等方法, 但水力冲刷的流速需大于2 m/s才能有效防治沼蛤(向元龙, 1985); 而防护涂料则具有毒性、污染水体, 其他的人工去除和高温灭杀等方法只能短期内去除沼蛤, 成本高, 且会对建筑物表面造成一定的损伤, 影响工程的使用寿命; 化学方法是目前普遍采用的方式, 主要利用化学药剂直接杀死沼蛤成体和幼虫或溶解足丝使其脱落(Bax et al., 2001)。国内外主要采用的化学试剂有MXD-100(Fushoku et al., 1999)、Clam-Trol CT-2/Spectrus CT1300(Montresor et al., 2013)、BULAB 6002(Boltovskoy et al., 2006)、高锰酸钾、二氧化氯、次氯酸钠、硫酸铜(Waller et al., 1993), 但化学试剂对沼蛤的灭杀存在毒性强、易造成二次污染的问题, 且次氯酸钠等化学试剂在投加后会随着时间衰减; 生物方法主要是投放青鱼、三角鲂等可以吞食沼蛤的鱼类(张重祉, 2011), 虽然有利于保护环境, 但是需要一定的时间才能见效, 且防治效果较差。从防治效果来看, 化学方法较好, 但二次污染是目前应用当中存在的主要问题。前期借鉴利用植物的化感作用灭杀钉螺的思路, 进行化感植物灭杀沼蛤筛选实验, 筛选出的夹竹桃(*Nerium indicum*)水浸液对沼蛤的灭杀效果好、

收稿日期: 2017-02-27

基金项目: 湖北工业大学博士科研启动基金计划项目(BSQD14017); 科技部国际科技合作与交流专项(2014DFE70070); 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2014CB460601)。

作者简介: 谭纤茹, 1990年生, 女, 硕士研究生, 研究方向为生态水力学。E-mail: tanqianru2016@163.com

通信作者: 张佳磊, 1983年生, 女, 博士, 研究方向为流域水环境保护与河流水污染。E-mail: zhangjialei2015@sina.com

操作方便、成本低、作用时间长(谭纤茹等,2017);相关研究也表明,夹竹桃水浸液具有较强的杀虫、抑菌和灭螺活性(Sharma et al,2010);生物毒性实验结果表明,夹竹桃杀虫有效成分对水生生物鱼类的毒性属低等毒性且未发现遗传毒性(王芳等,2011)。

本文基于前期沼蛤生理及行为特性研究结果,从植物的化感作用角度开展防治技术研究。首先开展草甘膦、单宁酸、高锰酸钾、次氯酸钠和氯胺 5 种化学试剂防治效果比对实验,初步筛选出对沼蛤防治效果较好的化学试剂,确定其防治方法;然后将筛选出防治效果较好的化学试剂与夹竹桃水浸液开展比对实验,验证夹竹桃水浸液的防控效果并确定其防控方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与处理

沼蛤样本采集于武汉长江晴川桥下,采集与实验时间为 2016 年 9 月,采集地点水质为Ⅱ类水。采集时将附着于船底等建筑物表面的沼蛤用采样铲剥离,放入留有开口并加适量原水的采样盒中,当天带回实验室后放入培养池中培养。

实验前用剪刀将沼蛤足丝剪断,用数显游标卡尺测量体长,按照沼蛤不同生长的阶段,按体长( $L$ )分为: $L \leq 5 \text{ mm}$ 、 $5 \text{ mm} < L \leq 15 \text{ mm}$ 、 $15 \text{ mm} < L \leq 25 \text{ mm}$ 、 $L > 25 \text{ mm}$  共计 4 组,将分组后的个体放入原水中静水培养 2 d 后,挑选双壳张开呼吸且刺激后迅速闭合、活力较高的个体进行实验。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 不同化学试剂防治效果比较** 实验采用草甘膦、单宁酸、高锰酸钾、次氯酸钠和氯胺共计 5 种化学试剂作为沼蛤的灭杀试剂,参考前期的实验结果设计化学试剂灭杀浓度(魏小熙等,2016),设置 0、5、50、100 mg/L 共计 4 个浓度梯度实验组,每组均做 3 组平行实验;通过卡方检验,3 组实验结果的  $P$  值均大于 0.05,表明其差异不显著,结果均以 3 组平行实验的平均值来表示(分析误差范围<5%)。用纯水溶解相应药品后制成设定浓度的培养液,各组在实验容器中加入的培养液体积均为 3 L,并每隔 12 h 更换一次培养液,使各药品有效浓度保持在较高水平,环境温度为(19±1)℃;实验前挑选不同体长的沼蛤个体各 3 个共 12 个沼蛤放入每组实验装置中,定时观测其特性。实验装置如图 1-a、b 所示。(a)为圆形透明聚乙烯实验容器;(b)为底部布画坐标的沼蛤布置图;底面半径为 200 mm,高

250 mm。监测指标为开壳率( $m$ )、粘附率( $n$ )、移动距离( $r$ )、死亡率( $u$ )。

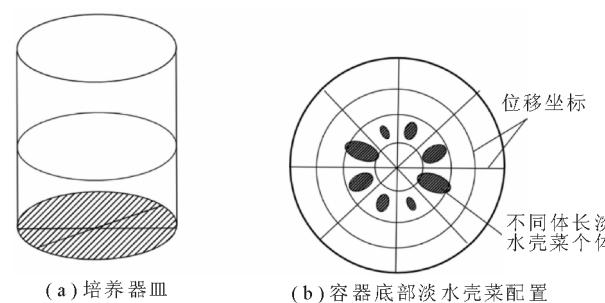


图 1 不同化学试剂对沼蛤的灭杀实验装置

Fig.1 Schematic diagram of apparatus used for *L. fortunei* elimination experiment

### 1.2.2 夹竹桃水浸液与化学试剂的防治效果比较

夹竹桃水浸液与初步筛选的化学试剂防控实验是在不同化学试剂防控实验的基础上,进一步探究夹竹桃水浸液与化学试剂的防控效果,提出夹竹桃水浸液的防控方法。参考王瑞(2011)的化学试剂灭杀浓度,实验设置浓度梯度分别为 0、1.0、2.0、4.0、6.0、8.0 mg/L。各组溶液体积均为 3 L,放入 3 个不同体长的沼蛤个体共 12 个,并每隔 12 h 更换 1 次培养液,使各药品有效浓度保持在较高水平,环境温度为(19±1)℃;每组实验均做 3 组平行,通过卡方检验,3 组实验结果的  $P$  值均大于 0.05,表明其差异不显著,实验结果均以 3 组平行的平均值来表示(分析误差范围<5%)。

### 1.3 监测指标

**1.3.1 开壳率** 开壳率( $m$ )是判断沼蛤活性的重要指标,开壳率越大则沼蛤活性越强(魏小熙等,2016),即: $m = N_m/N$ ;式中: $m$  表示开壳率; $N_m$  表示观测时间节点的开壳数(个); $N$  表示沼蛤实验总数(个)。

**1.3.2 粘附率** 粘附率( $n$ )是表征沼蛤达到稳定附着状态的重要指标,粘附率越大则沼蛤对环境适应性越强(魏小熙等,2016),即: $n = N_n/N$ ;式中: $n$  表示粘附率; $N_n$  表示观测时间节点粘附数(个); $N$  表示沼蛤实验总数(个)。

**1.3.3 移动距离** 移动距离( $r$ )表征沼蛤的运动能力及活性,移动距离越大则沼蛤活性越强,移动距离表示为各观测时间段移动距离之和(魏小熙等,2016),即:

$$r = \sum_{i=0}^n L_{T_i} \quad (n=0,1,\dots,n)$$

式中: $r$  表示移动距离(mm); $L_{T_i}$  表示观测时间节点  $T_i$  时刻与观测节点  $T_{i+1}$  时刻时间段内沼蛤个

体的移动距离(mm); $i$ 表示观测数(次)。

**1.3.4 死亡率** 死亡率( $u$ )是判断沼蛤活性的重要指标。沼蛤个体有以下特征之一的即判定为死亡:  
①贝壳张开,有软组织流出体外且明显腐烂;②贝壳张开,无明显死亡特征,可用细杆等刺激软组织或贝壳,不能自己合上贝壳;③贝壳紧闭但明显有白色絮状物流出;④贝壳紧闭无明显判断标志时,将其取出,放入原水中24 h不开壳。实验时沼蛤死亡个数采用累加计数方式计算(魏小熙等,2016),即:

$$u = \sum_{i=0}^n N_{uT_i} / N \quad (n=0,1,\dots,n)$$

式中: $u$ 表示死亡率; $N_{uT_i}$ 表示 $T_i$ 观测时间节点时沼蛤的死亡数(个); $N$ 表示沼蛤实验总数(个); $i$ 表示观测数(次)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同化学试剂防治效果比较

**2.1.1 死亡率和开壳率** 图2为5种化学试剂草甘膦、丹宁酸、次氯酸钠、高锰酸钾和氯胺对沼蛤的灭杀效果。同等浓度条件下,对沼蛤的灭杀效果从大到小依次为:高锰酸钾>次氯酸钠>氯胺>丹宁酸>草甘膦。草甘膦和丹宁酸对沼蛤的灭杀效果较差(图2-a,b),实验期间(0~130 h)最高死亡率分别为25%和40%(<50%);次氯酸钠、高锰酸钾和氯胺的灭杀效果较好(图2-c,d,e),最高死亡率均大于50%,其中高锰酸钾的灭杀效果最好,沼蛤的死亡率达到了80%以上,当灭杀浓度为5 mg/L时,沼蛤的半致死时间为80 h左右,在5种化学试剂中的半致死时间最短。

开壳率反映了沼蛤的活跃性,由图3可知,同等浓度条件下,沼蛤的活跃性从大到小依次为:草甘膦>丹宁酸>氯胺>高锰酸钾>次氯酸钠,沼蛤在草甘膦和丹宁酸中活跃性较高,4~40 h的开壳率为25%~62.5%,是沼蛤最活跃的时期;而在次氯酸钠、高锰酸钾和氯胺中,除对照组外,沼蛤的开壳率均在30%以下。

通过杀灭实验(死亡率和开壳率)可得出,对沼蛤杀灭效果较好的是次氯酸钠、高锰酸钾和氯胺,以致死比例来描述其致死效果,次氯酸钠与氯胺的 $D_{50}$ (引起沼蛤50%致死)浓度分别为70 mg/L和80 mg/L,其 $D_{90}$ (引起沼蛤90%致死)浓度分别为175 mg/L和215 mg/L,其 $D_{50}$ 时间分别为168 h、80 h、97 h,其 $D_{90}$ 时间分别为291 h、140 h、186 h。

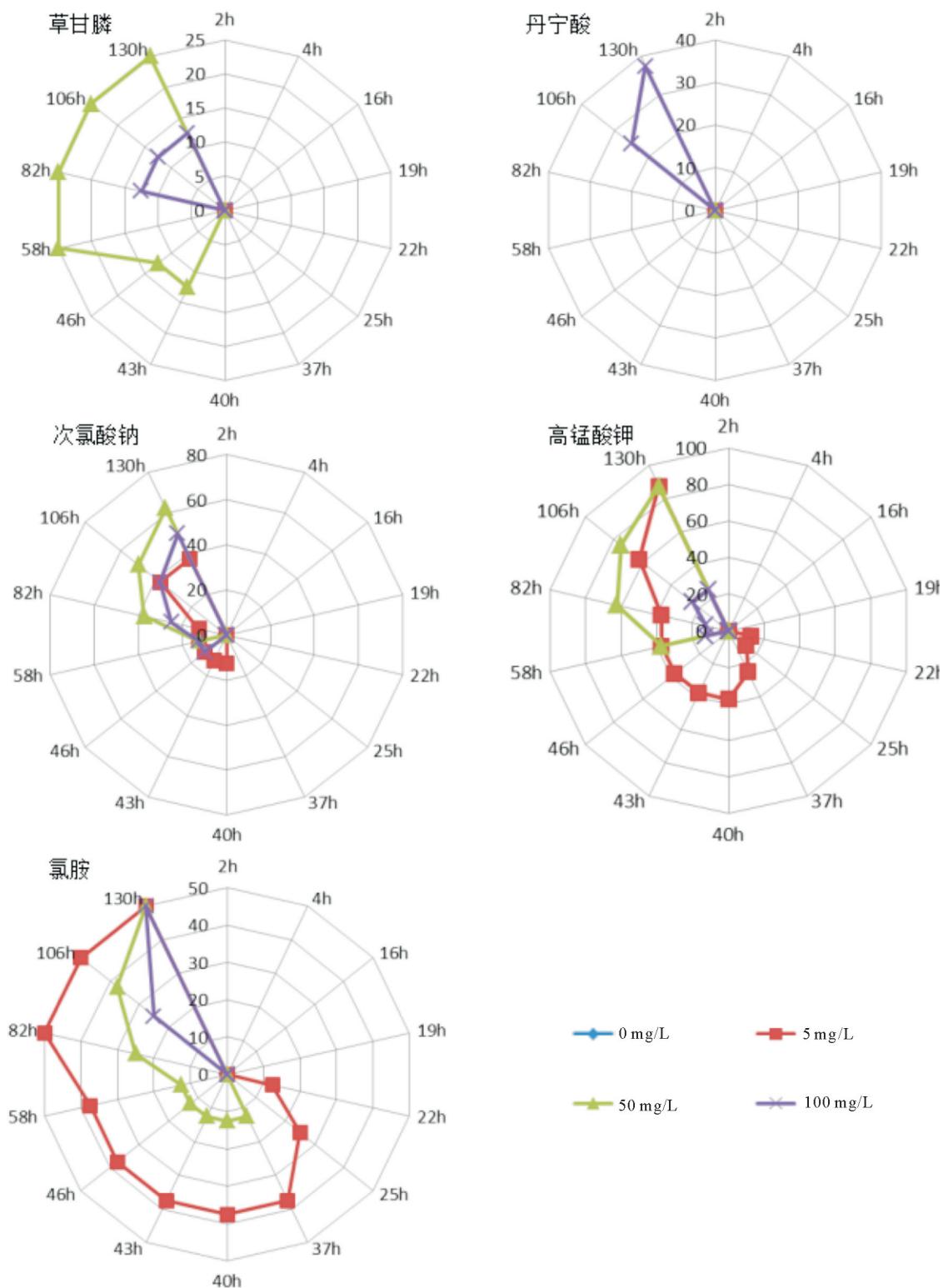
**2.1.2 粘附率** 图4表示草甘膦、丹宁酸、次氯酸钠、高锰酸钾和氯胺的粘附率变化。5种药品灭杀实验中,沼蛤均在2~4 h左右出现粘附;其中草甘膦和丹宁酸实验中,4种浓度下均出现粘附,草甘膦实验在130 h后4种浓度下粘附率均达70%以上,丹宁酸仅在5 mg/L时在130 h粘附率达到75%。次氯酸钠和高锰酸钾实验中除对照组外,仅5 mg/L中出现粘附,且粘附率均在50%以下;而氯胺试验中,除对照组外,其他未出现粘附。实验可见5种化学试剂下,沼蛤的粘附效果从大到小依次为:草甘膦>丹宁酸>次氯酸钠>高锰酸钾>氯胺。因此判定能有效防止沼蛤粘附的化学试剂为氯胺、高锰酸钾和次氯酸钠。

**2.1.3 移动距离** 沼蛤在5种化学试剂草甘膦、丹宁酸、次氯酸钠、高锰酸钾和氯胺的移动距离变化见图5。沼蛤在草甘膦和丹宁酸中较活跃,在4 h左右开始移动,且每组浓度均出现移动,说明这2种药品并不影响沼蛤的移动性。除对照组外,次氯酸钠中,仅在5 mg/L浓度下,沼蛤出现移动;而在氯胺中未出现移动。高锰酸钾溶液中虽然均出现移动,但移动距离较短。可能由于浓度过高,沼蛤出现应激反应,紧闭双壳,所以高浓度下沼蛤未出现移动。

### 2.2 夹竹桃水浸液与化学试剂的防治效果比较

**2.2.1 死亡率和开壳率** 次氯酸钠、高锰酸钾、氯胺和夹竹桃水浸液的死亡率和开壳率变化见图6。次氯酸钠、高锰酸钾、氯胺和夹竹桃水浸液中沼蛤均在20 h左右开始出现死亡,次氯酸钠和氯胺的灭杀效果较差,最后死亡率最高在60%左右,高锰酸钾和夹竹桃水浸液最后死亡率最高均达到了90%,且夹竹桃水浸液浓度在4 mg/L以上,死亡率均在60%以上。

如图7所示,次氯酸钠、高锰酸钾和氯胺中沼蛤的开壳率均在25%以下。在夹竹桃水浸液中,浓度在4 mg/L以上时,沼蛤的开壳率在20%以下。实验可见对沼蛤灭杀效果从大到小依次为:夹竹桃水浸液>高锰酸钾>次氯酸钠>氯胺。在130 h时,次氯酸钠、高锰酸钾、氯胺、夹竹桃水浸液的半致死浓度分别为11、4、4、4 mg/L,90%的致死浓度为37、8、14、7 mg/L。在各组灭杀效果较好的浓度下,次氯酸钠、高锰酸钾、氯胺、夹竹桃水浸液的半致死时间分别为111 h、109 h、122 h、82 h,90%的致死时间为188 h、191 h、201 h、137 h。

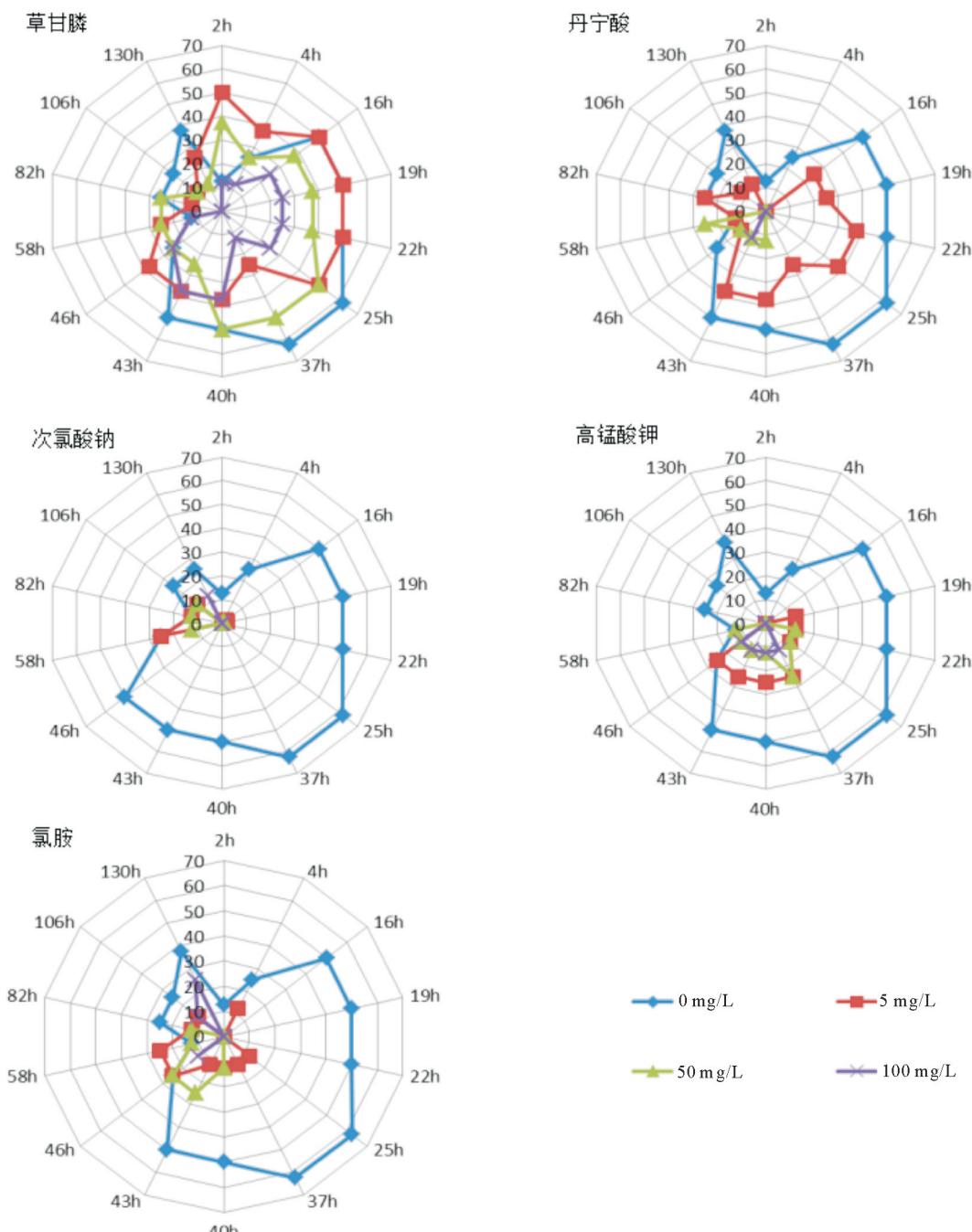


\* 经卡方检验,3组平行实验的P值均大于0.05,其差异不显著。

图 2 不同化学试剂对沼蛤的灭杀效果

\* According to chi-square test, P values of the three parallel experiments were all greater than 0.05, with no significant difference.

Fig.2 Elimination rate of *L. fortunei* exposed to different chemical reagents



\* 经卡方检验,3组平行实验的P值均大于0.05,其差异不显著。

图3 不同化学试剂对沼蛤的开壳效果

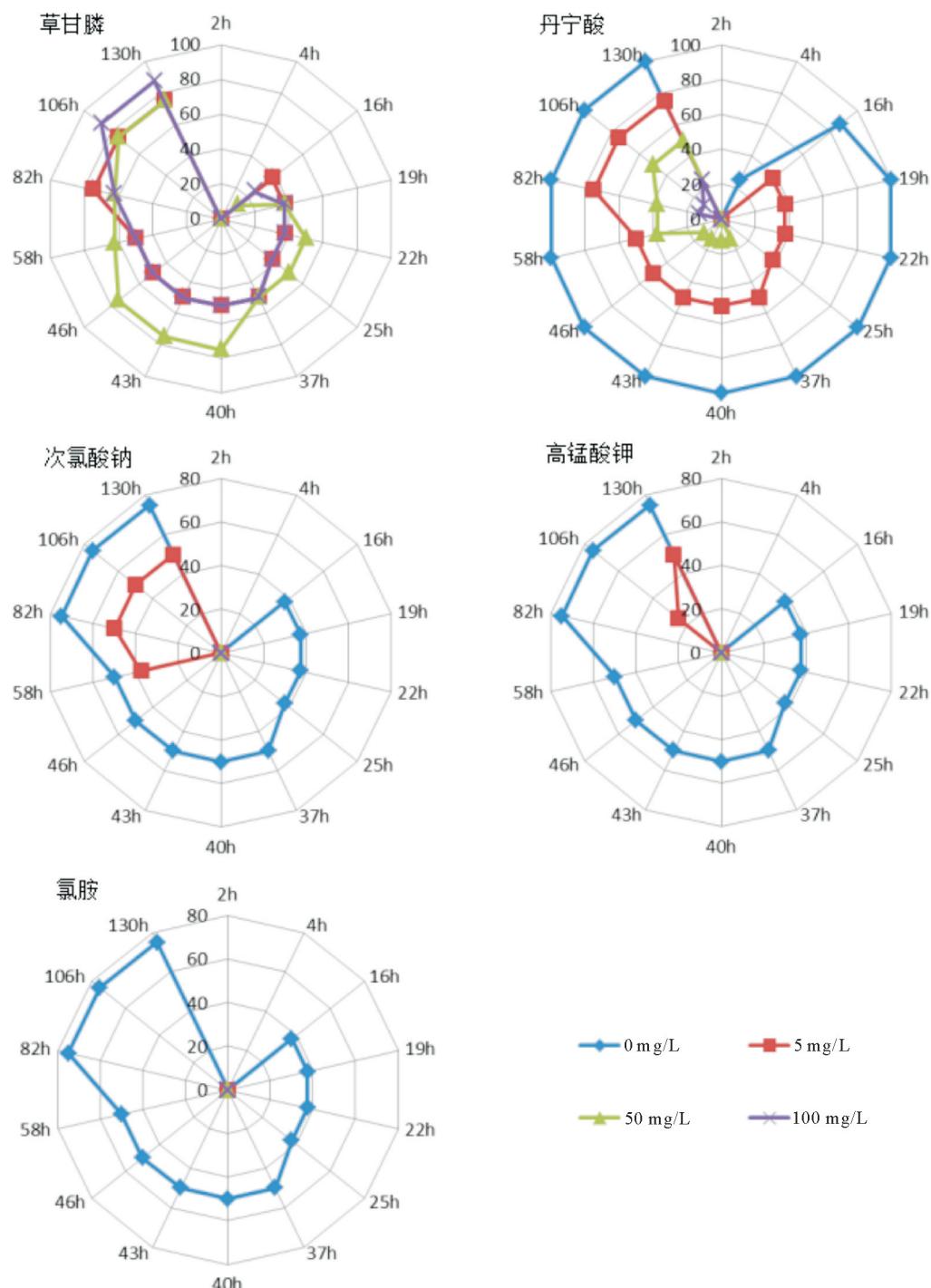
\* According to chi-square test, P values of the three parallel experiments were all greater than 0.05, with no significant difference.

#### Fig.3 Open shell rate of *L. fortunei* exposed to different chemical reagents

**2.2.2 粘附率** 次氯酸钠、高锰酸钾、氯胺和夹竹桃水浸液的粘附率变化见图8。在次氯酸钠、高锰酸钾和氯胺中,沼蛤均在4 h左右出现粘附。在次氯酸钠溶液中,除对照组外,每组浓度下沼蛤均出现粘附,且粘附率最高达到了75%。在高锰酸钾溶液中,除对照组外,仅在1 mg/L和2 mg/L浓度下出现粘附,粘附率最高达到了87.5%;在氯胺溶液

中,则只有1 mg/L浓度下出现粘附,粘附率最高只达到了25%。在夹竹桃水浸液中,也只在1 mg/L和2 mg/L浓度下出现粘附,粘附率最高达到了100%。

实验可见,4种溶液中,沼蛤的粘附效果从大到小依次为:次氯酸钠>夹竹桃水浸液>高锰酸钾>氯胺。



\* 经卡方检验,3组平行实验的P值均大于0.05,其差异不显著。

图 4 不同化学试剂对沼蛤的粘附效果

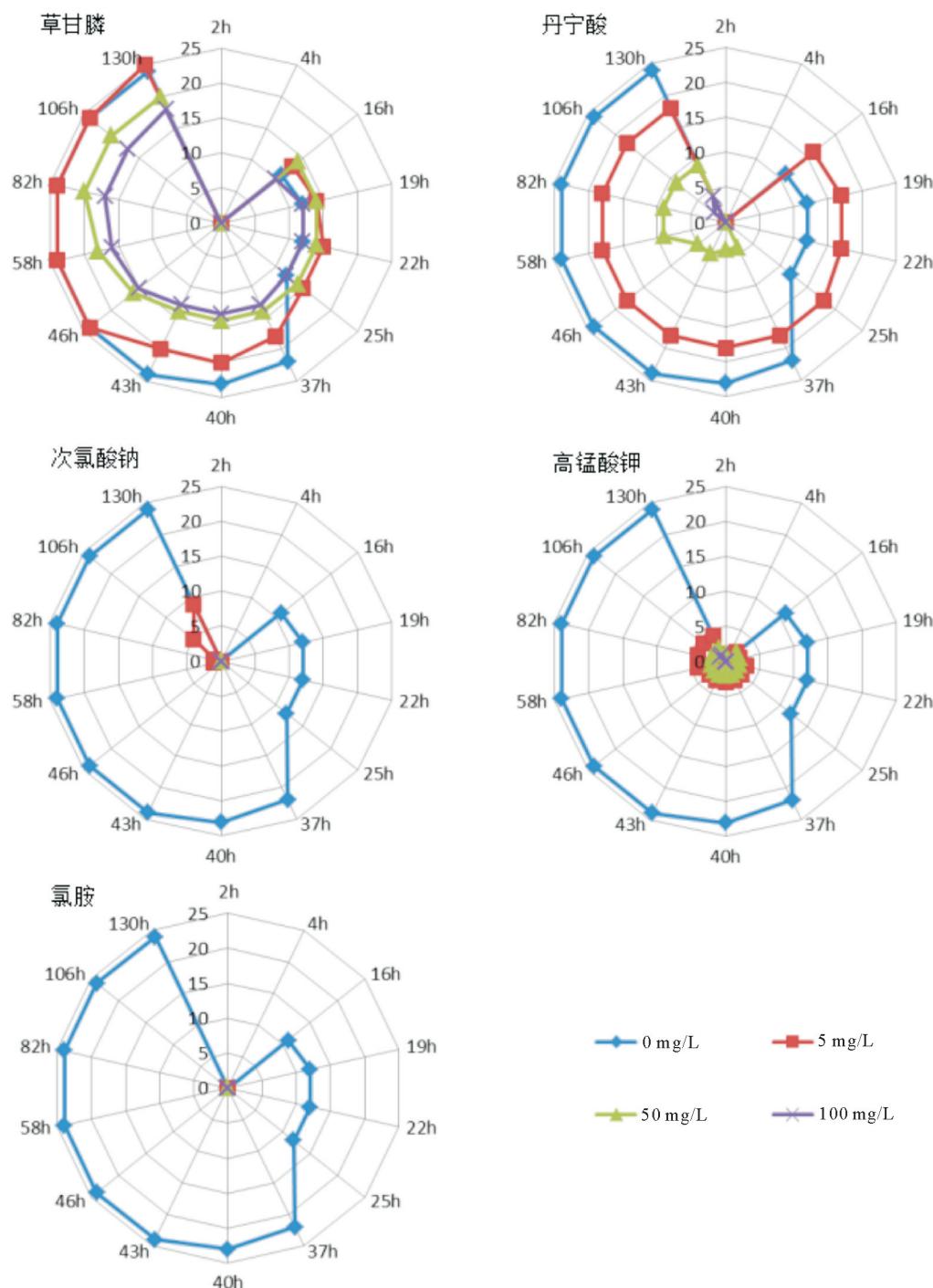
\* According to chi-square test, P values of the three parallel experiments were all greater than 0.05, with no significant difference.

Fig.4 Adhesion rate of *L. fortunei* exposed to different chemical reagents

2.2.3 移动距离 沼蛤在次氯酸钠、高锰酸钾、氯胺和夹竹桃水浸液的移动距离变化见图 9。

在 4 种溶液中,沼蛤的活跃性均随着溶液浓度增高而降低。在次氯酸钠和夹竹桃水浸液中,沼蛤在 6 种浓度下均出现移动,且在 1 mg/L 浓度下移动

距离最近;在高锰酸钾溶液中,2 mg/L 以上的浓度下,沼蛤基本可看作未移动,在 1 mg/L 和 2 mg/L 浓度下较活跃;在氯胺溶液中,沼蛤仅在 1 mg/L 浓度下出现移动,在 1 mg/L 以上的浓度中基本可看作未移动。



\* 经卡方检验,3组平行实验的P值均大于0.05,其差异不显著。

图5 不同化学试剂对沼蛤的移动效果

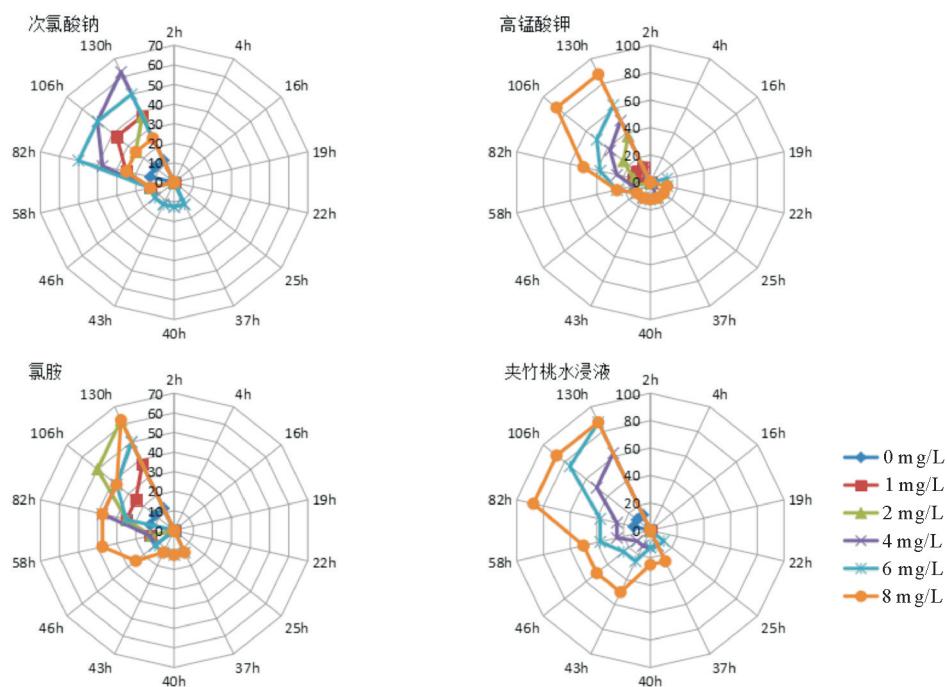
\* According to chi-square test, P values of the three parallel experiments were all greater than 0.05, with no significant difference.

Fig.5 Movement of *L. fortunei* exposed to different chemical reagents

### 3 结论

(1) 对沼蛤防治效果较好、速度较快的化学试剂为次氯酸钠、高锰酸钾和氯胺。通过夹竹桃水浸液与化学试剂的防治效果比较,可得出次氯酸钠、高锰酸钾、氯胺和夹竹桃水浸液的最佳投放浓度为

11 mg/L、4 mg/L、4 mg/L 和 4 mg/L,半致死时间为 111 h、109 h、122 h 和 82 h,化感植物夹竹桃水浸液对沼蛤的防治效果较好。国内外常用试剂有次氯酸钠和氯胺,其灭杀效果好、时间短、见效快,但存在毒性强、易造成二次污染等问题;而化感植物对沼蛤的灭杀效果好,生物毒性低,无二次污染。

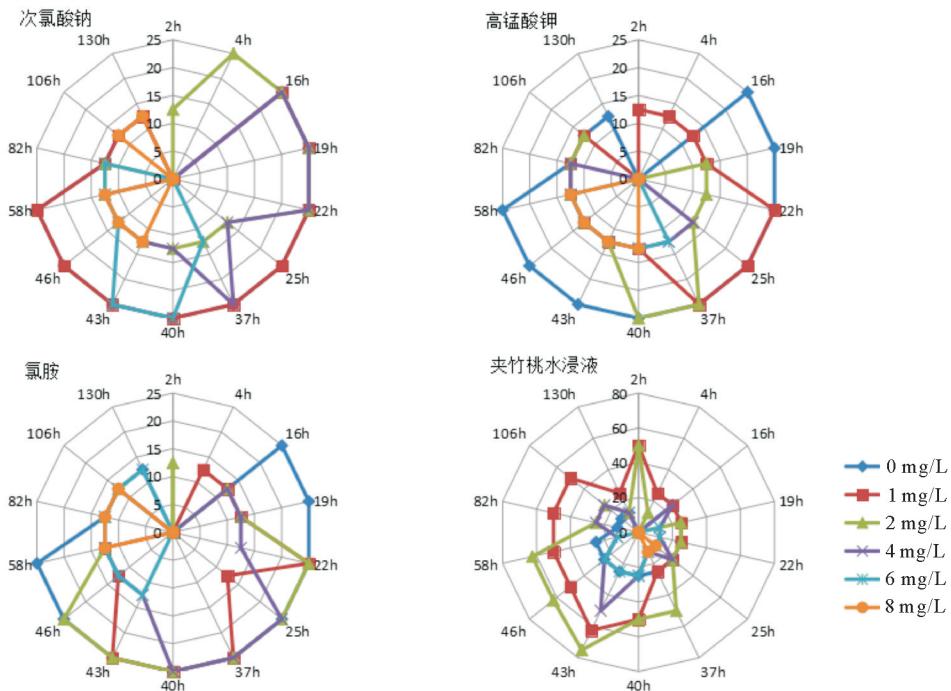


\* 经卡方检验,3组平行实验的P值均大于0.05,其差异不显著。

图 6 夹竹桃水浸液与化学试剂对沼蛤的灭杀效果

\* According to chi-square test, P values of the three parallel experiments were all greater than 0.05, with no significant difference.

Fig.6 Elimination of *L. fortunei* exposed to *N. indicum* extracts and different chemical reagents

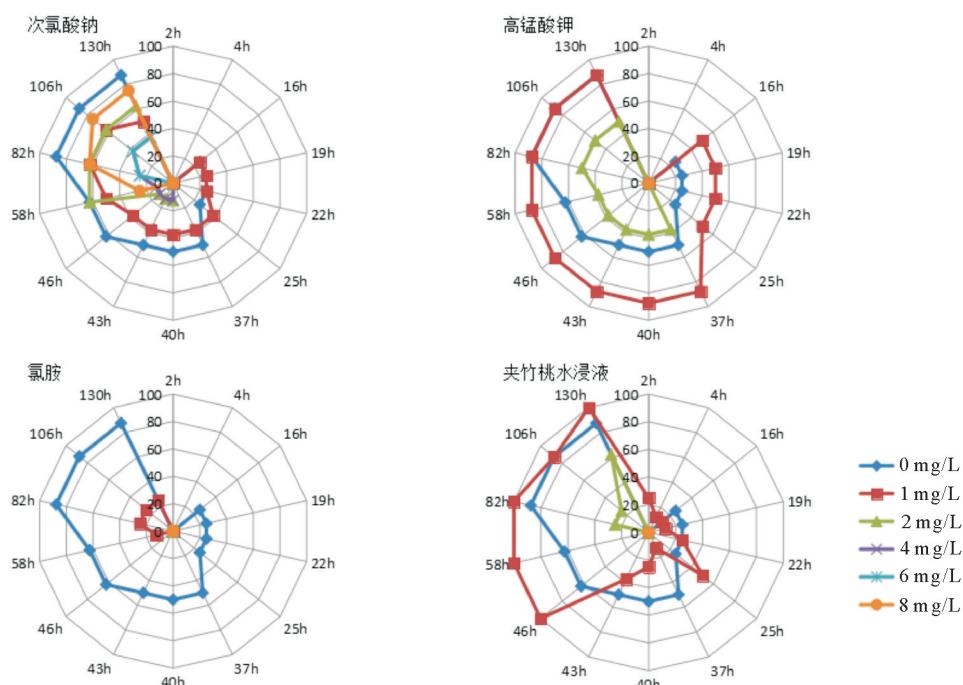


\* 经卡方检验,3组平行实验的P值均大于0.05,其差异不显著。

图 7 夹竹桃水浸液与化学试剂对沼蛤的开壳效果

\* According to chi-square test, P values of the three parallel experiments were all greater than 0.05, with no significant difference.

Fig.7 Open shell rate of *L. fortunei* exposed to *N. indicum* extracts and different chemical reagents

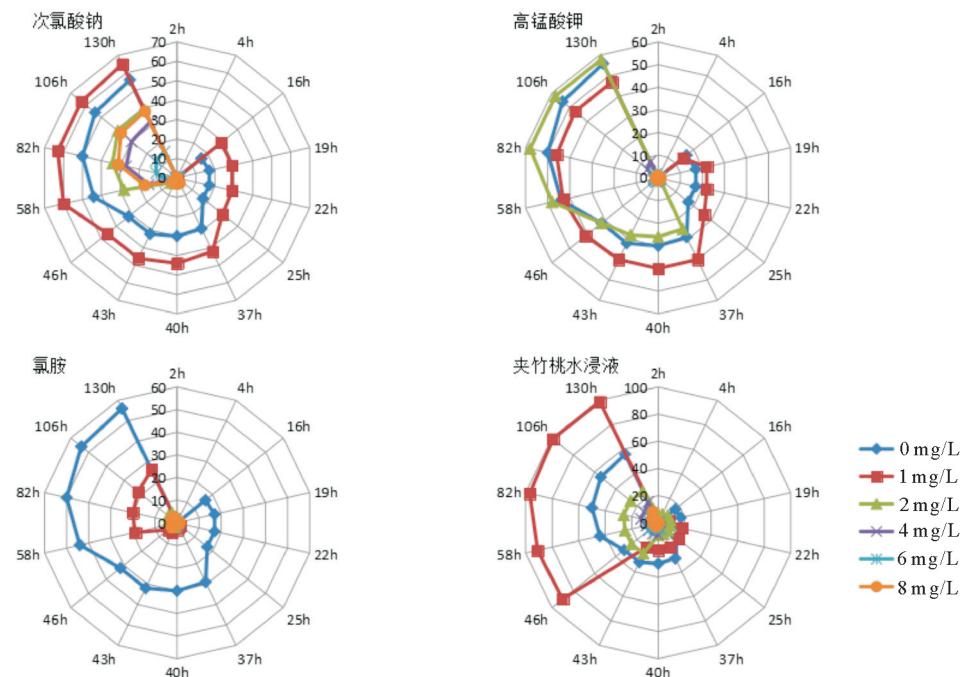


\* 经卡方检验,3组平行实验的P值均大于0.05,其差异不显著。

图8 夹竹桃水浸液与化学试剂对沼蛤的粘附效果

\* According to chi-square test, P values of the three parallel experiments were all greater than 0.05, with no significant difference.

Fig.8 Adhesion of *L. fortunei* exposed to *N. indicum* extracts and different chemical reagents



\* 经卡方检验,3组平行实验的P值均大于0.05,其差异不显著。

图9 夹竹桃水浸液与化学试剂对沼蛤的移动效果

\* According to chi-square test, P values of the three parallel experiments were all greater than 0.05, with no significant difference.

Fig.9 Movement of *L. fortunei* exposed to *N. indicum* extracts and different chemical reagent

(2)目前国内外对沼蛤的灭杀研究仅集中在其分布特征、生物学特征和防控方案上,对其防控机理研究较少。由前期他感植物灭杀钉螺的资料可知,夹竹桃水浸液的灭杀机理可能是其对沼蛤糖原、蛋白质和同工酶和羧酸酯酶等的影响,导致沼蛤死亡(王万贤等,2006)。结合本文的研究结果,夹竹桃水浸液对沼蛤的灭杀机理可能是对其实体内的解毒酶存在影响。在下一步的实验研究中,可以对夹竹桃水浸液灭杀沼蛤的机理进行研究。

## 参考文献

- 董军,庄美琪,2005. 长距离大流量输水管涵贝类防除研究[J]. 中国农村水利水电,(3):73-77.
- 李代茂,2009. 淡水壳菜对输水建筑物输水能力的影响研究[J]. 给水排水,35(s1):94-96.
- 李名进,苏学敏,2007. 长距离输水管涵贝类生长成因分析及防除对策[J]. 人民珠江,(3):29-34.
- 刘月英,1979. 中国经济动物志·淡水软体动物[M]. 北京:科学出版社:69-71.
- 谭纤茹,刘德富,张佳磊,等,2017. 淡水壳菜灭杀效果他感植物筛选研究[J]. 湖北工业大学学报,32(1):1-4.
- 王芳,戴灵鹏,郑祥河,等,2011. 夹竹桃(*Nerium indicum*)皂甙对鲫鱼(*Carassius auratus*)幼鱼的影响[J]. 农业环境科学学报,30(8):1526-1530.
- 王瑞,2011. 长距离输水管线中淡水壳菜的氧化杀灭去除技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学
- 王万贤,杨毅,王宏,等,2006. 夹竹桃强心总甙灭螺活性与机理[J]. 生态学报,26(3):954-959.
- 王祯瑞,1997. 中国动物志(无脊椎动物·软体动物门·双壳纲·贻贝目)[M]. 北京:科学出版社:28-42,210-213.
- 魏小熙,杨正健,刘德富,等,2016. 输水系统中污损生物沼蛤的氧化剂灭杀技术研究[J]. 中国农村水利水电,(5):17-22.
- 向元龙,1985. 发电厂供水系统中贝类的危害及其防治[J]. 华北电力技术,(4):24-27.
- 徐梦珍,2012. 输水工程中沼蛤的附着特征[J]. 清华大学学报(自然科学版),52(2):170-176.
- 姚国友,徐梦珍,安雪晖,等,2016. 防附涂料的防附着与抗侵蚀性能试验[J]. 水利发电学报,35(5):31-39.
- 张重祉,罗凤明,胡向萍,2011. 淡水壳菜的生物防治[J]. 科技经济市场,(12):12-13.
- 中国科学院水生生物研究所管道小组,1979. 淡水壳菜的生物学研究[J]. 动物利用与防治,(2):33-36.
- Bax N J, Schaffelke B, Campbell M L, 2001. A review of rapid response options for the control of ABWMAC listed introduced marine pest species and related taxa in Australian waters [M]. Hobart, Australia: CSIRO Marine

Research.

- Boltovskoy D, 2015. Distribution and Colonization of *Limnoperna fortunei*: Special Traits of an Odd Mussel[J]. Springer International Publishing,10:301-311.
- Boltovskoy D, Correa N, Cataldo D, et al, 2006. Dispersion and ecological impact of the invasive freshwater bivalve *Limnoperna fortunei* in the Río de la Plata watershed and beyond[J]. Biological Invasions,8(4):947-963.
- Darrigran G A, Maronas M E, Colautti D C, 2004. Air exposure as a control mechanism for the golden mussel, *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae)[J]. Journal of Freshwater Ecology,19(3):461-464.
- Fushoku B, Bumon I, 1999. Adhesion mechanism of marine sessile animals and anti-fouling counter measure [J]. Nippon Zairyo Gakkai,213:44-53.
- Montresor L C, Miranda-Filho K C, Paglia A, et al, 2013. Short-term toxicity of ammonia, sodium hydroxide and a commercial biocide to golden mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857)[J]. Ecotoxicol & Environmental Safety,92(3):150-154.
- Morton B, 1975. The colonization of Hong Kong's raw water supply system by *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) (Bivalvia: Mytilacea) from China[J]. Malacol Rev,8:91-105.
- Morton B, 1977. The population dynamics of *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) (Bivalvia: Mytilacea) in Plover Cove reservoir, Hong Kong[J]. Malacologia,16(1):165-182.
- Ohkawa K, Ichimiya K, Nishida A, et al, 2001. Synthesis and Surface Chemical Properties of Adhesive Protein of the Asian Freshwater Mussel, *Limnoperna fortunei* [J]. Macromolecular Bioscience,1(9):376-386.
- Ricciardi A, 1998. Global range expansion of the Asian mussel *Limnoperna fortunei* (Mytilidae): Another fouling threat to freshwater systems[J]. Bio fouling,13(2):97-106.
- Sharma P, Choudhary A S, Parashar P, et al, 2010. Chemical constituents of plants from the genus nerium[J]. Chemistry & Biodiversity,7(5):1198-1207.
- Waller D L, Rach J J, Cope G W, et al, 1993. Toxicity of candidate molluscicides to zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) and selected nontarget organisms[J]. Journal of Great Lakes Research,19(4):695-702.
- Xu M Z, 2015. Distribution and Spread of *Limnoperna fortunei* in China[J]. Invading Nature-Springer Series in Invasion Ecology,10:313-320.

(责任编辑 万月华)

## Comparison of Oleander Extracts and Chemical Reagents on the Prevention and Control of *Limnoperna fortunei*

TAN Qian-ru, LIU De-fu, ZHANG Jia-lei, LI Yang, WEI Xiao-xi

(School of Civil Engineering, Architecture and Environment, Key laboratory of Hubei Province for Lake Ecological Restoration and Algae in the Laboratory, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, P.R.China)

**Abstract:** *Limnoperna fortunei* (golden mussel) is a typical invasive organism. Preventing and controlling *L. fortunei* is difficult and, at present, the primary means is application of chemicals, resulting in serious secondary pollution of water. Based on our previous study of plant poisons and the physiological and behavioral characteristics of *L. fortunei*, we found that *Nerium indicum* (oleander) contained toxic substances that could potentially control *L. fortunei* with less secondary pollution. In this paper, we compared the effect of oleander extracts on *L. fortunei* with the effect of chemical reagents, aiming to provide a theoretical basis for controlling *L. fortunei* with a plant extract. The test *L. fortunei* were collected in the Yangtze River at Wuhan in September 2016 and divided into four groups according to body length ( $L \leq 5$  mm,  $5 \text{ mm} < L \leq 15$  mm,  $15 \text{ mm} < L \leq 25$  mm,  $L > 25$  mm). We first compared the effects of five chemical reagents (glyphosate, tannic acid, sodium hypochlorite, permanganate and chloramine) on *L. fortunei* and identified the most effective chemical reagents, based on mortality, shell opening rate, adhesion rate and movement. Four concentrations (0 mg/L, 5 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L) of each chemical were used for comparison, and each treatment was run in triplicate with 12 *L. fortunei* per trial (3 individuals of each body length). The three most effective chemical reagents were permanganate, sodium hypochlorite and chloramine, all three chemicals gave *L. fortunei* mortality rates  $>50\%$ , open shell rates  $<30\%$ , adhesion rates  $< 50\%$ , and no movement. These three chemicals were then compared with oleander extract under the same conditions, based on the same response parameters, using seven concentrations (0 mg/L, 1.0 mg/L, 2.0 mg/L, 4.0 mg/L, 6.0 mg/L and 8.0 mg/L). In all treatments death of *L. fortunei* occurred after 20 h exposure. The highest mortality of *L. fortunei* was  $>90\%$  in the permanganate and oleander treatments and  $>60\%$  in the sodium hypochlorite and chloramine treatments. The optimal concentration of sodium hypochlorite, permanganate, chloramine and oleander extracts were respectively 11 mg/L, 4 mg/L, 4 mg/L, 4 mg/L, and the median lethal times were 111 h, 109 h, 122 h, 82 h.

**Key words:** *Limnoperna fortunei*; *Nerium indicum* (oleander); chemical reagent; allelopathic effect; prevention and control effect