

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2025.01.010

毒杀福寿螺槟榔碱饵料的研制

年勇白丁^{1,2}, 张玥滢¹, 张维柯¹, 陈华保¹,
万宣伍³, 马利³, 杨春平¹

1. 四川农业大学 农学院, 成都 611130;
2. 德钦县农业农村局 种植业管理服务中心, 云南 迪庆藏族自治州 674500;
3. 四川省农业农村厅植物保护站, 成都 610041

摘要: 福寿螺是一种入侵我国的恶性水生生物, 不仅对农业生产造成威胁, 还严重危害人类健康。槟榔碱对福寿螺具有良好的杀螺活性。以槟榔碱为有效成分, 通过筛选福寿螺偏好的食物和引诱剂, 研制了槟榔碱饵料。单因素试验结果显示, 福寿螺对小米粉的取食量明显大于其他饲料, 平均每头 5.5 g 的福寿螺在 48 h 内的取食量为 2.93 g; 添加葡萄糖、鱼粉和水稻叶后福寿螺的取食量明显增强, 分别提高了 23.08%、26.63% 和 106.51%。单纯形重心设计法筛选出福寿螺饵料的适宜配方范围为小米粉 60%~84%、鱼粉 5%~13%、葡萄糖 1%~9%、水稻叶 10%~18%。将槟榔碱与筛选出的饲料混合进行胃毒活性测定, 发现槟榔碱对福寿螺具有良好的胃毒活性, 且作用时间越长, 胃毒效果越明显。在 24 h、48 h 和 72 h 的 LD_{50} 值分别为 426.74 $\mu\text{g/g}$ 、401.92 $\mu\text{g/g}$ 和 397.75 $\mu\text{g/g}$ 。研究结果为槟榔碱的进一步开发利用奠定了基础。

关键词: 福寿螺; 饲料筛选; 槟榔碱;
胃毒作用; 毒饵

中图分类号: S482.5

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2025)01-0075-09

Development of Arecoline Bait for Poisoning *Pomacea canaliculata*

NIAN YONG Baiding^{1,2}, ZHANG Yueying¹, ZHANG Weike¹,
CHEN Huabao¹, WAN Xuanwu³, MA Li³, YANG Chunping¹

收稿日期: 2024-01-10

基金项目: 四川省科技厅应用基础研究项目(2020YJ0412); 大学生创新训练计划项目资助(No.S202310626003)。

作者简介: 年勇白丁, 农艺师, 主要从事农技推广工作。

通信作者: 杨春平, 博士, 教授。

1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

2. Planting Management Service Center, Bureau of Agriculture and Rural Affairs in Deqin County,

Diqing Tibetan Autonomous Prefecture, Yunnan 674500, China;

3. The Plant Protection Station, Sichuan Provincial Department of Agriculture and Rural, Chengdu 610041, China

Abstract: *Pomacea canaliculata* is a malignant aquatic alien invasive organism in China, which not only affects agricultural production, but also seriously threatens human health. It was found that arecoline had good molluscicidal activity at low concentration. Using arecoline as the active ingredient, arecoline bait was prepared by screening the preferred food and attractant of *P. canaliculata*. The results of single factor experiment showed that the average 48 h feed intake of 5.5 g per *P. canaliculata* was 2.93 g, which was significantly higher than that of other feeds. Supplement of glucose, fish meal and rice leaf had obvious attractant effect, which increased the feeding amount of *P. canaliculata* by 23.08%, 26.63% and 106.51%, respectively. The range of suitable food formula of *P. canaliculata* were screened by the simplex centroid design method as follows: millet flour 60%–84%, fish meal 5%–13%, glucose 1%–9%, rice leaf 10%–18%. The gastric toxic activity of arecoline was determined by mixing arecoline with the selected feed. It was found that arecoline had better gastric toxic activity to *P. canaliculata*. The longer the action time, the more obvious the gastric toxic effect. The results of gastric toxicity test showed that the LD₅₀ values of arecoline were 426.74 µg/g, 401.92 µg/g and 397.75 µg/g at 24, 48 and 72 h, respectively. The results laid a foundation for the further development and utilization of arecoline.

Key words: *Pomacea canaliculata*; feed screening; arecoline; gastric toxicity action; poison bait

福寿螺(*Pomacea canaliculata*)是一种大型淡水螺,隶属于中腹足目瓶螺科,亦称大瓶螺或金苹果螺,原产于南美洲亚马逊河流域,被列为全球100种最具侵害性的外来物种之一^[1]。福寿螺以水稻、茭白等农作物为食,具有强大的繁殖能力、大量摄食和食谱广泛的特点,容易对农田及农业生态系统造成严重危害^[2]。此外,福寿螺还是广州管圆线虫的重要中间宿主,该线虫可导致嗜酸性脑膜炎^[3],尤其对儿童构成严重威胁,若感染未能及时诊断并接受有效治疗,可能危及生命^[4]。

福寿螺的主要防治手段为化学防治^[5],但由于杀螺剂种类有限且易造成环境污染,当前植物源杀螺活性物质的研发已成为国内外的研究热点。植物源杀螺活性物质根据化学组成可分为皂苷类和生物碱类等^[6]。皂苷类化合物因其良好的水溶性,能有效毒杀水生福寿螺。闫小红等^[7]报道,美洲商陆提取物对福寿螺表现出一定的杀螺活性,在质量浓度为4 000 µg/mL时,美洲商陆根提取的皂苷类化合物对福寿螺幼螺的24 h校正死亡率为34.83%。某些植物中的生物碱类化合物具有显著的杀螺作用。例如,麻疯树种子提取的麻疯素对钉螺具有强烈的杀灭效果,在质量浓度为6 mg/L时,48 h后钉螺的死亡率为100%;在质量浓度为12 mg/L时,对螺卵的杀死率为59%^[8]。槟榔碱是槟榔中的主要生物碱,具有多种生物活性,包括驱虫、灭螺及抗血栓等功能^[9]。陈冬梅等^[10]的研究表明,槟榔碱的抗血栓作用显著强于阿司匹林。大多数生物碱类农药对昆虫具有较强的胃毒作用,这使其在农业病虫害防治中具有精准杀灭害虫的优点,能够有效减少农药对环境的污染。因此,研发具有胃毒活性的杀螺剂对绿色防治福寿螺具有重要意义。

福寿螺为杂食性动物,能够摄食水稻、凤眼莲、白菜等植物以及玉米粉、鱼粉、蛋壳、小虾

等有机物质,但会回避污染或有刺激性的食物。因此,筛选适宜的饵料作为引诱剂显得尤为重要。王云波^[11]报道,灭旱螺(含 2%灭梭威)对蜗牛和蛞蝓具有良好的诱杀和毒杀效果;该药剂的防效不受温度和湿度的影响,只要蜗牛或蛞蝓摄食,即可实现理想的防治效果。饵料诱杀法目前主要用于红火蚁的防治,是该领域的重要防治手段之一。目前,关于福寿螺饵料配方的研究尚显不足。四川农业大学无公害农药实验室的前期研究表明,槟榔碱可能对福寿螺具有胃毒活性。为进一步验证槟榔碱是否具有胃毒活性,本试验计划筛选出最适宜的饵料和引诱剂,通过单纯形重心设计法^[12]确定福寿螺最偏好的饵料配方,并将槟榔碱与该配方饲料混合,进行胃毒活性测定。

1 材料与方法

1.1 试验材料

研究所使用供试软体动物为福寿螺(*P. canaliculata*)采自成都市温江区四川农业大学农场的水稻田(30.71°N, 103.87°E)。采集的福寿螺在清洗干净后,置于尺寸为 40 cm×25 cm×30 cm 的塑料箱中饲养。保持自然光照,每天定时更换水源、清理死螺,并提供新鲜白菜叶作为饲料。在实验室条件下饲养一周,使其适应实验室环境,然后挑选健康状况一致的福寿螺进行试验。试验所用 98%槟榔碱由四川农业大学无公害农药实验室提供。基础饲料和引诱剂的主要成分为 40 目麦麸、60 目米粉、80 目面粉、60 目小米粉、80 目玉米粉、分析纯蔗糖、分析纯果糖、分析纯葡萄糖、实验纯红糖、鱼粉、玉米汁和新鲜水稻叶碎片,以上均由四川农业大学无公害农药实验室提供。试验使用仪器主要包括分析天平(Sartorius te4101-L,德国赛多利斯集团)、超纯水机(Elix 35,成都宝塞思科技有限公司)、榨汁机和微波炉。

1.2 试验方法

1.2.1 基础饲料的筛选

称取不同原料的基础饲料各 3 g,加入 0.3 g 琼脂粉和 70 mL 蒸馏水。将混合物置于微波炉中加热,冷却凝固后制成块状饲料,每块饲料质量控制在(8.0±0.5)g。试验用福寿螺为经过 3 d 禁食的健康个体,每只螺质量约(5.0±0.5)g。将福寿螺单独放置于装有块状饲料的带孔塑料盒中,每个塑料盒中放置 1 只福寿螺,每组设 5 只螺,重复 3 次。饲喂 24 h 和 48 h 后,对剩余饲料进行称重,并计算每只螺的平均取食量,观察福寿螺对不同基础饲料的取食偏好。

1.2.2 饲料组分的筛选

以小米粉为基础饲料,添加蔗糖、果糖、葡萄糖和红糖,质量分数均为 1%,同时加入 10%的琼脂粉和 70 mL 蒸馏水,制成凝固的块状饲料^[13]。以小米粉为基础饲料,玉米汁、鱼粉和水稻叶作为引诱剂,每种引诱剂的质量分数为 20%,加入 10%的琼脂粉和 70 mL 蒸馏水,制成凝固的块状饲料^[14]。其余条件参考 1.2.1。

1.2.3 饲料组分配方单因素试验

筛选出最佳饲料组分后,以小米粉为基础饲料,加入 10%的琼脂粉,分别添加葡萄糖、鱼粉和水稻叶。每种组分设置 5 个梯度,具体配方见表 1。每组设置 5 只福寿螺,试验重复 3 次,其他条件参考 1.2.1。观察不同组分质量分数对福寿螺取食情况的影响,并在饲喂 48 h 后对剩余饲料进行称重,计算每只福寿螺的平均取食量。

表1 饲料组分的质量分数

饲料组分	质量分数/%				
葡萄糖	1	2	3	4	5
鱼粉	5	10	15	20	25
水稻叶	5	10	15	20	25

1.2.4 饲料配方优化研究

根据 1.2.1 至 1.2.3 的试验结果,采用单纯形重心试验设计法制定不同的饲料比例,试验方案详见表 2。按照试验设计称取相应比例的饲料组分,加入 0.6 g 琼脂粉和 140 mL 蒸馏水,制成凝固的块状饲料。饲喂后 24 h 和 48 h 统计福寿螺的取食量。

表2 饲料配方优化方案

配方编号	质量分数/%			
	小米粉	鱼粉	葡萄糖	水稻叶
1	84	5	1	10
2	60	29	1	10
3	60	5	25	10
4	60	5	1	34
5	72	17	1	10
6	72	5	13	10
7	72	5	1	22
8	60	17	13	10
9	60	17	1	22
10	60	5	13	22
11	68	13	9	10
12	68	13	1	18
13	68	5	9	18
14	60	13	9	18

1.2.5 槟榔碱对福寿螺的胃毒活性测定

参考任士伟等^[15]的琼脂饵料法制备琼脂饵料。将单头质量为 (5.0 ± 0.5) g 的福寿螺经饥饿处理 72 h 后放入含有药物的塑料盒中,每个塑料盒放置 1 只螺,并用打湿的纱布覆盖。采用饲喂法^[16]进行胃毒活性测定。每个处理组使用 10 只福寿螺,设置 5 个处理,质量分数分别为 0.4%、0.6%、0.8%、1%和 1.2%,重复 3 次。空白对照组的琼脂饵料不含槟榔碱,其余条件与处理组相同。试验过程中定期向纱布上喷水以保持适当湿度,并观察福寿螺的反应。处理后 24 h、48 h 和 72 h 分别检查福寿螺的取食量和死亡情况,计算槟榔碱对福寿螺的 LD₅₀ 值。

1.3 数据处理与统计学分析

所有试验数据均使用 Graph Pad Prism 8.0 软件进行显著性差异分析, $p<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 福寿螺对不同基础饲料的取食情况

由试验结果可知,饲喂 5 种基础饲料 24 h 后,福寿螺对玉米粉和小米粉的取食量更多,达

到了 1.69 g; 饲喂 48 h 后, 福寿螺趋向于取食小米粉, 取食量达到 2.93 g。因此, 后续试验选取小米粉作为基础饲料(表 3)。

表 3 福寿螺对不同基础饲料的取食情况

饲喂时间/h	取食量/g				
	玉米粉	米粉	小米粉	麦麸	面粉
24	1.69a	0.97c	1.69a	1.20b	0.90c
48	2.16b	2.03c	2.93a	2.10bc	2.10bc

注: 同行小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p<0.05$)。

2.2 福寿螺对饲料组分的取食情况

由试验结果可知, 在添加糖类的饲料中, 饲喂 24 h 后与空白对照组比较, 福寿螺对含蔗糖和葡萄糖饲料的取食量明显增加, 对红糖饲料的取食量明显降低。饲喂 48 h 后与空白对照组比较, 福寿螺对红糖与果糖饲料的取食量明显下降, 对含蔗糖和葡萄糖饲料的取食量明显增加; 其中对含葡萄糖饲料的取食量明显高于其他糖类饲料的取食量, 差异具有统计学意义。在添加其他组分的饲料中, 饲喂 24 h 后与空白对照组比较, 福寿螺对含鱼粉和水稻叶饲料的取食量明显增加, 而对含玉米汁饲料的取食量下降; 饲喂 48 h 后与空白对照组比较, 福寿螺对含鱼粉和水稻叶饲料的取食量明显增加, 对含玉米汁饲料的取食量下降(表 4)。因此, 后续选用葡萄糖、鱼粉及水稻叶作为饲料组分进行试验。

表 4 福寿螺对饲料组分的取食情况

饲料组分	饲喂 24 h		饲喂 48 h	
	取食量/g	取食增加量/%	取食量/g	取食增加量/%
CK	1.24d	0.00d	3.38d	0.00e
红糖	1.01e	-18.55e	2.14a	-36.69h
果糖	1.46c	17.74c	2.59c	-23.37f
蔗糖	2.93b	136.29b	3.60e	6.51d
葡萄糖	2.93b	136.29b	4.16f	23.08c
玉米汁	0.90f	-27.42f	2.36b	-30.18g
鱼粉	2.93b	136.29b	4.28f	26.63b
水稻叶	6.41a	416.94a	6.98g	106.51a

注: 同列小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p<0.05$)。

2.3 福寿螺对含不同质量分数饲料组分的取食情况

由试验结果可知, 饲喂福寿螺 24 h 后, 葡萄糖质量分数为 0%~2% 时, 福寿螺取食量与葡萄糖质量分数呈正相关; 葡萄糖质量分数为 2%~5% 时, 福寿螺取食量与葡萄糖质量分数呈负相关, 其中葡萄糖质量分数为 1%~2% 时, 福寿螺取食量随葡萄糖质量分数的升高而急剧升高, 葡萄糖质量分数为 3%~4% 时, 福寿螺取食量随葡萄糖质量分数的升高而急剧降低; 葡萄糖质量分数为 4%~5% 时, 福寿螺取食量变化又趋于平缓。因此, 选择质量分数 1% 作为添加

葡萄糖的下限(表5)。

鱼粉质量分数为0%~10%时,福寿螺取食量与鱼粉质量分数呈正相关;鱼粉的质量分数为10%~25%时,福寿螺取食量与鱼粉质量分数呈负相关。因此,选择质量分数5%作为鱼粉添加的下限(表5)。

水稻叶质量分数为0%~20%时,福寿螺取食量与水稻叶质量分数呈正相关;水稻叶的质量分数为20%~25%时,福寿螺取食量与水稻叶质量分数呈负相关。水稻叶质量分数为10%~15%时,福寿螺取食量变化较为平缓,质量分数为15%~20%,福寿螺取食量随水稻叶质量分数的升高而急剧降低,质量分数为20%~25%时,福寿螺取食量随水稻叶质量分数的升高而急剧下降。因此,选择质量分数10%作为水稻叶添加的下限(表5)。

表5 福寿螺对含不同质量分数饲料组分的取食量

饲料组分	质量分数/%	取食量/g
葡萄糖	0	1.58a
	1	3.07ab
	2	4.22b
	3	4.07b
	4	3.19ab
	5	2.94ab
鱼粉	0	1.58a
	5	3.66cd
	10	3.98d
	15	3.43c
	20	3.31bc
	25	2.93b
水稻叶	0	1.58a
	5	3.75bc
	10	4.03c
	15	3.57bc
	20	3.58bc
	25	3.36b

注:同列小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

2.4 福寿螺对配方优化后饲料的取食情况

由试验结果可知,福寿螺对配方编号为1、3、5、7、12、13和14饲料的取食量明显高于其他配方(表6)。福寿螺喜欢取食的饲料配方:质量分数为60%~84%的小米粉、质量分数为5%~13%的鱼粉、质量分数为1%~9%的葡萄糖、质量分数为10%~18%的水稻叶(表7)。

表 6 福寿螺对配方优化后饲料的取食情况

配方编号	24 h 取食情况		48 h 取食情况	
	质量/g	取食量/%	质量/g	取食量/%
1	4.17a	52.13a	6.09a	76.13a
2	1.00l	12.50l	2.62l	32.75l
3	3.63c	45.38c	4.67g	58.38g
4	1.59g	19.88g	3.07k	38.38k
5	2.28i	28.50i	4.78f	59.75f
6	1.47k	18.38k	2.27m	28.38m
7	3.22e	40.25e	4.59h	57.38h
8	2.74f	34.25f	4.29i	53.63i
9	2.46h	30.75h	3.90g	48.75g
10	2.26i	28.25i	3.26g	40.75g
11	2.64g	33.00g	4.35i	54.38i
12	3.66c	45.75c	5.25d	65.63d
13	3.54d	44.25d	5.37c	67.13c
14	3.89b	48.63b	5.44b	68.00b

注：同列小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p<0.05$)。

表 7 福寿螺喜食的饲料配方范围

饲料组分	质量分数/%
小米粉	60~84
鱼粉	5~13
葡萄糖	1~9
水稻叶	10~18

2.5 槟榔碱对福寿螺的胃毒活性

由表 8 结果可知，福寿螺的死亡率与槟榔碱质量分数呈正相关，即槟榔碱质量分数越高，死亡率越高。当用质量分数为 1.2% 的槟榔碱处理福寿螺时，死亡率达到了 90.00%。槟榔碱对福寿螺的毒力结果显示，槟榔碱对福寿螺具有较好的胃毒活性，且其胃毒处理福寿螺的作用时间越长，胃毒效果越明显，饲喂 72 h 时，LD₅₀ 为 397.75 μg/g(表 9)。

表 8 不同质量分数槟榔碱对福寿螺的胃毒活性

质量分数/%	死亡率/%		
	24 h	48 h	72 h
0	3.33a	6.67a	6.67a
0.4	23.33b	30.00b	30.00b
0.6	26.67b	36.67b	40.00c
0.8	50.00c	73.33c	76.67d
1.0	80.00d	76.67d	83.33de
1.2	90.00d	90.00d	90.00e

注：同列小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义($p<0.05$)。

表9 槟榔碱对福寿螺的胃毒活性

饲喂时间/h	毒力方程	相关系数	LD ₅₀ (95%置信区间)
24	$y=4.67x-7.29$	0.93	426.74(381.43~477.43)
48	$y=4.41x-6.49$	0.97	401.92(355.35~454.61)
72	$y=4.55x-6.83$	0.98	397.75(352.25~449.12)

3 结论与讨论

福寿螺作为一种恶性外来水生入侵物种,具有较强的繁殖能力、适应性及广泛的食性。目前,关于福寿螺取食饲料配方的研究主要集中在单一饲料种类的筛选上。尹绍武等^[16]的研究发现,福寿螺对浮萍、菜叶和苕麻叶表现出明显的选择性,且对小白菜具有正选择性。欧芳等^[17]的研究发现,福寿螺对草鱼粪便的取食率较高。然而,关于福寿螺饲料配方的研究报道较为有限。本试验采用单纯形重心试验法对福寿螺偏好的饲料配方进行了筛选,确定了各个饲料组分的适宜范围:小米粉 60%~84%、鱼粉 5%~13%、葡萄糖 1%~9%、水稻叶 10%~18%。本试验为福寿螺偏好的饲料配方筛选提供了理论依据,在农业生产中,可利用福寿螺偏好的饲料作为饵料实施防控。

从植物中提取有效成分以防治福寿螺,已成为福寿螺绿色防控的一个重要研究方向。槟榔碱是槟榔的主要活性成分,作为一种生物碱,具有良好的农用和医用活性。槟榔碱具有较为理想的杀螺效果及增效作用。谭苹等^[18]的研究发现,槟榔碱会引起钉螺神经节细胞线粒体变性甚至坏死,最终导致钉螺因神经功能丧失而死亡。Jaiswal 等^[19]的研究表明,槟榔碱显著抑制钉螺体内乙酰胆碱酯酶的活性,且抑制作用随处理时间的延长而增强。本试验将槟榔碱与合适的配方饲料混合,进行胃毒活性测定。毒力测定结果表明,槟榔碱对福寿螺具有良好的毒杀效果,且毒杀效果与处理时间及槟榔碱质量分数呈正比,效果与化学药剂的毒力相当,具有较高的研究价值和开发潜力。

在化学防治中,毒饵法被认为是一种最有价值的防治方法。作为一种剂型,毒饵因其使用方便、布防集中、不污染环境且效果可靠,广泛应用于卫生害虫的化学防治,尤其是在控制蜚蠊、蚂蚁等爬行性害虫密度方面^[20]。目前尚未见关于福寿螺防治的相关报道。本研究发现,以槟榔碱为有效成分的饵剂对福寿螺具有良好的毒杀效果,作用 72 h 后 LD₅₀ 值为 397.75 μg/g。该研究为今后福寿螺防控方法的开发提供了参考依据。

参考文献:

- [1] 王蝉娟,宋增福,鲁仙,等.我国福寿螺入侵现状和防控研究进展[J].生物安全学报,2021,30(3):178-182.
- [2] 卢永星.福寿螺的识别与防控[J].湖南农业,2021(10):53.
- [3] 郑惠文,黄达娜,陈木新,等.广州管圆线虫在非适宜宿主的分子免疫调控机制研究进展[J].中国病原生物学杂志,2021,16(8):979-983.
- [4] 罗智强,廖建湘.儿童广州管圆线虫脑膜炎 3 例临床特点及脑脊液宏基因二代测序诊断价值分析[J].中国实用儿科杂志,2022,37(1):59-62.
- [5] 康国栋.福寿螺的防治措施[J].湖南农业,2019(4):16.
- [6] 田悦,侯鑫鑫,陈鹏程,等.8.9%苦葛皂苷微乳剂对福寿螺药效试验[J].四川农业科技,2020(10):31-32,34.

- [7] 闫小红,周兵,邹有,等. 16种植物提取物对福寿螺杀螺效果的研究[J]. 广东农业科学, 2011, 38(4): 81-84.
- [8] 曾庆海,程忠跃,黄四喜,等. 麻风树素的灭螺效果研究[J]. 华中医学杂志, 2000, 24(3): 128-129.
- [9] 黄祥涛. 槟榔碱对大鼠肝脏 CYP2E1 及肝肾转运体表达的影响[D]. 武汉: 湖北大学, 2017.
- [10] 陈冬梅,慕邵峰,汪海. 激活血管内皮细胞乙酰胆碱作用靶标的抗血栓作用及其分子机制[J]. 中国药理学通报, 2002, 18(5): 527-531.
- [11] 王云波. 防治旱地蜗牛蛭蛄的高效杀螺剂-灭旱螺 2% 饵剂[J]. 植物医生, 1999, 12(3): 46.
- [12] 罗玲泉. 单纯形重心设计法复配酸乳饮料稳定剂研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(11): 205-207.
- [13] 徐武兵,钟秋华,李林峰,等. 雌雄福寿螺取食和对异性选择行为的差异[J]. 生态学杂志, 2011, 30(11): 2528-2533.
- [14] 刘勇. 白屈菜红碱毒杀福寿螺的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- [15] 任士伟,李辉,邢小霞,等. 软体动物毒剂生物测定方法-琼脂饵饼法[J]. 农药, 2012, 51(2): 108-110.
- [16] 尹绍武,颜亨梅,王洪全,等. 福寿螺的生物学研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2000, 23(2): 76-82.
- [17] 欧芳,吴迪,尹敏,等. 福寿螺对草鱼粪便再利用的可行性研究[J]. 南方水产科学, 2020, 16(2): 15-20.
- [18] 谭苹,何昌浩,刘冰,等. 槟榔碱与杀螺药合用对钉螺头足部影响的扫描电镜观察[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2001, 13(1): 21-23, 65.
- [19] JAISWAL P, SINGH V K, SINGH D K. Enzyme Inhibition by Molluscicidal Component of Areca Catechu and Carica Papaya in the Nervous Tissue of Vector Snail *Lymnaea Acuminata*[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2008, 92(3): 164-168.
- [20] 霍新北,刘峰,刘祖春,等. 残杀威饵剂的研制及现场应用研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2003, 14(6): 438-439.

责任编辑 苏荣艳