

生态入侵物种福寿螺的生物学特性及防治对策研究进展

朱攀, 冯如*, 封瑛, 王安阳, 汪俊杰, 向桐, 贺淑钰, 张劲, 蔡伟, 康群, 李兆华

湖北大学资源环境学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年9月23日; 录用日期: 2023年10月24日; 发布日期: 2023年11月1日

摘要

外来物种入侵是破坏生物多样性的重要原因之一。福寿螺作为世界性的外来入侵物种, 对生物多样性造成了严重的危害, 对农业安全与生态环境形成了威胁与打击。福寿螺在我国南方及中部地区大面积入侵, 并有向北方地区扩散的趋势, 这一局面引起了高度重视, 研究福寿螺的生物学特性以及有效的福寿螺防治对策迫在眉睫, 目前, 国内学者已针对福寿螺展开了广泛的研究。本文综述了生态入侵物种福寿螺的生物学特性及防治对策研究进展, 对福寿螺的进一步研究及防治提供了参考。

关键词

生态入侵, 福寿螺, 生物学特性, 防治对策, 研究进展

Research Progress on Biological Characteristics and Control Strategies of Ecological Invasive Species *Pomacea Canaliculata*

Pan Zhu, Ru Feng*, Ying Feng, Anyang Wang, Junjie Wang, Tong Xiang, Shuyu He, Jin Zhang, Wei Cai, Qun Kang, Zhaohua Li

School of Resources and Environment, Hubei University, Wuhan Hubei

Received: Sep. 23rd, 2023; accepted: Oct. 24th, 2023; published: Nov. 1st, 2023

*通讯作者。

文章引用: 朱攀, 冯如, 封瑛, 王安阳, 汪俊杰, 向桐, 贺淑钰, 张劲, 蔡伟, 康群, 李兆华. 生态入侵物种福寿螺的生物学特性及防治对策研究进展[J]. 世界生态学, 2023, 12(4): 359-366. DOI: 10.12677/ije.2023.124044

Abstract

Alien species invasion is one of the important reasons for destroying biodiversity. As a worldwide invasive species, *Pomacea canaliculata* has caused serious harm to biodiversity, agricultural security and ecological environment. *Pomacea canaliculata* has invaded a large area in southern and central regions of China, and has a tendency to spread to the north. This situation has attracted great attention. It is urgent to study the biological characteristics of *Pomacea canaliculata* and effective control measures of *Pomacea canaliculata*. At present, domestic scholars have carried out extensive research on *Pomacea canaliculata*. This paper reviews the research progress on the biological characteristics and control strategies of the ecological invasive species *Pomacea canaliculata*, and provides a reference for further research and control of *Pomacea canaliculata*.

Keywords

Ecological Invasion, *Pomacea Canaliculata*, Biological Characteristics, Countermeasures, Research Progress

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

福寿螺作为一大外来入侵物种，在短时间内由发源地南美亚马逊河流域迅速扩散至北美、亚洲、非洲等全球各地区，凭借其强大的生存能力大力挤压了本地物种生存空间，占据广泛的生态位，对本地物种多样性造成了严重的危害，给水稻种植等农业产业造成了惨重的损失，成为世界性的外来入侵物种。

我国也未能幸免于福寿螺的生态入侵。自 1979 年我国台湾地区首度以“致富”的名号引入福寿螺作为食用产品之后，广东、福建等地也相继将其引入养殖业。后因福寿螺食用口感不佳，且作为广州管圆线虫、卷棘口吸虫的中间寄主易传播传染病，逐渐淡出市场。由于相关人员缺乏生态安全意识，管控不力，福寿螺被大量丢弃至野外。此后，福寿螺以其旺盛的繁殖生存能力快速扩张地盘，由南及北地入侵了我国多个省份，从农村到城市，从农田到湿地，一夜之间福寿螺遍地开花，对各地的农业及生态安全构成了极大威胁。

自福寿螺入侵至今不过近 50 年时间，其繁殖的速度、造成危害的程度和需要被管控的力度都已大大超出意料。2000 年，国际政府间和民间环境保护组织世界自然保护联盟将福寿螺列为世界范围内 100 种恶性外来入侵物种之一，2003 年，中国国家环境保护总局和中科院经研究决定将福寿螺列入《中国第一批外来入侵物种名单》[1]，2008 年，福寿螺被中国国家环保总局列为重大危险性农业外来入侵生物之一[2]。福寿螺大面积入侵造成的生态安全和农业安全威胁引起了国家的高度重视，研究有效的福寿螺防治对策迫在眉睫。

福寿螺作为世界性的入侵物种，在北美、亚洲、非洲多个地区均有发生，遍布农田、湿地、浅滩和湖泊。目前，福寿螺防治的主要问题是发生范围广且分散，多发于农村地区，难以集中、彻底地进行防治，亟待提高效率并降低成本的同时，建立成体系的分散防治对策。

因此，研究生态入侵物种福寿螺的生物学特性及有效的防治对策，对控制其威胁生态环境、维持生

态系统平衡和保护生物多样性有着非凡的现实意义和生态价值。

2. 福寿螺的生物学特性

2.1. 外形结构特征

截至 2022 年研究表明,我国的福寿螺外来种类主要有五类,分别为小管福寿螺(*Pomacea canaliculata*)、斑点福寿螺(*Pomacea occulta*)、隐秘福寿螺、神秘福寿螺和梯状福寿螺。其中,小管福寿螺是入侵我国地域最广的种类,且造成的危害最为严重恶劣,国内外研究福寿螺入侵皆以此为主;除此之外,国内研究少量涉及斑点福寿螺,其分布地区主要为四川、浙江、香港等地;隐秘福寿螺为发现的新种,和斑点福寿螺的入侵地区几乎重叠;神秘福寿螺作为宠物螺引进我国,目前尚未发现野外分布;梯状福寿螺仅在我国台湾南部地区发现[3]。

从外表上观察,福寿螺与田螺极为相似,但通过细节差异仍然能够辨别。

成年的福寿螺个头比田螺大得多,且其螺口也比田螺更大;两种螺在厩的形状上也有区别,福寿螺的厩较扁而田螺的厩偏圆;福寿螺的椎尾平而短促,成圆盘形,田螺的椎尾则显得长而尖,成锥形;福寿螺外壳颜色偏黄偏脆,田螺壳则偏青黑色较硬。

2.2. 牧食特性

福寿螺喜阴避光,常在暗环境下进食。福寿螺消化能力强,因此其食量很大。敖鑫如[4](1990)研究表明福寿螺属于杂食性生物,食性很广,以鲜绿多汁的植物为主,尤喜食幼嫩、带甜味的食物以及植物性蛋白含量高的食物。安登[5](1989)发现幼螺食物以细萍、腐殖质、青饲料为主,成螺主要取食植物性食物,也爱吃水中的动物腐肉。据刘巧[6]等(2016)不完全统计,福寿螺可摄食多达 43 种农作物和植物。此外,俞晓平[7]等(2001)通过实验得知福寿螺对有污染、有刺激性的以及茎、叶长有芒刺的食物回避。

任和[8]等(2020)研究得出福寿螺取食水稻、莲藕、菱角、茭白等农作物,对农业安全构成了巨大威胁,对农民经济创收造成了较大打击。此外,福寿螺还摄食满江红、浮萍、凤眼莲等水生植物,麦麸、鱼粉、蛋壳甚至小虾等也能够作为其摄食对象。杨诚[9]等(2021)等研究福寿螺牧食偏好发现,轮叶黑藻最受福寿螺牧食喜爱,其次是穗花狐尾藻叶片,但福寿螺不牧食穗花狐尾藻的茎。

综上所述,福寿螺对水生植物的摄食范围广泛,除了威胁农业安全之外,还易造成生物链断裂从而使生态系统失衡,对生态环境影响恶劣。

2.3. 生活习性

福寿螺抗逆性强,对水质的要求非常低,原因在于它有着独特的鳃肺呼吸系统。当水环境质量较好、溶氧量大时,福寿螺用鳃呼吸,当水质较差、溶氧量较少时,福寿螺可以用肺吸管呼吸,因此,福寿螺对水环境的适应能力十分强大。此外,福寿螺蛰伏及冬眠的生活习性也使其适应生存环境的能力更加强大。经张国良[3]等(2008)研究发现,在有泥土无水的条件下,福寿螺可休眠度过 6~8 个月,等到水源充足又能重新复苏。

福寿螺对环境因子的变化有一定的调节机制和极强的适应性。水温是福寿螺生存的重要环境因子。敖鑫如[4]在 1990 年的福寿螺养殖试验研究表明,福寿螺生存的水温范围为 5℃~45℃,其中最适宜福寿螺生长的水温是 25℃~32℃,超过 35℃时生长速度则会下降。水的深度也是影响福寿螺存活率的重要因子,水深 50 cm 以下的浅水区域是福寿螺主要的适宜生存区域,但是这一数值会随着地区的改变及其他环境因子的协同作用而有所改变。例如:安登[5](1989)在其研究中表示,在日本——水位高于 50 cm,福寿螺种群数量快速减少,夏威夷——福寿螺适应低于 30 cm 的水深,当水深超过 30 cm,福寿螺少有分

布。光周期是影响福寿螺的重要环境因素之一，高黑暗度会严重抑制福寿螺的生长发育及繁殖能力。环境酸碱性对福寿螺也有一定影响。王婵娟[10]等(2021)研究表明，环境呈现强酸性或强碱性都会影响福寿螺的生长、繁殖，且食物缺乏会加剧酸碱性对福寿螺生长繁殖的抑制效果。此外，在盐胁迫环境下，福寿螺的耗氧率降低，排氨率升高。

2.4. 繁殖特性

不同于田螺的卵胎生特征，福寿螺为卵生动物，一次受精可多次产卵。王俊[11]等(2020)通过田间试验统计得出福寿螺年产卵量最高可达 9000 粒。为了避免水生动物采食卵，福寿螺将卵产在水面以上的植物茎秆或者岸边。杨宗英[12]等(2021)发现福寿螺卵需要连续暴露在干燥的空气中至少 15 天才能够顺利孵化。

2.5. 自我保护能力

福寿螺较厚的螺壳可助其躲避敌害的物理攻击；成螺遇天敌会躲避捕食，隐于水底或泥土中；而且福寿螺具有强大的快速修复能力，早在 2008 年张国良等[3]就发现可通过血液循环修复受广州管圆线虫等病菌侵染的细胞。

值得一提的是，福寿螺的卵具有一系列自我保护的特点。首先，为了保证卵能够在干燥的空气中暴露 15 天从而顺利孵化，福寿螺的卵最外层包裹有不透明的钙质卵壳，起到了疏水、防光照的作用；其次，KA. Hayes [13]等(2015)发现福寿螺卵中含有三种蛋白，分别为 Ovorubin (Ovo, 也可称作 PV1)、Perivitellin-2 (PV2)和 Perivitellin-3 (PV3)，Ovo 占总蛋白含量的 60%，使得刚产出的卵呈鲜红色，张国月[14]等(2021)研究表明 Ovo 是一种非常明显的警戒色，令许多动物接收到信号而放弃取食；PV2 是一种神经毒素，占总蛋白含量的 20%，它与 PV1 协同作用起到警戒的目的；PV3 作为一种蛋白酶抑制剂，使得卵难以消化，从而降低了其对动物的取食价值，大大降低了动物对福寿螺卵的取食概率。

3. 福寿螺的防治对策研究

3.1. 化学防治

针对福寿螺，最传统的防治方式就是化学防治。截至 2020 年，应用较为广泛的化学杀灭药剂有杀螺胺、氯硝柳胺等[15]。虽然化学药剂对福寿螺的防治效果很突出，但是它的副作用也是显而易见的。化学药剂易造成严重的环境污染，会影响到生物多样性和生态环境，另外，若不控制使用频率和剂量，还会使福寿螺形成抗药性，增大杀灭难度[6]。

3.2. 生物防治

福寿螺的生物防治主要是指运用食物链规则在福寿螺入侵区域放养其天敌。福寿螺之所以在其原产地南美没有失控的原因就在于当地有福寿螺的天敌—食蜗鸢。经郭靖[16]等(2020)研究发现，除了食蜗鸢以外，水蛭、螃蟹、鲤鱼、青鱼、尼罗罗非鱼、鲫鱼、乌龟、野鸭、沟鼠、青蛙等皆可取食福寿螺。但目前仅发现四种生物取食福寿螺卵，它们分别是同型巴蜗牛(*Bradybaena similaris*)、发光陆螺(*Quantula striata*)、热带火蚁(*Solenopsis geminata*)和螽斯(*Conocephalous longipennis*)，且这四种生物对福寿螺卵的取食量都不大，例如：在实验条件下观察同型巴蜗牛，一周取食福寿螺卵仅 100 粒左右。因此运用以上四种生物来控制福寿螺生物量的作用较微小。

生物防治法虽然有效，但需要考虑生态系统的复杂性及其生态系统的平衡，严格控制天敌数量。由于缺乏生物防控系统性的研究，尤其是福寿螺作为广州管圆线虫的宿主，是否会通过食物链等途径将病

菌传播到其他动物体内尚不明确，因此生物防治的风险系数较高。

3.3. 物理防治

目前采用的人工采集螺卵、捕捞螺体再集中销毁等物理防治手段，看似“笨拙”，实际上是应用最为广泛的办法。目前，物理灭螺的操作主要有以下两种：一是在福寿螺重度发生区的灌溉渠或者稻田进、出水口放置铁丝网等阻隔设施，防止福寿螺进入田间；二是在稻田中插适宜高度的竹片等长条状物，引诱福寿螺爬上竹片并集中产卵，定期摘除卵块并处理即有很好的防治效果。

物理防治的缺点是人工成本高且效率低，并且收集过程中福寿螺易逃逸随水流扩散。

3.4. 植物及植物源杀灭剂防治

由于化学、生物和物理防治都存在较为明显的弊端，近年来，福寿螺防治研究热点逐渐向植物及植物源杀灭剂防治转移，利用植物的药用功能或毒性防治福寿螺。目前已有超过 1000 种植物如夹竹桃、木荷、黄姜、博落回、剑麻、五爪金龙等被试验证明了其灭螺活性。

董道青[17]等(2009)用夹竹桃鲜叶乙醇提取液及干叶乙醇提取液试验杀灭福寿螺。戴灵鹏[18]等(2011)采用夹竹桃皂苷(皂甙) 50 mg/L 处理福寿螺 48 小时，致死率可达 100%，且在幼螺期施用效果更好。麻程军[19]等(2021)经过田间药性实验确定，茶皂素对福寿螺 2d 和 4d 的田间防效均在 90% 以上。

绝大多数植物源杀灭剂为环境友好型，绿色无公害，对福寿螺有明显的针对性，对其他生物影响较小，有利于生态系统平衡的维持。但需要注意，植物源杀灭剂需要满足一定的浓度和浸杀时长才能有理想的致死率，不同的杀灭剂对其他动物、植物的影响有待综合考察。目前，植物源杀灭剂研究方向逐渐由植物浸取转为植物有效成分的提取、以及研究有效成分的制备工艺及安全利用技术。

3.5. 诱捕剂防治

诱捕剂通常是与物理防治联合使用的一种防治手段。一般的软体动物诱饵是由食物和有毒物质组合而成的，这种“即时杀灭”软体动物剂，可能会对环境，非目标物种和人类健康产生不利影响，利用诱捕剂则可以规避“即时杀灭”剂对生态环境产生的不良影响。

Prabhakaran [20]等(2019)针对福寿螺牧食偏好发明了由不同类型的碳水化合物和蛋白质水解物组合而成的引诱剂饲料配方。结果证明，添加 5% 糖、15% 小麦粉和 0.5% 鱼粉的饲料(1.48 g/3 h)对福寿螺的吸引力和有效消耗量均高于其他供试饲料。通过引诱剂吸引福寿螺并用物理手段统一捕获，可以避免杀灭剂对生态环境的影响。目前，也有学者通过研究福寿螺的繁衍机理，希望通过模拟其性激素来制备相应的引诱剂进行诱捕。

3.6. 农田防治现状

福寿螺喜栖息在稻田、湿地等生态系统，对水稻、莲藕、茭白等农作物有较强的牧食偏好，因此，自引进以来始终对我国农业安全存在巨大威胁。

自开展福寿螺农田防治工作以来，常见的防治方法主要有以下几类：① 麦田旱作与稻田水作轮换。只要连续旱作 5 个月以上就能对福寿螺有很好的杀灭效果；② 物理拦截。在农田沟渠进水口设拦截网，同时加强清理渠道和水沟低洼积水、清除淤泥和杂草等孳生场所；③ 引诱灭螺。利用食饵诱杀剂，在农田间投放以引诱成螺，收集后统一铲毁。需要注意的是，查国贤[21]等(2022)研究发现有的食饵诱杀剂生物毒性低，遇水失活如 6% 四聚乙醛 GR 食饵诱杀剂等；④ 人工灭螺：在田间插入木片或竹片等长条状物，引诱福寿螺集中产卵并灭杀。政府可以出台收购政策，集中粉碎作为饲料、肥料。⑤ 农药杀灭。这一方法在防治早期使用较多，但由于农药对生态环境破坏较大，截至 2016 年已逐步禁用[22]。

4. 福寿螺的经济价值研究

福寿螺经捕获或灭杀后如何处理是一个值得研究的问题,若能将其加以利用,产生更大的经济价值,则无论是从政府层面还是社会、个人层面,都能够对福寿螺防治更加以重视。在一定条件下,福寿螺能够提升水稻产量,还可以经加工用作土壤改良剂、重金属吸附剂、净水剂及食品添加剂等,此外还可批量用于鱼类、鸭类的养殖饲料,具有非常大的经济价值。目前,国内外已对福寿螺的经济价值开展了部分研究,但尚未有文章综述。

4.1. 提升水稻产量

福寿螺能够提升水稻产量。这并非与福寿螺喜食水稻的特性有所矛盾,而是基于一定的条件下得出的结论。南金勇[23]等(2022)经过田间实验研究表明,在平整、健康的稻田中,每公顷 50 公斤福寿螺的密度范围内,其可在减少除草剂、化肥的情况下提高水稻产量。福寿螺能够提升水稻产量的原因主要有四:一是相较于水稻而言,福寿螺喜食杂草,因此能够清除杂草,减少水稻的种间竞争;二是福寿螺牧食时进行水平和垂直运动,对土壤质地的形成有有利的影响;三是福寿螺壳中含有大量的钙质,分解产生的钙离子能够增强土壤的吸附能力,对土壤改良产生了良好的效果;四是福寿螺的排泄物增加了土壤中腐殖质和养分的含量,提高了土壤肥力。综上,福寿螺在适宜的密度下能够提高水稻的产量。

4.2. 土壤改良剂

福寿螺可作土壤改良剂。王家欣[24]等(2020)提出福寿螺经磨碎加工后可以作为肥料和土壤改良剂,对修复贫瘠和酸性土壤有良好的功能。

4.3. 重金属吸附剂

福寿螺提取物可作重金属吸附剂。Basigsig [25]等(2019)用福寿螺壳制备的螯合剂吸收水中重金属铅。实验结果表明,浓度为 50 ppm 的螯合剂经过 18 小时的处理,能够使溶液中的铅被 100%吸收。

4.4. 净水剂和养殖饲料

福寿螺可作净水剂和养殖饲料。郭静[26]等(2018)验证了以福寿螺为食源和净水器进行泥鳅商业养殖的可行性。一方面,福寿螺可以降低水的浊度[27],改善泥鳅(*M. anguillicaudatus*)的生存环境,使其死亡率降低,重量增加;另一方面,福寿螺含有高蛋白成分,作为泥鳅的食源,可以使泥鳅更加肥美,且降低了养殖成本。同时,学者研究还表明了稻-鳅共生试验田中的健康水稻幼苗未因福寿螺的存在而减少。Putri 等[27]研究发现在养殖饲料中添加一定比例的福寿螺肉粉,作为鱼类等养殖饲料,可以在降低养殖成本得同时使鱼类生长得更好。

4.5. 食品营养剂

福寿螺可作食品营养剂。Marsyha [28]等(2018)研究表明福寿螺中富含锌、铁、 ω -3 和 ω -6 脂肪酸,可以通过加工提取福寿螺中的有效成分并添加到断奶食品等中作为营养剂,提高其中的营养成分含量。

5. 结论与展望

结论:

1) 福寿螺对环境影响因子有着较强的自我调节机制和适应能力,具有强大的自我保护能力且缺少天敌制约,繁殖速度较快,食性广且食量大。福寿螺的生物学特性使得福寿螺能够迅速在生态环境中扎根繁殖并占据优势生态位。因此,要制约福寿螺的入侵,要依靠针对性的防治手段。

2) 目前, 对福寿螺的生物学特性研究已较为完备, 针对其特性所制定的主要防治对策有化学防治、生物防治、物理防治等, 但每种防治对策均有明显不足。针对福寿螺的化学防治对环境污染很大且会使福寿螺产生抗药性, 不利于长期防治; 生物防治效率十分低下并且易破坏生态系统平衡; 物理浪费人工成本且防治力度小、不彻底, 效果不尽人意。此外, 物理防治中使用的装置主要有纯物理结构类和电能驱动类, 纯物理结构类的防治装置专利结构复杂, 制作难度大, 不便于携带与回收; 电能驱动类的防治装置专利构造通常更加复杂且制作成本大, 有的装置还需全程人工操作, 费时费力, 均不利于实施。

3) 福寿螺防治当下最主要的问题是其多发于农村地区且较分散, 无法开展成本较高的集中防治方案, 亟待提高效率并降低成本的同时, 建立体系化的分散防治对策。

展望:

1) 针对福寿螺的植物源防治是研究正兴的热点, 但其应用不广泛, 危害性也未经深入研究。同时, 物理防治法虽简单易行但耗时耗力, 防治效果不彻底, 发明低成本、高效率、方便易行的物理防治装置大有前景。

2) 福寿螺具有较大的经济价值, 经研究发现福寿螺可用于提升水稻产量、作土壤改良剂、重金属吸附剂、净水剂、食品营养剂以及养殖饲料等。通过进一步探究福寿螺的经济价值与实际应用, 有利于进一步加强福寿螺防治, 保护生物多样性。

3) 建议形成“诱-捕-用”的福寿螺防治方案, 即用引诱剂配合低成本物理捕捉装置分散布置以诱捕福寿螺, 将福寿螺回收统一处理可产生经济效益, 装置可重复投放使用以降低成本。

参考文献

- [1] 田磊, 李风波, 贺文芳, 程霄玲, 徐勇斌, 李明. 浙江省福寿螺入侵危害现状及防治方法研究进展[J]. 现代农业科技, 2022(5): 77-85.
- [2] 张国良, 付卫东, 刘坤. 农业重大外来入侵生物[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 201-211.
- [3] 杨倩倩, 李迦南, 赵星星, 蒲佳佳, 乔东东, 俞晓平. 温度对福寿螺生物学特性的影响及高低温适应机制研究进展[J/OL]. 水生生物学报: 1-8, 2022-10-19. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1230.Q.20220902.1658.006.html>
- [4] 敖鑫如. 福寿螺的生活习性及其养殖试验[J]. 南昌大学学报(理科版), 1990(2): 30-34.
- [5] 安登. 甲鱼和福寿螺混养效益高[J]. 科学养鱼, 1989(6): 29.
- [6] 刘巧, 赵柳兰, 杨淞, 严太明, 何智, 章家恩. 福寿螺卵抗逆性研究进展[J]. 生态学杂志, 2016, 35(4): 1072-1079.
- [7] 俞晓平, 和田节, 李中方, 等. 稻田福寿螺的发生和治理[J]. 浙江农业学报, 2001, 13(5): 247-252.
- [8] 任和, 高红娟, 薛娟, 龚宁, 陈祥. 福寿螺的生物学特性与防治[J]. 生物学通报, 2020, 55(12): 1-3.
- [9] 杨诚, 康玉辉, 高健, 张泽慧, 苗滕, 廖明军, 焦一滢, 赵以军. 外来种福寿螺(*Pomacea canaliculata*)对3种沉水植物的牧食偏好及水体理化因子的响应[J]. 湖泊科学, 2021, 33(4): 1241-1253.
- [10] 王蝉娟, 宋增福, 鲁仙, 王玲, 骆楠, 姚立农, 张饮江. 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.
- [11] 王俊, 吴玮, 陈峰, 胡进锋, 王长方. 闽北莲田福寿螺防治试验[J]. 现代农业科技, 2020(23): 83-85.
- [12] 杨宗英, 曾柳根, 雷小青, 严保华, 侯玉洁. 福寿螺的生物学特性及防控策略[J]. 渔业致富指南, 2021(14): 64-66.
- [13] Hayes, K.A., Burks, R.L., Castro-Vazquez, A. and Darby, P.C. (2015) Insights from an Integrated View of the Biology of Apple Snails (Caenogastropoda: Ampullariidae). *Malacologia*, **58**, 245-302.
- [14] 张国月, 雷凯茜, 樊雅东. 福寿螺在武汉地区的一种新天敌记录[J]. 亚热带农业研究, 2021, 17(2): 122-125.
- [15] 田悦, 侯鑫鑫, 陈鹏程, 陈华保, 杨春平. 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.
- [16] 郭靖, 章家恩. 福寿螺应对天敌的响应策略与机制研究进展[J]. 生态学杂志, 2020, 39(8): 2776-2784.
- [17] 董道青, 陈建明, 俞晓平, 陈列忠. 夹竹桃不同溶剂提取物对福寿螺的毒杀作用评价[J]. 浙江农业学报, 2009, 21(2): 154-158.

- [18] 戴灵鹏, 罗蔚华, 王万贤. 夹竹桃皂甙对福寿螺的毒杀效果及其对水稻幼苗的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1918-1924.
- [19] 麻程军, 王瑞, 刘彬, 黄斌, 侯有明, 汤宝珍. 茶皂素杀螺活性及对3种水生生物的安全性[J]. 农药学报, 2021, 23(1): 139-145.
- [20] Prabhakaran, G., Bhore, S. and Ravichandran, M. (2019) Development of a Bait Carrier Material for Apple Snail (*Pomacea maculata*) Based on Its Feed Preferences Using Snail Attractant Tracking Device. *Journal of Natural Science, Biology and Medicine*, **10**, 8-15.
- [21] Schneiker, J., Weisser, W.W., Settele, J., Nguyen, V.S., Bustamante, J.V., Marquez, L., Villareal, S., Arida, G., Van Chien, H., Heong, K.L. and Türke, M. (2016) Is There Hope for Sustainable Management of Golden Apple Snails, a Major Invasive Pest in Irrigated Rice? *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, **79**, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.07.001>
- [22] 查国贤, 孙振军, 杨平俊, 高会会. 苏州市福寿螺发生规律及农田防控技术研究[J]. 植物检疫, 2022, 36(4): 82-85.
- [23] Jin, Y.N., Yu, K.S., Ri, U.J. and Song, C.N. (2022) Methods and Effectiveness of Using Apple Snails (*Pomacea sp.*) in Organic Rice Farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, **92**, 495-504. <https://doi.org/10.1007/s40011-021-01290-7>
- [24] Wang, J.X., Lu, X.N., Zhang, J., Ouyang, Y., Qin, Z. and Zhao, B.L. (2020) Using Golden Apple Snail to Mitigate Its Invasion and Improve Soil Quality: A Biocontrol Approach. *Environmental Science and Pollution Research International*, **27**, 14903-14914. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07998-9>
- [25] Basigsig, P.L.J.E., Makiling, J.E.E., Niog, C.J.T., Sarmiento, N.B. and Masangcay, S.I.G. (2019) Golden Apple Snail Shell (*Pomacea canaliculata*) as Prospective Agent in Absorbing Lead (pb) in Water. *Modern Chemistry*, **7**, 1-4.
- [26] Guo, J., Xiang, Y., Zhang, C.X. and Zhang, J.E. (2018) A Preliminary Investigation into the Use of the Invasive Golden Apple Snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck, 1822), as a Water Purifier and Food Source in the Breeding Ponds of the Oriental Weatherloach *Misgurnus anguillicaudatus* (Cantor, 1842). *Molluscan Research*, **38**, 198-204. <https://doi.org/10.1080/13235818.2017.1406291>
- [27] Putri, P.M. and Dyah, S.D. (2020) Golden Apple Snail (*Pomacea canaliculata*) as an Alternative Protein Source in *Pasupati catfish* (*Pangasius sp.*) Fish Feed. *Nusantara Bioscience*, **12**, 162-167. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n120212>
- [28] Marsyha, D.D., Wijayanti, H.S. and Anjani, N.G. (2018) Contribution of Golden Apple Snail Flour to Enhance ω -3 and ω -6 Fatty Acids Contents in Weaning Food. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **116**, Article ID: 012075. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/116/1/012075>