

福寿螺对不同品种直播稻苗的取食为害特性

郑许松¹ 徐红星¹ 吕海涛¹ 李建忠^{2,*} 吕仲贤¹ 鲁艳辉^{1,*}

(¹ 浙江省农业科学院 植物保护与微生物研究所 农产品质量安全危害因子与风险防控国家重点实验室, 杭州 310021; ² 衢州市衢江区农业技术推广中心, 浙江 衢州 324002; *通信作者, email: 411266002@qq.com; luyanhui4321@126.com)

Feeding and Damage Characteristics of *Pomacea canaliculata* on Direct-seeded Rice Seedlings of Different Varieties

ZHENG Xusong¹, XU Hongxing¹, LÜ Haitao¹, LI Jianzhong^{2,*}, LÜ Zhongxian¹, LU Yanhui^{1,*}

(¹ State Key Laboratory for Managing Biotic and Chemical Threats to the Quality and Safety of Agro-products, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; ² Centre of Agro-technology and Extension of Qujiang, Quzhou 324002, China;

*Corresponding author, email: 411266002@qq.com; luyanhui4321@126.com)

Abstract: 【Purpose】 This study aimed to investigate the feeding and damage characteristics of *Pomacea canaliculata* on direct-seeded rice seedlings of different varieties, and to provide a theoretical basis for effective control of *P. canaliculata* in direct-seeding rice fields. 【Method】 Laboratory experiments were conducted to examine the feeding and damage behavior of different sizes of *P. canaliculata*—small snails (0.51 g), medium snails (4.37 g), and large snails (7.82 g)—on direct-seeded rice seedlings of three varieties, Yongyou 1540 (*indica-japonica* hybrid), Xiushui 134 (*japonica*), and Zhongzao 39 (*indica*). 【Result】 The damage period caused by small snails to direct-seeded rice seedlings of different varieties was 7 days, with the peak damage occurring 1–4 days after seeding. For medium and large snails, the damage period lasted about 21 days, with the peak occurring 1–10 days after seeding. The daily damage rates caused by small, medium, and large snails reached 1.9–2.6, 9.2–12.1, and 16.2–23.1 seedlings per day, respectively. The feeding amount of large snails was 22.3–30.1 times that of small snails and 1.7–1.9 times that of medium snails, while the feeding amount of medium snails was 11.5–18.3 times that of small snails. 【Conclusion】 *Pomacea canaliculata* caused damage to direct-seeded rice seedlings for approximately 21 days, with the peak damage occurring within 10 days after seeding. Small snails caused relatively minor harm, whereas medium and large snails were the main damaging agents. Feeding damage by *P. canaliculata* was highest on *indica* rice, followed by *indica-japonica* hybrid rice, and lowest on *japonica* rice. Based on these feeding and damage characteristics, targeted control measures against *P. canaliculata* are proposed.

Keywords: *Pomacea canaliculata*; direct seeded rice; damage characteristics; damage peak

摘要: 【目的】研究福寿螺(*Pomacea canaliculata*)对不同品种水稻直播稻苗的取食为害特性, 为直播稻田中福寿螺的有效防控提供理论依据。【方法】以甬优 1540(籼粳杂交)、秀水 134(粳稻)、中早 39(籼稻)为试验材料, 室内模拟观察研究不同大小的福寿螺(小螺 0.51 g, 中螺 4.37 g, 大螺 7.82 g)对不同品种直播稻苗的取食和为害特性。【结果】小螺对不同水稻品种直播稻苗的为害期为 7 d, 直播后 1~4 d 是为害高峰期; 大螺和中螺对不同水稻品种直播稻苗的为害期为 21 d 左右, 直播后的 1~10 d 是为害高峰期; 小螺、中螺和大螺对不同水稻品种的直播稻苗的为害量分别达到 1.9~2.6 株/天、9.2~12.1 株/天和 16.2~23.1 株/天, 大螺的取食量分别是小螺和中螺的 22.3~30.1 倍和 1.7~1.9 倍, 中螺是小螺的 11.5~18.3 倍。【结论】福寿螺对不同类型水稻直播稻苗取食为害期约为 21 d, 直播后的 10 d 是福寿螺的为害高峰期; 小螺对直播稻苗的危害较小, 大、中螺对直播稻苗构成主要危害; 福寿螺对籼型水稻的取食量最大, 对粳型水稻的取食量最小, 籼粳杂交型水稻介于两者之间。根据福寿螺对直播稻苗的取食为害特性, 提出了针对性的防控措施建议。

关键词: 福寿螺; 直播稻; 为害特性; 为害高峰

收稿日期: 2024-10-31; 修改稿收到日期: 2025-01-08。

基金项目: 浙江省重点研发计划资助项目(2020C02001)。

福寿螺(*Pomacea canaliculata* Lamarck)又名苹果螺、大瓶螺,隶属于软体动物门(Mollusca)腹足纲(Gastropoda)前鳃亚纲(Prosobranchia)中腹足目(Mesogastropoda)瓶螺科(Ampullariidae)。20 世纪 90 年代,福寿螺作为经济动物引入我国,后因食味不佳等原因被弃于各种水体环境中。福寿螺食性杂、适应性强、繁殖力强,在我国多个区域迅速扩散入侵,对生态环境、农业生产和人体健康造成了严重影响^[1, 2]。

水稻(*Oryza sativa* L.)是中国重要的粮食作物,水稻安全生产是我国粮食安全重要保障^[3]。直播和移栽是水稻的两种主要种植方式,移栽稻凭借易于管理、稳产高产的优势,在很长一段时间内主导了我国的水稻栽培方式。但随着近年来的城市化进程,农村劳动力向城市转移,水稻生产面临劳动力成本上涨和劳动力不足等问题,水稻种植方式逐渐发生了转变,直播稻凭借轻型省工的优点,推广面积越来越大^[4, 5]。直播稻田中福寿螺危害正日益加重。如今,福寿螺已成为我国南方水稻种植区的一大难题,其繁殖迅速且难以控制,对水稻产量和品质造成了严重威胁,堪称粮食安全的最大生物隐患之一。福寿螺的高发期集中在 4 至 6 月,和秧苗的生长季节相吻合。福寿螺能大量取食水稻秧苗、幼苗,造成苗小株少、有效穗减少,从而影响粮食产量^[6, 7]。福寿螺的防控方法主要有农业、生物、物理和化学防治。其中农业防控方法主要为水旱轮作和延长水稻秧期,水旱轮作之际利用旋耕机的翻耕和破碎作用能显著降低福寿螺的密度^[8-10];利用福寿螺嗜食幼嫩茎叶的特性,适当延长水稻育秧期,以大秧龄秧苗移栽避开福寿螺对水稻秧苗的危害敏感期^[11, 12]。综合种养是生物防治的主要措施。稻鸭共育以及稻田中投放鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、中华鳖(*Pelodiscus sinensis*)对福寿螺均具有较好的防效,其中以稻鸭共育和稻鳖共育效果最佳^[13-17]。物理防控方面,利用福寿螺离水产卵的特性,在稻田中扦插竹竿诱集福寿螺产卵并集中销毁^[18];另外,在稻田入水口设置拦网,对拦截福寿螺侵入稻田比较有效^[19]。化学防控凭借其见效快、成本低等优势,仍是防控福寿螺的主要措施^[20]。目前推广应用的杀螺剂主要有四聚乙醛和杀螺胺乙醇胺盐等^[21]。但杀螺剂普遍对非靶标生物毒性较高,对环境造成污染且破坏生态平衡^[22]。

田间观察发现,由于直播稻苗秧龄小,福寿螺对其的危害要比移栽稻苗更大,然而具体的数据却鲜见报道,亟待进行研究和评估。本研究选用浙江省 3 种不同类型的水稻主推品种甬优 1540(籼粳杂

交)、秀水 134(粳稻)和中早 39(籼稻),探究福寿螺对不同品种直播稻苗的为害特性,明确福寿螺对不同品种直播稻苗的取食为害量和为害高峰期,为直播稻田福寿螺的有效防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 福寿螺

福寿螺于 2023 年 5 月采自浙江省衢州市衢江区杜泽镇杜泽一村、杜泽二村、杜泽三村和荷花塘沿村稻田,置于室内帆布池中静养两天待用。参照傅先元等^[23]的标准,将福寿螺按体重分为大、中、小三组。体重小于 1.5 g 为小螺,体重 1.5 g~6.5 g 为中螺,体重大于 6.5 g 为大螺。取重量一致的福寿螺进行试验,小螺、中螺和大螺的体重分别为 0.51 ± 0.04 g、 4.37 ± 0.28 g 和 7.82 ± 0.39 g。

1.1.2 水稻品种

供试水稻品种为甬优 1540(籼粳杂交)、中早 39(籼稻)和秀水 134(粳稻)。

1.2 试验方法

1.2.1 水稻直播苗播种

先将水稻种子在阳光下晒种处理 2~3 d,再利用盐水比重选种法挑选饱满、健壮的水稻种子。将筛选后的水稻种子用 50 ± 2 °C 的温水浸洗,沥干后放置于 26 ± 1 °C、全黑暗条件下进行催芽。待芽长达到粒长一半时用于播种。在塑料盘(50 cm×35 cm×15 cm)中铺设一层 3 cm 厚的育苗基质土(镇江恒欣生物科技有限公司生产),将发芽的单粒水稻种子以 1 cm×1 cm 的间距有序平铺在基质土上,每盘均匀穴播已萌芽的水稻种子 80 粒,之后在水稻种子上平铺一层细的基质土。

1.2.2 福寿螺为害直播稻苗观察

待水稻种芽钻出土壤(约覆土 1 d)后,向塑料盘内投放福寿螺,每盘投放 1 只。水稻苗出土后 1 d 注入少许的水,水位高度约 0.5 cm,后续根据每天稻苗的生长情况,适当提高容器内的水位高度,最终容器内的水位稳定在 4.0 cm,满足水稻生长及福寿螺取食活动需求。大、中、小螺每组试验设 10 个生物学重复。自投入福寿螺当日起,每天观察福寿螺对稻苗的取食为害情况。将福寿螺啃食、咬断等不利于稻苗生长发育的行为均判为对稻苗形成伤害,将日均为害量大于整个试验日均为害量的时间段界定为福寿螺对直播稻的为害高峰期。当盘内的稻苗少于 20 株时,将福寿螺放到同期播种的备用

盘内继续观察。试验在温度为 $(26\pm 1)^{\circ}\text{C}$, 湿度为 $75\%\pm 2\%$, 在光周期 16L: 8D 的气候室内进行。

1.3 数据分析及作图

利用 Excel 2020 和 SPSS 20.0 进行数据统计分析, 首先进行正态分布检验, 符合正态分布后进行双因素方差分析, 利用 Tukey 法对数据结果进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 福寿螺对中早 39(籼稻)直播稻苗的取食为害特性

小螺对中早 39 直播稻苗的为害期为 7 d, 平均每只小螺为害稻苗 18.1 株, 每天为害 2.6 株(图 1)。投入福寿螺后 1~4 d 是为害高峰期, 其为害量之和占总为害量的 85.4%, 其中第 3 天是为害最高峰, 占总为害量的 43.1%。

中螺对中早 39 直播稻苗的为害期为 21 d, 平均每只中螺为害稻苗 254.7 株, 每天为害 12.1 株。投入中螺后 1~9 d 是为害高峰期, 其为害量之和占总为害量的 80.2%, 其中第 2 天是为害最高峰, 占总为害量的 17.9%。

大螺对中早 39 直播稻苗的为害期也为 21 d, 平均每只大螺能为害稻苗 485.4 株, 每天为害 23.1 株。投入大螺后 1~8 d 是为害高峰期, 其为害量之和占总为害量的 73.3%, 其中第 4 天是为害的最高峰, 占总为害量的 12.9%。

不同体型的福寿螺对中早 39 直播稻苗的取食

为害量差异显著, 大螺的取食为害量显著大于中螺, 中螺显著大于小螺, 大螺的为害量分别为中螺和小螺的 1.9 倍和 26.8 倍, 中螺的为害量是小螺的 14.1 倍。大、中、小螺均集中于稻苗幼苗期为害, 小螺集中为害苗龄 3 d 内的秧苗, 而中螺和大螺集中为害苗龄 9 d 内的秧苗, 但大螺在 9 d 后仍形成相对较大的为害量, 且衰退比较平缓(图 1)。

2.2 福寿螺对甬优 1540(籼粳杂交稻)直播稻苗的取食为害特性

小螺对甬优 1540 直播稻苗的为害期为 7 d, 平均每只小螺为害稻苗 16.8 株, 每天为害 2.4 株(图 2)。1~3 d 是为害高峰期, 其为害量之和占总为害量的 75.0%, 其中第 2 天是为害最高峰, 占总为害量的 33.3%。

中螺对甬优 1540 直播稻苗的为害期为 21 d, 平均每只中螺为害稻苗 193.7 株, 每天为害 9.2 株。1~9 d 是为害高峰期, 其为害量之和占总为害量的 77.4%, 其中第 3 天是为害最高峰, 占总为害量的 14.2%。

大螺对甬优 1540 直播稻苗的为害期也为 21 d, 平均每只大螺为害稻苗 374.0 株, 每天为害 17.8 株。1~10 d 是为害高峰期, 其为害量之和占总为害量的 79.0%, 其中第 4 天是为害的最高峰, 占总为害量的 11.5%。

不同体型的福寿螺对甬优 1540 直播稻苗的取食为害量差异显著, 大螺的取食为害量显著大于中螺, 中螺显著大于小螺, 大螺的为害量分别为中螺和小螺的 1.9 倍和 22.3 倍, 中螺的为害量是小螺的 11.5 倍。大、中、小螺均集中于稻苗幼苗期进行为

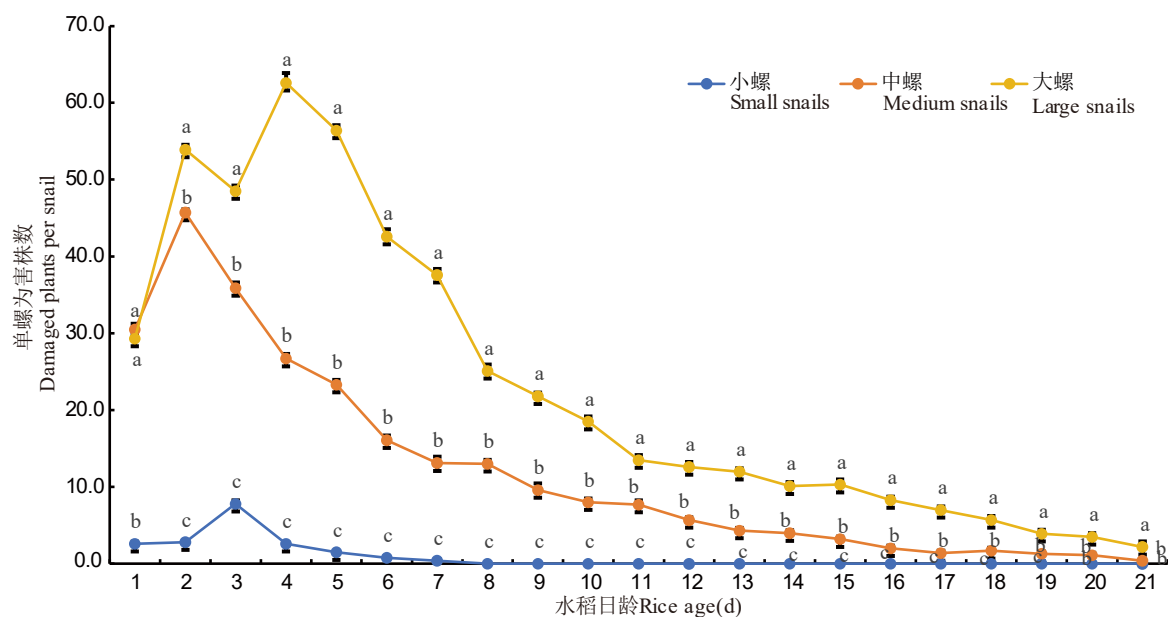


图 1 福寿螺对籼稻品种中早 39 直播稻苗的取食为害动态

Fig. 1. Feeding and damage dynamics of *Pomacea canaliculata* on direct-seeded rice seedlings of *indica* rice variety Zhongzao 39

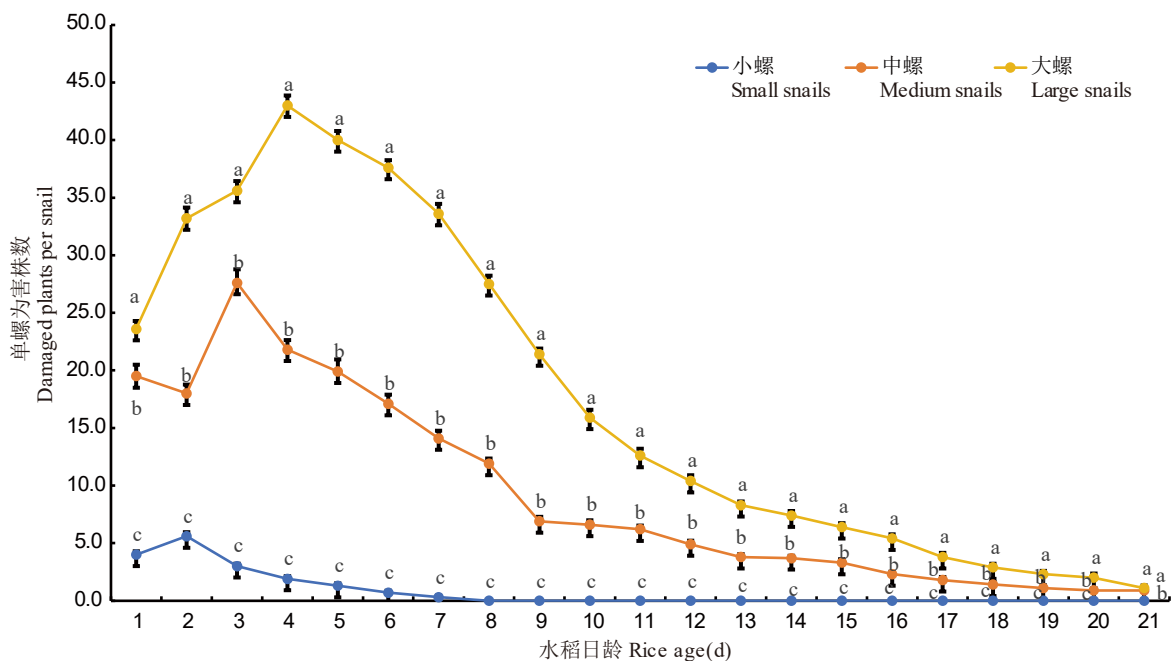


图 2 福寿螺对籼粳杂交稻品种甬优 1540 直播稻苗的取食为害动态

Fig. 2. Feeding and damage dynamics of *Pomacea canaliculata* on direct-seeded rice seedlings of indica-japonica hybrid rice variety Yongyou 1540

害, 小螺集中为害苗龄 3 d 内的秧苗, 而中螺和大螺集中为害苗龄 10 d 内的秧苗, 但大螺在 10 d 高峰期后仍有约 20% 的为害量。

2.3 福寿螺对秀水 134 (粳稻)直播稻苗的取食为害特性

小螺对秀水 134 直播稻苗的为害期为 6 d, 平均每只小螺为害稻苗 11.3 株, 每天为害 1.9 株(图 3)。1~3 d 是为害高峰期, 其为害量之和占总为害量的 70.8%, 其中第 2 天是为害最高峰, 占总为害量的 31.0%。

中螺对秀水 134 直播稻苗的为害期为 21 d, 平均每只中螺为害稻苗 207.0 株, 每天为害 9.9 株。1~9 d 是为害高峰期, 其为害量之和占总为害量的 76.0%, 其中第 3 天是为害最高峰, 占总为害量的 15.6%。

大螺对秀水 134 直播稻苗的为害期也为 21 d, 平均每只大螺为害稻苗 340.6 株, 每天为害 16.2 株。1~9 d 是为害高峰期, 其为害量之和占总为害量的 64.9%, 其中第 2 天是为害的最高峰, 占总为害量的 13.0%。

与中早 39 和甬优 1540 类似, 不同体型的福寿螺对秀水 134 直播稻苗的取食为害量差异显著, 大螺的取食为害量显著大于中螺, 中螺显著大于小螺, 大螺的为害量分别为中螺和小螺的 1.7 倍和 30.1 倍, 中螺的为害量是小螺的 18.3 倍。大、中、小螺均集中于稻苗幼苗期为害, 小螺集中为害苗龄 3 d 内

的秧苗, 而中螺和大螺集中为害苗龄 9 d 内的秧苗, 但大螺在 9 d 后有约 35% 的为害量, 是 3 种水稻品种中后期为害量最大的。

2.4 不同大小的福寿螺对不同水稻品种为害量差异比较

大螺、中螺、小螺对不同品种水稻的为害量均具有显著差异(图 4)。其中, 小螺对甬优 1540 和中早 39 的危害量显著高于秀水 134; 中螺对中早 39 的为害量显著高于甬优 1540 和秀水 134, 且对秀水 134 的为害量显著高于甬优 1540; 大螺对中早 39 的为害量显著高于甬优 1540 和秀水 134, 且对甬优 1540 的为害量显著高于秀水 134。

双因素方差分析表明(表 1), 对于三种类型的水稻, 直播稻苗秧龄和福寿螺的大小这两个因素对福寿螺的为害水平的影响均达极显著水平, 秧苗越嫩为害量越大, 福寿螺越大为害量越大; 并且水稻秧龄和福寿螺大小这两个因素有协同增效的作用, 表明大螺对于水稻幼苗期具有更大的取食量和危害性。

3 讨论

近年来, 受全球气候变暖影响及福寿螺本身繁殖力强、扩散能力强等原因, 福寿螺的发生区域逐年扩大, 从最初的广东、广西、海南、福建等南方地区向北扩散至河北、山东、山西、宁夏等北方地

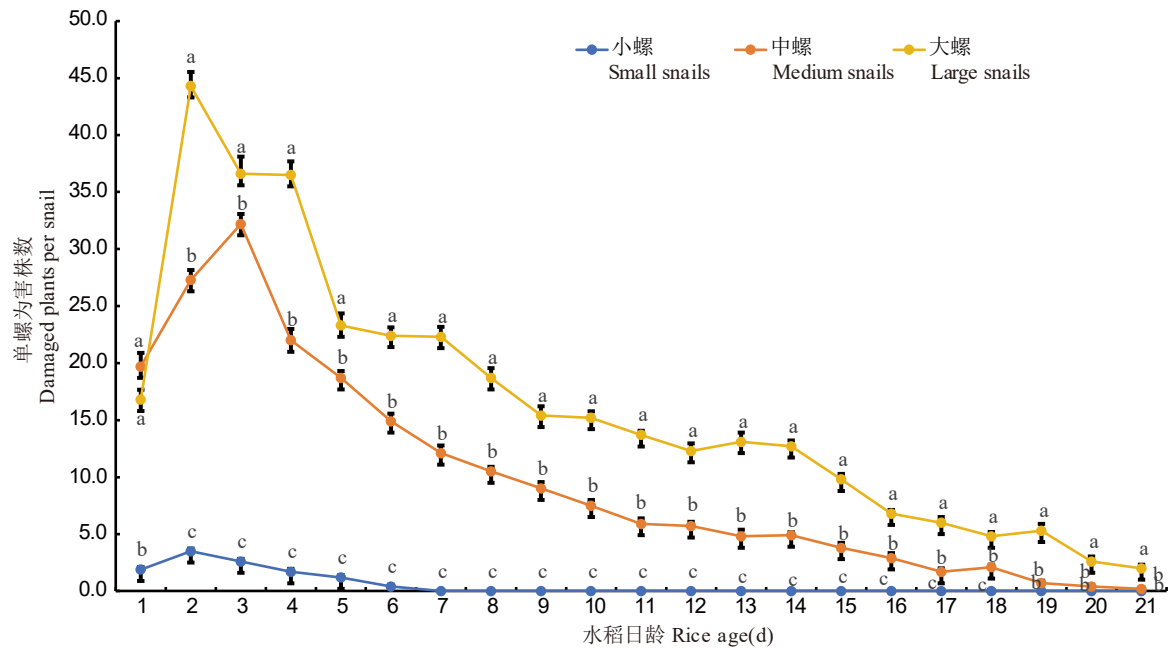


图 3 福寿螺对粳稻品种秀水 134 直播稻苗的取食为害动态
Fig. 3. Feeding and damage dynamics of *Pomacea canaliculata* on direct-seeded rice seedlings of japonica variety Xiushui 134

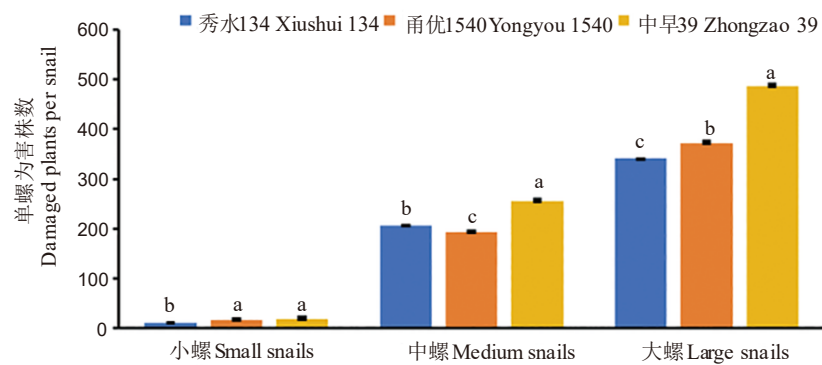


图 4 不同大小的福寿螺对不同品种直播稻苗的为害量
Fig. 4. Damage caused by different sizes of *Pomacea canaliculata* to direct-seeded seedlings of different rice varieties

表 1 水稻秧龄和福寿螺大小对取食为害量的双因素方差分析

Table 1. Two-way ANOVA on the effects of rice age and snail size on feeding damage

水稻品种 Rice variety	F/P 值 F/P value	水稻秧龄 Rice seedling age	福寿螺大小 Snail size	水稻秧龄×福寿螺大小 Rice age × Snail size
中早 39 Zhongzao 39	F	1415.11	10237.50	376.76
	P	< 0.001	< 0.001	< 0.001
甬优 1540 Yongyou 1540	F	787.31	6482.06	209.83
	P	< 0.001	< 0.001	< 0.001
秀水 134 Xiushui 134	F	466.53	3987.28	103.26
	P	< 0.001	< 0.001	< 0.001

区^[24]。几乎遍布除东北之外的全国大部分水稻种植区域，同时直播稻面积也在扩大，因此，探究福寿螺对直播稻的为害特性和危害潜力，对保障国家粮食安全具有重要意义。

水稻的播种方式和秧龄会影响福寿螺对水稻

的为害程度。福寿螺对直播稻的为害期长达 4 周，而对移栽稻的为害时长为 2~3 周，在移栽 5 周后，福寿螺对水稻则几乎没有取食为害现象^[25-26]。本研究结果显示，小螺对水稻直播稻苗的危害期为 3~4 d，大螺和中螺的取食为害期约为 21 d，此后福寿

螺对直播稻苗则几乎没有取食为害行为。此结果与前人报道有一定的出入,这可能与施肥量有关。本研究中仅育苗基质中带有少量的肥料而没有额外施肥,使得直播稻苗的适口性降低,而稻田中充足的基肥提高了秧苗鲜嫩程度并具有更好的适口性。类似的情况,实际生产中移栽稻通常有 20 d 以上的秧龄,但福寿螺对移栽稻苗的取食为害仍持续到搁田前,也应与水稻施肥密切相关。关于施肥水平、水稻生长状况和福寿螺的为害时间与为害程度的关系,有待进一步研究。

福寿螺对水稻的为害与福寿螺体型大小和水稻类型密切相关。本研究结果显示,小螺、中螺和大螺对不同类型水稻的直播稻苗的为害量分别达到 1.9~2.6 株/天、9.2~12.1 株/天和 16.2~23.1 株/天,大螺的取食量分别是小螺和中螺的 22.3~30.1 倍和 1.7~1.9 倍,中螺是小螺的 11.5~18.3 倍,说明小螺对直播稻苗的危害较小,主要是大中螺构成了危害,这与已有的研究报道结果相似^[27]。此外,对于不同类型的水稻,福寿螺对中早 39 的取食量最大,对秀水 134 的取食量最小,甬优 1540 介于两者之间,说明福寿螺对籼型水稻的危害最大,对粳稻的危害相对小一些。

福寿螺对不同寄主植物表现出明显的取食偏好性。对于表皮角质柔软细嫩的植物如紫萍 [*Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid]、满江红 [*Azolla imbricata* (Roxb.) Nakai]、水葫芦 [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms] 等,福寿螺取食量大且速度较快,而对质地较硬且纤维含量高的香蒲 (*Typha orientalis* C. Presl) 等植物的取食较少^[28]。此外,植物中氮和磷含量对提高福寿螺的取食适口性、生长发育和子代数量均具有重要影响,而植物纤维素和酚类物质对福寿螺各个生长阶段都具有明显的抑制作用^[28-30]。福寿螺倾向于取食具有高营养(效益)和低防御特性(成本)的植物,以最大限度地提高能量摄入和适应性^[31-33]。本研究表明,对于三种不同水稻类型水稻品种,福寿螺的为害程度由轻到重依次为秀水 134、甬优 1540、中早 39。此前,叶建人等比较了福寿螺对甬优 1 号和秀水 110 两种移栽稻的为害,发现福寿螺对于甬优 1 号具有更高的危害水平^[34],这与本研究的结果类似。据报道,福寿螺对水稻的危害程度也与水稻的抗虫性、抗倒伏能力和植株粗细程度等因素有关,对茎秆纤细、抗虫性较弱的水稻品种取食效率更高,易倒伏的水稻品种也更易被福寿螺取食^[35]。甬优 1540 属于籼粳杂交稻,秀水 134 属于粳稻,具有较强的抗倒性^[36, 37],

而中早 39 属于籼稻,抗倒能力偏弱^[38, 39]。粳稻相对于籼稻茎秆质地较硬且纤维含量更高,同时籼稻可能在生理生化水平上对福寿螺更具有适口性,这是否是导致福寿螺对不同类型水稻稻苗为害差异的原因,有待下一步验证。

此外,研究发现,当水位为 5 cm 时,福寿螺对水稻的为害明显高于水位为 2 cm 时,稻田水位满足福寿螺的活动条件时,它们的取食效率会提高,从而加重对水稻的为害^[40, 41];当水深低于福寿螺壳的高度时,它们的运动受到限制,表现为行动缓慢,取食效率下降^[42]。然而,幼螺即使在低水位时也对萌发的水稻种子和幼苗造成严重危害,具有较高的取食率^[43-44]。实际生产中,直播稻多采取早播,这极大限制了大中螺的取食危害,但在搁田的前几天土壤保持湿润的情况下,小螺的行动受限不大,如果小螺密度较高,就可能对直播稻苗构成严重危害。如果稻田耙平不够,水洼较多的情况下,大中螺对低洼处水中的秧苗也具有覆灭性危害。

综上所述,为降低福寿螺对直播稻苗造成的损失,可选择的情况下,水稻品种应以粳型和籼粳型为佳;水稻直播前田块要进行灭螺处理,尽量降低福寿螺的田间种群;稻田应尽量耙平减少水洼面积,降低大中螺的危害;直播稻田复水时,在进水口应设置拦截设施阻挡福寿螺进入稻田;复水后立即进行一次灭螺处理,降低稻田中福寿螺的种群密度,避开两周的福寿螺危害高峰期。

参考文献:

- [1] Estebenet A L, Martín P R. Shell interpopulation variation and its origin in *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullaridae) from southern pampas [J]. *Journal of Molluscan Studies*, 2003, 69(4): 301-310.
- [2] Horgan F G, Stuart A M, Kudavidanage E P. Impact of invasive apple snails on the functioning and services of natural and managed wetlands [J]. *Acta Oecologica*, 2014, 54: 90-100.
- [3] 张洪程, 胡雅杰, 杨建昌, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 高辉, 郭保卫, 邢志鹏, 胡群. 中国特色水稻栽培学发展与展望[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(7): 1301-1321.
Zhang H C, Hu Y J, Yang J C, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y, Gao H, Xing Z P, Hu Q. Development and prospect of rice cultivation in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(7): 1301-1321. (in Chinese with English abstract)
- [4] Guo X H, Liu J J, Xu L Q, Sun F J, Ma Y H, Yin D W, Gao Q, Zheng G P, Lü Y D. Combined organic and inorganic fertilization can enhance dry direct-seeded rice yield by improving soil fungal community and structure [J].

- Agonomy*, 2022, 12(5): 1213.
- [5] 刘利成, 闵军, 刘三雄, 李小湘, 潘孝武, 刘文强, 胡敏, 赵永, 黎用朝. 直播稻生产概况与品种选育策略[J]. 中国稻米, 2022, 28(5): 44-48, 56.
Liu LC, Min J, Liu S X, Li X X, Pan X W, Liu W Q, Hu M, Zhao Y, Li Y C. Production situation and varieties breeding strategies of direct seeding rice [J]. *China Rice*, 2022, 28(5): 44-48, 56. (in Chinese with English abstract)
 - [6] 陈玉托, 杨永雄, 蔡汉. 福寿螺对水稻为害损失的调查与研究 [J]. 植保技术与推广, 1996, 16(4): 16-17.
Chen Y T, Yang Y X, Cai H. Investigation and study on the damage and loss of rice caused by *Fusarium* snail plant protection technology and promotion [J]. *Plant Protection Technology and Promotion*, 1996, 16(4): 16-17. (in Chinese)
 - [7] Sanico A L, Peng S, Laza R C, Visperas R M. Effect of seedling age and seedling number per hill on snail damage in irrigated rice [J]. *Crop Protection*, 2002, 21(2): 137-143.
 - [8] 郭靖, 罗颖, 章家恩, 罗明珠. 水旱轮作防控福寿螺的效果及对水稻产量的影响[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(1): 48-53+59.
Guo J, Luo H, Zhang J E, Luo M Z. Effect of paddy-upland rotation on the prevention and control of apple snails and its effect on rice yield[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2015, 36(1): 48-53+59. (in Chinese with English abstract)
 - [9] Avrahami S, Liesack W, Conrad R. Effects of temperature and fertilizer on activity and community structure of soil ammonia oxidizers[J]. *Environmental Microbiology*, 2003, 5(8): 691-705.
 - [10] 胡建光. 福寿螺对水稻的危害原因及防治技术探讨[J]. 温州农业科技, 2003(1): 20-21.
Hu J G. Discussion on the harm of *Pomacea canaliculata* to rice and its prevention and control technology[J]. *Wenzhou Agricultural Science and Technology*, 2003(1): 20-21. (in Chinese)
 - [11] Salleh N H M, Arbain D, Daud M Z M, Pilus N, Nawi R. Distribution and management of *Pomacea canaliculata* in the Northern Region of Malaysia: Mini review[J]. *APCBEE Procedia*, 2012, 2: 129-134.
 - [12] Figueroa J Y, Almazan M L P, Horgan F G. Reducing seed-densities in rice seedbeds improves the cultural control of apple snail damage [J]. *Crop Protection*, 2014, 62: 23-31.
 - [13] Makowski C, Finkl C W. Impacts of Invasive Species on Coastal Environments[M]. New York, USA: Springer International Publishing, 2019: 3-62
 - [14] Teo S S. Evaluation of different species of fish for biological control of golden apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck) in rice [J]. *Crop Protection*, 2006, 25: 1004-1012.
 - [15] Dong S, Zheng G, Yu X, Fu C H. Biological control of golden apple snail, *Pomacea canaliculata* by Chinese soft-shelled turtle, *Pelodiscus sinensis* in the wild rice, *Zizania latifolia* field [J]. *Scientia Agricola*, 2012, 69: 142-146.
 - [16] Ip Kelvin K L, Liang Y, Lin L, Wu H X, Xue J Z, Qiu J W. Biological control of invasive apple snails by two species of carp: Effects on non-target species matter[J]. *Biological Control*, 2014, 71: 16-22.
 - [17] 刘军, 谭济才, 黄新, 王卫国, 钟浪, 王志高. 稻田养鸭防控福寿螺的效果及对水稻产量的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2011, 37(2): 185-188.
Liu J, Tan J C, Huang X, Wang W G, Zhong L, Wang Z G. Effects of raising ducks in paddy fields on the prevention and control of longevity and rice yield [J]. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Science Edition*, 2011, 37(2): 185-188. (in Chinese with English abstract)
 - [18] 储少媛, 章家恩, 郭靖, 陈吴, 谭耀华. 不同插竿方式诱集稻田福寿螺产卵的效应[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(5): 39-46.
Chu S Y, Zhang J E, Guo J, Chen H, Tan Y H. Effects of different pole insertion methods on the oviposition of *Pomacea canaliculata* in paddy fields[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2018, 39(5): 39-46. (in Chinese with English abstract)
 - [19] 陶红群, 贾滨洋, 张峰瑜, 王晓春. 成都市境内外来物种福寿螺的危害现状调查及防治措施分析[J]. 四川环境, 2005, 24(3): 108-110.
Tao H Q, Jia B Y, Zhang F Y, Wang X C. Investigation of the current situation of the harm of the alien species *Pomacea canaliculata* in Chengdu and analysis of the prevention and control measures[J]. *Sichuan Environment*, 2005, 24(3): 108-110. (in Chinese with English abstract)
 - [20] Olivier H M, Jenkins J A, Berhow M. A pilot study testing a natural and a synthetic molluscicide for controlling invasive apple snails (*Pomacea maculata*) [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2016, 96: 289-294.
 - [21] 黄至畅, 龙楚云, 余倩莎, 成淑芬, 钟骏, 李建明, 欧晓明. 4 种常见杀螺剂对稻田福寿螺的防效试验[J]. 世界农药, 2023, 45(6): 56-60.
Huang Z C, Long C Y, Yu Q S, Cheng S F, Zhong F J, Li J M, Ou X M. Control effects of four common molluscicides against *Pomacea canaliculata* in paddy fields [J]. *World Pesticides*, 2023, 45(6): 56-60. (in Chinese with English abstract)
 - [22] Atreya K. Farmers' willingness to pay for community integrated pest management training in Nepal[J]. *Agriculture and Human Values*, 2007, 24: 399-409.
 - [23] 傅先元, 王洪全. 大瓶螺繁殖生态学研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2020, 19(1): 37-41.
Fu X Y, Wang H Q. Studies on the breeding ecology of *Ampullaria Gigas* [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2020, 19(1): 37-41. (in Chinese with English abstract)
 - [24] 刘义满, 戴小梅, 李长林, 杨守坤, 王爱新, 许林, 王湛昌, 钟兰. 福寿螺 [*Pomacea canaliculata* (Lamarck, 1819)] 的世界分布[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(6): 70-72.

- Liu Y M, Ji X M, Li C L, Yang S K, Wang A X, Xu L, Wang Z C, Zhong L. The global distribution of apple snail [*Pomacea canaliculata* (Lamarck, 1819)] [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2019, 58(6): 70-72. (in Chinese with English abstract)
- [25] Lee G, Paik C, Noh T, Seo H, Choi M. Analysis of damages and rice consumption by golden apple snails (*Pomacea canaliculata*: Ampullariidae) at growth stages of rice [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2010, 49(4): 343-349.
- [26] Horgan F G, Yanes F J, Almazan M L P. Seedling broadcasting as a potential method to reduce apple snail damage to rice [J]. *Crop Protection*, 2014, 64: 168-176.
- [27] 俞晓平, 和田节, 李中方, 吕仲贤, 孙乐平, 朱亚红, 陈建明, 郑许松, 徐红星. 稻田福寿螺的发生和治理 [J]. *浙江农业学报*, 2001, 13(5): 247-252.
- Yu X P, He T J, Li Z F, Lu Z X, Sun L P, Zhu Y H, Chen J M, Zheng X S, Xu H X. Occurrence and management of apple snails in paddy fields [J]. *Acta Agriculturae zhejiangensis*, 2001, 13(5): 247-252. (in Chinese with English abstract)
- [28] 叶建人, 冯永斌, 林贤文, 王华弟, 祝增荣. 福寿螺的寄主植物及其对福寿螺体重的影响 [J]. *生物安全学报*, 2011, 20(2): 124-131.
- Ye J R, Feng Y B, Lin X W, Wang H D, Zhu Z R. Host plants of *Pomacea canaliculata* and their effects on body weight of *Pomacea canaliculata* [J]. *Journal of Biosafety*, 2011, 20(2): 124-131. (in Chinese with English abstract)
- [29] Fang L, Wong P K, Lin L, Lan C, Qiu J W. Impact of invasive apple snails in Hong Kong on wetland macrophytes, nutrients, phytoplankton and filamentous algae [J]. *Freshwater Biology*, 2010, 55: 1191-1204.
- [30] Wong P K, Liang Y, Liu N Y, Qiu J W. Palatability of macrophytes to the invasive freshwater snail *Pomacea canaliculata*: Differential effects of multiple plant traits [J]. *Freshwater Biology*, 2010, 55: 2023-2031.
- [31] Qiu J W, Kwong K L. Effects of macrophytes on feeding and life-history traits of the invasive apple snail *Pomacea canaliculata* [J]. *Freshwater Biology*, 2009, 54: 1720-1730.
- [32] William J, Mattson J R. Herbivory in relation to plant nitrogen content [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 1980, 11: 119-161.
- [33] Lodge D M. Herbivory on freshwater macrophytes [J]. *Aquatic Botany*, 1991, 41: 195-224.
- [34] Begon M, Townsend C R, Harper J L. Ecology: From Individuals to Ecosystems [M]. 4th edn. Malden: Blackwell Publishing Ltd, 2006: 738.
- [35] 叶建人, 林贤文, 祝增荣. 福寿螺对水稻的为害及其产量损失研究 [J]. *农学学报*, 2015, 5(3): 29-35.
- Ye J R, Lin X W, Zhu Z R. Injury and yield loss by the golden apple snail *Pomacea canaliculata* Lamarck in rice [J]. *Agricultural Journal*, 2015, 5(3): 29-35. (in Chinese with English abstract)
- [36] Baker R, Candresse T, Simon E D, Gilioli G, Grégoire J, Jeger M J, Karadjova O E, Lövei G, Makowski D, Manceau C, Navajas M, Puglia A P, Rafoss T, Rossi V, Schans J, Schrader G, Urek G, van Lenteren J C, Vloutoglou I, Winter S, Zlotina M. Scientific opinion on the evaluation of the pest risk analysis on *Pomacea insularum*, the island apple snail, prepared by the Spanish Ministry of Environment and Rural and Marine Affairs [J]. *European Food Safety Authority*, 2012, 10(1): 2552.
- [37] 蔡克锋, 马荣荣, 王晓燕, 陆永法, 周华成, 唐志明, 王亚梁, 陈惠哲. 广适性籼粳杂交水稻甬优 1540 的选育与应用 [J]. *中国稻米*, 2018, 24(3): 118-199.
- Cai K F, Ma R R, Wang X Y, Lu Y F, Zhou H C, Kang Z M, Wang Y L, Chen H Z. Breeding and application of wide adaptability hybrid indica-japonica rice Yongyou 1540 [J]. *China Rice*, 2018, 24(3): 118-199. (in Chinese with English abstract)
- [38] 李峰. 秀水 134 水稻特征特性及直播高产栽培技术 [J]. *现代农业科技*, 2013(9): 33-34.
- Li F. Characteristics and high-yield cultivation techniques of Xiushui 134 rice through live broadcasting [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2013(9): 33-34. (in Chinese)
- [39] 应峥嵘, 寿建尧. 超级早稻“中早 39”主要特性和机插栽培技术规程 [J]. *上海农业科技*, 2016, (6): 45-46.
- Ying Z R, Shou J Y. Main characteristics and machine inserted cultivation techniques of super early rice "Zhongzao 39" [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2016, (6): 45-46. (in Chinese)
- [40] 夏如达, 吴建克, 黄宗贵. 超级早稻中早 39 在温州市的种植表现及高产栽培技术 [J]. *现代农业科技*, 2017(21): 35-36.
- Xia R D, Wu J K, Huang Z G. Planting performance and high yield cultivation techniques of super early rice Zhongzao 39 in Wenzhou. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2017(21): 35-36. (in Chinese)
- [41] Arfan A G, Muhamad R, Omar D, Azwady A A N, Manjeri G. Sowing methods and water levels influence apple snail damage to rice and its yield in *Peninsular Malaysia* [J]. *Experimental Agriculture*, 2017, 53: 528-538.
- [42] Liang K M, Zhang J E, Song C X, M. Luo M Z, Zhao B L, Quan G M, An M. Integrated management to control golden apple snails (*Pomacea canaliculata*) in direct seeding rice fields: An approach combining water management and rice-duck farming [J]. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 2013, 38(3): 264-282.
- [43] Litsinger J A, Estano D B. Management of the goldenapple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck) in rice [J]. *Crop Protection*, 1993, 12: 363-370.
- [44] Boland B B, Meerhoff M, Fosalba C, Mazzeo N, Barnes M A, Burks R L. Juvenile snails, adult appetites: contrasting resource consumption between two species of apple snails (*Pomacea*) [J]. *Journal of Molluscan Studies*, 2008, 74: 47-54.