

DOI: 10.5846/stxb201306101610

朱丽霞, 黄瑶瑶, 张泽宏, 胡俊西, 陈惠萍, 章家恩. pH、食物和光周期对福寿螺生长发育和繁殖的影响. 生态学报, 2015, 35(8): 2643-2651.

Zhu L X, Huang Y Y, Zhang Z H, Hu J X, Chen H P, Zhang J E. Effects of pH, food and photoperiod on the growth, development and reproduction of *Pomacea canaliculata*. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(8): 2643-2651.

pH、食物和光周期对福寿螺生长发育和繁殖的影响

朱丽霞¹, 黄瑶瑶¹, 张泽宏¹, 胡俊西¹, 陈惠萍¹, 章家恩^{2,*}

¹ 闽南师范大学, 生物科学与技术系, 漳州 363000

² 华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广州 510642

摘要:以 7.5 g 左右的成年福寿螺 *Pomacea canaliculata* 为对象, 研究 pH 值(2.5—11.5)、光周期(24 h 光照、12 h 光照和无光照)和食物(喂食和不喂食)三因子的联合作用下对福寿螺生长发育和繁殖的影响。结果表明, 无光照和饥饿条件下, 福寿螺在酸性 pH 值 4.5 和 pH 值 3.5 试验的第 24 天均达到 50% 致死率, 在碱性 pH 值 10.5 试验的第 21 天死亡率达到 53.3%; 试验第 27 天, 无光照和饥饿条件下, pH 值 2.5 和 pH 值 11.5 的死亡率则分别达到最大为 66.7% 和 80%, 产卵量均仅为 20 粒, 孵化率分别低至 6.06% 和 5.97%; 24 h 光照和喂食条件下, pH 值 7.5 试验的第 27 天福寿螺体重增长率最高, 为 17.78% (而 12 h 光照和无光照条件下则分别仅为 7.03% 和 5.47%), 但此时产卵量只有 180 粒, 孵化率仅为 8.23%, 延长孵化历时到 16.6 d, 而此酸度下 12 h 光照(最接近于自然节律), 最终产卵量达到 1600 粒, 且卵的孵化率高达 84.66%, 孵化历时为 13.53 d。以上结果说明, 福寿螺具有较强的耐酸碱和抗饥饿能力, 但过酸(pH 值 ≤ 3.5)和过碱(pH 值 ≥ 10.5)的环境, 也会严重抑制福寿螺的存活、生长发育和繁殖, 特别是在福寿螺缺乏足够食物条件下, 抑制作用更强; 光周期对福寿螺的生长发育和繁殖影响较大, 连续 24 h 光照会极大地刺激福寿螺的体重增长, 但同时会干扰福寿螺繁殖, 减少产卵量和卵的孵化率, 延长孵化历时; 而 12 h 光照在 3 种光照条件下最有利于福寿螺的生长发育和繁殖; 完全黑暗则会严重抑制福寿螺的生长发育及降低其繁殖能力。

关键词: 福寿螺; 生长发育; 光周期; 孵化

Effects of pH, food and photoperiod on the growth, development and reproduction of *Pomacea canaliculata*

ZHU Lixia¹, HUANG Yaoyao¹, ZHANG Zehong¹, HU Junxi¹, CHEN Huiping¹, ZHANG Jia'en^{2,*}

¹ Department of Biological Science and Technology, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, China

² Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract: The effects of water pH (2.5—11.5), photoperiod and food supply on the growth, development and reproduction of the golden apple snail, *Pomacea canaliculata*, with the weight around 7.5 g, were investigated. Mortality, growth rate, spawning amount, hatching rate and incubation time of *Pomacea canaliculata* were determined throughout the experiment to study its resistance and tolerance to each ecological factor. The results showed that mortality was less than 50% in all treatments under acidic conditions before the 18th day and under alkaline conditions before the 12th day. However, mortality was up to 50% at pH 4.5 or 3.5 and under dark conditions at the 24th day, and at pH 10.5, with no light and no food, mortality was 53.3% at the 21st day. Mortality increased with time and at higher acidic and alkaline strengths, so with treatments of pH 2.5 and pH 11.5, and with no light and no food, mortality reached a maximum of 66.7% and 80%, respectively, at the 27th day. Neutral, weakly acidic and weakly alkaline conditions (pH 6.5—8.5) were more beneficial to

基金项目:国家自然科学基金(U1131006, 30770403, 30900187); 广东省高等学校高层次人才项目(粤教师函(2010)79号); 广东省引进国(境)外高层次人才智力项目(粤外专[2010]51号)

收稿日期: 2013-06-10; 网络出版日期: 2014-05-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jeanzh@scau.edu.cn

body weight growth of *Pomacea canaliculata*. Under 24 h light conditions, the weight growth rate of *Pomacea canaliculata* was highest, followed by 12 h light, whereas no light conditions had the lowest weight growth rate. So with 24 h light and pH 7.5, the weight growing rate was highest at 17.78% on the 27th day, whereas with 12 h light and no light conditions, the weight growing rate was only 7.03% and 5.47%, respectively. However, with 24 h light and pH 7.5, the spawning amount was only 180 eggs, and hatching rate was only 8.23% after 16.6 days incubation. Under snail feeding conditions, the spawning amount and hatching rate were higher and egg incubation duration was shorter than that under no food conditions. The spawning amount was highest under 12 h light conditions and was lowest under no light conditions. In the 12 h light, pH 7.5 trials, 1600 eggs were produced under feeding conditions, and the hatching rate was much higher at 84.66% after 13.53 days incubation. Spawning amount (20 eggs) was lowest with no food, no light and at pH 2.5 or pH 11.5. The lowest hatching rates were 6.06% and 5.97% and the longest incubation times were 17.78 days and 17.53 days at pH 2.5 or pH 11.5, respectively. These results indicated that *Pomacea canaliculata* had great ability to resist acidic and alkaline conditions and to resist hunger, but survival, growth and reproduction would be severely inhibited if maintained under conditions which were too acidic ($\text{pH} \leq 3.5$) or too alkaline ($\text{pH} \geq 10.5$), and strongly inhibited especially if maintained under conditions lacking adequate food. The effect of photoperiod on the growth, development and reproduction of *Pomacea canaliculata* was remarkable. In general, weight growth of *Pomacea canaliculata* was greatly stimulated under 24 h light treatment, but the reproduction of *Pomacea canaliculata* was inhibited with decreased egg production and increased incubation time; the 12 h light treatment was the optimum condition for reproduction and growth of *Pomacea canaliculata*; however, a long-term totally dark environment would be very harmful to its growth.

Key Words: *Pomacea canaliculata*; growth and development; photoperiod; hatching

福寿螺(*Pomacea canaliculata*)又名大瓶螺、苹果螺,属软体动物门、腹足纲、新进腹足目、瓶螺科、瓶螺属,是原产于南美洲的一种大型淡水螺^[1-2]。福寿螺在包括中国在内的多数亚洲国家泛滥成灾,严重危害水稻等水生农作物以及水域附近的蔬菜等旱生作物,造成农作物严重减产甚至绝收,已成为一种极严重的农业有害生物^[3]。目前,对福寿螺的生物学特性(包括形态特征、生活史、生活习性等)进行了大量研究^[2,4-6],而对其生态适应性及其对环境的耐性的研究却不多。已有研究表明,福寿螺卵的发育起点温度为 14.19 °C,适宜温度为 20—35 °C,30 °C 为福寿螺生长、发育及繁殖的最适宜温度^[7-8]。福寿螺耐高温不耐低温,能适应 39 °C 的极端高温,温度低于 12 °C 福寿螺生理活动基本停止,6 °C 时 7 d 内全部死亡^[9-14]。对福寿螺耐干旱和饥饿能力研究表明,新孵出幼螺干旱或饥饿 1—8 d 的存活率均在 50% 以上,干旱饥饿 14 d 后仍有 1% 的幼螺能够存活^[15]。食物不足会影响雌螺交配和产卵时间、产卵量和卵块大小^[16-19]。福寿螺对酸碱胁迫有一定的抵御能力。当环境过酸或过碱时,福寿螺会选择逃离或分泌粘液并关闭厣甲^[14]。当 pH 值 > 10 时,福寿螺从刚接触高 pH 值环境到 96 h 内一直是紧闭厣甲,直至死亡^[6]。但有关 pH 值对福寿螺生长发育及繁殖能力影响的深入研究未见报道。

目前大多数研究仅仅是关注一两个因子对福寿螺生长发育和行为等的影响,而对于多种因子联合作用时对福寿螺生长综合影响的研究报道较为少见。因此,本研究针对 pH 值、光周期和食物 3 种环境因子共同作用对福寿螺生长发育和繁殖的影响进行探究分析,希望能进一步探明福寿螺对极端环境胁迫的耐性规律,并为寻求控制福寿螺的新方法提供相关依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验所用的福寿螺均采自漳州市城郊水稻田,选择身体无损伤,活动正常的福寿螺,4—8 g/只,在实验室内饲养 14 d 后进行试验。食物为新鲜油麦菜,饲养福寿螺的水在室外晾晒 2d 后再用。

1.2 方法

1.2.1 试验螺

选择性腺发育成熟,平均体重约为 7.5 g 的福寿螺为供试螺,将供试螺放置于底径 15 cm 高度 8 cm 塑料小盆内,在盆口放置纱网,以防止福寿螺逃逸。

1.2.2 试验液配制

配制 0.1 mol/L 盐酸溶液和 0.1 mol/L NaOH 溶液作为母液,再吸取一定量的母液加蒸馏水调配成 pH 值为 2.5、3.5、4.5、5.5、6.5、7.5、8.5、9.5、10.5、11.5 的一系列水溶液备用。

1.2.3 试验设计

(1) 福寿螺在不同条件下的培养试验

pH 值条件设置为:2.5、3.5、4.5、5.5、6.5、7.5、8.5、9.5、10.5、11.5;食物条件设置为喂食(投放足量的油麦菜)和不喂食;光周期设置为 24 h 光照(24:0)、12 h 光照(12:12)和 0 h 光照(0:24);观测时间设置为每 3 d 统计不同处理下的福寿螺死亡数、螺重等指标。

试验时把供试福寿螺放入试验盆中,每盆 10 只,雌雄比例为 1:1。培养温度和光照强度均为 28 ℃、3000 lx。每个处理设 3 次重复,每天换 2 次相应的试验液。每天观察并记录各盆内福寿螺的产卵量(所有雌螺所产的卵粒数),直至供试福寿螺全部死亡或试验 27 d 后终止培养试验。

按照下式计算螺重增长率:

$$\text{螺重增长率}(\%) = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100$$

式中, W_1 、 W_2 分别表示福寿螺试验前后的体重,即初始体重和终体重。

(2) 福寿螺卵的孵化试验

分别利用不同处理下不同重复的福寿螺所产下来的所有卵进行孵化试验,孵化时把卵小心剥开成小粒,分别让其在 28 ℃,相对湿度 75%左右的培养箱中孵化,并统计孵化历时和计算孵化率。

1.2.4 数据处理

所有统计分析均采用统计分析软件 SPSS 21.0 处理。

2 结果分析

2.1 不同 pH 值、食物和光周期对福寿螺死亡率的影响

从表 1 和表 2 所示数据可知,福寿螺具有很强的耐酸和耐饥能力。在喂食情况下,试验的前 21 d 和不喂食情况下试验的前 18 d,所有处理下的福寿螺的死亡率均未超过 50%。在 pH 值 2.5 条件下,试验的第 27 天,在喂食情况下的 24 h 光照、12 h 光照和无光照条件下死亡率分别仅为 40%、40%和 60%;在不喂食情况下,24 h 光照、12 h 光照和无光照条件下死亡率分别为 50%、50%和 66.7%。喂食和不喂食的福寿螺在无光照条件下均具有较高的死亡率,而且水环境的酸度越强以及无光照条件对福寿螺的致死作用越强,与 24 h 光照和 12 h 光照死亡率的差异也越大。在无光照和饥饿条件下,pH 值 3.5 和 pH 值 4.5 的第 24 天福寿螺死亡率均达到 50%,说明这两种环境条件下福寿螺虽然还有部分存活,但其生存已经受到严重抑制,而且随着时间的延长、酸度的增加,抑制作用加强。

从表 3 和表 4 的数据可知,福寿螺也具有较强的耐碱抗饥能力,所有处理在试验的前 12 d 的死亡率均未超过 50%。在试验的最强碱性(pH 值 11.5)条件下,试验的第 27 天喂食情况下的 24 h 光照、12 h 光照和无光照条件下死亡率分别为 66.7%、60%和 70%;不喂食情况下,24 h 光照、12 h 光照和无光照条件下死亡率分别是 76.7%、70%和 80%,均仍有 20%以上存活。pH 值 11.5,在试验的第 15 天,喂食条件下,福寿螺在 24 h 光照和无光照处理下的死亡率均达到 50%,而不喂食条件下,3 种光照条件下的死亡率均达到 50%以上;在 pH 值 10.5 碱性条件下,喂食和不喂食的第 24 天,3 种光照处理下福寿螺的死亡率也均达到 50%以上,在不喂食的无光照处理的第 21 天死亡率达到 53.3%,说明在这些环境条件下,虽然福寿螺仍有存活但其生存受到了严重

抑制。

表 1 喂食情况下不同酸度和光周期条件下福寿螺的死亡率/%

Table 1 The mortality of the fed apple snails under different acidity and photoperiod conditions

pH	光周期 Photoperiod	处理时间 Time/d							
		6	9	12	15	18	21	24	27
2.5	24:0	10.0±5.8a	10.0±0.0ab	13.3±3.3b	20.0±0.0abc	23.3±3.3bcd	30.0±0.0bc	33.3±3.3bcd	40.0±5.8bc
2.5	12:12	10.0±0.0a	10.0±5.8ab	20.0±0.0b	23.3±3.3abc	26.7±3.3abc	30.0±5.8bc	36.7±3.3bc	40.0±5.8bc
2.5	0:24	10.0±0.0a	16.7±3.3a	30.0±5.8a	30.0±0.0a	36.7±3.3a	40.0±0.0a	50.0±5.8a	60.0±5.8a
3.5	24:0	0.0±0.0b	10.0±5.8ab	16.7±3.3b	16.7±3.3bc	20.0±0.0bcd	26.7±3.3cd	36.7±3.3bc	40.0±5.7bc
3.5	12:12	0.0±0.0b	10.0±0.0ab	16.7±3.3b	16.7±3.3bc	20.0±5.8bcd	26.7±3.3cd	36.7±3.3bc	36.7±0.0bc
3.5	0:24	10.0±0.0a	16.7±3.3a	20.0±3.3b	26.7±3.3ab	30.0±0.0ab	36.7±3.3ab	40.0±5.8ab	50.0±5.8ab
4.5	24:0	0.0±0.0b	10.0±0.0ab	13.3±3.3b	20.0±5.8abc	20.0±0.0bcd	23.3±3.3cd	30.0±0.0bcd	36.7±3.3bc
4.5	12:12	0.0±0.0b	10.0±5.8ab	13.3±3.3b	13.3±3.3c	13.3±3.3d	20.0±0.0d	26.7±3.3cd	36.7±3.3bc
4.5	0:24	10.0±0.0a	13.3±3.3a	16.7±3.3b	20.0±0.0abc	20.0±5.8bcd	30.0±0.0bc	36.7±3.3bc	40.0±0.0bc
5.5	24:0	0.0±0.0b	10.0±0.0ab	13.3±3.3b	16.7±3.3bc	16.7±3.3cd	20.0±0.0d	23.3±3.3d	33.3±3.3c
5.5	12:12	0.0±0.0b	10.0±5.8ab	13.3±3.3b	16.7±3.3bc	16.7±3.3cd	20.0±0.0d	23.3±3.3d	33.3±3.3c
5.5	0:24	10.0±0.0a	10.0±0.0ab	13.3±3.3b	20.0±5.8abc	20.0±5.8bcd	23.3±3.3cd	33.3±3.3bcd	40.0±0.0bc
6.5	24:0	0.0±0.0b	0.0±0.0b	10.0±0.0b	13.3±3.3c	13.3±3.3d	20.0±0.0d	23.3±3.3d	30.0±5.8c
6.5	12:12	0.0±0.0b	0.0±0.0b	13.0±3.3b	13.3±3.3c	13.3±3.3d	20.0±0.0d	23.3±3.3d	30.0±0.0c
6.5	0:24	10.0±0.0a	13.3±3.3a	13.3±3.3b	20.0±0.0abc	20.0±5.8bcd	23.3±3.3cd	30.0±0.0bcd	33.3±3.3c

同列数据中不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)

表 2 不喂食情况下不同酸度和光周期条件下的福寿螺死亡率/%

Table 2 The mortality of the hungry apple snails under different acidity and photoperiod conditions

pH	光周期 Photoperiod	处理时间 Time/d							
		6	9	12	15	18	21	24	27
2.5	24:0	10.0±5.8ab	10.0±0.0b	16.7±3.3bc	20.0±5.8bcd	26.7±3.3bc	36.7±3.3bc	46.7±3.3abc	50.0±5.8bc
2.5	12:12	10.0±0.0ab	10.0±0.0b	20.0±0.0abc	26.7±3.3abc	26.7±3.3bc	36.7±3.3bc	46.7±3.3abc	50.0±5.8bc
2.5	0:24	16.7±3.3a	20.0±5.8a	30.0±5.8a	36.7±3.3a	40.0±5.8a	50.0±5.8a	56.7±3.3a	66.7±3.3a
3.5	24:0	0.0±0.0b	10.0±0.0b	16.7±3.3bc	16.7±3.3cd	20.0±0.0c	26.7±3.3cde	36.7±3.3cde	46.7±3.3bcd
3.5	12:12	10.0±5.8ab	16.7±3.3a	20.0±0.0abc	20.0±0.0bcd	20.0±0.0c	26.7±3.3cde	36.7±3.3cde	46.7±3.3bcd
3.5	0:24	10.0±0.0ab	20.0±0.0a	26.7±3.3ab	30.0±5.8ab	36.7±3.3ab	43.3±3.3ab	50.0±0.0ab	56.7±3.3ab
4.5	24:0	0.0±0.0b	10.0±0.0b	16.7±3.3bc	16.7±3.3cd	20.0±0.0c	26.7±3.3cde	33.3±3.3de	40.0±0.0cde
4.5	12:12	0.0±0.0b	10.0±0.0b	16.7±3.3bc	16.7±3.3cd	16.7±3.3c	20.0±0.0e	30.0±0.0e	40.0±0.0cde
4.5	0:24	10.0±5.8ab	10.0±0.0b	16.7±3.3bc	16.7±3.3cd	26.7±3.3bc	36.7±3.3bc	50.0±0.0ab	53.3±3.3b
5.5	24:0	0.0±0.0b	10.0±0.0b	13.3±3.3c	20.0±0.0bcd	20.0±5.8c	23.3±3.3de	30.0±5.8e	33.3±3.3e
5.5	12:12	0.0±0.0b	10.0±0.0b	13.3±3.3c	13.3±3.3d	16.7±3.3c	23.3±3.3de	30.0±5.8e	36.7±3.3de
5.5	0:24	10.0±5.8ab	16.7±3.3a	16.7±3.3bc	20.0±0.0bcd	23.3±3.3d	30.0±0.0cde	40.0±5.8bcde	40.0±5.8cde
6.5	24:0	0.0±0.0b	10.0±0.0b	13.3±3.3c	16.7±3.3cd	20.0±0.0c	30.0±0.0cde	33.3±3.3de	40.0±0.0cde
6.5	12:12	0.0±0.0b	10.0±0.0b	20.0±0.0abc	23.3±3.3bcd	23.3±3.3c	23.3±3.3de	30.0±5.8e	33.3±3.3e
6.5	0:24	10.0±5.8ab	10.0±0.0b	20.0±0.0abc	20.0±0.0bcd	23.3±3.3c	33.3±3.3bcd	43.3±3.3bcd	46.7±3.3bcd

表 3 喂食情况下不同碱度和光周期条件下的福寿螺死亡率/%

Table 3 The mortality of the fed apple snails under different basicity and photoperiod conditions

pH	光周期 Photoperiod	处理时间 Time/d							
		6	9	12	15	18	21	24	27
7.5	24:0	3.3±3.3c	3.3±3.3c	3.3±3.3c	6.7±3.3d	10.0±0.0h	13.3±3.3gh	16.7±3.3gh	23.3±3.3gh
7.5	12:12	3.3±3.3c	3.3±3.3c	3.3±3.3c	3.3±3.3d	6.7±3.3h	10.0±0.0h	13.3±3.3h	16.7±3.3h
7.5	0:24	6.7±3.3c	10.0±5.8bc	13.3±6.7bc	13.3±6.7cd	16.7±3.3fgh	23.3±3.3efg	30.0±0.0ef	40.0±5.8e

续表3

pH	光周期 Photoperiod	处理时间 Time/d							
		6	9	12	15	18	21	24	27
8.5	24:0	10.0±5.8c	13.3±3.3bc	13.3±3.3bc	13.3±3.3cd	16.7±3.3fgh	20.0±0.0fgh	23.3±3.3fg	23.3±3.3gh
8.5	12:12	6.7±3.3c	10.0±0.0bc	13.3±3.3bc	13.3±3.3cd	13.3±3.3gh	13.3±3.3gh	20.0±0.0gh	20.0±0.0h
8.5	0:24	10.0±0.0c	13.3±3.3bc	20.0±0.0b	20.0±0.0bc	26.7±3.3def	30.0±5.8def	33.3±3.3de	40.0±5.8e
9.5	24:0	10.0±0.0c	13.3±3.3bc	23.3±3.3b	26.7±3.3b	30.0±0.0cde	33.3±3.3cde	36.7±3.3de	36.7±3.3ef
9.5	12:12	10.0±5.8c	13.3±6.7bc	20.0±0.0b	23.3±3.3bc	23.3±3.3efg	30.0±0.0def	30.0±0.0ef	30.0±0.0fg
9.5	0:24	13.3±3.3bc	20.0±0.0ab	23.3±3.3b	30.0±0.0b	30.0±5.8cde	36.7±3.3cd	40.0±0.0d	40.0±0.0e
10.5	24:0	13.3±3.3bc	20.0±0.0ab	23.3±3.3b	30.0±5.7b	36.7±3.3cd	40.0±0.0cd	50.0±5.8c	53.3±6.7cd
10.5	12:12	10.0±0.0c	13.3±3.3bc	20.0±5.8b	23.3±3.3bc	30.0±5.8cde	36.7±3.3cd	50.0±0.0c	50.0±0.0d
10.5	0:24	13.3±6.7bc	20.0±5.8ab	20.0±5.8b	30.0±5.8b	40.0±0.0bc	43.3±3.3bc	53.3±3.3bc	60.0±0.0bc
11.5	24:0	23.3±3.3ab	30.0±0.0a	36.7±3.3a	50.0±0.0a	50.0±0.0ab	53.3±3.3ab	60.0±0.0ab	66.7±3.3ab
11.5	12:12	26.7±3.3a	30.0±5.8a	36.7±3.3a	43.3±3.3a	50.0±5.8ab	53.3±3.3ab	56.7±3.3bc	60.0±0.0bc
11.5	0:24	23.3±3.3ab	30.0±0.0a	36.7±3.3a	50.0±5.8a	53.3±3.3a	60.0±5.8a	66.7±3.3a	70.0±0.0a

表 4 不喂食情况下不同碱度和光周期条件下的福寿螺死亡率/%

Table 4 The mortality of the hungry apple snails under different basicity and photoperiod conditions

pH	光周期 Photoperiod	处理时间 Time/d							
		6	9	12	15	18	21	24	27
7.5	24:0	10.0±5.8b	10.0±0.0c	13.3±3.3d	13.3±3.3d	20.0±0.0d	30.0±0.0ef	36.7±3.3d	36.7±3.3fg
7.5	12:12	10.0±0.0b	10.0±0.0c	13.3±3.3d	13.3±3.3d	20.0±5.8d	23.3±3.3f	30.0±5.8d	30.0±5.8g
7.5	0:24	10.0±0.0b	10.0±0.0c	20.0±5.8cd	16.7±3.3d	23.3±3.3d	36.7±3.3bc	40.0±0.0cd	40.0±0.0fg
8.5	24:0	10.0±5.8b	13.3±3.3bc	20.0±5.8cd	23.3±3.3cd	30.0±0.0cd	36.7±3.3de	36.7±3.3d	36.7±3.3fg
8.5	12:12	10.0±0.0b	10.0±0.0c	20.0±5.8cd	23.3±3.3cd	23.3±3.3d	30.0±0.0ef	36.7±3.3d	36.7±3.3fg
8.5	0:24	10.0±0.0b	13.3±3.3bc	23.3±3.3cd	30.0±5.8bc	36.7±3.3bc	36.7±3.3de	40.0±0.0cd	40.0±0.0fg
9.5	24:0	13.3±6.7b	20.0±5.8bc	23.3±3.3cd	30.0±5.8bc	36.7±3.3bc	40.0±5.8de	40.0±0.0cd	43.3±3.3f
9.5	12:12	13.3±3.3b	20.0±0.0bc	20.0±0.0cd	23.3±3.3cd	36.7±3.3bc	36.7±3.3de	36.7±3.3d	36.7±3.3fg
9.5	0:24	13.3±3.3b	20.0±5.8bc	23.3±3.3cd	30.0±0.0bc	40.0±0.0bc	40.0±0.0de	40.0±0.0cd	40.0±0.0cd
10.5	24:0	13.3±3.3b	20.0±0.0bc	23.3±3.3cd	30.0±0.0bc	40.0±5.8bc	43.3±3.3cd	53.3±3.3b	60.0±0.0de
10.5	12:12	13.3±3.3b	20.0±0.0bc	23.3±3.3cd	30.0±0.0bc	36.7±3.3bc	43.3±3.3cd	50.0±5.8bc	56.7±3.3e
10.5	0:24	20.0±0.0ab	23.3±6.7bc	30.0±5.8bc	36.7±3.3b	43.3±3.3b	53.3±3.3bc	60.0±0.0ab	66.7±3.3cd
11.5	24:0	30.0±0.0a	36.7±3.3a	43.3±3.3a	53.3±3.3a	56.7±3.3a	60.0±0.0ab	66.7±3.3a	76.7±3.3ab
11.5	12:12	30.0±5.8a	36.7±3.3a	40.0±0.0ab	50.0±0.0a	53.3±3.3a	60.0±5.8ab	66.7±3.3a	70.0±0.0bc
11.5	0:24	30.0±5.8a	36.7±3.3a	43.3±3.3a	53.3±3.3a	60.0±0.0a	66.7±3.3a	70.0±0.0a	80.0±5.8a

2.2 不同 pH 和光周期对福寿螺发育速率的影响

从试验结果可知,不喂食条件下福寿螺体重增长不明显,故只选择喂食情况下福寿螺的体重增长率来分析 pH 值和光周期对福寿螺在不同时期生长发育的影响。表 5 和表 6 显示,中性、弱酸和弱碱性环境(pH 值 6.5—8.5)比较有利于福寿螺体重的增长,酸性(pH 值 ≤ 3.5)和碱性(pH 值 ≥ 10.5)环境不利于福寿螺生长发育;从不同光周期对福寿螺体重增长率影响的结果可知,在全光照条件下,福寿螺的体重增长率最大,其次是 12 h 光照,而无光照条件下,福寿螺体重增长率最低。在所有生长时期,24 h 光照和 pH 值 7.5 时均有最大的体重增长率,如试验的第 15 天、21 天和 27 天福寿螺体重增长率分别为 11.36%、15.69%和 17.78%;其次是 24 h 光照下,pH 值 8.5 和 pH 值 6.5 时的体重增长率,在第 27 天分别为 16.94%和 16.74%,说明 24 h 光照能够促进福寿螺体重的增长。与 24 h 光照条件下相比,12 h 光照和无光照条件下的体重增长率在所有时间段和 pH 值处理均较低,特别是无光照处理最低,如试验第 27 天,最大的体重增长率是 12 h 光照和 pH 值 7.5 时的 7.03%,具有最小体重增长率的是无光照条件的 pH 值 2.5 和 pH 值 11.5,分别为 3.96%和 4.16%。当酸性达

到 pH 值 3.5 以下和碱性 pH 值 10.5 以上时,即使在有光照的处理下,在所有时期内福寿螺的体重增长率都较低,特别是试验初期的适应阶段,体重增长非常低,前 3 d 体重增长率均小于 2.0%,最小的是 pH 值 2.5 无光照条件,仅 0.23%,说明 pH 值 ≤ 3.5 或 pH 值 ≥ 10.5 严重抑制了福寿螺的生长发育,在无光照条件下这种抑制作用会更强。

表 5 不同酸性条件、光周期和时间下的福寿螺体重增长率/%

Table 5 The effects of acidity, photoperiod, and treated time on apple snails growing rate

pH	光周期 Photoperiod	处理时间 Time/d				
		3	9	15	21	27
2.5	24:0	0.83±0.01I	1.67±0.02J	2.04±0.04I	3.07±0.02K	4.33±0.02K
2.5	12:12	0.25±0.02J	1.48±0.03K	2.01±0.04I	3.01±0.03KL	4.06±0.02L
2.5	0:24	0.23±0.02J	1.07±0.02L	1.97±0.05I	2.96±0.04L	3.96±0.03M
3.5	24:0	1.87±0.03E	2.99±0.03F	3.88±0.07E	4.95±0.02F	5.46±0.03H
3.5	12:12	1.04±0.03H	2.09±0.04H	2.96±0.03G	3.76±0.03J	4.57±0.02J
3.5	0:24	1.07±0.02H	1.77±0.04IJ	2.87±0.03G	3.82±0.02J	4.33±0.02K
4.5	24:0	2.05±0.03D	3.58±0.04C	5.96±0.04C	7.56±0.01C	9.03±0.03C
4.5	12:12	1.49±0.02G	2.16±0.04H	3.26±0.04F	4.88±0.02FG	6.04±0.02F
4.5	0:24	1.45±0.02G	1.85±0.05I	2.55±0.04H	4.65±0.02H	5.76±0.03G
5.5	24:0	2.87±0.03B	4.88±0.03A	7.36±0.04A	10.05±0.02B	13.46±0.03B
5.5	12:12	1.96±0.02D	3.58±0.05C	5.96±0.05C	6.68±0.02D	7.38±0.03D
5.5	0:24	1.78±0.03F	3.15±0.04E	4.02±0.03DE	4.53±0.02I	5.36±0.02I
6.5	24:0	3.12±0.02A	4.34±0.08B	6.32±0.03B	11.74±0.03A	16.74±0.02A
6.5	12:12	2.16±0.04C	3.35±0.04D	4.06±0.03D	5.12±0.02E	6.33±0.02E
6.5	0:24	2.05±0.02D	2.68±0.04G	3.98±0.03DE	4.82±0.02G	5.47±0.02H

同列数据中不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)

表 6 不同碱性条件、光周期和时间下的福寿螺体重增长率/%

Table 6 The effects of basicity, photoperiod, and treated time on apple snails growing rate

pH	光周期 Photoperiod	处理时间 Time/d				
		3	9	15	21	27
7.5	24:0	4.98±0.03A	8.67±0.03A	11.36±0.02A	15.69±0.03A	17.78±0.04A
7.5	12:12	2.18±0.02E	3.32±0.02E	4.27±0.03E	5.42±0.02D	7.03±0.03D
7.5	0:24	2.09±0.02FG	2.98±0.03F	3.56±0.02G	4.34±0.02G	5.47±0.04I
8.5	24:0	4.86±0.02B	8.54±0.02B	11.06±0.02B	14.89±0.03B	16.94±0.03B
8.5	12:12	2.15±0.02EF	3.02±0.02F	3.86±0.02F	5.06±0.02E	6.87±0.03E
8.5	0:24	2.04±0.02G	2.87±0.02G	3.32±0.02H	4.36±0.02G	5.34±0.03I
9.5	24:0	3.36±0.01C	6.72±0.02C	8.66±0.02C	10.56±0.02C	12.43±0.03C
9.5	12:12	2.08±0.02FG	2.74±0.02H	3.64±0.02G	4.46±0.03F	6.52±0.04G
9.5	0:24	1.94±0.02H	2.59±0.02I	3.22±0.02I	3.94±0.03I	5.06±0.04J
10.5	24:0	2.88±0.04D	3.45±0.02D	4.52±0.03D	5.49±0.03D	6.67±0.03F
10.5	12:12	1.86±0.04H	2.54±0.03I	3.26±0.03HI	4.24±0.02H	5.64±0.04H
10.5	0:24	1.75±0.02I	2.39±0.03J	3.04±0.03J	3.86±0.03I	4.54±0.03K
11.5	24:0	1.02±0.02J	1.69±0.02K	2.45±0.02K	3.66±0.02J	5.02±0.03J
11.5	12:12	0.34±0.02K	1.02±0.03L	1.83±0.02L	3.75±0.02J	4.42±0.04K
11.5	0:24	0.32±0.02K	0.96±0.03L	1.48±0.02M	2.54±0.02K	4.16±0.04L

2.3 不同环境条件对福寿螺繁殖力的影响

从表 7 和表 8 可以看出,福寿螺在喂食条件下产卵量和孵化率均要比饥饿条件下的要高,而卵的孵化历时也要比不喂食处理短,而不喂食的福寿螺,只在试验前期产卵 1—2 次,产卵量低,后期基本不产卵。福寿螺

在 12 h 光照,接近自然光照条件下产卵量最大,无光照条件下产卵量最低。福寿螺在喂食情况下,pH 值 6.5 和 pH 值 7.5 的 12 h 光照条件下有最大的产卵量 1600 粒,孵化率也最高,孵化历时最短;其次是喂食情况下,pH 值 5.5 和 pH 值 8.5 的 12 h 光照条件下的产卵量较多,有 1300 粒,孵化率也较高,孵化历时较短。在喂食条件下,12 h 光照的 pH 值 9.5 和 pH 值 4.5 的处理也有较高的产卵量,分别为 800 粒和 700 粒,其它处理的产卵量都低于 250 粒;产卵量最低的是不喂食情况下,pH 值 2.5 和 pH 值 3.5,分别在 24 h 光照和无光照条件下均为 20 粒,孵化率最低为 pH 值 2.5 无光照时的 6.06%。另外,pH 值 11.5 无光条件下的产卵量只有 20 粒,孵化率仅为 5.97%,孵化历时也较长,为 17.53 d。由此可见,pH 值 ≤ 3.5 和 pH 值 ≥ 10.5 会严重降低福寿螺的繁殖能力,减少产卵量和抑制卵的孵化;长时间的完全黑暗或全光照处理均能严重抑制福寿螺产卵及卵的孵化,而缺乏食物以及酸度的加强均能加剧这种抑制作用。

表 7 不同酸性条件、光周期和食物对福寿螺的产卵量、孵化历时和孵化率的影响

Table 7 The effects of different acidity, photoperiod and food conditions on apple snails egg quantity, incubation time and hatchability							
pH	光周期 Photoperiod	产卵量/粒 Egg quantity		孵化历时 Incubation time /d		孵化率 Hatchability /%	
		喂食 Feeding	不喂食 No food	喂食 Feeding	不喂食 No food	喂食 Feeding	不喂食 No food
2.5	24:0	50.0 $\pm$ 2.0 K	20.0 $\pm$ 1.2 F	17.60 $\pm$ 0.04 BC	17.69 $\pm$ 0.03 B	6.53 $\pm$ 0.02 GH	6.48 $\pm$ 0.33 GH
	12:12	100.0 $\pm$ 4.7 H	30.0 $\pm$ 1.2 E	17.53 $\pm$ 0.03 CD	17.65 $\pm$ 0.03 B	40.06 $\pm$ 0.12 E	26.74 $\pm$ 0.33 E
	0:24	40.0 $\pm$ 2.1 K	20.0 $\pm$ 1.2 F	17.66 $\pm$ 0.03 B	17.78 $\pm$ 0.04 AB	6.24 $\pm$ 0.078 H	6.06 $\pm$ 0.07 H
3.5	24:0	80.0 $\pm$ 3.5 I	20.0 $\pm$ 1.2 F	17.46 $\pm$ 0.03 E	17.89 $\pm$ 0.04 A	7.36 $\pm$ 0.07 FG	7.07 $\pm$ 0.06 FGH
	12:12	200.0 $\pm$ 6.1 D	40.0 $\pm$ 2.1 D	17.37 $\pm$ 0.00 F	17.43 $\pm$ 0.03 C	58.84 $\pm$ 0.35 D	54.83 $\pm$ 0.21 D
	0:24	70.0 $\pm$ 2.6 J	20.0 $\pm$ 1.2 F	17.50 $\pm$ 0.03 CD	17.66 $\pm$ 0.03 B	7.08 $\pm$ 0.05 FGH	6.93 $\pm$ 0.04 FGH
4.5	24:0	110.0 $\pm$ 5.3 H	30.0 $\pm$ 1.2 E	17.66 $\pm$ 0.03 A	17.85 $\pm$ 0.03 B	7.56 $\pm$ 0.06 F	7.43 $\pm$ 0.02 FG
	12:12	700.0 $\pm$ 6.7 C	50.0 $\pm$ 3.5 C	15.54 $\pm$ 0.03 J	15.68 $\pm$ 0.03 F	64.34 $\pm$ 0.46 C	60.35 $\pm$ 0.61 C
	0:24	108.7 $\pm$ 0.7 H	30.0 $\pm$ 1.2 E	17.26 $\pm$ 0.00 G	17.46 $\pm$ 0.03 C	7.41 $\pm$ 0.03 FG	7.23 $\pm$ 0.05 FGH
5.5	24:0	150.0 $\pm$ 4.7 FG	40.0 $\pm$ 2.1 D	16.33 $\pm$ 0.00 I	16.54 $\pm$ 0.03 E	7.92 $\pm$ 0.06 F	7.74 $\pm$ 0.07 FG
	12:12	1300.0 $\pm$ 6.1 B	60.0 $\pm$ 2.5 B	14.56 $\pm$ 0.03 K	15.68 $\pm$ 0.03 F	75.39 $\pm$ 0.46 B	70.01 $\pm$ 0.67 B
	0:24	140.0 $\pm$ 4.4 G	30.0 $\pm$ 1.2 E	17.26 $\pm$ 0.03 FG	17.32 $\pm$ 0.03 D	7.75 $\pm$ 0.07 F	7.56 $\pm$ 0.04 FG
6.5	24:0	170.0 $\pm$ 4.7 E	50.0 $\pm$ 3.5 C	16.47 $\pm$ 0.03 H	16.56 $\pm$ 0.03 E	8.04 $\pm$ 0.04 F	7.84 $\pm$ 0.06 F
	12:12	1600.0 $\pm$ 6.4 A	70.0 $\pm$ 3.5 A	14.00 $\pm$ 0.03 L	14.33 $\pm$ 0.03 G	82.58 $\pm$ 0.49 A	75.34 $\pm$ 0.50 A
	0:24	160.0 $\pm$ 4.2 EF	40.0 $\pm$ 2.1 D	17.22 $\pm$ 0.03 G	17.34 $\pm$ 0.03 CD	7.88 $\pm$ 0.05 F	7.67 $\pm$ 0.07 FG

表 8 不同碱性条件、光周期和食物对福寿螺的产卵量、孵化历时和孵化率的影响

Table 8 The effects of different basicity, photoperiod and food conditions on apple snails egg quantity, incubation time and hatchability							
pH	光周期 Photoperiod	产卵量/粒 Egg quantity		孵化历时 Incubation time /d		孵化率 Hatchability /%	
		喂食 Feeding	不喂食 No food	喂食 Feeding	不喂食 No food	喂食 Feeding	不喂食 No food
7.5	24:0	180.0 $\pm$ 2.5 E	70.0 $\pm$ 2.3 C	16.60 $\pm$ 0.00 G	16.79 $\pm$ 0.04 E	8.23 $\pm$ 0.02 F	7.98 $\pm$ 0.07 F
	12:12	1600.0 $\pm$ 6.4 A	90.0 $\pm$ 2.0 A	13.53 $\pm$ 0.04 K	13.55 $\pm$ 0.04 H	84.66 $\pm$ 0.41 A	76.74 $\pm$ 0.06 A
	0:24	170.0 $\pm$ 2.1 E	60.0 $\pm$ 2.3 D	16.86 $\pm$ 0.04 F	16.88 $\pm$ 0.04 E	8.04 $\pm$ 0.05 F	7.76 $\pm$ 0.03 F
8.5	24:0	149.3 $\pm$ 1.3 F	50.0 $\pm$ 1.2 E	16.86 $\pm$ 0.04 F	16.88 $\pm$ 0.03 E	8.03 $\pm$ 0.03 F	7.87 $\pm$ 0.03 F
	12:12	1300.0 $\pm$ 4.4 B	80.0 $\pm$ 2.3 B	13.57 $\pm$ 0.04 K	13.63 $\pm$ 0.04 H	80.14 $\pm$ 0.06 B	74.83 $\pm$ 0.06 B
	0:24	140.0 $\pm$ 2.5 F	40.0 $\pm$ 1.2 F	17.05 $\pm$ 0.04 E	17.06 $\pm$ 0.04 D	7.78 $\pm$ 0.03 F	7.63 $\pm$ 0.03 FG
9.5	24:0	120.0 $\pm$ 2.0 G	30.0 $\pm$ 1.2 G	17.15 $\pm$ 0.04 DE	17.66 $\pm$ 0.04 A	7.56 $\pm$ 0.03 FG	7.43 $\pm$ 0.03 FGH
	12:12	800.0 $\pm$ 4.2 C	50.0 $\pm$ 2.0 E	13.84 $\pm$ 0.04 J	14.08 $\pm$ 0.03 G	65.34 $\pm$ 0.06 C	60.35 $\pm$ 0.04 C
	0:24	110.0 $\pm$ 2.1 G	30.0 $\pm$ 1.2 G	17.26 $\pm$ 0.04 CD	17.26 $\pm$ 0.04 C	7.41 $\pm$ 0.03 FG	7.23 $\pm$ 0.03 FGH
10.5	24:0	50.0 $\pm$ 2.1 HI	40.0 $\pm$ 2.1 F	17.33 $\pm$ 0.04 BC	17.44 $\pm$ 0.04 B	6.92 $\pm$ 0.03 GH	6.74 $\pm$ 0.03 GHI
	12:12	230.0 $\pm$ 3.1 D	60.0 $\pm$ 2.5 D	14.26 $\pm$ 0.04 I	14.68 $\pm$ 0.03 F	55.39 $\pm$ 0.04 D	43.01 $\pm$ 0.53 D
	0:24	40.0 $\pm$ 2.0 I	26.7 $\pm$ 3.5 GH	17.52 $\pm$ 0.04 A	17.26 $\pm$ 0.04 C	6.75 $\pm$ 0.03 GH	6.56 $\pm$ 0.06 HI
11.5	24:0	60.0 $\pm$ 2.1 H	30.0 $\pm$ 1.2 G	17.47 $\pm$ 0.04 AB	17.50 $\pm$ 0.04 B	6.44 $\pm$ 0.07 H	6.28 $\pm$ 0.05 I
	12:12	120.0 $\pm$ 2.6 G	50.0 $\pm$ 2.1 E	14.53 $\pm$ 0.03 H	14.68 $\pm$ 0.03 F	35.58 $\pm$ 0.61 E	21.34 $\pm$ 0.67 E
	0:24	50.0 $\pm$ 2.0 HI	20.0 $\pm$ 1.2 H	17.49 $\pm$ 0.04 A	17.53 $\pm$ 0.04 AB	6.26 $\pm$ 0.02 H	5.97 $\pm$ 0.05 I

3 讨论

光作为重要的生态环境因子,直接或间接地影响水生动物的存活、摄食、生长和繁殖等^[20],光照时间对动物的影响如同光照强度一样具有种属特异性。如蛙形蟹(*Ranina ranina*)的水蚤幼虫和普伦白鲑(*Coregonus Pollan*)幼体的摄食量随着光照时间的缩短降低,连续 24 h 的光照对其幼体的生长、变态和存活都有负作用^[20-21]。而鲑(*Salmo salar*)在偏离其自然光周期的光照条件下,其摄食量都将减少,鱼类的摄食不仅受外界环境因素的影响,而且具有其自身的摄食节律^[21-22]。楼宝等^[22]研究不同光照时间对舟山褐牙鲈稚幼鱼摄食、生长的影响结果表明,全黑暗和全亮试验组增长率最小,仅为 5.0% 和 5.9%,成活率最低;光照时间 12 h 的试验组,鱼的摄食强度、生长和成活率最高,而全黑暗组和全亮组的较低。本研究表明,在 3 种光周期中,完全黑暗条件下的福寿螺死亡率最高,12 h 光照具有最低的死亡率,24 h 光照体重增长率最大,完全黑暗条件下体重增长率最小,这可能是由于福寿螺需要靠视觉摄取食物,全黑暗条件下几乎不摄食,故生长最差,死亡率最高;而全光照条件下,因福寿螺长时间处于活动状态,摄食比较多,再加上无黑暗期,福寿螺产卵较少,故体重增长率较大,但由于其活动多,耗能也多,另外,在野外条件下,其暴露而被天敌捕食的机会也会增加,因而这些可能是导致其死亡率较高的相关原因。本研究还表明 12 h 光照条件下福寿螺的产卵量显著高于 24 h 光照和无光照环境,且孵化率最高,孵化历时也最短,而 24 h 光照和无光照条件下产卵量很低,孵化率也很低,这可能与福寿螺属夜行性动物,对光照反应较敏感,一般白天大量摄食,吸收丰富的营养物质,并选择黑暗且较为安静的夜晚产卵,以免受到干扰有关,由此可见,24 h 光照会干扰福寿螺夜间的产卵行为,完全黑暗又会严重影响其在白天的摄食活动,从而也会影响其夜间的产卵行为,这与傅先源等的报道相似^[23]。

水环境酸碱度也影响着福寿螺生长发育和繁殖。有报道表明,淡水螺(*Planorbella trivolvis* Say)对环境酸碱度适应范围广,在 pH 值 4.5—9.4 均可生存,淡水螺在低 pH 值(4.6 和 4.7)下,成螺的生长速率和产卵量下降,认为造成产卵量下降的原因可能是低的 pH 值抑制其囊胚或更早期的发育^[24-25]。本研究结果表明,中性、弱酸和弱碱性环境(pH 值 6.5—8.5)比较有利于福寿螺的存活、体重的增长、产卵及卵的孵化。但过酸(pH 值 ≤ 3.5)和过碱(pH 值 ≥ 10.5)的环境会影响福寿螺的存活,并限制其体重增长,降低其产卵的数量及卵的孵化率,如果福寿螺同时处于饥饿状态,这种限制作用会更强。

4 结论

光周期对福寿螺的影响较大,完全黑暗的条件会严重抑制福寿螺的生长发育及降低其繁殖能力;24 h 光照会导致福寿螺个体体重增长,但干扰其繁殖,减少产卵量及卵的孵化率,延长孵化历时;12 h 光照有利于福寿螺的生长发育,繁殖能力强,产卵量高,但个体体重增长不大。

福寿螺有较强的耐酸碱和抗饥饿的能力,但过酸(pH 值 ≤ 3.5)和过碱(pH 值 ≥ 10.5)的环境,依然会严重抑制福寿螺的生长发育和繁殖,特别是在福寿螺同时缺乏足够食物条件下,抑制作用更强。

参考文献(References):

- [1] Cowie R H. Apple snails as agricultural pests: their biology, impacts and management // Barker G M, ed. Molluscs as Crop Pests. Wallingford, UK: CAB International, 2002: 145-192.
- [2] 冯伟明. 福寿螺的生物学特性及防治措施. 广东农业科学, 1994, (6): 41-42.
- [3] 章家恩, 方丽. 关于我国农田福寿螺生物入侵需要加以研究的生态学问题. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1585-1589.
- [4] 江文彪, 杨桂梅. 浅谈防城港市农田福寿螺发生趋势及防治对策. 广西农学报, 2006, 21(5): 23-25.
- [5] 董朝莉. 福寿螺配偶个体大小选择性初步观察. 广西植保, 2006, 19(1): 4-6.
- [6] 尹绍武, 颜亨梅, 王洪全, 许芳. 福寿螺的生物学研究. 湖南师范大学自然科学学报, 2000, 23(2): 76-82.
- [7] 刘艳斌, 韩 微, 贤振华. 温度对福寿螺生长发育及摄食的影响. 南方农业学报, 2011, 42(8): 901-905.
- [8] 傅先源, 王洪全. 温度对福寿螺生长发育的影响. 水产学报, 1999, 23(1): 21-26.
- [9] 潘颖璞, 董胜张, 俞晓平. 温度胁迫对福寿螺生长、摄食及存活的影响. 植物保护学报, 2008, 35(3): 239-244.

- [10] 吴帆, 李海云, 赵鑫, 章家恩, 罗明珠. 入侵生物福寿螺抗逆性的研究进展. 生物安全学报, 2012, 21(4): 262-266.
- [11] 周卫川, 吴宇芬, 杨佳琪. 福寿螺在中国的适生性研究. 福建农业学报, 2003, 18(1): 25-28.
- [12] 董胜张, 白旭, 潘颖瑛, 俞晓平. 温度胁迫对我国不同地理种群福寿螺生长及存活的影响. 湖北农业科学, 2010, 49(11): 2878-2882.
- [13] Seuffert M E, Burela S, Martín P R. Influence of water temperature on the activity of the freshwater snail *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda: Ampullariidae) at its southernmost limit (Southern Pampas, Argentina), Journal of Thermal Biology, 2010, 35: 77-84.
- [14] 韩微. 福寿螺对逆境胁迫的行为反应及生理生化反应研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- [15] 湛江华, 姚冬明, 刘芳睿, 陈若霞. 福寿螺卵和幼螺抗逆性的初步研究. 浙江农业科学, 2011, (4): 902-905.
- [16] 董胜张, 俞晓平. 食物种类与饥饿胁迫对福寿螺生长发育的影响. 生物安全学报, 2011, 20(3): 213-219.
- [17] Estoy G F Jr, Yusa Y, Wada T, Sakurai H, Tsuchida K. Effects of food availability and age on the reproductive effort of the apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck) (Gastropoda: Ampullariidae). Applied Entomology Zoology, 2002, 37(4): 543-550.
- [18] Tamburi N E, Martín P R. Effects of food availability on reproductive output, offspring quality and reproductive efficiency in the apple snail *Pomacea canaliculata*. Biological Invasions, 2011, 13(10): 2351-2360.
- [19] Estoy G F Jr, Yusa Y, Wada T, Sakurai H, Tsuchida K. Size and age at first copulation and spawning of the apple snail, *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae). Applied Entomology Zoology, 2002, 37(1): 199-205.
- [20] 周显青, 牛翠娟, 李庆芬. 光照对水生动物摄食、生长和存活的影响. 水生生物学报, 2000, 24(2): 178-181.
- [21] Minagawa M. Effects of photoperiod on survival, feeding and development of larvae of the red frog crab, *Ranina ranina*. Aquaculture, 1994, 120: 105-114.
- [22] 楼宝, 史会来, 毛国民, 骆季安, 辛俭, 郑代明. 不同光照时间、强度对舟山褐牙鲆稚幼鱼摄食、生长的影响. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2008, 27(2): 140-143.
- [23] 傅先源, 梅玉屏, 王洪全. 光照时间、CaO 浓度和底质对大瓶螺 (*Ampullaria gigas*) 生长繁殖的影响. 广州师院学报: 自然科学版, 1998, 20(5): 65-68.
- [24] Hunter R D. Effects of low pH and low calcium concentration on the pulmonate snail *Planorbella trivolvis*: a laboratory study. Canadian Journal of Zoology, 1990, 68(7): 1578-1583.
- [25] 刘保元. 酸性水对淡水螺类存活、生长与繁殖的影响. 应用生态学报, 1993, 4(3): 313-318.