

文章编号: 1002-2694(2012)02-0139-05

## 标记重捕技术对湖北钉螺滇川亚种 在湖沼水网地区种群动态的实验研究\*

黄重峰<sup>1,2</sup>, 邹节新<sup>1</sup>, 朱春潮<sup>1</sup>, 李枢强<sup>2</sup>, 周宪民<sup>1,3</sup>

**摘要:**目的 观察湖沼水网地区外来输入性湖北钉螺滇川亚种的种群动态。方法 于2009年10月—2011年4月,在湖北省江陵县血吸虫病疫区的有螺环境构建实验现场,将异地采集的湖北钉螺滇川亚种采取野外放养的方式,定期查螺,通过标记重捕技术方法对输入性湖北钉螺滇川亚种的种群进行估测。结果 湖北钉螺滇川亚种丹棱株从2009年10月引入湖沼水网地区经过6个月生存后,至2010年4月预测钉螺种群数有 $1\,501.88 \pm 134.38$ 只,进入钉螺的繁殖季节后,钉螺通过繁殖形成新老交替,于2010年7月查获的钉螺多数为当年子代钉螺,预测钉螺种群数达到 $1\,587.17 \pm 429.09$ 只。然而,随着观察时间的延续,2010年10月预测钉螺种群数仅 $210.34 \pm 151.69$ 只。彭山株钉螺经过一个繁殖季节,2010年7月预测钉螺种群数分别为 $1\,112.63 \pm 292.48$ 只,至2010年10月,预测彭山株钉螺种群数为 $1\,112.23 \pm 107.54$ 只。通过湖北钉螺滇川亚种理论标记的钉螺在种群中的总数 $M_x$ 和实际标记释放总数 $q_x$ 配对 $t$ 检验,显示差异无统计学意义,实验结果与理论值吻合较好。结论 外来湖北钉螺滇川亚种输入至湖沼水网地区后短期内其种群数量呈现由多到少的趋势。

**关键词:**湖北钉螺滇川亚种;标记重捕;种群

中图分类号:R383 文献标识码:A

### Population dynamics of *Oncomelania hupensis robertsoni* in lake marshland and water network regions by mark-recapture method

HUANG Chong-feng<sup>1,2</sup>, ZOU Jie-xin<sup>1</sup>, ZHU Chun-chao<sup>1</sup>, LI Shu-qiang<sup>2</sup>, ZHOU Xian-min<sup>1,3</sup>

(1. Department of Parasitology, Medical College, Nanchang University, Nanchang 330006, China;

2. Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3. Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization  
Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang 330006, China)

**ABSTRACT:** To observe the survival of imported *Oncomelania hupensis robertsoni* in lake marshland and water network regions, a pilot study was established in a snail habitat and schistosomiasis epidemic areas in Jiangling County, Hubei Province between October 2009 and April 2011. The *O. h. robertsoni* in field experiment were collected and identified, and then put into the wild after properly marking. The survival rate was checked in predetermined time intervals, and the number of imported *O. h. robertsoni* was estimated by mark-recapture method. The results showed that the estimated number of survival *O. h. robertsoni* Danling strains was  $1\,501.88 \pm 134.38$  after 6 months (Oct 2009—Apr 2010). After breeding season (July 2010), most *O. h. robertsoni* were from the original group, with an estimated number of  $1\,587.17 \pm 429.09$ . However, the number dropped to  $210.34 \pm 151.69$  in Oct 2010. The estimated number of Pengshan strains was  $1\,112.63 \pm 292.48$  after breeding seasons (July 2010), and dropped to  $112.23 \pm 107.54$  in Oct 2010. Results suggested that the precision of test ( $P > 0.05$ ) and theory marked results were consistent. It is indicated that species population of imported *O. h. robertsoni* decreases during a short period of

time after moving to lake marshland and water network regions.

**KEY WORDS:** *Oncomelania hupensis robertsoni*; mark-recapture method; population

\* 国家自然科学基金项目(No. 30860251, 81160207); 国家科技支撑计划重点项目(No. 2009BAI78B02)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(No. KSCXZ-YW-N-055)联合资助

通讯作者: 李枢强, Email: lisq@ioz.ac.cn;

周宪民, Email: zhouxm@jxmu@126.com

作者单位: 1. 南昌大学医学院寄生虫学教研室, 南昌 330006;

2. 中国科学院动物研究所动物进化与系统学重点实验室, 北京 100101;

3. 南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 南昌 330006

湖北钉螺是日本血吸虫的唯一中间宿主, 属狭温性两栖淡水螺类。研究表明, 分布于不同地区的钉螺易被当地日本血吸虫株感染, 难被异地的日本

血吸虫株感染<sup>[1-2]</sup>。通过输入异地亚种钉螺很可能导致当地钉螺种群结构的改变,从而间接降低当地人畜血吸虫的感染率,为我国湖沼地区血吸虫病综合防治提供一种新的思路和方法。基于作者前期研究结果显示<sup>[3]</sup>,湖北钉螺滇川亚种迁移至湖沼水网地区后能够生存并繁殖子代。为掌握外来输入性湖北钉螺滇川亚种在湖沼水网地区的种群变化情况,我们采用标记重捕技术的方法在湖北省江陵县开展模拟湖北钉螺滇川亚种输入后的种群情况进行估测,结果报告如下。

### 1 材料与方法

1.1 实验现场 湖北省江陵县地处四湖流域腹地,是典型垸内水网型血吸虫病流行区<sup>[4]</sup>,在该县白马寺镇黄淡村的田间选择 3 条灌溉沟渠,在各沟渠分别划定 3 个大小为 1 m×2 m 的区域,四周以不锈钢钢筋为骨架,外衬铁丝网,内衬 100 目尼龙绢纱,以此形成 1.5 m 高的围墙,四周底部用泥土夯实,以防止钉螺的逃逸和螺卵的扩散,沟渠流水可以自由通过筛网,形成相对独立的半封闭状态的养螺网框。实验前对所选沟渠进行调查并清理本地湖北钉螺指名亚种,实验期间确保专人看护,实验完成之后,对实验基地现场进行沟渠硬化、药物灭螺等措施全面清理。

1.2 钉螺 湖北钉螺滇川亚种:丹棱株采自四川省丹棱县丹棱镇龙滩村梅湾水库主沟渠(N30°01',E103°18'),彭山株采自四川省彭山县义和乡悦园村田间沟渠(N30°13',E103°44'),天全株采自四川省天全县新华乡永安村田间沟渠(N30°06',E102°52')。将野外采集的钉螺放入人工气候箱内,采取瓷盘草纸饲养法饲养 1 w 后进行野外现场投放。实验前通过 3 次逸蚰法剔除阳性钉螺,挑选各亚种地理株钉螺活力强、6~9 个螺旋的成螺 1 500 只,分别投入 3 条沟渠的养螺网框内(500 只/框)。

1.3 标记重捕技术 标记重捕技术是进行种群生态研究最为广泛的技术之一<sup>[5]</sup>,其内容是对捕获一定数量的动物进行标记,然后再将其放归自然环境中,待标记动物与未标记动物充分混匀后,再捕获一定数量的动物,根据标记动物所占的比例计算出这个范围内的动物数量。钉螺是一种活动和隐匿的动物种群,适用于标记重捕技术,考虑到钉螺在生命周期内可出现繁殖,简单的单次标记重捕法会因某些不确定因素的影响而产生较大的误差,本研究采用多次标记重捕法(Jolly-Seber 法<sup>[6-7]</sup>)进行滇川亚种钉螺异地生存繁殖的生态研究。

1.4 交叉复核随机抽检查螺<sup>[8]</sup> 将 4 名查螺人员分为 2 组,在划定的区域内距设螺框 18 框(2m<sup>2</sup>/0.11 m<sup>2</sup>)并编号,查螺人员随机抽查 12 个框内钉螺的遗漏情况。在查螺过程中每组一人先查,另一人复查,再由另一组随机抽查 12 个螺框进行细查,直到查不到螺为止。随机抽查重复 2 次,对查获的钉螺计数。

1.5 标记重捕技术(Jolly-Seber 法)的操作方法 2009 年 10 月将野外采集的湖北钉螺滇川亚种丹棱地理株投放至实验观察区现场,于 2010 年 1 月、4 月、7 月、10 月,采用上述交叉复核随机抽检查螺法对钉螺计数,对查获的钉螺用快速干燥油漆笔对钉螺壳顶进行标记,每次用不同颜色的笔标记后重新均匀的投放至实验现场。鉴于 10 月以后,因气候因素影响,钉螺陆续进入冬眠状态,于 2011 年 4 月进行第 5 次查螺,共查螺 5 次。于 2010 年 3 月底将野外采集的彭山株和天全株分别投放在实验现场划定的区域中,采取上述相同的查螺方式进行同步观察。

1.6 数据收集与统计方法 根据标记和释放的钉螺数量状况,可以推算原来种群的大小。其计算基本模型为<sup>[9-10]</sup>:

$$M_x = q_x Z_x / R_x + m_x \dots\dots\dots (1)$$

Z<sub>x</sub>表示标记钉螺在查螺日期 x 时未曾查获,而在以后不同查获日期中被查到的总数,R<sub>x</sub>为不同日期标记重捕钉螺的总数。

$$N_x = n_x + Z_x q_x n_x / R_x m_x \dots\dots\dots (2)$$

N<sub>x</sub>为第 x 日期的种群数量估计值,n<sub>x</sub>为第 x 日期查获的钉螺总数。m<sub>x</sub>为第 x 日期查获钉螺中有标记的钉螺总数。

$$S_{N_x} = \sqrt{N_x(N_x - n_x) \left[ \frac{M_x - m_x + q_x}{M_x} \left( \frac{1}{R_x} - \frac{1}{q_x} \right) + \frac{1 - P}{m_x} \right]} \dots\dots\dots (3)$$

S<sub>N<sub>x</sub></sub>为 N<sub>x</sub>估计值的标准误差。

$$P = m_x / n_x \dots\dots\dots (4)$$

P 为重捕比例。

标记钉螺自释放日期至重捕日期,因自然衰亡或因环境因素等情况导致死亡,其存活率的估算公式为:

$$\varphi_x = (M_x + 1) / (M_x - m_x + q_x) \dots\dots\dots (5)$$

φ<sub>x</sub>为存活率符号。

当标记钉螺自释放日至重捕日阶段,钉螺种群由于繁殖而新增加的个体,其估算公式为:

$$B_x = N_{x+1} - \varphi_x (N_x - n_x + q_x) \dots\dots\dots (6)$$

B<sub>x</sub>为某一日期估计新增加的钉螺数。

数据分析使用 DPS9.0 和 SPSS16.0 统计分析

软件。

## 2 结 果

将每次查获的钉螺数据,表 1,分别用上述(1)~(6)式进行计算,从而得出钉螺的重捕比例、种群数量、存活率和新增数量等结果,表 2。

从表 2,我们可以估测出湖北钉螺滇川亚种引入湖沼地区经过 6 个月生存后仍有相当部分钉螺存

活,当进入钉螺的繁殖季节后,钉螺通过繁殖形成新老交替,所获钉螺多数为当年子代钉螺。然而,随着观察时间的延续,钉螺种群数量在减少,但仍可捕获少量钉螺,并且综合湖北钉螺滇川亚种的寿命特点<sup>[11]</sup>,根据螺壳比较新、完整以及螺旋无磨损,从而认为 2011 年 4 月所获钉螺应为子代钉螺。

表 1 多次标记重捕湖北钉螺滇川亚种种群数据\*\*

Tab. 1 Data of *O. h robertsoni* collected by repeated mark-recapture method

钉螺地理株 The strains of <i>O. h. robertsoni</i>	查获日期 Date of capture (x)/年月	查获总数 No. of capture (nx)/只	投放总数 No. of putting into th wild (qx)/只	不同次数标记的钉螺数量重捕数量/只 Different times for mark-recapture <i>O. h. robertsoni</i>				
				B1*	B2*	B3*	B4*	$m_x$
丹棱株 <i>O. h. robertsoni</i> Danling strains	2009-10	—	1500					—
	2010-01	809	809					
	2010-04	623	623	286				286
	2010-07	591	591	68	97			165
	2010-10	59	59	0	8	15		23
	2011-04	63	—	0	0	2	2	4
	$R_x$	—	—	354	105	17	2	478
	$Z_x$	—	—	68	8	2	—	—
彭山株 <i>O. h. robertsoni</i> Pengshan strains	2010-03	—	1500	—	B1*	B2*	B3*	$m_x$
	2010-04	754	736	—				
	2010-07	562	562	—	239			239
	2010-10	36	36	—	5	12		17
	2011-04	23	—	—	0	1	1	1
	$R_x$	—	—	—	244	12	1	257
	$Z_x$	—	—	—	5	1	—	—
天全株 <i>O. h. robertsoni</i> Tianquan strains	2010-03	—	1500	—	B1*	B2*	B3*	$m_x$
	2010-04	782	782	—				
	2010-07	366	366	—	125			125
	2010-10	12	12	—	2	2		4
	2011-04	10	—	—	0	0	0	0
	$R_x$	—	—	—	127	2	0	129
	$Z_x$	—	—	—	2	0	—	—

\*\* 本次实验所采用的生态学公式进行计算估测时必须是每次重捕都能捕获到标记钉螺,由于 2011 年 4 月天全地理株未查获标记钉螺,故相关数据无法套入公式进行计算分析。

\*\* The ecology formula used to estimate must be able to capture marked *O. h. robertsoni* in the experimentation, due to *O. h. robertsoni* Tianquan strains were not captured in April 2011, they could not be calculated and analyzed.

\* 表中 B1、B2、B3、B4 分别代表查获的第 1 次至第 4 次标记的钉螺

\* The B1, B2, B3, and B4 represent marked *O. h. robertsoni* seized from 1st to 4th time

将湖北钉螺滇川亚种理论标记的钉螺在种群中的总数  $M_x$  和实际标记释放总数  $q_x$  进行配对  $t$  检验,相关系数为 0.934、0.998,相关性较高, $t$  值为 0.298、0.679,自由度为 2、1, $P$  均  $> 0.05$ ,说明实验结果与理论值吻合较好,表 3,无统计学意义。

## 3 讨 论

标记重捕技术最早是用于估计蝶类和鸟类种群的一种生态研究方法<sup>[6]</sup>。在血吸虫中间宿主的生态研究中,研究学者陆续引入标记重捕技术对曼氏血吸虫、埃及血吸虫和日本血吸虫的中间宿主—双脐螺、小泡螺和钉螺的生态进行研究<sup>[12-14]</sup>。由于钉螺

表2 标记重捕湖北钉螺滇川亚种数据分析结果

Tab. 2 Analysis result of *Oncomelania hupensis robertsoni* collected by mark-recapture method

钉螺地理株 The strains of <i>O. h. robertsoni</i>	查获日期 Date of capture (x)/年月	重捕比例 Rate of recapture (P)	标记钉螺总数 No. of marking <i>O. h. robertsoni</i> ( $M_x$ )/只	种群总数	存活率 Rate of survival ( $\varphi_x$ )	新增数量 No. of new <i>O. h. robertsoni</i> ( $B_x$ )/只
				No. of <i>O. h. robertsoni</i> population ( $N_x \pm S_{N_x}$ )/只		
丹棱株	2010-04	0.4591	689.47	1 501.88±134.38	0.6727	—
<i>O. h. robertsoni</i> Danling strains	2010-07	0.2792	443.12	1 587.17±429.09	0.5109	576.86±338.69
	2010-10	0.3898	82.00	210.34±151.69	0.7033	-(600.55±67.53)
	2011-04	0.0635	—	—	—	—
	平均值	0.2979	404.86	1 099.80±238.39	0.6290	—
彭山株	2010-07	0.4253	473.17	1 112.63±292.48	0.5956	—
<i>O. h. robertsoni</i> Pengshan strains	2010-10	0.4722	53.00	112.23±107.54	0.7500	-(550.45±66.66)
	2011-04	0.0435	—	—	—	—
	平均值	0.3137	263.09	612.43±200.01	0.6728	—

表3 理论标记和实际标记释放钉螺配对 t 检验结果

Tab. 3 Paired samples test of  $M_x q_x$  on theory and actual mark-recaptured *O. h. robertsoni*

钉螺地理株 The strains of <i>O. h. robertsoni</i>	类型 Type	相关系数 correlation coefficient	均数 Mean	标准差 Standard deviation	95%可信区间		t 值 t-test	自由度 $\nu$
					95% Confidence interval			
					下限 Lower limit	上限 Upper limit		
丹棱株	$M_x - q_x$	0.934	19.47	176.0986	-300.9487	262.0087	0.298	2
<i>O. h. robertsoni</i> Danling strains								
彭山株	$M_x - q_x$	0.998	35.91	74.8331	-708.2638	636.4338	0.679	1
<i>O. h. robertsoni</i> Pengshan strains								

是一种活动而且隐匿的动物种群,通过传统的研究方法难以计算个体的数量,上世纪80年代我国学者辜学广等将标记重捕技术应用于钉螺的生态研究,并证明通过标记重捕技术得到的钉螺数量与实际螺口数十分接近<sup>[15]</sup>。本世纪初吴子松等<sup>[16-17]</sup>利用标记重捕技术研究钉螺生态时发现,虽然标记重捕技术可获得钉螺数量的数据,但认为钉螺出生率和死亡率可引起较大偏差,建议比较不同间隔时间的钉螺生态数据的准确性,并保证查螺的随机性。

每年的4~6月是钉螺交配产卵最频繁的时期,正值1~2代交替时间。本次实验就湖北钉螺滇川亚种丹棱株而言,钉螺自2009年10月经过1个冬季的放养后至次年4月预测其种群总数有1 501.88±134.38只,随着钉螺进入次年的交配繁殖季节,出现新老交替,以往现场观察发现,每对钉螺在自然条件下经1繁殖季节平均新增种群数69.24只<sup>[18]</sup>。因此,至次年7月钉螺种群数量出现增殖达1 587.17±429.09只,因存在出生与死亡的抵消,估计其新增为576.86±338.69只,这与其生物学特

性基本符合。然而次年10月以后估测其种群数量出现减少以及查获的数量也大幅度下降,可能与部分钉螺未能适应7~8月酷暑气候导致死亡抑或由于暴雨及夏汛使得沟渠水位上升导致钉螺逃逸。然而从2011年4月仍能捕获到少量钉螺来看,说明湖北钉螺滇川亚种迁移至湖沼地区经过一定时间放养后仍有部分适应较强的钉螺能够存活下来。本次实验标记重捕的间隔时间较长,特别是在第2年的冬季间隔时间近6个月,这与钉螺是隐匿的动物种群及其夏蛰冬眠的特性有关,可能导致估测种群数量与实际有偏差,钉螺查获的难易程度势必影响捕螺的随机性,从而直接影响实验结果。

孙乐平等<sup>[19]</sup>对长江洲滩进行纵向观察发现,钉螺输入无螺江滩,从局部到整个江滩出现钉螺平均时间为4.33年,钉螺迁入早期以面积增长为主,此后才变为以螺口增长为主。水网型血吸虫病流行区的低密度钉螺控制现场实验研究发现,低密度钉螺的消长与环境因子呈密切相关,只要环境适宜,即使留下1对钉螺,也能大量繁殖增长,实验沟放置1、

5、10 对钉螺生存 3 年后,钉螺密度各增长了 171.9 倍、69.5 倍和 28.4 倍,螺口数分别增长 354、135 和 75 倍<sup>[20]</sup>。上述研究均以湖北钉螺指名亚种作为实验钉螺,其所得结果以及湖沼地区血吸虫流行病学调查均显示,湖北钉螺指名亚种是湖沼地区的优势螺群。对于异地钉螺亚种生境之间的迁移生存尚未见报道。本次实验研究湖北钉螺滇川亚种在湖沼地区经过一年半的放养后,仍能查获到部分钉螺,说明该亚种钉螺迁移新的环境中,可能存在优胜劣汰的选择,适应性较强的钉螺能够存活下来,而这部分适应能力较强的钉螺,很有可能通过下一繁殖季节而达到钉螺数量的增值。由于本实验受观察时间的影响,仅获得初步研究结果,只能说明短期内湖北钉螺滇川亚种迁移至湖沼地区后的生存繁殖情况,至于其后续的生存与繁殖能力以及种群数量的增值还有待于下一步继续研究。

#### 参考文献:

- [1]何毅勋,郭源华,倪传华,等. 中国大陆日本血吸虫品系的研究 I. 幼虫-钉螺的相容性[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 1990, 8(2):92-95.
- [2]洪青标,周晓农,孙乐平,等. 不同地区不同环境类型钉螺对日本血吸虫易感性的测定[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 1995, 7(2): 83-86.
- [3]黄重峰,邹节新,李枢强,等. 湖北钉螺滇川亚种在湖北省水网地区生存繁殖研究及期望寿命研究[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2011, 23(2):173-177.
- [4]彭孝武,王加松,荣先兵,等. 湖北江汉平原四湖地区血吸虫病流行特点与流行因素[J]. 公共卫生与预防医学, 2007, 18(4): 66-70.
- [5]Norman TJ. Bailey on estimating the size of mobile populations from capture-recapture data [J]. Biometrika, 1951, 38(4): 293-306.
- [6]罗河清,周昌清,刘复生. 生态学研究方法[M]. 北京:科学出版社, 1984:18-21.
- [7]孙振钧,周东兴. 生态学研究方法[M]. 北京:科学出版社, 2010: 30-40.
- [8]张志杰,彭文祥,周艺彪,等. 湖沼地区湖北钉螺不同调查方法的比较研究[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2007, 19(1):38-42.
- [9]GW 考克斯. 普通生态学试验手册[M]. 北京:科学出版社, 1979: 15-18.
- [10]伊藤加昭,井村. 动物生态学研究方法[M]. 2 版. 北京:科学出版社, 1986:139-156.
- [11]盛湘玲,任翠仙. 云南省钉螺平均寿命的实验研究[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 1994, 6(2):79-81.
- [12]Woolhouse MEJ. A mark-recapture method for ecological studies of schistosomiasis vector snail populations[J]. Ann Trop Med Parasitol, 1988, 82(5):485-497.
- [13]Chlyeh G, Henry PY, Sourrouille P, et al. Population genetics and dynamics at short spatial scale in *Bulinus truncatus*, the intermediate host of *Schistosoma haematobium* in Morocco[J]. Parasitology, 2002, 125(4):349-357.
- [14]Chlyeh G, Henry PY, Jarne P. Spatial and temporal variation of life-history traits documented using capture-mark-recapture methods in the vector snail *Bulinus truncatus*[J]. Parasitology, 2003, 127(3):243-251.
- [15]辜学广,赵文贤,许发森,等. 90S 标记钉螺现场应用的可能性研究[J]. 核仪器与方法, 1981, 2(3):135.
- [16]吴子松,尹洪智,赵联合国,等. 标记重捕技术用于钉螺生态的现场研究[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2005, 17(2):89-92.
- [17]吴子松,杨羽,徐亮,等. 应用标记重捕技术对长丘山区钉螺生态的研究[J]. 寄生虫病与感染性疾病, 2006, 4(1):5-7.
- [18]何亮才,王加松,荣先兵,等. 湖沼地区实施传染源控制为主的血吸虫病综合防治策略效果[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2010, 22(3):278-280.
- [19]孙乐平,周晓农,洪青标,等. 长江下游江滩地区血吸虫病再流行规律的研究[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2001, 13(4): 213-215.
- [20]曹奇,顾伯良,杭美娣,等. 水网地区低密度钉螺自然增长情况[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 1992, 10(4):255-257.

收稿日期:2011-09-16;修回日期:2011-10-19