

湖区钉螺孳生地的微生态环境对钉螺分布的影响

李源培 王海银 周艺彪 何忠 万伟 姜杰 姜庆五

【摘要】 目的 探索微生态环境因素与钉螺密度之间的关系。方法 在 2007 年 10 月至 2008 年 10 月选择湖南省岳阳市君山区洞庭湖区的草滩为现场,系统抽样查螺并测量部分框的植被盖度、土壤温度,同时采集约 30 g 土壤样本。实验室压螺鉴定死活并分框记数,测量土壤含水量、土壤 pH 值。首先描述钉螺及各影响因素的分布情况,再用广义相加模型拟合分析多种环境因素与钉螺密度之间的关系。结果 微生态环境因素共查 104 框, pH 值为 4.70 ~ 7.92, 植被盖度为 1% ~ 96%, 土壤温度为 14.5 ~ 32.7 °C, 土壤含水量为 0.07 ~ 2.00。环境相关因素的广义相加模型拟合发现湖区植被盖度没有统计学意义,其他因素均有统计学意义($P < 0.001$)。各微环境因素与钉螺密度间表现为非线性关系。结论 各微环境因素与钉螺密度间为平滑函数关系,应考虑用广义相加模型对钉螺分布与其影响因素间的关系进行研究,从而采取适宜策略来改变钉螺生态,进而遏制钉螺的繁殖和扩散。

【关键词】 湖区; 钉螺孳生地; 微生态环境; 钉螺分布; 广义相加模型

Influence regarding micro-ecological environment of Snail habitats in Lake area on the distribution of Snails Li Yuan-pei¹, WANG Hai-yin¹, ZHOU Yi-biao¹, HE Zhong², WAN Wei², JIANG Jie², JIANG Qing-wu¹. 1 Department of Epidemiology, School of Public Health, Fudan University, Shanghai 200032, China, 2 Station for Schistosomiasis Prevention of Junshan County
Corresponding author: JIANG Qing-wu, Email: jiangqw@fudan.edu.cn

This work was supported by a grant from the National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (No. 2006AA02Z402); The National Natural Science Foundation Project (No. 30590374); The Important National Science and Technology Specific Project (No. 2008ZX10004-011)

【Abstract】 **Objective** To explore the relationships between micro-ecological environmental factors and the density of Snails so as to provide information for the elimination of Snails and control of Schistosomiasis disease, under ecological methods. **Methods** A bottomland close to Junshan Park in Yueyang city, Hunan province was selected as the field for survey during 10, 2007-10, 2008, and a systematic sampling method was applied to determine the specific sites of Snail investigation. All the Snails in each frames were collected and the soil surface temperature and vegetation coverage in several frames were measured. 30 g soil sample in each selected frames were also collected simultaneously. The number of live Snails in each frame was counted by dissection, and soil measured pH value and soil moisture were tested in the laboratory. The distribution of Snails and micro-ecological environmental factors, fitted general additive model for the relationship of these factors and the Snail density were described. **Results** 104 frames were surveyed, with pH value as between 4.70-7.92, vegetation coverage as in 1% to 96%, soil surface temperature as in 14.5-32.7 °C, the soil moisture as in 0.07-2.00. Under General additive model, data showed that there was no significant difference for vegetation coverage. However, other factors were all significantly different ($P < 0.001$). It was found that a nonlinear relationship was existing between these factors and the Snail density. **Conclusion** Smoothing function relationship was noticed between the Snail density and micro-ecological environmental factors. It's suggested to fit general additive model to study the relationship between the distribution of Snails and its influencing factors, so as to adopt appropriate measures to change the related ecology to control the diffusion and reproduction of Snails.

【Key words】 Lake area; Snail habitats; Micro-ecological environment; Distribution of Snails; General additive model

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.02.011

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)(2006AA02Z402); 国家自然科学基金重大项目(30590374); 国家科技重大专项项目(2008ZX10004-011)

作者单位: 200032 上海, 复旦大学公共卫生学院流行病学教研室(李源培、王海银、周艺彪、姜庆五); 湖南省岳阳市君山区血防站(何忠、万伟、姜杰)
通信作者: 姜庆五, Email: jiangqw@fudan.edu.cn

洞庭湖区是日本血吸虫病流行的主要地区之一。钉螺是日本血吸虫的惟一中间宿主,属于水陆两栖淡水螺,其孳生繁衍与血吸虫病的流行密切相关。我国钉螺分布面积的 95.77% 在湖沼地区,而湖南省就占了其中的 49.08%^[1],其绝大部分又集中在洞庭湖区。目前,大量研究表明大气平均温度、平均降雨量、水位、高程等外在宏观因素与钉螺的分布密切相关^[2-4],也有研究表明钉螺生存的微生态环境直接影响着它的存活和分布^[5-8]。另外,有研究指出应该关注紧贴螺身周围的温度^[9]。因此,本次研究选择湖南省洞庭湖区的有钉螺洲滩为现场,探索微生态环境因素与钉螺密度间的关系,为开展生态灭螺及控制血吸虫病提供依据。

材料与方法

1. 现场选择及微生态环境因素测量:

(1)现场选择及抽样:2007 年 10 月至 2008 年 10 月选择湖南省岳阳市君山区靠洞庭湖段前湖的一块约 4.8 公顷(hm²)未经灭钉螺的原生生态草滩为现场,从湖边到岸边进行系统抽样,框线距为 20 m × 20 m,固定各点位置。共设点 120 处,每处查钉螺 1 框,每框交叉查钉螺 2 次^[10],捡尽框内所有钉螺。每月底查钉螺 1 次(碰到雨天时自然延后,等天晴再查),将样本带回实验室。经压螺鉴定死活后,记数每框的钉螺总数和活钉螺密度。

(2)微环境因素的选择与测量:选择直接影响钉螺生存的微生态环境^[5-8],包括植被类型、植被盖度、土壤类型和土壤含水量等;研究现场为有钉螺草滩,其大环境基本一致,植被类型均为苔草,土壤类型也基本一致。再结合“紧贴螺身周围的温度”^[9]。将植被盖度、土壤含水量、土壤温度和土壤 pH 值作为待测定的微环境因素。

每个月查钉螺的同时估测钉螺框内的植被盖度(即框内植被面积占框面积的百分比),使用 Thermo Recorder TR-71U 土温仪测定表层土壤温度,并采集部分钉螺框内的表层土样(约 30 g)。将采集的土壤样本带回实验室测量湿重,随后放入 DHG-9240A 型电热恒温鼓风干燥箱内 80 °C 持续 34 h 烘干后测量干重。烘干的土壤样本经研磨后称量 10 g 采用土壤 pH 计测量 pH 值。

2. 统计学分析:在 Excel 数据库中录入钉螺密度及微生态环境因素信息,其中土壤样本含水量采用 [(湿重-干重)/干重]方法计算。首先对钉螺密度和微生态环境因素采用最大值、最小值、中位数等指

标进行描述,再采用广义相加模型拟合分析多种环境因素与钉螺密度之间的关系。以上统计过程均在 STATA 9.0 及 SAS 9.12 软件中实现。

结 果

1. 钉螺密度特征描述:微生态环境因素查钉螺框数共 104 框,框内钉螺数为 0 ~ 49 个,变异较大($S=6.77$),活钉螺密度平均在 5 个左右。每月钉螺的自然死亡率在 29.93% ~ 88.80% 之间,其中 2008 年 4 月最低,2008 年 2 月死亡率最高。由于在湖区 5 旋及以上钉螺绝大多数出现脱螺旋现象,本调查以 ≤4 旋为幼螺,5 旋及以上为成螺进行成幼螺区分。每月的成幼螺比例(成螺总数/幼螺总数)在 4.02 ~ 52.20 之间,其中 2008 年 10 月最低,2007 年 12 月最高。

2. 微生态环境因素特征描述:土壤 pH 值均值为弱酸性,分布在弱酸与弱碱之间(4.70 ~ 7.92);植被盖度从 0% ~ 96%,多数集中在 45% 左右;土壤温度集中在 20 °C 左右,最低值不低于 10 °C;土壤含水量集中在 70% 左右,最大可在 200%,变异较大(表 1)。

表 1 2007—2008 年洞庭湖区钉螺孳生地的微生态环境

| 指标 | $\bar{x} \pm s$ | M |
|----------|-----------------|----------------------|
| 土壤 pH 值 | 6.77 ± 0.89 | 6.88(4.70 ~ 7.92) |
| 植被盖度(%) | 46.91 ± 5.49 | 45.00(1.00 ~ 96.00) |
| 土壤温度(°C) | 19.49 ± 2.09 | 17.30(14.50 ~ 32.70) |
| 土壤含水量(%) | 0.85 ± 0.67 | 0.72(0.07 ~ 2.01) |

3. 环境相关因素的广义相加模型拟合:采用广义相加模型拟合分析钉螺密度与各微生态环境因素间的关系。表 2 显示环境因素中土壤 pH 值、土壤温度及土壤含水量均有统计学意义。图 1 显示土壤 pH 值、土壤温度、土壤含水量对于钉螺密度是三次及更复杂分段样曲线关系。土壤 pH 值及土壤温度对钉螺密度的影响相对较大。各项的拟合效果好,均位于 95% 的可信区间内。

表 2 广义相加模型拟合结果

| 光滑成分 | v | 方差平方和 | χ^2 值 | P 值 |
|--------|-----|-------|------------|---------|
| S(pH) | 3 | 31.13 | 31.13 | <0.0001 |
| S(温度) | 3 | 34.47 | 34.47 | <0.0001 |
| S(盖度) | 3 | 5.30 | 5.30 | 0.1508 |
| S(含水量) | 3 | 24.43 | 24.43 | <0.0001 |

注:S 非参数光滑拟合

讨 论

湖南省岳阳市君山区是历史上血吸虫病的重流行区,属湖沼型流行区。本次的研究结果显示植被有 0% ~ 100% 不同程度的覆盖,均有不同数量的钉螺分布。广义相加模型拟合的曲线效应图显示,植被盖度为 50% ~ 80% 时钉螺密度较高。而吴刚等^[6]

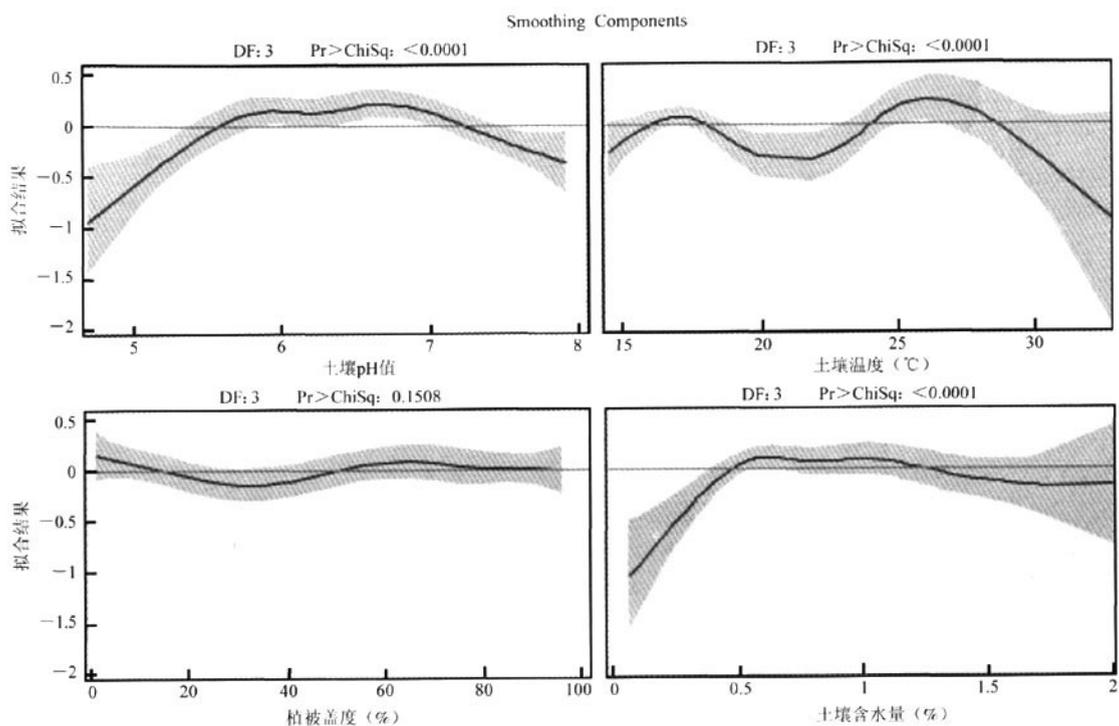


图1 广义相加模型中自变量的非线性效应图

研究长江中下游滩地植被与钉螺孳生间的关系也表明,苔草的盖度为66%~80%时最适宜钉螺的生长,密度最高。拟合的曲线 $P>0.05$,提示植被盖度无统计学意义,也就是说在整个现场的有钉螺洲滩上,大环境因素基本一致,植被盖度可能不影响钉螺的分布。现场调查也证实在植被广泛存在的洞庭湖区和无植被的湖边均有不同数量的钉螺存在。因此,可以认为钉螺存在的大环境必须要有植被,而植被的多少与钉螺密度的不均衡性间表现为非线性关系。钉螺分布除了植被覆盖条件外,还依赖于湿度、温度等其他环境因素。

水是钉螺生长繁殖的必要条件之一,钉螺总是沿着水系分布。苏德隆^[9]研究发现土壤至少含12%的水分钉螺才能开始活动。观察现场最低含水量为7%,拟合曲线效应图发现,可采用一元三次函数解释土壤含水量和钉螺密度之间的关系。当土壤含水量 $<60\%$ 时,随着含水量的增加,钉螺密度逐渐升高;当含水量在 $60\% \sim 80\%$ 间时,钉螺密度较稳定且保持较高水平;含水量再增加钉螺密度则逐渐降低。因此,可考虑增加有螺地区的水淹时间来抑制钉螺的繁殖。另外,土壤含水量对钉螺密度的影响同植被盖度有较高的一致性,说明存在一定的适合钉螺生存的微生态环境区间,有待进一步的曲线拟合确定。

现场观察的土壤温度为 $14.5 \sim 32.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,广义相加模型拟合的曲线效应图显示土壤温度对于钉螺密度是二次曲线的关系。当温度在 $24 \sim 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ 间时钉螺密度较高,温度高于 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后钉螺密度逐渐减少。蒋俊明等^[7]研究山丘型地区钉螺孳生数量与植被和土壤环境因子的关系表明,钉螺的分布和数量受土壤温度的影响较大,其适宜生存的土壤温度范围是 $15 \sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。洪青标等^[11]研究高温与钉螺的关系时发现, $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 钉螺活动逐渐受到抑制,呈闭扉状态的钉螺逐渐增多。这些都与本次曲线拟合的结果相一致。由于自然条件原因,本次调查没有采集极低温数据进行拟合探索较宽温度范围内钉螺密度的分布情况,有待于进一步研究。

测定土壤pH值为 $4.70 \sim 7.92$,拟合曲线效应图显示土壤pH值对钉螺密度表现为二次曲线关系。pH值在 $5.50 \sim 7.00$ 之间时钉螺密度较高,pH值较低或较高水平时钉螺密度较低,说明存在一定的适合钉螺生存的pH值区间。另外,pH值的大小会随着其他微生态环境因素,如土壤含水量等的变化而变化,也就是可能存在交互作用。因此,可能通过延长土壤的水淹时间来改变土壤含水量,从而改变土壤pH值来影响钉螺的孳生。

对各微生态环境因素,植被盖度、土壤pH值、土

壤温度及土壤含水量采用广义相加模型拟合分析发现,各因素对钉螺密度均表现为复杂的平滑函数关系,说明上述各微生态环境因素与钉螺密度之间为非线性关系,而不是简单的线性关系,所以通常的线性建模方法将会对结果产生偏差。此时,参考本研究的分析思路则有可能发现新的有意义的结果。

广义相加模型可拟合非参数回归,适用于处理应变量和众多自变量间过度复杂的非线性关系^[12],在解决应变量和自变量间的高度非线性和非单调关系方面的具有突出能力。它不需要预先假定应变量和自变量之间的关系,具有高度的灵活性,能有效揭示数据中所隐含的生态关系,提高对生态系统的理解^[13]。钉螺的分布与微生态环境因素密切相关,并且它们之间的关系可能不是简单的线性关系,而广义相加模型则可避免模型中变量关系的错误指定,如将非线性错误指定为线性。在研究微生态环境因素的线性参数模型时要确定钉螺密度的分布类型,且要对非线性数据进行转换。由于螺情数据存在较多0和1等较小值,且各因素与钉螺密度间关系函数不一,所以对钉螺密度和各影响因素的转换就存在问题^[14],从而使模拟结果产生偏差。广义相加模型则克服了对分布的限制,且可以拟合非参数模型来揭示数据间的复杂关系。另外,它能提供各微环境因素与钉螺密度之间复杂关系的全面信息,在常规的建模方式下这是无法完成的。所以,在研究钉螺分布与其影响因素间的关系时应考虑运用广义相加模型。

综上所述,可以认为钉螺密度与上述各微生态环境因素间为非线性关系,主要表现为平滑曲线函数关系。各微生态环境因素均为钉螺存在的必要非充分条件,它们彼此间存在相互作用,从而导致钉螺的分布格局。由于以上各微环境因素基本上均存在一个适宜钉螺生存的区间,因此可以通过改变环境因素进而控制钉螺的繁殖。

另外,研究者应考虑选择广义相加模型对钉螺分布与其影响因素间的关系进行研究,而不是简单采用负二项分布或其他线性回归进行分析。在此基础上得到有效的结论,指导相应的综合生态改造措施的开展,改变钉螺的适宜生存环境,进而长远可持续的控制钉螺的扩散和繁殖。

参 考 文 献

[1] Hao Y, Wu XH, Zheng H, et al. Schistosomiasis situation in People's Republic of China in 2007. *Chin J Schisto Control*, 2008, 20(6): 401-404. (in Chinese)
郝阳,吴晓华,郑浩,等. 2007年全国血吸虫病疫情通报. *中国血吸虫病防治杂志*, 2008, 20(6): 401-404.

[2] Liu ZC, He HB, Wu WP, et al. Impact factors on Snail

distribution and survival in the grass beaches of East Dongting Lake. *J Trop Dis and Parasitol*, 2008, 6(2): 69-71. (in Chinese)
刘宗传,贺宏斌,伍卫平,等. 洞庭湖洲滩钉螺消长规律及影响因素. *热带病与寄生虫学*, 2008, 6(2): 69-71.

[3] Lu DB, Jiang QW, Wang TP. Study on the ecology of Snail in the Chengcun Reservoir Irrigation Area in Jingxian—Impact of water level on survival of Snail. *J Trop Dis and Parasitol*, 2004, 2(3): 135-138. (in Chinese)
吕大兵,姜庆五,汪天平. 安徽泾县陈村水库灌区钉螺生态学初探——水位变化对钉螺生存的影响. *热带病与寄生虫学*, 2004, 2(3): 135-138.

[4] Sun ZD, Zhang ZY, Xu DZ, et al. Climate factors on distribution of Snail in Jiangning county in Jiangsu province. *J Fourth Mil Med Univ*, 2002, 23(11): 1026-1028. (in Chinese)
孙志东,张治英,徐德忠,等. 江苏省江宁县气候因素在钉螺分布中的作用. *第四军医大学学报*, 2002, 23(11): 1026-1028.

[5] Zhang XD, Yang XC, Peng ZH. Relationships between the surviving *Oncomelania* and beaches environmental factors. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(2): 265-269. (in Chinese)
张旭东,杨晓春,彭镇华. 钉螺分布与滩地环境因子的关系. *生态学报*, 1999, 19(2): 265-269.

[6] Wu G, Su RP, Zhang XD. Relationships between *Oncomelania* breeding and beach vegetation in the middle and lower reaches of the Yangtze River. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(1): 118-121. (in Chinese)
吴刚,苏瑞平,张旭东. 长江下游滩地植被与钉螺孳生关系的研究. *生态学报*, 1999, 19(1): 118-121.

[7] Jiang JM, He YP, Fei SM, et al. Relationships between the quantity of *Oncomelania* and environmental factors of vegetation and soil in hilly and mountainous areas. *Wetland Science Management*, 2006, 2(4): 33-39. (in Chinese)
蒋俊明,何亚平,费世民,等. 山丘型地区钉螺孳生数量与植被和土壤环境因子的关系. *湿地科学与管理*, 2006, 2(4): 33-39.

[8] Zhang XD, Qi LH, Huang LL, et al. Influences of soil environmental factors on *Oncomelania snail* distribution in the hilly and mountainous areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2460-2467. (in Chinese)
张旭东,漆良华,黄玲玲,等. 山丘区土壤环境因子对钉螺(*Oncomelania snail*)分布的影响. *生态学报*, 2007, 27(6): 2460-2467.

[9] Department of Epidemiology, Shanghai Medical University. Selected papers from Professor Su Delong. Shanghai: Tianjin Sci and Technol Press, 1995: 169-175, 158-159. (in Chinese)
上海医科大学流行病学教研室. 苏德隆教授论文选集. 上海:天津科学技术出版社, 1995: 169-175, 158-159.

[10] Zhang ZJ, Peng WX, Zhou YB. Comparative study on survey methods of *Oncomelania hupensis* in marshland and lake regions. *Chin J Schisto Control*, 2007, 19(1): 38-42. (in Chinese)
张志杰,彭文祥,周艺彪. 湖沼地区湖北钉螺不同调查方法的比较研究. *中国血吸虫病防治杂志*, 2007, 19(1): 38-42.

[11] Hong QB, Zhou XN, Sun LP, et al. Impact of global warming on the transmission of schistosomiasis in China II the activation and lethal hyperthermy temperature of *Oncomelania hupensis* in laboratory. *Chin J Schisto Control*, 2003, 15(1): 24-26. (in Chinese)
洪青标,周晓农,孙乐平,等. 全球气候变暖对中国血吸虫病传播影响的研究 II. 钉螺越冬致死高温与夏蛰的研究. *中国血吸虫病防治杂志*, 2003, 15(1): 24-26.

[12] Simon N, Wooda, Nicole H, et al. GAMs with integrated model selection using penalized regression splines and applications to environmental modeling. *Ecological Modelling*, 2002, (157): 157-177.

[13] Wen ZM, He XH, Jiao F, et al. The predictive distribution of *Stipa bungeana* in Yanhe River catchment: GAM model and its application. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 192-201. (in Chinese)
温仲明,赫晓慧,焦峰,等. 延河流域本氏针茅(*Stipa bungeana*)分布预测——广义相加模型及其应用. *生态学报*, 2008, 28(1): 192-201.

[14] Tao Z, Jin SG. Box-Cox transformation and its implementation in SAS. *Chin J Health Stat*, 2007, 24(5): 541-542. (in Chinese)
陶庄,金水高. Box-Cox变换及其在SAS软件中的实现. *中国卫生统计*, 2007, 24(5): 541-542.

(收稿日期:2009-08-29)

(本文编辑:尹廉)