

山丘区土壤环境因子对钉螺 (*Oncomelania* Snail) 分布的影响

张旭东¹, 漆良华^{1,*}, 黄玲玲¹, 费世民², 蒋俊明², 王昭艳¹

(1. 中国林业科学研究院林业研究所 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091 2. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081)

摘要 土壤是自然界钉螺孳生繁殖的重要场所, 钉螺的分布与土壤环境因子密切相关。对山丘区 9 种不同土地利用类型土壤环境对钉螺分布影响的研究结果表明, 耕地、荒草地、河滩地及灌溉沟渠存在钉螺分布, 活螺框出现率的高低顺序为耕地 > 河滩地 > 灌溉沟渠 > 荒草地, 活螺密度的大小顺序为河滩地 > 灌溉沟渠 > 耕地 > 荒草地; 有螺土壤环境与无螺土壤环境的方差分析结果不显著, 土壤全 K 含量与 0.02 ~ 0.002mm 的土壤颗粒含量存在显著差异, 土壤环境因子对钉螺分布影响的灰色关联分析表明 0.02 ~ 0.002mm 的土壤颗粒、土壤全 P 含量和土壤水分是影响钉螺的最重要的 3 个因子, 且土壤环境因子对钉螺活螺框出现率及活螺密度影响的大小规律基本一致, 不同之处在于土壤全 K 含量对活螺密度的影响更显著。研究结果可为我国山丘区改造钉螺孳生环境、控制血吸虫病流行及发展区域经济提供依据。

关键词 山丘区, 土地利用类型, 土壤环境因子, 钉螺, 灰色关联分析

文章编号: 1000-0933 (2007) 06-2460-08 中图分类号: Q142, Q958 文献标识码: A

Influences of soil environmental factors on *Oncomelania* Snail distribution in the hilly and mountainous areas

ZHANG Xu-Dong¹, QI Liang-Hua^{1,*}, HUANG Ling-Ling¹, FEI Shi-Min², JIANG Jun-Ming², WANG Zhao-Yan¹

¹ Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

² Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081 Sichuan, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2460 ~ 2467.

Abstract: Soil environment is the important space for *Oncomelania* Snail propagating and its characteristics are closely related to Snail's distribution in the hilly and mountainous district. Based on arranging rationally transects, plots and sample units in nine different land use types, soil environmental factors, vegetation characteristics and snail distribution patterns have been investigated systematically, and especially, the influences on the snail distribution have been studied which are derived from soil environmental factors. Firstly, among all land use types, snail has been only discovered in cultivated lands, wastelands, beaches and irrigation canal. The living snail frame occurrence rate shows the regularity of cultivated lands > beaches > irrigation canal > wastelands, however, different regularity for living snail density is beaches >

基金项目: 国家“十一五”科技支撑资助项目 (2006BAD03A15), 国家科技部科研院所社会公益研究专项 (2005DIB3J140)

收稿日期: 2006-06-10; 修订日期: 2007-02-01

作者简介: 张旭东 (1962 ~) 男, 安徽巢湖人, 博士, 研究员, 主要从事生理生态学及林业血防生态工程研究. E-mail: zhxd@forestry.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qilianghua2008@yahoo.com.cn

致谢: 中国林科院郭志华副研究员、周金星副研究员、刘国华博士后、硕士生杨海明及四川林科院陈秀明副研究员、何飞博士、谢大军硕士等参加部分野外调查工作, 四川省林科院林业所、生态所及仁寿县林业局提供协助, 特此致谢!

Foundation item: The project was financially supported by National “Eleventh Five-Year Plan” Program for Key Problems in Science and Technology, China (No. 2006BAD03A15)

Received date 2006-06-10; **Accepted date** 2007-02-01

Biography: ZHANG Xu-Dong, Ph. D., Professor, mainly engaged in physiological ecology and forestry ecological engineering for schistosomiasis prevention. E-mail: zhxd@forestry.ac.cn

irrigation canal > cultivated lands > wastelands. Secondly, the difference between soil factors is not remarkable which one has snail existing and the other has no snail existing through one-way ANOVA, and K element in soil and soil mechanical composition which is less than 0.02—0.002mm have striking difference through multivariate ANOVA. Based on gray incidence analyzing the effect of soil environmental factors on snail distribution, thirdly, three most important factors have been picked out, which are soil mechanical composition that is less than 0.02—0.002mm, P element in soil and soil water content. There have the similar regularity for the importance of soil factors when they affect living snail frame occurrence rate and living snail density respectively except that K element in soil have more greater influences on living snail density than the former. These results could offer some scientific basis for transforming snail propagating environment, preventing schistosomiasis from prevailing and promoting regional economy.

Key Words: the hilly and mountainous areas; land use type; soil environmental factors; *Oncomelania* Snail; gray incidence analysis

长期以来,血吸虫病的防治一直是困扰医学界的世界性重大难题^[1,2]。钉螺作为血吸虫的唯一中间宿主,个体小,数量大,繁殖快,其孳生繁衍与血吸虫病的流行密切相关,是血吸虫病发生、传播、流行的关键环节。

根据钉螺孳生地特征,我国钉螺分布地区分为水网型、湖沼型和山丘型3种类型^[3]。其中,山丘型钉螺因孳生环境复杂而特异于水网型、湖沼型,全国山丘型流行区的钉螺面积约为17亿m²,占全国钉螺总面积12.41%,以四川、云南山丘区分布最为广泛。山丘型钉螺主要分布于大小山脉的山顶、山坡、山腰,杂草丛生的草坡,已开垦的梯田以及山涧、溪流、沟渠、坑塘、菜园地水沟等处,土地利用类型复杂,治理难度大,给山丘区群众生命健康安全、经济发展和文明进步带来严峻挑战^[4]。

改善钉螺孳生环境,抑制钉螺种群增长已成为国内外控制或阻断血吸虫病流行与传播新的重要途径^[4,5]。迄今为止,众多学者对水网型、湖沼型钉螺的时空分布规律、种群消长动态、生理生化特性、孳生环境特征、抑螺防病机理与途径等方面进行了大量研究和探索^[6~9],但对山丘区钉螺的分布规律、与环境因子的关系、抑螺防病对策及措施等方面的研究还几为空白,鲜有报道。本文以长江上游典型山丘型血吸虫病流行区——四川省仁寿县为研究对象,对不同土地利用类型的土壤环境因子对钉螺分布的影响进行了研究,以为山丘区钉螺孳生环境的改造、血吸虫病的综合治理、区域经济协调发展、和谐社会构建以及新农村建设提供一定的理论依据和基础数据。

1 试验区概况

试验区位于四川盆地西南部的仁寿县,属低山丘陵地貌类型。该区血吸虫病流行严重,是四川省最早报告发现血吸虫病的地方,自1999年以来,每年都有急性血吸虫病发生,全县血吸虫病流行乡镇31个,人口85.27万人,历史钉螺面积1590.56万m²,历史血吸虫病病人30772人,人群感染率17.3%。气候为中亚热带季风性湿润气候,冷热四季分明,干湿季明显,多低温寒潮,年平均气温为17.4℃,≥10℃年积温为5532.8℃,无霜期为310d,年平均降水量为1009.3mm,全年日照为1196.6h,全年太阳总辐射为89×4.184kJ/cm²。浅丘、平坝区土壤类型以老冲积黄壤和紫色土为主,土层深厚,土壤微酸;中丘和深丘土壤类型以棕紫土为主,兼有黄沙土、冷沙黄泥土等类型分布;低山区土壤以紫色石骨土、红砂土、黄泥土为主,土层较薄,水土流失严重。

2 研究方法

根据山丘型血吸虫病的分布与流行特点,选择仁寿县岷江河流域为主要研究对象,综合考虑钉螺分布特点、人为活动与生产方式以及海拔、水系、坡向、坡位、坡度等微地形因子,在流域上、中、下游分别选择一个“U”型断面,合理布设样带、样地及样方,进行基于土地利用分类的典型植被特征、钉螺分布规律以及土壤环境因子的全面调查。

2.1 样地(样带)、样方设置与植被特征调查

耕地、林地、河滩地、荒山草坡等布设样地,沟渠及农田内壁边坡布设样带,样带与样地的设置采取随机取样与系统取样相结合的方法,样带与样地内设置样方。样地面积为 $20\text{m} \times 20\text{m}$,灌木样方面积为 $2\text{m} \times 2\text{m}$,草本样方面积为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 。样带内草本样方面积为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 或 $2\text{m} \times 0.5\text{m}$ 。林分样地进行每木检尺,实测林木胸径(cm)、树高(m)、冠幅($\text{m} \times \text{m}$)和枝下高(m),灌木及草本样方调查植物种类、株(丛)数、植株高度、盖度、生活力等。

2.2 土样采集与测定

(1)土样采集 根据土地利用分类的不同,对典型植被类型挖土壤剖面,详细记录剖面信息,环刀采集原状土,重复3次,混合采集表土(0~20cm)样品1kg左右,供室内分析测定用。

(2)分析测定^[10,11] 烘干法测定土壤含水量,比重计法测定土壤颗粒组成(土壤质地分类依据美国标准),密度计法测定土壤质地,环刀法测定土壤容重、土壤总孔隙、毛管孔隙、非毛管孔隙和毛管持水量,酸度计法测定pH值,重铬酸钾氧化-外加热法测定有机质,微量凯氏法测定氮,钼锑抗比色法测定磷,火焰光度法测定钾。

2.3 钉螺调查

结合样带、样地及样方调查,采用系统抽样结合环境抽样调查法^[3],开展基于土地利用类型的钉螺种群数量及分布规律的调查。样带每隔5m查框1次(螺框面积大小为 0.11m^2),带距10m,样地内系统布设9个小样方,小样方全面查螺,同时根据钉螺栖息习性,对典型环境设框查螺。详细记录查螺框数、有螺框数、活螺数、死螺数,统计活螺框出现率与活螺密度等。

2.4 数据分析与处理

(1)对不同土地利用类型的土壤环境进行方差分析,判定影响钉螺分布的土壤环境总体特征及各因子的差异显著性。

(2)应用灰色系统理论的原理与方法^[12,13],对各土壤环境因子影响钉螺活螺框出现率与活螺密度的重要性进行灰色关联分析,计算关联系数(ξ_{ij})与关联度(r_{ij}),进行关联排序。计算公式如下:

$$\text{关联系数 } \xi_{ij}(t_k) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max} K}{\Delta_{ij}(t_k) + \Delta_{\max} K} \quad (1)$$

式中 $\Delta_{\min} = \min_j \min_K |x_i(t_k) - x_j(t_k)|$, $\Delta_{\max} = \max_j \max_K |x_i(t_k) - x_j(t_k)|$, K 为常系数。

$$\text{关联度 } r_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_{ij}(t_k) \quad (k=1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

(3)运用 SPSS 统计软件相关程序进行数据处理。

3 结果与分析

3.1 不同土地利用类型的钉螺分布规律

土壤是自然界钉螺孳生繁殖不可缺少的条件之一,但并非所有类型的土壤都适宜钉螺孳生,钉螺的分布与土壤的理化性质有关。对耕地、竹林、针叶林、阔叶林、针阔混交林、果园、荒草地、河滩地及灌溉沟渠等9种不同土地利用条件土壤环境因子的分析测定结果及钉螺分布规律的调查数据统计于表1。由表1可知,耕地、荒草地、河滩地及灌溉沟渠存在钉螺分布,活螺框出现率的高低顺序为耕地>河滩地>灌溉沟渠>荒草地,活螺密度的大小顺序为河滩地>灌溉沟渠>耕地>荒草地,而林地与果园则未发现钉螺分布。

3.2 土壤环境差异性分析

土壤环境对钉螺孳生繁衍具有重要影响。根据钉螺分布的有无情况,将耕地、竹林、针叶林、阔叶林、针阔混交林、果园、荒草地、河滩地及灌溉沟渠等9种不同土地利用类型的土壤环境分为两类,进行单因素方差分析,结果见表2,对各土壤因子进行多因变量方差分析,结果见表3。表2方差分析结果表明,有螺土壤环境(耕地、荒草地、河滩地、灌溉沟渠)与无螺土壤环境(竹林、针叶林、阔叶林、针阔混交林、果园)存在差异,但差

异未达到显著水平 ($Sig. = 0.981 > 0.1$)。

表 3 方差分析结果表明, 在全部 18 个土壤因子中, 土壤全 K 含量与 0.02 ~ 0.002 的土壤颗粒含量存在显著差异 ($Sig. = 0.049 < 0.05$; $Sig. = 0.079 < 0.1$)。

表 1 不同土地利用类型土壤环境因子与钉螺分布

Table 1 The soil environmental factors and *Oncomelania* Snail distribution in different land use types

土壤环境因子 Soil environmental factors	土地利用类型 Land use types								
	耕地 Cultivated land	林地 Forest land				果园 Orchard	荒地 Wasteland	河滩地 Beaches	沟渠 Irrigation canal
		竹林 Bamboo forest	针叶林 Coniferous forest	阔叶林 Broad-leaved forest	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest				
X_1 (%)	30.53	28.60	15.40	29.50	17.10	18.10	17.90	27.08	16.60
X_2 (g/cm ³)	1.289	1.40	1.442	1.348	1.301	1.533	1.433	1.312	1.801
X_3 (%)	35.73	30.60	25.37	34.30	33.20	23.40	25.25	31.75	17.50
X_4 (%)	45.87	42.80	36.42	46.20	42.80	35.90	35.20	41.78	31.60
X_5 (%)	5.50	4.40	9.17	3.00	8.10	6.20	10.70	8.73	0.50
X_6 (H ₂ O)	6.39	8.41	5.70	7.02	5.90	8.30	8.25	8.05	8.41
X_7 (g/kg)	25.09	19.71	16.18	42.3	23.94	10.33	20.09	19.49	10.34
X_8 (g/kg)	0.27	0.74	0.07	0.09	0.07	0.61	0.52	0.56	0.54
X_9 (g/kg)	0.57	0.52	0.17	0.20	0.34	0.75	0.50	0.50	0.39
X_{10} (g/kg)	15.17	15.09	12.46	11.64	10.46	14.86	17.26	19.92	13.95
X_{11} (%)	0.08	0.50	0.03	0.01	0.09	0.01	0.01	0.03	0.02
X_{12} (%)	0.28	0.92	0.10	0.08	0.28	0.07	0.05	0.06	0.03
X_{13} (%)	0.40	1.98	3.25	2.83	1.49	1.54	0.34	0.22	1.37
X_{14} (%)	13.62	32.02	52.74	53.20	26.91	41.24	36.32	5.27	55.45
X_{15} (%)	15.40	18.58	9.72	10.24	17.92	16.30	10.36	12.51	6.15
X_{16} (%)	41.93	24.48	15.00	15.77	27.57	18.75	26.31	47.85	18.86
X_{17} (%)	28.29	21.52	19.16	17.87	25.77	22.09	26.61	34.08	18.12
Y_1 (%)	48.89	0	0	0	0	0	36.36	45.83	42.88
Y_2 (只 Number/ 0.11m ²)	11.70	0	0	0	0	0	3.23	13.52	12.16

X_1 : 土壤水分含量; X_2 : 容重; X_3 : 毛管持水量; X_4 : 毛管孔隙; X_5 : 非毛管孔隙; X_6 : pH 值; X_7 : 有机质; X_8 : 全 N; X_9 : 全 P; X_{10} : 全 K; $X_{11} \sim X_{17}$ 分别为土壤机械组成中 2.0 ~ 1.0mm, 1.0 ~ 0.5mm, 0.5 ~ 0.25mm, 0.25 ~ 0.05mm, 0.05 ~ 0.02mm, 0.02 ~ 0.002mm, < 0.002mm 的颗粒含量; Y_1 : 活螺框出现率; Y_2 : 活螺密度; 下同

X_1 : Soil water content; X_2 : Soil bulk density; X_3 : Water storage in capillary porosity; X_4 : Capillary porosity; X_5 : Non-capillary porosity; X_6 : pH value; X_7 : Organic matter; X_8 : Total N; X_9 : Total P; X_{10} : Total K; $X_{11} \sim X_{17}$ means the percentage of 2.0 ~ 1.0mm, 1.0 ~ 0.5mm, 0.5 ~ 0.25mm, 0.25 ~ 0.05mm, 0.05 ~ 0.02mm, 0.02 ~ 0.002mm and 0.002mm respectively in soil mechanical composition; Y_1 : Living snail frame occurrence rate; Y_2 : Living snail density; the same below

表 2 土壤环境单因素方差分析

Table 2 One-way ANOVA of soil environment

项目 Item	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 Significance
组间 Between groups	0.150	1	0.150	0.001	0.981
组内 Within groups	40379.359	160	252.371		
总计 Total	40379.508	161			

3.3 土壤环境因子的灰色关联分析

以所测定的土壤水物理性质、土壤养分指标及土壤机械组成分级 3 类 17 个土壤环境特征参数组成基于土地利用类型的若干子数列 (比较数列), 钉螺活螺框出现率与活螺密度的统计结果各组成一个母数列 (参考数列), 通过关联系数与关联度的计算, 对各土壤环境因子影响钉螺活螺框出现率与活螺密度的重要性进

表 3 土壤环境因子多因变量方差分析

Table 3 Multivariate ANOVA of soil environmental factors

项目 Item	土壤水分-物理性质 Soil watery and physical properties					土壤养分指标 Soil nutrient indexes					土壤机械组成 Soil mechanical composition (mm)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇
	F 值 F value	0.080	0.226	0.181	0.373	0.006	0.852	0.309	0.772	0.550	5.688	0.747	1.477	0.384	1.354	1.565	4.221
显著性 Sig.	0.786	0.649	0.683	0.561	0.940	0.387	0.595	0.409	0.482	0.049**	0.416	0.264	0.555	0.283	0.251	0.079*	0.138

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$

行排序。为消除量纲影响,采用初值化处理对数据标准化(表 4),即用各数据序列的第 1 个数据去除所有数据序列,其中土壤容重取倒数进行正相关处理。

表 4 数据初值化处理结果

Table 4 The standard values of soil environmental factors

土壤环境 因子 Soil environmental factors	土地利用类型 Land use types									
	耕地 Cultivated land	林地 Forest land				果园 Orchard	荒地 Wasteland	河滩地 Beaches	沟渠 Irrigation canal	
		竹林 Bamboo forest	针叶林 Coniferous forest	阔叶林 Broad-leaved forest	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest					
X ₁	1.0000	0.9368	0.5044	0.9663	0.5601	0.5929	0.5863	0.8870	0.5437	
X ₂	1.0000	0.9201	0.8930	0.9562	0.9910	0.8402	0.8995	0.9820	0.7152	
X ₃	1.0000	0.8564	0.7100	0.9600	0.9292	0.6549	0.7067	0.8886	0.4898	
X ₄	1.0000	0.9331	0.7940	1.0072	0.9331	0.7826	0.7674	0.9108	0.6889	
X ₅	1.0000	0.8000	1.6673	0.5455	1.4727	1.1273	1.9455	1.5873	0.0909	
X ₆	1.0000	1.3161	0.8920	1.0986	0.9233	1.2989	1.2911	1.2598	1.3161	
X ₇	1.0000	0.7856	0.6449	1.6859	0.9542	0.4117	0.8007	0.7768	0.4121	
X ₈	1.0000	2.7407	0.2593	0.3333	0.2593	2.2593	1.9259	2.0741	2.0000	
X ₉	1.0000	0.9123	0.2982	0.3509	0.5965	1.3158	0.8772	0.8772	0.6842	
X ₁₀	1.0000	0.9947	0.8214	0.7673	0.6895	0.9796	1.1378	1.3131	0.9196	
X ₁₁	1.0000	6.2500	0.3750	0.1250	1.1250	0.1250	0.1250	0.3750	0.2500	
X ₁₂	1.0000	3.2857	0.3571	0.2857	1.0000	0.2500	0.1786	0.2143	0.1071	
X ₁₃	1.0000	4.9500	8.1250	7.0750	3.7250	3.8500	0.8500	0.5500	3.4250	
X ₁₄	1.0000	2.3510	3.8722	3.9060	1.9758	3.0279	2.6667	0.3869	4.0712	
X ₁₅	1.0000	1.2065	0.6312	0.6649	1.1636	1.0584	0.6727	0.8123	0.3994	
X ₁₆	1.0000	0.5838	0.3577	0.3761	0.6575	0.4472	0.6275	1.1412	0.4498	
X ₁₇	1.0000	0.7607	0.6773	0.6317	0.9109	0.7808	0.9406	1.2047	0.6405	
Y ₁	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7437	0.9374	0.8771	
Y ₂	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2761	1.1556	1.0393	

取 $K=0.5$, 据式 (1)、式 (2) 分别计算母数列为活螺框出现率及活螺密度时,与各子数列的关联系数与关联度,结果见表 5。关联度越大,子数列与母数列的发展趋势就越近,或者说子数列对母数列的影响就越大。由各土壤环境因子数列的关联排序可知不同环境因子对钉螺分布规律的影响大小。

对活螺框出现率的影响排序: $X_{16} > X_9 > X_1 > X_{17} > X_3 > X_4 > X_2 > X_7 > X_{10} > X_{15} > X_{12} > X_{11}$, $X_6 > X_5 > X_8 > X_{14} > X_{13}$ 。

对活螺密度的影响排序: $X_{16} > X_9 > X_1 > X_{17} > X_{10} > X_3 > X_4 > X_2 > X_7 > X_{15} > X_{12} > X_{11}$, $X_6 > X_8 > X_5 > X_{14} > X_{13}$ 。

由关联排序可知,土壤环境因子对钉螺活螺框出现率及活螺密度影响的大小规律基本一致,仅土壤全 K 含量 (X_{10}) 对活螺密度的影响高于对活螺框出现率的影响;

接卧表 5

在全部土壤环境因子中,对钉螺影响最大的3个因子为 $0.02 \sim 0.002\text{mm}$ (X_{16})的土壤颗粒、土壤全P含量 (X_9)和土壤水分 (X_1);

对于土壤水分物理性质而言,土壤水分 (X_1)的高低对钉螺分布的影响最大,因为钉螺孳生局限在常年保持潮湿的地方,毛管持水量 (X_3)、毛管孔隙 (X_4)与土壤容重 (X_2)次之,而非毛管孔隙 (X_5)的影响则相对较小;

对于土壤养分而言,土壤全P含量 (X_9)的高低对钉螺分布的影响最大,土壤有机质 (X_7)次之,土壤pH值 (X_6)和全N (X_8)含量的影响则相对较小;

对于土壤机械组成而言,土壤粒级为 $0.02 \sim 0.002\text{mm}$ (X_{16})和 $<0.002\text{mm}$ (X_{17})时,对钉螺影响最大,且以 $0.02 \sim 0.002\text{mm}$ 的土壤颗粒与钉螺关系最为密切。

4 结论与讨论

山丘区钉螺主要分布于耕地、荒草地、河滩地及灌溉沟渠等土地利用类型,其活螺框出现率与活螺密度大小排顺分别为耕地 > 河滩地 > 灌溉沟渠 > 荒草地和河滩地 > 灌溉沟渠 > 耕地 > 荒草地,而林地与果园则未发现钉螺分布。这可能是基于以下几个方面原因:第一,山丘型钉螺分布的一般规律是随着水系自上而下地分布在各个不同地形的孳生环境中,钉螺的迁移与扩散与水系的大小、分布与流速及灌溉等因素相关。耕地受灌溉或水浇等人为活动影响而成为钉螺的迁移与扩散的汇,河滩地及灌溉沟渠则是钉螺的迁移与扩散的自然源、汇或廊道,而荒草地通常草本植物生长旺盛,水分条件也较好;林地及果园通常地势较高,水系统其而行,钉螺无法入侵。第二,耕地斑块数量最多,比例最大,因而活螺框出现的机率最高,而河滩地是钉螺的主要栖息地,故钉螺分布密度最高。灌溉沟渠是山丘区钉螺运移的关键途径,数量多且纵横交错,因此,其活螺框出现率介于耕地与河滩地之间;另一方面,钉螺因水流流速较快而不易附着固定,故活螺密度高于耕地,低于河滩地。第三,可能存在某些制约钉螺分布的主导或限制性环境因子,并在这些因子的耦合作用形成不利于钉螺孳生和繁衍环境,如各种林分类型具有强大的蒸腾作用,可有效降低地下水位^[7],果园的经营管理(如间作)也不利于钉螺的生存和繁殖。

在土壤内穴居是钉螺的一项重要生物学特性^[8]。4种有螺土壤环境与5种无螺土壤环境之间总体差异不显著。一方面可能是由于在同一地域范围内,地质、地貌、母岩、气候、植被、人为活动等成土要素相对一致,而导致不同土地利用类型土壤环境相似性与趋同性,另一方面也反映了钉螺的空间分布动态受诸多环境因子的影响,除了土壤环境外,还有植被类型、水系分布以及人为活动等。但土壤全K含量与 $0.02 \sim 0.002\text{mm}$ 的土壤颗粒含量在两类土壤环境(有螺、无螺)之间存在显著差异,亦即表明土壤养分状况与土壤物理结构,尤其是土壤颗粒组成可能通过影响钉螺的摄食及入土穴居活动等过程,从而导致钉螺分布格局的差异。

钉螺数量、多样性及分布格局与环境因子密切相关。Konrad等研究发现在未干扰林地中土壤湿度是影响钉螺密度与物种丰富度的最重要因子^[4]。Charles等研究表明钉螺多样性与土壤pH值、植被盖度呈显著正相关,而钉螺数量与土壤pH值关系最为密切^[15]。滩地钉螺分布与地下水位关系显著,当地下水位为32cm左右时,钉螺密度和有螺框出现率达到最大^[6]。而山丘区土壤环境因子对钉螺分布影响的关联排序表明, $0.02 \sim 0.002\text{mm}$ 的土壤颗粒、土壤全P含量和土壤水分是影响钉螺的最重要的3个因子,且土壤环境因子对钉螺活螺框出现率及活螺密度影响的大小规律基本一致,这可能是影响山丘区钉螺分布与血吸虫病流行的关键生态因子,对其影响钉螺分布规律的阈值及范围需要进一步深入研究。

此外,土壤中微生物和动物的活动也会对土壤环境因子产生各种直接或间接的影响,今后进一步开展它们对钉螺分布、摄食、迁徙以及生殖发育等方面影响的研究,对控制山丘区血吸虫病的流行与传播也非常必要。

References :

- [1] Peng Z H, Jiang Z H. China's new type of forest studies on the snails control and Schistosomiasis prevention forest. Beijing: China Forestry Press, 1995. 23-51.

- [2] Zhang X D, Qi L H, Zhou J X, *et al.* Functions and prospects of forestry ecological engineering on preventing *Schistosomiasis*. *World Forestry Research*, 2006, 19 (4): 33—37.
- [3] Zhou X N. *Science on Oncomelania snail*. Beijing: Science Press, 2005. 158—159.
- [4] Peng Z H. Forestry ecological engineering and *Schistosomiasis* prevention. *Science*, 2005, 57: 34—37.
- [5] Eline B, Hammou L. Environmental control of *Schistosomiasis* through community participation in a Moroccan oasis. *Tropical Medicine and International Health*, 2004, 9 (9): 997—1002.
- [6] Zhang X D, Yang X C, Peng Z H. Relationships between the surviving *Oncomelania* and beaches environmental factors. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19 (2): 265—269.
- [7] Peng Z H, Sun Q X, Kan Z M, *et al.* Establishment of agroforestry ecosystem on beach lands in which snails grow and the analysis of its benefits. *Journal of Anhui Agricultural University*, 1994, (supplement): 1—7.
- [8] Sun Q X, Peng Z H, Kan Z M, *et al.* Study on selection of afforestation species on beach lands. *Journal of Anhui Agricultural University*, 1998, 25 (1): 18—22.
- [9] Wu G, Su R P, Zhang X D. Relationships between *Oncomelanta* breeding and beach vegetation in the middle and lower reaches of the Yangtze River. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19 (2): 118—121.
- [10] Nanjing Soil Institute of Chinese Academy of Sciences. *A handbook to the analysis for soil physical and chemical properties*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978.
- [11] Forestry Profession Standard of the People's Republic of China. *A handbook of analysis methods for forest soils*. Beijing: State Forestry Administration issued, 1999.
- [12] Fu L. *Gray system theory and application*. Beijing: Science and Technology Reference Press, 1992. 185—211.
- [13] Li Z H, Qi L H, Bai F M, *et al.* Studies on the soil fertility of aerially seeded *Pinus massoniana* stands. *Journal of Central South Forestry University*, 2004, 24 (5): 32—35.
- [14] Konrad M, Michael S. Relationships between land snail assemblage patterns and soil properties in temperate-humid forest ecosystems. *Journal of Biogeography*, 2004, 31: 531—545.
- [15] Charles N L. Environmental factors influencing land snail diversity patterns in Arabuko Sokoke forest Kenya. *African Journal of Ecology*, 2003, 41: 352—355.

参考文献:

- [1] 彭镇华, 江泽慧. 中国新林种——抑螺防病林研究. 北京: 中国林业出版社, 1995. 23~51.
- [2] 张旭东, 漆良华, 周金星, 等. 林业血防生态工程在血吸虫病防治中的作用及展望. *世界林业研究*, 2006, 19 (4): 33~37.
- [3] 周晓农. 实用钉螺学. 北京: 科学出版社, 2005. 158~159.
- [4] 彭镇华. 林业生态工程与血吸虫病防治. *科学*, 2005, 57: 34~37.
- [6] 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.
- [7] 彭镇华, 孙启祥, 康忠铭, 等. 有螺滩地林农复合生态系统的建立及其效果分析. *安徽农业大学学报*, 1994, (增刊): 1~7.
- [8] 孙启祥, 彭镇华, 康忠铭, 等. 滩地立地条件造林树种选择研究. *安徽农业大学学报*, 1998, 25 (1): 18~22.
- [9] 吴刚, 苏瑞平, 张旭东, 等. 长江中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.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所. *土壤理化分析*. 上海: 上海科技出版社, 1978.
- [11] 中华人民共和国林业行业标准. *森林土壤分析方法*. 北京: 国家林业局发布, 1999.
- [12] 傅立. *灰色系统理论及其应用*. 北京: 科学技术文献出版社, 1992. 185~211.
- [13] 李志辉, 漆良华, 柏方敏, 等. 马尾松飞播林土壤肥力研究. *中南林学院学报*, 2004, 24 (5): 32~35.

表5 土壤环境因子关联系数及关联度

Table 5 The incidence coefficients and incidence degrees of soil environmental factors

土壤环境因子 Soil environmental factors	土地利用类型 Land use types									关联度 Incidence degree	关联排序 Incidence sequence
	耕地 Cultivated land	林地 Forest land				果园 Orchard	荒地 Wasteland	河滩地 Beaches	沟渠 Irrigation canal		
		竹林 Bamboo forest	针叶林 Coniferous forest	阔叶林 Broad-leaf forest	针阔混交林 Coniferous and broad-leaf mixed forest						
X_1	1.0000	0.8126	0.8896	0.8078	0.8788	0.8726	0.9627 (0.9291)	0.9877 (0.9380)	0.9242 (0.8913)	0.9040 (0.8911)	3 (3)
X_2	1.0000	0.8153	0.8198	0.8095	0.8039	0.8286	0.9631 (0.8670)	0.9892 (0.9590)	0.9617 (0.9261)	0.8879 (0.8699)	7 (8)
X_3	1.0000	0.8259	0.8512	0.8089	0.8139	0.8612	0.9910 (0.9042)	0.9881 (0.9383)	0.9130 (0.8809)	0.8948 (0.8761)	5 (6)
X_4	1.0000	0.8132	0.8365	0.8013	0.8132	0.8385	0.9942 (0.8921)	0.9935 (0.9432)	0.9557 (0.9206)	0.8940 (0.8732)	6 (7)
X_5	1.0000	0.8355	0.7090	0.8816	0.7339	0.7828	0.7717 (0.7088)	0.8621 (0.9039)	0.8379 (0.8107)	0.8238 (0.8185)	13 (15)
X_6	1.0000	0.7553	0.8200	0.7871	0.8148	0.7577	0.8813 (0.8001)	0.9265 (0.9750)	0.9025 (0.9362)	0.8495 (0.8496)	12 (13)
X_7	1.0000	0.8380	0.8630	0.7067	0.8098	0.9080	0.9862 (0.8856)	0.9620 (0.9147)	0.8973 (0.8663)	0.8857 (0.8658)	8 (9)
X_8	1.0000	0.5971	0.9400	0.9242	0.9400	0.6426	0.7746 (0.7112)	0.7814 (0.8156)	0.7834 (0.8087)	0.8204 (0.8199)	14 (14)
X_9	1.0000	0.8166	0.9316	0.9205	0.8720	0.7554	0.9682 (0.8711)	0.9854 (0.9359)	0.9547 (0.9196)	0.9116 (0.8914)	2 (2)
X_{10}	1.0000	0.8033	0.8318	0.8411	0.8549	0.8057	0.9116 (0.8250)	0.9153 (0.9627)	0.9896 (0.9714)	0.8837 (0.8773)	9 (5)
X_{11}	1.0000	0.3939	0.9155	0.9701	0.7831	0.9701	0.8678 (0.9641)	0.8784 (0.8388)	0.8663 (0.8373)	0.8495 (0.8525)	12 (12)
X_{12}	1.0000	0.5529	0.9192	0.9343	0.8025	0.9420	0.8779 (0.9766)	0.8489 (0.8119)	0.8407 (0.8134)	0.8576 (0.8614)	11 (11)
X_{13}	1.0000	0.4508	0.3333	0.3648	0.5217	0.5134	0.9745 (0.8762)	0.9129 (0.8703)	0.6146 (0.6300)	0.6318 (0.6178)	16 (17)
X_{14}	1.0000	0.6334	0.5120	0.5098	0.6728	0.5730	0.6787 (0.6295)	0.8807 (0.8409)	0.5598 (0.5726)	0.6689 (0.6604)	15 (16)
X_{15}	1.0000	0.7710	0.8655	0.8594	0.7773	0.7933	0.9828 (0.9110)	0.9701 (0.9221)	0.8948 (0.8639)	0.8794 (0.8626)	10 (10)
X_{16}	1.0000	0.8744	0.9191	0.9153	0.8607	0.9008	0.9722 (0.9204)	0.9522 (0.9965)	0.9048 (0.8733)	0.9222 (0.9178)	1 (1)
X_{17}	1.0000	0.8423	0.8571	0.8654	0.8168	0.8388	0.9538 (0.8594)	0.9383 (0.9881)	0.9450 (0.9106)	0.8953 (0.8865)	4 (4)

括号内数字为母序列为活螺密度时的关联系数、关联度及关联排序 Data in brackets the incidence coefficients, degrees and sequences of living snail density

表5 土壤环境因子关联系数及关联度

Table 5 The incidence coefficients and incidence degrees of soil environmental factors

土壤环境因子 Soil environmental factors	土地利用类型 Land use types									关联度 Incidence degree	关联排序 Incidence sequence
	耕地 Cultivated land	林地 Forest land				果园 Orchard	荒地 Wasteland	河滩地 Beaches	沟渠 Irrigation canal		
		竹林 Bamboo forest	针叶林 Coniferous forest	阔叶林 Broad-leaf forest	针阔混交林 Coniferous and broad-leaf mixed forest						
X_1	1.0000	0.8126	0.8896	0.8078	0.8788	0.8726	0.9627 (0.9291)	0.9877 (0.9380)	0.9242 (0.8913)	0.9040 (0.8911)	3 (3)
X_2	1.0000	0.8153	0.8198	0.8095	0.8039	0.8286	0.9631 (0.8670)	0.9892 (0.9590)	0.9617 (0.9261)	0.8879 (0.8699)	7 (8)
X_3	1.0000	0.8259	0.8512	0.8089	0.8139	0.8612	0.9910 (0.9042)	0.9881 (0.9383)	0.9130 (0.8809)	0.8948 (0.8761)	5 (6)
X_4	1.0000	0.8132	0.8365	0.8013	0.8132	0.8385	0.9942 (0.8921)	0.9935 (0.9432)	0.9557 (0.9206)	0.8940 (0.8732)	6 (7)
X_5	1.0000	0.8355	0.7090	0.8816	0.7339	0.7828	0.7717 (0.7088)	0.8621 (0.9039)	0.8379 (0.8107)	0.8238 (0.8185)	13 (15)
X_6	1.0000	0.7553	0.8200	0.7871	0.8148	0.7577	0.8813 (0.8001)	0.9265 (0.9750)	0.9025 (0.9362)	0.8495 (0.8496)	12 (13)
X_7	1.0000	0.8380	0.8630	0.7067	0.8098	0.9080	0.9862 (0.8856)	0.9620 (0.9147)	0.8973 (0.8663)	0.8857 (0.8658)	8 (9)
X_8	1.0000	0.5971	0.9400	0.9242	0.9400	0.6426	0.7746 (0.7112)	0.7814 (0.8156)	0.7834 (0.8087)	0.8204 (0.8199)	14 (14)
X_9	1.0000	0.8166	0.9316	0.9205	0.8720	0.7554	0.9682 (0.8711)	0.9854 (0.9359)	0.9547 (0.9196)	0.9116 (0.8914)	2 (2)
X_{10}	1.0000	0.8033	0.8318	0.8411	0.8549	0.8057	0.9116 (0.8250)	0.9153 (0.9627)	0.9896 (0.9714)	0.8837 (0.8773)	9 (5)
X_{11}	1.0000	0.3939	0.9155	0.9701	0.7831	0.9701	0.8678 (0.9641)	0.8784 (0.8388)	0.8663 (0.8373)	0.8495 (0.8525)	12 (12)
X_{12}	1.0000	0.5529	0.9192	0.9343	0.8025	0.9420	0.8779 (0.9766)	0.8489 (0.8119)	0.8407 (0.8134)	0.8576 (0.8614)	11 (11)
X_{13}	1.0000	0.4508	0.3333	0.3648	0.5217	0.5134	0.9745 (0.8762)	0.9129 (0.8703)	0.6146 (0.6300)	0.6318 (0.6178)	16 (17)
X_{14}	1.0000	0.6334	0.5120	0.5098	0.6728	0.5730	0.6787 (0.6295)	0.8807 (0.8409)	0.5598 (0.5726)	0.6689 (0.6604)	15 (16)
X_{15}	1.0000	0.7710	0.8655	0.8594	0.7773	0.7933	0.9828 (0.9110)	0.9701 (0.9221)	0.8948 (0.8639)	0.8794 (0.8626)	10 (10)
X_{16}	1.0000	0.8744	0.9191	0.9153	0.8607	0.9008	0.9722 (0.9204)	0.9522 (0.9965)	0.9048 (0.8733)	0.9222 (0.9178)	1 (1)
X_{17}	1.0000	0.8423	0.8571	0.8654	0.8168	0.8388	0.9538 (0.8594)	0.9383 (0.9881)	0.9450 (0.9106)	0.8953 (0.8865)	4 (4)

括号内数字为母序列为活螺密度时的关联系数、关联度及关联排序 Data in brackets the incidence coefficients, degrees and sequences of living snail density