安徽农业大学学报, 2014, 41(1): 60-65
Journal of Anhui Agricultural University
网络出版时间：2013-12-17　16:16:59
[URL] http://www.cnki.net/kcms/detail/34.1162.S.20131217.1616.009.html

池州市沿江低丘钉螺空间分布型及抽样技术的研究

何小定，秦金舟，陈晓娟，袁 梦，刘桂华*
(安徽农业大学林学与园林学院，合肥 230036)

摘　要：采用生物种群空间分布型测定方法，对池州沿江低丘的钉螺空间分布型进行了研究。结果表明：（1）钉螺平均密度为每 0.11m^2　0.77 只，密度分布规律为河滩 > 沟渠 > 水田 > 荒地 > 旱地 > 滩地杨树林地，河滩与其他 5 种土地利用类型的钉螺密度间存在极显著差异；另外，钉螺分布的变异系数(*CV*)大小规律为滩地杨树林地 > 旱地 > 荒地 > 水田 > 沟渠 > 河滩。（2）滩地杨树林地、河滩、荒地和沟渠中的钉螺空间分布型为聚集分布，旱地和水田则分别为均匀分布和随机分布，而钉螺在整个研究区域呈聚集分布中的负二项分布，其公共 *K* 值为 2.1964。（3）钉螺聚集的原因主要是由于某些环境因素所引起，且个体间相互排斥，密度（*m*）为每 0.11 m^2 2.8505 只可以作为判别钉螺聚集原因的临界值。（4）建立了允许误差分别为 0.1、0.2 及 0.3 时的 Iwao 理论抽样数模型和估计种群密度的零频率模型。

关键词：池州市；低丘区；钉螺；空间分布型；负二项分布；抽样模型
中图分类号：Q958.15; R383.24　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672–352X (2014)01–0060–06

Spatial distribution pattern and sampling model of *Oncomelania hupensis fausti* Bartsch in the low hill area along the Yangtze River in Chizhou city

HE Xiaoding, QIN Jinzhou, CHEN Xiaojuan, YUAN Meng, LIU Guihua
(School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: The spatial distribution pattern of *Oncomelania hupensis fausti* Bartsch was studied by using methods for determination of spatial distribution pattern of biological population in the low hill area along the Yangtze River, Chizhou city. The results were as follows: (1) Under the average snail density of 0.77/0.11m^2, snail density showed the regularity of beach > canal > paddy field > wasteland > dry land > bottomland poplar forest land, and the snail density between beach and the others had extremely significant difference through ANOVA. In addition, CV of snail distribution exhibited the order of bottomland poplar forest land > dry land > wasteland > paddy field > canal > beach. (2) The spatial distribution pattern of snail showed the aggregated distribution in bottomland poplar forest land, beach, wasteland and canal, which were uniform distribution and random distribution in dry land and paddy field, respectively. More importantly, the spatial distribution pattern of snail presented the negative binomial distribution which belonged to aggregated distribution in the whole study area, and its common *K*-value was 2.1964. (3) The aggregation of snail was mainly caused by some environmental factors, and mutual exclusiveness existed in the individuals. From the analysis result, snail density (2.8505/0.11m^2) could be a critical value which was used to discriminate its reasons for aggregation. (4) Iwao's theoretical sampling models which corresponded to 0.1, 0.2 and 0.3 about permissible error were set up and zero frequency model which estimated the population density was also established.

Key words: Chizhou city; low hill area; *Oncomelania hupensis fausti* Bartsch; spatial distribution pattern; negative binomial distribution; sampling model

---

收稿日期：2013-01-30
基金项目："十二五"科技支撑（2011BAD38B0702）资助。
作者简介：何小定，硕士研究生。E-mail：yingfengmu@163.com
* **通信作者**：刘桂华，教授。E-mail：liuguihua@ahau.edu.cn

钉螺（*Oncomelania hupensis* Gredler）作为日本血吸虫（*Schistosoma japonicum* Katsurada）的唯一中间宿主，是血吸虫病传播中不可缺少的环节[1-2]。关于钉螺分布规律的研究不仅是钉螺生态学的重要内容，也是研究“螺口”动力学的必要理论[3]。运用统计学方法、了解钉螺分布规律既能客观地呈现钉螺种、株特征，也有助于正确地指导血吸虫病的预防与控制[4]。迄今为止，国内主流的观点认为钉螺分布符合负二项分布规律[5-7]，但也不乏探索出钉螺分布并非单一的负二项分布的结论，如 Neyman 分布、Poisson 分布等[8-10]，而关于钉螺在不同立地条件下的分布规律及钉螺抽样技术的研究尚未见报道。作者在前人研究基础上运用生物种群空间分布型测定原理和理论抽样模型对研究区域不同土地利用类型的钉螺分布格局及其区域钉螺的总体分布规律和抽样技术进行了研究，旨在更深层次地探索和丰富钉螺分布模型以及更科学性建立和完善抽样技术，为沿江低丘钉螺的控制及血吸虫病的防治提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验区位于池州市，介于东经 116°38′～118°05′、北纬 29°33′～30°51′之间，地处安徽省西南部，毗邻长江，属北亚热带季风气候区，系丘陵地貌类型。试验区光、热、水资源丰富，四季分明，气候温和。一般年平均气温为 16.1℃，最热月（7 月）平均气温 28.7℃，最冷月（1 月）平均气温 3.1 ℃；无霜期 220～240 d 左右；年降水量 1400～1700 mm，主要集中在 6 月～9 月。池州市境内南高北低，地形复杂，南部中低山区、中部丘陵岗地、北部沿江洲圩区。该市作为血吸虫病重度流行区，历史上曾是全国血吸虫病流行最严重的地区之一，其血吸虫病主要分布在以长江、秋浦河、升金湖等水系为主的湖沼型地区。

1.2　试验方法

1.2.1　*样地、样带及样方设置*　基于试验区血吸虫病的分布与流行特点，将秋浦河流域作为主要研究区域。根据土地利用情况，将试验区划分为滩地杨树林地、旱地、河滩、荒地、沟渠和水田 6 种类型。在每种类型土地中各选择 3 块立地条件较为一致的地块，于每个地块内选择典型地段各设置样地或样带 1 个（共 18 个）。滩地杨树林地、旱地、河滩、荒地布设样地，样地面积为 20 m ×20 m，样地内系统布设 9 个样方，样方面积为 1 m×1 m；沟渠、水田内壁边坡布设样带，样带长度为 100 m，样带内系统布设 9 个样方，样方面积为 2 m×0.5 m。所有样方均全面查螺并作记录。

1.2.2　*空间分布型测定*　聚集度指标计算[11]：

（1）平均拥挤度 m^*：$m^*=\bar{x}+(\frac{S^2}{\bar{x}}-1)$，式中 $\bar{x}$ 为平均密度（有时亦记为 m），S^2 为样本方差；

（2）I 指标：$I=S^2/\bar{x}-1$，当 $I<0$ 时为均匀分布，当 $I=0$ 时为随机分布，当 $I>0$ 时为聚集分布；

（3）m^*/m 指标：即平均拥挤度与其平均密度之比，当 $m^*/m<1$ 时为均匀分布，当 $m^*/m=1$ 时为随机分布，当 $m^*/m>1$ 时为聚集分布；

（4）C_A 指标：$C_A=(S^2/\bar{x}-1)/\bar{x}$，当 $C_A<0$ 时为均匀分布，当 $C_A=0$ 时为随机分布，当 $C_A>0$ 时为聚集分布；

（5）扩散系数 C：$C=S^2/\bar{x}$，当 $C<1$ 时为均匀分布，当 $C=1$ 时为随机分布，当 $C>1$ 时为聚集分布；

（6）负二项分布 K 指数：$K=\bar{x}^2/(S^2-\bar{x})$，当 $K<0$ 时为均匀分布，当 $K\to+\infty$ 时为随机分布，当 $0<K<8$ 时为聚集分布。

回归方程检验：

（1）Iwao 的 m^*-m 回归分析法[12]：$m^*=\alpha+\beta m$，式中 α 为分布的基本成分按大小分布的平均拥挤度：当 $\alpha=0$ 时，分布的基本成分为单个个体；当 $\alpha>0$ 时，个体间相互吸引，分布的基本成分为个体群；当 $\alpha<0$ 时，个体间相互排斥。β 为基本成分的空间分布图式：当 $\beta<1$ 时，为均匀分布；当 $\beta=1$ 时，为随机分布；当 $\beta>1$ 时，为聚集分布。

（2）Taylor 幂法则[13]：$\lg(S^2)=\lg(a)+b\lg(m)$，亦即乘幂函数关系 $S^2=am^b$。当 $b<1$ 时，为均匀分布；当 $b=1$ 时，为随机分布；当 $b>1$ 时，为聚集分布。

聚集原因分析：

Blackith 种群聚集均数 λ [14]：$\lambda=(m/2K)\gamma$，其中 m 为平均密度（0.11 m^2）/只，K 为负二项分布指数，γ 为自由度等于 $2K$ 时的 $\chi^2_{0.5}$ 分布函数值。当 $\lambda\geqslant2$ 时，其聚集原因可能是由昆虫本身的聚集习性所引起，或是由昆虫本身的聚集行为与环境的差异性共同引起；当 $\lambda<2$ 时，其聚集原因可能是由于某些环境条件所引起。

1.2.3　*抽样模型研究*　Iwao 理论抽样数模型[15]：$n=\left(\frac{t}{D}\right)^2\left(\frac{a+1}{n}+\beta-1\right)$，式中 n 为理论抽样数，m 为平均密度（0.11 m^2）/只，α、β 为 Iwao 回归式中的参数，t 为一定置信度下 t 分布值，D 为允许误差（置信区间）。取概率保证值 $t=1.96$（可靠性为 95%时），

允许误差 D=0.1、0.2、0.3，建立理论抽样模型，计算钉螺不同螺口密度下所需的理论抽样数。

1.2.4 零频率模型研究 Gerrard 零频率模型[14]：$m=K_C(P_0^{-1/Kc}-1)$，式中 m 为平均密度（0.11 m^2）/只，K_c 为负二项分布公共 K 值，P_0 为零样本频率。

1.2.5 数据处理与分析 数据处理与分析采用 DPS7.05 统计分析软件和 Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用类型的钉螺分布状况

由表 1 可知，滩地杨树林地、旱地、河滩、荒地、沟渠、水田 6 种土地利用类型均有钉螺分布，钉螺密度平均值为每 0.11 m^2 0.77 只。不同土地利用类型的钉螺分布存在较大差异，以河滩钉螺平均密度最大，且与其它土地类型间的差异均达到极显著水平（P＜0.01），具体大小规律为河滩 > 沟渠 > 水田 > 荒地 > 旱地 > 滩地杨树林地。总体而言，样本钉螺密度变幅为每 0.11 m^2 0～6.27 只，对于不同土地利用类型，其亦不同。观察发现，6 种土地类型的密度变幅下限均为 0，而上限值以河滩最大，为 0.11 m^2 6.27 只。此外，各土地利用类型中钉螺分布变异程度也不一，以滩地杨树林地最为强烈，样本变异系数为 214%，高于平均值（155%），其余 5 种类型变异系数从大到小依次为旱地、荒地、水田、沟渠和河滩。

表 1 不同土地利用类型的钉螺分布状况

Table 1 Snail distributions in different land use types

土地利用类型 Land use type	平均值（0.11m^2）/只 Mean	变幅（0.11m^2）/只 Range	变异系数/% *C.V.*
滩地杨树林地 Bottomland poplar forest land	$0.23±0.50^{cB}$	0～2.09	214
旱地 Dry land	$0.37±0.58^{bcB}$	0～1.87	154
河滩 Beach	$1.84±1.96^{aA}$	0～6.27	106
荒地 Wasteland	$0.60±0.89^{bcB}$	0～3.19	148
沟渠 Irrigation canal	$0.93±1.16^{bB}$	0～4.18	124
水田 Paddy field	$0.66±0.82^{bcB}$	0～2.75	125
总体 Total	0.77±1.20	0～6.27	155

注：第 1 列数值为平均值±标准误；小写字母间有相同字母表示差异不显著，P > 0.05；小写字母间无相同字母且大写字母间有相同字母表示差异显著，P < 0.05；小写字母间无相同字母且大写字母间无相同字母表示差异极显著，P < 0.01。

Note: The data in the first line represent average ± *SD*; the data followed by the same small letters mean no significant difference (P < 0.05); the data followed by the same capital letters and without the same small letters mean significant difference (P < 0.05); the data without the same capital and small letters mean significant difference (P < 0.01).

2.2 钉螺空间分布型测定

2.2.1 不同土地利用类型的钉螺聚集度指标 根据调查数据，计算出 6 种土地利用类型的钉螺聚集度指标 m^*、I、m^*/m、C_A、C、K 值（见表 2）。观察可知，平均拥挤度（m^*）以河滩最大，沟渠、荒地、水田、滩地杨树林地、旱地依序排之。另外，除滩地杨树林地、河滩、荒地和沟渠均同时满足 I＞0、m^*/m＞1、C_A＞0、C＞1、0＜K＜8 外，旱地中 I＜0、m^*/m＜1、C_A＜0、C＜1、K＜0，水田中 I≈0、m^*/m≈1、C_A≈0、C≈1、K > 8，表明滩地杨树林地、河滩、荒地、沟渠中钉螺空间分布型一致，呈聚集分布，而旱地和水田则分别符合均匀分布和随机分布。

2.2.2 钉螺空间分布特征 为进一步测定钉螺种群的空间分布格局和内部结构，采用 Iwao 的 m^*-m 回归分析法和 Taylor 幂法则。m^*-m 回归分析法是以 m^*（因变量）和 m（自变量）进行的线性回归，得回归方程 $m^*=-0.2517+1.7134m$，相关系数 R=0.9902＞$R^{0.01,4}$=0.9172，达极显著水平（P＜0.01），说明 α 与 β 两参数能较好地揭示钉螺种群的分布特征。式中 α=－0.2517＜0、β=1.7134＞1，表明钉螺个体间相互排斥，且其基本成分间呈聚集分布。利用 Taylor 幂法则得到回归方程 $\lg(S^2)=0.1703+1.3631\lg(m)$，相关系数 R=0.9866 > $R^{0.01,4}$=0.9172，亦达极显著水平（P＜0.01），式中 $\lg(a)$＞0（即 a＞1）、b＞1，该结果表明钉螺在整个研究区域的空间分布型为聚集分布。

利用负二项分布公共 K 值的估计方法，计算得出总体公共 K 值（K_c）为 2.1964，经 χ^2 检验，χ^2=1.0685＜$\chi^2_{0.05,5}$=11.0705，差异不显著（P＞0.05），表明此负二项分布公共 K 值的公共性显著，即可认为池州市沿江低丘钉螺分布符合负二项分布。

2.2.3 钉螺聚集原因分析 应用 Blackith 提出的种群聚集均数（λ）计算公式分析钉螺空间聚集原因，公式为：$\lambda=(m/2K)\gamma$，当 K 取 K_c 时，用于计算整

个试验区钉螺的种群聚集均数。经计算，6 种土地利用类型的总 λ 值为 0.5904＜2，而符合聚集分布的滩地杨树林地、河滩、荒地、沟渠的 λ 值也均小于 2（见表 2）。所以，可以说明研究区钉螺的聚集原因主要是由于某些环境因素所引起。

将钉螺种群聚集均数（λ）与密度（m）进行方程拟合，得出直线回归式为 $\lambda=0.6965m+0.0146$（$R=0.9948^{**}$），经计算，当钉螺密度为每 0.11m^2 2.8505 只时，$\lambda=2$。因此，可以将 $m=2.8505$ 作为判别钉螺聚集原因的临界值，即当 $m\geqslant2.8505$ 时，其聚集原因可能是由钉螺本身的聚集习性所引起，或是由钉螺本身的聚集行为与环境的差异性共同引起；当 $m<2.8505$ 时，其聚集原因可能是由于某些环境条件所引起的。

表 2　不同土地利用类型钉螺聚集度指标

Table 2　Aggregation indices of snail in different land use types

土地利用类型 Land use type	m^*	I	m^*/m	C_A	C	K	λ
滩地杨树林地 Bottomland poplar forest land	0.2916	0.0594	1.2559	0.2559	1.0594	3.9070	0.1886
旱地 Dry land	0.2619	-0.1129	0.6989	-0.3011	0.8871	-3.3209	-
河滩 Beach	2.9277	1.0862	1.5899	0.5899	2.0862	1.6953	1.2850
荒地 Wasteland	0.9141	0.3152	1.5264	0.5264	1.3152	1.8998	0.3729
沟渠 Irrigation canal	1.3640	0.4310	1.4619	0.4619	1.4310	2.1649	0.7233
水田 Paddy field	0.6740	0.0181	1.0277	0.0277	1.0181	36.1517	-

表 3　不同密度和不同精度的钉螺理论抽样数

Table 3　Theoretical sampling number of snail with different densities and precision

钉螺密度（0.11m^2）/只 Density of snail	不同精度的抽样数 Sampling number with different precision			钉螺密度（0.11m^2）/只 Density of snail	不同精度的抽样数 Sampling number with different precision		
	D=0.1	D=0.2	D=0.3		D=0.1	D=0.2	D=0.3
0.2	1711	428	190	5.2	329	82	37
0.4	993	248	110	5.4	327	82	36
0.6	753	188	84	5.6	325	81	36
0.8	633	158	70	5.8	324	81	36
1.0	562	140	62	6.0	322	80	36
1.2	514	128	57	6.2	320	80	36
1.4	479	120	53	6.4	319	80	35
1.6	454	113	50	6.6	318	79	35
1.8	434	108	48	6.8	316	79	35
2.0	418	104	46	7.0	315	79	35
2.2	405	101	45	7.2	314	78	35
2.4	394	98	44	7.4	313	78	35
2.6	385	96	43	7.6	312	78	35
2.8	377	94	42	7.8	311	78	35
3.0	370	92	41	8.0	310	77	34
3.2	364	91	40	8.2	309	77	34
3.4	359	90	40	8.4	308	77	34
3.6	354	88	39	8.6	307	77	34
3.8	350	87	39	8.8	307	77	34
4.0	346	86	38	9.0	306	76	34
4.2	343	86	38	9.2	305	76	34
4.4	339	85	38	9.4	305	76	34
4.6	337	84	37	9.6	304	76	34
4.8	334	83	37	9.8	303	76	34
5.0	332	83	37	10.0	303	76	34

2.3　钉螺理论抽样模型

在已知回归方程 $m^*=-0.2517+1.7134m$ 的前提下，应用 Iwao 理论抽样数模型公式：$n=\left(\frac{t}{D}\right)^2\left(\frac{\alpha+1}{m}+\beta-1\right)$，计算钉螺不同螺口密度下所需的理论抽样数。将 $t=1.96$，$D=0.1$、0.2、0.3，$\alpha=-0.2517$，

β=1.7134 代入公式，可得理论抽样模型：

D=0.1，$n=\frac{287.47}{m}+274.06$；

D=0.2，$n=\frac{71.87}{m}+68.51$；

D=0.3，$n=\frac{31.94}{m}+30.45$。

根据上述 3 种理论模型，确定不同精度不同密度下的理论抽样数，计算结果见表 3。由表 3 可知，同一钉螺密度时，允许误差愈大，抽样数愈小；同一允许误差时，钉螺密度愈大，抽样数愈小。当钉螺密度较小时，随着钉螺密度的增大，3 种精度的抽样数均急剧减小，表明小密度状态下钉螺密度的精确性显著影响着抽样数的精确性；当钉螺密度较大时，随着钉螺密度的增大，抽样数均缓慢减小，表明大密度状态下钉螺密度的精确性对抽样数的影响不明显。钉螺密度为每 0.11 m^2 0.2 只时，允许误差为 0.1、0.2、0.3 的抽样数分别为 1711、428、190；钉螺密度为每 0.11 m^2 10.0 只时，允许误差为 0.1、0.2、0.3 的抽样数分别为 303、76 和 34。

2.4 钉螺零频率模型

由于钉螺在研究区呈具有公共 K 值的负二项分布，故可以根据 Gerrard 零频率模型公式：$m=K_C\left(P_0^{-1/K_C}-1\right)$，估计钉螺种群的平均密度。将 K_c=2.1964 代入上式，可得：$m=2.1964\left(P_0^{-0.4553}-1\right)$。本试验的零样本频率 P_0 为 0.5309，求得 m=0.7339 只（0.11 m^2），与实际调查结果（每 0.11 m^2 0.7727 只）的相对误差仅为 5%，因此可以根据该模型估计钉螺种群的平均密度。

3 小结与讨论

池州市沿江低丘钉螺密度的平均值为每 0.11 m^2 0.77 只，在 6 种土地利用类型中钉螺密度的大小规律为河滩 > 沟渠 > 水田 > 荒地 > 旱地 > 滩地杨树林地，且河滩与其他 5 种土地类型的钉螺密度间均存在极显著差异，说明了河滩是当地钉螺的主要孳生地。因此，在钉螺治理时，可以通过改变土地利用方式来达到降低钉螺密度的目的。通过统计发现，钉螺分布的总变异系数为 155%，其在 6 种土地类型中表现的规律为滩地杨树林地＞旱地＞荒地＞水田＞沟渠＞河滩，表明样本钉螺密度的离散程度在各土地利用方式中表现不同，即钉螺分布有差异。

滩地杨树林地、河滩、荒地和沟渠中的钉螺空间分布型为聚集分布，其 K 值排序为滩地杨树林地＞沟渠＞荒地＞河滩；旱地和水田中的钉螺则分别符合均匀分布和随机分布。通过 Iwao 回归式和 Taylor 幂法则的分析以及负二项分布公共 K 值的检验，结果表明钉螺在整个研究区域呈聚集分布中的负二项分布，其公共 K 值为 2.1964，且个体间相互排斥。经计算，试验区钉螺的总 λ 值和滩地杨树林地、河滩、荒地、沟渠的 λ 值均小于 2，可以说明池州沿江低丘钉螺的聚集原因主要是由于某些环境因素所引起。另外，钉螺种群聚集均数（λ）与密度（m）呈极显著正相关关系，并可以将 m=2.8505 只（0.11m^2）作为判别钉螺聚集原因的临界值。

允许误差为 0.1、0.2、0.3 时的 Iwao 理论抽样数模型分别为 $n=\frac{287.47}{m}+274.06$，$n=\frac{71.87}{m}+68.51$，$n=\frac{31.94}{m}+30.45$，且同一钉螺密度时，允许误差愈大，抽样数愈小；同一允许误差时，钉螺密度愈大，抽样数愈小。理论抽样数模型的建立，可以避免抽样中的盲目性及不必要的人力物力财力的浪费，也可以准确反映所调查的螺情的真实情况。一般来说，在低密度下，应加大抽样数；在高密度下，应减少抽样数。本研究中，实际调查的样方数共计 162 个，与允许误差为 0.2 时的理论抽样数（161.52）基本一致，因此，可以认为该试验的抽样数所达到的精度比较理想。此外，通过计算和验证，可根据得到的零频率公式 $m=2.1964\left(P_0^{-0.4553}-1\right)$ 估计池州沿江低丘钉螺种群的平均密度，以便准确预测预报钉螺的发生情况，及时做出钉螺防治举措。上述 2 种模型的建立在前人对钉螺的研究中未曾报道，这种尝试借鉴于昆虫生态学中对昆虫的研究方法，既是对钉螺理论研究内容很好的补充，又为钉螺防治提供了实际指导依据。

试验区属于湖沼型地区，本研究得出的该区钉螺符合负二项分布的结论与陈祜鑫[6]的关于钉螺在湖沼地区分布的研究结果一致。负二项分布是一种聚集分布，分析结果表明池州沿江低丘钉螺的聚集原因是由于某些环境因素所引起，而水分可能是其中重要因素之一，这是因为钉螺喜于孳生在水分含量较高的环境中[16]。此外，有研究指出钉螺分布也与土壤 pH 值、土壤元素含量、土壤颗粒组成、草本植被等环境因子密切相关[17-19]。关于钉螺具体的聚集原因以及其影响钉螺分布的阈值和范围需要进一步深入研究。钉螺在不同土地利用类型中的空间分布型并非都是聚集分布，如旱地中的均匀分布、水田中的随机分布。有昆虫种群研究认为昆虫的分布一般是动态连续的系统，即由随机分布→均匀分

布→聚集分布[20]。钉螺在经过长期进化和适应后，形成了一种聚集孳生的生物学特性，换言之，其已达到了种群分布格局的终极状态。因此，可以认为本试验中旱地和水田的钉螺分布型分别是钉螺种群演变过程中的过渡型和雏型格局，而此结果的造成可能是由于高强度的人为活动破坏了钉螺呈聚集分布时所需要的生境，如果停止人为干扰，其钉螺分布最终可能会变化为聚集分布。有研究指出，K 值愈小，种群的聚集度愈大[21]。结合上文，可知聚集度高低规律为河滩 > 荒地 > 沟渠 > 滩地杨树林地。另外，分析得出 K 值与密度呈负相关关系，即高密度时聚集度大，低密度时聚集度小，这与赵飞等[3]的报道一致。

钉螺可能存在动态的分布规律，密度的变化可能与钉螺分布的规律相联系[3,8]。本研究得到的钉螺呈负二项分布的结论是基于钉螺密度为每 0.11 m^2 0.7727 只之上的，并不能体现其分布规律的动态性。因此，对于同一研究现场钉螺的动态分布模式及其与密度的关系有待于更进一步地研究探讨。另外，张志杰等[22]仅研究了贵池区秋浦河沿岸 4 块有螺滩地的钉螺分布规律，其不能反映出沿江低丘湖沼型地区的钉螺整体分布状况，具有特殊性。相较而言，本文通过对以秋浦河流域为主的研究区域中 6 种土地利用类型的钉螺分布进行研究，更能全面揭示湖沼区钉螺的分布规律。

研究生物种群空间分布型常用的方法有频数卡方检验法、聚集度指标判断法、回归模型检验法[23]。利用频数卡方检验法分析生物种群的空间分布型时，每一样本的抽样单元数应在 100 份以上[24]，而本试验未能满足此指标，且以概率分布为基础的频数检验法在生态学研究中存在一定的局限性[25]。因此，没有采用频数卡方检验法来研究池州沿江低丘钉螺的空间分布型。

钉螺分布极其复杂，关于其分布模型、生物学特性、分布影响因子等相关研究很早就被广大专家学者重视，也因此，一系列的钉螺研究体系、方法和结论应运而生。但是，钉螺研究是一项系统工程，如何做到最大程度地了解钉螺，任重而道远。

参考文献：

[1] Marston A, Hostettmann K. Review article number 6: Plant molluscicides[J]. Phytochemistry, 1985, 24(4): 639- 652.

[2] 王万贤, 杨毅, 程炯, 等. 长江中下游江滩防洪林对钉螺分布密度影响[J]. 水生生物学报, 2009, 33(2): 310- 315.

[3] 赵飞, 张志杰, 王海银, 等. 山丘型血吸虫病流行区钉螺分布的动态分析[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2010, 22(1): 35-39.

[4] 袁鸿昌, 张绍基, 姜庆五. 血吸虫病防治理论与实践[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2003: 224-227.

[5] 苏德隆. 苏德隆教授论文选集[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1995: 97-101.

[6] 陈祜鑫. 血吸虫病的研究和预防[M]. 长沙: 湖南人民出版社, 1964: 38-39.

[7] 陈其焘, 朱宝璋, 张辅华. 关于山区钉螺负二项分布规律的研究[J]. 安徽医科大学学报, 1980, 15(5/6): 30-33.

[8] 王海银, 张志杰, 周艺彪, 等. 湖南省洞庭湖区钉螺分布状态的动态分析[J]. 复旦学报: 医学版, 2009, 36(2): 138-141.

[9] 张志杰, 彭文祥, Senghuat O, 等. 广义负二项分布对钉螺分布的拟合[J]. 中国卫生统计, 2008, 25(1): 2-6.

[10] 谢法仙, 朱达培, 钱珂, 等. 湖区草洲钉螺分布类型的研究[J]. 动物学报, 1980, 26(2): 165-170.

[11] 唐小艳, 陈斌, 李正跃, 等. 云南元阳梯田水稻田白背飞虱若虫空间分布型及理论抽样数[J]. 昆虫知识, 2010, 47(5): 950-957.

[12] Iwao S. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations[J]. Res Popul Ecol, 1968: 1-20.

[13] Taylor L R. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations[J]. Annu Rev Ent, 1984, 29: 321-357.

[14] 郑福山, 韩旭, 杜予州, 等. 斜纹夜蛾幼虫在棉田的空间格局及抽样技术[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2005, 26(1): 85-88.

[15] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 22-69.

[16] 李源培, 王海银, 周艺彪, 等. 湖区钉螺孳生地的微生态环境对钉螺分布的影响[J]. 中华流行病学杂志, 2010, 31(2): 163-166.

[17] Charles N L. Environmental factors influencing land snail diversity patterns in Arabuko Sokoke forest, Kenya[J]. African Journal of Ecology, 2003, 41(4): 352-355.

[18] 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[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2460-2467.

[19] 杜松如, 江哲, 尤玉民, 等. 长江如皋段江滩钉螺孳生可能性研究[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2003, 15(4): 272-275.

[20] 于新文, 刘晓云. 昆虫种群空间格局的研究方法评述[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(3): 83-87.

[21] 刘庆年, 刘俊展, 张路生, 等. 沾化冬枣浆烂果病空间分布型及抽样技术研究[J]. 植物保护, 2006, 32(6): 122- 124.

[22] 张志杰, 彭文祥, 陈更新, 等. 湖沼地区钉螺分布动态性的初步证据[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2007, 19(2): 86-90.

[23] 王文琪, 张伟, 陶热, 等. 松褐天牛成虫野外空间格局[J]. 中国农学通报, 2010, 26(17): 256-259.

[24] 周国法, 徐汝梅. 空间分布型的形成过程研究[J]. 生态学报, 1998, 18(5): 516-522.

[25] 周艺彪, 陈更新, 彭文祥, 等. 湖沼型地区钉螺种群的空间格局分析[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 2008, 26(1): 42-45.