

集成垸内灭螺后有螺面积演变分析

湖南省华容县血防院 朱南屏

集成垸位于北纬29°，东经113°，面积26平方公里，原是长江三面环绕的淤积滩，1887年围垸，1969年在西南开凿新江，成为四面环水。1956年调查：垸内、外均有大片钉螺分布，居民血吸虫患病率为57.43%，是湖沼型洲垸亚型血吸虫病疫区。现将该垸内历年灭螺后有螺面积的演变情况，分析如下。

各阶段垸内灭螺及有螺面积

1956年春垸内查出有螺面积1,275,333 m²。

1956~63年，用洗沟铲土土埋及翻耕灭螺。1963年春有螺面积1,110,000 m²。有螺面积年递减1.96%。

1963~70年，随着人口增长，垦种了一些荒地，加以少量地区药杀和土埋灭螺。1970年春有螺面积790,000 m²。年递减4.74%。

1970~75年，结合水利灭螺，开新填旧沟渠50条，全长144公里，扩大了可耕种面积。由于采用了这种有效的土埋及垦种灭螺措施，有螺面积被压缩至残存状态。1975年春有螺面积78,333 m²，年递减37.01%。

1975年~82年，用“五氯酚钠”药杀灭螺，处理每年发现的有螺面积，灭后查不到钉螺时，停止处理。已灭查不到钉螺的地段，过后几年先后又有重复发现。1982年春有螺面积59,000 m²，年递减3.97%。

有螺面积变化的指数曲线配合

集成垸内从1970年开展有效地灭螺后，各年有螺面积见表1。将表1资料配合指数曲线，其曲线方程式适合下列类型： $\hat{y} = e^{a' - b'x^{[1]}}$ 。式中a'、b'值可用图解法求

得[2]。用x轴表示灭螺经过的年限，y轴表示各年后有螺面积的定基比，作半对数点图，并循

表1 集成垸内1970~82年钉螺分布面积

时间 (年)	有螺面积 (m ²)	定基比 (%)
1970	790,000	100.00
1971	581,533	73.61
1972	396,400	50.18
1973	296,133	37.48
1974	163,600	20.71
1975	78,333	9.92
1976	45,733	5.79
1977	46,000	5.82
1978	29,333	3.71
1979	68,933	8.72
1980	25,467	3.22
1981	46,467	5.88
1982	59,000	7.47

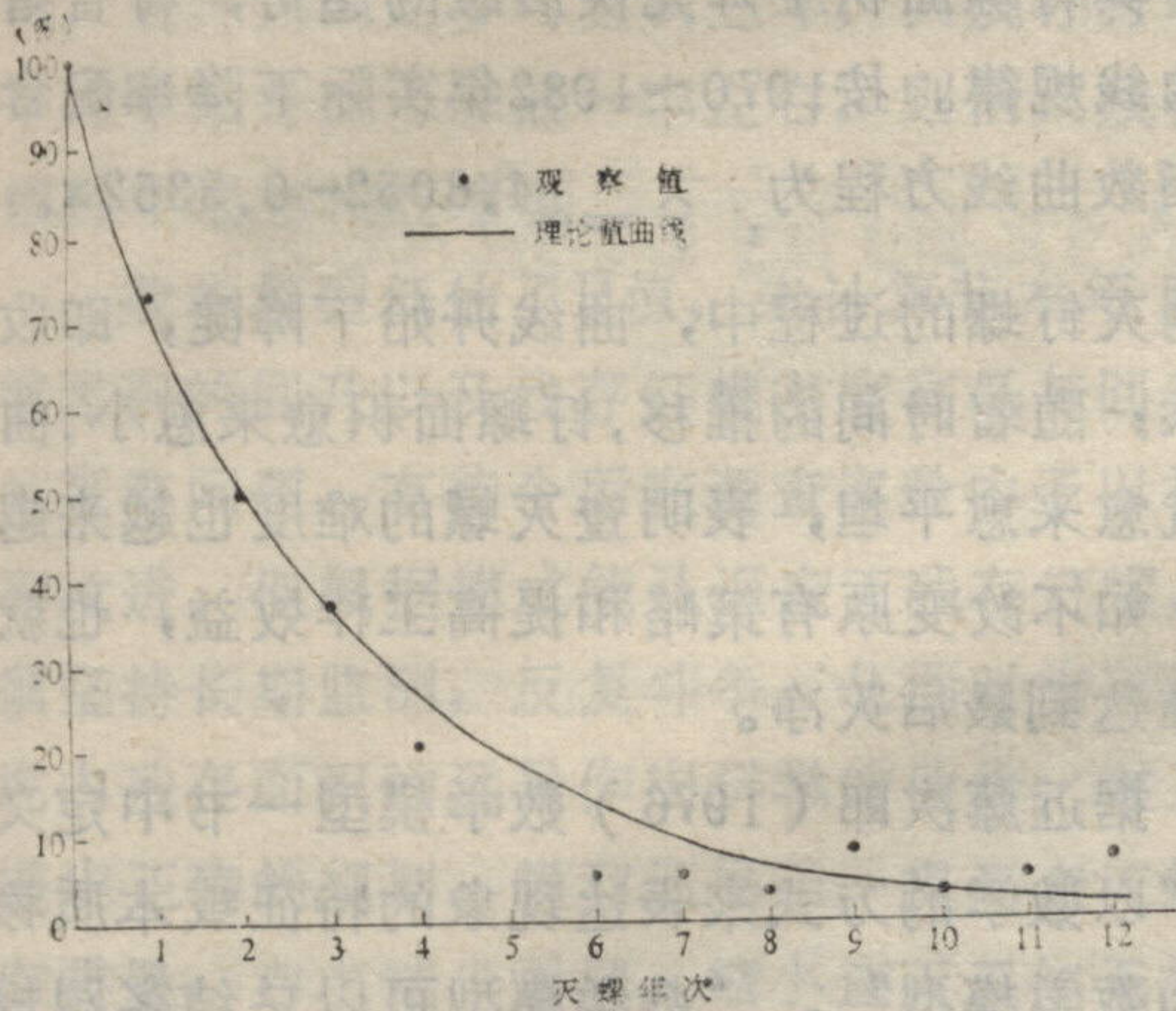
各点位置，绘出一趋势线，此趋势线起始于P₁(0, 2.0000)，再在直线上选一易于读数的点P₂(10, 0.5441)，由两点坐标计算直线方程：

$$\frac{x-0}{10-x} = \frac{\log \hat{y} - 2.0000}{2.0000 - 0.5441}$$

$$\hat{y} = e^{4.6052 - 0.3352x}$$

方程中，x为灭螺年次， \hat{y} 为灭螺各年次后有螺面积占1970年有螺面积百分比的理论值，a'=4.6052为指数曲线与纵轴相交点的百分率的自然对数值，b'=0.3352为有螺面积转阴率随各灭螺年次而下降的速率(倍数)之自然对数值。理论值曲线与实际观察值配合满意(附图)。

如观察若干这类疫区灭螺后有螺面积下降情况，所得规律可用附图理论值曲线代表。



附图 有螺面积下降的指数曲线配合

消灭残存钉螺的数学模式

一、查、灭螺工作无效率

日常防治工作中的查螺、灭螺，由于自然及人为等因素的影响，不可能达到全部查清及灭尽，其未查清、未灭尽各原因比率之和称为查、灭螺工作无效率。

表 3 1982年度“灭螺处理”的59,000m²灭螺结果

	查不出 钉螺	有钉螺分布				合计
		未灭	漏灭	灭漏	灭后尚 可查出	
面积(m ²)	49,133	6,000	2,134	533	1,200	9,867
%	83.28	10.17	3.62	0.90	2.03	16.72

设有螺面积为1，查螺工作无效率为 α ，灭螺工作无效率为 β ，查、灭螺工作总无效率为P。则： $P = [1 \times \alpha + (1 - 1 \times \alpha) \times \beta] \div 1 = \alpha + \beta - \alpha\beta$ 。以集成垸内1982年度查、灭螺工作为例，其总无效率 $P = 0.1033 + 0.1672 - 0.1033 \times 0.1672 = 0.2532$ 。

二、残存钉螺的平均年回升比

一有螺地段药杀灭螺后，如未彻底灭尽，但密度降至很低，常规查螺已不能查出，此时终止处理，因未改造孳生环境，残存钉螺通过自然繁殖，几年后达到一定密度，而被重新发现的这一段间隔时间，称为残存钉螺的回升间期。某时期复发现的有螺面积之各处，其回升间期各不相同，各回升间期的年平均回升面积之和，用该时期复发现总面积所除之商，称为残存钉螺的平

1982年9月，我们考核了集成垸内当年的查、灭螺工作，考核查螺方法为：每隔5或10米等距离设点作系统抽样调查钉螺有无，相邻二点若均未查到钉螺，二点之间的段，选择钉螺容易孳生的环境进行细查，调查时不设框，不计钉螺数量，但正确记录有螺地段，以有螺段数乘段距并左右各延伸一段计算有螺面积。结果在春季查出有螺面积的基础上，新发现有螺面积6800m²，其查螺工作无效率为10.33%(表2)。

表 2 1982年集成垸内查螺考核结果

	查出有螺分布区			春季未查出原因	
	合计	春季查螺	考核新发现	漏查	查漏
面积(m ²)	65,800	59,000	6,800	6,133	667
%	100.00	89.67	10.33	9.32	1.01

考核已报“灭螺处理”的59,000m²有螺面积的灭螺情况，其灭螺工作无效率为16.72%(表3)。

均年回升比。

集成垸内1982年度查出的有螺区，均系复发现面积，其回升间期见表4。

根据表4集成垸内灭螺后残存钉螺的平均年回升比为0.2574(16,935/65,800)。

三、消灭残存钉螺的数学模式

日常查、灭螺工作的年平均无效率P，灭后残存钉螺的平均年回升比R，现有的残存钉螺面积X₀，n年灭螺后容许的残存钉螺面积X_n(即要求达到消灭的标准)，达到X_n标准所需坚持反复斗争的年限n，这些是消灭残存钉螺数学模式的主要参数，其模式*为：

$$X_n = X_0 P [P + (1 - P)R]^{n-1}$$

以集成垸1982年度资料为例。X₀=65,800

表 4 集成垸内1982年度复发现有螺面积的回升间期

回升间期年数	处数	面积 (m ²)	年平均面积 (m ²)
1	1	437	437
2	6	3500	1750
3	31	20883	6961
4	19	11784	2946
5	9	10435	2087
6	5	6498	1083
7	6	7735	1105
8	3	4528	566
合计	80	65800	16935

m², 假定 $X_n = 5 \text{ m}^2$, $P = 0.2532$ (假定是年平均值), $R = 0.2574$ (假定为真值), 求 n 值。代入模式:

$$5 = 65800 \times 0.2532 \times [0.2532 + (1 - 0.2532) \times 0.2574]^{n-1}$$

$$n = \frac{\log 5 - \log 65,800 - \log 0.2532}{\log [0.2532 + (1 - 0.2532) \times 0.2574]} + 1$$

$n \approx 11$ 年。

即如按1982年工作实效不变, 估算集成垸内现有残存钉螺面积, 要减少到仅有一个螺点 (5 m²), 至少尚需反复斗争十一年。

讨 论

洲垸型疫区垸内大面积原始钉螺分布区的消灭, 主要借助于垦植灭螺。而垦植必须依赖农田水利的基本建设, 才能保收, 只有保收方可巩固灭螺效果。集成垸资料表明: 防治工作的初期阶段, 虽然采取了“大兵团作战、大埋、大垦”等群众性灭螺运动, 但有螺面积年递减仅1.96%; 而1970~1975年间, 结合水利土埋及垦植灭螺, 使大面积原始有螺面积很快被压缩至残存状态, 有螺面积年递减增至37.01%, 收到了显著效果。当水利建设定型以后, 遗留钉螺面积的灭螺目前主要使用药杀。集成垸内1975~1982年间, 虽年年药杀了当年查出的有螺面积, 但残存钉螺却反复重现, 有螺面积下降甚微, 其年递减率仅3.97%。

其有螺面积下降先快后缓的趋势, 符合指数曲线规律。按1970~1982年实际下降率配合的指数曲线方程为: $\hat{y} = e^{4.6052 - 0.3352x}$ 。在消灭钉螺的过程中, 曲线开始下降陡, 即收效大; 随着时间的推移, 钉螺面积愈来愈小, 曲线就愈来愈平坦, 表明查灭螺的难度也越来越大, 如不改变原有策略和提高工作效益, 也就很难达到最后灭净。

据近藤次郎 (1976) 数学模型一书中定义为“以数学的方式来表达现象的特征或本质称之为数学模型”。“数学模型可以总结客观规律的作用, 可利用作为预测的工具, 甚至可以进行一些很难进行实验的研究工作, 即从理论上阐明其可能性”[4]。为了探索消灭残存钉螺的防制策略及查灭方法, 本文粗略地提出了消灭残存钉螺的数学模式: $X_n = X_0 P [P + (1 - P) R]^{n-1}$ 。式中 P 值 (查灭螺工作无效率) 及 R 值 (残存钉螺的平均年回升比) 是两个自变量, n 值 (消灭所需的年限) 是因变量。即 P 、 R 值增大, n 值将按确定法则对应增大; P 、 R 值减小, n 值将缩小。

考核调查集成垸1982年的查灭螺工作, P 值高达25.32%。其中漏查率9.32%、未灭率10.17%、漏灭率3.62%, 灭漏率0.90%, 均系由于螺情图帐不健全, 工作不够认真、细致, 不注意查灭工作质量等人为因素所造成。今后, 只要切实予以改进, 上述漏洞可能消除, 并能使查漏与灭后尚可查出率降至较低水平, 达此标准, P 值将大为减小, 根据数学模式, 消灭该垸现有残存钉螺的年限, 能缩短一半以上。

R 值的大小, 与各残存面积的回升间期有关, 根据集成垸资料求出的 R 值为0.2574, 其平均回升间期为4.54年, 该垸历年的药杀灭螺仅灭当年查出的有螺面积, 灭后查不出时停止处理, 使残存钉螺的回升极为有利, 因此, 回升间期短。如在灭后查不出螺时, 再连续复灭三年, 即使不计算复灭后残存钉螺密度的下

降, 回升间期至少可延长三年, 其残存钉螺的平均年回升比可降低一半左右, 则消灭残存钉螺的年限亦相应缩短。

数学模型低估了R值, 未计算非本年度灭螺面积的回升以及残存钉螺密度高低与回升的关系等问题, 有待今后在调查实验中予以补充和改进。但根据模式能认识查灭残存钉螺, 必须坚持长期监测, 反复斗争, 从而对消灭现有坑内残存面积的远景作出科学的估价, 对工作提出正确的规划。模型还提示: 提高查灭螺工作质量, 力求减少漏洞, 缩小查灭工作无效率及药杀灭螺坚持查不出钉螺以后, 再连续复灭三年, 使残存钉螺回升比减小, 这两项是缩短消灭残存钉螺年限的关键。

* $X_n = X_0 P [P + (1-P)R]^{n-1}$ 的推导:

设:

X_0 为开始的残存钉螺面积

y 为每年灭螺后的消灭面积

P 为每年查灭螺工作无效率

q 为每年查灭螺工作有效率 $q = 1 - P$

R 为灭后残存钉螺的平均年回升比

第一灭螺年后:

$$X_1 = X_0 P,$$

$$y_1 = X_0 q.$$

第二灭螺年后:

$$X_2 = (X_0 P + X_0 q R) P = X_0 P (P + qR),$$

$$y_2 = (X_0 P + X_0 q R) q = X_0 q (P + qR),$$

第三灭螺年后:

$$X_3 = (X_2 + y_2 R) P = X_0 P (P + qR)^2$$

$$y_3 = (X_2 + y_2 R) q = X_0 q (P + qR)^2$$

⋮

第 n 灭螺年后:

$$X_n = (X_{n-1} + Y_{n-1} R) P$$

$$= X_0 P (P + qR)^{n-1}$$

$$= X_0 P [P + (1-P)R]^{n-1}$$

摘 要

集成坑是湖沼型洲坑亚型血吸虫病疫区。1956~

82年坑内有螺面积由一百二十七万五千平方米下降至六万五千平方米。本文用指数曲线分析了有螺面积的演变, 曲线方程为: $\hat{y} = e^{4.6052 - 0.3352x}$ 。表明消灭大面积原始有螺区, 开始收效大; 当呈残存时, 收效就愈来愈小。消灭残存钉螺的年限 n , 可用数学模式 $X_n = X_0 P [P + (1-P)R]^{n-1}$ 进行估算, 式中查灭螺工作无效率 P 及残存钉螺回升比 R 是自变量, n 是因变量。集成坑1982年 $P = 0.2532$, $R = 0.2574$, 均较高。今后如抓好查灭螺质量, 坚持灭后查不出螺时复灭三年, 可减小 P 、 R 值, 从而缩短消灭残存钉螺的年限。

ABSTRACT

Ji-Cheng-Yuan is an endemic area of schistosomiasis belonging to the limnologic type Zhou-Yuan subtype. In this area, the snail-infected area was reduced from 1,275,333m² to 65,800m² during 1956—1982. Using the Exponential curve, the author analysed the evolution of the snail-infected area. The curve equation is as follows: $Y = e^{4.6052 - 0.3352X}$, indicating that the first stage elimination of the original vast area scattered by snails was highly efficient. As the density of snails became smaller, the speed of exterminating snails was slowed down. The fixed number of years for eliminating the remaining snails can be estimated by the following mathematical formula: $X_n = X_0 P [P + (1-P)R]^{n-1}$. Here, P refers to the noneffective rate of elimination, R the remaining snails, both represent Independent variable, n represents Dependent variable. At Ji-Cheng-Yuan, P was 0.2532, R was 0.2574 in 1982. From then on, if attention could be paid to improving the quality of examination and elimination in order to reduce P and R , the time for eliminating snails could also be shortened.

参 考 文 献

1. 郭祖超等编: 《医学数理统计方法》423~424页, 人民卫生出版社1963年版
2. Shao-Sheng Hu: Statistics, p 418~412, Second edition, 1976
3. 苏德隆: 指数曲线在寄生虫流行病学中的应用, 内部资料, 1979年
4. 钱珂: 日本血吸虫病的数学模型简述, 内部资料, 1982年 (本文承天津医学院耿贯一教授, 中国医科院寄研所钱珂副研究员, 湖南医学院吴彭年教授等审阅, 特此致谢)