

Jolly-Seber法对大仓鼠和黑线仓鼠种群若干参数的估算

张知彬 朱靖 杨荷芳

(中国科学院动物研究所, 北京, 100086)

Q959.837

摘要 本文利用Jolly-Seber法估算了1986和1988年河北省饶阳县大仓鼠和黑线仓鼠的种群大小、存留率等参数。结果表明, 大仓鼠的存留率比黑线仓鼠小, 而且和密度负相关。大仓鼠和黑线仓鼠对铁丝活捕笼均不存在非等捕性。该方法对大仓鼠和黑线仓鼠种群参数估计是可行的。

关键词: Jolly-Seber法, 大仓鼠, 黑线仓鼠, 种群参数, 标记重捕。

种群

利用标记重捕数据对种群有关参数的估算方法很多, 如Lincoln法, Palombeino法和Marten法。但对开放种群, 伊藤嘉昭(1977)认为Jolly-Seber法是目前最好的方法^[1]。Jolly(1965)在Darroch(1958)模型基础上, 利用最大似然估计法提出了一个适应于开放种群参数以及各参数方差和协方差估计的随机模型(Stochastic Model)^[2,3]。Tanton(1969)曾用此法分析了姬鼠和鼯类的标记重捕资料^[4]。国内虽然已有些标志重捕研究鼠类的工作如夏武平等(1978)^[5]、王学高等(1989)^[6], 尚未见有使用该模型估计种群大小、存留率等参数的文献报道。为此, 本文通过整理分析1986年和1988年河北大仓鼠和黑线仓鼠种群的标记重捕资料, 来进一步探讨Jolly-Seber法在鼠类种群参数估算的应用前景。

1 方法与材料

本工作地点位于河北省饶阳县五公乡的农田鼠害防治工作站。该地区为典型华北旱作区农田生态系统。大仓鼠和黑线仓鼠为农田主要优势害鼠。

野外工作方法主要是标记重捕法。于1986年8月20日至10月30日在邹村、五公和曹庄选取8块样地, 面积合8hm²。相邻样地间距离为200—300m。每块样地每次布铁丝活捕笼100个, 依10×10m²方格排列, 笼间距离为10m, 采样间隔第1次为10d, 第2—6次均为15d。标记时采用切趾法进行个体标志, 然后在原地释放。于1988年4—10月按同样方法, 在曹庄、西沿湾选取6块样地作标记重捕、每月上、中、下旬各1次。

采用Jolly-Seber法对标记重捕资料进行处理分析。有关该方法的原理和计算步骤可参见伊藤嘉昭等(1977)^[1]。现仅将本文中所使用的符号列出如下: i 为标记序号。 $D_i(D/M)$ 为标记日期(日/月)。 N_i 为时点 i 中取样前的总个数。 M_i 为时点 i 中取样前的标记总个数。 n_i 为 i 时点的标本中的捕获个体数。 m_i 为 i 时点样本中的标记个体数。 R_i 为时点 i 中标记个体释放数。 r_i 为时点 i 中标记释放, 其后又被捕获的合计数。 Z_i 为时点 i 中以前被标记, 在 i 中不被捕获, i 以后再捕获的个体数。 B_i 为自时点 i 到 $i+1$ 之间由于出生, 迁入而新

加入,在时点 $i+1$ 中存在的个体数。 mdi 为标记个体处理死亡。 ndi 为非标记个体处理死亡。 nRi 为非标记个体释放。 ϕi 为时点 i 到 $i+1$ 的存留率, $Pi = mi/Mi$ 。 $\rho i = mi/ni$ 。 $S(x)$ 为变量 x 的标准差。

将该方法编译成高级Basic程序,在IBM286微机上运算。

2 结 果

2.1 大仓鼠、黑线仓鼠种群标记重捕资料

表1为大仓鼠种群标记重捕资料。由于1988年的4—6月、9—10月所捕获的标本太少,这里未作分析处理。1986年的平均笼捕率为9.29%,比1988年的笼捕率2.00%高。表2为黑线仓鼠种群的标记重捕资料,未包括样本数较小的月份。1986年的平均笼捕率为7.44%,也比1988年的笼捕率3.50%高。

表1 大仓鼠种群标记重捕资料

Table 1 CMR data of *Cricetulus triton* populations

年 份 Year	i	D_i (D/M)	n_i	m_i	R_i	mdi	nR_i	ndi	ri	Z_i	笼 捕 率(%) Trapping rate
1986	1	20/8	122	0	119	0	3	0	—	—	15.25
	2	30/8	95	36	95	0	0	0	14	4	11.88
	3	15/9	118	17	115	0	0	1	4	1	14.50
	4	30/9	57	4	56	0	1	0	5	1	7.13
	5	15/10	37	4	37	0	0	0	6	2	4.63
	6	30/10	19	8	17	0	0	2	—	—	2.38
合计(Total)			448	69	439	0	4	3			9.29
1988	1	18/7	11	1	11	0	0	0	4	1	1.83
	2	28/7	15	3	15	0	0	0	4	2	2.50
	3	8/8	10	2	10	0	0	0	3	4	1.67
	4	18/8	16	6	16	0	0	0	4	1	2.67
	5	28/8	8	3	8	0	0	0	3	2	1.33
合计(Total)			60	15	60	0	0	0			2.00

2.2 大仓鼠、黑线仓鼠种群大小、存留率等参数估算

表3为大仓鼠种群各参数的估算结果。在1986年,每15d平均存留率为0.2775,月均存留率则为0.07701。种群大小 N_i 平均为211.62,相当于每 hm^2 有26.45只大仓鼠。标记种群大小 M_i 平均为35.11,占总种群数的16.59%。由于新出生、迁入的个体数平均为177.18,占总种群数的83.73%;在1988年,每10d平均存留率为0.6081,月均存留率为0.2249。种群大小 N_i 平均为43.86,相当于有大仓鼠7.31只/ hm^2 。标记种群大小 M_i 平均为9.58,占总种群的21.84%。新出生和迁入个体数平均为16.70,占种群的38.08%。总之,1986年的月存留率比1988年低,而新出生和迁入率比1988年高。这可能与密度有关。高密度时,由于竞争压力较大,死亡、扩散可能严重些。

表4为黑线仓鼠种群各参数的估算结果。在1986年,每15d的平均存留率为0.7411,月均存留率为0.5492。种群大小 N_i 平均为196.35,相当于1 hm^2 有24.52只黑线仓鼠。标记种群大小 M_i 为80.25,占总种群40.87%。新出生和迁入个体数平均为62.43,占总种群的31.80%。在1988年,每10d存留率平均为0.7624,月均存留率为0.4431。种群大小 N_i 平均为52.50,相当于1 hm^2 有8.75只黑线仓鼠。标记种群大小 M_i 平均为30.0,占总种群57.14%。

表 2 黑线仓鼠种群标记重捕资料
Table 2 CMR data of *Cricetulus barabensis* population

年 份 Year	<i>i</i>	D_i (D/M)	n_i	m_i	R_i	mdi	nR_i	ndi	ri	Z_i	笼 捕 率(%) Trapping rate
1986	1	20/8	109	0	104	0	2	3	—	—	13.83
	2	30/8	52	25	52	0	0	0	17	23	6.50
	3	15/9	35	18	35	0	0	0	11	22	4.38
	4	30/9	41	14	41	0	0	0	14	19	5.13
	5	15/10	53	17	51	0	1	1	16	16	6.63
	6	30/10	67	32	60	0	4	3	—	—	8.38
合计(Total)			357	108	343	0	7	7			7.44
1988	1	8/4	24	1	24	0	0	0	11	3	4.00
	2	18/4	22	8	22	0	0	0	12	6	3.67
	3	28/4	8	4	8	0	0	0	3	14	1.33
	4	8/5	6	4	6	0	0	0	3	13	1.06
	5	18/5	32	9	32	0	0	0	20	6	5.33
	6	28/5	24	11	24	0	0	0	18	16	4.00
	7	8/6	24	18	24	0	0	0	18	15	4.00
	8	18/6	48	27	48	0	0	0	27	6	8.00
	9	28/6	32	23	32	0	0	0	17	10	5.33
	10	8/7	23	18	23	0	0	0	8	9	3.83
	11	18/7	16	9	16	0	0	0	8	8	2.67
	12	28/7	14	10	14	0	0	0	6	6	2.33
	13	8/8	12	8	12	0	0	0	5	4	2.00
	14	18/8	9	3	9	0	0	0	3	4	1.50
合计(Total)			294	153	294	0	0	0			3.50

表 3 大仓鼠种群参数估计
Table 3 Estimating the population parameters of *C. triton*

年 份 Year	<i>i</i>	M_i	N_i	ϕ_i	B_i	P_i	ρ_i	$S(N_i)$	$S(\phi_i)$	$S(B_i)$	$S(N_i/N_i)$
1986	1	—	—	0.3885*	—	—	—	—	—	—	—
	2	63.14	166.83	0.3746	249.78	0.5701	0.3789	40.66	0.2658	181.35	40.15
	3	45.75	312.18	0.1057	183.10	0.3716	0.1466	22.80	0.0850	188.43	222.50
	4	15.20	218.80	0.2431	98.68	0.2632	0.0701	189.48	0.1528	189.40	189.40
	5	18.33	161.08	—	—	—	0.1081	105.61	—	—	105.44
1988	1	—	—	0.75	—	—	—	—	—	—	—
	2	3.75	41.25	0.7636	21.0	0.2662	0.009	43.24	0.4419	39.37	26.98
	3	10.5	52.5	0.6815	40.89	0.2587	0.20	36.20	0.4259	54.10	27.81
	4	15.33	76.67	0.4286	-8.19	0.1304	0.20	62.25	0.2501	22.20	42.60
	5	10.0	26.67	0.4167	11.110	0.60	0.375	12.58	0.2361	10.33	10.30
	6	8.33	22.22	—	—	—	0.375	13.47	—	—	10.28

注: * 已转换成每15d存留率。 ϕ_i of 15days.

新出生和迁入个体数平均为 10.76, 占总种群 20.5%。总体看来, 黑线仓鼠的月均存留率差别不大, 而1986年新出生和迁入个体率比1988年高。另外, 1988年第2期的存留率估算值略大于1, 这可能是由较大的估算标准差($S(\phi_i) = 0.5780$)所造成的(表4)。

表 4 黑线仓鼠种群参数估计

Table 4 Estimating the population parameters of *C. barabensis*

年 份 Year	i	Mi	Ni	ϕ_i	Bi	Pi	ρ_i	S(Ni)	S(ϕ_i)	S(Bi)	S(Ni/ni)
1986	1	—	—	0.8780*	—	—	—	—	—	—	—
	2	95.35	198.33	0.7193	28.35	0.262	0.481	45.78	0.210	32.41	45.58
	3	88.00	171.1	0.8633	90.48	0.205	0.514	49.10	0.208	48.07	48.59
	4	69.66	203.95	0.7036	68.49	0.201	0.341	61.59	0.199	49.78	61.10
	5	68.00	212.00	—	—	—	0.321	59.90	—	—	59.26
1988	1	—	—	0.6220	—	—	—	—	—	—	—
	2	19.0	57.0	1.2525	13.78	0.421	0.393	16.95	0.5760	32.40	10.20
	3	41.39	82.67	0.6618	-9.71	0.097	0.667	47.49	0.3841	22.78	37.55
	4	30.0	45.0	0.5813	39.98	0.133	0.281	16.41	0.2463	16.41	17.66
	5	18.6	86.13	0.0135	-9.74	0.484	0.75	17.41	0.1184	16.53	9.73
	6	38.0	50.67	0.8636	6.91	0.355	0.75	15.22	0.1170	11.85	7.93
	7	38.0	50.67	0.8561	23.59	0.474	0.563	8.34	0.1125	6.29	4.66
	8	37.67	66.96	0.7129	10.45	0.717	0.719	8.95	0.1125	5.90	5.66
	9	41.82	58.19	0.8633	5.83	0.550	0.783	9.87	0.1406	9.01	7.15
	10	43.88	56.06	0.5115	15.77	0.360	0.563	13.55	0.2667	7.70	10.1
	11	25.0	44.44	0.75	0.287	0.417	0.714	10.60	0.2409	5.25	8.55
	12	24.0	33.6	0.8286	5.28	0.455	0.667	9.28	0.3995	23.38	7.38
	13	17.6	26.4	0.6944	26.67	0.430	0.333	28.62	0.3034	21.40	22.45
	14	15.0	45.0	—	—	—	—	—	—	—	—

注: * 已转换为每15d存留率。 ϕ_i of 15 days.

比较大仓鼠和黑线仓鼠各参数,可以看出大仓鼠存留率和标记种群比例比黑线仓鼠小,新出生和迁入个体比例比黑线仓鼠大,这说明大仓鼠比黑线仓鼠流动性较大。而黑线仓鼠比大仓鼠偏向较长时间定居在某地方。

表 5 Leslie法对大仓鼠再捕率的检验

Table 5 Verification of recapture probability of *C. triton* by Leslie method

i	f'			Ri	mi. i+1
	4	1	2		
2 释放*	59	36		95	
3 再捕**	7	7			14
理论值***	8.6947	5.3053			
3 释放	98	9	8	115	
4 再捕	8	0	0		3
理论值	2.5565	0.2348	0.2087		
4 释放	53	3		56	
5 再捕	2	1			3
理论值	2.6393	0.1607			
5 释放	33	3	1	37	
6 再捕	6	1	0		6
理论值	5.3514	0.4865	0.1632		
X^2 测验 (X^2 Verification)	$X^2 = 6.7510$ $X^2_{0.05} = 16.9$			$f = 9$ $X^2 < X^2_{0.05}$	差异不显著 (Not Significant)

* Release **Recapture ***Theoretical value f' number of captures

2.3 再捕获率的检验

等捕性是 Jolly-Seber 模型中较重要的假设。由于鼠类通常对捕鼠笼有喜笼和厌笼反应, 经过若干次捕获次数后的个体更容易或更不容易再捕获。有必要对大仓鼠和黑线仓鼠种群的等捕性进行检验。现将利用 Leslie 等(1953)提出的方法^[7], 对1986年大仓鼠和黑线仓鼠标记重捕资料的分析结果列于表 5、表 6。

χ^2 检验结果表明, 不同捕获次数的大仓鼠和黑线仓鼠的再捕率均无显著性差异。所以, 利用 Jolly-Seber 模型估计大仓鼠和黑线仓鼠种群参数时, 可以忽略非等捕获性的影响。

表 6 Leslie 法对黑线仓鼠再捕率的检验
Table 6 Verification of recapture probability of *C. barabensis* by Leslie method

i	f'				R_i	$m_i, i+1$
	0	1	2	3		
2 释放	27	25			52	
3 再捕	4	4				8
理论值	4.1539	3.8462				
3 释放	17	14	4		35	
4 再捕	3	2	0			5
理论值	2.4286	2.00	0.5714			
4 释放	27	9	4	1	41	
5 再捕	5	5	0	0		10
理论值	6.5854	2.1951	0.9756	0.2439		
5 释放	34	14	2	1	51	
6 再捕	12	3	0	1		16
理论值	10.667	4.3822	0.6276	0.3137		
χ^2 测验 (χ^2 verification)		$\chi^2 = 8.6912$ $\chi^2_{0.05} = 21$	$f = 12$ $\chi^2 < \chi^2_{0.05}$			差异不显著 (Not significant)

3 讨论

利用标记重捕法估计种群参数的可行性对不同的鼠类是不一样的。过去 Kikkawa (1964)^[8] 和 Tanton (1965)^[9] 发现用标记重捕法对林姬鼠 (*Apodemus sylvaticus*) 种群参数估计很难令人满意。Tanton (1969)^[4] 对姬鼠和鼯类的研究认为用 J-S 方法对这两种鼠的估计不可靠, 原因是标记后个体混合不均匀, 不等捕性等。Nichols 等 (1983; 1984)^[10,11] 认为 J-S 模型对小型哺乳动物种群比较可靠, 既使在异质和笼捕影响下的也是这样。本文通过对大仓鼠和黑线仓鼠的标记重捕和估计, 认为该方法对研究大仓鼠和黑线仓鼠这两个种群是可行的。关于等捕性问题, Leslie 等 (1953) 对黑田鼠 (*Microtus agrestis*) 的研究中发现捕获次数与再捕率无关^[7]。研究结果表明, 大仓鼠种群也不存在非等捕性问题。

Jolly-Seber 法估算的参数中, 种群大小和存留率有重要的应用意义。通常采用的相对数量调查方法如铗捕法、笼捕法所获得的数量易受多种因素如天气等的影响, 而种群大小则相对稳定得多, 能反映种群的实际情况, 而且还能估算单位面积 (如 1 hm^2) 内种群的绝对数量。这对计算鼠类危害、天敌对鼠类的捕食效应都是必不可少的。尤其结合当时的笼捕率或铗捕率, 可以计算对应 1% 笼捕率或铗捕率的 1 hm^2 内的鼠类只数。这样应用起来会更方便些。但是, 值得注意的是 Jolly-Seber 估算的种群大小 N_i 仍然包含一些活捕笼网格 (1 hm^2) 外的鼠类。在以后工作中应考虑校正“边缘效应”对鼠类绝对密度的偏高估算, 存留率实际上与死亡和扩散两方面因素有关。但它有可能反映种群高密度和低密度对存活、扩散的综合反

馈作用。若能估算相应时间的死亡率(张知彬等1990)^[12],则可较容易地从存留率中分离出扩散率这个重要参数来。

标记重捕间隔大小对成功与否有很大的关系。若采样过于频繁,会扰乱标记区的种群,也可能影响标记个体的再捕率;若过大,又会失去过多信息。从本文的实践来看,每次标记1d,间隔10—15d是比较适宜的。

参 考 文 献

- [1] 伊藤嘉绍,村井 实.动物生态学研究方法.郭祥光,张志庆译.北京:科学出版社,1977, 638
- [2] Jolly G M. Explicit estimation from capture-recapture data with both death and immigration stochastic model. *Biometrika*, 1985, 52:249—259
- [3] Dorroch M T. The multiple recapture census. I. Estimation of a closed population. *Biometrika*, 1958, 45:343—359
- [4] Tanton M T. The estimation and biology of populations of the bank vole (*Clethrionomys glareolus* Schr.) and wood mouse (*Apodemus sylvaticus* L.). *J. Anim. Ecol.* 1969, 38(3):511—529
- [5] 夏武平,龙 志.湖北长阳黑线姬鼠种群与巢区的生态资料.见:灭鼠和鼠类生物学研究报告,1978, 3:85—94
- [6] 王学高,戴克华.高原鼠兔*Ochotona curzoniae*自然寿命研究.兽类学报,1989, 9(1):56—62
- [7] Leslie P H, chitty D and chitty H. The estimation of population parameters from data obtained by means of the capture-recapture method. I. An example of the practical application of the method. *Biometrika*, 1953, 40:137—169
- [8] Kikkawa J. Movement, activity and distribution of the small rodents *Clethrionomys glareolus* and *Apodemus sylvaticus* in woodland. *J. Animal Ecol.*, 1964, 33(2):259—299
- [9] Tanton M T. Problems of live-trapping and population estimation for the wood mouse *Apodemus sylvaticus* (L.). *J. Anim. Ecol.*, 1965, 34(1):1—21
- [10] Nichols J D and Pollock K H. Estimation methodology in contemporary small mammal capture-recapture studies. *J. Mammal*, 1983, 64:253—260
- [11] Nichols J D, Pollock K H and Hines J E. The use of a robust capture-recapture design in small mammal population studies: A field example with *Microtus pennsylvanicus*. *Acta Theriol.*, 1984, 29(26):357—365
- [12] 张知彬,朱 靖等.大仓鼠种群季节动态的模拟模型.动物学报,1990, 36(1):136—143

ESTIMATING SOME POPULATION PARAMETERS OF *CRICETULUS TRITON* AND *C. BARABENSIS* BY USING CMR AND JOLLY-SEBER METHODS

Zhang Zhi-Bin Zhu Jing Yang He-Fang

(Institute of Zoology, Academia Sinica, Beijing 100080)

By using capture-mark-recapture and Jolly-Seber methods, some population parameters of *C. triton* and *C. barabensis* in Hebei, China, were estimated in 1986 and 1988. It was found that the "survival rate" (including mortality and dispersal) of *C. triton* was smaller than that of *C. barabensis* and negatively related to population density. Both *C. triton* and *C. barabensis* showed equal probability of being trapped despite of different times of being trapped before.

Key words capture-mark-recapture, Jolly-Seber model, *Cricetulus triton*, *C. barabensis*, population parameters.