

229-234

兽类学报1995, 15 (3): 229-234

Acta Theriologica Sinica

鼠类不育控制的生态学基础

张知彬

(中国科学院动物研究所, 北京, 100080)

Q 959.837

摘 要

(1) 不育控制是与传统的单一化学灭杀截然不同的鼠害防治策略, 它着重于降低种群生育率来达到控制鼠类数量的目的。(2) 传统不育控制在不育个体对生育个体的竞争性繁殖干扰方面注意不够, 低估了不育控制的潜力。(3) 本文依据生态学原理, 经过数学推理和分析后认为, 即使在不考虑竞争性繁殖干扰的情况下, 不育控制基本上可以达到同样水平单纯灭杀的控制效果; 若再考虑到不育个体的竞争性繁殖干扰作用, 不育控制的实际效果将明显优于单纯灭杀。(4) 本文认为, 若能将不育控制与传统灭杀有机结合起来, 既能发挥化学灭杀快速的优点, 又能最大地发挥不育控制的竞争性繁殖干扰作用, 利于消灭残鼠, 抑制鼠类数量的快速恢复。

关键词 鼠类; 生育率控制; 种群控制; 竞争性繁殖干扰; 综合防治

不育控制 (Contraception control), 就是借助某种技术和方法使雄性或雌性绝育, 或阻碍胚胎着床发育, 甚至使幼体阻断生长发育, 以降低鼠类的生育率, 控制其种群数量和密度。其实质上就是生育率控制 (Birth control)。它与传统化学灭杀策略截然不同, 前者是通过降低种群的生育率, 后者采取增加种群的死亡率。但都是为了达到降低种群数量的目的。

不育控制的概念最早由 Knippling (1959, 1960) 提出。Davis (1961) 和 Wetherbee (1965) 较早地开展了应用化学不育剂 (Chemosterilant) 如三乙撑三聚氰酰胺 (Triethylenelamine, TEM) 来控制褐家鼠 (*Rattus norvegicus*) 种群数量的研究。一直到70年代中期, 化学不育剂曾是研究的热点 (Marsh, 1973; Marsh 等, 1973)。随后, 不育控制的研究基本上处在停滞阶段, 主要是因为人们对不育控制的潜力认识不足, 以致人们常问: “既要不育, 何不杀死呢?” 以致不育控制的研究和应用受到了不利的影响。80年代中后期以来, 不育剂的研究又活跃起来, 并有两种不育剂已形成商品化, 它们分别是 Epi-bloc[®] 和 Glyzophro[®], 在美国、加拿大、印度等国家已广泛用于野鼠的控制 (Ericsson, 1982; 朱靖等, 1988)。90年代初, 免疫不育 (Immuno-contraception) 技术渗透到鼠类不育控制领域。目前已形成几种鼠类的不育疫苗 (Millar 等, 1989; Miller, 1993)。由于不育疫苗是蛋白质, 不会污染环境, 易被公众接受, 有可能给鼠害防治带来一次革命。

不育控制的研究再次受到世人的关注有以下原因: 一是单纯依靠化学灭杀的作法并未取得满意效果。有些地区的鼠害问题不但没有缓解, 反而愈来愈严重。由于害鼠繁殖力极强, 加之快速灭杀后造成许多“真空”环境, 刺激残鼠迅速繁殖、恢复、甚至超过原有水平。于是人们希望寻求另外途径, 能够较长期地压低鼠类的数量, 抑制其超补偿性

• 本文于1994年8月30日收到, 1995年5月30日收到修改稿

(Over-compensation) 增殖。不育控制比较能够满足这些要求。因为不育个体除不再生殖外，还继续占有配偶，巢域，消耗资源，保持社群紧张，所以能抑制了种群快速恢复。二是不育剂比较安全，环境污染小，易被公众所接受。三是近年来，西方动物权益组织 (Animal Rights and Welfare Organization) 对传统的灭杀手段颇有责难，认为太不人道，而不育控制却较少地涉及到这些问题。这些新形势迫使一些国家开始转变鼠害防治策略。不育控制则是其中的一个重要内容。

以往不育控制的思想局限在两个方面：一是不育个体不再繁殖，降低了种群的生育率；二是不育个体继续占领巢域，消耗资源，保持紧张的社群压力，抑制种群恢复。但是，不育个体对正常生育个体的竞争性繁殖干扰 (Competitively Reproductive Interference) 的考虑很不够，因而低估了不育控制的潜力。为更清楚地说明不育控制的生态作用，本文采用了数学模型来给予解释。

不育控制模型与分析

为建立不育控制下鼠类的数量增长模型，有必要使用框图先作一整体分析 (图1)。从图1中可以看出：只有生育个体才能补充新生个体；通过不育措施使种群保持一定比例的不育个体，这些不育个体不能产生后代，因而降低了种群的生育率；如果不育是终生不育的，则不存在不育逆转，否则将有一定比例的不育个体恢复生育力；图1中的虚线表明了不育个体对生育个体的竞争性繁殖干扰，它也会降低种群的生育率。为简要说明问题，这里暂不考虑扩散的影响。

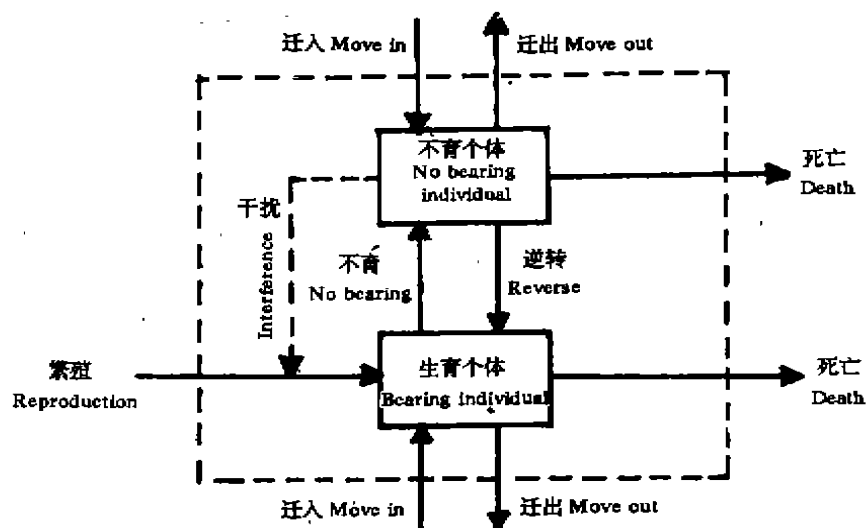


图1 鼠类不育控制的示意框图

Fig. 1 The diagram of rodent control by contraception

根据有无竞争性繁殖干扰，分两种情况来考虑：

1. 无竞争性繁殖干扰时的不育效果

假定(a)无迁入和迁出的影响；(b)没有竞争性繁殖干扰的作用；(c)种群是均质的，交配是随机的；(d)种群相对增长率与密度成负相关；(e)不育个体的存活率为种群平均值。

设 N_t , N_{t+1} 为 t , $t+1$ 年份种群数量; rm 为种群内禀增长率; K 为种群环境容纳量; S 为种群平均存活率; L_t 为种群周限增长率, 且 $L_t = e^{rm(1-N_t/K)}$ (见陈兰荪等, 1993); T 为不育持续时间, 当 $1/T=0$ 时, 为终身不育; P_k 为灭杀率; P_s 为不育率, 即不育个体占总体的比率; a 为种群控制系数, 它代表环境容纳量的倍数, $0 \leq a \leq 1$; L 为 $e^{rm(1-a)}$ 。

若想通过不育将种群控制在 $a \cdot K$ 水平, 即 $N_t = N_{t+1} = a \cdot K$, 则:

$$\begin{aligned} N_{t+1} &= N_t \cdot P_s \cdot S + N_t \cdot (1 - P_s) \cdot L_t \\ a \cdot K &= a \cdot K \cdot P_s \cdot S + a \cdot K \cdot (1 - P_s) \cdot L \\ P_s &= (1 - L) / (S - L) \end{aligned} \quad (1)$$

为比较起见, 单纯灭杀时, 若将种群控制在 $a \cdot K$, 即 $N_t = N_{t+1} = a \cdot K$, 则:

$$\begin{aligned} N_{t+1} &= N_t \cdot (1 - P_k) \cdot L_t \\ a \cdot K &= a \cdot K \cdot (1 - P_k) \cdot L \\ P_k &= \frac{1 - L}{-L} \end{aligned} \quad (2)$$

由于鼠类寿命较短, 大约一年左右, 即年存活率 S 接近于零, 所以公式 (1) (2) 基本上一致。这说明, 即使不考虑竞争性繁殖干扰的作用, 不育控制也可达到传统灭杀的效果。

举一例来进一步说明之。假如将一个体重为 100 克的小型鼠类控制在其原有容纳量的 $1/4$ 时, 因其 rm 为 3.4, $S=0.08$ (依 Caughley 等, 1983; 张知彬, 1994), 那么依公式 (1) (2), 可求得所需的 P_k 、 P_s 分别是 0.9219、0.9277。 P_k 、 P_s 值差别很小。也就是说, 相同的 P_k 和 P_s 可以达到类似的控制效果。

2. 有竞争性繁殖干扰作用时的不育效果

以上假设除 b 外, 假设 a , c , d , e 仍成立, 并有假设: (f) 有竞争性繁殖干扰; (g) 雌雄同样不育; (h) 雌雄性比为 1: 1; (i) 不育与正常个体之间的交配为随机的。

又设: n 为一个繁殖期或季节有效交配次数 (有效指能使雌鼠怀孕); c 为竞争性繁殖干扰系数, 且 $0 \leq c \leq 1$; P_s 为由于竞争性繁殖干扰的存在, 实际繁殖个体的比例, $P_s \leq 1 - P_k$ 。

在一个随机交配的群体中, 由于不育雄性占 P_s , 生育雄性占 $1 - P_s$, 不育雌性占 P_s , 生育雌性占 $1 - P_s$, 那么, 经过 n 次有效交配后, P_r 为:

$$\begin{aligned} P_r &= (1 - P_s)^n + P_s (1 - P_s)^{n-1} + P_s^2 (1 - P_s)^{n-2} + \dots + P_s^{n-1} (1 - P_s) + P_s^n \\ &= (1 - P_s) (1 - P_s^n) \end{aligned} \quad (3)$$

由于没有竞争性繁殖干扰的情况下, 生育个体的比例是 $1 - P_s$, 显然公式 (3) 中, $1 - P_s^n$ 是竞争性繁殖干扰的作用结果。故令:

$$c = 1 - P_s^n \quad (4)$$

这样, 公式 (1) 应修改为:

$$P_s = \frac{1 - c \cdot L}{S - c \cdot L} \quad (5)$$

求得 a 与 P_s 的关系:

$$a = 1 - \frac{\ln \{ (1 - P_s) / [(1 - P_s) (1 - P_s^n)] \}}{rm} \quad (6)$$

为比较起见, 也给出单纯灭杀时 a 与 P_k 的关系:

$$a = 1 - \frac{\ln [(1 - P_s \cdot S) / (1 - P_s)]}{rm} \quad (7)$$

现举一例进一步说明之。仍然以100克重的小型鼠类为例， rm 为3.4， S 为0.08。根据公式(6)，对于给定的 P_s ， n ，可以求得种群数量控制系数为 a (图2)。图2说明， P_s 越大，种群数量就越低，但与有效繁殖次数 n 有关。当 $n=1$ 时，竞争性繁殖干扰的作用最大，但是随着 n 的增加，竞争性繁殖干扰的作用锐减；当 n 接近无穷大时，它就是无竞争性繁殖干扰的情况，如同公式(1)，也类似公式(7)。

不育个体的竞争性繁殖干扰作用，使我们对不育控制鼠类增添了信心。如前所述，若将100克体重大小的鼠类种群控制在 $K/4$ 时，每年所需的单纯灭杀率 P_k 为92.12%，这在实际灭鼠活动中很难达到，更不用说将种群在 $K/10$ 水平了。但是，从图2可知，在有最大竞争性繁殖干扰的情况下($n=1$)，只需要80%的不育率便可将鼠类种群控制在其环境容纳量的1/10以下！若不育率接近90%时，有可能完全消灭鼠类(即 $a \leq 0$)。

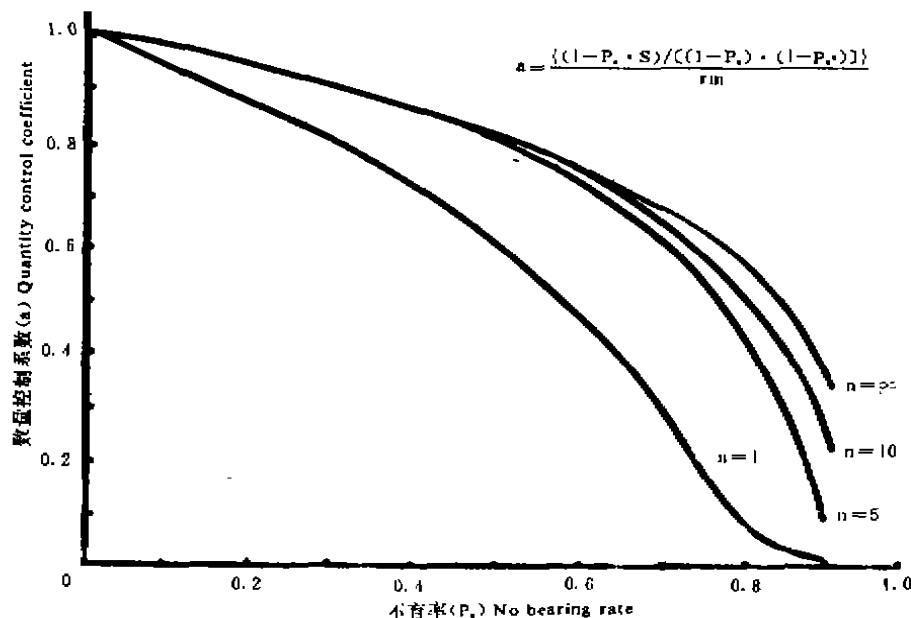


图2 不育竞争性繁殖干扰对鼠类种群数量控制的影响 ($1/T=0$)

Fig. 2 The impact of competitively interference of reproduction by sterile individuals on the population control ($1/T=0$)

可是，由于不育个体的竞争性繁殖干扰会随 n 的增加而锐减，人们很自然地怀疑它的实际作用。这种怀疑不是毫无根据的。因为对于小型鼠类来讲，它们在一个繁殖周期内的确能交配许多次。但是，由于雌鼠具有一周左右的动情期，造成有效怀孕需要不止一次的交配。实际雄鼠有效交配次数在一个繁殖周期内(按2月计)也不过10余次。若再考虑到不育个体交配形成的“假孕”(Pseudo-pregnancy)，即不育雄鼠与雌鼠交配后，雌鼠出现14天左右的假怀孕(Marsh, 1988)，阻止再与正常雄鼠交配，这样实际有效交配次数则还要少。所以，从这个角度讲，竞争性繁殖干扰的作用不可忽视。

另一方面，不育控制后期(或者先借助化学灭杀)，由于鼠类的数量较为稀少，种群个体之间的雌雄交配可能不再是随机的，而是具有较强的固定性，非常类似严格的“一雌一雄”婚配体制。这种情况基本属于上述 $n=1$ 时的情况。数学推理也证实了这一点。由于雌雄不育和生育个体的比例为 P_s ， $1-P_s$ ，那么，类似“一雌一雄”婚配体制的不育

和生育个体之间的配对情况如表1。

表1 类似“一雌一雄”婚配体制中不育和生育雌雄配对概率

Table 1 The probability of pairings between sterile and reproductive individuals for monogamy animals

配对情况 Pairings	概率 Probability	繁殖情况 Reproduction
不育雌-不育雌	$P_s \cdot P_s$	否
不育雌-生育雌	$P_s \cdot (1 - P_s)$	否
生育雌-不育雌	$(1 - P_s) \cdot P_s$	否
生育雌-生育雌	$(1 - P_s) \cdot (1 - P_s)$	是

由于没有不育个体的竞争性繁殖干扰作用的情况下，能繁殖雌体的比例为 $1 - P_s$ ，而现在为 $(1 - P_s) \cdot (1 - P_s)$ （表1），显然竞争性繁殖干扰系数 $c = 1 - P_s$ ，恰好等同于当 $n = 1$ 时的竞争性繁殖干扰系数 $(1 - P_{s'}) = 1 - P_s$ 。

从生态生物学意义上，也不难理解不育个体的竞争性繁殖干扰的作用。不仅绝育了的雌鼠不能繁殖，补充新生个体，而且绝育了的雄鼠也发挥了作用，使与其配偶的有生育能力的雌鼠也不能繁殖，或者绝育了的雌鼠还阻碍有生育能力的雄鼠与有生育能力的雌鼠配对。这就发挥了不育控制鼠类数量的最大潜力。

不育控制的策略与潜力

不育个体的竞争性繁殖干扰从生态学理论上肯定了不育控制的策略和潜力，并认为，它若与化学灭杀有机地结合起来，能起到比单纯使用化学灭杀更好的效果，尤其在消灭残鼠，抑制残鼠数量恢复上更有优越性。

有人认为，不育剂不适合那些不允许有一只鼠存在的场所如商店、仓库、机场等地方，而较适合野外鼠类的防治。但是，这种认识是片面的。因为实践证明，即使使用所有的灭杀手段，也不可能将某种环境的鼠类全部消灭光。所以残鼠的存在是一个事实。当鼠类密度降到很低时，再灭杀已十分困难。在这种情况下，不育控制可以发挥无法替代的作用，主要是发挥竞争性繁殖干扰的作用。有三种策略：一是将不育剂与杀鼠剂配伍，形成不育杀鼠剂。首先消灭80%左右的个体，残鼠又不育。由于不育残鼠的竞争性繁殖干扰的作用，将会使少量的生育残鼠，甚至迁来的正常鼠也无法繁殖，能够达到较长期控制鼠类数量的目的。二是不育剂与杀鼠剂交替使用。先用杀鼠剂降低鼠类种群数量，然后用不育剂“扫残”。同样可以达到第一种策略的目的。三是在鼠类密度低时，只使用不育剂，作为预防措施。

上述的前两种策略结合了传统化学灭杀快速的优点，克服了不育剂作用较慢的缺点，比较适合我国的国情和需要。我们使用这种策略，在防治华北农田大仓鼠上已取得了较好的结果。使用不育杀鼠剂后，种群数量在繁殖季节不仅没有回升，反而持续下降。

不育控制的目的在于最大限度地降低鼠类的生育力，因此在使用时期的选择上应予以注意。要尽量在鼠类种群繁殖高峰到来之前采取措施。在北方，鼠类在冬季一般不繁殖或繁殖率极低，到春季开始繁殖，秋季形成高峰。在春季采取措施是理想的，因为这时期越冬鼠基数低，利于发挥不育个体的竞争性繁殖干扰作用。在考虑时期时，还要注意不育剂的特点。有些不育剂主要是干扰胚胎着床或发育，应在妊娠峰期使用。

可见，不育控制在鼠害综合治理中是具有很大潜力的，尤其是近两年不育疫苗的出现，不育控制将具有更为广阔的前景。

参 考 文 献

- 朱端, 张知彬. 1988. 农牧业鼠害综合治理的研究现状及对策. 农牧情报研究, 7: 1—10.
- 陈兰荪, 陈健. 1993. 非线性生物动力系统. 北京: 科学出版社. p55.
- 张知彬. 1994. 兽类的死亡率. 动物学报, 40 (2): 137—142.
- Caughley G, Krebs C J. 1993. Are big animals simply writ large? *Oecologia (Berl.)*, 59: 7—17.
- Davis D E. 1961. Principles for population control by gametocides. *Trans. N Am Wildl Conf.* 26: 160.
- Ericsson R J. 1982. Alphachlorohydrin (Epibloc): a toxicant sterilant as an alternative in rodent control. *Proc. of Tenth Vertebrate Pest Conference (R. E. Marsh ed.)*. 6—9.
- Knipling E F. 1959. Sterile male method of population control. *Science*, 130: 902—904.
- Knipling E F. 1960. Use of insects for their own destruction. *J Econ Entomol*, 53 (3): 415—420.
- Lazarus A B, Rowe F P. 1982. Reproduction in an island population of Norway rats, *Rattus norvegicus* (Berk) treated with an estrogenic steroid. *AgroEcosystems*, 8: 59—67.
- Marsh R E. 1988. Chemosterilants for rodent control. In: *Rodent Pest Management (I. Prakash ed.)*. 353—367.
- Marsh R E, Howard W E. 1973. Prospects of chemosterilants and genetic control of rodents. *Bull. WHO*, 48: 309.
- Millar S E, Chamow S M, Baur A W, Liver C, Robery F, Dean J. 1989. Vaccination with a synthetic zona pellucida peptide produces long-term contraception in female mice. *Science*, 246: 935—938.
- Miller L A. 1993. Comparative efficacy of two immuno-contraceptive vaccines for controlling wild Norway rats (Abstracts), p6. *Symposium on Contraception in Wildlife Management*, Oct. Denver, Colorado. 26—28.
- Wetherbee D K. 1965. Vertebrate pest control by biological means. *WHO/EBL/31. 65*, World Health Organization, Geneva, 1.

THE ECOLOGICAL FUNDAMENTALS OF RODENT CONTROL BY CONTRACEPTION

ZHANG Zhibin

(Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

Abstract

1. The contraception control is a different strategy of rodent management from the traditional culling which emphasize on reducing the birth rate instead of increasing mortality of rodent population.

2. In the strategy of traditional contraception control, the competitively reproductive interference by sterile individuals to reproductive ones was ignored and thus the potentiality of contraception in rodent control was less estimated.

3. After theoretical analysis we believe contraception is as effective as traditional culling in controlling rodents even without consideration of competitively reproductive interference by sterile individuals. If such interference is taken into account, contraception may be much better than culling.

4. A new strategy of using contraception was suggested in this paper. It focused on the combination between the contraception control and culling. In this way, The new strategy owned both the advantages of contraception control and culling, i. e. crash rodent population quickly and keep them at a very low level for a long time.

Key words Rodent; Contraception control; Birth control; Competitively reproductive interference; rodent control