

鼠害治理下有效洞与废弃洞的动态*

刘汉武^{1**} 王荣欣² 周华坤³ 张凤琴¹ 李秋英¹

(¹运城学院应用数学系, 山西运城 044000; ²河北科技大学理学院, 石家庄 050018; ³中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

摘要 害鼠给经济、生态等带来很大损失,但作为生态系统的一员,鼠类的存在对有些生物是有益的,它们的洞穴可以作为鸟类等生物的栖息场所,鼠洞的多少反映了这些生物的生存条件。在鼠害治理中,不能将害鼠彻底消灭,否则将危害到得益于它们的生物。本文通过数学模型研究了害鼠治理下废弃洞、有效洞以及废弃洞数量/有效洞数量的动态规律,分析了治理措施、治理强度对鼠洞数量的影响。其中有效洞代表害鼠的数量,废弃洞(有时要加上有效洞)代表得益于害鼠的动物的生存条件。在任何治理措施下,有效洞数量都减少,但废弃洞数量可能增加也可能减少,受控制强度及种群参数的影响。废弃洞数量/有效洞数量在综合治理时不变,在不育控制时减少,在其他情况下增加。

关键词 害鼠治理;有效洞;废弃洞;数学模型

中图分类号 O29;Q958.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)11-3037-06

Dynamic patterns of available and abandoned holes under rodent pest control. LIU Hanwu^{1**}, WANG Rong-xin², ZHOU Hua-kun³, ZHANG Feng-qin¹, LI Qiu-ying¹ (¹ Department of Applied Mathematics, Yuncheng University, Yuncheng 044000, Shanxi, China; ² Science College, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China; ³ Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(11): 3037-3042.

Abstract: Rodent pests often cause large damage to economy and ecology. However, as a member of many ecosystems, rodents are beneficial to other species. Some birds live in the rodents abandoned holes, and thus, the quantity of abandoned holes reflects the dynamics of these bird populations. In rodent pest control, rodents should not be exterminated thoroughly, because it would damage the species that benefit from rodents. In this paper, mathematical models were used to study the dynamic patterns of the quantities of the abandoned and available holes and their ratios, with the effects of rodent pest control measures and intensities on the changes of the rodent available and abandoned holes quantities analyzed. The quantity of available holes represented the population density of rodent pests, while the quantity of abandoned holes (sometimes both the available and the abandoned holes) represented the life conditions of the species that benefit from rodent pests. It was shown that under any control measures, the quantity of available holes was decreased, while that of abandoned holes was increased or decreased, depending on the control intensity and the population parameters of rodent species. The ratio of the abandoned holes to the available holes was unchanged under comprehensive control, decreased under contraception control, and increased under other control measures.

Key words: rodent pest control; available hole; abandoned hole; mathematical model.

人们采取灭杀、不育控制、释放或招引天敌、驱避、综合治理等方法对害鼠进行控制,减少害鼠的数

量,降低鼠害造成的损失。鼠类与物种之间有着紧密的联系,鼠类数量的变化对有些物种有害,对有些物种有利(Davidson *et al.*, 2012)。本文主要考虑害鼠治理对利用鼠洞栖息繁殖的其他物种的影响。

鼠类有很强的挖掘能力,可以建造结构复杂的

* 国家自然科学基金项目(11226258, 11241005, 31172247, 41030105)和运城学院科研项目(YQ-2011046)资助。

** 通讯作者 E-mail: liuhanwu-china@163.com

收稿日期: 2013-04-09 接受日期: 2013-06-28

洞穴, 栖息繁衍。在一些地方, 有些鸟类、小哺乳动物、两栖爬行动物、昆虫等栖息在鼠洞中 (Davidson *et al.*, 2012)。目前, 这方面的研究还比较少, 仅停留在观察上。

沈孝宙等 (1962) 认为, 鸟类只是利用废弃的鼠洞或者有多个出口的鼠洞的其中一个出口, 在中国和蒙古人民共和国所发现的营巢于鼠洞中的鸟类有雪雀属 (*Montifringilla*)、鸺属 (*Oenanthe*)、褐背地鸦 (*Podoces humilis*)、角百灵 (*Eremophila alpestris*)、赭红尾鸺 (*Phoenicurus ochruros*), 洞穴被这些鸟类栖息的鼠类有旱獭属 (*Marmota*)、鼠兔属 (*Ochotona*)、仓鼠属 (*Cricetulus*)、多种黄鼠 (*Citellus*)、布氏田鼠 (*Microtus brandei*)。高中信等 (1965) 发现, 沙鸺建巢在达乌尔黄鼠 (*Citellus dauricus*) 和草原旱獭 (*Marmota bobak*) 的废弃洞或临时洞中。褐背拟地鸦 (*Pseudopodoces humilis*) 和一些雪雀在高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 的洞穴中筑巢 (张晓爱, 1982; Smith *et al.*, 1990; Lai & Smith, 2003)。黑喉雪雀 (*Montifringilla davidiana*) 和沙鸺有规律地将巢筑在达乌尔鼠兔 (*Ochotona daurica*) 的洞内 (Smith *et al.*, 1990)。

波斯沙鼠 (*Meriones persicus*)、利比亚沙鼠 (*M. libycus*)、大沙鼠 (*Rhombomys opimus*)、髯丽丽仓鼠 (*Calomyscus mystax*)、灰仓鼠 (*Cricetulus migratorius*)、白牙地鼠 (*Crocidura* spp.) 利用阿富汗鼠兔 (*Ochotona rufescens*) 的洞穴; 在阿尔泰山, 地松鼠 (*Spermophilus undulatus*)、长爪沙鼠 (*Meriones unguiculatus*)、三种跳鼠、仓鼠、田鼠居住在或探访蒙古鼠兔蒙古亚种 (*Ochotona pallasi pricei*) 的洞穴 (Smith *et al.*, 1990)。

两种蜥蜴 (*Phrynocephalus vlangalii*, *Eremias multiocellata*) 以高原鼠兔的洞穴作为隐蔽和繁殖场所 (Smith & Foggin, 1999)。分布于典型草原区的多种蜘蛛、麻蜥 (*Eremias argus*)、白条锦蛇 (*Elaphe diene*)、花背蟾蜍 (*Bufo raddei*) 等多选择废弃鼠洞越冬 (钟文勤, 2008)。高原林蛙 (*Rana kukunoris*) 经常利用鼠洞作为它们的微生境 (Qi *et al.*, 2011)。沈孝宙等 (1962) 观察到高山草原的昆虫也以鼠洞做隐蔽场所。

有关研究也证实了鼠类的存在对其他生物的积极作用。在高原鼠兔洞穴营巢鸟类的窝卵数、出雏数、成活幼鸟数、孵化率和幼鸟体重指数都是最高的, 雏期也最长 (张晓爱, 1982; Zeng & Lu, 2009)。

调查统计表明, 鼠兔多的地方, 鸟类的种类和数量也多 (马鸣和阿布里米提, 1995; Lai & Smith, 2003; 米玛旺堆等, 2008; Arthur *et al.*, 2008)。鼠洞能使节肢动物的总体多样性和丰富度增加 2~3 倍 (Davidson *et al.*, 2012)。

本文利用数学模型来研究鼠害治理下鼠洞的动态规律, 其中, 将鼠洞分为有效洞和废弃洞。有效洞指有鼠类居住的洞, 通常情况下, 鼠类的个体数量与有效洞数成比例, 所以, 有效洞的数量可以反映害鼠的实际数量。废弃洞指由于鼠类死亡或迁移而遗弃的旧洞, 虽然没有研究表明废弃洞数量与利用它的生物数量之间有直接的关系, 但废弃洞多可以为其他生物提供更多的生存机会, 废弃洞少则相反。通过研究模型的性态, 分析治理措施、治理强度、种群参数等对有效洞数量、废弃洞数量、废弃洞数量/有效洞数量动态的影响, 探索鼠害治理对害鼠及相关物种的综合效应。下面依次建立并分析自然状态下、灭杀控制下、不育控制下、天敌控制下的鼠洞动态模型。

1 自然状态下

在自然状态下的害鼠种群, 有效洞的动态过程满足 Logistic 模型, 它的内禀增长率 r 等于出生率 b 减去死亡率 d , 环境容纳量用 K 表示, 有效洞数量表示为 x , 即有 $\frac{dx}{dt} = rx(1 - \frac{x}{K})$ 。项 $r(1 - \frac{x}{K})$ 表示有效洞的实际增长率, 由于种群是密度制约的, 当种群规模增大时, 项 $r(1 - \frac{x}{K})$ 减小, 这可能是由于出生率减小, 也可能是由于死亡率增加, 更可能是由于这两者同时以不同程度发生。将 $r(1 - \frac{x}{K})$ 表示为 B 与 D 的差, 这里 B 和 D 分别为实际的出生率和死亡率, 即

$$B - D = r(1 - \frac{x}{K})$$

$$B = b - \frac{\varepsilon rx}{K}$$

$$D = d + \frac{(1 - \varepsilon) rx}{K}$$

其中, 参数 ε 满足 $0 \leq \varepsilon \leq 1$, 这是因为当 $\varepsilon < 0$ 或 $\varepsilon > 1$ 时不符合实际。 $\varepsilon = 1$ 表示密度制约因素只作用于种群的实际出生率, $\varepsilon = 0$ 表示密度制约因素只作用于种群的实际死亡率, $0 < \varepsilon < 1$ 表示密度制约因素既

作用于种群的的实际出生率又作用于实际死亡率, ε 越大表示密度制约因素对实际出生率 B 的影响越强。有效洞死亡之后变为废弃洞,其数量用 y 表示。经过一定时间废弃洞由于坍塌等原因消失,不再适合被其他生物利用,废弃洞的消失率用 μ 表示。这样可以建立如下的有效洞和废弃洞的动态模型(1),其中 x' 、 y' 分别为 x 、 y 的变化率。

$$\begin{aligned} x' &= rx\left(1 - \frac{x}{K}\right) \\ y' &= \left[d + \frac{(1-\varepsilon)rx}{K} \right] x - \mu y \end{aligned} \quad (1)$$

模型(1)有平衡点 $O_1: x=y=0$, $E_1: x=K, y=(b-\varepsilon r)K/\mu$ 。模型(1)中的第一个方程的解为 $x = \frac{Kx_0}{x_0 + (K-x_0)e^{-r(t-t_0)}}$, 易知对任意的 $x_0 \neq 0$, 当 $t \rightarrow +\infty$ 时, $x \rightarrow K$ 。注意到模型(1)中只有第二个方程含有 y , 可得下面的结论:模型(1)的平衡点 O_1 不稳定, E_1 全局渐近稳定。

在自然情况下,有效洞数量达到环境容纳量 K , 废弃洞数量与 K 成正比,废弃洞数量/有效洞数量为 $(b-\varepsilon r)/\mu$ 。生态环境受到破坏后,适宜鼠类生存, K 增大,有效洞和废弃洞数量线性增加,为利用鼠洞生存的生物提供了更好的生存条件。对鼠害综合治理后, K 减小,有效洞和废弃洞数量线性减少。

2 灭杀控制下

在连续灭杀控制下,有效洞以比例 $p(0 \leq p \leq 1)$ 转化为废弃洞,这样,在模型(1)的基础上可以建立灭杀控制下的动态模型(2)。

$$\begin{aligned} x' &= rx\left(1 - \frac{x}{K}\right) - px \\ y' &= \left[d + \frac{(1-\varepsilon)rx}{K} \right] x + px - \mu y \end{aligned} \quad (2)$$

模型(2)总有平衡点 $O_2: x=y=0$, 当 $r > p$ 时, 还有正平衡点 $E_2: x = (r-p)K/r, y = (r-p)(b-\varepsilon r + \varepsilon p)K/r\mu$ 。用与模型(1)同样的方法, 可得如下结论:模型(2)中, 当 $r < p$ 时, O_2 全局渐近稳定; 当 $r > p$ 时, O_2 不稳定, E_2 全局渐近稳定。

当 $p < r$ 时, 正平衡点存在, 随着 p 的增加, 有效洞线性减少; 若 $2\varepsilon r - b < 0$, 则随着 p 的增加, 废弃洞减少; 若 $2\varepsilon r - b > 0$, 则随着 p 的增加, 废弃洞先增加然后减少。图 1 中 $b = 0.75, d = 0.1, K = 100, \mu = 0.4, \varepsilon = 0.2$ (实线, 此时 $2\varepsilon r - b = -0.4626 < 0$) 或 0.8 (点划线, 此时 $2\varepsilon r - b = 0.3964 > 0$)。

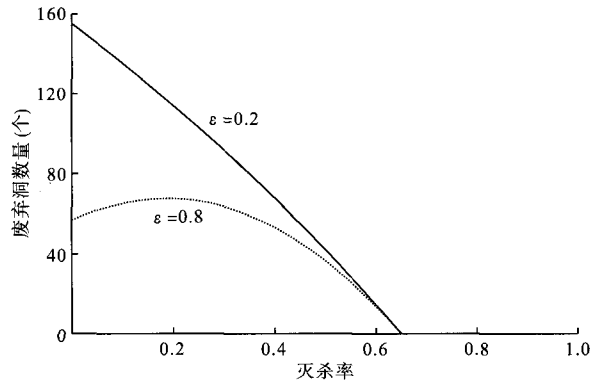


图 1 灭杀控制时废弃洞数量与灭杀率 p 的关系
Fig. 1 Relationship between the amount of abandoned holes and the removal rate p in lethal control

当 $p > r$ 时, 正平衡点消失, 害鼠种群灭绝。

同时, 可以知道如果内禀增长率 $r > 1$, 条件 $p > r$ 不可能成立, 这时不能通过灭杀控制消灭害鼠。

正平衡点存在时, 废弃洞数量/有效洞数量为 $(b-\varepsilon r + \varepsilon p)/\mu$, 比自然状态下的比值大。

3 不育控制下

假设不育控制是连续进行的, 并且将有效洞分为可育洞和不育洞, 用 F 表示可育洞数量, 用 S 表示不育洞数量, 可育洞以比例 $q(0 \leq q \leq 1)$ 转化为不育洞, 可育洞和不育洞以同样比例转化为废弃洞。这样, 在模型(1)的基础上可以建立不育控制下的动态模型(3)。

$$\begin{aligned} F' &= rF\left(1 - \frac{F+S}{K}\right) - qF \\ S' &= qF - \left[d + \frac{r(1-\varepsilon)(F+S)}{K} \right] S \\ y' &= \left[d + \frac{r(1-\varepsilon)(F+S)}{K} \right] (F+S) - \mu y \end{aligned} \quad (3)$$

模型(3)总有平衡点 $O_3: F=S=y=0$, 当 $r > q$ 时, 还有正平衡点 E_3 :

$$\begin{aligned} F &= \frac{d + (1-\varepsilon)(r-q)S}{q} \\ S &= \frac{(r-q)qK}{r[\varepsilon(q+d) + (1-\varepsilon)b]} \\ y &= \frac{(r-q)[d + (1-\varepsilon)(r-q)]K}{r\mu} \end{aligned}$$

对模型(3)有如下结论: 当 $r < q$ 时, 零平衡点 O_3 全局渐近稳定; 当 $r > q$ 时, 零平衡点 O_3 不稳定, 正平衡点 E_3 全局渐近稳定。

两个结论的证明方法类似, 这里只证明第二个

结论,此时 $r > q$ 。

模型(3)的前两个方程不含变量 y ,所以可以考虑由前两个方程组成的系统(3')

$$\begin{aligned} F' &= rF(1 - \frac{F+S}{K}) - qF \\ S' &= qF - [d + \frac{r(1-\varepsilon)(F+S)}{K}]S \end{aligned} \quad (3')$$

相应的平衡点为 $O_3': F = S = 0, E_3' (r > q$ 时存在):

$$\begin{aligned} F^* &= \frac{d+(1-\varepsilon)(r-q)}{q} S^* \\ S^* &= \frac{(r-q)qK}{r[\varepsilon(q+d)+(1-\varepsilon)b]} \end{aligned}$$

在正平衡点 E_3' 处的 Jacobian 矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{rF^*}{K} & -\frac{rF^*}{K} \\ q - \frac{(1-\varepsilon)rS^*}{K} & -d - (1-\varepsilon)(r-q) - \frac{(1-\varepsilon)rS^*}{K} \end{bmatrix}$$

其迹 $\text{tr}A < 0$, 行列式 $|A| = \frac{rF^*(b-\varepsilon r + \varepsilon q)}{K} > 0$, 所以 A 的两个特征根均有负实部,从而 E_3' 局部渐近稳定。类似的方法可以证明 O_3' 不稳定。

在 FOS 平面上,构造三角形区域 OAB (如图2),其中直线 AB 的方程为 $F+S=K$ 。

当 $F = 0$, 即在 S 轴上时, $F' = 0, S' = -[d + \frac{r(1-\varepsilon)S}{K}]S$, 所以当 $S > 0$ 时, $S' < 0$ 。

当 $S = 0$, 即在 F 轴上时, $S' = qF$, 所以当 $F > 0$ 时, $S' > 0$ 。

当 $F+S=K$ 时, $F' = -qF, S' = (q+b-\varepsilon r)F - (b-\varepsilon r)K$ 。所以,当 $0 < F \leq \frac{(b-\varepsilon r)K}{q+b-\varepsilon r}$ 时, $F' < 0, S' \leq 0$; 而当 $\frac{(b-\varepsilon r)K}{q+b-\varepsilon r} < F < K$ 时, $F' < 0$, 且 $\frac{dF}{dS} = \frac{-1}{1 + \frac{b-\varepsilon r}{q}(1 - \frac{K}{F})} < -1$ 。

所以,轨线按图2所示的方向进入区域 OAB , 也就是说区域 OAB 为不变集。

取 Dulac 函数 $H = \frac{1}{F}$, 则当 $F > 0, S > 0$ 时, $\frac{\partial(HF')}{\partial F} + \frac{\partial(HS')}{\partial S} = -d - \frac{r(2-\varepsilon)}{K} - \frac{2r(1-\varepsilon)S}{KF} < 0$, 所以在区域 OAB 内无闭轨。

当 $r > q$ 时,由区域 OAB 为不变集,其内无闭轨、 E_3' 局部渐近稳定, O_3' 不稳定可以得到 E_3' 全局渐近

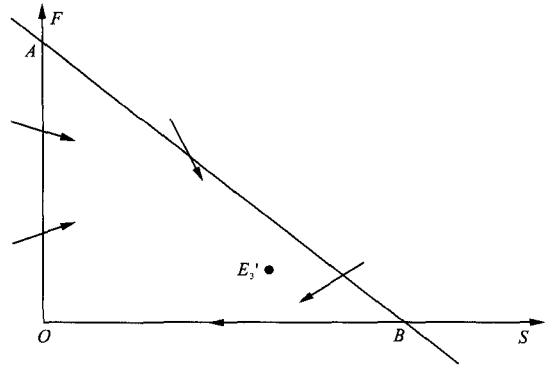


图2 系统(3')的不变集
Fig.2 Invariant set of system (3')

稳定,这完成了证明。

当 $q < r$ 时,正平衡点存在,随着 q 的增加,有效洞线性减少,废弃洞减少。

当 $q > r$ 时,正平衡点消失,害鼠种群灭绝。同时,可以知道如果内禀增长率 $r > 1$,条件 $q > r$ 不可能成立,这时不能通过不育控制消灭害鼠。正平衡点存在时,废弃洞数量/有效洞数量为 $(b-\varepsilon r - q + \varepsilon q) / \mu$, 比自然状态下小。

无论是灭杀控制还是不育控制,害鼠灭绝的条件都相同,即控制强度(p 或 q) 大于种群的内禀增长率 r 。在正平衡点处,如果控制强度相同,则有效洞也相同,不育控制下的废弃洞要少,如图3,其中 $b = 0.75, d = 0.1, K = 100, \mu = 0.4, \varepsilon = 0.6$ 。

控制强度相同,即 $p = q$ 时,尽管在灭杀控制下和不育控制下有效洞数最终都趋于同一数值,但在控制初期,灭杀控制下的有效洞数量下降得要快,同时,在趋于平衡点的过程中,灭杀控制下废弃洞往往更多(图4),其中, $b = 0.75, d = 0.1, K = 100, \mu = 0.4, \varepsilon = 0.6, p = q = 0.5$ 。

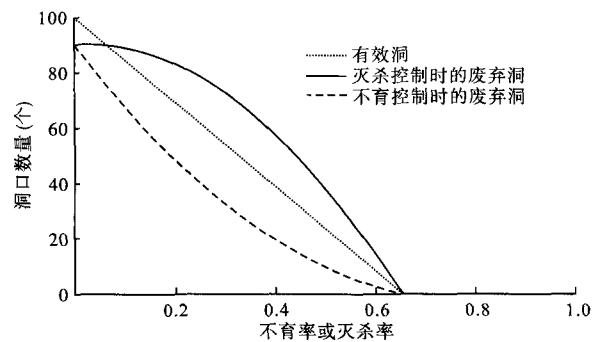


图3 灭杀控制与不育控制下的正平衡点
Fig.3 Positive equilibrium points under lethal control and contraception control

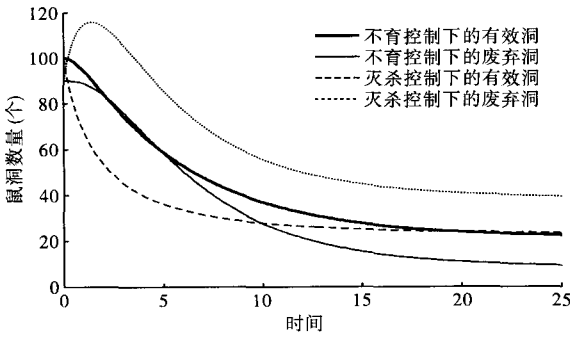


图4 灭杀控制与不育控制下的鼠洞动态
Fig.4 Dynamics of rodent holes under lethal control and contraception control

4 招引或释放天敌

用 N 表示天敌的数量,没有食饵时天敌死亡,且死亡率是密度制约的,天敌对有效洞的捕食率为 β ,有效洞到天敌的转化率为 α ,有效洞被捕食后变为废弃洞,在模型(1)的基础上可以建立天敌控制下的动态模型(4)。

$$\begin{aligned} x' &= rx(1 - \frac{x}{K}) - \beta xN \\ y' &= [d + \frac{(1-\varepsilon)rx}{K}]x - \mu y + \beta xN \\ N' &= (-d_1 - \frac{N}{K_1} + \alpha x)N \end{aligned} \quad (4)$$

模型(4)总有平衡点 $O_4: x=y=N=0$ 和 $B_4: x=K, y=\frac{(b-\varepsilon r)K}{\mu}, N=0$, 当 $\alpha K - d_1 > 0$ 时,还有正平衡点 $E_4: x = \frac{(r+\beta d_1 K_1)K}{r+\alpha\beta K_1 K}, y = \frac{K}{\mu} [b + \frac{r\varepsilon(r+\beta d_1 K_1)}{r+\alpha\beta K_1 K}]$, $N = \frac{rK_1(\alpha K - d_1)}{r+\alpha\beta K_1 K}$ 。

模型(4)的第一个和第三个方程不含变量 y ,所以可以考虑由这两个方程组成的系统(4')

$$\begin{aligned} x' &= rx(1 - \frac{x}{K}) - \beta xN \\ N' &= (-d_1 - \frac{N}{K_1} + \alpha x)N \end{aligned} \quad (4')$$

利用文献(马知恩,1996; Hirsch *et al.*, 2003)中的结论,可以得到下面的结论:当 $\alpha K - d_1 < 0$ 时,边界平衡点 B_4 全局渐近稳定;当 $\alpha K - d_1 > 0$ 时,正平衡点 E_4 全局渐近稳定。

在边界平衡点 B_4 处,天敌不存在,有效洞和废弃洞的数量与自然情况下的相同。与在边界平衡点 B_4 处相比,在正平衡点 E_4 处有效洞的数量减少,而

废弃洞数量/有效洞数量增大。

在防治害鼠时,可以通过堆窝、营造人工鸟巢、设立支架等方法招引害鼠的天敌。招引天敌相当于改变天敌的栖息环境,是增加天敌的环境容纳量,即增加模型(4)中 K_1 的值。从模型(4)正平衡点 E_4 存在的条件 $\alpha K - d_1 > 0$ 中可以看出, K_1 的增加不影响 E_4 是否存在,如果害鼠和天敌不能共存,通过招引天敌也不能促使二者共存,和谐发展。在正平衡点 E_4 处有

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial K_1} &= \frac{r\beta K(d_1 - \alpha K)}{(r + \alpha\beta K_1 K)^2} < 0, \\ \frac{\partial y}{\partial K_1} &= \frac{r\beta K(\alpha K - d_1)}{\mu(r + \alpha\beta K_1 K)^3} [(2r\varepsilon d_1 - \alpha\beta K)\beta K_1 + 2\varepsilon r^2 - br], \\ \frac{\partial(y/x)}{\partial K_1} &= \frac{r^2\varepsilon\beta(\alpha K - d_1)}{\mu(r + \alpha\beta K_1 K)^2} > 0, \end{aligned}$$

所以,当 K_1 增加时,有效洞数量减少,废弃洞数量/有效洞数量增加,而废弃洞数量的变化较复杂,当 $(2r\varepsilon d_1 - \alpha\beta K)\beta K_1 + 2\varepsilon r^2 - br > 0$ 时,废弃洞数量增加,当 $(2r\varepsilon d_1 - \alpha\beta K)\beta K_1 + 2\varepsilon r^2 - br < 0$ 时,废弃洞数量减少。

释放天敌相当于减小天敌的死亡率 d_1 ,释放天敌足够多时,条件 $\alpha K - d_1 > 0$ 会成立,从而天敌和害鼠共存,二者相互制约着协调发展。在正平衡点 E_4 处,当 d_1 减小时,有效洞数量减少,废弃洞数量/有效洞数量增加,而 d_1 对废弃洞数量的影响较复杂,由 $\frac{\partial y}{\partial d_1} = \frac{\beta K_1 K}{\mu(r + \alpha\beta K_1 K)} [b - \frac{2r\varepsilon(r + \beta d_1 K_1)}{r + \alpha\beta K_1 K}]$ 得到,当 $d_1 > \frac{\alpha\beta b K_1 K + br - 2\varepsilon r^2}{2\varepsilon\beta r K_1}$ 时,废弃洞数量随 d_1 增加而减少,当 $d_1 < \frac{\alpha\beta b K_1 K + br - 2\varepsilon r^2}{2\varepsilon\beta r K_1}$ 时,废弃洞数量随 d_1 增加而增加。

5 讨论

作为生态系统的一员,鼠类对维持生态系统平衡有重要的作用(夏武平,1986;陶黎,1995;钟文勤,2008)。但有时鼠类的数量会爆发,破坏生态系统的功能,损害人类的利益。在对害鼠进行防治时,要正确认识鼠类在生态系统中的地位。只看到鼠类的危害,而忽视其生态作用,主张将害鼠不择手段的彻底消灭,或过分强调鼠类的生态作用,无视其造成的危害,任其种群肆意膨胀的观点是错误的。在鼠害

防治中,要找到鼠害产生的原因,采取相应措施将害鼠控制到适当水平,使其发挥其生态作用,且不造成危害。

鼠类的洞穴为其他生物提供了栖息场所,鼠洞的多少反映了其他生物的生存条件。本文通过数学模型研究了害鼠治理下废弃洞、有效洞以及废弃洞数量/有效洞数量的动态规律。从而,对害鼠管理有更全面的认识,科学指导害鼠控制实践,保护生物多样性。

在灭杀控制下,有效洞被灭杀后变为废弃洞。在正平衡点处,虽然废弃洞可能增加,也可能减少,但废弃洞数量/有效洞数量要比自然状态下的大,且随着灭杀率的增加线性增加。因此,对害鼠进行灭杀控制时会有更大比例的废弃洞,这一方面能减少鼠害,另一方面又为利用废弃鼠洞的其他生物保留了较多的生存条件。

不育控制下,新产生的有效洞减少,总的有效洞数量降低,使得密度制约的有效洞实际死亡率降低,废弃洞数量减少。在正平衡点处,废弃洞数量/有效洞数量要比自然状态下的小,且随着不育率的增加线性减少。因此,不育控制可以减少鼠害,但也会给利用废弃鼠洞的其他生物带来一定的生存压力。

近年来,害鼠的天敌因人类直接捕杀和化学杀鼠剂的二次中毒等原因大量减少(魏万红和周文扬,1997),这是增加天敌的死亡率 d_1 。在自然状况下, d_1 较小,条件 $\alpha K - d_1 > 0$ 成立, E_4 存在并且稳定,鼠类和天敌共存;天敌大量意外死亡使得 d_1 增大,条件 $\alpha K - d_1 < 0$ 成立, B_4 稳定,天敌消失,害鼠种群达到环境容纳量。这样看来,天敌的减少可以导致害鼠数量的增多,给人类带来危害,而其始作俑者是人类自己不合理的活动。所以,人类要停止捕杀害鼠的天敌,防止其意外死亡,并对其进行保护。

模型中考虑了害鼠的有效洞和废弃洞的动态过程,有效洞数量反映的是害鼠的数量,废弃洞(有时要加上有效洞)数量反映的是利用鼠洞生存的其他生物的生存条件。利用鼠洞生存的生物得益于害鼠的存在,还有些生物受害于害鼠的存在,如植被。模型中没有包含受害鼠危害的成分,其实,即使包含了,模型也未必完整,因为还存在其他成分,如与害鼠竞争的生物、与害鼠互惠的生物等。生态系统的组分间有着复杂的关系,不可能在一个模型中包含所有的因素,否则,模型会变得相当复杂,难于分析。在建立模型时,也往往是根据需要,将所关心的几个

因素融入到模型中。

参考文献

- 高中信,郭承庆,李津友. 1965. 有关鸟鼠同穴问题的一些资料. *生物学通报*, (1): 34.
- 马鸣,阿布里米提. 1995. 建议保护几种鼠兔. *大自然*, (2): 26.
- 马知恩. 1996. 种群生态学的数学建模与研究. 合肥: 安徽教育出版社.
- 米玛旺堆,欧珠朗杰,次仁. 2008. 高原鼠兔与多种小型雪雀的相关性初探. *西藏大学学报(自然科学版)*, 23(1): 1-2.
- 沈孝宙,林永烈,王宗祯. 1962. 对“鸟鼠同穴”问题的认识. *生物学通报*, (5): 17-20.
- 陶黎. 1995. 鼠类在草原生态系统中的作用. *内蒙古草原*, (1): 29-30.
- 魏万红,周文扬. 1997. 海北高寒草甸生态系统中鼠类的天敌动物及其保护. *青海环境*, 7(4): 145-149.
- 夏武平. 1986. 从生态系统的观点看草原灭鼠. *生态学杂志*, 5(1): 26-28.
- 张晓爱. 1982. 高寒草甸十种雀形目鸟类繁殖生物学的研究. *动物学报*, 28(2): 190-199.
- 钟文勤. 2008. 啮齿动物在草原生态系统中的作用与科学管理. *生物学通报*, 43(1): 1-3.
- Arthur AD, Pech RP, Davey C, et al. 2008. Livestock grazing, plateau pikas and the conservation of avian biodiversity on the Tibetan plateau. *Biological Conservation*, 141: 1972-1981.
- Davidson AD, Detling JK, Brown JH, et al. 2012. Ecological roles and conservation challenges of social, burrowing, herbivorous mammals in the world's grasslands. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10: 477-486.
- Hirsch MW, Smale S, Devaney RL. 2003. *Differential Equations, Dynamical Systems and an Introduction to Chaos* (2nd ed.). Amsterdam: Academic Press.
- Lai CH, Smith AT. 2003. Keystone status of plateau pikas (*Ochotona curzoniae*): Effect of control on biodiversity of native birds. *Biodiversity and Conservation*, 12: 1901-1912.
- Qi Y, Felix Z, Wang Y, et al. 2011. Postbreeding movement and habitat use of the plateau brown frog, *Rana kukunoris*, in a high-elevation wetland. *Journal of Herpetology*, 45: 421-427.
- Smith AT, Foggin JM. 1999. The plateau pika (*Ochotona curzoniae*) is a keystone species for biodiversity on the Tibetan plateau. *Animal Conservation*, 2: 235-240.
- Smith AT, Formozov NA, Hoffmann RS, et al. 1990. The pikas// Chapman JA, Flux JEC, eds. Rabbits, Hares and Pikas; Status Survey and Conservation Action Plan. Gland: International Union for the Conservation of Nature; 14-60.
- Zeng XH, Lu X. 2009. Breeding ecology of a burrow-nesting passerine, the white-rumped snowfinch *Montifringilla taczanowskii*. *Ardeola*, 56: 173-187.

作者简介 刘汉武,男,1969年生,博士,副教授。主要从事种群动态研究,发表论文30余篇。E-mail: liuhanwu-china@163.com

责任编辑 张敏