

DOI: 10.5846/stxb201506031118

贾举杰, 李锋, 倪亦非, 徐云虎, 青格勒图, 贺兵, 毕力格巴雅尔, 朝格吉勒玛, 乌日格木勒. 内蒙古典型草原区狭颅田鼠集群数量与被捕食风险的关系. 生态学报, 2016, 36(24): - .

Jia Jujie, Li Feng, Ni Yifei, Xu Yunhu, Qing Geletu, He Bing, Bi Ligebyaer, Chao Gejilema, Wu Rigemule. Relationship between predation risk and group size of narrow-skulled vole in the typical steppe of inner mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(24): - .

内蒙古典型草原区狭颅田鼠集群数量与被捕食风险的关系

贾举杰^{1,2}, 李 锋¹, 倪亦非^{3,*}, 徐云虎⁴, 青格勒图⁵, 贺 兵⁴, 毕力格巴雅尔⁵, 朝格吉勒玛⁵, 乌日格木勒⁵

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 新疆维吾尔自治区治蝗灭鼠指挥部办公室, 乌鲁木齐 830004

4 内蒙古锡林郭勒盟镶黄旗草原工作站, 镶黄旗 013200

5 内蒙古锡林郭勒盟苏尼特左旗草原工作站, 苏尼特左旗 011300

摘要: 2005年9月15日—30日, 在内蒙古锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗的典型草原上研究了狭颅田鼠(*Microtus gregalis*)冬季集群与来自艾虎(*Mustela eversmanni*)的捕食风险。采用鼠洞口数量作为狭颅田鼠集群大小的指标, 分析了艾虎对不同大小狭颅田鼠集群的捕食优先选择偏好。对实验样地内狭颅田鼠的洞群洞口数进行了调查统计(样地内总共涉及102个狭颅田鼠有效洞群), 并计数此期间的艾虎粪便堆数以及攻击掘开狭颅田鼠洞群的情况。运用非参数的Mann-Whitney U检验法进行数据分析, 结果表明: 从艾虎遗留的粪便痕迹来看, 没有被艾虎访问过的田鼠洞群与被艾虎访问过的洞群之间差异达到极显著水平; 另外, 从狭颅田鼠洞口被艾虎掘开的痕迹来分析, 没有被艾虎挖掘的洞群与被艾虎挖掘的洞群之间的差异也达到极显著的水平; 另外, 随着田鼠洞群洞口数量的增加, 出现艾虎粪便和掘洞的频次和概率就越高。表明艾虎对狭颅田鼠集群洞口数的选择差异性非常显著, 明显倾向于选择在洞口数量多的狭颅田鼠洞群停留, 同时也更倾向于掘开洞口数量较高的狭颅田鼠洞群作为捕食对象。

关键词: 狭颅田鼠; 艾虎; 捕食风险; 集群数量

Relationship between predation risk and group size of narrow-skulled vole in the typical steppe of inner mongolia

JIA Jujie^{1,2}, LI Feng¹, NI Yifei^{3,*}, XU Yunhu⁴, QING Geletu⁵, HE Bing⁴, BI Ligebyaer⁵, CHAO Gejilema⁵, WU Rigemule⁵

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Locust and Rodent Control Headquarters of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Wulumuqi 830004, China

4 Xianghuangqi Grassland Station, Xilinguole district, Inner Mongolia, Xianghuangqi 013200, China

5 Sunitezuoqi Grassland Station, Xilinguole district, Inner Mongolia, Sunitezuoqi 011300, China

Abstract: Group sizes of overwintering colonies of narrow-skulled voles (*Microtus gregalis*) may affect predation risk by

基金项目: 中国科学院战略生物资源科技支撑体系运行专项(野生)动物实验平台运行补助经费项目; 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201203041)

收稿日期: 2015-06-03; 网络出版日期: 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhbnyf@163.com

mammals. We examined the effect of different social group sizes on the predation risk of narrow-skulled voles in the Xilinguole typical steppe, Inner Mongolia, West Ujimqin Banner, from September 15 to 30, 2005. Furthermore, we examined the effects of predation by the steppe polecat (*Mustela eversmanni*) on the group size of the narrow-skulled vole within the sampling area. The number of narrow-skulled vole colonies was used to estimate group sizes of voles. The number fecal droppings and holes excavated by steppe polecats within the habitat of each narrow-skulled vole colony were recorded as indicators of predation pressure. A total of 102 voles were observed within the sampling area. The nonparametric Mann-Whitney *U* test was used to detect differences in social group sizes between the colonies with and without signs of polecat activity. The results showed that the rank sum of the colonies not surrounded by polecat feces was 3,273.5, whereas colonies surrounded by polecat feces was 1,979.5 ($U = 113.5$, Adjusted *Z* Value = -6.387, Adjusted $P < 0.001$). The rank sum of colonies with holes dug by polecats was 556, whereas the rank sum of colonies without the polecat excavation was 4,697 ($U = 41$, Adjusted *Z* Value = -3.525, Adjusted $P = 0.0004$). The results of the Mann-Whitney test suggested significant differences in predator preference between the two groups of colonies. In addition, the frequencies of feces and excavation trails rise with the increase of group sizes. This difference indicated that the steppe polecat significantly preferred narrow-skulled vole colonies with high group sizes. The polecats tended to spend longer periods around colonies with several burrow entrances. Some polecats even attempted to dig out such colonies, and therefore, several fecal droppings and excavation trails could be found around these colonies. This finding indicated that the colonies with larger social group sizes experienced higher predator risk.

Key Words: *Microtus gregalis*; *Mustela eversmanni*; predator risk; group size

内蒙古草原是我国华北、东北地区的重要生态屏障,其不仅是国民经济发展的基础,而且具有重要的生态服务功能^[1]。狭颅田鼠(*Microtus gregalis*)别名群栖田鼠,其栖息地广泛,在高山草原、森林草原、草原及农田均有分布^[2]。在中国主要分布在蒙新区等比较潮湿的地区,内蒙古主要分布在锡林郭勒盟和呼伦贝尔盟的东部区域^[3]。狭颅田鼠冬季不冬眠,秋季形成越冬集群。狭颅田鼠在数量高发期可以形成局部的草原鼠害,也是内蒙古草原区的害鼠种类之一^[4]。Pal·chekh 等^[5]在鄂木斯克地区研究了狭颅田鼠集群和洞口数量的动态过程,发现狭颅田鼠集群和洞口数量存在季节性变化,但其家群的总体组成结构(隧道模式以及窝巢储草仓库的位置等)在春秋季节基本相同。本地区狭颅田鼠的主要捕食者为艾虎(*Mustela eversmanni*),艾虎可袭击、掘开狭颅田鼠的洞群。

有关捕食者与被捕食者之间的关系研究,已经有很多的研究报道。捕食者与猎物的关系始终是生态学家和保护生物学家研究的一个重要内容,特别是小型哺乳动物与猎物的关系更是受到了国内外动物生态学家的长期关注^[6]。关于捕食风险效应对猎物种群动态作用的野外研究越来越受到国内外学者的重视。一般认为,捕食者不但可以直接捕杀猎物,还可以通过捕食风险效应影响猎物的种群动态,并且在某些情况下,捕食风险效应对猎物种群动态的控制作用甚至大于捕食者的直接捕杀^[7]。捕食风险能显著地延长东方田鼠的觅食决定时间^[8]。在群居性小哺乳动物研究方面,宛新荣等^[9]认为,高数量集群的布氏田鼠存在更高的捕食风险,而捕食风险导致了布氏田鼠秋季集群的分群行为,以规避捕食风险。

有关野外鼠类与捕食者之间的关系研究,已经有一些报道^[10-11]。例如在斯堪地那维亚地区,田鼠和旅鼠种群具有 3—4a 的周期波动,而这些因素均与捕食者存在密切的关系^[12]。另外一些研究表明,天敌对鼠类种群动态、社群行为、繁殖模式、觅食对策和栖息地选择方面都有显著的影响^[13-15],天敌也可以对种群数量产生间接的抑制作用^[16],天敌是影响鼠类种群波动的关键因子^[17]。

一般认为,高数量集群往往存在更高的捕食风险^[18]。在内蒙古锡林郭勒草原,艾虎为狭颅田鼠越冬集群期的主要捕食者之一。关于草原小哺乳动物集群数量对捕食风险的野外研究,尚缺乏直接的野外证据。本研究要解决的问题是:如果田鼠的秋季集群面临一定的捕食风险,那么这个捕食风险是不是跟集群数量本身有

关? 如果有关, 捕食风险是对布氏田鼠集群效应起的作用是促进的还是抑制的? 为回答这个问题, 于 2005 年 9 月 15—30 日在锡林郭勒草原的西乌珠穆沁旗狭颅田鼠的鼠害草场上开展了相关调查研究, 研究不同集群狭颅田鼠的数量与被捕食风险的关系, 为揭示群居性小哺乳动物的越冬生态学及行为学研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点

2005 年 9 月 15 日—30 日, 在内蒙古锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗巴拉嘎尔高勒镇东南 (44°30'N, 117°50'E, 海拔 1047m) 的狭颅田鼠鼠害草场上进行研究调查, 该年度狭颅田鼠种群数量暴发, 样地中有很多艾虎活动。9 月 15 日, 在该地段选定一块实验区域 (规格 225 m×200 m), 面积为 4.5 hm², 在所选取的实验样地内确定所有狭颅田鼠越冬集群。此阶段正值狭颅田鼠活动高峰期, 狭颅田鼠各洞群之间的界限非常清晰, 根据不同洞群之间的边界易于区分的特点, 直接采用洞口计数法计数各狭颅田鼠的洞口数, 并以此作为估算各洞群狭颅田鼠的数量指标。

1.2 狭颅田鼠洞群中越冬集群大小的确定

利用小哺乳动物的洞口系数法来估算鼠类数量和密度是最通用的计算方法之一^[19-21]。本文依据此方法计算样地内各狭颅田鼠的洞群数量。具体方法是: 将选定范围内的狭颅田鼠全部洞群进行标记, 以狭颅田鼠洞群的鼠丘中心 2 m 为半径作为集群数量的统计范围 (本地区狭颅田鼠鼠丘中心半径一般为 0.7 m 左右)。9 月份为本地区狭颅田鼠活动的高峰期, 洞群 2 m 范围内的洞口基本上都为活动洞口。调查范围内, 个别狭颅田鼠洞群数量在 5 个以下的一般为不稳定洞群或者是临时洞群, 不计入有效洞群之列。

1.3 狭颅田鼠捕食风险的数值指标

现场调查发现, 艾虎为本地区秋季狭颅田鼠的主要捕食者。艾虎捕食狭颅田鼠一般有两种方式: 一是掘开狭颅田鼠的洞群, 通常在其越冬洞群上方挖开一个大洞, 进入其窝巢直接捕食, 此方式对狭颅田鼠的危害最大, 通常会造整个洞群的毁灭, 其余残存的田鼠也会因为窝巢被破坏无法越冬而被迫弃巢; 二是在地面上巡视停留, 伺机袭击狭颅田鼠, 停留时间较长的可在洞群区留下粪便。这样, 可以通过统计狭颅田鼠各洞群区被艾虎掘开的洞口数量和留在洞群区内的艾虎粪便堆数来估计艾虎对各个狭颅田鼠洞群的访问量或捕食风险。具体方法如下: 9 月 15 日之前, 清除掉样地内狭颅田鼠洞群区所有的鼯科动物粪便, 2 周后 (即 9 月 29 日) 开始逐一计数样地内新出现的粪便数量和新掘开的洞口数量。新出现的粪便堆数和掘开的洞口数量即为此期间艾虎所留, 可以作为此期间艾虎对各洞群的访问数量的指标。

2 结果与分析

实验样地共有符合条件的狭颅田鼠洞群 102 个, 其中出现新的艾虎粪便的洞群 23 处, 被艾虎直接掘开窝巢的洞群 6 处。本次实验中同一田鼠洞群中具有 2 堆以上粪便的洞口数只有 4 例, 而艾虎掘洞痕迹中在同一洞群中掘洞数量超过 2 个的只有 1 例 (针对艾虎的捕食习性, 同洞群的掘洞应该是同时发生的), 因此本次实验只记录粪便和掘洞的有无。将狭颅田鼠各洞群编号, 洞群区内的狭颅田鼠洞口数量、各洞群新出现的艾虎粪便堆数以及掘开的洞口数量列于表 1 中。

由于在这个时期, 狭颅田鼠处于秋季储草高峰期, 活动非常活跃, 故统计的洞口数全部为具有新鲜活动痕迹的活动洞口。

将表 1 中的数据运用非参数的 Mann-Whitney U 检验法^[22], 采用统计软件 Statistica 软件进行分析, 比较实验样地中艾虎对不同集群数量狭颅田鼠的选择嗜好。数据分为两个类型: (1) 按照艾虎在田鼠洞口遗留的粪便痕迹进行分析, 只区分有遗留粪便和未遗留粪便的田鼠洞群, 粪便堆数不再区分; (2) 依据艾虎在田鼠洞口掘开洞口留下的痕迹进行分析, 只区分掘开洞口的和未掘开洞口的田鼠洞群, 掘开洞口数量不再区分。统计分析结果列于表 2 中。

表 1 实验样地内狭颅田鼠群活动洞口数量与艾虎粪便堆数、掘开洞口数据

Table 1 Records of the amount of holes of the Narrow-skulled vole colonies, the amount of recorded feces left by the steppe polecat, and the number of holes excavated by the steppe polecat

田鼠洞口数量 Group sizes of vole	艾虎粪便痕迹 Feces of weasel	艾虎掘洞痕迹 Holes of weasel	田鼠洞口数量 Group sizes of vole	艾虎粪便痕迹 Feces of weasel	艾虎掘洞痕迹 Holes of weasel
5	0	0	18	0	1
8	0	0	24	1	0
10	0	0	12	0	0
14	0	0	7	0	0
21	1	0	19	1	0
10	0	0	13	0	0
17	1	0	11	0	0
18	0	0	14	0	0
9	0	0	13	0	0
12	0	0	18	1	0
15	1	0	10	0	0
16	0	1	8	0	0
9	0	0	11	0	0
10	0	0	17	1	0
12	0	0	8	0	0
13	0	0	21	1	0
7	0	0	18	0	0
13	0	0	8	0	0
15	1	0	12	0	0
11	0	0	6	0	0
15	0	0	5	0	0
9	0	0	17	1	0
13	0	0	15	0	0
19	1	1	6	0	0
6	0	0	10	0	0
12	0	0	24	1	1
17	0	0	21	1	1
16	1	0	7	0	0
9	0	0	15	1	0
14	0	0	12	0	0
8	0	0	9	0	0
12	1	0	8	0	0
20	1	0	6	0	0
18	1	1	12	0	0
16	0	0	9	0	0
12	0	0	7	0	0
9	0	0	23	1	0
10	0	0	12	0	0
15	0	0	12	0	0
11	0	0	10	0	0
13	0	0	16	1	0
12	0	0	17	0	0
9	0	0	14	0	0
11	0	0	9	0	0

续表

田鼠洞口数量 Group sizes of vole	艾虎粪便痕迹 Feces of weasel	艾虎掘洞痕迹 Holes of weasel	田鼠洞口数量 Group sizes of vole	艾虎粪便痕迹 Feces of weasel	艾虎掘洞痕迹 Holes of weasel
15	0	0	15	0	0
10	0	0	9	0	0
8	0	0	12	0	0
6	0	0	7	0	0
13	1	0	12	0	0
12	0	0	8	0	0
17	1	0	16	1	0

注:第2列、第5列数字0表示该狭颅田鼠洞群组没有留下艾虎粪便,1表示该狭颅田鼠洞群组留下艾虎粪便;第3列、第6列数字0表示该狭颅田鼠洞群组没有被艾虎掘开,1表示该狭颅田鼠洞群组被艾虎掘开

表2 艾虎对不同数量集群的狭颅田鼠洞群访问偏好

Table 2 The visiting preference of the steppe polecat for the different group sizes of the Narrow-skulled vole

数据类型 Trace type	NW 秩和 NW-Rank sum	W 秩和 W-Rank sum	U 数值 U-Value	校正 Z 值 Adjusted Z-Value	校正 P 值 Adjusted P-Value	NW 样本量 NW-Sample size	W 样本量 W-Sample size
粪便痕迹 Feces	3273.5	1979.5	113.5	-6.387	0.0000	79	23
挖掘痕迹 Holes	4697	556	41	-3.525	0.0004	96	6

注:NW-没有被艾虎访问的狭颅田鼠洞群组;W-被艾虎访问的狭颅田鼠洞群组

从表2的分析结果可以看到:从粪便遗留痕迹来看,没有被艾虎访问过的洞群和被艾虎访问过的洞群之间,统计分析表明两组差异达到极显著的水平;另外从狭颅田鼠洞口被艾虎掘开的痕迹来分析,没有被艾虎挖掘的洞群与被艾虎掘开的洞群之间的差异同样达到极显著的水平。表明艾虎对狭颅田鼠集群洞口数的选择差异性非常显著,明显倾向于选择在洞口数量多的狭颅田鼠洞群停留,因而有机会留下粪便痕迹,同时也更倾向于掘开洞口数量较高的狭颅田鼠洞群作为捕食对象。

将表1中的数据分组统计,比较艾虎在不同洞口数量的布氏田鼠洞群前留下粪便(停留)和掘洞与否的频次,相应的结果分别见图1、图2。

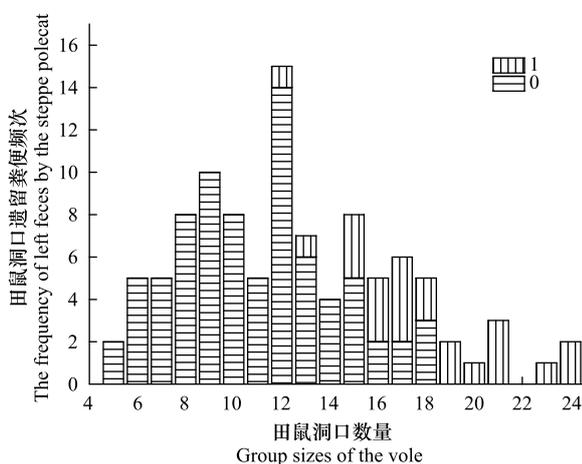


图1 艾虎在不同洞口数量的田鼠洞群遗留下的粪便频次分布图

Fig.1 The frequency of left feces by the steppe polecat to the different group sizes of the vole

数字0(横线)表示该狭颅田鼠洞群组没有留下艾虎粪便;1(竖线)表示该狭颅田鼠洞群组留下艾虎粪便

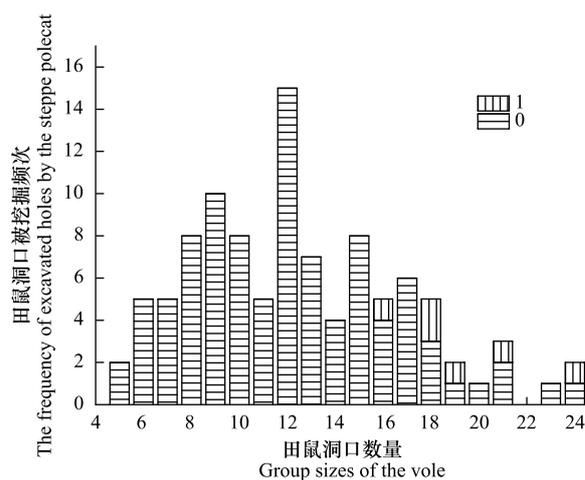


图2 艾虎在不同洞口数量的田鼠洞群挖掘频次分布图

Fig.2 The frequency of excavated holes by the steppe polecat to the different group sizes of the vole

数字0(横线)表示该狭颅田鼠洞群组没有被艾虎掘开;1(竖线)表示该狭颅田鼠洞群组被艾虎掘开

从图 1 的结果可以看出,在本次实验中,当狭颅田鼠的洞群数目低于 12 时,艾虎不留下粪便。伴随着田鼠洞群洞口数量的增加,艾虎留下粪便的频次和概率增加;从图 2 可见,当狭颅田鼠的洞群数目高于 15 时,随着狭颅田鼠洞群洞口数量的增加,艾虎造访并挖掘洞口的概率急剧增加,这也从侧面说明了高集群的狭颅田鼠秋季也面临着严酷的捕食风险。

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栖息的场所,鼠洞的多少给这些动物提供了生存条件^[23]。洞口数目越多表示洞群中田鼠的集群个体数量越高^[18],而艾虎的访问量越高则面临着更大的捕食风险,即狭颅田鼠的集群数量越大,受艾虎访问和被捕食的风险就越高。施大钊等^[24]人的研究表明:鼠类集群洞口数量多意味着洞群内的田鼠数量多。贾举杰等^[25]人关于大鸺对布氏田鼠洞群的捕食风险的研究,也表明了大鸺倾向于捕食高数量的布氏田鼠集群。这些研究结果都表明,高数量的啮齿动物集群更容易吸引天敌的捕食。而本文的研究结果与上述的研究结果一致:即高数量的狭颅田鼠集群更容易成为艾虎袭击的目标。

3 讨论

3.1 关于鼠类越冬集群的捕食风险问题

捕食者和猎物之间的关系是生物界普遍存在的关系^[10]。在生态系统中,捕食者具有抑制和调节猎物种群,强化猎物生存竞争能力的功能。捕食风险效应对捕食者和猎物之间的关系及食物网的动态变化也是非常重要的,捕食风险效应可直接或间接地调节猎物种群动态,进而影响猎物种群动态^[7]。

一般认为,捕食风险对很多动物的行为对策都存在深远的影响^[26-27]。为适应和规避捕食者的捕食压力,猎物通常会发展出各种各样的行为。同时捕食者通过捕食选择,选择数量高的猎物以获取最佳的捕食效益^[14]。在内蒙古草原,作为鼠类天敌的鹰类不仅能有效地控制草原鼠类数量,而且还可以影响到草原鼠类的群落结构^[28]。在猛禽-啮齿动物捕食模型中,除了猎物演化出降低捕食风险的适应能力,捕食者也具备选择高收益的捕食效益方式,针对具有社群的猎物,捕食者倾向于选择高数量的集群以提高捕食效益^[25]。

生活在北方的小哺乳动物很多种类在秋季都有集群的现象,如长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)^[29],布氏田鼠(*Lasiopodomys brandtii*)^[30],大沙鼠(*Rhombomys opimus*)^[31],达乌尔鼠兔(*Ochotona daurica*)^[32]等鼠类。已有研究表明,经历过春夏季节的繁殖期,这些集群的小哺乳动物数量增长很快,到秋季一些种类就出现分群行为^[9,18]。贾举杰等^[25]认为:捕食风险随着集群数量的增加而显著增加,因此捕食风险能很好地解释小哺乳动物的秋季分群现象。为规避过高的捕食风险,小哺乳动物在秋季通过分群行为降低集群数量,分群行为一方面分散了被捕食风险,避免整个家族在一次攻击中全军覆没^[27],另一方面还直接降低了捕食者的攻击优先次序,使该集群成为次要的袭击目标。贾举杰等^[25]认为捕食风险促进布氏田鼠出现分群行为,以降低捕食风险。本文的分析结果表明,高数量越冬集群的狭颅田鼠将面临更高的捕食风险,推测这种捕食风险也可能导致狭颅田鼠出现类似的分群行为。但狭颅田鼠是否出现分群行为,尚没有研究报道,此方面的研究仍需要进一步的深入。

3.2 关于小哺乳动物秋季最优集群的假设与探讨

很多北方鼠类具有冬季集群越冬的习性,集群越冬对动物本身而言各有利弊^[33]。一般认为越冬集群具有如下几个好处:(1)互相取暖,共同抵御寒冷;(2)共同挖仓,集体抵御同种或者异种竞争者;(3)共同储草,提高储草效率。然而集群也有很多的弊端:(1)容易吸引天敌;(2)容易造成寄生虫的侵袭;(3)承受更多的二氧化碳,高数量的集群产生更多的二氧化碳,这对越冬期间的鼠类集群可能存在不利影响。Pulliam^[34]证实了温带和寒温带小哺乳动物越冬集群所带来的巨大收益。连新明等^[35]发现藏原羚也从集群生活中获益。由于冬季集群在抵御寒冷方面有巨大收益,冬季集群成为节约能量的重要途径。由于集群对越冬带来的巨大利益驱使,田鼠类动物更倾向于集群越冬。如果集群带来的利益更多,那么通过自然选择,越冬集群必然有逐渐增大的趋势。

但在自然界中,其实不存在无限增大的集群,其原因就是当集群增大时,不利因素会迅速增加,Caraco^[36]认为寄生虫和天敌所带来的不利因素往往是随着集群数量增加而迅速增长,同时天敌捕食的存在也是阻止田鼠形成高数量越冬集群的最重要因素。由于这些不利因素的迅速增加快速抵消了集群所带来的利益,促使田鼠最终趋向于形成一个最优化的集群数量,在这个最优集群模式下,参与集群的个体成员收益为最高,这就是最优集群理论^[37]。小哺乳动物在越冬集群利弊的权衡下,往往会形成一个最优化集群。最优化集群的形成需要两个条件:第一个条件是集群存在显著的优势,第二个条件是高数量集群带来弊端,从而避免形成更大的集群^[27]。

魏万红等^[14]对青藏高原上高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)的研究结果表明,捕食风险会显著影响鼠类的行为,从而进一步影响鼠类种群数量的增长。贾举杰等^[25]分析了大鸢与其猎物布氏田鼠之间的关系,发现高数量的布氏田鼠集群更容易吸引大鸢的捕食,并认为高数量集群是诱发高捕食风险的主要因素,同时也是限制布氏田鼠家群过分增大的因素之一,从而形成最优化集群的一个重要因素。Wan 等^[38]对布氏田鼠越冬存活率的分析也表明:中等数量的野外布氏田鼠集群拥有最大的越冬存活率。本实验的数据则证实了过高数量的狭颅田鼠越冬集群将面临更大的捕食风险——这意味着狭颅田鼠具备了形成最优化越冬集群的第二个条件。

致谢:野外调查得到了内蒙古草原动物生态研究站的协助和支持,在此一并致谢!

参考文献(References):

- [1] 代光烁, 娜日苏, 董孝斌, 余宝花. 内蒙古草原人类福祉与生态系统服务及其动态变化——以锡林郭勒草原为例. 生态学报, 2014, 34(9): 2422-2430.
- [2] 罗泽珣, 陈卫, 高武. 中国动物志 兽纲 第六卷 啮齿目: 仓鼠科(下册). 北京: 科学出版社, 2000: 264-273.
- [3] 马勇. 内蒙狭颅田鼠一新亚种. 动物分类学报, 1965, 7(2): 183-186.
- [4] 宛新荣, 陈立军, 霍英军. 呼伦贝尔草原啮齿动物生物多样性调查报告. 呼伦贝尔: 内蒙古文化出版社, 2011: 85-105.
- [5] Pal'chekh N A, Mal'kova M G, Kuz'mi I V, Yakimenko V V. The structure of Narrow-skulled vole (*Microtus gregalis* Pall.) colonies in western Siberia. Russian Journal of Ecology, 2003, 34(5): 327-331.
- [6] Kelt D A. Comparative ecology of desert small mammals; a selective review of the past 30 years. Journal of Mammalogy, 2011, 92(6): 1158-1178.
- [7] 石建斌. 捕食风险的种群动态效应及其作用机理研究进展. 动物学杂志, 2013, 48(1): 150-158.
- [8] 马静, 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 王璐, 李俊年. 捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用. 生态学报, 2013, 33(9): 2734-2743.
- [9] 宛新荣, 钟文勤, 王梦军. 群居性啮齿动物集群重组率的估算. 兽类学报, 2001, 21(1): 67-72.
- [10] 路纪琪, 张知彬. 捕食风险及其对动物觅食行为的影响. 生态学杂志, 2004, 23(2): 66-72.
- [11] Creel S, Winnie J A, Jr., Christianson D. Glucocorticoid stress hormones and the effect of predation risk on elk reproduction. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(30): 12388-12393.
- [12] Stenseth N C. Population cycles in voles and lemmings: density dependence and phase dependence in a stochastic world. Oikos, 1999, 87(3): 427-461.
- [13] 边疆晖, 景增春, 刘季科. 相关风险因子对高原鼠兔摄食行为的影响. 兽类学报, 2001, 21(3): 187-194.
- [14] 魏万红, 曹伊凡, 张堰铭, 殷宝法, 王金龙. 捕食风险对高原鼠兔行为的影响. 动物学报, 2004, 50(3): 319-325.
- [15] Anson J R, Dickman C R. Behavioral responses of native prey to disparate predators: naiveté and predator recognition. Oecologia, 2012, 171(2): 367-377.
- [16] Starke W W, Ferkin M H. The effects of cues from kingsnakes on the reproductive effort of house mice. Current Zoology, 2013, 59(1): 135-141.
- [17] Menyushina I E, Ehrlich D, Henden J -A, Ims R A, Ovsyanikov N G. The nature of lemming cycles on Wrangel: an island without small mustelids. Oecologia, 2012, 170(2): 363-371.
- [18] 张知彬, 王祖望. 农业重要害鼠的生态学及控制对策. 北京: 海洋出版社, 1998.
- [19] 林永烈. 草原啮齿动物数量的洞口统计法. 动物学杂志, 1975, (1): 41-42.
- [20] 施大钊, 张耀星. 草原群聚鼠类洞口数量抽样方法的探讨. 内蒙古农牧学院学报, 1992, 13(3): 30-34.
- [21] 伊藤嘉昭, 村井实. 动物生态学研究法. 郭祥光, 张志庆, 译. 北京: 科学出版社, 1986: 139-204.

- [22] 孙山泽. 非参数统计讲义. 北京: 北京大学出版社, 2000.
- [23] 刘汉武, 王荣欣, 周华坤, 张凤琴, 李秋英. 鼠害治理下有效洞与废弃洞的动态. 生态学杂志, 2013, 32(11): 3037-3042.
- [24] 施大钊, 海淑珍, 刘雪龙. 布氏田鼠数量调查方法的比较. 草地学报, 1998, 6(3): 185-190.
- [25] 贾举杰, 李锋, 倪亦非, 林峻, 徐云虎, 贺兵, 王玉梅, 赵景瑞. 大鸮对不同数量布氏田鼠越冬洞群的选择偏好. 动物学杂志, 2015, 50(5): 795-800.
- [26] 杨生妹, 魏万红, 殷宝法, 樊乃昌, 周文扬. 高寒草甸生态系统中高原鼠兔和高原鼢鼠的捕食风险及生存对策. 生态学报, 2007, 27(12): 4972-4978.
- [27] Wolff J O. Behavior//Tamarin R H, ed. Biology of New World *Microtus*. Sacramento, CA, USA: American Society Mammalogists, 1985.
- [28] 宛新荣, 石岩生, 萨仁花, 罗建平, 宝祥, 包学明, 杜森云, 王广和. 人工鹰架对草地鼠类防治效果的观察//科技创新与绿色植保—中国植物保护学会 2006 学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006: 371-375.
- [29] 刘伟, 宛新荣, 钟文勤, 王建青. 长爪沙鼠种群繁殖的季节性特征. 兽类学报, 2013, 33(1): 35-46.
- [30] 施大钊. 布氏田鼠鼠洞的分布格局的初步研究. 内蒙古农牧学院学报, 1985, 6(2): 111-117.
- [31] 查木哈, 武晓东, 付和平, 袁帅, 乌云嘎, 张晓东. 阿拉善荒漠啮齿动物集合群落实证研究. 生态学报, 2015, 35(17): 5612-5622.
- [32] 樊乃昌, 张道川. 高原鼠兔与达乌尔鼠兔的摄食行为及对栖息地适应性的研究. 兽类学报, 1996, 16(1): 48-53.
- [33] Roberts G. Why individual vigilance declines as group size increases. *Animal Behaviour*, 1996, 51(5): 1077-1086.
- [34] Pulliam H R. On the advantages of flocking. *Journal of Theoretical Biology*, 1973, 38(2): 419-422.
- [35] 连新明, 李晓晓, 颜培实, 张同作, 苏建平. 夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律. 生态学报, 2012, 32(3): 663-670.
- [36] Caraco T. Time budgeting and group size: a theory. *Ecology*, 1979, 60(3): 611-617.
- [37] 蒋志刚. 动物行为学原理与物种保护方法. 北京: 科学出版社, 2004: 227-232.
- [38] Wan X R, Zhang X J, Wang G M, Chen L J. Optimal body weight of Brandt's voles for winter survival. *Journal of Arid Environments*, 2014, 103: 31-35.