

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

杨生妹¹, 魏万红^{1,3}, 殷宝法¹, 樊乃昌², 周文扬³

(1. 扬州大学生物科学与技术学院, 扬州 225009; 2. 浙江师范大学生命与环境科学学院, 金华 321004;

3. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

摘要: 调查青藏高原高寒草甸生态系统中两种主要啮齿动物及其天敌动物的种群密度, 分析天敌动物对两种啮齿类的捕食方式、捕食强度, 探讨啮齿类动物的捕食风险及生存对策。研究表明, 高原鼠兔和高原鼢鼠的种群密度分别为 4.97 只 /hm² 和 10.6 只 /hm², 而它们的主要天敌赤狐、艾虎和香鼬的种群密度分别为 0.16 只 /100hm²、0.37 只 /100hm²、3 只 /100hm²。艾虎和香鼬在取食过程中主要搜寻啮齿类的洞道系统, 全部食物几乎都来源于洞道系统内; 赤狐或取食地面活动的鼠兔, 或挖掘洞口待高原鼢鼠封闭洞口时取食猎物。高原鼠兔在赤狐、艾虎和香鼬的食物中所出现的频次分别为 100%、96.1%、100%, 高原鼢鼠在 3 种天敌动物的食物中所出现的频次分别为 87.5%、73.2%、0%。3 种天敌动物对高原鼠兔和高原鼢鼠的捕食强度分别为 0.703% 和 0.038%, 高原鼠兔和高原鼢鼠所承受的捕食风险分别为 0.780 和 0.393。高原鼠兔在高的捕食风险下通过行为对策和繁殖对策增加其适合度, 而承受捕食风险较小的高原鼢鼠主要通过封闭的洞道系统和高的存活率增加其适合度。

关键词: 高原鼠兔; 高原鼢鼠; 捕食风险; 生存策略; 高寒草甸生态系统

文章编号: 1000-0933 (2007) 12-4972-07 中图分类号: Q141 文献标识码: A

The predation risks of the plateau pika and plateau zokor and their survival strategies in the Alpine Meadow Ecosystem

YANG Sheng-Mei¹, WEI Wan-Hong^{1,3}, YIN Bao-Fa¹, FAN Nai-Chang², ZHOU Wen-Yang³

1 College of Bioscience and Biotechnology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China

2 College of Life and Environment Science, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China

3 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (12): 4972 ~ 4978.

Abstract: The present paper investigated the population densities and the survival strategies of plateau pika and plateau zokor, and the predation risks induced by their major natural enemies in the Alpine Meadow Ecosystem. The results showed that the population densities of the pika and the zokor were 4.97 ind /hm² and 10.6 ind /hm², respectively, while the densities of the natural enemies were 0.16 ind /100hm² for red fox, 0.37 ind /100hm² for steppe polecat and 3.00 ind /100hm² for alpine weasel. We observed that the polecat and weasel mainly captured pika and zokor by searching the burrows, while the red fox hunted pika on the ground and captured zokor by digging the mounds. The examination of diet composition and feeding intensities showed that the pika constituted 100%, 96.1% and 100% of the food of red fox, polecat and weasel, respectively, and the zokor constituted 87.5%, 73.2% and 0%. The average feeding intensities of the

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (39770106, 30570289)

收稿日期: 2007-06-25; 修订日期: 2007-10-25

作者简介: 杨生妹 (1964 ~), 女, 青海西宁市人, 博士, 副教授, 主要从事动物生理生态学研究. E-mail: yang_sn@hotmail.com

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 39770106, 30570289)

Received date: 2007-06-25; Accepted date: 2007-10-25

Biography: YANG Sheng-Mei, Ph.D., Associate professor, mainly engaged in physiological ecology of animal. E-mail: yang_sn@hotmail.com

<http://www.ecologica.cn>

natural enemies included 0.703% of pika and 0.038% of zokor and the predation risks of pika and zokor were 0.780 and 0.393, indicating that the pika has higher predation risk than zokor. The survival strategies of pika are to increase the fitness by unique behavior and reproductive rate, while the strategies of zokor are to enhance the fitness by sealing burrow system and survival rate.

Key Words: plateau pika (*Ochotona curzoniae*); plateau zokor (*Myospalax baileyi*); predation risk; survival strategy; Alpine Meadow Ecosystem

啮齿类动物是生态系统的重要组成部分,它们用机械的或其它的方式将有生命的、无生命的物质从一个状态转变到另一个状态,并改变着自然环境^[1,2]。许多研究表明,草原犬鼠(*Cynomys ludovicianus*)、更格卢鼠(*Dipodomys spectabilis*、*D. ordii*、*D. merriami*)、囊鼠(*Geomys* spp.)等啮齿类的活动能够影响植物群落的物种组成、多样性、高度、结构、生物量和生产力等特征^[3~7],它们也是许多哺乳动物、鸟类和爬行动物的食物来源,是决定动物群落组成和多样性的一个重要因素^[8,9],其挖掘的隧道系统会为许多哺乳动物、鸟类、两栖类、爬行类和节肢动物提供庇护场所^[10]。

在生态系统中作为猎物的捕食者除了具有抑制和调节猎物种群数量、强化猎物生存竞争能力的功能外,捕食者的捕食作用在进化时间(Evolutionary time)内是一种强有力的选择压力,对猎物形态特征和行为特征的适应性进化起着重要作用,对猎物的社会进化及繁殖策略也有一定的影响^[11]。因此,许多啮齿类动物采用不同的对策以降低捕食风险,也正是由于捕食者的存在抑制了啮齿类动物种群数量的恶性膨胀和环境资源的加速耗竭,既保持了物种多样性,又促进了物种间的协同进化^[12,13]。

高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)和高原鼢鼠(*Myospalax baileyi*)是青藏高原高寒草甸生态系统中的主要啮齿类动物。有关其生物学、生态学、行为学及防治等方面已有许多研究^[14~18]。但是定量分析捕食者对两种啮齿类的捕食强度以及通过模型计算两种啮齿类动物的捕食风险尚无报道。本文对青藏高原高寒草甸生态系统中主要啮齿类高原鼠兔和高原鼢鼠及其主要天敌动物的数量进行统计,确定天敌动物对两种啮齿类的捕食强度及捕食风险,探讨天敌动物对啮齿类的控制作用及啮齿类的生存对策,揭示高寒草甸生态系统中捕食者与猎物之间的协同进化关系,为啮齿类动物的数量控制和预测、预报提供资料。

1 研究地点及方法

本项工作于1990年3月~1992年7月在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站附近进行。该地区自然状况及生物群落类型已有报道^[19,20]。

天敌动物的种群数量采用无线电标志法、雪迹跟踪法、探照灯法进行^[21]。高原鼠兔的种群数量采用目视法统计^[22],高原鼢鼠的种群数量采用土丘系数法统计^[15]。在数量统计时选定10000hm²的面积区域,随机选取20个1hm²的样方,每季度对高原鼠兔和高原鼢鼠的数量进行统计。

高原鼠兔和高原鼢鼠的活动时间和活动节律采用已有的研究结果^[23,24],天敌动物的活动时间和活动节律采用无线电遥测法^[25]。研究期间无线电标志艾虎(*Mustela eversmanni*)24只,香鼬(*M. altaica*)12只,赤狐(*Vulpes vulpes*)6只。

捕食强度指特定区域内一种或多种天敌动物对猎物的影响程度。在野外收集天敌动物的粪便,运用粪便显微分析法对它们的食性进行分析。天敌动物对两种啮齿类的捕食强度计算公式^[26]:

$$P = (N \times R / n) \times 100\%$$

式中, P 为捕食强度, N 为天敌动物的数量, R 为食物中某类猎物所占的比例, n 为猎物的数量。

捕食风险(Predation risk)是猎物种群对捕食者攻击的承受能力,也是捕食者对猎物的威胁和限制能力,对任何突然中断动物活动的过程都可作为捕食风险。两种啮齿类的捕食风险计算公式^[27]:

$$P_r = 1 - \exp(-cdt)$$

式中, P 为捕食风险, c 为捕食者与猎物相遇的风险, d 为相遇后攻击的风险, t 为猎物与捕食者相遇的风险。

捕食者与猎物相遇的风险 (c) 以捕食者与其猎物相遇的机率乘以捕食者和猎物的种群密度来表示, 根据野外条件下捕食者的捕食特点确定捕食者与其猎物相遇的机率。猎物与捕食者相遇的风险 (t) 通过野外条件下动物相同的活动时间来确定。捕食者相遇猎物后攻击的风险 (d) 通过室内实验来确定, 即在面积为 $260\text{ cm} \times 490\text{ cm}$ 、高为 300 cm 的地下观察室中放入 1 只猎物, 同时放入 1 只天敌动物, 观察 10 min 内天敌动物对猎物的成功捕杀数量, 以成功捕杀猎物的数量除以总的猎物数量表示成功攻击猎物的风险。

2 结果与分析

2.1 主要动物的种群数量

在青藏高原海北高寒草甸生态系统中的啮齿类主要有高原鼠兔、高原鼢鼠、甘肃鼠兔 (*Ochotona cansus*)、根田鼠 (*Microtus oeconomus*)、长尾仓鼠 (*Cricetulus longicaudatus*)、小家鼠 (*Mus musculus*) 和喜马拉雅旱獭 (*Marmota himalayana*) 等。其中高原鼢鼠和高原鼠兔是优势啮齿类动物。调查表明, 由于大雪等气候因素的影响, 高原鼠兔的种群密度相对较低, 其平均密度为 $4.97\text{ 只}/\text{hm}^2$, 而高原鼢鼠的种群数量相对稳定, 平均密度为 $10.6\text{ 只}/\text{hm}^2$ 。啮齿类动物的天敌动物有赤狐、藏狐 (*Vulpes ferrilata*)、香鼬、艾虎、狗獾 (*Meles meles*)、荒漠猫 (*Felis bieti*)、兔狲 (*F. manul*)、大鸮 (*Buteo hemilasius*)、猎隼 (*Falco chernug*)、红隼 (*F. tinnunculus*)、游隼 (*F. peregrinus*)、雕鸮 (*Bubo bubo*)、纵纹腹小鸮 (*Athene noctus*) 和长耳鸮 (*Asio otus*) 等, 其中, 赤狐、香鼬和艾虎是生态系统中的优势物种, 赤狐的种群密度为 $0.16\text{ 只}/100\text{ hm}^2$, 艾虎的种群密度为 $0.37\text{ 只}/100\text{ hm}^2$, 香鼬的种群密度为 $3.00\text{ 只}/100\text{ hm}^2$ 。

2.2 3种天敌动物对高原鼠兔和高原鼢鼠的捕食强度

粪便分析结果表明 (表 1), 高原鼠兔和高原鼢鼠是赤狐、艾虎和香鼬 3 种天敌动物的主要食物来源, 它们在赤狐的食物中所出现的频次分别为 100% 和 87.5% , 在艾虎的食物中所出现的频次分别为 96.1% 和 73.2% , 在香鼬的食物组成中所占的比例分别为 100% 和 0.0% 。

表 1 高原鼠兔和高原鼢鼠在天敌动物食物组成中所占的比例

Table 1 The percentage of plateau pika and plateau zokor in the food habits of their natural enemies (%)

天敌 Natural enemies	高原鼠兔 Plateau pika				高原鼢鼠 Plateau zokor			
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
赤狐 Red fox	100	100	100	100	100	97.5	100	52.5
艾虎 Polecat	94.1	100	90.5	100	82.4	54.2	76.2	80.0
香鼬 Weasel	100	100	100	100	0	0	0	0

由捕食强度的公式计算得出, 赤狐、艾虎、香鼬对高原鼠兔的捕食强度分别为 0.032% , 0.071% , 0.600% , 对高原鼢鼠的捕食强度分别为 0.013% , 0.025% , 0.000% , 因此 3 种天敌动物对高原鼠兔的捕食强度为 0.703% , 对高原鼢鼠的捕食强度为 0.038% 。

2.3 捕食风险

捕食者与猎物相遇的风险 (c) 与捕食者的捕食特点有关, 香鼬在取食过程中主要搜寻高原鼠兔的洞道系统, 几乎全部食物为高原鼠兔, 因此香鼬相遇高原鼠兔的机率为 1, 相遇高原鼢鼠的机率为 0; 艾虎在取食过程中主要搜寻鼠类的洞道系统, 主要食物为高原鼢鼠和高原鼠兔, 其相遇高原鼢鼠和高原鼠兔的机率均为 1; 赤狐取食地面活动的鼠兔, 也采用挖掘洞口待高原鼢鼠封闭洞口时取食猎物, 其相遇高原鼢鼠的机率最大为 0.5 , 相遇高原鼠兔的机率最大为 0.5 。同时, 捕食者与猎物相遇的风险也与二者的种群密度有关, 二者的种群密度越高将意味着有高的相遇风险。因此香鼬相遇高原鼠兔的风险最高, 相遇高原鼢鼠的风险最低, 艾虎相遇高原鼢鼠的风险最高 (表 2)。

室内实验结果表明,不同捕食者遇到不同猎物后成功捕获猎物的风险(d)不同,艾虎相遇高原鼠兔后攻击的风险最低,其次是香鼬攻击高原鼢鼠的风险(表2)。

捕食者与猎物相遇的风险(i)依赖于二者的活动时间。7月份是许多动物的繁殖期,将此时期不同动物的活动时间进行比较,无线电遥测资料表明,赤狐的活动高峰为18:00~08:00时,艾虎的活动高峰为12:00~20:00时和23:00~07:00时,香鼬的活动高峰为07:00~12:00时和17:00~21:00时,高原鼠兔的活动高峰为06:00~12:00时和15:00~20:00时,高原鼢鼠的活动高峰为13:00~23:00时和01:00~04:00时。因此,艾虎相遇高原鼢鼠的时间最长,赤狐相遇高原鼠兔的时间最短(表2)。

根据捕食风险公式计算得出(表2),香鼬对高原鼠兔的捕食风险最大,艾虎对高原鼢鼠的捕食风险最大,高原鼠兔所承受的捕食风险要远大于高原鼢鼠所承受的捕食风险。

表2 高原鼠兔和高原鼢鼠的捕食风险

捕食者 Predators	相遇风险 c Meeting risk		攻击风险 d Attacking risk		相遇时间 (h) Meeting time		捕食风险 Pr Predation risk	
	鼠兔 Pika	鼢鼠 Zokor	鼠兔 Pika	鼢鼠 Zokor	鼠兔 Pika	鼢鼠 Zokor	鼠兔 Pika	鼢鼠 Zokor
	艾虎 Polecat	0.018	0.039	0.89	1.0	5.0	10.0	0.076
香鼬 Weasel	0.149	0.000	1.0	0.9	8.0	4.0	0.696	0.000
赤狐 Red fox	0.004	0.009	1.0	1.0	2.0	8.0	0.008	0.070
合计 Total							0.780	0.393

3 讨论

3.1 两种猎物与其天敌动物的相互关系

已有的研究表明,猎物数量影响天敌动物的种群动态。伶鼬(*Mustela nivalis*)的分布与小型啮齿类的数量密切相关,当啮齿类减少时,伶鼬停止生育和增加迁出,导致其种群数量降低^[28]。我国黑龙江伊春区棕背鼢鼠(*Clethrionomys rufocanus*)数量多的年份,第2年黄鼬(*Mustela sibirica*)毛皮的收购量大,间接显示出黄鼬与棕背鼢鼠的关系^[26]。在青藏高原海北高寒草甸生态系统中,鼠类的数量也决定着天敌动物的种群数量。20世纪70至80年代,在海北高寒草甸生态系统定位站附近,高原鼢鼠和高原鼠兔分布广,种群密度高,艾虎和香鼬的种群密度也相对较高,平均密度分别为10.34只/100hm²和69只/100hm²,而且艾虎的每胎产仔数保持为(5.25 ± 1.25)只。1990年由于灾害性气候大雪的影响,虽然高原鼢鼠的数量基本稳定,但高原鼠兔种群数量由1976年的288.48只/hm²降为1只/hm²左右,而艾虎和香鼬的种群数量也明显下降为0.37只/100hm²和3只/100hm²,艾虎每胎产仔数亦降为(4.83 ± 1.31)只。因此高原鼢鼠和高原鼠兔的种群数量成为决定艾虎和香鼬数量及繁殖力变化的主要因素。同时,天敌动物的种类及数量分布与鼠类的密度分布呈明显的正相关性。虽然在计算天敌动物对猎物的攻击风险时由于受到实验空间的限制使计算的捕食风险可能大于自然条件下的捕食风险,但是从模型得到的结果仍然可以反映出不同天敌动物对不同猎物的控制作用,艾虎是限制高原鼢鼠种群数量的主要捕食者,香鼬是限制高原鼠兔数量的主要捕食者,而赤狐对高原鼢鼠数量的限制作用高于对高原鼠兔数量的限制作用;同时,高原鼠兔所承受的捕食风险明显高于高原鼢鼠的捕食风险,在生态系统中起着更为重要的作用。1990年的野外研究也表明,鱼儿山地区由于微气候的作用,高原鼠兔集聚于1000hm²的面积上,平均种群密度为92只/hm²,而在其它区域基本无分布,因此许多天敌动物也移居于此区域。在30hm²的面积上竟有8只成体香鼬栖息,在1000hm²的面积上有6只狐狸、35只艾虎和4只大鸮栖息,荒漠猫、兔狲和隼类也多在此区域取食,而其它区域天敌动物的数量分布明显减少。Smith and Foggin^[29]对高原鼠兔的研究表明,高原鼠兔除了为许多捕食者提供食物资源外,它们的洞道系统为其它动物提供了居住场所,因此在高原鼠兔数量较高的区域,物种的数量相对较高,增加了生态系统中物种的多样性,高原鼠兔是高寒草甸生态系统中的关键物种。

3.2 两种猎物的生存对策

不同物种或同一物种在不同的捕食风险条件下所采用的对策有明显的差异,许多猎物主要通过改变活动时间、活动区域和食物选择等行为特征降低捕食风险^[30,31],也有许多动物通过改变形态特征和繁殖策略降低捕食风险^[32,33]。本项研究结果表明,在高寒草甸生态系统中高原鼠兔的捕食风险较高,而高原鼯鼠的捕食风险相对较低,因此,在进化过程,捕食风险不同将导致两种啮齿类动物采用不同的生存对策以增加自己的适合度。

首先,高原鼠兔和高原鼯鼠均通过不同的行为对策降低捕食风险。已有的研究表明^[18],捕食风险对高原鼠兔的繁殖没有明显影响,高原鼠兔主要通过行为对策降低捕食风险,在低捕食风险时,高原鼠兔增加观察和鸣叫的时间和频次,通过种群内个体的利它行为降低捕食风险,增加种群的适合度,而在高捕食风险存在时,通过增加观察的时间和频次以及降低鸣叫的时间和频次,以降低自身的捕食风险,从而增加个体的适合度;在捕食风险超过耐受范围时,高原鼠兔主要通过扩散降低捕食风险,从而增加种群的适合度。因此,高原鼠兔的社会性及行为对策降低了其捕食风险,使其种群能够生存。而高原鼯鼠是非社会性的动物,除了繁殖期外均营独居生活^[23],同时,高原鼯鼠常年生活在封闭的洞道系统中,使许多天敌动物无法进入洞道系统对其产生风险。香鼯由于无法挖掘高原鼯鼠的洞道系统,因此无法进入其洞道系统^[34];赤狐能够挖掘高原鼯鼠的洞道系统,但是由于身体较大无法进入其洞道系统^[35];对于能够进入洞道系统的艾虎,由于洞道结构的复杂性,特别是相对垂直的进入主穴的朝天洞阻碍了艾虎对其构成风险,同时,高原鼯鼠的个体较大,防御能力较强,尖锐的牙齿和锋利的前爪对捕食者可以构成伤害,在野外研究中发现,艾虎进入高原鼯鼠的朝天洞后,在与其捕杀过程中死于鼯鼠的洞道系统中^[21]。因此高原鼯鼠通过自身构建的洞道系统和强大的攻击能力降低捕食风险。

其次,高原鼠兔和高原鼯鼠通过不同的繁殖对策维持种群的生存。高原鼠兔具有巨大的繁殖潜能,通过集群生活增加个体的存活率,通过潜在的繁殖能力调节种群的数量,由此适应捕食风险的进化压力。高原鼠兔每窝胎仔数变化较大^[14],从1只到9只左右,平均胎仔数为(4.68 ± 1.29)只;有些区域雌性成体年繁殖1次,有些区域可繁殖5次,多数情况下年生育3~5次;同时高原鼠兔能够根据自身的种群数量和生境条件调节繁殖群体的大小,当年出生的雌性亚成体可加入生殖群体。高原鼠兔在低密度时的繁殖强度大于高密度时,繁殖时间延长,胎仔数和繁殖次数明显增加,因此高原鼠兔种群数量的恢复速度很快,一般在灭鼠后的第2年到第3年,由于迁移和繁殖力增加等原因,其种群数量可恢复到灭鼠前的水平,同时在以后的几年内,其种群数量可维持在更高的水平。高原鼯鼠的繁殖速度相对较慢^[14],一年只能繁殖1次,每胎幼体数为2~75只左右。在未受干扰的种群内有50%的雌性成体不参与繁殖,其平均胎仔数为3.4只,种群被干扰后其成体鼠的比例下降,幼体鼠的比例相对提高,繁殖鼠的比例和平均胎仔数均相应增加,随着干扰程度的加剧,其繁殖力也明显增加。

References:

- [1] Dickman C R. Rodent-ecosystem relationships: a review. In: Singleton G, Hinds L, Leirs H, Zhang Z eds. Ecologically-based rodent management. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1999. 113 - 133.
- [2] Reichman O J, Seabloom E W. The role of pocket gophers as subterranean ecosystem engineers. Trends in Ecology and Evolution, 2002, 17: 44 - 49.
- [3] Mun H T, Whitford W G. Factors affecting annual plants assemblages on banner-tailed kangaroo rat mounds. Journal of Arid Environments, 1990, 18: 165 - 173.
- [4] Heske E J, Brown J H, Guo Q. Effects of kangaroo rat exclusion on vegetation structure and plant species diversity in the Chihuahuan Desert. Oecologia, 1993, 95: 520 - 524.
- [5] Miller B, Ceballos G, Reading R. The prairie dog and biotic diversity. Conservation Biology, 1994, 8: 677 - 681.
- [6] Goldingay R L, Kelly P A, Williams D F. The kangaroo rats of California: endemism and conservation of keystone species. Pacific Conservation

- Biology, 1997, 3: 47 - 60.
- [7] Brock R E, Kelt D A. Keystone effects of the endangered Stephens kangaroo rat Biological Conservation, 2004, 116: 131 - 139.
- [8] List R. Ecology of kit fox (*Vulpes Macrotis*) and coyote (*Canis latrans*) and the conservation of the prairie dog ecosystem in northern Mexico. Ph. D. dissertation. University of Oxford, Oxford, United Kingdom. 1997.
- [9] Lomolino M V, Smith G A. Terrestrial vertebrate communities at black-tailed prairie dog (*Cynomys ludovicianus*) towns Biological Conservation, 2003, 115: 89 - 100.
- [10] Shaps J C, Uresk D W. Ecological review of black-tailed prairie dogs and associated species in western South Dakota Great Basin Naturalist, 1990, 50: 339 - 345.
- [11] Guillemin M, Arzel C, Legagneux P, et al. Predation risk constrains the plasticity of foraging behaviour in teals, *Anas crecca*: a flyway-level circumannual approach Animal Behavior, 2007, 73 (5): 845 - 854.
- [12] Kopimaki E, Norrdahl K, Valkama J. Reproductive investment under fluctuating predation risk: microtine rodents and small mustelids Evolutionary Ecology, 1994, 8: 357 - 368.
- [13] Powell F, Banks P B. Do house mice modify their foraging behaviour in response to predator odours and habitat? Animal Behaviour, 2004, 67 (4): 753 - 759.
- [14] Fan N C, Zhou W Y, Wei W H, et al. Rodent pest management in the Qinghai-Tibet alpine meadow ecosystem. In: Singleton G, Hinds L, Leirs H, Zhang Z eds Ecologically-based rodent management Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1999. 285 - 304.
- [15] Wang Q Y, Fan N C. Studies on the digging activities and exploration about the method of number estimation of plateau zokor Acta Theriologica Sinica, 1987, 7 (4): 283 - 290.
- [16] Wei W H, Wang Q Y, Zhou W Y. Effects of predatory disturbance on population reproductivity of *M. yospalax baileyi* Acta Ecologica Sinica, 1998, 18 (2): 176 - 180.
- [17] Wei W H, Fan N C, Zhou W Y, et al. The change of aggressive behaviour and hormone change of plateau pika after contraception control Acta Theriologica Sinica, 1999, 19 (2): 119 - 131.
- [18] Wei W H, Cao Y F, Zhang Y M, et al. Influence of the predation risk on the behavior of the plateau pika Acta Zoologica Sinica, 2004, 50 (3): 319 - 325.
- [19] Yang F T. A general view of the natural geography in the region of the research station of alpine meadow ecosystem. Alpine Meadow Ecosystem, 1982, 1: 1 - 8.
- [20] Xia W P, Zhou X M, Liu J K, et al. The bio-community in the region of alpine meadow. Alpine Meadow Ecosystem, 1991, 3: 1 - 8.
- [21] Zhou W Y, Wei W H. Study on population dynamic of polecats and its effective factors Acta Biologica Plateau Sinica, 1994, 12: 161 - 171.
- [22] Shi Y Z. On the influence of rangeland vegetation to the density of plateau pika (*Ochotona curzoniae*). Acta Theriologica Sinica, 1983, 3 (2): 181 - 187.
- [23] Zhou W Y, Dou F M. Studies on activity and home range of plateau zokor Acta Theriologica Sinica, 1990, 10 (1): 31 - 39.
- [24] Zong H, Xia W P. Circadian activity rhythms of plateau pikas, *Ochotona curzoniae* Acta Theriologica Sinica, 1987, 7 (3): 211 - 223.
- [25] Wei W H, Zhou W Y, Fan N C. The influence of moonlight and light intensity on activity of polecats (*Mustela evermanni*). Acta Theriologica Sinica, 2002, 22 (3): 179 - 186.
- [26] Yang W P, Yang H F. Influence of predators on rodent pest. In: Wang Z W, Zhang Z B eds Theory and practice of rodent pest management Beijing: Science Press, 1996. 182 - 203.
- [27] Lima S L, Dill L M. Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus Canadian Journal of Zoology, 1990, 68: 619 - 640.
- [28] Erlinge S. Predation and noncyclicality in a microtine population in southern Sweden Oikos, 1987, 50: 347 - 314.
- [29] Smith A T, Foggin J M. The plateau pika (*Ochotona curzoniae*) is a keystone species for biodiversity on the Tibetan Plateau Animal Conservation, 1999, 2: 235 - 240.
- [30] Jones M, Dayan T. Foraging behavior and microhabitat use by spiny mice, *Acomys cahirinus* and *A. nussatus*, in the presence of Blandford s fox (*Vulpes cana*) odor Journal of Chemical Ecology, 2000, 26: 455 - 469.

- [31] Leaver L A, Daly M. Effect of predation risk on selectivity in heteromyid rodents. *Behavioural Processes*, 2003, 64(1): 71 - 75.
- [32] Reid D G, Krebs C J, Kenney A. Limitation of collared lemming population growth at low densities by predation mortality. *Oikos*, 1995, 73: 387 - 398.
- [33] Klemola T, Koivula M, Korpimäki E, *et al*. Small mustelid predation slows population growth of microtus voles: a predator reduction experiment. *Journal of Animal Ecology*, 1997, 66: 607 - 614.
- [34] Wei W H, Zhou W Y, Fan N C. Habitat selection, feeding and caring for the young of alpine weasel. *Acta Theriologica Sinica*, 1994, 14(3): 184 - 188.
- [35] Zhou W Y, Wei W H. Activity rhythms and distribution of natal dens for red foxes. *Acta Theriologica Sinica*, 1995, 15(4): 267 - 272.

参考文献:

- [15] 王权业, 樊乃昌. 高原鼫鼠 (*Myospalax baileyi*) 的挖掘活动及其种群数量统计方法的探讨. *兽类学报*, 1987, 7(4): 283 ~ 290.
- [16] 魏万红, 王权业, 周文扬, 等. 捕食干扰对 *Myospalax baileyi* 种群繁殖力的影响. *生态学报*, 1998, 18(2): 176 ~ 180.
- [17] 魏万红, 樊乃昌, 周文扬, 等. 实施不育后高原鼠兔攻击行为及激素水平变化的研究. *兽类学报*, 1999, 19(2): 119 ~ 131.
- [18] 魏万红, 曹伊凡, 张堰铭, 等. 捕食风险对高原鼠兔行为的影响. *动物学报*, 2004, 50(3): 319 ~ 325.
- [19] 杨福国. 青海高寒草甸生态系统定位站的自然地理概况. *高寒草甸生态系统*, 1982, 1: 1 ~ 8.
- [20] 夏武平, 周兴民, 刘季科, 等. 高寒草甸地区的生物群落. *高寒草甸生态系统*, 1991, 3: 1 ~ 8.
- [21] 周文扬, 魏万红. 艾虎种群动态及其影响因素的研究. *高原生物学集刊*, 1994, 12: 161 ~ 171.
- [22] 施银柱. 草场植被影响高原鼠兔密度的探讨. *兽类学报*, 1983, 3(2): 181 ~ 187.
- [23] 周文扬, 窦丰满. 高原鼫鼠活动与巢区的初步研究. *兽类学报*, 1990, 10(1): 31 ~ 39.
- [24] 宗浩, 夏武平. 高原鼠兔似昼夜活动节律的研究. *兽类学报*, 1987, 7(3): 211 ~ 223.
- [25] 魏万红, 周文扬, 樊乃昌. 月光及光照对艾虎活动的影响. *兽类学报*, 2002, 22(3): 179 ~ 186.
- [26] 杨卫平, 杨荷芳. 天敌对鼠类种群的影响. 见: 王祖望, 张知彬主编. *鼠害治理的理论与实践*. 北京: 科学出版社, 1996. 182 ~ 203.
- [34] 魏万红, 周文扬, 樊乃昌. 香鼬的栖息地选择、觅食和育幼行为. *兽类学报*, 1994, 14(3): 184 ~ 188.
- [35] 周文扬, 魏万红. 赤狐的活动节律与产仔洞穴的选择. *兽类学报*, 1995, 15(4): 267 ~ 272.