

月光及光照强度对艾虎微生境利用的影响

魏万红 周文扬

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁, 810001)

樊乃昌

(浙江师范大学生物系, 金华, 321004)

摘要: 月光及光照作为一种捕食风险对许多动物的微生境利用有明显的影响。野外的无线电遥测资料和室内模拟光照强度的研究表明, 艾虎在明亮的月光期明显增加了对平坦灌丛区域的利用时间, 灌丛作为一种隐蔽场所减少了艾虎被捕食的风险, 艾虎在明亮的月光期增加对灌丛的利用是一种反捕食策略。无论光照强度如何, 艾虎对有隐蔽通道区域的利用程度较高, 在无隐蔽物区域采用短时间的活动方式, 在有隐蔽物区域采用长时间活动方式。这表明艾虎在进化过程中形成了反捕食策略, 而不是躲避捕食的策略。

关键词: 艾虎; 月光; 微生境

中图分类号: Q958.112.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1050(2002)04-0277-07

环境因子既直接影响动物从事各种活动的效率, 亦通过影响捕食者和猎物的活动、种内和种间的相互关系而间接发生作用, 能够利用环境因子作为线索估测食物可利用性和捕食风险大小的动物具有更大的适合度^[1]。在这些环境因子中光照可以增加依靠视觉发现食物的夜出性捕食者的取食效益, 亦使猎物承受更大的风险, 因此在光照条件下捕食者和猎物的行为都将会发生变化, 动物将根据光照周期和光照强度的变化策略地利用栖息地^[2~5]。

艾虎 (*Mustela eversmanni*) 是青藏高原主要鼬科动物之一, 是典型的夜出性动物。已有研究表明, 月光周期及光照强度对艾虎的活动格局及活动时间均没有明显的影响^[6], 艾虎在取食过程中可能利用洞道等隐蔽场所减少明亮月光期的高捕食风险。本文采用室内模拟光照强度和野外无线电遥测法确定不同光照强度和月光周期对艾虎微生境利用的影响, 分析光照与艾虎微生境选择的相互关系, 探讨艾虎对选择的重要意义。

1 研究地点及方法

1.1 野外研究

该项工作于 1990 年 3 月至 1992 年 7 月在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (39770106); 中国科学院知识创新工程“动物繁殖行为生态学研究”资助项目 (KSCX2-1-03) 和“种群爆发与崩溃的机理研究”资助项目 (KSCX2-SW-103); 中国科学院生命科学与生命技术创新青年科学家小组资助项目

作者简介: 魏万红 (1963-), 男, 博士, 研究员, 主要从事动物生态、动物行为和有害动物防治研究。

收稿日期: 2001-08-08; **修回日期:** 2002-01-28

南部的鱼儿山地区进行。该地区自然状况及生物群落类型已有报道^[7,8]。研究期间,根据植被特征和地貌特征,将研究区域划分为坡部草甸区域、坡部灌丛区域、平坦草甸区域和平坦灌丛区域4种类型。由于艾虎的主要食物是高原鼢鼠和高原鼠兔,因此在每一区域中分别设置5个1 hm²的样方,每季度统计各样方中两种鼠类的种群密度,以计算不同区域内两种鼠类的平均种群密度。研究期间共统计了10个季节中两种鼠类的种群密度,以其平均值计算不同区域内两种鼠类总的生物量,作为衡量食物高低的标准。对目标动物的捕捉、标志、无线电遥测方法及月光周期的划分已有描述^[6]。

1.2 室内研究

室内研究于1997年7月至1998年7月在西宁中国科学院西北高原生物研究所进行。用于实验的6只成体艾虎(3只雌体,3只雄体)捕于中国科学院北海高寒草甸生态系统定位站附近,雌体平均体重646.0 ± 9.94 g,雄体平均体重733.3 ± 7.51 g。动物被捕后带回西宁饲养于室外140 cm × 120 cm × 180 cm的网围栏内,围栏内放置25 cm × 25 cm × 39 cm的巢箱供艾虎居住。每天下午19:00供给食物及饮水。1997年11月开始室内实验,实验期间,从网围栏内捕捉单个艾虎饲养于室内25 cm × 25 cm × 39 cm的巢箱中,食物供给同上,模拟自然光照。

在地下实验场中建立4个观察室。每个观察室面积为260 cm × 490 cm,通过自控装置调节光照强度和光照时间。实验时通过洞道系统将单个艾虎的巢箱与两个观察室相连。将光照强度分3个等级,即1.30 μE/m²s⁻¹, 0.44 μE/m²s⁻¹, 0.01 μE/m²s⁻¹。每次实验时在两个观察室中均设置同一等级的光照强度,但在其中一个观察室加入洞道系统做为艾虎活动时的隐蔽所,而另一个观察室中不加洞道做为对照区,让动物适应环境3天后开始正式记录24 h内艾虎对两个观察室的利用时间和频次。然后在另一个观察室加入洞道并使光照强度为1.30 μE/m²s⁻¹,另一房间不加洞道并使光照强度为0.01 μE/m²s⁻¹,记录24 h内艾虎对两个观察室的利用时间和频次。

1.3 统计分析

利用Statistica软件包对研究期间无线电遥测所得的全部数据进行统计。文中实验数值以平均数 ± 标准误差(mean ± SE)表示。采用方差分析(ANOVA)对文中数据进行检验,以P < 0.05作为差异显著的标准。

2 结果

2.1 艾虎活动区域中猎物的生物量变化

研究期间,高原鼠兔的种群密度在坡部草甸中平均为13.32 ± 2.61只/hm²(n = 10),在平坦草甸中平均为4.54 ± 0.68只/hm²(n = 10),在平坦灌丛中平均为1.8 ± 0.37只/hm²(n = 10),在坡部灌丛中基本没有分布;高原鼢鼠的种群密度在坡部草甸、平坦草甸、平坦灌丛和坡部灌丛中平均分别为12.66 ± 0.54只/hm²(n = 10)、14.33 ± 0.66只/hm²(n = 10)、10.08 ± 1.83只/hm²(n = 10)和4.88 ± 0.82只/hm²(n = 10)。以鼠兔体重142.22 g、鼢鼠体重269.83 g计算,在坡部草甸、平坦草甸、平坦灌丛和坡部灌丛4种活动区域中两种鼠类总生物量的分布分别为5 310.42 g/hm²、4 512.34 g/

hm^2 、 $2\,975.88\text{ g}/\text{hm}^2$ 、 $1\,316.77\text{ g}/\text{hm}^2$ ，其年间平均生物量变化如图 1 所示。因此，在坡部草甸区域，艾虎的食物量最为丰富，在平坦草甸区域次之，而在坡部灌丛区域最低。

2.2 月光周期对艾虎微生境利用的影响

将月亮周期划分为 12 个时相后，在每一个时相内，艾虎对 4 种活动区域的利用时间没有明显差异 ($F(11, 105) = 0.750$, $P = 0.910$) (表 1)。在 12 个时相中，时相 1, 2, 11, 12 时，月亮大于 $2/3$ ，因此为明亮期，而时相 5, 6, 7, 8 时，月亮小于 $1/3$ ，因此为黑暗期。在明亮期艾虎增加了对平坦灌丛区域的利用，而在其它类型之间没有明显不同 (表 2)，这在性别间及繁殖期与非繁殖期间都有相同的趋势 (表 3)。

表 1 月光周期对艾虎不同生境利用时间的影响 (时间: min)

Table 1 The effect of moon stage on time of polecats using different habitats (Time: min)

月光周期 Moon stage	N	坡部草甸 Meadow in sloping area	平坦草甸 Meadow in flat area	平坦灌丛 Brush in flat area	坡部灌丛 Brush in sloping area
1	10	142.90 ±36.62	35.30 ±15.67	53.70 ±28.22	46.40 ±24.88
2	8	176.75 ±41.48	94.38 ±47.78	3.75 ±0.00	63.38 ±32.56
3	13	157.62 ±49.53	22.46 ±11.37	112.54 ±55.36	45.00 ±35.91
4	2	57.50 ±0.00	141.50 ±0.00	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00
5	14	119.07 ±34.57	88.14 ±37.40	59.57 ±31.56	7.86 ±5.59
6	9	148.11 ±39.82	41.22 ±29.40	10.56 ±0.00	2.67 ±0.00
7	13	195.54 ±61.18	66.77 ±24.89	18.92 ±10.75	15.39 ±11.85
8	7	122.71 ±49.63	78.29 ±66.02	49.57 ±37.51	20.71 ±12.65
9	6	173.00 ±36.63	35.83 ±0.00	0.00 ±0.00	15.00 ±13.10
10	13	137.23 ±34.86	86.08 ±29.00	20.00 ±12.00	0.39 ±0.00
11	14	143.29 ±41.04	62.64 ±25.00	37.71 ±19.59	82.43 ±40.77
12	8	123.00 ±45.79	217.63 ±94.52	17.86 ±12.11	3.13 ±0.00

表 2 月光对艾虎不同生境利用时间的影响 (时间: min)

Table 2 The effect of moonlight on time of polecats using different habitats (Time: min)

月光 Moonlight	坡部草甸 Meadow in sloping area	平坦草甸 Meadow in flat area	平坦灌丛 Brush in flat area	坡部灌丛 Brush in sloping area
明亮 Bright	145.83 ±20.46 (n=40)	93.15 ±24.48 (n=40)	51.75 ±19.99 (n=40)	30.95 ±10.24 (n=40)
黑暗 Dark	148.86 ±24.27 (n=43)	70.26 ±18.37 (n=43)	11.14 ±4.50 (n=43)	35.40 ±12.56 (n=43)
检验 Test	$F(1, 81) = 0.010$ $P = 0.925$	$F(1, 81) = 0.570$ $P = 0.453$	$F(1, 81) = 5.680$ $P = 0.020$	$F(1, 81) = 0.070$ $P = 0.786$

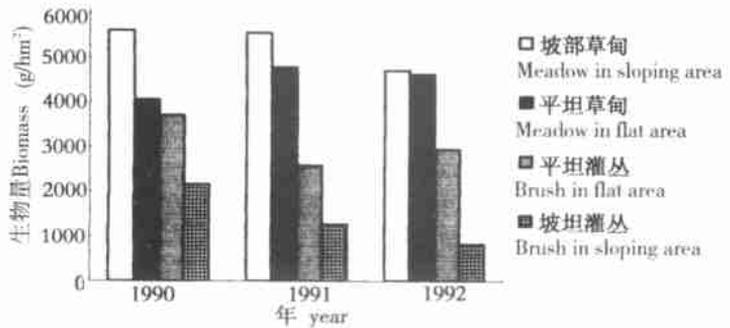


图 1 不同生境中猎物的生物量

Fig. 1 The biomass of preys in different habitats

表3 繁殖期和非繁殖期月光对艾虎不同生境利用时间的影响 (时间: min)

Table 3 The effect of moonlight on time of polecats using different habitats in reproductive and non-reproductive periods (Time: min)

生境类型 Habitat type	性别 Sex	繁殖期 Reproductive		非繁殖期 Non-reproductive	
		明亮期 Bright	黑暗期 Dark	明亮期 Bright	黑暗期 Dark
坡部草甸 Meadow in sloping area		137.90 ±55.18 (n = 10)	88.91 ±36.37 (n = 11)	170.53 ±27.94 (n = 19)	209.42 ±43.92 (n = 19)
		107.00 ±39.62 (n = 7)	114.50 ±0.00 (n = 2)	116.25 ±40.64 (n = 4)	110.46 ±30.38 (n = 11)
平坦草甸 Meadow in flat area		177.80 ±80.32 (n = 10)	171.64 ±54.70 (n = 11)	45.16 ±20.94 (n = 19)	17.00 ±9.95 (n = 19)
		102.14 ±35.95 (n = 7)	75.00 ±45.00 (n = 2)	93.75 ±53.05 (n = 4)	60.00 ±25.94 (n = 11)
平坦灌丛 Brush in flat area		106.30 ±55.79 (n = 10)	2.73 ±0.00 (n = 11)	18.32 ±13.66 (n = 19)	4.74 ±0.00 (n = 19)
		59.14 ±32.69 (n = 7)	0.00 ±0.00 (n = 2)	61.25 ±28.90 (n = 4)	32.64 ±13.86 (n = 11)
坡部灌丛 Brush in sloping area		37.50 ±25.01 (n = 10)	51.73 ±33.85 (n = 11)	17.53 ±13.36 (n = 19)	10.68 ±7.66 (n = 19)
		67.86 ±26.50 (n = 7)	8.00 ±0.00 (n = 2)	13.75 ±0.00 (n = 4)	66.73 ±31.92 (n = 11)

2.3 模拟光照条件下艾虎对微生境的利用

在3个水平的光照条件下,艾虎明显选择有隐蔽洞道的区域活动,其活动时间均明显高于无洞道的对照区域 ($F(1, 38) = 35.864, P = 0.000$; $F(1, 18) = 13.557, P = 0.002$; $F(1, 18) = 35.184, P = 0.000$),但在活动频次间均无明显差异 ($F(1, 38) = 0.007, P = 0.934$; $F(1, 18) = 0.330, P = 0.573$; $F(1, 18) = 0.200, P = 0.660$) (表4)。

表4 艾虎对不同光照条件下生境的利用

Table 4 The habitat use of polecats in different light levels

光照水平 Light level		有洞道生境 Habitat with burrows	无洞道生境 Habitat without burrows
1.30 $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$	T	8.86 ±1.27 (n = 20)	1.14 ±0.23 (n = 20)
	F	15.30 ±1.72 (n = 20)	15.10 ±1.65 (n = 20)
0.44 $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$	T	7.78 ±1.69 (n = 10)	1.37 ±0.42 (n = 10)
	F	12.40 ±2.18 (n = 10)	10.60 ±2.26 (n = 10)
0.01 $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$	T	8.52 ±1.20 (n = 10)	1.38 ±0.13 (n = 10)
	F	11.20 ±3.55 (n = 10)	9.50 ±1.35 (n = 10)

T: 时间 Time (h); F: 频次 Frequency

当一个房间具洞道隐蔽物且光照为最强,而另一房间为暗光又无洞道隐蔽物时,艾虎对强光有隐蔽物房间的利用时间为 $10.17 \pm 0.70 \text{ h}$ ($n = 10$),对暗光无隐蔽物房间的利用时间为 $1.78 \pm 0.74 \text{ h}$ ($n = 10$),二者之间有明显的差异 ($F(1, 18) = 67.173, P = 0.000$),对强光有隐蔽物房间的利用频次为 13.70 ± 1.90 ($n = 10$),对暗光无隐蔽物

房间的利用频次为 15.00 ± 2.30 ($n=10$)，二者间无明显差异 ($F(1, 18) = 0.190$, $P = 0.668$)。以上结果表明，无论光照条件如何，艾虎对有隐蔽洞道系统区域的利用程度较高。

3 讨论

捕食风险随时间、地点而变化，它与生境中植被的覆盖度、捕食者的类型有关^[9~11]。动物捕食时总是使其取食的效益增加并降低捕食风险的代价^[12]，因此它们要对不同生境中的取食效益和捕食风险大小做出估测，并综合这些信息以确定它们的行为反应^[13]。在进化过程中由于不同的选择压力使有些动物能够通过多变的活动而有效地逃避被捕食的风险。一些荒漠啮齿类多选择开阔生境作为栖息地，高原鼠兔也选择开阔生境作为栖息地，以减少被捕食的风险，而有些动物则选择植被茂密的地方栖息，在开阔生境中则具有更大的风险^[14]。前面的研究结果已经显示，月光周期和光照强度对艾虎的活动时间及活动格局都没有明显影响，艾虎在取食活动中主要依靠洞道等隐蔽场所减少明亮月光期高的捕食风险^[6]。本项室内研究表明，无论光照条件如何，艾虎总是对有洞道隐蔽物的区域选择性较高，由于洞道系统既是艾虎获取食物的场所，又是艾虎减少捕食风险最有效的隐蔽物，这说明艾虎在活动首先考虑的因素可能是如何找到食物，而在寻找食物时又利用更安全的区域，这种特点可能是在进化过程中形成的反捕食策略 (anti-predator)，而不是躲避捕食策略 (avoidance-predator)，即艾虎不是为了减少捕食风险而改变活动策略、增加明亮期对隐蔽物的利用，而是在风险条件下利用有利因素防止与天敌动物相遇并被天敌动物所捕获。实验中可以看到，艾虎对两种生境的利用频次是相同的，而对两种生境利用的时间是不同的，在无隐蔽物区域采用短时间利用方式，即每次活动时更快离开该区域，而在有隐蔽物区域，采用长时间利用方式，即每次活动时对该区域的利用时间较长。这种特点也反应了艾虎取食的随机性，同时也说明了艾虎在取食过程中的反捕食策略。

野外条件下，假定在没有捕食风险存在时，草甸区域由于猎物生物量较高将成为艾虎取食的最理想场所，但是野外的无线电遥测资料表明，艾虎在明亮期并非完全依赖于高食物区域，而是增加了对平坦灌丛的利用，这说明月光影响了艾虎对微生境的选择。一方面灌丛可能阻碍其天敌动物的视线，减少了被天敌动物发现的机率，另一方面艾虎在灌丛中活动时可产生拟态的效应。当艾虎在灌丛中休息时，即使与观察者仅相距 10 m 左右，观察者也很难发现其确切位置，说明灌丛也是艾虎的隐蔽场所之一，在明亮期增加对灌丛的利用可以减少捕食风险。Schwab^[15]发现梅氏更格卢鼠 (*Dipodomys merriami*) 在月亮升起后更多地在灌丛区域活动，斑尾更格卢鼠 (*D. nitratoides*) 在月光期更多地利用树冠下面的食物^[16]，而奥氏更格卢鼠 (*D. ordii*) 明亮期时在阴暗区域活动的数量明显高于在无阴暗区域活动的数量^[17]。猎物形成的这种适应性策略与其捕食者的捕食行为有关^[18,19]。猫科动物 (felid) 在捕食或接近猎物时从密闭的植被中伏击猎物^[20]或在短距离内追击猎物^[18,21]，因此许多猎物避免在密闭的植被中取食；而犬科动物 (canid) 在小范围内搜寻猎物或长距离追击猎物^[19]，在植被稀疏的生境中有更大的

捕食成功率^[22], 因此许多猎物增加了对密闭植被生境的利用。艾虎的主要天敌动物是狐狸, 属于犬科动物, 艾虎在灌丛中取食时被狐狸发现的风险也许较小, 因此艾虎在明亮的月光期增加对灌丛的利用是一种适应性的反捕食策略。

参考文献:

- [1] Skutelsky O. Predation risk and state-dependent foraging in scorpions: effects of moonlight on foraging in the scorpion *Buthus occitanus* [J]. *Anim Behav*, 1996, 52: 49 - 57.
- [2] Clarks J A. Moonlight s influence on predator/ prey interactions between short - eared owls (*Asio flammeus*) and deermice (*Peromyscus maniculatus*) [J]. *Behav Ecol Sociobiol*, 1983, 13: 205 - 209.
- [3] Kotler B P, Brown J S, Smith R J, Wirtz W O. The effects of morphology and body size on rates of owl predation on desert rodents [J]. *Oikos*, 1988, 53: 145 - 152.
- [4] Kotler B P, Brown J S, Slotow R H, Godfrinend W L, Strauss M. The influence of snakes on the foraging behavior of gerbils [J]. *Oikos*, 1993, 67: 309 - 316.
- [5] Longland W S, Price M V. Direct observations of owls and heteromyid rodents: can predation risk explain microhabitat use [J]? *Ecology*, 1991, 72: 2261 - 2273.
- [6] 魏万红, 周文扬, 樊乃昌. 月光及光照对艾虎活动的影响 [J]. *兽类学报*, 2002, 22 (3): 179 - 186.
- [7] 杨福国. 青海高寒草甸生态系统定位站的自然地理概况 [A]. 见: 夏武平主编. 高寒草甸生态系统[C]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982. 1 - 8.
- [8] 夏武平, 周兴民, 刘季科, 张晓爱. 高寒草甸地区的生物群落 [A]. 见: 刘季科, 王祖望主编. 高寒草甸生态系统 [C]. 北京: 科学出版社, 1991. 3: 1 - 8.
- [9] Hughes J J, Ward D. Predation risk and distance to cover affect foraging behaviour in Namib Desert gerbils [J]. *Anim Behav*, 1993, 46: 1234 - 1245.
- [10] Power M E, Marks J C, Parker M S. Variation in the vulnerability of prey to different predators: community-level consequences [J]. *Ecology*, 1992, 73: 2218 - 2223.
- [11] Lima S L. Vigilance and diet selection: a simple example in the dark-eyed junco [J]. *Can J Zool*, 1988, 66: 593 - 596.
- [12] Brown J S, Kotler B P, Smith R J and Wirtz W O. The effects of owl predation on the foraging behaviour of heteromyid rodents [J]. *Oecologia* (Berl.), 1988, 76: 408 - 415.
- [13] Lima S L, Dill L M. Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus [J]. *Can J Zool*, 1990, 68: 619 - 640.
- [14] Price M V, Waser N M, Bass T A. Effects of moonlight on microhabitat use by desert rodents [J]. *J Mammal*, 1984, 65: 353 - 356.
- [15] Schwab R G. Environmental factors affecting surface activity of the kangaroo rat (*Dipodomys merriamii*) [M]. Arizona: The Arizona University Microfilm, 1966. 60.
- [16] Lockard R B, Owings D H. Moon-related surface activity of bannertail (*Dipodomys spectabilis*) and Fresno (*D. nitratoides*) Kangaroo rats [J]. *Anim Behav*, 1974, 22: 262 - 23.
- [17] Kaufman D W, Kaufman G A. Effect of moonlight on activity and microhabitat use by Ord s kangaroo rat (*Dipodomys ordii*) [J]. *J Mammal*, 1982, 63: 309 - 312.
- [18] Kruuk H. Interactions between felidae and their prey species [A]. In: Miller S D, Everett D D eds. *Ecology, Conservation and Management* [C]. WashingtonDC, National Wildlife Federation, 1986. 353 - 374.
- [19] Kleiman D G, Eisenberg J F. Comparisons of canid and field social systems from an evolutionary perspective [J]. *Anim Behav*, 1973, 21: 637 - 659.
- [20] Elliot J P, Cowan I M, Holling C S. Prey capture in the African lion [J]. *Can J Zool*, 1977, 55: 1811 - 1828.

- [21] Sunquist M E, Sunquist F C. Ecological constraints on predation by large fields [A]. In: Gittleman J L ed. Ecology and Evolution [C]. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1989. 283 - 301.
- [22] Wells M C, Bekoff M. Predation by wild coyotes: behavioral and ecological analyses [J]. *J Mammal*, 1982, 63: 118 - 127.

THE INFLUENCE OF MOONLIGHT AND SIMULATING LIGHT INTENSITY ON THE USE OF MICROHABITAT BY POLECATS (MUSTELA EVERSMANNI)

WEI Wanhong ZHOU Wenyang

(Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining, 810001)

FAN Naichang

(Department of Biology, Zhejiang Normal University, Jinhua, 321004)

Abstract: The moonlight especially its light intensity is one of predation risks that obviously influenced many animals in using their microhabitats. The radio-tracking in the field and very low light intensities (0.01 to $1.30 \mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$) simulated moonlight in the laboratory were used to study their influences on the use of microhabitats by polecats. Our results showed that the polecats increased the usage of the shrub area with more food. They used shrubs as the shelters to reduce their predation risks. They increased the usage of the shrub areas under bright moonlight was one of the anti-predators strategies. Regardless of the simulated moonlight intensity used, the polecats mainly utilized the area with more burrows for longer period, and used the areas without burrows for shorter period. These results indicated that polecats have formed a strategy to become anti-predators and not the avoidance-predators during their evolutionary process.

Key words: Polecat (*Mustela eversmanni*); Moonlight; Microhabitat