

局部实验增温对根田鼠栖息地 内斑块利用的影响

孙 平¹ 赵新全^{1*} 魏万红² 徐世晓¹ 赵 伟¹ 赵同标¹

(¹ 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁, 810001) (² 扬州大学生物科学与技术学院, 扬州, 225009)

摘要: 为探讨局部实验增温所形成的斑块效应对根田鼠栖息地利用的可能影响, 通过建立开顶式增温小室模拟全球变暖, 采用标志重捕法分别调查了不同放牧强度样地上 4 种处理内根田鼠的捕获频次。这 4 种处理分别为实验增温组、剪草模拟放牧组、实验增温兼剪草模拟放牧组以及对照组。研究表明: 不同的放牧强度对根田鼠的捕获频次没有显著影响; 在重度放牧样地上, 不论是暖季还是冷季, 4 种处理内根田鼠的捕获频次间的差异均达到显著水平; 在轻度放牧样地上, 暖季, 4 种处理内根田鼠的捕获频次间没有显著差异, 而在冷季, 这种差异则可达到显著水平 ($P < 0.05$)。增温小室的建立所形成的隐蔽效应对根田鼠的栖息地选择并没有显著影响, 剪草处理对根田鼠的栖息地选择也没有影响, 在暖季, 局部实验增温对根田鼠的栖息地选择并无影响; 在冷季, 实验增温组与对照组间的差异显著 ($P < 0.05$), 而实验增温兼剪草模拟放牧组与剪草模拟放牧组间无明显差异。结果表明, 在暖季, 局部实验增温对根田鼠的栖息地选择不存在明显影响, 而在冷季, 这种影响在实验增温组与对照组间达到显著水平, 而实验增温兼剪草模拟放牧组与剪草模拟放牧组间则不明显。

关键词: 根田鼠; 局部实验增温; 斑块效应; 放牧强度; 捕获频次; 栖息地利用

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050(2004)01-0042-06

Influence of Locally Experimental Warming on Patches Utilization in Root Vole's Habitat

SUN Ping¹ ZHAO Xinquan¹ WEI Wanhong² XU Shixiao¹ ZHAO Wei¹ ZHAO Tongbiao¹

(¹ Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining, 810001)

(² College of Biosciences and Biotechnology, Yangzhou University, Yangzhou, 225009)

Abstract: To discuss the influence of patch effect of locally experimental warming (EW) on root voles' habitat choice, using top open chambers (TOC) to simulate global warming, the root vole's captured frequencies in 4 treatments in different grazing-intensity plots were investigated by mark-recapture method. The four treatments included EW, cut grass simulating grazing (CUT), EW & CUT (EWC), and control (CK). The results showed that: (1) There was no influence of different grazing intensities on root vole's captured frequencies ($P > 0.05$), but among 4 treatments in High Grazing Meadow (HGM), the differences were significant during both warm or cold seasons ($P < 0.05$). In Low Grazing Meadow (LGM), it was not significant in warm season ($P > 0.05$), however, it was evident during cold one ($P < 0.05$). (2) There were no significant influence of the ulterior effect of warming chambers foundation on habitat selection of root vole, cut grass treatment on habitat choice of root vole had also no effect. In warm season, Locally experimental warming (LEW) had no effect on root vole's habitat choice ($P > 0.05$); In cold season, there were significant difference of EW and CK ($P < 0.05$), but EWC and CUT had no difference. The results indicated that LEW had no influence on root vole's habitat choice in warm season. In cold season, this effect was significant between EW and CK, but it was not significant between EWC and CUT.

Key words: Root vole (*Microtus oeconomus*); Locally experimental warming; Patch effect; Grazing intensity; Captured frequencies; Habitat utilization

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30100016); 中国科学院知识创新工程资助项目 (KZCX1-09-01); 中国科学院北海高寒草甸生态系统定位站基金资助项目

作者简介: 孙平 (1975 -), 男, 博士生, 主要从事动物种群生态学和行为生态学方面的研究。

收稿日期: 2002-12-03; 修回日期: 2003-04-21

*通讯作者

全球气候变化的研究是当今生态学研究的重要领域之一。温室气体 (CO₂、CH₄ 等) 浓度剧增所导致的地球温室效应是气候变化的主要原因^[1, 2]。自 19 世纪以来, 全球表面温度平均上升了 0.3 ~ 0.6 °C, 仅在 20 世纪, 全球平均表面温度就上升了 0.5 °C。根据模型预测, 在 21 世纪内全球平均大气温度 (Global mean surface air temperature) 将会上升 1 ~ 4.5 °C^[3 ~ 5]。因此, 全球变暖将对世界范围内的动植物产生何种影响以及动植物又是如何对全球变暖作出响应和适应的问题是众多生态学家关注的热点之一。大时空尺度上全球变暖对动物行为影响的研究表明, 温度增加后, 一些鸟类^[6, 7]和两栖类的^[8]繁殖提前, 蝴蝶出现的时间提前^[9]以及蝴蝶的分布范围明显扩大^[10]; 同时, 全球变暖还可以通过影响动物的栖息地环境、食物分布格局等因素进而影响动物的种群特征及其分布, 尤其是生活史 (Life-cycle) 较短的动物, 它们对全球变暖的响应就更为明显^[11, 12]。然而, 当前更多的工作仅仅局限在模型方面^[13 ~ 15]。

根田鼠 (*Microtus oeconomus*) 是一种分布广泛的小型哺乳动物^[16]。在海北高寒草甸地区, 根田鼠是优势小型啮齿动物之一, 主要分布于植被覆盖度较好的草甸和灌丛中, 其生态寿命仅有 7 ~ 8 个月, 有关其种群数量动态及生理生化方面的研究相对较多^[17 ~ 20], 但是, 野外条件下, 小空间尺度的局部实验增温所形成的斑块效应将对根田鼠的栖息地斑块的利用产生何种影响, 尚未见有关报道。

鉴于目前国内外此类研究的现状, 本实验采用 TOCs 模拟全球变暖的方法, 在野外条件下, 测定不同季节、不同处理样方内根田鼠的捕获频次, 通过统计分析温室内外根田鼠捕获频次的差异, 确定局部实验增温对根田鼠栖息地斑块利用的可能影响, 进而探讨根田鼠类动物对全球变暖的响应模式。同时假设增温小室的建立所形成的隐蔽效应, 使根田鼠的捕食风险降低, 导致根田鼠倾向于选择有增温小室的斑块, 从而改变其栖息地斑块的利用格局。

1 研究样地和方法

本研究在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站 (37°29' ~ 37°49' N, 101°12' ~ 101°33' E) 进行。该地区的自然状况、植被类型和土壤结构等情

况已有报道^[21]。在海北高寒草甸地区, 根据不同放牧强度选取两块实验样地 (30 m × 30 m), 即重度放牧草甸样地 (High grazing meadow, HGM) 和轻度放牧草甸样地 (Low grazing meadow, LGM), 有关两样地的植被群落特征已有报道^[22]。为避免人为干扰和放牧, 样地外用刺丝围栏, 两样地之间距离为 700 m, 且有一条河相隔。实验设计如下: 在 HGM 和 LGM 样地上分别选取 16 个小样方, 每一小样方的面积为 1.77 m², 分 4 种处理: 实验增温组 (Experimental Warming, EW): 根据国际冻原计划 (International Tundra Experiment Program, ITEX) 的标准, 利用圆锥形玻璃纤维的开顶式增温小室模拟全球变暖。TOCs 的底部直径为 1.5 m, 顶部直径为 1.0 m, 高 0.47 m。该材料对太阳光中的可见光部分有很高的通透性 (86%), 而对远红外辐射的通透性较低 (< 5%)^[23]; 模拟放牧组: 通过剪草模拟放牧 (Cut), 将草的高度剪至距地面 1 ~ 2 cm 处, 从 5 月份开始, 每月中旬剪草一次, 9 月份结束; 实验增温兼模拟放牧组: 既有实验增温又有剪草处理 (EW & Cut, EWC); 对照组 (Control, CK)。以上每种处理均包括 4 个小样方。采用标志重捕法统计两个实验样地内根田鼠的种群密度。以新鲜的胡萝卜作饵料, 在 4 种处理的样方内均匀布笼, 共放笼 16 个, 每 3 天为一个诱捕期, 每月中下旬重捕一次。实验时间为 1999 年 8 月, 2000 年 8 ~ 10 月及 12 月, 2001 年 2 ~ 8 月及 10 ~ 12 月 (HGM 样地缺 8 月份) 和 2002 年 1 月。因此, 对 HGM、LGM 样地内的根田鼠分别进行了 15 个月 (暖季 6 个月, 冷季 9 个月) 和 16 个月 (冷暖季各 8 个月) 的野外调查。鼠笼开放时间: 暖季 (5 ~ 9 月份) 为 08:00 ~ 11:00 和 15:00 ~ 17:45; 冷季 (10 月至次年 4 月份)^[24] 为 10:30 ~ 15:30。为防止由于高温、低温或雨雪等造成根田鼠个体的死亡, 捕捉期内, 每天检查 3 ~ 5 次, 分别统计不同处理内捕获根田鼠的次数, 记为捕获频次^[20]。

选用美国生产的四通道野外便携式 ONSET COMPUTER CORPORATION 自动记录设备——HOBO 测定温室内外温度。该设备可根据需要设定测定时间的间隔, 从而长时间连续测定 4 个不同层次的温度。本实验中, 于 4 月中旬在 4 个层次上 (地上 15 cm 和 5 cm, 地下 5 cm 和 10 cm) 对温室内外

大气和土壤温度进行测定,每隔 2 min 测定 1 次,连续测定 10 d。

采用软件包 SPSS10.0 对所取实验数据进行统计分析。用 Friedman 检验比较相同季节、同一样地内 4 种处理间根田鼠捕获频次的差异,用 Wilcoxon 检验比较实验增温与其对照间捕获根田鼠频次的差异,以探讨实验增温对根田鼠栖息地选择的可能影响。为了验证放牧强度在不同季节对不同样地上根田鼠栖息地选择的影响,先将数据进行正弦转换,再运用独立变量 t-检验 (Independent Samples t-test) 比较了同一季节、同种处理不同放牧强度样地间根田鼠捕获频次的差异,同时,为了探讨增温小室的隐蔽效应对根田鼠栖息地选择的影响,运用配对样本的 t-检验 (Paired-Samples t-test) 比较了相同食物条件下增温与对照组间根田鼠捕获频次的差异。

2 结果与分析

2.1 温室内外温度的差异

根据周华坤等^[25]的研究,在暖季,TOCs 的建立,可以使温室内的温度升高 1 左右。利用 HOBO 测定的数据,计算出冷季温室内外 4 个层次上(地上 15 cm 和 5 cm,地下 5 cm 和 10 cm)大气和土壤温度的平均值,结果表明,不论是地上还是地下,温室内部温度比外部温度平均升高近 1.3

(图 1)。

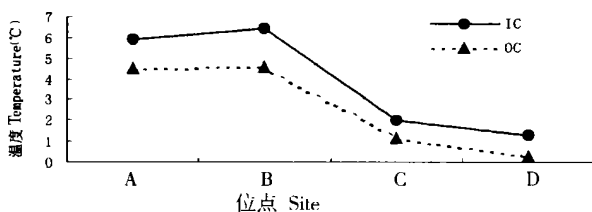


图 1 冷季温室内外温度的温度

Fig.1 Temperatures in chamber and control in cold season

A:地上 15 cm 15 cm aboveground;B:地上 5 cm 5 cm aboveground;
C:地下 5 cm 5 cm underground;D:地下 10 cm 10 cm underground

2.2 隐蔽效应对根田鼠栖息地选择的影响

对实验期间根田鼠的捕获频次进行配对样本的 t-检验,结果表明,相同的食物条件下,在 HGM 样地上,增温小室的建立所形成的隐蔽效应是不明显的 ($df = 14, P > 0.05$, EW 与 CK; $df = 14, P > 0.05$, EWC 与 CUT);在 LGM 样地上,增温小室的建立所形成的隐蔽效应对根田鼠的栖息地选

择并没有显著影响 ($df = 15, P > 0.05$, EW 与 CK; $df = 15, P > 0.05$, EWC 与 CUT)。

同时,在实验增温条件下,EW 与 EWC 内根田鼠捕获频次的比较发现,剪草处理对根田鼠的栖息地选择没有影响 ($df = 14, P > 0.05$, HGM; $df = 15, P > 0.05$, LGM)。在自然条件下,CUT 与 CK 内根田鼠捕获频次的比较发现,剪草处理对根田鼠的栖息地选择并没有影响 ($df = 14, P > 0.05$, HGM; $df = 15, P > 0.05$, LGM)。

2.3 HGM 样地上不同季节不同处理内捕获根田鼠频次

在 HGM 样地上,不同季节不同处理内捕获根田鼠的频次如图 2 所示。Friedman 检验的结果表明,不论是在暖季,还是在冷季,4 种处理间捕获根田鼠频次的差异均达到显著水平 ($df = 3, P < 0.05$, 暖季; $df = 3, P < 0.05$, 冷季)。

Wilcoxon 检验的结果表明,在暖季,EWC 与 CUT 之间捕获根田鼠的频次并无显著性差异 ($P > 0.05$);EW 与 CK 样方内根田鼠捕获频次之间的差异亦未达到显著水平 ($P > 0.05$)。在冷季,EWC 与 CUT 间捕获根田鼠的频次并无显著性差异 ($P > 0.05$),而 EW 与 CK 之间捕获根田鼠频次的差异达到显著水平 ($P < 0.05$, 冷季)。

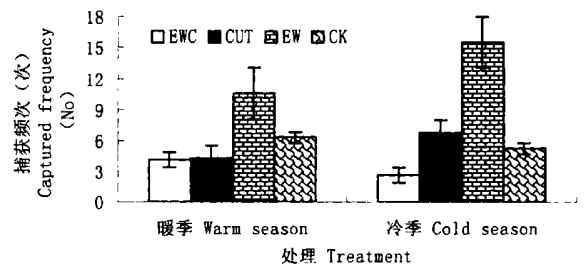


图 2 不同季节 HGM 样地上不同处理内捕获根田鼠的频次

Fig.2 The captured frequencies in different treatments at HGM in different seasons

2.4 LGM 样地上不同季节不同处理内捕获根田鼠频次

LGM 样地上不同季节不同处理内捕获根田鼠频次(图 3)的 Friedman 检验表明,在暖季,LGM 样地上 4 种处理内捕获根田鼠频次间无显著性差异 ($df = 3, P > 0.05$),而在冷季,随外界温度的降低,由于 CUT,CK 和 EWC 内捕获根田鼠频次的降低,以及 EW 内捕获根田鼠频次的增高,4 种处理内捕获根田鼠频次间达到显著水平 ($df = 3, P <$

0.05)。

Wilcoxon 检验的结果表明, LGM 样地表现出与 HGM 相同的格局, 即在暖季, EWC 与 CUT 以及 EW 与 CK 间, 捕获根田鼠的频次并无显著性差异 ($P > 0.05$, EWC 与 CUT; $P > 0.05$, EW 与 CK)。在冷季, EWC 与 CUT 间捕获根田鼠的频次亦无显著性差异 ($P > 0.05$), 而 EW 与 CK 之间捕获根田鼠频次的差异则达到显著水平 ($P < 0.05$)。

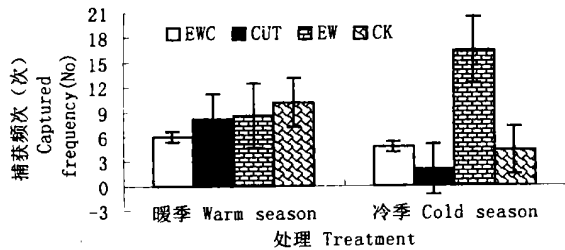


图3 不同季节LGM样地上不同处理内根田鼠的捕获频次

Fig. 3 The captured frequencies in different treatments at LGM in different seasons

2.5 放牧强度的作用

在暖季, 同种处理不同放牧强度样地间根田鼠捕获频次的比较结果为: EWC 组间 ($P > 0.05$); EW 组间 ($P > 0.05$); CUT 组间 ($P > 0.05$); CK 组间 ($P > 0.05$)。

在冷季, 同种处理不同放牧强度样地间根田鼠捕获频次的比较结果为: EWC 组间 ($P > 0.05$); EW 组间 ($P > 0.05$); CUT 组间 ($P > 0.05$); CK 组间 ($P > 0.05$)。

3 讨论

已有的研究表明, 栖息地结构特征影响啮齿动物的种群数量^[26]。在不同的放牧强度下, 植物地上部分的生物量随放牧强度的增加而减少; 植被的盖度、高度以及群落组成都发生了变化, 伴随优良牧草的减少而杂草增多, 草食性小啮齿动物的食物多度和栖息环境发生越来越大的变化, 最终导致根田鼠的种群密度随放牧强度的增加而降低, 但对不同放牧强度样地上, 相同季节、相同处理间根田鼠的捕获频次的比较分析发现, 在暖季和冷季, 放牧强度的差异对根田鼠的捕获频次并无显著影响。

人为活动导致的栖息地退化给有机体带来了新的选择压力, 同时, 栖息地破碎化要求物种具有不同的生存对策^[27]。周华坤^[25]等的研究表明, 实验

增温改善了植物群落的小气候环境, 一定程度上满足了植物对热量的需求, 有利于植物的生长和发育, 因此, 种群的整体高度有所增加, 并在一定程度上影响了植被的群落结构。同时, 由于 TOCs 的影响, 植物的生长期延长, 衰退期被延迟, 植被群落的生物量增加, 其中禾草类和莎草类增加, 而杂草类减少, 并因此导致根田鼠的栖息地改变。植被和栖息地的变化, 可能对一些种的种群有利, 而对另一些种的种群不利^[28]。我们的研究结果也表明, 在 HGM 样地上, 根田鼠对 4 种处理类型的斑块, 表现出不同的选择格局。在 4 种类型的斑块中, 根田鼠选择 EW 的频次最高 (13.2 ± 2.27 , $n = 15$), 而选择 EWC 的频次最低 (3.33 ± 0.73 , $n = 15$), 而其他两种斑块类型则居中 (CUT: 5.6 ± 1.74 和 CK: 5.8 ± 1.24 , $n = 15$)。在 LGM 样地上, 也表现出类似的格局。

Baker^[29]的研究曾指出, 适宜的栖息地可能是影响小哺乳动物分布的最重要环境因子。同时, Kolter^[30]研究表明, 具小体形的小哺乳动物特化于隐蔽生境是捕食风险所致。但是, 我们的研究结果发现, 在 HGM 和 LGM 样地上, 增温小室的建立, 对根田鼠的斑块利用格局并没有影响。因此, 增温小室的建立, 根田鼠捕食风险降低, 导致根田鼠倾向于选择有增温小室的斑块, 从而改变其栖息地斑块利用的假设是不成立的。

为了更好地适应环境, 地面生活鼠类的活动往往避开地温最高时间, 以避免高温和强烈日光照射的不良影响^[31]。因此, 暖季, 在食物条件充足的情况下, 尽管实验增温使局部小范围的温度升高约 1.3, 但由于外界温度较高, 局部实验增温对 HGM 和 LGM 样地上根田鼠的活动没有显著影响。然而, 冷季, 在华北地区, 由于受积雪和寒风所导致的低温的影响, 根田鼠对斑块的利用时间主要集中在光照较强的时间段 10:00 ~ 15:30 (作者未发表数据)。随外界温度的降低, 食物质量的下降, 局部实验增温为根田鼠提供了较好的栖息环境, 减少了非颤抖性产热 (NST) 对褐色脂肪组织的消耗, 因而根田鼠活动时, 在 EW 内的机率上升, 而在 CUT 以及 CK 内的机率下降, 由此, 实验增温组与对照组间的差异达到显著水平, 而实验增温兼放牧组与放牧组间无明显差异。究其原因, 在整个冷季, 剪草处理内的植被高度一直保持在地上 1 ~ 2

cm的水平,不能给根田鼠提供足够的食物资源。在冷季,尽管 TOCs 使温度增高,但由于食物条件的限制,根田鼠面临小尺度的增温和食物严重缺乏之间的权衡(Trade-off)。因此,在暖季,局部实验增温对自然和模拟放牧两种情况下根田鼠的捕获频次无显著影响,即根田鼠的斑块利用倾向并未发生明显变化。在冷季,局部实验增温对自然条件下根田鼠的捕获频次影响显著,根田鼠地上活动主要发生在增温小室内,而对模拟放牧样方内根田鼠的捕获频次无显著影响,即增温小室的建立对根田鼠栖息地斑块的利用没有显著影响。

综上所述,根田鼠对4种处理类型的栖息地,表现出迥然不同的选择格局。增温小室的建立所形成的隐蔽效应对根田鼠的栖息地斑块的利用没有显著影响。在 HGM 和 LGM 样地上,根田鼠均更倾向于选择 EW 类型的斑块,而排斥 EWC 型。在暖季,局部实验增温对根田鼠栖息地内斑块的利用模式的影响不明显,而在冷季,这种影响在实验增温组与对照组间达到显著水平,而实验增温兼模拟放牧组与模拟放牧组间则不明显。

目前,国内外尚无有关实验增温对小型啮齿动物栖息地内斑块利用格局影响的报道,因此,采用温室内外根田鼠捕获频次的差异,来探讨实验增温对根田鼠栖息地内斑块利用影响的方法有待于完善和充实,同时,温室内外根田鼠活动时间的差异也有待于进一步研究。

致谢:朱文琰同志在野外实验中给予大力帮助;本研究也得到中国科学院海北高寒草甸生态系统实验站全体工作人员的大力支持,在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] Seiko Oozawa, Shuichi Hasegawa. Diel and seasonal changes in carbon dioxide concentration and flux in an andisol [J]. *Soil Science*, 1995, **160** (2): 117 - 124.
- [2] Houghton J T, Meira Filho L G, Bruce J, Lee H, Callander B A, Haites E, Harris N, Maskell K. Climate Change 1994 — Radiative Forcing of Climate and Evaluation of the IPCC 1S92 Emission Scenarios [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 339.
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 1995: the science of climate change. Contribution of working group 1 to the second assessment report. Summary for policymakers [R]. Cambridge, Great Britain: Cambridge University Press, 1996.
- [4] Mitchell J F B, Manabe S, Tokioka T, Meleshko V. In: Houghton J T, Jenkins GJ, Ephraums J J eds. Climate change, the IPCC scientific assessment [R]. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1990. 131 - 172.
- [5] Maxwell B. Arctic climate: potential for change under global warming [A]. In: Chapin F S, Jeffries R L, Reynolds J F, Shaver G R, Svoboda J, eds. Arctic ecosystems in a changing climate [C]. San Diego: Academic Press, 11 - 34.
- [6] Crick H Q P, Dudley C, Gue D E, Thomson D L. UK bird are laying eggs earlier [J]. *Nature*, 1997, 388: 526.
- [7] Brown J L, Li S H, Bhagabati N. Long-term trend earlier breeding in an American bird: A response to global warming [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1999, 96: 5565 - 5569.
- [8] Beebee T C. Amphibian breeding and climate [J]. *Nature*, 1995, 374: 219 - 220.
- [9] Penuelas J, Filella I. Responses to a warming world [J]. *Science*, 2001, 294: 793 - 794.
- [10] Pimm L S. Entrepreneurial insects [J]. *Nature*, 2001, 411: 531 - 532.
- [11] Strathdee A F, Bale J S, Block W, Webb N R, Hodkinson I D, Coulson S J. Extreme adaptive polymorphism in a high arctic aphid *Acyrtosiphon svalbardicum* [J]. *Ecol Entomol*, 1993a, 18: 254 - 258.
- [12] Strathdee A F, Bale J S, Block W, Coulson S J, Hodkinson I D, Webb N R. The effects of temperature elevation on a field population of the aphid *Acyrtosiphon svalbardicum* [J]. *Oecologia*, 1993 b, 96: 457 - 465.
- [13] Zhou X, Perry J N, Woiwod I P, Harrington R, Bale J S, Clark S J. Temperature change and complex dynamics [J]. *Oecologia*, 1997, 112: 543 - 550.
- [14] Dunbar R I. M. Impact of global warming on the distribution and survival of the gelada baboon: a modeling approach [J]. *Global Change Biology*, 1998, 4: 293 - 304.
- [15] Hodkinson I D. Species responses to global environmental change or why ecophysiological models are important: a reply to Davis et al. [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1999, 68: 1259 - 1262.
- [16] Tost J. The root vole, *Microtus oeconomus* (Pallas) as an inhabitant of seasonally flooded land [J]. *Ann Zool Fenn*, 1966, 3: 127 - 171.
- [17] 姜永进, 魏善武, 王祖望, 郑生武, 崔瑞贤, 孙儒泳. 海北高寒草甸金露梅灌丛根田鼠种群生产力的研究 I. 种群动态 [J]. 兽类学报, 1991, **11** (4): 270 - 278.
- [18] 边疆晖, 樊乃昌, 景增春, 施银柱. 高寒草甸地区小哺乳动物群落与植物群落演替关系的研究 [J]. 兽类学报, 1994, **14** (3): 209 - 216.
- [19] 王德华, 王祖望, 孙儒泳. 根田鼠消化道长度和重量的变化及其适应意义 [J]. 兽类学报, 1995, **15** (1): 53 - 59.
- [20] 孙平, 赵新全, 徐世晓, 赵同标, 赵伟. 雪后海北高寒草甸地区根田鼠种群特征的变化 [J]. 兽类学报, 2002, **22** (4): 318 - 320.
- [21] Zhao X Q, Zhou X M. Ecological Basis of Alpine Meadow Ecosystem Management in Tibet: Haibei Alpine Meadow Ecosystem Re-

- search Station [J]. *Ambio*, 1999, **28** (8): 642 - 647.
- [22] 赵新全, 张耀生. 嵩草草甸的合理利用及草地畜牧业可持续发展 [A]. 周兴民等. 中国嵩草草甸 [C]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [23] Marion G.M. Temperature enhancement experiments [A]. In: Mørlau U, Mølgaard P eds. ITTEX Manual [C]. Copenhagen: Danish Polar Center, 1996.
- [24] 李英年, 周华坤. 祁连山海拔高寒草甸地区植物生长期的光合有效辐射特征 [J]. 高原气象, 2002, **21** (1): 90 - 95.
- [25] 周华坤, 周兴民, 赵新全. 模拟增温效应对矮嵩草草甸影响的研究 [J]. 植物生态学报, 2000, **24** (5): 547 - 553.
- [26] 刘伟, 周立, 王溪. 不同放牧强度对植物及啮齿动物作用的研究 [J]. 生态学报, 1999, **19** (3): 376 - 382.
- [27] Lens L, Dongen S V, Norris K, Githiru M, Matthyssen E. Avian persistence in fragmented rainforest [J]. *Science*, 2002, 298: 1236 - 1238.
- [28] Ceier A R. Habitat selection by small mammals of riparian communities: Evaluating effects of habitat alterations [J]. *J Wildl Manage*, 1980, **44** (1): 16 - 24.
- [29] Baker R H. Habitats and distribution [A]. In: King J A, ed. Biology of *Peromyscus* (Rodentia) [C]. *Am Soc Mamm Spec Publ*, 1968, 593.
- [30] Kolter B P. Risk of predation and the structure of desert rodent communities [J]. *Ecol*, 1984, **65** (3): 689 - 701.
- [31] 曾缙祥, 王祖望, 韩永才. 五种小哺乳动物活动节律的初步研究 [J]. 兽类学报, 1981, **1** (2): 189 - 197.

www.cnki.net