

• 研究简报 •

青海湖草原围栏对植物群落的影响兼论濒危动物普氏原羚的保护

刘丙万 蒋志刚*

(中国科学院动物研究所, 北京 100080)

摘要: 青海省海晏县克图地区是我国特有动物普氏原羚 (*Procapra przewalskii*) 的主要分布地之一。我们于 2001 年 6 月、7 月和 8 月在该地区开展了围栏内外植物群落的比较研究。围栏内无家畜放牧, 主要草食野生动物为普氏原羚; 围栏外为草食家畜放牧区。我们发现, 自从 1999 年建立草原围栏以后, 围栏内外植物群落产生了明显差异: (1) 地上生物量。6 月份围栏外植物地上生物量显著低于围栏内 ($df=39, p<0.05$) ; 7、8 月份围栏外植物地上生物量显著高于围栏内 ($df=39, p<0.05$) 。(2) 植物高度。6 月份围栏外的植物高度显著低于围栏内 ($df=39, p<0.05$) ; 7、8 月份围栏外的植物高度与围栏内植物高度差异不显著 ($df=39, p>0.05$) 。(3) 植物盖度。6、7 月份围栏外植物盖度显著低于围栏内 ($df=19, p<0.05$) ; 8 月份围栏内外的植物盖度差异不显著 ($df=19, p>0.05$) 。(4) 牧草的比例。围栏外明显低于围栏内 ($df=6, p<0.05$) ; 围栏外非牧草的比例明显高于围栏内 ($df=6, p<0.05$) 。(5) 生物多样性。植物生长季节围栏外植物群落的生物多样性显著高于围栏内 ($df=6, p<0.05$) 。在草原生态系统围栏内外植物群落研究结果比较的基础上, 讨论了草食动物采食强度对草原生态系统植物群落影响和围栏与野生动物保护的关系, 提出了普氏原羚的保护对策。

关键词: 普氏原羚, 围栏, 草原生态系统, 植物群落, 青海湖

中图分类号: Q948.1, Q16

文献标识码: A

文章编号: 1005-0094(2002)03-0326-06

Impacts of grassland fencing on plant communities and conservation of a rare gazelle, the Przewalski's gazelle

LIU Bing-Wan, JIANG Zhi-Gang*

Institute of Zoology, Chinese Academy of Science, Beijing 100080

Abstract: The impacts of grassland fencing on rangeland plant communities during the plant-growing season were studied in the Ketu area, Haiyan County, Qinghai Province, China in 2001. The Ketu area is one of the main distribution ranges of a rare and critically endangered gazelle, the Przewalski gazelle (*Procapra przewalskii*). Grassland fences were built for the purpose of vegetation restoration in the desert in 1999. Domestic animals at high density grazed outside the fenced range, while the Przewalski's gazelle at low density grazed inside the fenced ranges. Above-ground biomass, plant height, plant cover, and plant species diversity of the plant communities outside and inside the fenced ranges were randomly sampled and analyzed in the laboratory to determine the impact of different grazing rates outside and inside fenced ranges. (1) The above-ground biomass outside the fences in June was significantly lower than that inside the fences ($p<0.05$), however, the above-ground biomass outside the fences in both July and August were significantly higher than those inside the fences ($p<0.05$). (2) The range of plant heights outside the fences (mean: 11.2 ~ 37.0 cm) was broader than that inside the fences (mean:

基金项目: 国家重点基础研究与发展规划项目(G200046805), 中国科学院知识创新工程(KSCX2-1-03 ; C2999082), 国家杰出青年科学基金(3770104), 德国物种与种群动物保护协会(Zoological Society for the Conservation of Species and Population), 美国哥伦比亚动物园(Columbus Zoo and Aquarium), 美国国家地理学会(National Geographic Society)

收稿日期: 2001-12-03 ; 接受日期: 2002-04-12

作者简介: 刘丙万, 男, 1975 年出生, 博士研究生, 主要从事动物生态学研究。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jiangzg@panda.ioz.ac.cn

20.6 ~ 28.0 cm)。Plant height outside the fences in June was significantly lower than that inside the fences ($df = 39, p < 0.05$)。There was no significant difference between plant heights outside and inside the fences ($df = 39, p > 0.05$)。(3) The plant coverage during both June and July were significantly lower outside the fences than inside the fences (June: $df = 19, p < 0.05$; July: $df = 19, p < 0.05$), but during August plant coverage outside the fences was similar to that inside the fences ($df = 19, p > 0.05$)。(4) The animal edible herbage outside the fences was significantly lower than that inside the fences ($df = 6, p < 0.05$)。The percentage of Chinese Stelleria among total plants outside the fences was significantly higher than that inside the fences ($df = 6, p < 0.05$)。(5) The biodiversity index of the plant community outside the fences was significantly higher than that inside the fences ($df = 6, p < 0.05$)。Based on the above results, we discuss the impacts of fencing on the range community and test the hypothesis that grazing affects the productivity of the plant community。We suggest solutions for range, endangered species and integrated biodiversity management。

Key words: Przewalski's gazelle, *Procapra przewalskii*, fence, range ecosystem, plant community, Qinghai Lake

草食动物和植物之间的关系和相互作用是生态学家和保护生物学工作者关心的问题,也是草原生态系统管理和野生动物保护的关键(Thomas, 1979; Forbes, 1988)。草食动物的采食活动影响着植物群落(Herms & Mattson, 1992; Rosenthal & Berenbaum, 1992; Illius *et al.*, 1999; 汪诗平, 2000; 汪诗平, 2001)。草地围栏是人类有意识调节草原生态系统中草食动物与植物关系以及管理草原生态系统的手段。近年来,伴随青藏高原人口增长,草原载畜量超过了草原的承载力,草原严重退化(李文华, 周兴民, 1998)。草原围栏作为草原保护的一种措施,据认为能够增加草原的初级生产力,防止沙漠化加剧。青海湖地区是青藏高原的主要牧区之一,从1994年开始,当地人们大举建设草地围栏。草地生态系统中的野生草食动物一般都被围在草地围栏外。这种草地围栏制度引起了国内外环境保护组织的关注,因为野生动物的自由迁徙和种群发展受到了草地围栏的限制。

普氏原羚(*Procapra przewalskii*)是我国特有的有蹄类动物,目前仅分布在青海湖沿岸。1995年,普氏原羚的种群数量约350只左右(蒋志刚等, 1995)。2001年,普氏原羚的保护被列入我国15大野生动植物保护工程之一。为了保护普氏原羚,我国学者从1994年以来,开展了有关普氏原羚的研究,发现围栏对普氏原羚的采食地选择、生境选择等影响显著(李迪强等, 1999; Jiang *et al.*, 1999; 刘丙万, 蒋志刚, 2002a)。

草地牧业生产者并不真正关心野生草食动物,

因为野生草食动物与家畜竞争食物(刘丙万, 蒋志刚, 2002b),人们通常认为野生草食动物的存在与草地牧业生产的经济目的相悖(蒋志刚, 2001)。野生草食动物如普氏原羚在草地生态系统中的功能地位如何?我们应当如何结合牧业生产保护濒危物种?这类问题尚未深入探讨研究。为了防沙治沙,恢复沙地植被,人们在青海湖克图地区一片国有土地上建立了草地围栏。与其他草地围栏地区相反,克图地区家畜主要在围栏外草原放牧,普氏原羚则分布在围栏内草原。这为我们检验草原围栏对草原植物群落的影响,评价普氏原羚在草原生态系统的功能地位提供了条件。于是,我们从2000年开始开展了有关研究。

1 研究地点

研究地点位于青海省海晏县克图地区, 99°50' ~ 100°46' E, 36°41' ~ 37°55' N, 海拔 3 036 ~ 3226 m。该地区属于大陆性高原气候,气候干燥,紫外线辐射强,年温差较大,1月份气温可达-30℃,7月份气温为28℃,≥0℃的年积温为1236.6℃~1491.5℃。年降水量380 mm左右,蒸发量是降水量的3.8倍。研究地区一年可以分为两季:植物生长季(6~9月)和植物枯黄季。芨芨草(*Achnatherum splendens*)草原是主要的植被类型,同时隐域分布着狼毒(*Stellera chamaejasme*)、疏花针茅(*Stipa penicillata*)、沙生针茅(*Stipa glareosa*)等植物群落。主要建群植物有芨芨草、狼毒、碱蒿(*Artemisia anethifolia*)、披针叶黄华(*Thermopsis lanceolata*)、马

蔺(*Iris lactea*)、早熟禾(*Poa annua*)、白花胡枝子(*Lespedeza heterophyllum*)、镰形棘豆(*Oxytropis falcata*)等植物。主要野生动物有啮齿动物、兔形目动物、猪獾(*Arctonyx collaris*)、赤狐(*Vulpes vulpes*)、沙狐(*Vulpes corsac*)、狼(*Canis lupus*)和普氏原羚等。放牧家畜以藏系绵羊为主,还有少量的牦牛和马。

由于研究地区土地沙化严重,1999 年,为了阻止沙丘的扩展,人们在沙丘周围建立围栏,形成了宽约 200 ~ 2000 m 的草原带。围栏内草原属于封育类型,禁止家畜放牧,主要草食动物是普氏原羚,2000 年普氏原羚密度为 0.56 只/km²(蒋志刚等,2001)。围栏外草原为冬春季牧场,藏系绵羊是主要的放牧家畜,平均密度为 66.7 只/km²,属于过度放牧区。

2 研究方法

2001 年 6 月上旬、中旬和下旬,7 月中旬和下旬,8 月中旬和下旬,我们分别在围栏内外两侧 50 m 范围内随机成对选取 6 个 5 m × 5 m 的大样方。每对大样方选取时,避免选取围栏内外植被类型明显的样方。每对大样方之间的距离至少在 100 m 以上。在每个大样方的四角和中心位置各选取一个小样方,面积为 0.5 m × 0.5 m,随机测量记录样地内植物的高度,利用点取样法记录植被的覆盖度。剪取植物的地上部分,称取湿重,然后在 60℃ 烘干至恒重,区分种类称量干重。生物多样性用 Shannon-Weiner 指数来测度:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (N_i/N) \cdot \ln(N_i/N)$$

式中: N 为植物地上生物量的总重量, N_i 为第 i 种植物地上生物量的重量, S 为植物种数。

利用 SPSS 对围栏内外的地上生物量、植物高度、覆盖度、植物组成比例和物种多样性指数进行配对 t 检验,比较围栏内外草原生态系统植物群落差异的显著性。

3 研究结果

6 月份,围栏外的地上生物量显著低于围栏内($df^{①} = 29, p < 0.05$)。7、8 月份,围栏外的地上生物量显著高于围栏内($df = 29, p < 0.05$)。围栏外植物高度的变化范围较大(平均值 11.2 ~ 37.0 cm),围栏内的植物高度变化范围较小(平均值 20.6 ~ 28.0 cm)。6 月份,围栏内的植物高度显著高于围栏外($df = 39, p < 0.05$)。7、8 月份,围栏外的植物高度与围栏内植物高度差异不显著($df = 39, p >$

0.05)。6、7 月份围栏内的植物覆盖度显著高于围栏外植物覆盖度($df = 19, p < 0.05$)。8 月份,围栏内外植物覆盖度差异不显著($df = 19, p > 0.05$)(表 1)。围栏内植物群落中牧草比例显著高于围栏外($df = 6, p < 0.05$),围栏内牧草的产量比例是围栏外牧草产量比例的 2.4 倍。围栏内非牧草的比例显著低于围栏外($df = 6, p < 0.05$),围栏外非牧草的比例是围栏内的 3.9 倍。围栏外植物群落的生物多样性显著高于围栏内($df = 6, p < 0.05$)(表 2)。

4 讨论

4.1 草原围栏对植物群落的影响

建立草原围栏以后,围栏内外的植物群落发生了以下变化: 1) 在植物生长季的初期,围栏内的地上生物量、植物高度和植物覆盖度明显高于围栏外。这主要是由于围栏内普氏原羚的密度低,采食强度低,而围栏外家畜过度采食,导致了围栏内植物群落的残余生物量高于围栏外。单从普氏原羚食物资源量的角度来看,建立围栏对于普氏原羚的保护无疑是有益的。2) 在植物组成上,围栏内牧草的比例显著高于围栏外,非牧草的比例显著低于围栏外。这说明围栏外草原由于过度采食处于退化状态,家畜采食导致了不能利用的植物种类增加,使围栏外的生物多样性指数高于围栏内。

通过草原管理,调节草食动物对草原生态系统中植物的采食强度,可以实现草原的可持续利用和生物多样性保护,尤其是珍稀濒危物种保护(Barbier *et al.*, 1994; Herrero *et al.*, 1998)。青海湖草原生态系统的管理应考虑到普氏原羚的保护。草食动物对植物群落的影响是复杂的,有积极的一面,也有消极的一面(Risser, 1988; Fleischner, 1994)。构建围栏是人类进行草原生态系统管理的重要措施,能有效调节草原上草食动物的采食强度。食草动物不同的采食强度对草原生态系统物种多样性的影响是不同的。Smith *et al.* (1996) 指出,草食动物采食强度过低会导致草原生态系统植物群落的物种多样性下降。我们的研究结果证明了这一点: 青海省海晏县克图地区围栏封育后,由于普氏原羚种群密度低,采食强度不足,物种多样性指数仅为 0.96 ± 0.43 (表 2)。

①自由度不同是由于不同研究项目取样多少不同造成的

表1 围栏内外地上生物量、植物高度和覆盖度
Table 1 Above-ground biomass , plant height and coverage inside and outside of fenced pasture

时期 Date	地上生物量 Aboveground biomass (g/m ²)		植物高度 Plant height (cm)		覆盖度 Coverage (%)	
	围栏外 Outside	围栏内 Inside	围栏外 Outside	围栏内 Inside	围栏外 Outside	围栏内 Inside
6月上旬 Early June	98.8 ± 10.2 ^{a#}	199.1 ± 1.9 ^b	10.9 ± 7.0 ^a	20.6 ± 9.4 ^b	40.2 ± 5.0 ^a	60.0 ± 6.2 ^b
6月中旬 Mid June	227.5 ± 41.6 ^a	413.9 ± 30.2 ^b	15.0 ± 7.5 ^a	27.0 ± 7.5 ^b	39.5 ± 8.3 ^a	59.0 ± 13.3 ^b
6月下旬 Late June	105.2 ± 14.3 ^a	212.5 ± 7.6 ^b	12.2 ± 7.2 ^a	24.8 ± 9.6 ^b	39.5 ± 10.7 ^a	60.5 ± 6.9 ^b
7月中旬 Mid July	451.8 ± 17.1 ^a	220.0 ± 93.0 ^b	26.1 ± 6.2 ^a	20.6 ± 4.2 ^a	50.5 ± 2.0 ^a	82.5 ± 2.7 ^b
7月下旬 Late July	628.9 ± 48.0 ^a	374.3 ± 132.8 ^b	31.1 ± 8.2 ^a	26.2 ± 4.8 ^a	51.5 ± 3.0 ^a	62.3 ± 2.5 ^a
8月中旬 Mid August	386.7 ± 19.5 ^a	225.2 ± 86.3 ^b	26.0 ± 7.0 ^a	23.8 ± 4.2 ^a	53.0 ± 3.5 ^a	52.5 ± 3.8 ^a
8月下旬 Late August	495.5 ± 19.2 ^a	223.3 ± 117.5 ^b	37.0 ± 8.7 ^a	28.0 ± 3.1 ^a	48.0 ± 2.3 ^a	49.0 ± 2.3 ^a

数据标有相同上标表示差异不显著 ($p > 0.05$) ;具不同上标表示差异显著 ($p < 0.05$) (配对 t 检验)
With the same mark insignificant at $p > 0.05$; With a different mark , significant at $p < 0.05$ (Paired-sample t test)

表2 围栏内外植物组成和生物多样性指数
Table 2 Plant composition and biodiversity outside and inside fences

时期 Date	牧草的百分量 ¹⁾ Herbage (%)		非牧草的百分量 Non-herbage (%)		Shannon-Weiner 指数 Shannon-Weiner index	
	围栏外 Outside	围栏内 Inside	围栏外 Outside	围栏内 Inside	围栏外 Outside	围栏内 Inside
6月上旬 Early June	10.4 ^{a*}	77.0 ^b	89.6 ^a	23.0 ^b	0.63 ^a	0.69 ^a
6月中旬 Mid June	20.0 ^a	67.0 ^b	80.0 ^a	33.0 ^b	1.04 ^a	0.94 ^a
6月下旬 Late June	30.0 ^a	82.0 ^b	70.0 ^a	18.0 ^b	1.33 ^a	0.65 ^b
7月中旬 Mid July	37.0 ^a	89.0 ^b	63.0 ^a	11.0 ^b	1.56 ^a	0.35 ^b
7月下旬 Late July	43.9 ^a	83.2 ^b	56.1 ^a	16.8 ^b	2.01 ^b	1.61 ^b
8月中旬 Mid August	43.0 ^a	75.0 ^b	57.0 ^a	25.0 ^b	1.72 ^b	1.25 ^b
8月下旬 Late August	46.4 ^a	70.5 ^b	53.6 ^a	29.5 ^b	1.68 ^b	1.22 ^b
平均值 Mean	33.0	77.7	89.6	23.0	1.42	0.96
标准差 SD	13.6	7.6	80.0	33.0	0.47	0.43

数据标有相同上标表示差异不显著 ($p > 0.05$) ;具不同上标表示差异显著 ($p < 0.05$) (配对 t 检验)
With the same mark insignificant at $p > 0.05$; With a different mark , significant at $p < 0.05$ (Paired-sample t test)

1) 牧草和非牧草的划分参阅《青海经济植物志》(1987) For identification of the domestic animal edible herbage , see Guo Ben-Zhao (1987)

适度采食强度条件下 ,有蹄类动物的采食能够提高草原的初级生产力、植物物种的多样性和牧草的比例 (Pucheta *et al.* , 1998 ; Knapp *et al.* , 1999 ; 汪诗平 , 王艳芬 , 2001) 。 Ellis & Swift (1988) 的研究表明 ,缺乏草食动物的草原生态系统 ,植物群落的生物多样性往往会下降 ,初级生产力也会降低 ;存在适度持续采食压力的草原生态系统 ,虽然植物地上残留生物量可能会减少 ,植物覆盖度降低 ,但是有较高的初级生产力和物种多样性。因此 ,适度采食对于草原生态系统管理是必需的。草原管理的目标是草原的可持续利用 ,使植被组成以优良牧草为主并维持较高的物种多样性(Mcnaughton ,1992) 。在草原生态系统中 ,食草动物的采食使一些优势种的生物量或盖度下降 ,其他物种就有了生存的空间 ,从而提高了草原生态系统的生物多样性(Milchuna *et*

al. , 1988 ;汪诗平 , 2001) 。 Huston (1985) 针对草原生物多样性提出假说 ,认为在封育条件下 ,草原生态系统往往只存在少量竞争力高的植物 ,适度采食往往导致多物种的共存。Milchunas *et al.* , (1988) 认为 Huston 假说能够预测有长期进化历史的草原生态系统中草食动物采食强度与生物多样性的关系。我们的研究结果支持了 Huston 假说 :围栏外草原生态系统植物群落由于采食强度高 ,其物种多样性明显高于采食强度低的围栏内植物群落的物种多样性 (表 2) 。

有关草食动物采食强度对草原生态系统植物群落结构和物种多样性影响的研究 ,中国科学院内蒙古草原生态系统定位站、中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站开展了大量的工作(周兴民等 , 1986 ;刘伟等 , 1999 ;汪诗平等 , 2001 ;汪诗平 ,

2001),为实现草原生态系统的可持续利用,保持草原生态系统的结构和功能,保护生物多样性,恢复退化草原奠定了基础。

4.2 草原围栏与野生动物保护

构建围栏是人类管理草原生态系统的措施之一。围栏除了调节草食动物的采食强度外,还会对草原生态系统内的野生动物产生影响。围栏妨碍野生动物的迁移,导致生境斑块化,近亲繁殖加剧。围栏内还可能由于某些生态因子不能满足野生动物的需求而导致野生动物的种群下降,如在围栏内缺乏水资源,曾经导致角马(*Connochaetes* sp.)的种群数量在建立围栏以后继续下降(Williamson *et al.*, 1988)。当野生有蹄类动物试图越过围栏时,易被撞伤甚至死亡。对于密度较高的野生动物,这些损失影响较小,但是对于数量下降和密度较低的种群,这些损失将非常明显(Noss & Cooperider, 1994; Donahue, 1999)。在青海省海晏县克图地区,普氏原羚数量在100 ~ 200只之间,种群密度低,围栏导致的死亡是影响普氏原羚种群数量下降的重要因素之一(Jiang *et al.*, 1999)。围栏对普氏原羚的食物采食地选择、生境选择等影响显著(刘丙万,蒋志刚, 2002),围栏内生境因子很难满足野生动物的所有需求,因此,草原围栏对野生动物的影响往往是负面的(Michael, 1991)。

虽然围栏能够提高普氏原羚的食物资源的现存量,但是负面影响显著,如围栏影响普氏原羚的迁移。由于普氏原羚与家畜在体型大小、运动能力等方面存在差异,建议研究普氏原羚和家畜的生物学特征、行为特点等,结合围栏的走向、高度、宽度等设计,达到禁止家畜采食和允许普氏原羚迁移的目的。设计围栏时还应该考虑到普氏原羚基本生境需求,如食物、水、隐蔽物等;围栏内封育草原适度放牧将有利于提高草原的生产力和普氏原羚的保护,但是具体的载畜量有待于进一步的放牧实验研究。

致谢:感谢中国科学院西北高原生物研究所蔡联炳研究员鉴定了植物种类和张金霞研究员、师治贤研究员提供了实验室条件。

参考文献

郭本兆(主编), 1987. 青海经济植物志. 西宁: 青海人民出版社, 859

李迪强, 蒋志刚, 王祖望, 1999. 人类活动对普氏原羚的影响. 生态学报, **19** (6): 890 ~ 896
李文华, 周兴民, 1998. 青藏高原生态系统及优化利用模式. 广州: 广东科技出版社. 315 ~ 382
刘丙万, 蒋志刚, 2002a. 普氏原羚生境选择的数量化分析. 兽类学报, **22** (1): 15 ~ 21
刘丙万, 蒋志刚, 2002b. 普氏原羚采食对策. 动物学报, **48** (2): 309 ~ 316
刘伟, 周立, 王溪, 1999. 不同放牧强度对植物及啮齿动物作用的研究. 生态学报, **19** (2): 376 ~ 382
蒋志刚, 2001. 野生动物的生态系统服务功能. 生态学报, **21** (11): 1494 ~ 1503
蒋志刚, 冯祚建, 王祖望, 陈立伟, 蔡平, 李永波, 1995. 普氏原羚的历史分布与现状. 兽类学报, **15** (4): 241 ~ 245
蒋志刚, 李迪强, 王祖望, 朱申武, 魏万红, 2001. 青海湖地区普氏原羚种群现状与保护. 动物学报, **47** (2): 158 ~ 162
汪诗平, 2000. 不同放牧季节绵羊的食性及食物多样性与草地植物多样性间的关系. 生态学报, **20** (6): 951 ~ 957
汪诗平, 2001. 不同放牧率下绵羊的食性及食物多样性与草地植物多样性间的关系. 生态学报, **21** (2): 237 ~ 243
汪诗平, 王艳芬, 2001. 不同放牧率下糙隐子草种群补偿性生长的研究. 植物学报, **43** (4): 413 ~ 418
汪诗平, 李永宏, 王艳芬, 陈佐忠, 2001. 不同放牧率对内蒙古冷蒿草原植物多样性的影响. 植物学报, **43** (1): 89 ~ 96
周兴民, 皮南林, 赵新全, 张松林, 赵多琥, 1986. 青海海北草甸草场最优放牧强度的初步研究. 高原生物学集刊, **21** ~ 34
Barbier E B, J C Burgess and C Folke, 1994. Paradise lost? The ecological Economics of Biodiversity. Earthscan, London
Donahue D L, 1999. The Western Range Revisited: Removing Livestock from Public Lands to Conserve Native Biodiversity. U. Oklahoma Press, Norman, 252
Ellis J E and D M Swift, 1988. Stability of African pastoral ecosystem: alternate paradigms and implications for development. *Journal of Range Management*, **41**: 450 ~ 459
Fleischner T L, 1994. Ecological costs of livestock grazing in western North America. *Conservation Biology*, **8**: 629 ~ 644
Forbes T D A, 1988. Researching the plant-animal interface: the investigation of ingestive behavior in grazing animals. *Journal of Animal Science*, **66**: 2369 ~ 2379
Hermes D A and W J Mattson, 1992. The dilemma of plants: to grow or defend. *The Quarterly Review of Biology*, **67**: 283 ~ 335
Herrero M, J B Dent and R H Fawcett, 1998. The plant/animal interface in models of grazing systems. In: R M Peart and

- R B Curry (ed.), *Agricultural System Modeling and Simulation*. Marcel Dekker, Inc. New York, 495 ~ 542
- Huston M A, 1985. Patterns of species diversity on coral reefs. *Annual Review of Ecological Systematics*, **16**: 149 ~ 177
- Illius A W, I J Gordon, D A Elston and J D Milen, 1999 Diet selection in goats: a test of intake-rate maximization. *Ecology*, **80**: 1008 ~ 1018
- Jiang Z, Li D and Wang Z, 1999. Proximate factors accounting for the population declining in the Przewalski' s gazelle in Qinghai Lake region. *Oryx*, **34**(2): 129 ~ 135
- Knapp A K, J M Blair, J M Briggs, S L Collins, D C Hartnett, L C Johnson and E G Towne, 1999. The keystone role of bison in North American tallgrass prairie. *BioScience*, **49**: 39 ~ 50
- McNaughton S, 1992. The propagation of disturbance in savannas through food webs. *Journal of Vegetation Science*, **3**: 301 ~ 314
- Michael B C, 1991. Spatial components of plant-herbivore interactions in pastoral, ranching, and native ungulate ecosystems. *Journal of Range Management*, **44**(6): 531 ~ 532
- Milchunas D G, W J Parton, D S Bigelow and D S Schimel, 1988. Factors influencing ammonia volatilization from urea in soils of the shortgrass steppe. *Journal of Atmospheric Chemistry*, **6**: 323 ~ 340
- Noss R F and A Y Cooperrider, 1994. Saving Nature' s Legacy: Protecting and Restoring Biodiversity. Island Press, Washington DC, 416
- Pucheta E, M Cabido, M Diaz and G Funes, 1998. Floristic composition, bio-mass, and aboveground net plant production in grazed and protected sites in a mountain grassland of central Argentina. *Acta Oecologia*, **19**: 97 ~ 105
- Risser P G, 1988. Diversity in and among grasslands. In: Wilson E O (ed.), *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D C, 176 ~ 180
- Rosenthal G A and M R Berenbaum, 1992. Herbivores: Their Interactions with Secondary Plant Metabolites. Vol. II: Evolutionary and Ecological Processes. Academic Press, New York
- Smith R S, P Corkhill, R S Shiel and D Millward, 1996. The conservation management of mesotrophic (meadow) grassland in Northern England. II. Effects of grazing, cutting date, fertiliser and seed addition on the vegetation of an agriculturally improved sward. *Grass and Forage Science*, **51**: 278 ~ 291
- Thomas A H, 1979. Application of an herbivore-plant model to rest-rotation grazing management on shrub-steppe rangeland. *Journal of Range Management*, **32**: 115 ~ 118
- Williamson D, J Williamson and K T Ngwamotsoko, 1988. Wildebeest migration in the Kalahari. *African Journal of Ecology*, **26**: 269 ~ 280

(责任编辑：孙大川)