

的经济开发应向这一方向发展,这样既可以增加丹顶鹤人工栖息地,又能增加保护区经济收入。当然不应在核心区内进行开发,同时对开发强度也应作进一步研究。

与栖息地相关的变量确定后,可通过建立数学模型来预测物种的适宜栖息地大小、位置<sup>[13-18]</sup>,并由此进行保护区核心区的设计。这对于解决当前自然保护区功能区划分普遍存在的问题,如缺乏科学性的以行政区划为主的功能区划分,具有重要的现实意义。

### 参 考 文 献

- 1 Donovan Michael L, Dale L Rabe, et al. Olson. Use of geographic information systems to develop habitat suitability models. *Wildl. Soc. Bull.* 1987, **15**:574~579
- 2 Herr Andrea M, Lloyd P Queen. Crane Habitat evaluation using GIS and remote sensing. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 1993, **59**(10):1531~1538
- 3 Duncan Brean W, David R, et al. Validating a Florida scrub jay habitat suitability model, using demography data on Kennedy Space Center. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 1995, **61**(11):1361~1370
- 4 Velazquez Alejandro and Gerrit W Heil. Habitat suitability study for the conservation of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*). *Journal of Applied Ecology*. 1996, **33**:543~554
- 5 Lavers C P, Haines-Yong R H and Avery M I. The habitat associations of dunlin (*Calidris aplina*) in the flow country of northern Scotland and an improved model for predicting habitat quality. *Journal of Applied Ecology*. 1996, **33**:279~290
- 6 Walsh Allyson L and Stephen Harris. Factors determining the abundance of vespertilionid bats in Britain: geographical, land clas and local habitat relationships. *Journal of Applied Ecology*. 1996, **33**:519~529
- 7 江苏省盐城地区沿海滩涂珍禽自然保护区管理处. 盐城地区沿海滩涂珍禽自然保护区综合考察报告. 1992
- 8 Cliff A D and Ord J K. *Spatial processes: Models and Applications*. Pion Limited, London, U. K. 1981
- 9 Upton G J G and Fingleton B. *Spatial analysis by example, volume 1: point parttern and quantitative data*. Wiley, New York. 1985
- 10 Turner Sandra J, Robert V O'Neill, et al. Parttern and scale: statistic for landscape ecology. in Turner, Monica G. and Robert H. Gardner (eds). *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. 1990, 17~51
- 11 Haining R. Spatial autocorrelation problem, in D. T. Herbert and R. J. Johnston (eds), *Geography and the urban environment*. 1980, **33**:1~43
- 12 Kavamme K L. Determine empirical relationships between the natural environment and pre-historic site locations: a hunter-gatherer example, in C. Carr (ed), *For concordance in archeological analysis*. Wesport Publishers, Kansas City, Kansas, 1985. 208~238
- 13 Pereira J M, GIS-based habitat modeling using logistic multiple regression: a study of the Mt. Graham red squirrel. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 1991, **57**:1475~1486
- 14 Sprent P. *Applied Nonparametric Statistical Methods*. Champman and Hall, London, 1989
- 15 陶 澍. 应用数理统计. 北京: 中国环境科学出版社, 1994
- 16 严风涛. 盐城滩涂丹顶鹤越冬数量分布与生态研究. 动物学杂志. 1991, **26**(2):34~36
- 17 刘 白. 江苏盐城沿海滩涂越冬丹顶鹤的数量分布. 生态学报. 1990, **10**(3):234~235
- 18 Augustin N H, Mugglestone M A and Buckland S T. An autologistic model for the spatial distribution of wildlife. *Journal of Applied Ecology*. 1996, **33**:339~347

## 研究简报

## 绵羊的采食行为与草场空间异质性关系\*

5826.43

汪诗平 李永宏<sup>1</sup> 王艳芬

QJKB.122.5

(中国科学院植物研究所, 内蒙古草原生态系统定位研究站 北京 100093)

8

**摘要** 在中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站, 于1993年6月、7月和9月, 分别对放牧率为4羊/hm<sup>2</sup>的围栏放牧草地上绵羊采食行为与草场空间异质性的关系进行了定量研究。结果表明, 绵羊的采食运动模式与草场空间异质性密切相关。采食区域和卧息及反刍地点相对稳定; 对草场的利用依植物群落种类组成的变化有不同的采食顺序, 一般地, 多选择大针茅、寸草苔、星毛萎陵菜较少的平地上采食。饮水点对采食路线和目标的选择有一定的调控和再分配的作用。同时, 单位面积内采食时间和100m<sup>2</sup>内单位次数采食时间, 这两个指标对草场的植物种类组成较为敏感, 可以用来较好地反映绵羊采食行为特征与草场空间异质性间的关系。

**关键词** 绵羊, 采食行为, 草场, 空间异质性。

## RELATIONSHIP BETWEEN FORAGING AREAS OF SHEEP(WETHER) AND SPATIAL HETEROGENEITY OF GRASSLAND LANDSCAPE

WANG Shi-Ping LI Yong-Hong WANG Yan-Fen

(Inner Mongolia Grassland Ecosystem Research Station, Institute of Botany, CAS, Beijing, 100093, China)

**Abstract** The research of relationship between foraging areas of sheep and spatial heterogeneity of grassland landscape was conducted at the blocks of a fenced grazing grassland with stocking rate of 4 sheep/hm<sup>2</sup>. The results show that the patterns of sheep foraging are relatively regular in foraging lines and spots of lying. Generally, the grazing sheep prefer to forage the communities consisted mainly of *Artemisia frigida* and *Cleistogenes squarrosa* rather than to forage the communities consisted of *Stipa grandis* and *Potentilla acaulis*. Meanwhile, the ingestion time per unit area and per foraging times in unit area are sensitive to the community types, therefore, they can be better to describe the relation between foraging behaviors of grazing sheep and the spatial heterogeneity of grassland landscapes.

**Key words** foraging lines, grazing sheep, spatial heterogeneity, grassland landscape.

放牧生态系统是以土壤-植物-家畜间动态的、等级的互作效应为其特点<sup>[1]</sup>。在放牧条件下, 当给予一定

\* 国家科委“九五”攻关(96-016-01-01)和中国科学院“九五”特别支持项目(KJ95T-04)“放牧绵羊行为生态学研究”资助。

收稿日期: 1997-01-04, 修改稿收到日期: 1998-05-10。

的时间进行限牧时,家畜不仅要决定是否采食,而且要决定采食的地点(群落或斑块)、植物种类、采食的植物部位及采食的程度。近年来,有蹄类家畜的放牧策略及选择采食的机制已有许多研究<sup>[2~4]</sup>。Pyke 和 Schoener 将最优采食理论应用于大型食草动物,但尚存在一些问题<sup>[3,5]</sup>。国内对放牧绵羊行为的一些研究报道<sup>[6~12]</sup>,一般很少将采食行为与草场空间异质联系起来,进行定量的研究,国外也不多见<sup>[13]</sup>。

本文试图定量地探讨放牧绵羊全天采食行为与草场异质性间(地形、植被类型资源分布等)的关系;并进行一些方法和指标的探讨。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验羊只的选择和放牧管理

本实验于1993年6月14~16日,7月24~26日到9月9~11日结合轮牧试验和行为观察试验进行的,这些实验开始于1990年,因此绵羊已有3a的放牧历史。选择4只健康无病的羯羊(5岁),放牧于1hm<sup>2</sup>的围栏草场内,全天跟踪观测,并将草场划分为100个小方块,每块10×10m<sup>2</sup>,然后间隔5min,按序记下各羊只所在的具体位置,并用线条跟踪划出各羊只的实际行走路线。6、7、9月份放牧的时间分别为6:00出牧,19:30或18:30归牧,全天放牧时间相应地为810min(6、7月)和750min(9月),3次平均放牧时间为790min。6、7月份围栏内放2盆水、9月份放1盆水,任绵羊自由饮水。

### 1.2 主要观测项目和方法

1.2.1 依据全天实际采食路线图,假设在5min的间隔时间内,绵羊是匀速采食通过所经过的区域的,然后根据某一区域内路线线条的长度与此期间总路线长度的比例,计算在该区域内采食的时间。

1.2.2 依单位面积(100m<sup>2</sup>)草场内进出线条总数(不论长短),计算绵羊在该块草场出现的频率。

1.2.3 实地观测围栏草场,画出该草场的微地形图和植物群落或斑块类型图,并计算出各类型所占的比例;同时,3个实验期均在每个类型上做3个1m<sup>2</sup>的样方,分种烘干(65℃),测地上现存量;然后求均值。

### 1.3 数据处理

将3次的数据求平均数,进行多重比较;并进行主成分分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 放牧草场空间异质性

放牧实验地的微地形主要有车辙和平地两种,而草场植被依据群落组成划分为8种,以类型I、II、III、IV、V、VI、VII和VIII表示,所占面积比例分别为2.5%、2.0%、13.5%、11.5%、4.0%、12.0%、6.0%和48.5%;各类型的植物种类组成及地上现存量的比例见表1。

表1 不同群落类型植物种类组成和地上生物量

Table 1 The aboveground biomass and their components in different communities

| 草场类型 Type                             | I         | II       | III       | IV       | V         | VI        | VII      | VIII      |
|---------------------------------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 地上生物量(g/m <sup>2</sup> ) <sup>①</sup> | 61.3±22.2 | 17.4±4.1 | 58.5±23.7 | 14.7±4.7 | 50.5±20.8 | 50.9±25.1 | 15.1±5.1 | 49.1±18.5 |
| 大针茅 <sup>②</sup>                      | 3.3±1.2   | 0.5±0.2  | 1.2±0.4   | 0.1±0.0  | 2.0±0.5   | 1.3±1.1   | —        | —         |
| 冰草 <sup>③</sup>                       | 5.4±1.2   | 4.2±1.0  | 7.2±1.9   | 3.1±1.1  | 0.1±0.0   | 0.1±0.1   | 1.1±1.0  | 1.4±0.4   |
| 寸草苔 <sup>④</sup>                      | 12.2±3.0  | 4.3±1.0  | 3.3±1.1   | 2.4±0.7  | 10.8±1.5  | 8.2±3.1   | 2.1±0.7  | 3.9±1.2   |
| 糙隐子草 <sup>⑤</sup>                     | 10.0±2.1  | 3.4±2.0  | 11.0±4.2  | 3.1±1.1  | 9.2±3.2   | 22.1±5.2  | 7.9±2.2  | 9.9±3.5   |
| 冷蒿 <sup>⑥</sup>                       | 10.8±3.0  | 4.3±1.1  | 16.9±5.7  | 1.0±0.2  | 8.9±2.4   | 17.6±4.2  | 3.3±0.4  | 28.8±10.5 |
| 星毛委陵菜 <sup>⑦</sup>                    | 18.1±5.3  | 0.5±0.3  | 18.1±2.4  | 0.5±0.3  | 18.2±3.8  | 0.5±0.3   | 0.3±0.2  | 4.0±0.9   |
| 早熟禾 <sup>⑧</sup>                      | —         | 0.1±0.0  | 0.1±0.0   | 4.3±0.7  | 0.1±0.0   | —         | 0.1±0.0  | 0.1±0.0   |

①Aboveground biomass; ②*Stipa grandis*; ③*Agropyron cristatum*; ④*Cleistogenes squarrosa*; ⑤*Carex duriuscula*; ⑥*Artemisia frigida*; ⑦*Potentilla acaulis*; ⑧*Poa ochotensis*

### 2.2 放牧绵羊对草场空间异质性的反应

表2为放牧绵羊采食行为特征与草场类型间的关系。从表2可以看出,依据不同的指标,各群落类型上采食的优先度有一定的差异,具体为:

- (1)依据采食的总时间排序  $VII > VI \geq III \geq VII \geq IV > I \geq II \geq V$
- (2)依据单位面积内采食时间排序  $VII > VII \geq VI > I \geq IV \geq II \geq III \geq V$
- (3)依据100m<sup>2</sup>出现的总次数排序  $VII > VI \geq III \geq VI \geq IV > I \geq II \geq V$
- (4)依据100m<sup>2</sup>单位次数采食的时间排序  $VII > III \geq VI \geq VII \geq II \geq IV \geq I > V$ 。

表2 放牧绵羊采食行为与草场类型间的关系

Table 2 Relationship between characteristics of foraging behaviors and the grassland communities

| 草场类型<br>Grassland<br>types | 采食总时间<br>Total foraging<br>time<br>(min./4 sheep) | 单位面积采食时间<br>Foraging time per<br>unit area<br>(min./sheep, m <sup>2</sup> ) | 100m <sup>2</sup> 内出现频率<br>Total foraging<br>frequencies<br>(times/100m <sup>2</sup> ) | 100m <sup>2</sup> 内单位次数采食时间<br>Foraging time per times<br>(min./4 sheep/time, 100m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I                          | 15.0±10.3 <sup>a</sup>                            | 0.06±0.85 <sup>d</sup>                                                      | 4.00±5.56 <sup>f</sup>                                                                 | 1.88±2.65 <sup>ae</sup>                                                                           |
| II                         | 7.5±4.2 <sup>a</sup>                              | 0.04±0.02 <sup>de</sup>                                                     | 3.50±3.54 <sup>i</sup>                                                                 | 2.92±1.53 <sup>d</sup>                                                                            |
| III                        | 132.0±73.5 <sup>cd</sup>                          | 0.01±0.06 <sup>cd</sup>                                                     | 26.50±9.19 <sup>cd</sup>                                                               | 4.79±1.12 <sup>c</sup>                                                                            |
| IV                         | 55.5±19.2 <sup>e</sup>                            | 0.05±0.01 <sup>de</sup>                                                     | 16.00±9.90 <sup>d</sup>                                                                | 2.70±0.80 <sup>d</sup>                                                                            |
| V                          | 1.0±1.4 <sup>a</sup>                              | 0.00±0.00 <sup>d</sup>                                                      | 2.00±1.41 <sup>f</sup>                                                                 | 0.50±0.71 <sup>f</sup>                                                                            |
| VI                         | 187.5±72.1 <sup>c</sup>                           | 0.11±0.07 <sup>c</sup>                                                      | 44.00±2.83 <sup>c</sup>                                                                | 4.27±0.33 <sup>c</sup>                                                                            |
| VII                        | 85.0±46.5 <sup>de</sup>                           | 0.14±0.11 <sup>c</sup>                                                      | 19.50±12.02 <sup>d</sup>                                                               | 4.08±0.89 <sup>c</sup>                                                                            |
| VIII                       | 2058.5±272.2 <sup>a</sup>                         | 0.42±0.06 <sup>a</sup>                                                      | 257.00±59.40 <sup>a</sup>                                                              | 7.94±0.78 <sup>a</sup>                                                                            |

注:相同字母间差异不显著(<SSR0.05);相邻或相间字母间差异显著或极显著(>SSR0.05或0.01);There is no difference significantly (<SSR0.05) among the same letter, and the difference are significant among different letters (>SSR0.05或0.01).

从表2的排序结果可以看出,依据不同的指标将有不同的采食顺序。因采食的总时间主要与区域的面积大小相关,一般地面积大,采食的总时间也长;虽然有些例外,如类型VII的面积只有类型III、VI和IV的一半,但采食时间仍差异不显著,这说明总采食时间除了与面积大小有关外,还与其它因素如地形、植物种类组成等有关,因而该指标有一定的局限性;单位面积内采食时间的指标则部分克服了总采食时间的缺点,它是以同等面积上所采食的时间长短来度量的,单位面积内采食时间越长,则说明该区域内家畜喜食的植物可能较多;100m<sup>2</sup>内出现的总次数包括了非采食的时间所经过某一区域内的次数,故局限性也较大;而100m<sup>2</sup>内单位次数采食的时间既考虑了一定的面积,同时又考虑了单位次数采食的时间,故较为合理。

图1是利用各群落或斑块类型的面积(%)、总生物量和主要植物种类生物量及其比例等特征指标进行的主成分分析图。第一主成分主要反映了大针茅分生物量及其比例、各群落或斑块类型总生物量、寸草苔的分生物量和星毛委陵菜的分生物量及其比例;第二主成分主要反映了冷蒿分生物量及其比例、各类型的面积比例、糖隐子草的分生物量,另外,冰草和寸草苔的分生物量的系数(负值)也较大。根据对绵羊采食性的研究<sup>[14]</sup>,第一主成分主要反映了绵羊厌食的植物比例及生物量的大小,即第一主成分值越大,绵羊避食的程度越大,相应的采食时间就越短;而第二主成分主要反映了喜食的植物比例及各类型面积的大小,即第二主成分值越大,则绵羊在该类型中采食的时间相应较

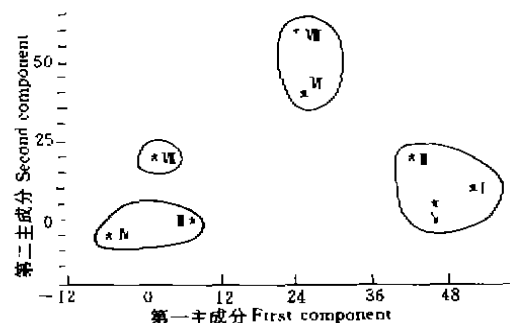


图1 8种不同群落类型的主成分分析

Fig. 1 PCA ordination of 8 different communities

长。根据图1的结果,大致可将这8种群落类型的采食顺序划分为:Ⅶ、Ⅵ>Ⅴ>Ⅲ、Ⅳ、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ。这与表2中依单位面积内采食时间所排顺序较一致。这说明绵羊首先选择厌食的植物种类和比例都较小的、而喜食的植物种类和比例较大的、且总生物量高的群落(Ⅶ、Ⅵ);然后选择即使生物量不高,但厌食的植物种类少、比例小的群落采食(Ⅴ);最后才是选择那些生物量很低、厌食植物种类少或生物量很高、但厌食植物种类较多的群落。

### 3 讨论

影响采食路线选择的因素和决策机理曾有一些假设。Senft *et al* 和 Coleman *et al* 将有蹄动物的选择性采食划分为以下几个生态等级,即沿着地形或景观→群落→斑块→植物→植物部分这样的顺序进行<sup>[1,3]</sup>。

从研究结果看,绵羊的食性是绵羊采食行为与景观异质性之间关系的主要决定因素,如绵羊较喜食小禾草(如糙隐子草、草熟禾等)和冷蒿,这些牧草存在的多少和分布均匀性将影响绵羊的采食区域和采食时间。研究表明,针茅在抽穗结实前,对绵羊的采食行为影响较小,但抽穗后则影响很大,绵羊基本上不去针茅较多的地方采食。

另外,影响绵羊采食行为的因素还包括地形的影响,即不同地形影响了绵羊采食的难易程度,甚至包括地形与植物群落间的互作,但这些影响很难加以区分。

### 4 结论

4.1 在牧草充足的情况下,放牧绵羊多选择大针茅、寸草苔和星毛萎陵菜较少的地方采食,采食时间与冷蒿地上现存量呈高度正相关。

4.2 单位面积内采食时间和100m<sup>2</sup>内单位次数采食时间这两个指标对草场的植物种类组成较为敏感,可以用来较好地反映绵羊采食行为特征与草场空间异质性间的关系。

### 参 考 文 献

- 1 Coleman S W, Forbes T D A and Stuth J W. Measurements of the plant animal interface in grazing research. In: *Grazing Research: Design, Methodology, and Analysis*. G. C. Marten (ed). 1989; 37~51
- 2 Senft R L, Coughenour M B, Bailey D W, *et al*. Large herbivore foraging and ecological hierarchies. *Bioscience*. 1987, 37(11): 789~799
- 3 Malechek J C, Balph D F and Provenza F D. Plant defense and herbivore learning: Their consequences for livestock grazing systems. P: 193~208. In: O. Gudmundsson (ed) *grazing research at northern latitudes*. Plenum Press, New York. 12. Owen-Smith, N., P. Novellie. 1981. What should a clever ungulate eat? *Am. Nat.* 1986, 119: 151~178
- 4 Arnald C W. Influence of the biomass, botanical compositions and sward height of annual pastures on foraging behavior by sheep. *J. Appl. Ecol.* 1987, 24: 759~772
- 5 Westoby M. The analysis of diet selection by large generalist herbivores. *Am. Nat.* 1974, 108: 290~304
- 6 任继周, 李逸民, 郭 博, 李 琪. 藏羊群自由放牧与分区轮牧的观察研究. *中国畜牧兽医杂志*, 1954, (4): 143~147
- 7 周寿荣. 川西北草地几种家畜夏季放牧采食量测定. *中国畜牧杂志*, 1964, (1): 20~22
- 8 韩国栋. 划区轮牧和季节连续放牧的牧食行为. *中国草地*, 1993, (2): 1~4
- 9 汪诗平. 放牧绵羊行为生态学研究: I. 不同放牧率对放牧绵羊牧食行为的影响. *草业学报*, 1977a, (1): 18~13
- 10 汪诗平, 李永宏. 放牧绵羊行为生态学研究: II. 不同放牧时期对放牧绵羊牧食行为的影响. *草业学报*, 1997b, (2): 7~13
- 11 汪诗平, 李永宏. 放牧绵羊行为生态学研究: III. 放牧绵羊白天主要牧食行为参数间的关系和变化. *草业学报*, 1997c, (3): 8~17
- 12 汪诗平, 李永宏. 放牧绵羊行为生态学研究: IV. 牧食行为参数与草地状况的关系. *草业学报*, 1997d, (4): 31~38
- 13 肖笃宁, 张启德, 赵羿译. *景观生态学*. 北京: 科学出版社, 1990. 188~225
- 14 李永宏, 汪诗平. 放牧绵羊的食性食量研究. *草业学报*, 1998, 7(1): 50~53