

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

汪诗平

(中国科学院植物研究所 植被数量生态学开放研究实验室, 北京 100093)

摘要:用显微技术法分别在放牧率为 1.33, 4.00 和 6.67 只/hm² 下对内蒙古细毛羊的食性进行了研究。结果表明,随着放牧率的增大,草场的植物种类组成及其相对比例发生了明显的变化。由于不同牧草的可利用性不同,其食性选择也发生了明显的变化。在重牧条件下,原先为随意采食的冷蒿和厌食的寸草苔则升级为“喜食”的植物,星毛委陵菜的选择性指数也有较大提高;且星毛委陵菜成为主要的食物资源,占全部食物的 80% 以上。这说明放牧率的增大和绵羊选择性的采食是草场植物种类组成发生变化的主要原因之一。

食物的选择性主要与草地牧草的相对生物量、高度和频度显著相关;当草地植物多样性指数较高时,放牧绵羊的食物选择性较大。不同放牧率条件下,在以冷蒿和小禾草为主的退化草原上,草地植物多样性指数随放牧率的增大而显著降低,但食物多样性指数以放牧率 4.00 只/hm² 的处理最高。

关键词:内蒙古细毛羊;放牧率;食性;草地群落特征

The dietary composition of fine wool sheep under different stocking rates and relationship between dietary diversity and plant diversity in Inner Mongolia steppe

WANG Shi-Ping (The Lab. of Quantitative vegetation Ecology, Institute of Botany, CAS, Beijing 100093, China)

Abstract: The experiment was conducted at Inner Mongolia steppe. The vegetation was dominated by *Leymus chinensis*, *Cleistogenes squarrosa*, *Artemisia frigida*, *Potentilla acaulis*. The dietary composition of Inner Mongolia fine wool sheep were analysed by the micro-technique under different stocking rates of 1.33, 4.00 and 6.67 sheep/hm² in August. The results showed that the dietary composition of grazing sheep was changed with the stocking rate increase because the herbage resource was limited. The *Artemisia frigida* and *Carex duriusscula* were changed into preferred herbage, and the preferred index of *Potentilla acaulis* was significant increased when the stocking rate was heavy or overgrazing. The selective ingestion of herbage has a positive correlation with herbage relative biomass, height and frequency. The plant diversity index of rangeland decreased with stocking rate increase. The dietary diversity index of grazing sheep was highest in the stocking rate of 4.00 sheep/hm².

Key words: Inner Mongolia fine wool sheep; dietary composition; stocking rate; rangeland status

文章编号: 1000-0933(2000)02-0237-07 中图分类号: Q948, S812, S826.8+2 文献标识码: A

目前,有许多研究者进行了不同食草动物食性的研究,且从不同角度加以解释,如适牧理论的解释

基金项目: 国家自然科学基金(39970538)中国科学院重大(KZ951-A1-301)和特别支持(KT95T-04-03)及国家重大基金(49790020)资助项目

收稿日期: 1998-07-19; 修订日期: 2000-03-28

作者简介: 汪诗平(1964~),男,安徽桐城人,博士,助研。主要从事草原生态、放牧管理、动-植物关系、放牧家畜营养生态和草地畜牧业可持续发展的研究。

出^[1,2]。为了将这一理论应用于放牧家畜的选择性采食,人们提出最适牧食假设,即大多数食草动物都能够按牧草的净能值(所食牧草的能量与所消耗的能量之差值)进行排列。更有甚者,家畜还能根据物候期和生境的变化来调整这种牧草采食序列^[3]。许多人曾进行了较为详细的评述,一般都认为是动植物各种特征相互相互作用的结果^[4~6]。

影响放牧家畜选择采食的植物特征因素很多^[7,8]大致包括:(1)植物种类;(2)化学组成;(3)物理或形态特征;(4)物候期或成熟度;(5)相对可利用性;(6)植物的气味和味道;(7)接近的难易程度等。植物生长的生境如地形、具体地点等也影响选择性采食,因为它影响了放牧家畜接近的难易程度或可获得性^[9,10]。除了牧草的季节性变化和营养限制外,草原植被的异质性也导致了放牧家畜表现出强烈的选择性采食^[11~16]。在早期的研究中,研究者试图将选择性采食解释为植物营养含量的化学特性不同所致,然而许多人用这种方法试图预测放牧家畜的选择性采食时,却遇到了一些问题^[17~19]。

放牧家畜的特征对选择性采食也有影响,如家畜的触觉、嗅觉、视觉和味觉对选择性采食都有影响^[5,20,21]。Arnold^[20]证明绵羊的视觉主要是在空间位置的确定上帮助家畜选择性采食的,而植物种类的选择是由其它感觉等决定的。嗅觉加强了味觉,因为嗅觉是远距离味觉的具体体现^[21,22]。当绵羊的嗅觉和味觉被外科手术阻碍时,牧草的相对适口性发生了明显地变化^[20]。有人发现,由于粪便的气味,使得牛羊不愿采食“粪斑”上的植物^[6,23]。另外,放牧家畜的以前放牧经历对选择性采食也有很大的影响。同时,放牧率的大小也有较大影响。当放牧率小时,则食物充足,家畜可以自由地选择食物;相反,当食物不足时,放牧家畜就不得不采食以前不爱吃的食物。

在我国,很少有人探讨不同放牧率下内蒙古细毛羊的食性变化及与草地群落结构间的关系,本研究在不同放牧季节对绵羊食性影响的研究基础上,进一步分析由于不同放牧率导致的草地状况的变化而引起的绵羊食性的响应,以及绵羊食物多样性与草地群落主要种群特征间的关系,以便揭示放牧绵羊在不同的食物资源胁迫下其食性替代规律及草地植物多样性变化的机理。

1 材料与方法

1.1 材料 不同放牧率下轮牧试验设计见李永宏等^[24],该放牧实验始于1990年。本实验于1993年8月中旬对3种放牧率(1.33,4.00和6.67只/hm²)下的绵羊食性进行研究。利用5岁的内蒙古细毛羊(羯羊),于8月上旬连续4~5d,用全收集法收集羊粪,在60℃条件下烘干,过1mm筛粉碎;同期用5个1m²样方采集植物样品,度量不同植物的高度、盖度和群落的总盖度,并分种烘干称重,过1mm筛粉碎;用4N HCl不溶灰分法估测不同时期绵羊的采食量^[25]。同时,记录主要植物种的物候期。并用100m样线进行两次交叉度量各种植物出现的频度。

1.2 植物成分的分析 利用显微镜技术进行绵羊日粮植物学组成的分析^[26],并参考Sanders等^[27]和Vavra等^[28]的方法,进行载玻片的制作。主要过程为:将适量粉碎通过1mm筛的粪样放入玻璃皿中,用热水浸泡混合1~2min,然后0.1%NaOH漂洗1min左右,再将样品倒入200目的分样筛中,用凉水冲洗,滤掉碎粉末,分样筛内剩余的样品是比较均一的植物组织碎片。将这些碎片分别放于5个培养皿中,加水摇动使碎片较均匀的分布在培养皿中,不致出现较多的重叠,在60℃左右烘干即可镜检。

1.3 镜检前的准备及方法 为了提高辨认率,根据Holechek等^[29]介绍的方法,实验前进行了系统训练,即将已知的植物粉碎过1mm筛,参照上术方法制作载玻片,并与康乐^[30]所绘制的主要植物表皮细胞特征图和检索表进行对照辨认。实验过程中,每个培养皿在双目显微镜下放大160倍,观察20个视野,与参考图^[30]比较,系统的记下所有各视野中碎片所属的植物种;如果出现不能辨认或辨别不清的表皮细胞或碎片,也作记录,最后将这些辨不清的碎片按比例分给各个种。最后列表计算出每个种出现的频率并换算成每个种的相对密度^[26],再用这些相对密度估测每种植物的干物质百分比,即: $DA = (A \text{ 种植物的相对密度} / \text{各种植物相对密度的总和}) \times 100\%$ 。

1.4 选择性指数的计算 选择性指数(偏嗜性指数)是指食物中某种牧草占的重量百分率与群落中该种植物占的重量百分率的比值。

1.5 多样性指数的计算 采用Shannon多样性指数 $H = - \sum P_i \times \ln P_i$ 进行计算,其中, P_i 为*i*物种的相

对生物量。

2 结果与分析

2.1 不同放牧率下草原群落结构和绵羊食物资源的变化

3种放牧率下放牧草场的群落学特征见表1。从表1可以明显地看出,所列11种植物的地上生物量占总生物量的95%以上,因而构成了放牧绵羊的主要食物资源。由于放牧绵羊的选择性采食及放牧率的成倍增加,使得不同放牧率下放牧草场的植物学组成及其比例发生了明显的变化。在轻度放牧条件下,单子叶(禾草类禾草)植物占的比例较高,为50.16%;中度放牧的为23.62%,重度放牧的只有9.65%,尤以冰草、糙隐子草大幅度下降。在杂类草中,冷蒿的比例成倍数的下降,而星毛委陵菜则相反,随着放牧率的增大其比例成倍的增加,在重牧条件下,其地上生物量占总生物量的80%以上。因此,不同的放牧率下,放牧绵羊的食物资源发生了明显的替代。

表1 不同放牧率下草原的群落学特征(8月初)

Table 1 The characteristics of pasture communities under different stocking rates on August 5,1993

放牧率 (羊/hm ²)	1.33					4.00					处理 E Treatment E				
	DM	R	C	H	F	DM	R	C	H	F	DM	R	C	H	F
	(g/m ²)	(%)	(%)	(cm)	(%)	(g/m ²)	(%)	(%)	(cm)	(%)	(g/m ²)	(%)	(%)	(cm)	(%)
羊草 ¹	0.47	0.86	0.2	10.3	5	0.20	0.66	0.6	11.0	7	0.28	0.60	0.3	6.0	6
冰草 ²	6.33	11.55	2.0	15.0	71	/	/	/	/	6	/	/	/	/	0
糙隐子草 ³	15.18	27.71	8.3	6.7	96	2.76	9.16	3.0	2.7	96	3.12	6.66	4.0	2.3	92
针茅 ⁴	1.08	1.97	0.2	34.0	22	0.42	1.39	0.5	29.5	7	/	/	/	/	2
寸草苔 ⁵	4.42	8.07	5.0	12.7	100	3.74	12.41	4.7	7.0	74	1.12	2.39	2.3	3.3	90
扁蓿豆 ⁶	0.28	0.51	0.7	2.0	6	0.07	0.23	0.1	1.0	7	0.08	0.17	0.1	1.0	2
双齿葱 ⁷	0.42	0.77	0.8	9.3	/	/	/	/	/	4	/	/	/	/	0
冷蒿 ⁸	18.60	33.95	10.3	5.3	98	8.27	27.44	8.3	2.7	74	2.94	6.28	4.6	2.3	52
星毛委陵菜 ⁹	5.90	10.77	3.3	2.0	91	11.44	37.96	7.3	2.0	82	37.79	80.68	16.0	2.0	93
菊叶委陵菜 ¹⁰	0.08	0.15	0.2	2.0	21	0.52	1.73	0.8	3.0	17	0.93	1.99	1.4	1.7	30
木地肤 ¹¹	0.31	0.57	0.8	6.7	17	0.99	3.28	0.7	1.5	24	0.25	0.53	0.1	2.5	21

1. *Leymus chinensis*; 2. *Agropyron cristatum*; 3. *Cleistogenes squarrosa*; 4. *Stipa krylovii*; 5. *Cares duriuscula*; 6. *Melissitus ruthenica*; 7. *Allium bidentatum*; 8. *Artemisia frigida*; 9. *Potentilla acaulis*; 10. *Potentilla tanacetifolia*; 11. *Kochia prostrata* * DW;干重 Dry matter(g/m²); R;相对干重 Relative dry matter(%); C;冠层盖度 Canopy coverage(%); H;叶层高度 Leaf height(cm); F;出现的频率 Frequency(%)

2.2 不同放牧率下放牧绵羊食性食量的变化

由于不同放牧率条件下放牧草场的植物组成及其比例存在很大的差异,故放牧绵羊的食物组成依不同草场状况而有很大的差异,随着放牧率的增大,食物中禾草和类禾草的比例由73.2%降到42.77%和30.28%;其中,羊草的比例有所下降,冰草和糙隐子草的比例则大幅度下降;寸草苔和冷蒿的比例均以中度放牧为最大,随着放牧率的增大,星毛委陵菜取而代之,占总采食量的50%以上(表2)。由此可见,由于绵羊选择性采食等因素所导致的草原放牧演替反过来又影响了放牧绵羊的食物资源及其组成,从而导致了放牧绵羊的食物替代。

2.3 不同放牧率下不同牧草的选择性指数的变化

选择性指数值越大,表明绵羊越爱喜食。在草原牧草的种类组成及其比例发生变化时,放牧绵羊对牧草的选择性指数也发生着相应的变化(表3),如在放牧率低、牧草资源较丰富时,寸草苔、冷蒿和星毛委陵菜均为避食植物(选择性指数<1.0);但随着放牧率增大,寸草苔和冷蒿均变为“喜食”植物(选择性指数>1.0),星毛委陵菜的选择性指数也有较大幅度的提高。尽管其它喜食性牧草的选择性指数也随放牧率增高

而增大,但终究因其相对生物量较小,可利用性较低(表 1),最终导致它们在食物比例随放牧率的增加而降低(表 2)。因此,“喜食”与“厌食”植物是相对地于资源的丰欠而言,只有资源丰富时,放牧绵羊才有较大的选择余地,否则,则表现出“饥不择食”的现象。

表 2 不同放牧率下放牧绵羊的食物组成变化

Table 2 The dietary composition of grazing sheep under different stocking rates in August of 1993						
放牧率(只/hm ²) Stocking rate (a/hm ²)	1. 33		4. 00		6. 67	
	占日粮百分比(%)	日食量(g)	占日粮百分比(%)	日食量(g)	占日粮百分比(%)	日食量(g)
	Percent of intake	Intake	Percent of intake	Intake	Percent of intake	Intake
羊草 ¹	1. 21±0. 27	27. 23	1. 34±0. 31	20. 90	1. 23±0. 19	16. 85
冰草 ²	6. 17±0. 89	138. 83	0. 09±0. 03	1. 40	/	/
糙隐子草 ³	61. 43±5. 78	1382. 14	28. 14±3. 41	438. 98	25. 31±3. 03	346. 75
克氏针茅 ⁴	0. 13±0. 08	2. 93	0. 11±0. 05	1. 72	/	/
寸草苔 ⁵	4. 26±0. 99	95. 85	13. 09±1. 46	204. 20	3. 74±0. 23	51. 24
扁蓿豆 ⁶	1. 62±0. 21	36. 45	0. 64±0. 14	9. 98	0. 55±0. 09	7. 54
木地肤 ⁷	0. 61±0. 04	13. 73	4. 89±0. 93	76. 28	1. 14±0. 20	15. 62
双齿葱 ⁸	1. 04±0. 06	23. 40	0. 05±0. 01	0. 78	/	/
冷蒿 ⁹	19. 90±1. 41	447. 75	30. 12±2. 78	469. 87	9. 47±1. 98	129. 74
星毛委陵菜 ¹⁰	3. 29±0. 57	74. 03	17. 93±1. 13	279. 71	53. 80±7. 56	737. 06
菊叶委陵菜 ¹¹	0. 34±0. 08	7. 65	3. 60±0. 45	56. 16	4. 76±1. 03	65. 21

1. *Leymus chinensis*; 2. *Agropyron cristatum*; 3. *Cleistogenes squarrosa*; 4. *Stipa krylovii*; 5. *Cares duriuscula*; 6. *Melissitus ruthenica*; 7. *Kochia prostrata*; 8. *Allium bidentatum*; 9. *Artemisia frigida*; 10. *Potentilla acaulis*; 11. *Potentilla tanacetifolia*

2. 4 放牧绵羊的食性与草原植物种群特征间的关系

放牧绵羊的食物选择与草原植物种群特征密切相关(表 4)。从表 4 可以看出,不同放牧率条件下,放牧绵羊的食物组成与不同牧草在草原群落中的相对生物量、高度及频度呈显著或极显著的正样,而与盖度相关性不大(负相关,但未达显著性水平)。这是因为尽管放牧绵羊喜食一些植物,但这些植物大都可利用性较低,在单位时间难以采食到足够量的食物;而构成放牧绵羊主要食物资源的糙隐子草、冷蒿和星毛委陵菜,尽管其高度都很低,但其相对生物量和频度都较高,因而可利用性较大。值得注意的是,放牧率较低时,放牧绵羊的食物组成与牧草的频度相关不大。由此可见,放牧绵羊的食物组成与不同牧草的可利用性直接相关,尤以退化草原更是如此;只有在各种牧草资源都很丰富的情况下,放牧绵羊才能根据对不同牧草的偏嗜性进行选择采食。

2. 5 放牧绵羊的食物多样性与草地植物多样性之间的关系

由于放牧绵羊具有较大的选择性采食习性,其食物种类组成及其多样性都与所采食的草地群落结构有很大的差异。分别以草地群落不同植物和绵羊食物中不同植物相对生物量作为重要值所求得的多 样 性 指 数 表 明,在 不 同 放 牧 率 条 件 下,草 地 群 落 植 物 多 样 性 指 数 为 放 牧 率 轻 (1. 33 只/hm²) 的 最 高,并 随 放 牧 率 的 增 大 而 有 较 大 幅 度 的 下 降。这 是 因 为 在

表 3 夏季不同放牧率下不同牧草的选择性指数的变化

Table 3 The change of preferred index of different forage under different stocking rates in August of 1993			
放牧率(只/hm ²) Stocking rate(sheep/hm ²)	1. 33	4. 00	6. 67
羊草 ¹	1. 41	2. 03	2. 05
冰草 ²	0. 53	/	/
糙隐子草 ³	2. 22	3. 07	3. 80
克氏针茅 ⁴	0. 07	0. 08	/
寸草苔 ⁵	0. 53	1. 05	1. 56
冷蒿 ⁶	0. 59	1. 10	1. 51
星毛委陵菜 ⁷	0. 31	0. 47	0. 67
扁蓿豆 ⁸	3. 18	2. 78	3. 24
双齿葱 ⁹	1. 35	/	/
木地肤 ¹⁰	1. 07	1. 49	2. 15
菊叶委陵菜 ¹¹	2. 27	2. 08	2. 39

1. *Leymus chinensis*; 2. *Agropyron cristatum*; 3. *Cleistogenes squarrosa*; 4. *Stipa krylovii*; 5. *Cares duriuscula*; 6. *Artemisia frigida*; 7. *Potentilla acaulis*; 8. *Melissitus ruthenica*; 9. *Allium bidentatum*; 10. *Kochia prostrata*; 11. *Potentilla tanacetifolia*

轻牧时,植物种类较多且相对均匀;而在重牧或过牧条件下,地上生物量相对集中于1~2种植物,如在重牧下星毛委陵菜的相对生物量可高达80%,所以生物多样性指数很低。然而,绵羊食物多样性指数却以4.00只/hm²的最高(图1)。这主要是因为,在放牧率(1.33只/hm²)较轻时,食物资源较丰富,食物中主要以禾草为主,如糙隐子草占总食量的60%以上;类似地,在放牧率(6.67只/hm²)较高时,也有类似的现象,只是食物资源出现了替代,由星毛委陵菜替代了糙隐子草而占总食量的53%,但相对于草地结构而言,星毛委陵菜在食物中的比例比草地群落中的比例要低30%左右(表1和2)。因此,重牧或过牧条件下,其食物多样性指数比中牧的低,同时又比草地群落的高。

表4 放牧绵羊食物组成与草原植物种群特征间的相关分析

植物种群特征 Population characteristics	放牧率(sheep/hm ²) Different stocking rates		
	1.33	4.00	6.67
相对生物量(%) ^①	0.76*	0.74*	0.93**
高度(cm) ^②	0.73*	0.85*	0.96**
盖度(%) ^③	-0.15	-0.23	0.09
频度(%) ^④	0.55	0.89**	0.73*

①Relative biomass(%);②Height(cm);③Coverage(%);④Frequency(%);*(P<0.05);**(P<0.01)

3 讨论

在放牧家畜的食性研究方面,许多研究者发现不同牧草的选择性与草地群落结构有关,如同一种牧草在不同草地类型和不同土壤类型上,其选择性采食是不一样的^[32],如与其它类型的草原相比,在北美艾灌丛草原上,针茅(*Stipa columbiana*)有较大的选择比例,而*Kanthonia intermedia*却相反,选择的比例相应较小。许多研究还表明,一些牧草在食物资源较少时,利用程度很高,而在茂密的植被中则利用很轻,如蒿(*Artemisia tridentata*)^[33],*Ceanothus thyrsiflous*和冰草(*Aegropyron smithii*)^[34],这主要与不同草地类型中植物种类组成有关^[35]。食物资源可利用程度的降低可以改变食物的选择性^[36~39];另一方面,牧草的相对利用率似乎与牧草的频度、丰度或生物量关系不大^[32]。根据我们的研究,发现当放牧率很高时,由于牧草资源的可利用性大大降低,8月份原先不爱吃的冷蒿或厌食的星毛委陵菜及寸草苔^[31],均成为主要的食物,其利用率大大提高;从选择性指数看,均由一般的采食或厌食变为“喜食”植物,并与牧草的频度、盖度和生物量呈高度正相关。

另外,放牧家畜食性及其变化的研究,还有利于解释放牧对草原植被变化的影响,一般地认为,高强度的放牧可使放牧家畜喜食的植物或很少耐牧的植物消失,即很少被采食或有更大抗性的植物则生存下来,并替代了被消失的植物;如果给予足够长的时间,这种过程将导致草原植被由较低适口性的植物所组成;牧草供应量减少,放牧家畜被迫采食以前厌食的植物^[40]。本文研究结果基本上与上述结论相同,如重度放牧率条件下,草原植被基本上由冷蒿和星毛委陵菜所组成,尤其是绵羊所厌食的星毛委陵菜占草原群

另外,与不同放牧季节相比^[31],不同放牧率的绵羊在8月份的食物多样性指数普遍比较低,即使是放牧率轻的处理也是如此。这是因为,虽然放牧率轻的处理(1.33只/hm²),草地群落中的禾草比例有所上升,但禾草中以糙隐子草为主,羊草和冰草的比例很低(表1),因而,食物资源中不同牧草的比例差异较大,轻牧或过牧都使食物资源的相对集中,从而食物多样性指数相应较低。

由此可以看出,不同放牧率下放牧绵羊的食物替代较大,从而保证较大营养物质摄入量和优化牧食策略。而放牧家畜的食物多样性指数与草地植物多样性指数的变化趋势不一致,这主要是选择性采食造成的。当草地植物群落中家畜喜食的种类较多且相对均匀时,放牧家畜的食物多样性指数较高,且与草地植物多样性指数的相关性较大;相反,关系则不太一致,一般以中度放牧率下的食物多样性指数较高。

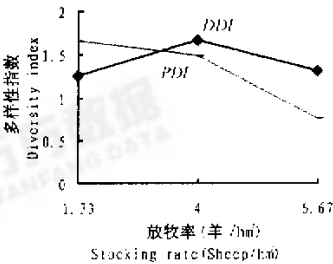


图1 不同放牧率下绵羊食物多样性指数(DDI)与植物多样性指数(PDI)间的关系

Fig. 1 Relationship between dietary composition diversity index (DDI) and plant species diversity (PDI) index under different stocking rates in 1993

落地上生物量的 80% 以上,此时,绵羊也不得不采食它。值得注意的是无论是轻度放牧,还是重度放牧,糙隐子草均是放牧绵羊喜食的牧草,即使在重牧条件下,其出现的频率仍然很高,但其高度、冠层盖度和生物量却大大降低,这说明其有极强的耐牧性,一旦牧压减轻或解除,则又得到较快的恢复,这可能是轮牧比连续放牧方式的主要优越之处,牧草可以在轮牧间期有较长的时间得以休养生息。

4 结论

随着放牧率的增大,草场的植物种类组成及其相对比例发生了明显的变化。由于不同牧草的可利用性不同,以及放牧绵羊为了生存和繁殖的需要,其食性选择也发生了明显的变化。在重牧条件下,原先为随意采食的冷蒿和厌食的寸草苔则升级为“喜食”的植物,星毛委陵菜的选择性指数也有较大提高;且星毛委陵菜成为主要的食物资源,占全部食物的 80% 以上。这说明放牧率的增大和绵羊选择性的采食是草场植物种类组成发生变化的主要原因之一。

当草地植物多样性指数较高时,放牧绵羊的食物选择性较大。不同放牧率条件下,在以冷蒿和小禾草为主的退化草原上,草地植物多样性指数随放牧率的增大而显著降低,但食物多样性指数以中度放牧率(4.00 只/hm²)的处理最高。

参考文献

- [1] Pyke G H, Pulliam H R, Charnov E L. Optimal foraging: a selective review of theory and tests. *Quart. Rev. Biol.*, 1977, **52**: 137~154.
- [2] Schoener T W. Theory of feeding strategies. *Annual Rev. Ecol. Syst.*, 1971, **2**: 369~404.
- [3] Church D C. Digestive physiology and nutrition of ruminants. Vol. 1. *Digestion physiology* (Second edition), O&B Books, Corvallis, Ore. 1975, 350.
- [4] Arnold G W, Dudzinski M L. The use of faecal nitrogen and index for estimating the consumption of herbage by grazing animals. *J. Agr. Sci.*, 1963, **61**: 33~43.
- [5] Heady H F. Palatability of herbage and animal preference. *J. Range Manage.*, 1964, **17**: 76~82.
- [6] Marten G C. The animal-plant complex in forage palatability phenomena. *J. Ani. Sci.*, 1978, **46**: 1407~77.
- [7] Blek J L. Nutrition of the grazing ruminant proc. of the N. Z. soc. *Anim. Prod.*, 1990, **50**: 7~27.
- [8] O'Reagain P J. Plant structure and the acceptability of different grasses to sheep. *J. Range Manage.* 1993, **46**: 232~236.
- [9] Mueggler W F. Cattle distribution on steep slopes. *J. Range Manage.*, 1965, **18**: 255~257.
- [10] Senft R L, Rittenhouse L R, Woodmanse R G. Factors influencing patterns of cattle grazing behavior on shortgrass steppe. *J. Range Manage.*, 1985, **38**: 82~87.
- [11] Holecck J L, Vavra M. Forage intake by cattle of forest and grassland range. *J. Range Manage.*, 1982, **35**: 737~741.
- [12] Senft R L, Coughenour M B, Bailey D W, et al. Large herbivore foraging and ecological hierarchies. *Bioscience*. 1987, **37**: 789~799.
- [13] Owens MK, Launchbaugh K L, Holloway J W. Pasture characteristics affecting spatial distribution of utilization by cattle in mixed brush communities. *J. Range Manage.*, 1991, **44**(2): 118~123.
- [14] Boo R M, Lindstrom L T, Elia O R, et al. Botanical composition and seasonal trends of cattle diets in central Argentina. *J. Range Manage.*, 1993, **46**: 479~482.
- [15] O'Reagain P J, Mentis M T. Sequence and process of species selection by cattle in relation to optimal foraging theory on an old land in the Natal Sour Sandveld. *J. Grassl. Soc. So. Afr.*, 1989, **6**: 71~76.
- [16] 汪诗平, 李永宏, 王艳芬, 绵羊的采食行为与草场空间异质性关系. *生态学报*, 1999, **19**(3): 431~434.
- [17] Westoby M. An analysis of diet selection by large generalist herbivores. *Am. Nat.*, 1974, **108**: 290~304.
- [18] Belovsky G E. Diet optimization in a generalist herbivore: the moose. *Theor. Popul. Biol.* 1978, **14**: 105~134.
- [19] Owen-Smith R, Ellie P. What should a clear ungulate eat. *Am. Nat.*, 1982, **119**(2): 151~178.
- [20] Arnold G W. The special senses in grazing animals. I. Sight and dietary habits in sheep. *Aust. J. Agr. Res.*, 1966,

17:521~529.

[21] Arnold GW. The special senses in grazing animals. II. Smelt, taste, touch and dietary habits in sheep. *Aust. Agr. Rese.* ,1978, **29**:531~542.

[22] Bell R V. The use of the herb layer by grazing ungulates in the Serengeti. In: A. Watson ed. *Animal populations in relation to their food resources*. Symp. Brit. Ecol. Soc. (Aberdeen) Blackwell Sci. Pub. , Oxford and Edinburg. 1959. 111~123.

[23] Marten G C, Donker J D. Animal excrement as a factor influencing acceptability of grazed forage. Proc. of the Intern. Grassl. Cong. , Helsinki, Finland; 1966. 359~383.

[24] 李永宏, 陈佐忠, 汪诗平. 草原放牧系统持续管理试验研究: 试验设计及放牧率对草-畜系统影响分析. *草地学报*, 1999, **7**(3): 173~179.

[25] 汪诗平, 李永宏. 放牧率和放牧时期对绵羊排粪量, 采食量和干物质消化率的影响. *动物营养学报*, 1997, **9**(1): 47~54.

[26] Sparks D R, Malechek J C. Estimating percentage dry weights in diets using a microscope technique. *J. Range Manage.* , 1968, **21**: 264~265.

[27] Sanders K D, Dahl B E, Scott G. Bite-count vs. fecal analysis for range animal diets. *J. Range Manage.* , 1980, **32**: 146~149.

[28] Vavra M, Holechek J L. Factors influencing micro-histological analysis of herbivore diets. *J. Range Manage.* , 1980, **32**: 371~374.

[29] Holechek J L. Sample preparation techniques for micro-histological analysis. *J. Range Manage.* 1982, **34**: 337~338.

[30] 康 乐, 陈永林. 草原蝗虫食料植物叶片表皮显微结构的研究. *草原生态系统研究. 第4集*. 北京: 科学出版社, 1992. 125~140.

[31] 汪诗平. 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*, 2000, **20**(6): 1951~957.

[32] Hurd R M, Pond F W. Relative preference and productivity of species on summer cattle ranges. Bighorn Mountains, Wyoming. *J. Range Manage.* , 1958, **11**: 109~114.

[33] Stoddart L A, Smith A D. *Range management*. 2nd, ED. McGraw-Hill book Co. , N. Y. 1955. 433.

[34] Tomanek G W, Martin and E P, Albertson F W. Grazing preference comparisons of six native grasses in the mixed prairie. *J. Range Manage.* , 1958, **11**: 191~193.

[35] Heady H F, Torell D T. Forage preferences exhibited by sheep with esophageal fistulas. *J. Range Manage.* , 1959, **12**: 28~34.

[36] Corbett J L. Faecal-index techniques for estimating herbade consumption by grazing animals. *Proc. Int. Grassl. Cong.* , 1960, **8**: 438~442.

[37] Dasmann W P. Deer-livestock forage studies on the interstate winter deer range in California. *J. Range Manage.* , 1949, **2**: 206~212.

[38] Julander O. Techniques in studying competition between big game and livestock. *J. Range Manage.* , 1958, **11**: 19~21.

[39] Van Dyne G M, Heady H f. Botanical composition of sheep and cattle diets on a mature annual range. *Hilgardia*, 1965, **36**: 465~492.

[40] Ellison L. The influence of grazing on plant succession. *Botanical Review.* , 1960, **26**: 1~78.