

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

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:在围栏封育 4 a 的 1 hm² 放牧样地内, 放牧 4 只内蒙古细毛羊, 分别于 6、7 和 9 月份用显微技术法进行了绵羊食性的研究。结果表明, 在放牧率较低食物资源比较丰富的条件下, 绵羊的食性表现为明显的季节性变化。6 月份, 由于禾草在群落中的相对生物量较小, 故在食物中的比例相应较小, 为 31%; 而在 7 月份, 则上升到 45%, 部分替代了冷蒿在食物中的比例; 同时, 在禾草中, 羊草、冰草主要在春季或初夏(7 月份以前)被利用, 随着物候期的后移其利用率有较大幅度的下降, 逐渐被糙隐子草所替代。禾草和冷蒿是放牧绵羊的主要食物资源, 但冷蒿在夏季利用率较低。放牧绵羊有较强的食性选择, 主要牧草的选择性采食顺序大致为: 乳白花黄芪、糙隐子草、扁蓿豆 > 羊草、菊叶委陵菜和双齿葱 > 冰草和冷蒿 > 寸草苔、克代针茅和星毛委陵菜, 即分为很喜食、喜食、随意采食和厌食 4 个等级。不同季节食物替代明显, 主要与食物的相对生物量、高度和频度显著相关; 食物多样性指数较草地植物多样性指数高, 且随放牧季节的向后推移呈下降趋势。

关键词: 内蒙古细毛羊; 放牧季节; 食性; 草地状况

The dietary composition of fine wool sheep and plant diversity in Inner Mongolia steppe

WANG Shi-Ping (The Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, CAS, Beijing 100093, China)

Abstract: The experiment was conducted at Inner Mongolia steppe. The results showed that the dietary composition of sheep had significant change with grazing seasons from June to September. The proportion of grasses was the maximum in July and *Leymus chinensis*, and *Agropyron cristatum* were main ingested by sheep before July. Intake of *Artemisia frigida* was lower in July than in June and September. The sheep avoided to graze *Potentilla acaulis* and *Carex duriuscula*. The order of preferred plant species can be divided into 4 strategies: *Astragalus galactites*, *Cleistogenes squarrosa* and *Melissitus ruthenica* > *Leymus chinensis*, *Potentilla tanacetifolia* and *Allium bidentatum* > *Agropyron cristatum* and *Artemisia frigida* > *Carex duriuscula*, *Stipa krylovii* and *Potentilla acaulis*. Meanwhile, the dietary composition depended on relative biomass, height and frequency of different plant species. The diversity index in dietary composition was higher than in rangeland community and decreased with grazing season backward.

Key words: Inner Mongolia fine wool sheep; grazing season; dietary composition

文章编号: 1000-0933(2000)06-0951-07 中图分类号: Q948 文献标识码: A

放牧家畜一年四季日粮植物学成分及其变化是进行合理放牧管理的基本信息, 在资源管理上已日益成为一种相当重要的工具^[1], 这样一些信息可以提供有关放牧家畜营养摄入量的估测及不同放牧家畜潜

基金项目: 国家自然科学基金重大基金资助项目(39970538)、中国科学院重大资助项目(KZ951-A1-301)及特别支持资助项目(KT95T-04-03)

收稿日期: 1998-07-19; 修订日期: 2000-05-09

作者简介: 汪诗平, (1964~), 男, 安徽桐城人, 博士。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。

在的资源竞争状况。在内蒙古典型草原,由于植物群落及组成植物群落的植物种类丰富多彩,这些植物在长期的协同进化过程中,不同个体形成了各自不同的生长发育节律,在时间上形成物候期的相互交错,在空间上植物构件相互重叠,从而形成了草原系统的结构多样性。不同的植物结构产生了不同的营养等级,根据动物对食物利用的最优理论,动物是否取食某一种植物将取决于摄取该植物时营养和能量的收支比,而支出的代价很大程度上取决于植物的结构,植物结构随生长季节的变化而变化,从而影响了不同植物不同时期的取食难易程度^[2~6]。

在我国,很少有人对内蒙古细毛羊的食性和每种植物在日量中的比重的季节性变化进行研究,对放牧绵羊的食性与草地群落结构的相关性研究更少。本研究在观察放牧绵羊牧食行为的基础上^[7~10],进一步分析了内蒙古典型草原放牧绵羊日粮的植物学成分及其季节性变化,并探讨与草原群落结构间的关系,以揭示放牧绵羊的自然食性及食物替代规律,为典型草原草地畜牧业及草地生态系统的持续发展提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料 选择 1989 年围栏恢复 4 a 的中度退化样地,植物群落以冷蒿、星毛茛、萎陵菜为优势种,糙隐子草、羊草和冰草等小禾草的比例比 1989 年有较大幅度的上升,豆科牧草如扁蓿豆也有所增加。因此,绵羊的食物资源比较丰富。

利用 5 岁的内蒙古细毛羊(羯羊),于 6 月 5 日~10 月 5 日连续放牧于 1 hm² 的围栏样地中;并于 6 月中旬、7 月中旬和 9 月上旬连续 4~5 d,用全收集法收集羊粪,在 60℃ 条件下烘干,过 1 mm 筛粉碎;同期用 5 个 1 m² 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 1 mm 筛粉碎;用 4N HCl 不溶灰分法估测不同时期绵羊的采食量^[11]。同时,记录主要植物种的物候期。并用 100 m 样线进行两次交叉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^[12],并参考 Sanders 等^[13]和 Vavra 等^[14]的方法,进行载玻片的制作。主要过程为:将适量粉碎通过 1 mm 筛的粪样放入玻璃皿中,用热水浸泡混合 1~2 min,然后用 0.1% NaOH 漂洗 1 min 左右,再将样品倒入 200 目的分样筛中,用凉水冲洗,滤掉碎粉沫,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地分布在培养皿中,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 Holeček 等^[15]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 1 mm 筛,参照上述方法制作载玻片,并与康乐^[16]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^[16]比较,系统地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^[12],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 为物种的相对生物量。

2 结果与分析

2.1 不同季节牧草的可利用性和物候期分析

通过对 25 种植物群落学调查发现,一般出现 25 种植物左右。不同季节(6 月中旬、7 月中旬和 9 月上旬)主要牧草的地上生物量及其相对生物量、盖度及高度和 7 月中旬的频度见表 1。

表 1 中 11 种植物的地上生物量占整个群落生物量的 90%~98%,因而这 11 种植物构成了放牧绵羊的主要食物资源。不同植物的相对生物量可在一定程度上反映它们的可利用性,相对生物量高者,其可利用性相对较高,反之亦然。这样,在所有季节,冷蒿、星毛委陵菜的可利用性都是最高的;羊草、冰草、糙隐子草和扁蓿豆次之,但随生长季节的后移而有所增加;大针茅、寸草苔和双齿葱最低;菊叶委陵菜在 6 月份较高,但以后则明显地降低。这种季节性的变化是与不同植物的物候期和生长季雨热分配相关的(图 1 和 2)。

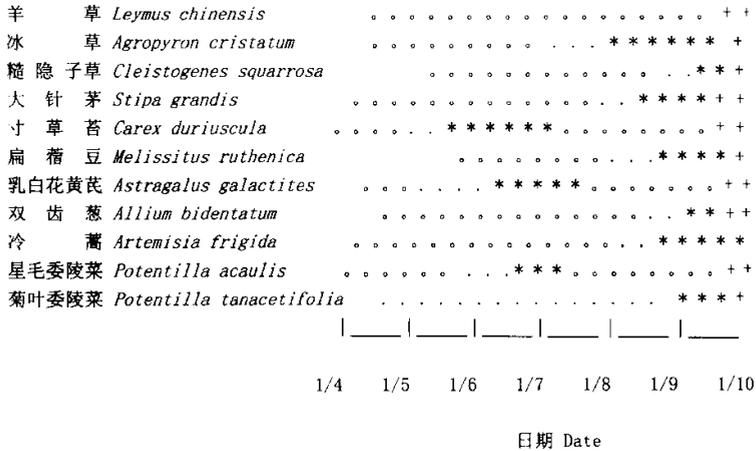


图 1 放牧样地主要植物的物候期

Fig. 1 The phenological development of 11 plant species

。。 营养期(vegetation);...开花期(flowering);* * * 结实期(seed);++++ 枯黄期(death)

表 1 不同时期(6、7 和 9 月份)草原牧草的群落学特征

Table 1 The characteristics of grassland communities at different seasons(June, July and Sept.)

植物名 Plant species	6 月中旬 Middle of June				7 月中旬 Middle of June				9 月上旬 Early of September				
	DM (g/m ²)	R (%)	C (%)	H (cm)	DM (g/m ²)	R (%)	C (%)	H (cm)	F (%)	DM (g/m ²)	R (%)	C (%)	H (cm)
羊草 ^①	3.50	8.43	3.25	3.33	10.54	12.84	3.70	21.50	52	15.94	13.67	9.25	16.75
冰草 ^②	1.34	3.23	1.13	6.20	1.92	2.34	1.50	10.25	42	2.15	1.84	3.00	8.00
糙隐子草 ^③	0.85	2.05	0.88	2.00	11.94	14.55	5.25	4.75	83	17.04	14.61	5.75	6.75
克氏针茅 ^④	0.24	0.58	0.55	11.33	0.91	1.11	0.60	18.00	18	2.49	2.14	0.50	15.67
寸草苔 ^⑤	0.61	1.47	0.25	7.50	1.18	1.44	0.50	9.75	24	3.58	3.07	1.63	7.33
扁蓿豆 ^⑥	1.70	4.09	0.75	3.25	1.85	2.25	2.50	5.00	40	5.49	4.71	1.88	8.00
乳白花黄芪 ^⑦	0.33	0.79	0.23	4.00	0.42	0.51	0.38	2.67	4	0.79	0.68	1.00	4.00
双齿葱 ^⑧	0.38	0.92	0.50	5.00	0.49	0.60	0.50	6.50	10	0.44	0.38	0.90	13.50
冷蒿 ^⑨	14.26	34.36	17.00	2.25	29.09	35.45	36.26	6.50	76	36.13	30.98	30.00	5.25
星毛委陵菜 ^⑩	13.74	33.08	17.00	2.25	21.68	26.42	15.50	2.25	66	26.01	22.31	21.25	3.25
菊叶委陵菜 ^⑪	3.89	9.37	1.13	3.00	1.25	1.52	0.13	3.00	19	3.42	2.93	0.50	6.00

①Leymus chinensis; ②Agropyron cristatum; ③Cleistogenes squarrosa; ④Stipa kyloovii; ⑤Cares duriuscula; ⑥Melissitus ruthenica; ⑦Astragalus galactites; ⑧Allium bidentatum; ⑨Artemisia frigida; ⑩Potentilla acaulis; ⑪Potentilla tanacetifolia. * DM: 干物质 Dry matter; R: 相对干物质 Relative dry matter; C: 冠层盖度 Canopy coverage; H: 叶层高度 Leaf height; F: 出现的频率 Frequency

2.2 不同季节放牧绵羊的自然食性食量

由于不同植物的物候期及在群落中的相对重要性的变化,以及放牧绵羊的选择性采食,使得放牧绵羊

的食性及每种植物在食量中的比例都发生着明显的季节性变化(表 2)。

从表 2 可以看出,放牧绵羊的食性可以划分为 3 个主要范畴:禾草、冷蒿、委陵菜属。7 月份,禾草的比例高达 45%;6 月份最低,仅为 31%左右,整个生长季平均为 36%以上。在禾草中,3 种主要植物羊草、冰草和糙隐子草表现为明显的季节性利用,羊草、冰草主要在 7 月份以前营养生长阶段利用较多,尤其是冰草在 7 月份以后,抽穗结实,采食率明显减少;与之相反,糙隐子草将取而代之,6 月份以后,其被采食的比例占禾草总比例的 50%以上。克氏针茅主要在 7 月份以前利用较高,以后很少采食,早熟禾则较均衡地被采食。冷蒿的利用状况也表现为季节变化,以 7 月份的最低,减少的份额部分被糙隐子草所补偿。菊叶委陵菜主要在 6 月份加以利用,而星毛委陵菜则主要在 8 月份以后利用率较高,此时禾草已开始抽穗结实和变黄。豆科牧草的采食利用相对较均匀,扁蓿豆以 6 月份的最高,以后有所下降,而乳白花黄芪与之相反,在果后营养期利用率增加。这也可以从各种植物不同季节的选择性或偏嗜性指数的大小看出类似的结果(表 3)。

选择性指数值越大,表明绵羊越喜食。总体而言,依据选择性指数平均值,主要牧草的喜食性顺序大致为 4 个等级:乳白花黄芪、糙隐子草、扁蓿豆>羊草、菊叶委陵菜和双齿葱>冰草和冷蒿>寸草苔、克氏针茅和星毛委陵菜,即很喜食、喜食、随意采食和厌食 4 类。

表 2 主要植物不同季节的选择性(或偏嗜性)指数

Table 2 The preference index of main plant species under different seasons

植物名 Plant species	6 月 June	7 月 July	9 月 Sept.	平均 Average
羊草 ^①	1.99	1.90	0.88	1.59±0.62
冰草 ^②	1.89	1.07	0.17	1.04±0.85
糙隐子草 ^③	2.86	3.24	1.26	2.45±1.05
克氏针茅 ^④	1.05	0.61	0.02	0.56±0.52
寸草苔 ^⑤	0.76	0.97	1.02	0.92±0.14
扁蓿豆 ^⑥	2.21	2.57	1.22	2.00±0.70
乳白花黄芪 ^⑦	3.20	5.14	1.76	3.37±1.70
菊叶委陵菜 ^⑧	1.09	2.46	1.06	1.54±0.80
星毛委陵菜 ^⑨	0.33	0.53	0.68	0.51±0.18
冷蒿 ^⑩	1.02	0.76	1.24	1.01±0.24
双齿葱 ^⑪	1.18	1.68	1.16	1.34±0.29

① *Leymus chinensis*; ② *Agropyron cristatum*; ③ *Cleistogenes squarrosa*; ④ *Stipa krylovii*; ⑤ *Carex duriuscula*; ⑥ *Melissitus ruthenica*; ⑦ *Astragalus galactites*; ⑧ *Potentilla tanacetifolia*; ⑨ *Potentilla agayilis*; ⑩ *Artemisia frigida*; ⑪ *Allium bidentatum*

万方数据

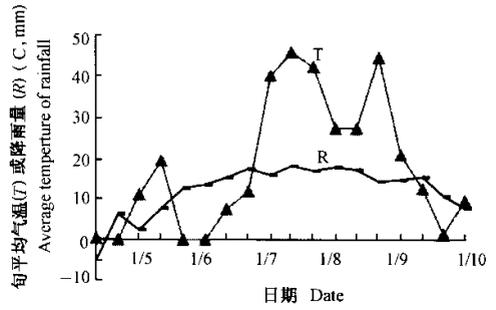


图 2 1993 年生长季雨水和气温分布动态

Fig. 2 The distribution of rainfall and average temperature during growth season of 1993

2.3 放牧绵羊的食性与草原群落结构间的关系

放牧绵羊的食物选择与草原群落结构密切相关(表 4)。从表 4 可以看出,不同季节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相关,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。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。

2.4 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,其食物种类组成及多样性都与所采食的草地结构间有很大的差异。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,不同季节放牧条件下,春夏季绵羊食物多样性指数较草地群落的高,而秋季相差不大(图 3);总体上绵羊食物多样性指数以秋季较低,正好与草地群落的相反。这是因为随着生长季节的向后推移,禾草在群落中的作用逐渐增大,而星毛委陵菜和菊叶委陵菜的比重逐渐减小(表 1),各种植物在群落中的格局较前期均匀,物种均匀度的增加使多样性指数有所提高,从而形成了较高的食物资源的多元化。而绵羊的选择性采食正好反应在与草地结构变化的不同步上。在春夏季节,绵羊喜食的禾草比例虽然不大,但由于禾草处于营养生长期,品质较好,同时由于放牧率较低,总体上禾草食物资源比较丰富,且各种牧草在食物中的比例较为均匀(表 2),故食物多样性在春夏季较草地群落的高;而在秋季,由于禾草大都结实或开始枯黄,禾草及其它牧草在食物中的比例较大幅度的下降,而星毛委陵菜和菊叶委陵菜的比例上升到 53%,由于食物的相对集中于几种植物,故食物多样性指数较低。

表 3 不同季节放牧绵羊每种植物的日采食量

Table 3 The intake of different plant species for grazing sheep under different seasons

植物名 Plant species	6 月中旬 Middle of June		7 月中旬 Middle of July		9 月上旬 Early of Sep.	
	占日粮比例	日食量	占日粮比例	日食量	占日粮比例	日食量
	percent of intake(%)	intake (g)	percent of intake(%)	intake (g)	percent of intake(%)	intake (g)
羊草 ^①	16.74±9.54	358.24	12.82±2.89	258.96	12.08±3.22	265.76
冰草 ^②	6.03±2.58	129.04	2.51±0.74	50.70	1.77±0.30	38.94
糙隐子草 ^③	5.87±2.13	125.62	27.43±5.01	554.09	18.34±3.52	403.48
克氏针茅 ^④	0.61±0.11	13.05	0.68±0.20	13.74	0.05±0.04	1.10
早熟禾 ^⑤	0.82±0.18	17.55	0.42±0.14	8.48	0.29±0.08	6.38
寸草苔 ^⑥	1.12±0.34	23.97	1.40±0.26	28.28	3.12±0.92	68.64
扁蓿豆 ^⑦	9.05±4.82	193.67	5.78±1.12	116.76	5.73±1.39	126.06
乳白花黄芪 ^⑧	2.53±0.37	54.14	2.62±0.64	52.92	1.20±0.24	26.40
双齿葱 ^⑨	1.09±0.19	23.33	1.01±0.23	20.40	0.44±0.52	9.68
冷蒿 ^⑩	34.88±6.15	746.43	27.09±7.16	547.32	38.31±5.86	842.82
星毛委陵菜 ^⑪	10.77±1.21	230.48	14.08±5.35	284.42	15.09±3.09	331.98
菊叶委陵菜 ^⑫	10.17±3.26	217.64	3.74±1.01	75.55	3.11±1.07	68.42
小叶锦鸡儿 ^⑬	0.32±0.27	6.85	0.42±0.31	8.48	0.47±0.11	10.34

① *Leymus chinensis*; ② *Agrophron cristatum*; ③ *Cleistogenes squarrosa*; ④ *Stipa krylovii*; ⑤ *Poa ochotensis*; ⑥ *Cares duriuscula*; ⑦ *Melissitus ruthenica*; ⑧ *Astragalus galactites*; ⑨ *Allium bidentatum*; ⑩ *Artemisia frigida*; ⑪ *Potentilla acaulis*; ⑫ *Potentilla tanacetifolia*; ⑬ *Caragana microphylla*

由此可见,在放牧率较低条件下,不同季节放牧绵羊食物替代较大,而放牧家畜的食物多样性指数

表 4 放牧绵羊日粮中不同植物的采食量与种群特征间的相关分析

Table 4 The correlation coefficients(r) between herbage intake of different plant species and community characteristics

种群特征 Population characteristics	放牧季节 Different grazing seasons		
	June	July	Sept.
相对生物量 ^①	0.78*	0.85**	0.95**
高度 ^②	0.63*	0.73*	0.90**
盖度 ^③	-0.01	-0.15	-0.31
频度 ^④	/	0.91**	/

① Relative biomass(%); ② Height(cm); ③ Coverage(%);

④ Frequency(次/0.05); ** ($P < 0.01$)

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。

3 讨论

在放牧管理中,一个重要的问题就是怎样获得高效持续的放牧利用而又不致于使草场植被发生不期望的变化^[17],因此,了解放牧家畜的食性变化及其影响因素是放牧研究的重要内容之一,可以根据放牧家畜的食性达到调控草场的目的,同时还可以判断草地的利用状况等。

影响放牧家畜食性的因素很多,包括牧草的适口性、物候期、形态学特征及气候、地形等因素^[17~23]。许多研究表明,牧草的化学成分与它们的适口性存在密切的关系,蛋白质含量与牛羊的选择性采食存在高度正相关,而与木质素和粗纤维含量呈负相关^[18];但也有人认为化学成分与食物选择性相关不大。尽管许多人都认为所有化学成分中以蛋白质含量高低与食物选择性的相关最好,但也有人认为牧草的总营养价值才是牧草适口性较好的指标^[18,24]。一般地,牧草的叶子、果实和种子中含有较丰富的蛋白质、粗脂肪和可溶性碳水化合物^[25],所以,放牧家畜宁愿选食牧草的这些部分而不愿采食茎秆^[26]。影响牧草营养价值的主要因素是物候期,随着牧草的成熟,粗蛋白含量下降,而粗纤维和木质素含量上升,这些变化实际上是由于牧草本身的叶茎及果实之间的比例发生变化之故^[27,28];同时,还与牧草的形态特征,如牧草表面是否有芒、刺、硬毛或绒毛及质地等有关。研究结果基本上与上述结论相类似,如几种禾本科牧草羊草、冰草和克氏针茅,明显地存在着季节性利用的差异,虽然没有进行季节性品质的分析,但一般地均是随着成熟度的增加其品质有下降甚至大幅度下降的趋势;糙隐子草被利用的变化幅度较小的原因,可能与其是丛生禾草,叶量较大,质地柔软有关,即使是生殖生长期也是如此。寸草苔返青时间早,且很快进入生殖生长期,在食物资源较丰富时,很少被利用;但在7、8月后的果后营养期,其利用程度有所增加,但总体上绵羊不喜食甚至厌食;星毛委陵菜与寸草苔相类似,同时,其叶面上还被有浓密的绒毛,且很低矮,故一直避食(选择性指数很小);而冷蒿在春秋季节利用程度大于夏季,可能与夏季的茎叶比较大有关,因为在春季和初夏时,冷蒿主要以叶子和嫩茎为主,秋季则果实的比例增大,而夏季茎秆快速生长,从而影响了绵羊的选择性采食;另外,也可能与食物资源丰富,其它较喜食的食物(如糙隐子草)替代了它的作用有关。还有冷蒿的气味也可能与选择性采食有关,尤其是夏季花期时气味更浓;许多研究者都认为牧草的气味与食物选择性有关^[19]。

4 结论

在食物资源比较丰富放牧率较低条件下,绵羊的食性表现为明显的季节性变化。6月份,由于禾草在群落中的相对生物量较小,故在食物中的比例相应较小,为31%;而在7月份,则上升到45%,部分替代了冷蒿在食物中的比例;同时,在禾草中,羊草、冰草主要在春季或初夏(7月份以前)被利用,随着物候期的后移其利用率有较大幅度的下降,逐渐被糙隐子草所替代。禾草和冷蒿是放牧绵羊的主要食物资源,但冷蒿在夏季利用率较低。放牧绵羊有较强的食性选择,主要牧草的选择性采食顺序大致为:乳白花黄芪、糙隐子草、扁蓿豆>羊草、菊叶委陵菜和双齿葱>冰草和冷蒿>寸草苔、克氏针茅和星毛委陵菜,即分为很喜食、喜食、随意采食和厌食4个等级。不同季节食物替代明显,主要与食物的相对生物量、高度和频度显著相关;食物多样性指数较草地植物多样性指数高,且随放牧季节的向后推移呈下降趋势。

参考文献

- [1] McInnis M L, Vagra M, Krueger W C. A comparison of four methods used to determine the diets of large herbivores. *J. Range Manage.* 1983, **36**: 302~306.
- [2] Osuji P O. The physiology of eating and the energy expenditure of the ruminant at pasture. *J. Range Manage.* 1974, **27**: 437~443.
- [3] Emlen J M. The role of time and energy in food preference. *The American Naturalist.* 1966, **96**(916): 611~617.
- [4] Marten G. A plant complex in forage palatability phenomena. *J. Ani. Sci.* 1978, **46**(5): 1470~1477.
- [5] Gemin D, Pi Joan A P. Seasonality of goat diet and plant acceptabilities in the coastal scrub of Baja California, Mex-

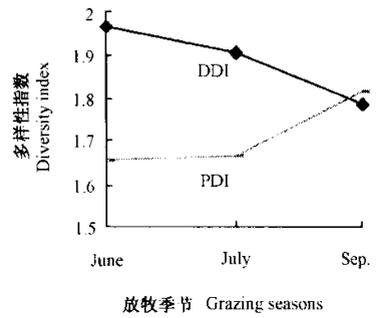


图3 不同放牧季节下绵羊食物多样性指数(DDI)与植物多样性指数(PDI)间的关系

Fig. 3 Relationship between dietary diversity index(DDI)and plant species diversity(PDI)index under different grazing seasons in 1993

- ico. *Small Ruminant Research*. 1993, **10**: 1~11.
- [6] Fedele V, Pizzillo M, Claps S, *et al.* Grazing behavior and diet selection of goats on native pasture in Southern Italy. *Small Ruminant Research*. 1993, **110**: 305~322.
- [7] 汪诗平. 放牧绵羊行为生态学研究: II. 不同放牧率对放牧绵羊牧食行为的影响. 草业学报, 1997, **6**(1): 7~14.
- [8] 汪诗平, 李永宏. 放牧绵羊行为生态学研究: III. 不同放牧季节对放牧绵羊牧食行为的影响. 草业学报, 1997a, **6**(2): 7~13.
- [9] 汪诗平, 李永宏. 放牧绵羊行为生态学研究: IV. 放牧绵羊牧食行为参数间的关系. 草业学报, 1997b, **6**(3): 8~14.
- [10] 汪诗平, 李永宏. 放牧绵羊行为生态学研究: V. 草地状况对放牧绵羊牧食行为的影响. 草业学报, 1997c, **6**(4): 31~38.
- [11] 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, 1997d, **9**(1): 47~54.
- [12] Sparks D R, Malechek J C. Estimating percentage dry weights in diets using a microscope technique. *J. Range Manage.* 1968, **21**: 264~265.
- [13] Sanders K D, Dahl B E, Scott G. Bite-count vs. fecal analysis for range animal diets. *J. Range Manage.* 1980, **32**: 146~149.
- [14] Vavra M, Holecek J L. Factors influencing micro-histological analysis of herbivore diets. *J. Range Manage.* 1980, **32**: 371~374.
- [15] Holecek J L. Sample preparation techniques for micro-histological analysis. *J. Range Manage.* 1982, **34**: 337~338.
- [16] 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.
- [17] Heady H F. Palatability of herbage and animal preference. *J. Range Manage.* 1964, **17**: 76~82.
- [18] Cook C W. The effect of site on the palatability and nutritive content of seeded wheatgrasses. *J. Range Manage.* 1959, **12**: 289~292.
- [19] Nagy J G, Hakonson T, Knox K L. Effects of quality on food intake in deer. *Ameri. Wildl. Nat. Res. Conf. Trans.* 1969, **34**: 146~154.
- [20] Hanley T A, Hanley K A. Food resource partitioning by sympatric ungulates on Great Basin rangeland. *J. range Manage.* 1982, **35**: 152~158.
- [21] O'Reagain P J, Mentis M T. Sequence and process of species selection by cattle in retaliation, to optimal foraging theory on an old land in the natal sour Sandveld. *J. Grassl. Soc. So. Afr.* 1989, **6**: 71~76.
- [22] O'Reagain P J, Turner J R. An evaluation of the empirical basis for grazing management recommendations for rangeland in Southern Africa. *J. Grassl. Soc. So. Afr.* , 1992, **9**: 38~49.
- [23] Owens M K, Launchbaugh K L, Holloway J W. Pasture characteristics affecting spatial distribution of utilization by cattle in mixed brow communities. *J. Range Manage.* 1991, **44**(2): 118~123.
- [24] J Cook C W, Stoddart L A, Harris L E. Comparative nutritive value and palatability of some introduced and native forage plants for spring and summer grazing. *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.* 1956, **385**: 39.
- [25] Cook C W, Harris L E. The nutritive content of the grazing sheep diet on summer and winter ranges in Utah. *Bull. Utah Agric. Sta.* 1950a, **342**: 66.
- [26] Heady H F, Torell D T. Forage preferences exhibited by sheep with esophageal fistulas. *J. Range Manage.* 1959, **12**: 28~34.
- [27] Cook C W, Harris L E. The nutritive content of the grazing sheep's diet on summer and winter ranges of Utah. *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.* 1950b, **344**: 45.
- [28] O'Reagain P J. Plant structure and the acceptability of different grasses to sheep. *J. Rage Manage.* 1993, **46**: 232~236.