

高寒草甸牧场最优放牧强度的研究*

IV. 植被变化度量与草场不退化最大放牧强度

周立 王启基 赵京

(中国科学院西北高原生物研究所)

周琪

(吉林市职工大学)

摘 要

于1988—1990年在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站进行5个放牧强度的藏羊轮牧试验。根据试验观测数据,分析不同放牧强度处理下高寒草甸牧场植物群落的变化,以及各类牧草对放牧强度的响应。建立植被变化度量指标,定量地探讨两季草场植被放牧价值和植物群落整体的变化。优良牧草相对生物量比例的年际变化与藏羊个体增重年际变化呈显著正相关。因此,在家畜生产力标准之下优良牧草比例年变化是评价牧场植被放牧价值变化的合适直接度量指标。而在任一固定放牧强度下,家畜个体生产力的变化是确定植被放牧价值变化的简单易行的间接度量指标。但相似系数的变化由于与家畜生产力没有明显的联系,不能反映牧场植被放牧价值的变化,只能表明植物群落整体的相对变化程度。

根据草场植被放牧价值的变化方向确定其不退化最大放牧强度和不退化牧草利用阈限,进而确定高寒草甸牧场两季轮牧草场的最优放牧强度配置。

关键词: 高寒草甸牧场; 家畜生产力标准; 植被变化指标; 不退化最大放牧强度; 最优放牧强度配置

放牧家畜引起牧场植被的变化。判断植被的变化趋势是“好”还是“坏”,取决于采用什么样的标准来度量。而度量标准的选取又紧紧地依赖于土地的使用目的,是自然保护还是开发利用。对于牧场植被在理论上历来存在两种各有侧重的度量标准,一种是植被演替尺度标准,另一种则是家畜生产力标准(Wilson等,1982)。在实践中,人们已经发现前一标准的不足。首先,由于受众多因素的影响,确定气候顶极植被是十分困难的;其次,

* 国家自然科学基金和中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站基金资助项目。

气候顶极或接近气候顶极植被对于一个牧场而言未必最好。人们经营牧场的目标并不是不放牧的气候顶极植被，而是一个富有生产力和恢复力的牧场。因此，即使在这种度量之下，最终还是要建立植被变化和家畜生产力之间的某种联系，以解释牧场各种植被状态的利、弊 (Dyksterhuis, 1949)。所以，近年来大多数人都接受以家畜生产力标准来衡量植被变化，甚至牧场总体条件的好、坏 (Wilson, 1986)。

植被变化和家畜生产力变化是牧场的两种不同属性。但植被变化是牧场变化的最直观迹象，也是导致其他属性如土壤侵蚀、家畜生产力变化的基本因素。直接考察植被的变化，可以用众多的定量指标加以度量 (Greig-Smith, 1983)，但这种度量的结果也许与家畜生产力变化没有明显的联系。因而难以用生产力标准进行评价。只有对家畜生产力有价值和有贡献的牧草增多才能改善家畜的生产性能。因此，在家畜生产力标准之下，若要直接度量牧场植被的变化，就应着重度量这些牧草的变化，即植被放牧价值的变化；也就是从描述植被变化指标转移到以家畜生产力评价植被变化的指标。这样的指标与家畜生产力之间总是存在着某种联系，从而既可以指示植被变化又可以指示家畜生产力状况。为了获得这样的指标，显然应将各种牧草按其家畜生产力的作用（适口性、营养价值等）进行分类，分为优良、中等和劣质三个牧草类群。优良牧草丰富度的变化就可能是所期望的指标。

植物种或类群的丰富度有许多度量指标，但每一种指标都强调不同的丰富度特征。例如频度和密度突出稀少和个体小的种的丰富度，而生物量和盖度则突出数量多和个体大的种的丰富度。因此，应该选择与度量目的相一致的丰富度量指标。经营牧场的目标是家畜生产力，具有生物量性质，因而也应选择生物量作为丰富度的度量指标。

本文根据1988—1990年于中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站的放牧试验数据，建立植被变化度量指标，探讨不同放牧强度处理下牧场植被的变化，以家畜生产力标准评价牧场植被的年际变化和确定指示指标。指明高寒草甸牧场不退化的最大负载能力。并结合藏羊最大生产力和最大经济效益及其相应放牧强度配置研究结果 (周立等, 1995a, 1995b, 1995c)，进而初步确定高寒草甸牧场的最优放牧强度配置。

研究 方 法

放牧试验在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站进行。海北站平均海拔3 250米，其自然地理概况、气候条件和初级生产特征已有报道 (夏武平, 1982; 周立, 1991; 周立等, 1995a)。

仿照当地牧场历来施行的两季 (冬春、夏秋) 草场轮牧制度、两季草场的植被类型和放牧时间区间进行藏羊放牧试验。夏秋草场 (金露梅灌丛 *Dasiphora fruticosa* Shrub) 和冬春草场 (矮嵩草草甸 *Kobresia humilis* Meadow) 各分为5个放牧强度 (记为A、B、C、D、E) 试验区，它们对应于各季草场60%、50%、45%、35%和30%的牧草利用率。试验设计列于表1，其详细说明见周立等 (1995a) 的研究报告。

于每月底用常规方法测定各放牧强度藏羊的体重、包括未放牧对照区在内的各类牧草的生物量、盖度等。在牧草生长期还测定各类牧草的频度、高度、密度等指标，以及土

壤状况。依照物候期测定藏羊的消化率和采食量。

表1 各试验区放牧强度
Table 1 Stocking intensities in the experimental areas

编 号 Lable	A	B	C	D	E
设计牧草利用率(%) Designed utilization of herbage(%)	60	50	45	35	30
放牧强度(只/公顷) Stocking intensity (sheep/ha)					
夏秋草场 Summer - Autumn grassland	5.35	4.47	4.30	3.24	2.55
放牧时间长度(月) Length of stocking time(month)	5	5	5	5	5
冬春草场 Winter - Spring grassland	5.24	4.38	3.51	2.65	2.14
放牧时间长度(月) Length of stocking time(month)	7	7	7	7	7
年放牧强度 Yearly stocking intensity	2.65	2.21	1.93	1.46	1.16

结 果

高寒草甸以适应高寒气候的耐寒中生灌木和多年生草本植物为主，在海北站地区组成植物群落的建群种和优势种较少，约20余种。通常将各种植物分成4个类群：金露梅灌丛、禾本科植物、莎草科植物和杂草（除禾本科、莎草科以外的草本植物）进行群落研究。前已述及，在家畜生产力标准之下，需要将各种植物按其放牧价值重新分类。在此，我们按藏羊的适口性将上述4个植物类群粗略地划分为优良、中等和劣质3个牧草类群。其标准如下：优良牧草类群由放牧期间藏羊经常吃的植物种组成；劣质牧草类群由那些从来不吃，或者当优良和中等牧草不足时只吃少量的植物种组成，其中包括有毒有刺等藏羊不可利用的植物种。中等牧草类群则介于上述二者之间，由那些偶然吃或幼嫩时吃、成熟后不吃，或优良牧草不足时吃，但喜食程度较低的植物种组成。根据野外试验观察，莎草科、禾本科植物和金露梅灌丛（叶子）属于优良牧草类群，而杂草中包含的各种植物基本属于中等或劣质牧草类群，因此，以全部莎草科、禾本科植物和金露梅灌丛（叶子）的生物量表示优良牧草的丰富度。

高寒草甸的许多草本植物矮小且丛生，只有在花期和果期方才容易直观辨认和分类，所以通常在6—8月进行植物种群和类群研究。6—8月是植物的生长旺盛阶段，9、10月已

进入衰老或冬眠期(周立等, 1991)。因而, 6—8月作为家畜潜在食物供给的各类绿色牧草现存量有大幅度的变化。此外, 高寒草甸各类植物的物候相位并不重合, 从而其地上生物量峰值出现时间也不尽相同(周立等, 1991)。为了表示该段时间藏羊的平均食物条件和便于不同放牧强度试验区相互比较, 我们将6—8月各植物类群和优良牧草的绿色生物量分别取平均值。6—8月正值夏秋草场放牧, 1988和1989两年夏秋草场各放牧强度各植物类群和优良牧草于6—8月平均绿色生物量测量数据列于表2。

表2 夏秋草场不同放牧强度试验区各种植物类群6—8月平均绿色生物量(克干重/米²)
Table 2 Average aboveground live biomass of plant groups in June - August for the areas of different stocking intensity in the Summer-Autumn grassland (g dry wt. /m²)

放牧强度 Stocking intensity	A		B		C		D		E		Control(对照)	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989	1988	1989	1988	1989	1988	1989
禾 草 Grasses(Gr)	73.33	50.64	67.20	93.12	64.00	40.59	81.33	99.01	90.67	147.39	102.67	148.00
莎 草 Sedges(Se)	29.33	35.04	18.67	43.07	25.33	50.29	20.00	44.59	48.00	18.83	24.80	56.93
杂 草 Ferbs(Fe)	89.33	84.88	90.67	104.88	133.33	126.56	122.67	80.88	93.33	58.93	114.67	59.97
灌 丛 Shrubs(Sh)	52.00	40.56	72.00	34.03	28.53	30.61	33.33	39.20	45.33	56.13	56.00	61.28
总 计 Total	244.00	211.12	248.53	275.09	251.20	248.05	257.33	263.68	277.33	281.28	298.13	326.19
优良牧草 Gr+Se+Sh	154.67	126.24	157.87	170.21	117.87	121.49	134.67	182.80	184.00	222.35	183.47	266.21
优良牧草比例 (Gr+Se+Sh)/ Total	0.63	0.60	0.64	0.62	0.47	0.49	0.52	0.69	0.66	0.79	0.62	0.82

1. 生物量变化

表2显示, 在每一个年度各放牧试验区的地上绿色生物量均低于未放牧的对照区, 而且随着放牧强度加重呈递减趋势。从年际变化来看, 对照区1989年的地上绿色生物量略高于1988年, 轻牧的D、E试验区地上绿色生物量1989年比1988年亦略有增加。中牧的C试验区只有微降。重度的A、B试验区分别略有下降和上升。考虑到采样误差, 粗略地可以认为每个放牧强度试验区和对照区的地上绿色生物量两年间分别基本维持不变。但从表2可以看出, 各区的各植物类群绿色生物量年际变化幅度较大, 亦即各区植被的生物量组成发生了较明显的变化。由于各区的地上绿色总生物量基本维持年际不变, 各区的各植物类群绿色生物量所占比例的年变化, 既可表示植被组成的年际变化, 也可作为其绝对生物

量年际变化的相对度量。

2. 植被组成变化

各试验区植物群落绿色生物量百分比组成列于表3。从放牧开始的1988年各区植被组成来看，由于本底差异各区植被组成的差异也较大，因此难以采用横向（各试验区）比

表3 夏秋草场不同放牧强度试验区植物群落6--8月平均绿色生物量的百分比组成（克干重/米²）

Table 3 Percent compositions of average aboveground live biomass of plant communities in June-August for the areas of different stocking intensity in the Summer-Autumn grassland(g dry wt./m²)

放牧强度 Stocking intensity	A		B		C		D		E		Control (对照)	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989	1988	1989	1988	1989	1988	1989
禾草 Grasses(Gr)	0.30	0.24	0.27	0.34	0.25	0.16	0.32	0.38	0.33	0.52	0.34	0.45
莎草 Sedges(Se)	0.12	0.17	0.08	0.16	0.10	0.20	0.08	0.17	0.17	0.07	0.08	0.17
杂草 Ferbs(Fe)	0.37	0.40	0.36	0.38	0.53	0.51	0.48	0.31	0.34	0.21	0.38	0.18
灌木 Shrubs(Sh)	0.21	0.19	0.29	0.12	0.11	0.12	0.13	0.15	0.16	0.20	0.19	0.19
优良牧草比例 Gr+Se+Sh	0.63	0.60	0.64	0.62	0.47	0.49	0.52	0.69	0.66	0.79	0.62	0.82
优良牧草比例年变化 Yearly change of Gr+Se+Sh	-0.03		-0.02		0.02		0.17		0.13		0.20	

较的方法来判断放牧强度对植被组成的影响。所以，下面我们转面在各区初始植被组成存在差异的基础上，通过各试验区植被组成的年际（纵向）变化来分析探讨放牧强度对植被组成的影响。表3中最明显的是极重（A）和重牧（B）试验区中喜食性差的杂草类群比例1989年比1988年增高，而喜食的金露梅灌木（叶子）比例则减小。中牧的C试验区中杂草比例略有下降，金露梅灌木比例略有上升。轻牧（D）和极轻（E）试验区中杂草比例显著下降，金露梅灌木比例有较大幅度的上升。对照区杂草比例下降最多，但金露梅灌木比例维持不变。植株高的禾草比例在轻牧和不放牧时呈上升趋势，而在中牧和重牧时呈下降趋势。植株矮小的莎草比例基本上与禾草反向年际变化。因为上层遮蔽阳光的禾草减少提高了群落的透光率，从而使得下层的莎草（还有杂草）截获的光通量增高，光合作用速率增高、干物质积累增多，反之亦然。显然，植株高大的金露梅灌木对莎草和杂草的影响类似于禾草。由于采样数量的限制，统计结果只能大体上反映放牧强度所引起的植被组成这种年际变化趋势。从各放牧强度试验区总的优良牧草（禾草+莎草+金露梅灌木叶子）比例的变化来看，重牧的A、B第2年比第1年减小，中牧的C略有增加，轻牧的D、E和对照区大幅度增加，亦即随着放牧强度加重优良牧草比例由增加转为下降。转折点在放牧强度C附近（参见图3），并且其年际变化的代数值（ y_1 ）（表3）随放牧强度（X，只/公顷）加重近似呈一下降直线。

$$y_1 = 0.233 - 0.047X \quad (r > r_{0.05})$$

$$(X \geq 0)$$

为了清晰起见,我们将高寒草甸夏秋草场的植被组成中,由放牧强度引起的各植物类群年际变化趋势概括如表4。

表4 夏秋草场各植物类群的年际变化趋势

Table 4 Trends of yearly changes for plant groups in the Summer - Autumn grazing grassland

植物类群 Plant group	从轻牧到重牧的响应 Response from lightly grazing to heavily grazing	放牧价值分类 Classification for animal production
禾草 Grasses(Gr)	增加→减少 Increase→Decrease	优良 Desirable
莎草 Sedges(Se)	减少→增加 Decrease→Increase	优良 Desirable
杂草 Ferbs(Fe)	减少→增加 Decrease→Increase	中等或劣质 Intermediate or undesirable
灌丛 Shrubs(Sh)	增加→减少 Increase→Decrease	优良 Desirable
优良牧草 Gr+Se+Sh	增加→减少 Increase→Decrease	优良 Desirable

3. 植物群落变化

丰富度变化和植被组成变化是植物群落变化的两个方面。包括两者在内的植物群落变化常常用相似性指数

$$S_m = \frac{2 \sum_i \min(U_i^{(m)}, V_i)}{\sum_i (U_i^{(m)} + V_i)} \quad (1)$$

$$m = A, B, C, D, E$$

来度量 (Greg-Smith, 1983)。将各放牧试验区植物群落与未放牧的对照区植物群落进行横向比较,计算每年各放牧区的相似性系数,以确定其相对对照区的变化程度。若以生物量表示丰富度,对于两区的每一个植物类群*i* (*i*=1, 2, 3, 4), 取其在 *m* (*m*=A, B, C, D, E) 强度放牧区的生物量 $U_i^{(m)}$ (克干重/米²) 与对照区生物量 V_i (克干重/米²) 的最小值; 对所有类群求和并除以两区植物群落总生物量的平均值, 从而获得相似性系数 S_m (*m*=A, B, C, D, E)。由 (1) 式不难看出, $U_i^{(m)}$ 与 V_i (*i*=1, 2, 3, 4) 的最小值和两区植物群落的丰富度 ($\sum_i U_i^{(m)}$, $\sum_i V_i$) 决定了相似性系数 S_m 的大小。显然, $0 \leq S_m \leq 1$ 。当 *m* 强度试验区的植物群落与对照区相同时, $S_m = 1$, 即没有变化。若 $S_m = 0$, 则表明该区植物群落与对照区相比, 在组成和丰富度两方面都完全改变了。因此, S_m 值下降表示群落相对变化增大, 而 S_m 值上升则表示群落相对变化减小。

植物群落除了受放牧强度影响之外,还受气候变化的影响。对照区植物群落的年际变化体现了年际气候变化的影响。因此,以对照区植物群落为基准的相似性系数的年际变化,消除了年际气候变化的影响,完全是放牧的结果。于是,相似性系数的年际变化可以说明放牧强度对植物群落年际变化的影响。

利用(1)式,根据表2所列各植物类群地上绿色生物量数据,计算两年的相似性系数列于表5。表5显示,1988年各区的相似性系数均较高且相差不多。经过一个夏秋季不同强度的放牧,从相似性系数的年际变化来看,除E外各放牧区均有不同程度的下降。其中以C、A区下降幅度最大。这表明1988年各放牧区植物群落都比较接近于对照区植物群落。而1989年除E外,各区植物群落都朝着偏离对照区植物群落的方向变化(变化增大)。其中以C、A区植物群落变化幅度最大。E区的相似性系数年变化为正值,因此,该区植物群落是朝着接近对照区植物群落的方向变化(变化减小)。由于相似性系数已去除了年际气候变化的扰动,可以认为各试验区植物群落的年际变化是不同强度放牧的结果。

表5 夏秋草场不同放牧强度试验区植物群落的相似性系数
Table 5 Similarity coefficients of plant communities for the areas of different stocking intensity in the Summer-Autumn grassland

放牧强度 Stocking intensity	A		B		C		D		E	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989	1988	1989	1988	1989
相似性系数 Coefficient of similarity	0.88	0.69	0.85	0.79	0.84	0.63	0.90	0.82	0.88	0.93
年变化 Yearly change	-0.19		-0.08		-0.21		-0.08		0.05	

讨 论

家畜的个体生产性能或生产力决定于每头家畜的可利用牧草数量和质量。在前者相同的情况下,牧草质量的高低是家畜个体增重多少的关键因素。牧草质量优劣的直接度量指标是优良牧草在植物组成中的比例。每头家畜的可利用牧草数量,在植被特征相似的区域内基本上决定于单位面积上的家畜数量(放牧强度),因此,放牧强度可以作为每头家畜可利用牧草数量的间接度量。

1. 优良牧草比例与藏羊个体生产力的关系

夏秋草场两年的优良牧草比例随放牧强度变化折线绘于图1。两折线交点的横坐标在中等放牧强度C(4.30只/公顷)附近,即中牧基本维持优良牧草比例年际不变。如果高于该强度(A、B),第2年的优良牧草比例下降。若低于该强度(D、E)则上升。而且偏离越远下降或上升幅度越大。若以藏羊体平均活增重来表示其个体生产力,1988、1989两年于夏秋草场上藏羊个体生产力随放牧强度变化折线绘于图2(周立等,1995a)。图2显示类似

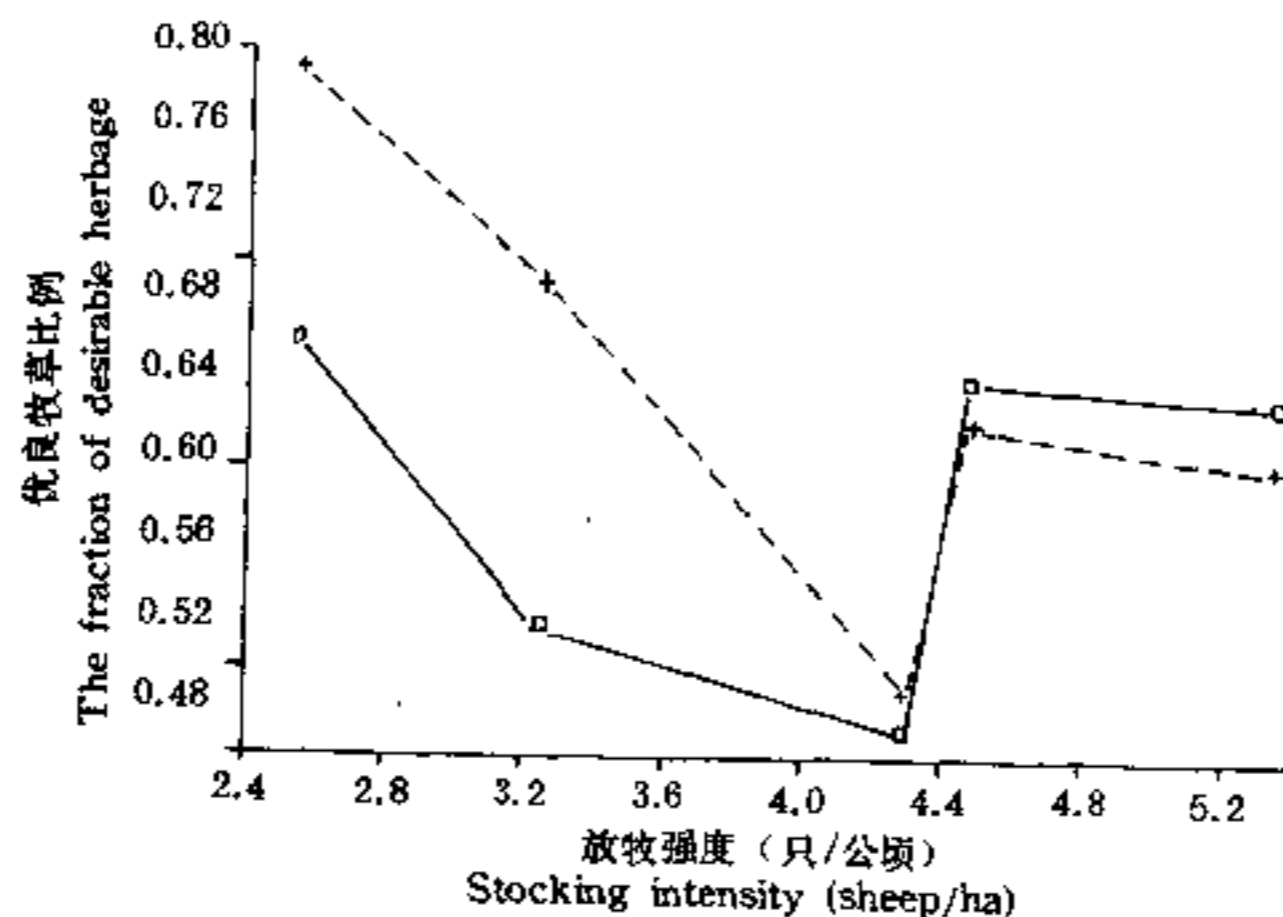


图1 优良牧草比例随放牧强度变化

Fig. 1 The change of the fraction of desirable herbage as stocking intensity increase

—□—1988 --+-- 1989

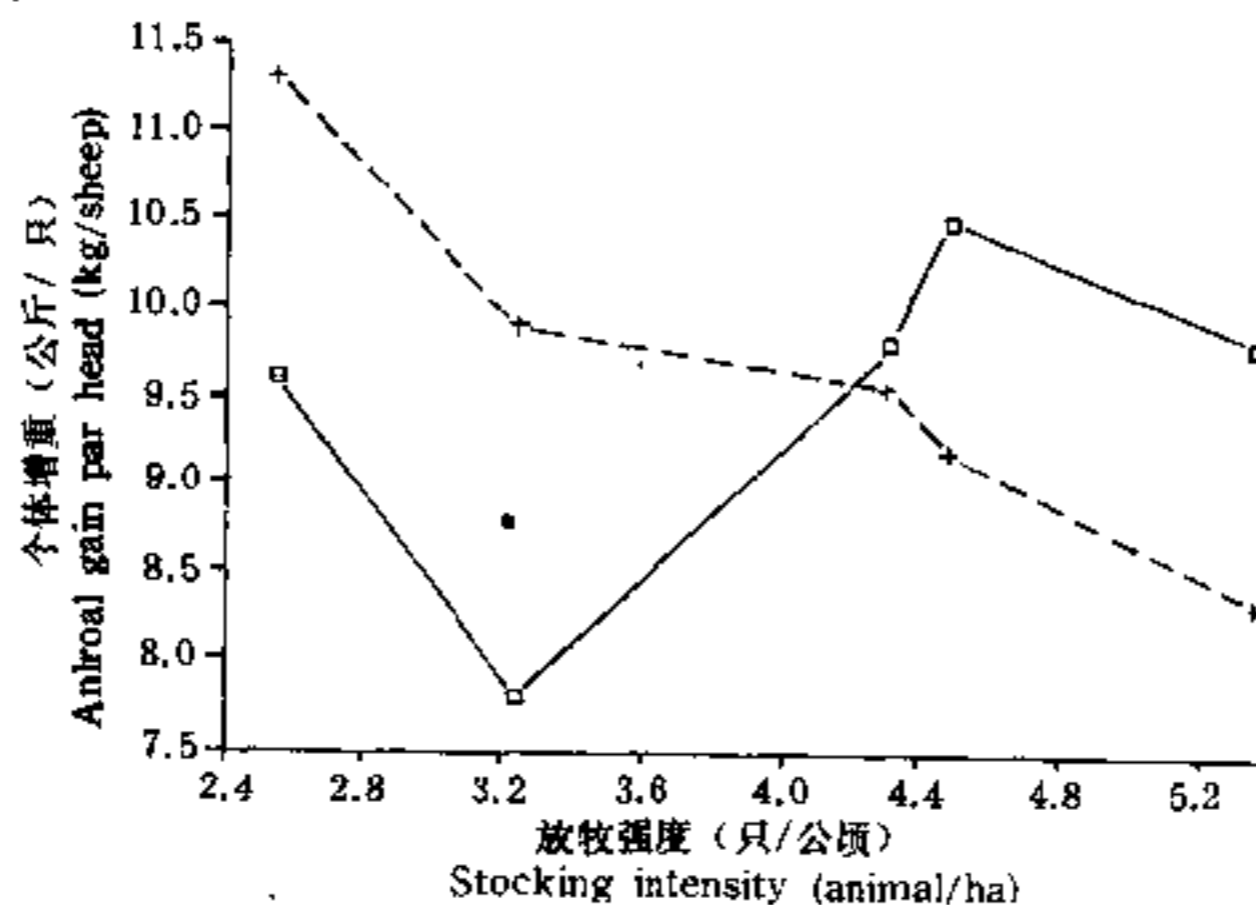


图2 夏秋草场藏羊个体增重

Fig. 2 Animal gain per head for Tibetan sheep in Summer - Autumn grassland in 1988-1989

—□—1988 --+-- 1989

图1的结果,两条增重折线交点的横坐标也在中等放牧强度C附近,即中牧基本维持藏羊个体增重年际不变。当放牧强度高于C时藏羊个体增重第2年下降,反之上升。而且偏离C强度越远升、降幅度越大。这一事实表明,优良牧草比例和藏羊个体增重同步随放牧强度逐年变化,凡是能够改善第2年牧草质量的放牧强度通常也能提高第2年的藏羊个体生产力,反之亦然。显然,藏羊个体增重年际变化和优良牧草比例年际变化之间存在着正相关关系。为了便于分析,将它们随放牧强度变化折线一并绘于图3,数值列于表6。两组年际

变化数据均与放牧强度 (X, 只/公顷) 呈显著负相关, 对于优良牧草比例年际变化 (y_1) 回归方程为

$$y_1 = 0.349 - 0.074x \quad (r > r_{0.05})$$

$$(x > 0) \quad (2)$$

对于藏羊在夏秋草场上个体增重年际变化 (y_2 , 公斤/只), 其回归方程为

$$y_2 = 5.603 - 1.345x \quad (r > r_{0.01})$$

$$(x > 0) \quad (3)$$

进而 y_2 与 y_1 显著正相关, 其回归方程为

$$y_2 = -0.680 + 17.156y_1 \quad (r > r_{0.01}) \quad (4)$$

表6 藏羊个体增重和优良牧草比例年际变化

Table 6 Yearly changes of fraction for desirable herbage and gain per head for Tibetan sheep in Summer - Autumn grassland in 1988-1989

编 号 Lable	A	B	C	D	E
放牧强度(只/公顷) Stocking intensity (Animal/ha)	5.35	4.47	4.30	3.24	2.55
牧草利用率(%) Utilization of herbage(%)	60	50	45	35	30
优良牧草比例年际变化 Yearly change of the fraction for desirable herbage	-0.03	-0.02	0.02	0.17	0.13
个体增重年际变化 (公斤活重/只) Yearly change of animal gain per head (Kg live wt./animal)	-1.45	-0.85	-0.26	2.08	1.71

实际上, 藏羊个体增重年变化 y_2 应该是牧草质量年变化 y_1 和牧草生物量 (或地上净生产力) 年变化 (y_3) 的函数。但由于1988、1989两年的各放牧强度试验区的牧草生物量基本相同 (表2), 因此 y_3 与 y_2 并不显著相关。 y_3 在 y_2 关于 y_1 、 y_3 的回归方程中对回归平方和的贡献微小 (其回归系数仅0.007), 从而 y_3 对 y_2 的影响极小, 可以忽略不计。于是, 只有牧草质量年变化 y_1 是夏秋草场藏羊个体增重年变化 y_2 的主要决定因素 (4) 式。这里附带指出, 对其他类型草场或长期放牧试验数据, 各试验区牧草生物量或地上净初级生产力可能随放牧强度不同而呈现较明显的不同程度年变化。 y_3 也许会成为影响 y_2 的主要因量之一。

从5个放牧强度试验区优良牧草比例和藏羊个体增重的年变化来看 (表6), 总的趋势是优良牧草比例增大, 个体增重也增加。但 C 强度的数据违反这一趋势。第2年优良牧草

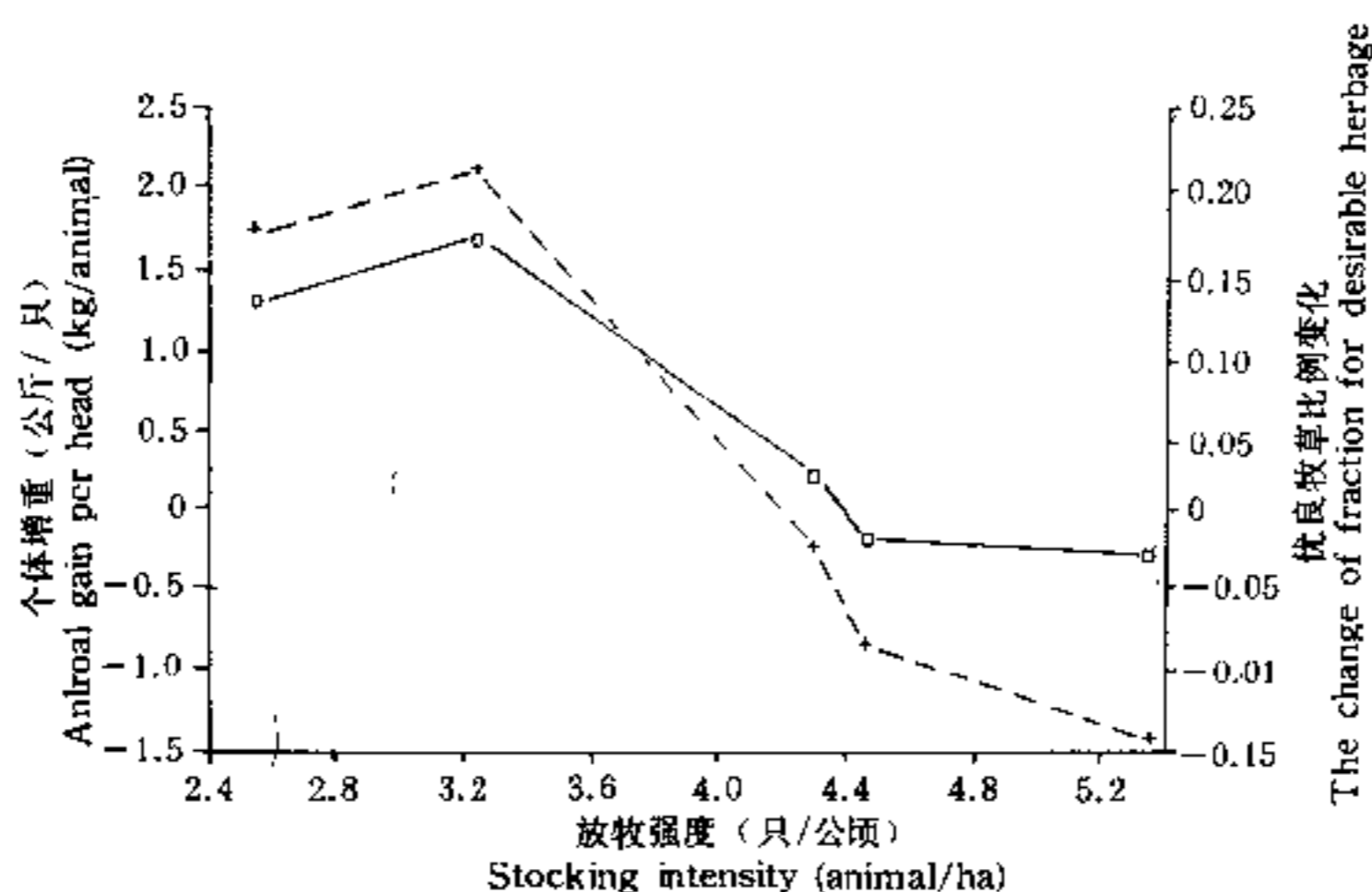


图3 优良牧草比例和藏羊个体增重随放牧强度年际变化

Fig. 3 Yearly changes of fraction for desirable herbage and animal gain per head for Tibetan sheep as stocking intensity in Summer - Autumn grassland in 1988-1989

—□— 优良牧草比例年际变化
Yearly change of fraction for desirable herbage
-- + -- 藏羊个体增重年际变化
Yearly change of animal gain per head for Tibetan Sheep

比例虽略有增加,可是个体增重却反而略有下降。1988、1989两年的每个放牧区的牧草生物量基本相同,从理论上讲,在固定的C放牧强度(两年的每头家畜可利用牧草量基本不变)之下,如果优良牧草比例增加(牧草质量提高),藏羊个体增重也应增加,反之亦然。即 y_2 与 y_1 的符号应相同。值得注意的是,C强度的优良牧草比例年变化和藏羊个体增重年变化尽管反号,但都比较微小(表6)。由于试验系统误差和测量误差的影响,很可能误差的幅度接近或超过实际数值,从而迭加后造成C强度的优良牧草比例变化和家畜个体增重变化数据符号相反。由此可见,在C强度上述2个数据的实际数值均应位于0附近,而且符号相同,只是由于误差的干扰测不准而已。根据以上分析,含有试验误差的回归方程(4)的精确形式应为 $y_2 = ky_1$ (k 为某一正常数),而方程

$$y_2 = 17.156y_1 \quad (4)'$$

是这种形式两者关系的一个最好近似。

2. 高寒草甸牧场植被不退化最大放牧强度

经营牧场的目的是获得尽可能多的家畜生产力。这里所说的家畜生产力是指单位面积草地上生产的畜产品。它的大小由放牧强度和家畜个体生产力共同决定(周立等, 1995a)。一个草场必定以某种强度放牧家畜。显然,在这个固定的强度下,家畜生产力和家畜个体生产力是同时升高或下降的。因此,家畜个体生产力的升、降亦可表示家畜生产力的升、降。对于一个草场面言,评价其植被变化的“好”或“坏”,显然应以该放牧强度下家畜生产力的提高或降低为标准。它等价于以该强度下家畜个体生产力的升、降作为标

准。倘若植被的变化使得家畜个体生产力提高,那么就说明植被改善或向“好”的方向变化。反之称为植被变劣、退化或向“坏”的方向变化。

草场植被的状态可以直接用牧草的数量和质量表示。它们基本上决定了任一放牧强度下的家畜生产力或个体生产力 (Jones 等, 1974; 周立等, 1995a)。反之, 在任一放牧强度下的家畜个体生产力也能反映植被状态, 两者相互对应, 进而家畜个体生产力的年际变化与草场植被状态的年际变化也相互对应, 所以两者可以相互表示。家畜个体生产力逐年提高 (降低), 表明植被状态逐年改善 (变劣), 反之亦然。在本文中, 由于每一放牧强度试验区1988和1989两年的牧草生物量 (数量) 基本相同, 因此, 植被状态的变化就是牧草质量的变化, 从而各区牧草质量 (优良牧草比例) 年变化决定了各放牧强度家畜个体生产力的年变化。反之, 各放牧强度家畜个体生产力的年变化间接地表示了牧草质量的年变化。两者之间的正相关定量关系如式 (4)'。于是, 优良牧草比例增大, 表明草场植被改善或向“好”的方向变化, 反之表明植被变劣、退化或向“坏”的方向变化。这样, 只须直接度量优良牧草在植被组成中比例的年变化, 即可确定植被状态的年变化。而家畜个体生产力的年变化恰是草场植被状态年变化的合适间接度量指标。优良牧草比例是植被属性指标, 而藏羊个体生产力是家畜生产力属性指标。两个不同属性指标反映牧场条件的两个侧面, 两者通过 (4) 或 (4)' 联系起来。因此, 每个指标都兼具两种属性。一个指标即可表示牧场条件的两个属性。总之, 我们可以用任一而定放牧强度下家畜个体生产力的升、降来间接地确定植被的改善或变劣。

对于夏秋季放牧的高寒灌丛草场, 在 C 强度附近优良牧草比例和藏羊个体增重基本维持年际不变。若其放牧强度超过 C, 则下一年度优良牧草比例将减小 (草场退化)。与之相对应, 藏羊个体生产力亦降低。因此, 可以认为 C 强度 (4.30只/公顷) 大约是季节性放牧的金露梅灌丛草场不退化的最大放牧强度。或者说45%左右的牧草利用率是其不退化的利用牧草阈限。此外, 从图3可以看出, 当放牧强度超过 C 以后, 优良牧草比例年变化和藏羊个体增重年变化下降速度缓慢。说明该种植被优良牧草的耐牧能力和恢复能力较强, 在重牧之下稳定性好, 但也容易给人造成适宜重牧的错觉。在强度 C 到 D 之间, 上述2指标变化幅度大、速度快, 是植被以及随之个体增重对放牧强度敏感区间。对于轻于 D 的极轻放牧强度, 该2指标变化较小, 表明极轻放牧强度对植被以及家畜个体生产力的变化影响甚小。

高寒草甸施行两季草场轮牧制。夏秋草场藏羊体重累计增长, 而在冬春草场呈波动下降。我们将1988—1989、1989—1990两个年度于冬春草场的藏羊个体增重折线绘于图4 (周立等, 1995a)。以各个放牧强度藏羊个体增重的年际变化间接地确定冬春草场植被在放牧价值上的变化。图4显示, 在高放牧强度一侧两折线交点的横坐标位于强度 B、A 之间的4.75只/公顷, 这表明在该强度之下藏羊个体增重的年变化为 0 (在放牧价值上草场植被不变)。重于该强度时个体增重逐年减小 (植被退化)。轻于该强度时逐年增加 (植被改善)。这间接地说明冬春草场不退化的最大放牧强度位于4.75只/公顷附近, 或54%左右的牧草利用率是其不退化的利用牧草阈限。顺便指出, 两折线在低放牧强度一侧相交可能是由于试验羊只健康水平差异所引起的试验误差造成的。

夏秋和冬春草场这些临界值的差异, 主要是由于它们的牧草利用期和植被类型不同

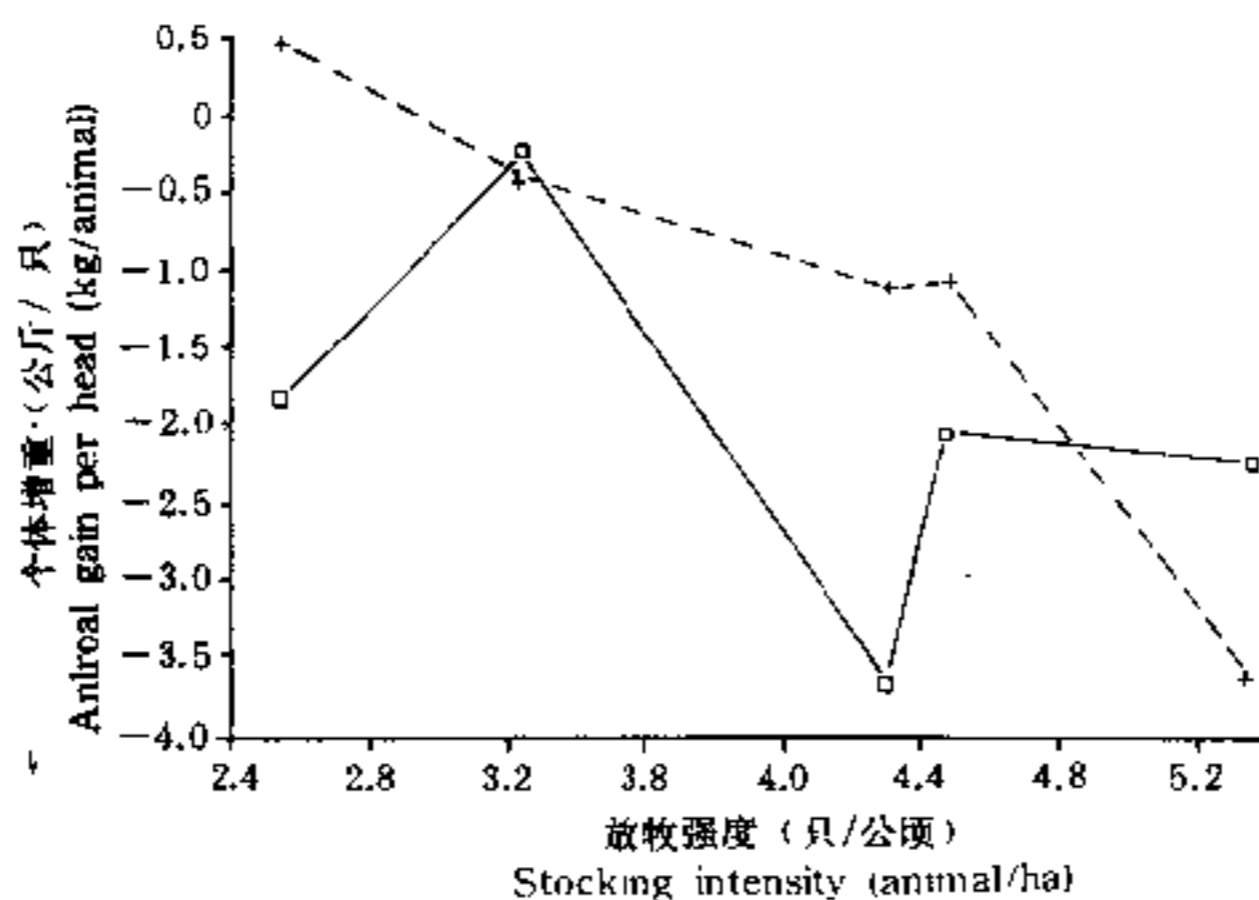


图4 冬春草场藏羊个体增重

Fig. 4 Animal gain per head for Tibetan sheep in Winter - Spring grassland in 1988—1990

—□—1988—1989 -- +-- 1989—1990

引起的。两季草场均以多年生牧草为主。但组成两者的植物种及其丰富度不同。夏秋草场的利用期恰值牧草生长期，过多地采食优良牧草将抑制其生长发育和营养贮存，并且这种影响会延续到下一年。冬春草场的利用期位于枯草期和返青期。在枯草期即使较高强度的利用牧草也不会对第2年牧草长势产生很大影响。但于返青期如果过多地采食嫩芽和嫩叶，将对当年乃至下一年的牧草数量和质量产生较大影响。

3. 植物群落变化的度量指标

若着眼于植物群落放牧价值的变化，优良牧草的绝对和（或）相对数量（为优良牧草相对生物量比例）的年变化，是度量植物群落年际变化的直接指标（植被放牧价值变化指标）。由于它们与家畜个体生产力年变化有正相关关系，后者亦可作为间接度量植物群落年变化的指标（生产力变化指标）。如果抛开放牧价值来度量植物群落的变化，以对照区为基准的相似系数的年变化是度量群落整体年变化的一个定量指标。相似性系数把各个种或类群及其丰富度放在同等地位。考察放牧区植物群落与对照区植物群落的相似程度，因而它的变化可以指示任何植物种（或类群）及其丰富度的相对变化。为了便于比较，将夏秋草场上述各评价植物群落年际变化的指标一并列于表7。

表7显示，对于极轻牧的E试验区三个指标均为正值。表明该区植被的放牧价值和家畜生产力逐年改善。其植物群落与对照区植物群落的差异逐年减小。在轻牧的D试验区，优良牧草比例和藏羊个体增重的年变化均为正值。但相似性系数的年变化为负值。这说明轻牧也能改善牧场植被的放牧价值和家畜生产力，但植物群落整体与对照区的差异增大。重度的A、B放牧强度与极轻牧相反，三个指标均为负值。说明这些试验区的植被放牧价值和家畜生产力逐年降低，并且它们随着放牧强度如重而变化幅度增大，植物群落也朝着远离对照区的方向变化。在中牧的C区，优良牧草比例和家畜生产力基本维持年际不

变,但相似性系数变为负值,意味着该区植物群落朝着与对照区相似性减小的方向变化。以上事实说明,如果单独探讨植物群落整体的相对变化,相似性系数变化是一个比较全面的度量指标。但相似性系数变化与优良牧草比例变化指标不同,它与家畜个体生产力变化没有明显的联系,因而不能反映牧场植被放牧价值的变化。假若评价牧场植被放牧价值的变化,优良牧草(相对生物量)比例变化是合适的直接度量指标之一。而家畜个体生产力变化能全面地反映植被放牧价值的变化,是简单易行的间接度量指标。

表7 夏秋草场各植物群落年际变化的度量指标

Table. 7 Indices measuring yearly changes of plant communities in the Summer-Autumn grazing grassland

放牧强度(只/公顷) Stocking intensity (animal/ha)	植被变化指标 Indices of vegetation change		家畜生产力变化指标 Index of animal production change
	相似性系数变化 The change of similarity coefficient	优良牧草比例变化 The change of fraction for desirable herbage	家畜个体增重变化(公斤/只) The change of animal gain per head (Kg/animal)
A(5.35)	-0.19	-0.03	-1.45
B(4.40)	-0.08	-0.02	-0.85
C(4.30)	-0.21	0.02	-0.26
D(3.24)	-0.08	0.17	2.08
E(2.55)	0.05	0.13	1.71

4. 高寒草甸牧场最优放牧强度配置

一个牧场能持续地获得最大家畜生产力或利润的放牧强度(放牧强度配置),称为其在相应目标下的最优放牧强度(最优放牧强度配置)。每个草场都有一个最大家畜生产力放牧强度(周立等,1995a)。但当这个放牧强度超出草场的恢复能力范围时,如果为了追求最大家畜生产力而在该强度下放牧,将引起草场的退化,牧场的最大生产力将逐年递减。此时的最大生产力放牧强度不能持续最大生产力,因而不是最优放牧强度。反之,若最大生产力放牧强度不超出草场的恢复能力范围,在该强度下放牧家畜将持续最大家畜生产力。由于草场植被放牧价值的改善,甚至还可能提高最大家畜生产力。因而该强度是在最大化家畜生产力目标下的最优放牧强度。牧场的最大利润放牧强度尽管低于最大生产力放牧强度(周立等,1995a),也存在类似的问题。草场恢复能力范围的上限恰是不退化最大放牧强度,显然该范围的起点是0。

对于实行两季草场轮牧的高寒草甸牧场,无论以年度最大家畜生产力为目标,还是以年度最大利润为目标,都存在两季草场放牧强度最佳匹配问题(周立等,1995b)。若以年度最大藏羊生产力为目标,则两季草场最佳放牧强度配置为4.11只/公顷(夏秋草场)和3.80只/公顷(冬春草场)。如果以年度最大利润为目标,则最佳配置为3.53只/公顷

(夏秋草场)和3.26只/公顷(冬春草场)(周立等,1995c)。如果这些放牧强度分别不超过各季草场的不退化最大放牧强度,那么上述最佳配置就是在相应目标下的牧场最优放牧强度配置。否则不是最优配置。前已述及,在两季草场轮牧制度(表1)之下,夏秋草场的不退化最大放牧强度为4.30只/公顷左右,冬春草场为4.75只/公顷左右。显然,上述最优配置中各季草场的放牧强度均不超过其不退化最大强度,因而这两个最佳配置分别是高寒草甸牧场以年度最大藏羊生产力和以年度最大利润为目标的藏羊最优放牧强度配置。

众所周知,气候的波动、草场植被的演替过程等因素影响着草场的负载能力、恢复能力和家畜生产力,进而最优放牧强度或最优放牧强度配置亦会有所波动。对于一个牧场经营管理者而言,不可能每年去试验和变更放牧强度(配置)。他所期望的是一个长期、平均的最优放牧强度(配置),用以确定畜牧业生产实践放牧强度(配置)。在较差的年份,这个平均最优放牧强度(配置)稍高于该年的实际最优放牧强度(配置),在较好的年份反之,就长期效应而言它是最优的。要确定这样的是最优放牧强度(配置),就需要进行长时间的放牧强度试验。此外,植被的变化是一个演替过程,以多年生植物为主的高寒草甸也许需要几个世代才能显示各种放牧强度的长期放牧效应。土壤的侵蚀更是一个缓慢累计过程,而土壤稳定性是牧场长期稳定的最根本标志。也需要多年的试验观察才能判断土壤侵蚀变化以及土壤的退化或改善程度。因此,本研究提供的最优放牧强度(配置)是初步的,仍需多年的放牧试验来检验和修正。

参 考 文 献

- 周立,1991,高寒草甸生态系统非生命亚系统模拟模型及应用程序:方案1.0.高寒草甸生态系统研究的若干数学模拟模型:1—44.科学出版社。
- 周立、王启基,1991,高寒草甸生态系统初级生产者亚系统模拟模型及应用程序:方案1.0.高寒草甸生态系统研究的若干数学模拟模型:45—111.科学出版社。
- 周立、王启基、赵京、周琪1995a 高寒草甸牧场最优放牧强度的研究 I. 藏羊最大生产力放牧强度.高寒草甸生态系统第4集.科学出版社。
- 周立、王启基、赵京、周琪1995b 高寒草甸牧场最优放牧强度的研究 II. 轮牧草场放牧强度的最佳配置.高寒草甸生态系统第4集.科学出版社。
- 周立、王启基、赵京、周琪1995c 高寒草甸牧场最优放牧强度的研究 III. 最大利润放牧强度.高寒草甸生态系统第4集.科学出版社。
- 夏武平主编,1982,高寒草甸生态系统,甘肃人民出版社。
- Dyksterhuis, E. J., 1949, Condition and management of rangeland based on quantitative ecology. *J. Range Manage.* 2: 104—115.
- Greig-Smith, P., 1983, *Quantitative plant ecology*. Blackwell, Oxford.
- Jones, R. J., Sandland, R. L., 1974, The relation between animal and stocking rate. Derivation of the relation from the result of grazing trials. *J. Agric. Sci.* 83: 335—342.
- Wilson, A. D., 1986, Principles of grazing management system. In R. J. Joss, P. W. Lynch and O. B. Williams (eds.), *Rangeland: A resource under siege*. Cambridge Univ. New York.
- Wilson, A. D., Tupper, G. J., 1982, Concepts and factors of range condition applicable to measurement of range condition. *J. Range Manage.* 35: 684—689.

STUDIES ON OPTIMUM STOCKING INTENSITY IN PASTURELANDS OF ALPINE MEADOW

IV. THE MEASURING OF VEGETATION CHANGE AND THE MAXIMUM STOCKING INTENSITIES OF NO DEGENERATION IN GRASSLANDS

Zhou Li Wang Qiji Zhao Jing

(Northwest Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences)

Zhou Qi

(Labour Worker University of Jielin City)

Abstract

According to usual practice of rotation grazing in Qinghai-Tibetan plateau, the trial area was divided into the Summer-Autumn and Winter-Spring grazing grasslands. lengths of grazing time in the Summer-Autumn and Winter-Spring lands were 5 months (June-October) and 7 months (November-May) in a year, respectively. Each grazing grassland was subdivided into five paddocks that stocked with Tibetan wether so that 30%, 35%, 45%, 50%, 60% of herbage yield in a year would be theoretically consumed in grazing duration, corresponding stocking intensities were listed in Table 1. The trial was conducted at Haibei Ecosystem Station, Academia Sinica from 1988 to 1990.

Study result indicates that live biomass in each paddock does not yearly change in the whole, however, the yearly change (y_1) of relative biomass fraction for desirable herbage in plant community is obvious, and is significantly correlated with stocking intensity (x , sheep/ha):

$$y_1 = 0.349 - 0.074x \quad (r > r_{0.05})$$

and the yearly change (y_2 , kg/sheep) of animal gain per head for Tibetan sheep is significantly correlated with the yearly change of the fraction:

$$y_2 = -0.680 + 17.156y_1 \quad (r > r_{0.01})$$

When grassland is assessed for its grazing value, the yearly change of the fraction for desirable herbage is an appropriate direct index of measuring vegetation change, and the yearly change of Tibetan productivity per head under a fixed stocking intensity may also used as an index of vegetation change because change in animal productivity per head is significantly correlated with change in the fraction for desirable herbage. Whereas, the change of similarity coefficient is an index measuring the change of whole plant community, it has not obvious correlation with change in animal productivity.

限 表

表 1

The range production of domestic livestock is the purpose of range manager. The purpose of measuring vegetation change is based on a concern for the long-term productivity and stability of rangelands. Therefore, the change of animal productivity or grazing value for grasslands is stated as a standard of assessing vegetation change. Stocking intensity so that the animal productivity or grazing value of grassland maintains stability is called as the maximum stocking intensity of no degeneration. For pastures of alpine meadow in Qinghai-Tibetan, they are about 4.30 and 4.75 sheep/ha for the Summer-Autumn and Winter-Spring grassland, respectively. According to them and this studies I, II, the optimum combinations between stocking intensities for different objective are determined. The optimum combination of stocking intensities under the objective of maximizing animal production or gross income is 4.11 and 3.80 Tibetan sheep/ha in Summer-Autumn and Winter-Spring grassland, respectively; the optimum combination of stocking intensities under the objective of maximizing profit is 3.53 and 3.26 sheep/ha in Summer-Autumn and Winter-Spring grassland, respectively.

Key words. Pasture of alpine meadow; The standard of livestock production; Indices of vegetation change; The maximum stocking intensity of no degeneration; The optimum combination between stocking intensities

12010

440221