

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

周立 王启基 赵京 周琪

(中国科学院西北高原生物研究所) (吉林市职工大学)

摘 要

依据1988—1990年放牧强度试验数据,构造个体、单位面积草地藏羊生产力关于放牧强度的简单数学模型,确定每公顷草地藏羊最大生产力放牧强度。探讨了限制各季草场最大负载能力的因素,以及在各种放牧强度之下牧场和藏羊生产力的时、空稳定性。

关键词: 高寒草甸牧场; 放牧强度; 最大藏羊生产力; 最大负载能力

放牧强度是影响家畜生产力、草场恢复力和稳定性的重要因素,也是放牧管理的中心环节,有必要在理论上和实践上进行深入探讨。

本文依据1988—1990年在高寒草甸牧场的放牧强度试验数据,建立藏羊生产力关于放牧强度的简单数学模型,确定每公顷草地藏羊生产力达到最大的放牧强度和最大负载能力。讨论了各种放牧强度下藏羊生产力和牧场的时、空稳定性,为畜牧业生产中放牧强度的管理提供依据,为最终确定最优放牧强度进行理论准备。

研 究 方 法

放牧强度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3250米,植被类型是高寒草甸。其自然地理概况和气候条件已有报道(夏武平,1982;周立,1989)。

为了提供有实践意义的结果。仿照高寒牧场历来放行的两季草场轮牧制度和两季草场的植被类型,将试验样地也分成夏秋(暖季)、冬春(冷季)轮牧草场,其植被类型分别为金露梅(*Dasiphora fruticosa*)灌丛和矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸,与实际放牧

* 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。

草场的植被类型相一致。接着牧民们于每季草场上的放牧时间区间进行放牧：夏季草场5个月（6月1日至10月31日）、冬春草场7个月（11月1日至翌年5月31日）。试验羊只皆为羯藏羊。

冬春和夏秋试验草场的总面积分别为8.22和8.05公顷，各分为5个放牧强度试验区。估算各季草场的平均年度地上净初级生产力和一般成年藏羊于各季草场上的牧草消费量，确定各试验区的牧草利用率，进而根据上述估算确定其放牧强度。两季草场各5个试验区（依次记为A, B, C, D, E）的设计牧草利用率分别为60%，50%，45%，35%和30%，相应的放牧强度列于表1。各放牧强度试验区用网围栏封闭，于其中再用网围栏分隔成若干等面积的轮牧小区（夏秋草场4个，冬春草场3个），每个轮牧小区连续放牧7天。由于大部分试验区沿用原有的围栏场地，载入整数羊只后并不恰好符合设计的牧草利用率，略有偏差。

表1 各试验区放牧强度

Talbe 1 Stocking intensities in each experimental area

项 目 Item	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
年度放牧强度 Yearly stocking intensity	2.65	2.21	1.93	1.46	1.16

于每月底用常规方法测定各放牧强度原羊的体重、各类牧草的生物量（干重）、覆盖度等；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。

不同放牧强度藏羊个体体重增长

于1988年6月1日将体重没有明显差异 ($P \geq 0.05$) 的1.5岁羯羊按设计强度放入夏秋草场各试验区，至当年11月1日将其分别转移到对应放牧强度的冬春草场各试验区，再于翌年6月1日转回夏秋草场，周而复始。到1990年5月31日为止，经过2年的试验，两季草场

及年度各放牧强度藏羊个体平均体重增长列于表2。试验的第1年(1988年6月1日—1989年5月31日),无论是夏秋、冬春草场,还是年度增长,放牧强度对藏羊个体增重并未显示出明显影响(表2)。这主要是由于各试验区的本底差异引起的。例如,A、B两强度夏秋草场试验区的优良牧草比例明显高于C、D试验区,因而家畜对牧草的选择性并没有随放牧强度成比例降低。但于第2个年度(1989年6月1日—1990年5月31日),不同放牧强度的藏羊个体增重明显地随放牧强度减轻而增加,表明放牧强度已成为影响个体增重的关键因素。

表2 不同放牧强度藏羊个体平均体重增长(公斤/只)

Table 2 Average weight gain per head in different stocking intensity for Tibetan sheep(kg/sheep)

放牧强度 Stocking intensity	A	B	C	D	E
夏秋草场 Summer-Autumn grassland					
1988	9.80	10.05	9.80	7.80	9.61
1989	8.35	9.20	9.54	9.38	11.32
冬春草场 Winter-Spring grassland					
	-2.25	-2.05	-3.65	-0.25	-1.82
	-3.62	-1.05	-1.10	-0.38	-0.48
年度增重 Yearly gain					
	7.55	8.00	6.15	7.55	7.79
	4.73	8.15	8.44	9.50	11.80

高寒草甸牧场主要由多年生植物组成。家畜对牧草(尤其是喜食品种)不同强度的啃食,引起叶面积程度不同地减少,冠层物理结构和透光率也发生了变化;不同数量的家畜排泄物改变了土壤营养状况;因而光合速率也发生不同程度变化,亦即不同程度地改变了植物当年的生长状况,特别是那些喜食的品种。加之家畜对花、果实的采食,在不同程度上干扰了牧草的生殖过程。显然,这直接影响到秋季牧草根系营养贮存的恢复以及繁殖植株的数量。多年生植物早春嫩芽生长所需营养主要来自根系存贮,因此,不同放牧强度不仅程度不同地影响了当年牧草生长、物质积累和生殖过程,还程度不同地影响了第2年牧草的萌发和生长,尤其是返青期。换句话说,经过1年(一个植物生长周期)不同强度的放牧之后,各放牧强度的影响已渗入牧草之中。其后数年(尤其第2年)牧草均能程度不同地显示这种影响,我们称之为放牧的“滞后效应”。滞后效应使得各试验区携带了放牧强度差异。若第2年各试验区继续按原有强度放牧,不同放牧强度的影响将会加深,甚至可能成为相互作用的家畜—牧草系统中最重要外界因素。因此,我们以第2年度的试验数据,作为探讨放牧强度关于藏羊生产力效应的依据。

个体增重简单模型

Jones 和 Sandland (1974) 考察了从热带到温带、33个不同植被类型牧场的大量放牧

强度试验数据（包括他们自己的试验在内），发现家畜的个体增重 Y （公斤/只）与放牧强度 X （只/公顷）之间存在一种线性关系（ $b > 0$ ）。

$$Y = a - bX \quad (1)$$

尽管对极轻和极重的放牧强度下直线或曲线的形状存在一些争议（Jones, 1981），但对其间很大的放牧强度范围内存在着线性关系，则是人们普遍接受的（Wilson, 1986）。

从高寒草甸牧场第2年度5个强度的试验数据来看（表2），无论是夏秋、冬春草场，还是年度，藏羊个体增重均与放牧强度呈显著的负相关。各季草场的线性回归方程（1）以及显著性检验列于表3。F 检验结果： $F > F_{0.01}$ 或 $F_{0.05}$ 表明，高寒草甸牧场藏羊个体增重与放牧强度之间确实存在着如表3回归方程所示的线性关系，放牧强度是引起个体增重变化的主要原因。

表3 各季草场个体增重关于放牧强度的线性回归方程和显著性检验

Table 3 Linear regression equations of weight gain per head on stocking intensity and tests of significance for seasonal and yearly experiments in 1989-1990

牧 场 Pasture	回归方程 Regression equation	r	F	显著水平 Significance level
夏秋草场 Summer-Autumn grassland	$Y = 13.46 - 0.9549X$	-0.9615	36.77	0.01
冬春草场 Winter-Spring grassland	$Y = 2.873 - 1.118X$	-0.9200	16.53	0.05
年度增重 Yearly gain	$Y = 16.35 - 4.158X$	-0.9604	35.66	0.01

表3中两季草场回归方程的 Y 轴截距 (a) 和斜率 (b) 均不相同。一般说来，截距 a 表示牧场的营养水平。 a 越大营养水平越高，低放牧强度 F 家畜个体增重越大；而斜率 b 表示牧场关于放牧强度的空间稳定性（在家畜不同强度的啃食下，牧场维持潜在生产力和植被组成不变的能力）和恢复力（改变后恢复到原来状态的能力）。 b 值越小个体增重减少越慢，直线 Y 就趋向水平。草场的空间稳定性越好，恢复力越强。比较两季草场的回归方程（表3），夏秋草场的营养水平（ $a = 13.46$ ）远高于冬春草场（ $a = 2.873$ ）；夏秋草场的空间稳定性和恢复能力（ $b = 0.9549$ ）也高于冬春草场（ $b = 1.118$ ）。事实上，夏秋草场放牧期间正处于牧草生长阶段，牧草营养丰富，并且生长率通常大于利用率，牧草不断得到补充；而冬春草场放牧期间恰值枯草期，牧草质量大幅度下降，除返青期萌发的低矮鲜草外，被采食的牧草得不到任何补充。

但是，这种解释只适于放牧时间长度相差不多的季节性草场之间的比较或者年度草场之间的比较，以家畜的个体增重变化（家畜生产力指标）间接地相对度量草场的质量（截距 a ）以及草场的稳定性和恢复能力（斜率 b ）。年度回归方程显然不宜与季节性轮牧草场的回归方程相比较。因为年度藏羊个体增重恰是两季轮牧草场上藏羊个体增重之和，从而年度回归方程在 Y 轴上的截距 a 基本上等于两季轮牧草场回归方程在 Y 轴上截距之

和(表3)。换言之,如果年度回归方程与季节轮牧草场的回归方程相比较的话,对于截距 a 而言,只会得出年度草场(包括两季轮牧草场)的营养水平高于各季草场的错误解释。对于斜率 b 也存在类似的问题。

回归直线 Y 与 X 轴的交点($X_c=a/b$)表示家畜个体增重为0的放牧强度。即在该强度之下,草场只能支撑家畜的维持代谢。若高于该强度,家畜体重则呈负增长,称其为草场的最大负载能力。显然,最大负载能力标志着草场容纳家畜数量的能力。

单位面积藏羊生产力

当放牧强度为 X ,亦即每公顷草地有 X 只羊时,由方程(1),每公顷草地的藏羊总增重 Y_T (公斤/公顷)为

$$Y_T = ax - bx^2 \quad (2)$$

对于每公顷草地,若以藏羊的活增重来度量其藏羊生产力,则方程(2)表示每公顷草地藏羊生产力与放牧强度之间的定量关系。因为 $b>0$, Y_T 有极大值。 Y_T 达到极大值的放牧强度为

$$X^* = \frac{a}{2b} \quad (3)$$

X^* 恰好是草场最大负载能力 X_c 的一半。相应的 Y_T 最大值为

$$Y_{Tmax} = \frac{a^2}{4b} = \left(\frac{a}{b}\right) \cdot \frac{a}{4} = X_c \cdot \frac{a}{4} \quad (4)$$

表明每公顷草地的最大藏羊生产力仅由草场的最大负载能力和营养水平决定。显然,这二者一旦已知,草场的空间稳定性和恢复力也就比较清楚了。可见营养水平和最大负载能力是评价草场的重要指标。

利用(3)、(4)式,由表3所列各回归方程容易得到各季草场及年度的最大藏羊生产力放牧强度(表4)。在夏秋草场生长期放牧5个月、冬春草场枯草期放牧7个月、各放牧强度两季草场牧草利用率基本相同的控制条件下,夏秋、冬春草场和年度最大藏羊生产力的放牧强度分别为7.05、0.78和1.97只/公顷。作为示例,年度单位面积藏羊生产力和个体增重与放牧强度之间的关系绘于图1。对于夏秋、冬春草场,其图形类似。图1显示,每公顷草地年度最大藏羊生产力(16.07公斤/公顷)在放牧强度为1.97只/公顷时达到,非常接近强度 C (1.93只/公顷)(表1)。以下把两者视为相同。此时年度个体增重为8.44公斤/只,两季草场的牧草利用率均在45%左右。

这里顺便指出一点,在极轻放牧强度下,由于优良牧草的数量远大于藏羊的采食需求,其选择性、采食量以及个体增重几乎不变,因此,图1中个体增重直线在左边靠近 Y 轴的部分很可能是接近水平的线段;对于接近最大负载能力的极重放牧强度,可能已超出了草场的弹性调节范围,草场出现退化现象,导致负载能力下降,因而,右边靠近 Y_T 轴的直线部分可能是下降更快的线段。显然,对于这些极端放牧强度,每公顷生产力抛物线也会有相应的变化。虽然放牧试验中没有包括这样的放牧强度,但从直观上可以看出,这不会影响最大生产力放牧强度的确定。

表4 各季草场及年度最大藏羊生产力放牧强度

Table 4 The stocking intensity (X^*) to maximize the production of Tibetan sheep per hectare for seasonal grassland and yearly

草场 Pasture	放牧强度 Stocking intensity X^*		最大生产力 Maximum production Y_{Tmax}		最大负载能力 Maximum carrying capacity X_c	
	只/公顷 sheep/ha	亩/只 mu/sheep	公斤/公顷 kg/ha	公斤/亩 kg/mu	只/公顷 sheep/ha	亩/只 mu/sheep
	夏秋草场 Summer-Autumn grassland	7.05	2.13	47.43	3.16	14.10
冬春草场 Winter-Spring grassland	0.78	19.23	1.85	0.12	1.56	9.62
年度 Yearly	1.97	7.61	16.07	1.07	3.93	3.81

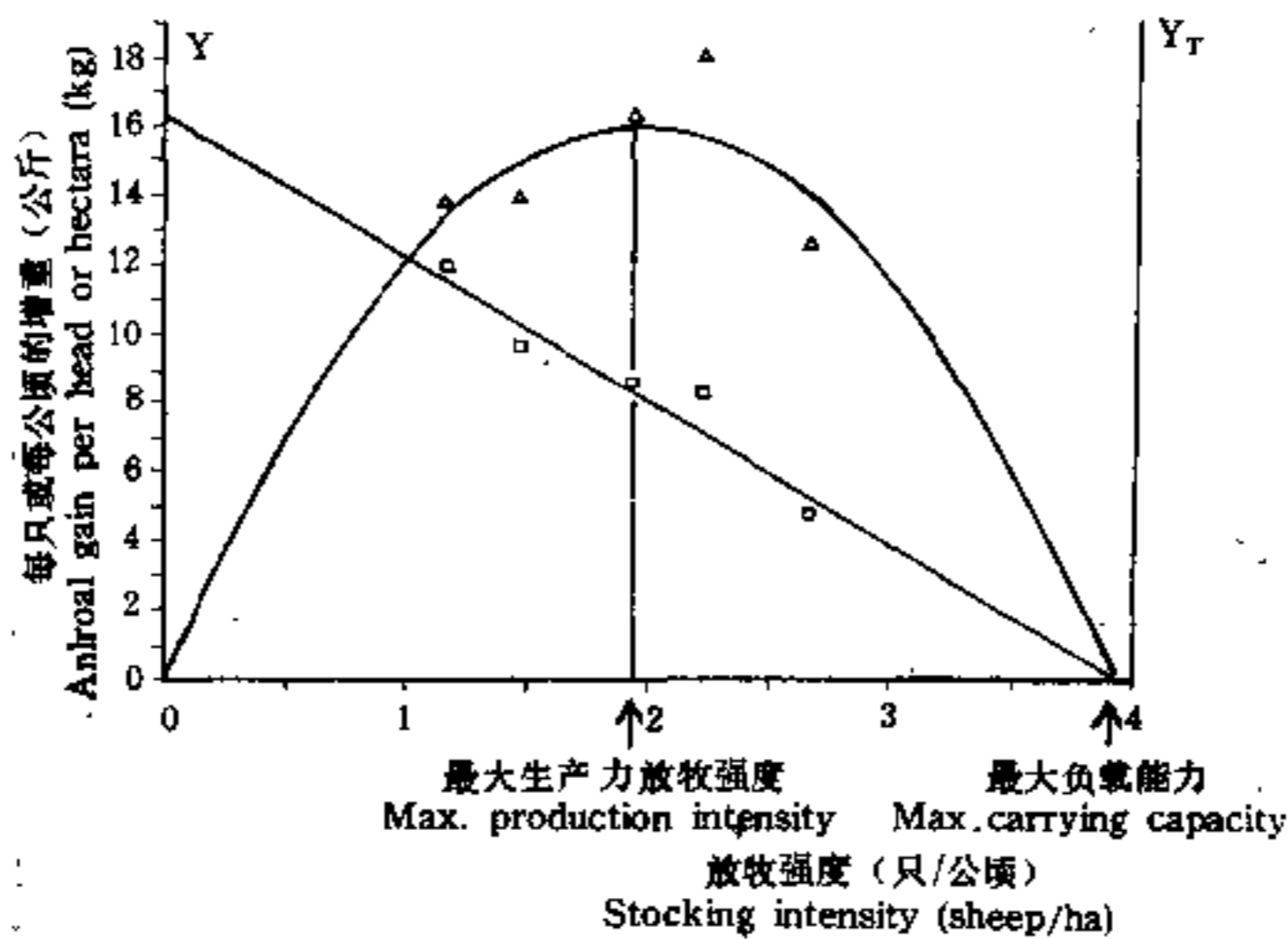


图1 年度藏羊增重与放牧强度的关系

Fig. 1 The relationship of yearly animal gain on stocking intensity per head or hectare for Tibetan sheep

Y_1 个体增重 Animal gain per head Y_T 每公顷草地藏羊增重 Animal gain per hectare
 □: 个体增重试验数据 Data for animal gain per head Δ : 每公顷草地增重试验数据 Data for Animal gain per hectare

讨 论

家畜最大生产力放牧强度恰好是草场的最大负载能力的一半，因此，只须讨论二者之一。草场的最大负载能力依赖于放牧期间草场的营养水平(喜食品种的比例及其营养物

质的含量、牧草的现存量和生产能力,包括啃食后的再生能力)及其调控能力。同一草场不同的利用时间其负载能力也是不同的。例如,两季草场牧草的年度净生产力相差不大,但夏秋草场放牧期恰值牧草生长旺盛期,家畜的啃食与牧草的生长同步进行,牧草不断地得到补充,并且牧草营养物质含量高,高生产能力和高营养水平决定它的高负载能力。冬春草场放牧期间时值枯草期,只在返青时节牧草有很低的生产能力;牧草质量低劣,现存量不断减少,因而其负载能力远低于夏秋草场(表4)。若在夏秋季节利用冬春草场,冬春草场的负载能力与夏秋草场相似。

受气候、地理条件的限制,在长期的牧业生产实践中形成了高寒草甸两季牧场轮牧制和轮牧时间分配,若没有大量的投入,是很难改变的。因此可以说,两季草场悬殊的最大负载能力(9:1)是高寒草甸牧场固有特征之一。由于高寒草甸牧场的家畜每年只出栏一次,所以,在两次出栏之间的年度内是一个连续生产过程,两季草场家畜数量相对稳定。悬殊的最大负载能力导致冬春季节家畜生产力通常为负值,因而年度家畜生产力只能维持于较低水平。

放牧系统是一个人为扰动的生态系统,扰动的强度(放牧强度)将影响到整个系统的状态和变化趋势。草地畜牧业的目标是持续最大家畜生产力。显然,最大生产力放牧强度并不一定是持续最大生产力放牧强度(最优放牧强度)。要持续家畜最大生产力,就要求放牧强度不但值生产力达到最大,而且能维持草地及家畜生产力的年际相对稳定,甚至向好的方向发展。因此,有必要从时间尺度上考察最大生产力放牧强度能否维持草地放牧系统的稳定,以判别其是否有“持续”效应。尽管系统中每一个状态变量的变化趋势原则上都可以作为稳定性的度量,但对放牧系统而言,牧草的质和量、家畜生产力的变化才是系统变化的最直接综合度量,也是评价系统稳定性最重要的指标。当然,对于评估长期稳定性,可能还需考察土壤的变化。虽然本文只探讨家畜生产力,但家畜生产力的变化在很大程度上也代表了草场的变化。以下只就家畜生产力探讨系统的时间稳定性,至于以牧草以及其与家畜相互关系更全面地考察稳定性,将另文探讨。

1988—1989、1989—1990两个年度各季草场以及年度个体增重折线分别绘于图2—4(试验数据见表1、2)。从图2可以看出,1988年夏秋草场C、B、A放牧强度的藏羊个体增重均高于较轻的D、E强度。但于第2年,与之相比前3者的个体增重下降了,并且随着放牧强度的增加下降幅度越来越大,而后2者反之。两条折线的交点,即两年个体增重不变的放牧强度稍稍低于C。这种年际变化表明,较轻的D、E强度促使草场向好的方向发展,随之家畜个体增重增加。反之,较重的B、A强度使草场变劣,家畜个体增重降低。在稍低于C的放牧强度下草场基本稳定,个体增重不变。这一事实说明A、B放牧强度偏重。为了维持草场以及家畜生产力的稳定,夏秋草场的放牧强度不应超过C。显然,最大家畜生产力放牧强度(7.05只/公顷)过重。冬春草场的情况类似(图3),只是两折线于高放牧强度一侧交点的横坐标位于A、B两强度之间。表明除A外,各放牧强度均能不同程度地改善草场和家畜生产力。放牧强度对冬春草场的影响以4月下旬和5月(草返青期)最为显著,家畜“抢青”、采食处于生长发育初期的嫩芽和嫩叶,对当年乃至下一年牧草的质量和数量均产生较大影响。在两季草场各放牧强度同等牧草利用率条件下,两年的年度个体增重折线交点的横坐标于B强度(图4),说明在B强度(50%牧草利用率)之下的年

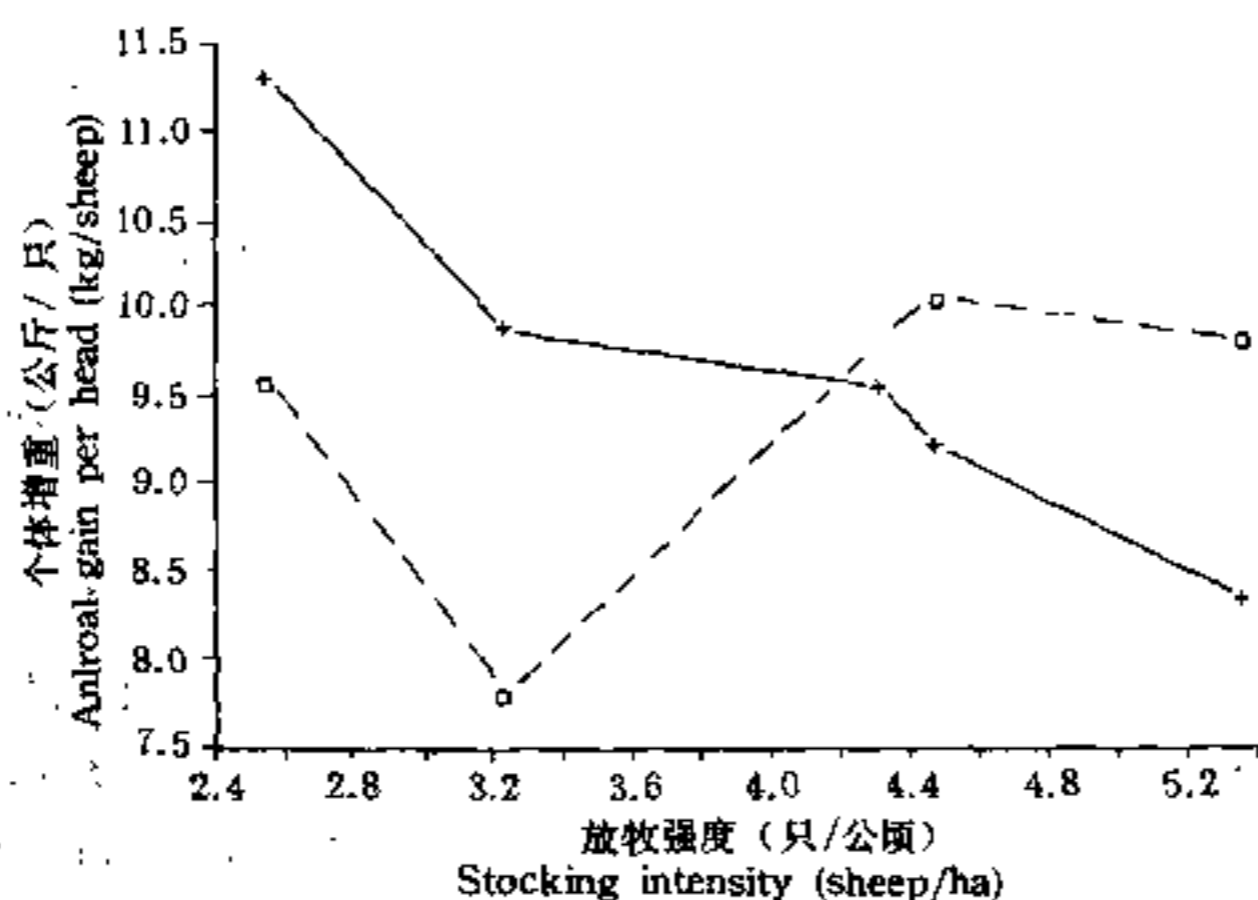


图2 夏秋草场藏羊个体增重

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

□: 1988; +, 1989

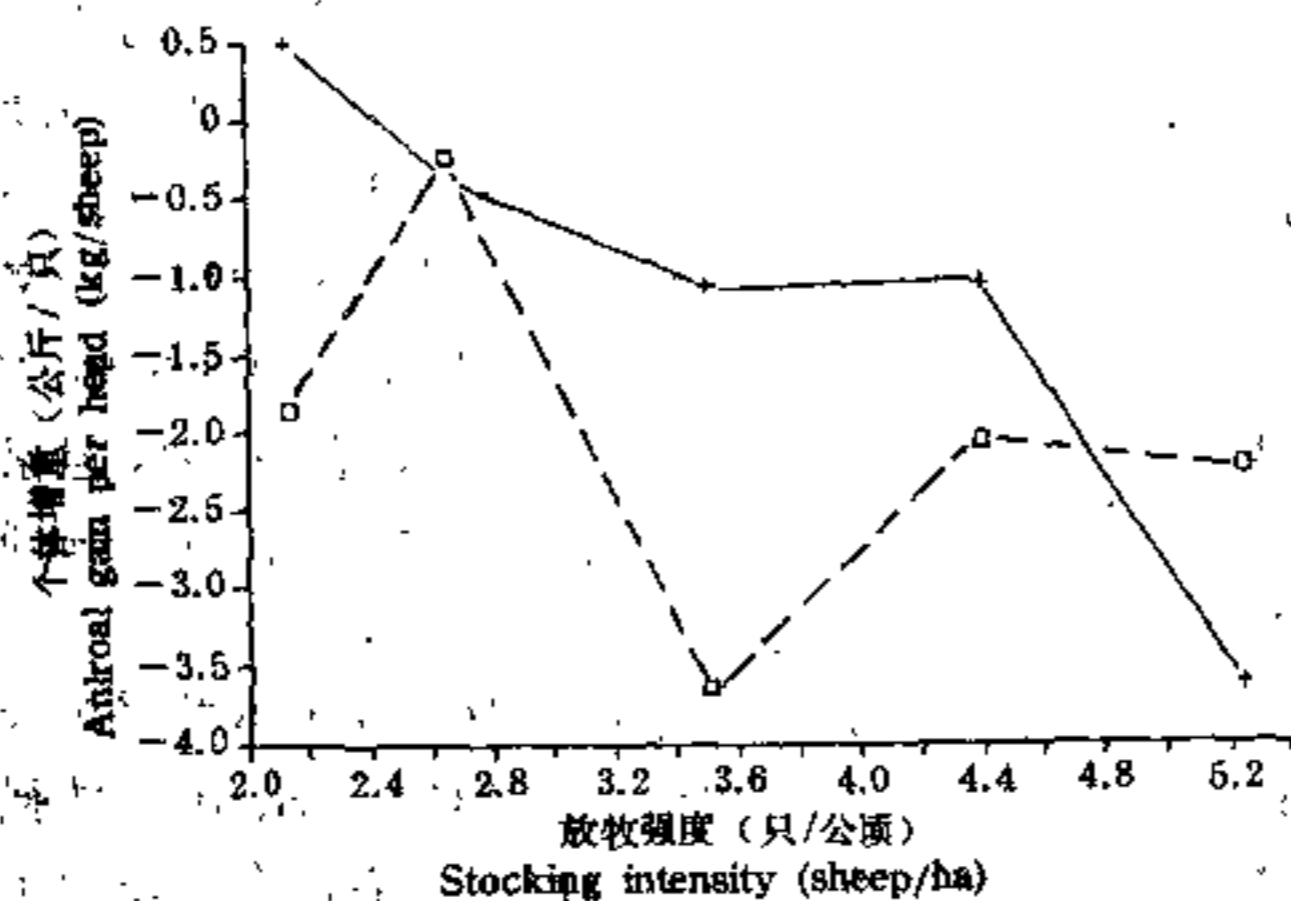


图3 冬春草场藏羊个体增重

Fig. 3 Animal gain per head for Tibetan sheep in Winter-Spring grassland in 1988-1990

□: 1988-1989; +, 1989-1990

际间家畜个体增重相同。但夏秋草场变差，家畜个体增重减小，冬春草场反之，两季草场年度平均基本不变。而低于B强度者随着放牧强度的减轻年度个体增重增加，平均两季草场状况增幅改善，只有A强度引起两者变劣。前已述及，每公顷草地年度藏羊最大生产力的放牧强度是C（45%牧草利用率），而C强度轻于B强度，在该放牧强度之下两季草场状况及家畜生产力不但不会劣于前一年，冬春草场还会有一定的改善。因此，从两年的试验数据来看年度家畜生产力，放牧强度C能持续最大生产力。

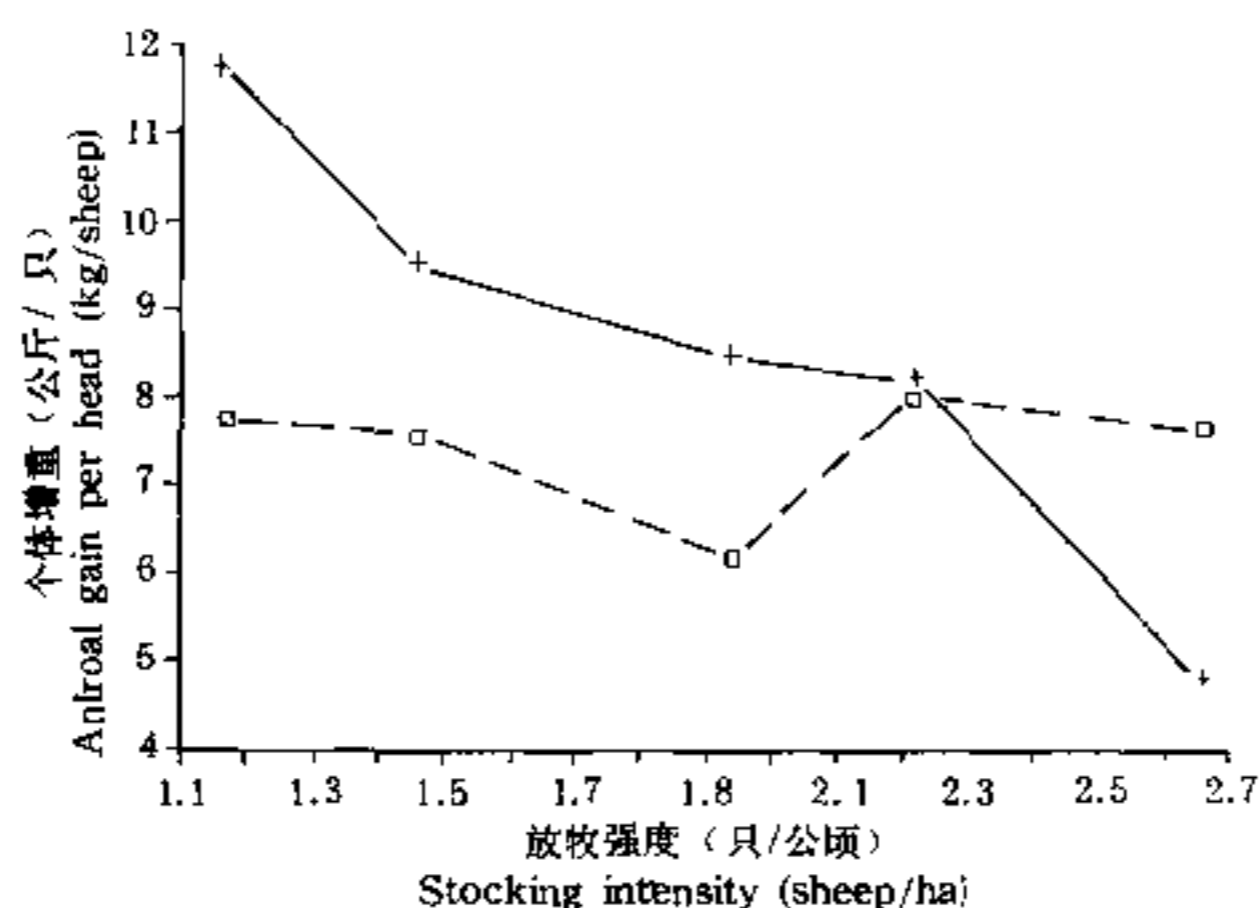


图4 年度藏羊个体增重

Fig. 4 Yearly animal gain per head for Tibetan sheep in 1988-1990

□: 1988-1989; +: 1989-1990

众所周知,气候的变化将引起草场生产力和植被组成的变化,亦即负载能力发生变化。因而,固定的放牧强度在不同的年份其牧草利用率亦会有波动。在牧草低产的年份,其利用强度加重,反之利用强度减轻。也就是说,某一放牧强度的轻、重程度是相对变化的。所以,在确定持续最大生产力放牧强度时要包括尽可能多的气候类型,即要有足够的试验时间长度。从1988、1989年的情况来看,两年均为湿润年份(年降水量分别为740.9和816.9毫米,高于年均500毫米左右),1988年是个暖年(年均气温 -1.1°C),1989年是个中等热量年份(年均气温 -1.7°C)。无论从家畜生产力收益,还是就两季草场的稳定性考虑,放牧强度C是合适的。然而,对于中等和较干燥、或者热量较低的年份,C强度或许稍重。这还需要该种气候条件下的试验结果来支持。从这个意义上讲,本文得出的结论只是初步的,仍需经过多年,不同气候条件下的放牧试验来检验和修正。

参 考 文 献

- 周立, 1989, 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. 高寒草甸生态系统国际学术讨论会文集, 176-179. 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。
- Jones, R. J., 1981, Interpreting fixed stocking rate experiments. In L. Wheeler and R. D. Mochris (eds.), *Forage Evaluation: Concepts and Techniques*. CSIRO, Melbourne.
- 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 systems. In R. J. Joss, P. W. Lynch and O. B. Williams (eds.), *Rangeland: A resource under siege*. Cambridge Univ. New York.

STUDIES ON OPTIMUM STOCKING INTENSITY IN PASTURELANDS OF ALPINE MEADOW I. STOCKING INTENSITY TO MAXIMIZE PRODUCTION OF TIBETAN SHEEP

Zhou Li Wang Qiji Zhao Jing

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

Zhou Qi

(Labour Worker University of Jielin City)

Abstract

The experiments of stocking intensities from June 1988 to May 1990 were carried out in The Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem which was located at the northeast of Qinghai-Tibetan plateau (37°37'S, 101°23'E) at 3250 metres altitude. Annual average precipitation was about 500 mm, daily mean temperature in a year was -2°C.

In Qinghai-Tibetan plateau, rotation grazing has been historically performed according to geographic and climatic conditions. Hence trial area also was divided into the Summer-Autumn (warm season) and Winter-Spring (cold season) grazing grasslands. Lengths of grazing time in warm and cold season lands were 5 months (June-October) and 7 months (November-May) in a year, respectively. Each season grazing grassland was subdivided into five paddocks that stocked with Tibetan wether, so that 30%, 35%, 45%, 50%, 60% of pasture maximum yield in a year (yearly net primary production) would be consumed in the grazing duration, corresponding stocking intensities were listed in Table 1. Pasture yields, coverdegree and frequency, and sheep live weights, intakes and digestibilities were measured at the end of each month.

In the first year, the difference of sheep gain per head under different stocking rates was not significant, but the difference was significant in the second year (Table. 2), and there was linear relationships between gain per sheep (Y) and stocking intensity (X): $Y = a - bx$ fitted the data well ($F > F_{0.01}$ or $F_{0.05}$, Table. 3) for warm and cold season graz-

ing lands and whole year. Simple models of the form $Y_T = aX - bX^2$ were established for production per hectare (Y_T) in the grazing lands and whole year. Thereafter stocking intensities to maximize production Y_T were obtained, they were 7.05, 0.78 and 1.97 sheep/ha for warm and cold season lands and whole year (Table: 4), respectively.

Stability and resilience of grazing grasslands under different stocking intensities during two years were examined, yearly stocking intensity 1.97 sheep/ha, and 45% utilization of pasture in each season land were suitable for sustenance maximum sheep production in wet years.

Key words: Pasture of alpine meadow; Stocking intensity; Maximum production of Tibetan sheep per hectare; Maximum Carrying capacity