

高寒草甸牧草产量和草场载畜量 模拟研究及对气候变暖的响应

李英年

(中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001)

摘要: 高寒草甸地区温度是限制牧草地上年产量提高的主要因素。利用这一点, 引进牧草产量与生长期间的产量积温比概念, 建立高寒草甸牧草产量的估算模式。其估测值与实测值的拟合率较高, 相对误差平均只有 2%, 说明模式的建立具有较好的应用价值。研究还表明, 现实状况下高寒草甸地区牲畜理论负载能力约为 2.54 个羊单位。在未来气候变暖(假设气温升高 2℃, 降水不变)的情景下, 草场生产力将有所降低, 相应的草场理论载畜量降低至 1.04 个羊单位。

关键词: 高寒草甸; 牧草产量; 载畜量; 气候变暖

中图分类号: S812.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2000)02-0077-06

草地生态系统中, 牧草通过光合作用形成有机物质, 同时通过酶的作用把太阳能转变为化学能, 贮存于有机化合物中, 是草地两性生产中的第一性初级生产。其初级生产量的高低直接决定了草场牲畜的负载能力, 以及草地畜牧业生产的可持续发展状况。然而, 在高寒天然放牧草场, 牧草产量的形成与高低, 很大程度上受制于区域气候、土壤和牧草本身机能等因素, 人为干扰较轻, 但对固定区域来讲, 一定时间尺度内其土壤性质、牧草种类组成等变化相对平稳, 表现出牧草产量与气候因素有着不可分割的内在联系。

笔者在定位观测的基础上, 考虑到高寒草甸牧草产量的主要限制因素是气温这一特点, 提出牧草产量与生长期间的产量积温比概念, 建立高寒草甸牧草地上年产量的估测模式。讨论分析产量与气候因素间的对应关系, 以及草场载畜能力, 同时扼要讨论了未来气候变暖所造成的可能影响。

1 研究地点及资料

1.1 研究点及区域气候条件

研究工作在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)进行。该站地处青藏高原东北隅, 祁连山北支冷龙岭东段南麓的大通河河谷, 37°37'N、101°19'E, 海拔 3 200 m。区域年平均气温很低, 多年平均为 -1.7℃。日平均气温稳定通过 0℃ 的活动积温约在 1 100℃; 10℃ 的积温 < 100℃, 持续天数不足 10 d。由于气温低, 植物生长期只有 135 d 左右。年降水量约为 580 mm 左右; 降水主要分布于暖季的 5~9 月, 占年降水量的 80%, 冷季的 10 月至翌年 4 月仅为年降水量的 20%。

海北站作为气候上“极峰”活动位置的南侧, 冬夏两季大气环流截然不同。地理上属蒙新荒

收稿日期: 1999-05-27

基金项目: 国家与中科院“九五”特别支持(KZ95T-04-03, KZ95-A 1-204-04) 研究项目资助。

作者简介: 李英年(1962-), 男, 青海乐都人, 高级工程师。

漠、青藏高原、黄土高原三大区系交汇处, 又是北方干旱区嵌套的半湿润区域, 日照时间在我国为一相对低值区, 气温低, 降水相对丰富。气候表现出一定的地带性分布规律, 有其独特的一面。其总的特征是冬季漫长、寒冷而干燥, 夏季短暂、凉爽而湿润^[1]。

特殊的地理环境下, 该地区分布有高寒灌丛和高寒草甸等植被类型。植物群落结构简单, 种类组成较少, 植株生长低矮、密集, 植被盖度大, 生物生产力低, 但营养物质丰富^[2]。土壤主要以坡积—残积物, 洪积—冲积物及古冰水沉积物形成的高寒灌丛草甸土、亚高山草甸土(寒冻锥形土)以及钙积土为主, 部分地区还分布有沼泽土。土壤具发育年青, 薄层性和粗骨性强, 有机物质含量丰富, 潜在肥力高等特点^[3]。

1.2 资料状况

海北站自 1980 年开始从未间断对高寒草甸牧草产量年度变化及季节地上生物量动态的测定^[4], 同期还进行着气象常规项目的连续观测。样地设在海北站综合实验场。笔者主要采用 1980~ 1995 年 16 年的气温、降水、日照和同期牧草产量资料。

2 高寒草甸牧草气候生产力估算模式的建立

对天然放牧草场的生产力研究, 国内外已进行了大量的报道^[5~ 10]。但出发点主要有典型样地的实地测定和利用模式进行估测两种途径。在典型样地的实地测定方面, 国内外大规模系统的工作始于 60 年代中期, 以后一系列实验站、研究站的建立, 卫星遥感等先进技术的应用, 对草地生物量的时间动态、年际分布, 气候影响等方面进行了监测研究。在模式估测方面, 较多的是提出利用温度、降水等气象因素影响植被生物量的模式, 如迈阿密(Miami)模式^[11]等。虽然迈氏模式起初建立于估算森林植被生物量方面, 但对天然草场类型的生物量也可进行粗略的估测。我国不少学者对该模式进行经验修正后应用于天然草场的气候生产力估算^[11]。作者利用该模式对海北地区牧草产量进行估算时, 发现有较大的误差。为此, 提出了牧草生长期的积温比概念, 建立高寒草甸牧草产量的估算模式, 并与迈氏模式进行比较。同时对气候变化后的影响状况给予简要的分析。

2.1 牧草产量积温比概念的引入

高寒草甸地区降水相对丰富, 一般情况下年降水量可在 400~ 700 mm, 降水主要分布于牧草生长发育期内的 5~ 9 月, 占年降水量的 80% 左右, 可保证高寒草甸地区牧草生长发育对降水的基本需求。而热量(温度)条件则成为牧草年产量提高的主要限制因素^[12]。由此认为, 牧草产量主要是受温度因素的影响。从而, 可引进表示牧草地上年产量的积温比概念:

$$K = W / T \tag{1}$$

式中: W 为牧草年产量(kg/hm^2 , 干重), 笔者取 8 月下旬至 9 月上旬牧草地上生物量达最高时的测定值; T 为候平均气温 0 的活动积温($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$), 为了计算方便, 文中仅以候平均气温通过 0 的那一候计算, 至地上生物量达最大后的 9 月最后一候期间的积温, 期间遇候平均气温 < 0 时, 按 0 $\cdot\text{d}$ 计算; K 为年牧草产量所占积温的比例系数, 可理解为牧草产量的积温比。

2.2 高寒草甸气候生产力统计模式的建立

利用海北站 1980~ 1995 年 16 年实际测定资料, 建立高寒草甸牧草地上年产量与积温比间的回归相关关系, 来确定牧草地上年产量的估算模式, 最后得出回归方程如下:

$$W = 492\ 557 \cdot T / (T - 945\ 572) \tag{2}$$

而以 1995 年的实际值与模拟值进行比较验证。该回归方程相关系数 $r = 0.9185$, $n = 15$, 通过 0.001 置信度的极显著检验水平。

2.3 Miami 模型及本统计模式的结果比较

迈氏模型为^[11](分别称作迈氏—1 和迈氏—2):

$$Y_T = 30\ 000(1 + e^{1.315 - 0.1197T}) \tag{3}$$

$$Y_P = 30\ 000(1 - e^{-0.000664P}) \tag{4}$$

(3) 和 (4) 式分别称作迈氏—1 和迈氏—2 模型。式中: Y_T 、 Y_P 分别为根据一地年平均温度(T)、年降水量(P)以迈氏—1 和迈氏—2 所计算的天然草场的牧草产量(kg/hm^2 鲜重)。依迈氏模型要求规定, 模型所估算值中取 Y_T 、 Y_P 两者的较小值作为模型计算的产量值, 但北海站按其要求以年降水的模式来计算较为适合。需要说明的是, 迈氏模型所得的结果是指牧草草地上产量的鲜草重, 依文献[4]资料所述, 高寒草甸地区牧草干重与鲜草比只有 1/3 左右, 故在进行上述模型计算后, 为了便于比较, 须对迈氏模型计算值乘以干重对鲜草的转换系数 0.32。

利用迈氏模型及本文中提出的统计模式, 对北海站 1980~1995 年逐年牧草产量情况进行模拟并比较结果(见图 1)。同时以多年平均资料进行模拟计算, 结果列于表 1。通过两种模式

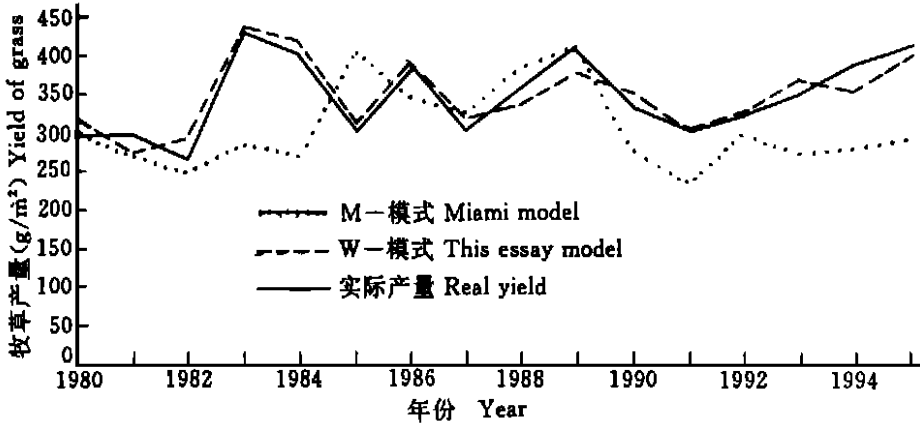


图 1 不同模型模拟值与实测值比较

Fig 1 A comparison between predicted values from different models and real yield

表 1 不同模式计算的平均牧草产量比较

Table 1 Comparison between average herbage yields from different models

EF	PR	AT	T	M-1	M-2	W	Yw	W	E
M 模型Miami model	585.4	-1.7		5337.5	3091.8	3091.8	3495.7	-403.9	12
W 模式This essay model			1104.4			3425.0	3495.7	-70.7	2

注: EF: 要素 essential factor; PR: 年降水量(mm) precipitation of year; AT: 年平均气温() annual average temperature; T: 生长季积温(. d) growing season accumulated temperature; M-1: 迈氏模式模拟值-1 (kg/hm^2)Miami model value 1; M-2: 迈氏模式模拟值-2 (kg/hm^2)Miami model value-2; W: 本文模拟结果(kg/hm^2) this essay predicted value; Yw: 实际值(kg/hm^2) real yield; A: 绝对误差(kg/hm^2) absolute error; E: 相对误差(%) relative error

计算结果及与实际测定值比较可以发现, 迈氏模型所计算的牧草产量与实际测定值比较明显偏低, 平均相对误差为 16%, 拟合效果较差。这里还未考虑受径流影响使实际降水利用减少而导致模拟牧草产量偏低更明显的因素。有人曾要求对降水进行径流的排除, 将迈氏(4)修正为: $Y_p = 30\,000(1 - e^{-0.000664P(1-f)})$ 。其中 f 为径流系数, 取 0.12。而用本文提出的模式所计算的结果与实际值较为接近, 拟合率较高, 平均相对误差仅为 5% (表 2)。利用本文提出的模式模拟预测 1995 年地上年生产量为 $4\,005.3\text{ kg/hm}^2$, 而实际测定值为 $4\,157.8\text{ kg/hm}^2$, 二数值十分接近, 相差仅为 152.5 kg/hm^2 , 相对误差为 4%。可见本模式精度较高, 可在高寒草甸牧草产量的年度评估工作中应用。

表 2 不同模式模拟效果的相对误差比较

Table 2 The relative error between real yield and predicted values from models %

年份 Year	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	平均
M	0.7	0.7	5.1	33.7	34.2	31.5	11.0	5.6	6.9	0.0	16.7	22.6	7.7	21.9	28.1	28.9	16.0
W	6.7	8.4	11.0	1.6	3.7	1.3	0.5	4.5	5.5	8.5	5.1	1.0	0.9	4.5	9.4	3.6	4.8

注: M: 迈氏模式模拟 M iam i predicted; W: 本文模式模拟 This essay predicted

3 高寒草甸草场理论载畜量

自然状况下, 理论载畜量是依牧草地上年产量的有效利用状况、家畜采食量及对牧草的可利用率来计算。海北站牧草地上产量中约有 15% 的成分(如杂毒草)难以利用, 另外还由于牲畜反复践踏和留存于地表牲畜无法采食的残茬约占 20%, 加上风吹凋落物被土壤侵蚀等因素, 实际最终可利用牧草部分只有 45% ~ 50%, 这里取 48%^[13], 而家畜的日食量以一个羊单位来计算(其中每一头(匹)牦牛和马分别以 3 和 5 个羊单位来计算), 约为 1.81 kg/d ^[14]。

这些基本参数标准可用来估算高寒草甸草场的理论载畜量。其中理论载畜量估算方法为^[7]:

$$\text{理论载畜量} = \frac{\text{草场地上年产量} \times \text{家畜对牧草的利用率}}{\text{家畜(1个羊单位)日食量} \times 365}$$

上式表明, 海北高寒草甸地区, 现实条件下理论载畜量基本为 2.54 个羊单位/ hm^2 。由于研究地草场封育, 鼠害等影响较轻, 人为管理相对较好, 牧草长势比其他草场较好, 因此, 在其他草场理论载畜量相对低些, 但作为问题讨论, 仍有实际意义。

4 未来气候变化对草地气候生产力和理论载畜量的影响及结语

各方面研究证实, 气候的确由于受 CO_2 加倍影响在逐渐变暖^[15, 16], 而且由于模拟方法的不同, 所得出的变暖的幅度极不一致。一般认为到下世纪中期, 气温将上升 $1.5 \sim 3.5$ 左右^[17]。笔者根据有关气候变暖幅度, 假设未来气候气温升高 2°C , 未考虑降水变化的情景下, 来讨论高寒草甸牧草产量的变化及理论载畜量变化的情况。

对海北站高寒草甸地区候平均气温实测数据的基础上, 累加 2°C , 不考虑降水变化情况, 利用本文提出的产量模式得出未来的牧草产量及理论载畜量。通过模拟估算, 未来情景下, 候平均气温 0°C 的积温从初始期到 9 月末将增加 $351^\circ\text{C}\cdot\text{d}$ 。此情景下牧产量将有所降低, 平均仅为 $1\,414\text{ kg/hm}^2$, 比现实状况降低 $2\,028\text{ kg/hm}^2$ 。看来气候变暖表面上有温度升高, 热量资源增加的趋势, 但高寒草甸地区若仍维持目前这种牧草的品质和生产结构方式, 即使不考虑水

分影响,也不能充分利用丰富的热量资源,而且还会导致高寒草甸牧草产量不同程度的减少。究其原因是温度升高,牧草发育速率加快,生长期缩短,干物质积累相对缓慢所造成。相应温度上升 2 后,利用上述计算方法发现,理论载畜量将降低至 1.04 个羊单位,比现实状况减少 1.50 个羊单位。这些结果表明,在未来气温增加,不考虑降水变化的情景下,是对高寒草甸草地畜牧业持续发展很不利的因素,这要求我们重视气温变暖所可能带来的影响。虽然上述结果属于模拟值,又没考虑降水变化的影响,但作为问题的讨论仍有着一定的参考价值。

参考文献

- [1] 李英年. 海北高寒草甸生态系统定位站气候概述[J]. 资源生态环境网络研究动态, 1998, 9(3): 30~ 33
- [2] 周兴民, 李建华. 海北高寒草甸生态系统定位站的主要植被类型及地理分布规律[C]. 见高寒草甸生态系统. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982, 9~ 18
- [3] 乐炎舟, 左克成, 张金霞, 等. 海北高寒草甸生态系统定位站的土壤类型及基本特点[C]. 见高寒草甸生态系统. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982, 19~ 33
- [4] 杨福囤, 王启基, 史顺海. 矮嵩草草甸生物量季节动态与年间动态[C]. 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集. 北京: 科学出版社, 1988, 61~ 72
- [5] Breymeyer A I, Van Dyne GM. Grasslands, systems analysis and man[M]. BP 19, 1980
- [6] Van Dyne GM. Perspectives on the ELM model and modeling efforts[M]. In Grassland Simulation Model ed G S Innis. Springer-verlage, 1978
- [7] 李永宏, 莫文红, 杨持. 内蒙古主要草原植物群落地上生物量和理论载畜量及其与气候的关系[J]. 干旱区资源与环境, 1994, 8(4): 43~ 50
- [8] 李英年, 王启基, 周兴民. 矮嵩草草甸年净生产量对气象条件响应的判别分析[J]. 草地学报, 1996, 4(2): 155~ 161
- [9] 李英年, 王启基, 周兴民. 矮嵩草草甸地上生物量与气象因子的关系及其预报模式的建立[C]. 高寒草甸生态系统(第4集). 北京: 科学出版社, 1995, 1~ 10
- [10] 李英年, 周兴民, 王启基, 等. 地温影响高寒草甸牧草产量的效应分析[J]. 草地学报, 1997, 5(3): 168~ 174
- [11] 中国牧区畜牧气候区划科研协作组. 中国牧区畜牧气候[M]. 北京: 气象出版社, 1988
- [12] 李英年, 张景华. 祁连山海北冬春气温变化对草地生产力的影响[J]. 高原气象, 1998, 17(4): 443~ 446
- [13] 周立, 王启基, 赵京, 等. 高寒草甸牧场最优放牧强度的研究[C]. 高寒草甸生态系统(4). 北京: 科学出版社, 1995, 365~ 418
- [14] 皮南林. 高寒草甸生态系统绵羊种群能量动态的研究[C]. 高寒草甸生态系统. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982, 67~ 84
- [15] 王绍武, 叶瑾琳. 近百年全球气候变暖的分析[J]. 大气科学, 1995, 19(4): 549~ 553
- [16] 赵宗慈, 丁一汇, 李晓东, 等. 海气耦合模式在东亚地区的可靠性评估[J]. 应用气象学报, 1995, 6(增刊), 10~ 18
- [17] 李晓东, 王绍武, 赵宗慈, 等. 东亚地区未来气候变化的CGCM模拟研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(增刊), 1~ 9

Simulation of forage yield and stocking rate on alpine grassland in response to warming trend of climate

LI Ying-nian

(Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences,
Xining 810001, China)

Abstract: Temperature is a major factor limiting the growth of above-ground biomass on alpine grasslands. Based on this consideration, a simulation model, with the ratio between the forage yield and the accumulated temperature during the growing season as an indicator, was developed and tested in this study for forecasting fodder production. The model proved to be more accurate than conventional methods, with an average error of only 2%. The model also indicated that the carrying capacity of the alpine grasslands in northern Qinghai would decline from 2.54 to 1.04 sheep units per hectare in response to the warming trend in climatic changes.

Key words: alpine meadow; forage yield; stocking rate; warming in climate