

草原干旱对天然牧草生长发育 及产量形成的影响

王英舜 杨文义 贺俊杰

张银锁^①

(内蒙古锡林郭勒盟牧业气象试验站, 锡林浩特 026000) (内蒙古气象研究所)

提 要

天然牧草是放牧畜牧业的主要物质基础,其生长动态和产量形成受气象条件的影响和制约,特别是水分条件在很大程度上决定着植物的地理分布和生物生产力水平。根据降水量及土壤水分条件与天然牧草生长动态及产量的关系,建立了天然牧草生长高度动态模式和草原初级气候生产力模式,以便为进一步研究草原干旱的气候指标提供理论依据。

关键词: 草原 干旱 天然牧草 气候生产力

1 资料来源和方法

资料来源于锡林郭勒盟牧业气象试验站1986~1996年天然牧草生长发育及产量观测资料及平行观测的地面气象资料。锡林郭勒盟牧业气象试验站位于锡林浩特东郊。草原类型为典型草原。年平均气温 1.7°C 。年辐射总量 $5813.7 \times 10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ 。年总降水量294.9mm,其中牧草生长期降水量约占年总降水量的70%。

牧草高度(cm)是每旬末定株(每种牧草定株40株)测得羊草(*Aneurolepidium Chinese (Trin)*)、克氏针茅(*Stipa kryloyii*)、冷蒿(*Artemisia Frigida willd*)、阿尔泰狗哇花(*Heteropappus Altaicus (willd)*)、矮葱(*Allium anisopodium Ledeb*)等5种牧草高度的平均值;牧草产量(g/m^2)是8月末测得每平方米天然草地上净生物总量阴干后的重量,其值一般为天然牧草的产量峰值;土壤水分资料是采用烘干称重法测得的0~50cm土壤重量含水率(%),观测日期为每月的8、18和28日。

2 天然牧草生长高度动态模式

2.1 充足水分条件下牧草生长高度随时间的变化规律

天然草场牧草返青后,牧草生长随时间呈“缓慢生长—积极生长—缓慢生长”趋势,可用logistic方程拟合,其一般形式为:

$$H = \frac{K}{1 + e^{a+bt}} \quad (1)$$

式中 t 为牧草返青至黄枯间的日数,单位天; H 为 t 时刻的牧草生长高度,单位cm; K 为一定环境条件下 H 的理论上限; a 、 b 为待定参数。

对式(1)求三阶导数,经整理得

$$\frac{d^3 H}{dt^3} = -kb^3 \frac{1 - 4e^{a+bt} + (e^{a+bt})^2}{(1 + e^{a+bt})^4} \cdot e^{a+bt} \quad (2)$$

若令 $\frac{d^3 H}{dt^3} = 0$,则 $1 - 4e^{a+bt} + (e^{a+bt})^2 = 0$,设 $x = e^{a+bt}$,得 $1 - 4x + x^2 = 0$,求解得

$$x_1 = 2 + \sqrt{3} \quad x_2 = 2 - \sqrt{3}$$

^① 现为中国农业大学资源环境学院博士研究生

即

$$\begin{cases} e^{a+bt_1} = 2 + \sqrt{3} \\ e^{a+bt_2} = 2 - \sqrt{3} \\ t_1 = \frac{\ln(2 + \sqrt{3}) - a}{b} \\ t_2 = \frac{\ln(2 - \sqrt{3}) - a}{b} \end{cases} \quad (3)$$

式中 t_1, t_2 为牧草生长高度随时间变化模式的两个特征点。其意义分别是牧草高度生长动态从缓慢增长转为迅速增长的时刻和从迅速增长转为缓慢增长率的时刻。

根据式(1),利用实验观测资料求得充足水分条件下天然牧草生长高度随时间变化模式为:

$$H_r = \frac{50.0}{1 + e^{2.672 - 0.036t}} \quad (4)$$

样本数 $n = 15$, 相关系数 $r = 0.985$, 经检验,天然牧草生长高度随时间变化模式通过阈值 $\alpha = 0.01$ 的显著水平检验。

根据式(4)求得天然牧草生长高度随时间变化模式的两个特征点 $t_1 = 38, t_2 = 112$, 从而可知:在水分充足的条件下,天然牧草生长高度从缓慢增长转为迅速增长的时间为5月下旬;从迅速增长转为缓慢增长的时间为8月上旬(图1)。

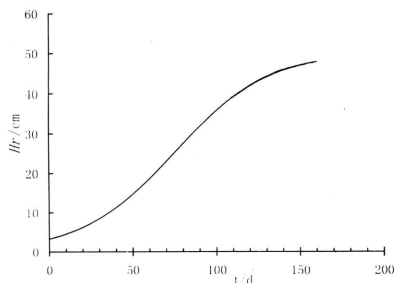


图1 充足水分条件下的牧草生长高度曲线

2.2 天然牧草生长高度的水分订正模式

天然草场牧草生长所需水分主要来自降

水,北方牧区降水量往往满足不了天然牧草生长发育所需水分,牧草生长速度受水分条件的制约。

$$\begin{aligned} & (H_{r,i} - H_{r,i-1}) - (H_i - H_{i-1}) \\ & = \sum_{i=1}^3 K_i [1 - e^{pq - q(R_i - R_{i-1})}] \end{aligned} \quad (5)$$

式中 $i = 1, 2, 3$ 表示牧草生长时段划分: $i = 1$ 时, $t \leq t_1$; $i = 2$ 时, $t_1 < t \leq t_2$; $i = 3$ 时, $t > t_2$ 。 $H_{r,i} - H_{r,i-1}$ 为式(4)计算得 i 时段天然牧草生长的绝对高度, $H_i - H_{i-1}$ 为 i 时段天然牧草实际生长的绝对高度, K_i 为水分充足条件下 i 时段 $H_{r,i} - H_{r,i-1}$ 的理论上限; $R_i - R_{i-1}$ 为 i 时段的降水总量; p, q 为待定参数(表1)。

表1 K_i, p, q 值

项目	1	2	3
i	牧草返青 ~ 38 天	39 天 ~ 112 天	113 天 ~ 牧草黄枯
K_i	12.2	28.1	9.1
p	72.19	512.172	231.146
q	-0.008	-0.002	-0.009
n	10	10	10
r	0.585	0.887	0.724

3 水分条件对天然牧草产量形成的影响

3.1 草原气候生产力模式

光、热、水是天然牧草生长发育不可缺少的气候因子,其中光是最本质的要素,直接参与生物的光合作用。空气温度和土壤水分对天然牧草光合作用起着促进或限制作用。因此,草原初级气候生产力模式为:

$$Y_{(Q,T,W)} = Y_{(Q)} \cdot f_{(T)} \cdot f_{(W)}$$

式中 $Y_{(Q,T,W)}$ 为草原气候生产力; $Y_{(Q)}$ 为草原光合生产力, $f_{(T)}, f_{(W)}$ 分别为草原光合生产力的温度、湿度订正系数, $f_{(T)} = 0 \sim 1$, $f_{(W)} = 0 \sim 1$ 。

3.1.1 草原光合生产力模式

根据江爱良先生的中国农业气候生产力模式^[1]建立草原光合生产力模式为:

$$Y_{(Q)} = 0.7h \epsilon \sum_{j=1}^m Q_j \quad (6)$$

式中 $Y_{(Q)}$ 为草原光合生产力, 单位 g/m^2 ; m 为日平均温度大于 0°C 的日数; Q_j 为日平均温度大于 0°C 的日总辐射量, 单位 kJ/cm^2 ; h 为能量换算为产量的系数, 通常 1g 有机物 (干重) 产热量 17.8kJ , 故 $h = 561.8$ (单位为 $\frac{\text{g}/\text{m}^2}{\text{kJ}/\text{cm}^2}$); ϵ 为太阳光能转换为生物能的效率, 根据天然牧草生物学特性, 牧草生长的下限温度 $T_B = 0^\circ\text{C}$ 。当日平均温度 $T \leq 0^\circ\text{C}$ 时, 天然草场的光能利用率 $\epsilon = 0$; 当日平均温度 $T > 0^\circ\text{C}$ 时, 天然草场的光能利用率 $\epsilon \approx 0.15\%$ 。因此, 草原光合生产力模式为:

$$Y(Q) = 0.59 \sum_{j=1}^m Q_j \quad (7)$$

3.1.2 草原光合生产力的温度订正系数

为了更好地反映温度的有效性, 必须同时考虑天然牧草生长发育的下限温度 T_B 和最大有效温度 T_C [2], 则草原光合生产力的温度订正系数 $f_{(T)}$ 为:

$$f_{(T)} = \sum_{j=1}^m \frac{T_j - T_B}{T_C - T_B} \quad (8)$$

式中 T_j 为日平均温度, m 为生长季日数。

3.1.3 草原光合生产力水分订正系数

天然牧草在不同生长阶段对水分的要求不同。牧草生长初期和末期, 日平均气温一般为 $0 \sim 5^\circ\text{C}$, 天然牧草生长较缓慢, 对水分的需求量极少, 此时草原的土壤水分含量往往能满足牧草生长发育所需水分, 因此, 草原光合生产力的水分有效性 $f_1(w) = 1$; 而当日平均气温 $T_j > 5^\circ\text{C}$ 时, 天然牧草生长速度较快, 对土壤水分的需求量大大增加, 此时北方牧区大气降水量远远不能满足天然牧草生长发育所需水分, 因此, 草原光合生产力的水分有效性 $f_2(w) = \frac{w_j}{w_c}$ 。

式中, w_j 为土壤重量含水率; w_c 为土壤田间持水量; 综上所述, 草原光合生产力的水分订正系数为:

$$f(w) = \begin{cases} 1 & 0^\circ\text{C} < T_j \leq 5^\circ\text{C} \\ \sum_{j=1}^m \frac{w_j}{w_c} & T_j > 5^\circ\text{C} \end{cases} \quad (9)$$

3.2 大气降水量对天然牧草产量的影响

天然牧草生育期不同时段的水分条件对牧草形成的影响不同。降水量的时间分布与天然牧草产量的关系可写成:

$$Y = c + \int_0^T a(t)k(t)dt \quad (10)$$

式中 Y 为牧草产量, 单位 g/m^2 ; $K(t)$ 为大气降水量, 单位 mm ; $a(t)$ 为降水量时间分布对牧草产量的效应, 其意义是各旬降水量每增减 1mm 使天然牧草产量的变化。若取 4 次项, 则 $a(t)$ 的展开式为

$$a(t) = a_0\phi_0(t) + a_1\phi_1(t) + a_2\phi_2(t) + a_3\phi_3(t) + a_4\phi_4(t) \quad (11)$$

式中 $\phi_k(t)$ 为时间的正交多项式; a_k 为回归系数。

利用 1985~1996 年 4 月上旬至 8 月下旬的大气降水量和天然牧草产量求得回归系数见表 2。由此求得各时段 $a(t)$ 值绘于图 2。

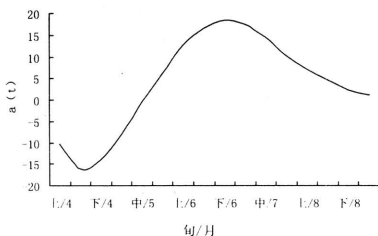


图2 天然牧草生育期内降水量每变化 1mm 对产量影响效应

表2 式(11)的回归系数 a_k 值

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
4.283	2.241	-0.424	-0.070	0.021

图2清楚直观地表明: 大气降水的时间分布对天然牧草产量影响的不同, 以6月下旬最大, 降水量每增减 1mm , 使牧草产量增

减 $18.4\text{g}/\text{m}^2$;而在牧草返青至5月下旬,8月上旬至牧草黄枯这两个时期的大气降水对天然牧草产量影响较小。

参考文献

- 1 江爱良,张福春.中国农业气候生产力的一个模式.中国农业气象,1988,9(1):16~18.
- 2 冯秀藻,闵庆文.一个用于反映天然牧草生长规律的综合农业气象指数.中国农业气象,1994,15(2):47~49.

Impacts of Grassland Drought on the Growth and Yield of Natural Grass

Wang Yingshun Yang Wenyi He Junjie

(Xilinguole Meteorological Station for Animal Husbandry, Xilinhot 026000)

Zhang Yinsuo

(Inner Mongolia Meteorological Institute)

Abstract

By analyzing the relationships among the growth dynamics and yield of natural grass and precipitation as well as soil water content, calculation models were established to estimate the growth height and primary production of natural grass on typical grassland of Inner Mongolia.

Key Words: grassland drought natural grass primary production