

# 牧草生长发育和产量形成 与气象条件的关系\*

徐德源 黄敬锋 王淑民

(新疆气象科学研究所, 乌鲁木齐 830002)

李星华 林柯

(乌鲁木齐市牧业气象试验站)

## 提 要

根据天山北坡人工牧草和天然牧草生长发育与气象条件的平行观测试验资料的统计分析,给出了天山北坡牧草主要生育期的气候生态指标;建立了牧草叶面积、产量与绿度值,牧草生长高度、产量与牧草生育期间温度、光照、降水的数学模型。

**关键词:** 牧草 生长发育 产量 气象条件 试验

## 引 言

牧草生长发育和产量与质量,既决定于牧草的品种特性,也决定于牧草生存环境的影响与作用。为了进一步了解天山北坡牧草生长发育、产量形成与气象条件的关系,为牧草产量预报提供基础资料,我们于1989—1990年进行了牧草生长发育和产量形成与气象条件的平行观测试验。本文通过试验资料的统计分析,给出了天山北坡牧草的气候生态指标,和牧草生长发育及产量与牧草生育期间温度、光照、降水等的定量关系。

## 1 试验概况和观测项目

试验场地在乌鲁木齐市牧业气象试验站。该站位于天山北坡(43°17'N, 87°07'E)逆温带中,海拔2350.4m。

人工牧草试验地面积112m<sup>2</sup>,牧草种类为紫花苜蓿、红豆草、无芒雀麦和老芒麦。播种期分别为4月23日、30日和5月10日,每期重

复3次。人工开沟条播,深度为3—5cm。试验地旁为大气候观测场。在每种牧草的3个重复小区内各定10株进行观测。观测项目如下:

生育期:禾本科牧草观测出苗(返青)、展叶(三叶)、拔节、抽穗、开花、结实、黄枯;豆科牧草观测出苗(返青)、分枝形成、现蕾、开花、结实、黄枯。

生长状况:牧草出苗(返青)进入普遍期后,每隔5天观测一次,直到黄枯期为止。禾本科牧草开花前,从地面测至植株最高叶片的顶端,开花普遍期后由地面测至穗的顶端(芒除外);豆科牧草从地面测至最高(长)枝条的顶端。

土壤湿度:在冻土深度 $\leq 5\text{cm}$ 至入冬时冻土深度 $\geq 5\text{cm}$ 期间,每月逢8、18、28日观测。取土深度为5、10、20、30、40、50cm。按对角线取2—3个样点。当24h降水量 $\geq 10\text{mm}$ 时,第二天重测。

\* 国家气象局科学基金研究课题。

产草量:每种牧草取 $10 \times 10 \text{cm}^2$ ,地上部分全部割下称重,风干后换算成亩产。第一年测一次总产量,第二年从5月开始,每月月中和月末各测一次,直到黄枯期止。

光谱测定:在牧草生长季5—9月进行。1989年每月月末在4种人工牧草和天然牧草地段的测产区观测一次,1990年每月月中和月末各观测一次。使用RS-B型两通道野外光谱仪,通道波长分别为 $0.58-0.68 \mu\text{m}$ 和 $0.725-1.1 \mu\text{m}$ ,视场角 $15^\circ$ ,参照片为灰板。在无云(或少云)和无风(或微风)的天气下,于12—16时(太阳高度角 $>35^\circ$ )进行测定。

天然牧草试验观测地段距大气候观测场15m。牧草种类为赖草、岩黄芪、萎陵菜和毛茛。观测项目与人工牧草相同。

## 2 试验结果

### 2.1 牧草的气候生态指标

天山北坡中山带牧草生长季的6—8月降水量300mm以上。50cm深的土壤水分较充足,特别是根系分布层0—30cm,土壤水分一般为20%—30%,8月份略低(15%—25%)。在水分有保证的条件下,牧草的生长发育主要取决于热量(温度的积累)。

#### 2.1.1 人工牧草的热量指标

返青期:紫花苜蓿和红豆草进入返青期的旬平均气温为 $2^\circ\text{C}$ ,地面温度 $6^\circ\text{C}$ , $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 $25^\circ\text{C}$ ;无芒雀麦和老芒麦进入返青期的旬平均气温为 $0^\circ\text{C}$ ,地面温度 $3^\circ\text{C}$ , $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温 $10^\circ\text{C}$ 。

开花期:进入开花期的前5天平均气温,无芒雀麦和老芒麦为 $11^\circ\text{C}$ 左右,红豆草为 $12^\circ\text{C}$ ,紫花苜蓿为 $15^\circ\text{C}$ 。从抽穗到开花需要 $0^\circ\text{C}$ 以上积温,红豆草为 $280^\circ\text{C}$ ,其它三种牧草为 $310-330^\circ\text{C}$ 。

结实期:牧草结实一般在8月下旬到9月上旬。进入结实期的前5天平均气温为 $8-10^\circ\text{C}$ ,从开花到结实需要的 $0^\circ\text{C}$ 以上积温,无芒雀麦和老芒麦为 $310-400^\circ\text{C}$ ,红豆草为 $550^\circ\text{C}$ ,紫花苜蓿未进入结实期即黄枯了。

黄枯期:进入黄枯期的前5天平均气温,紫花苜蓿为 $9^\circ\text{C}$ 左右,红豆草、无芒雀麦和老芒麦为 $5^\circ\text{C}$ 左右。从结实到黄枯一般需要40—50天, $0^\circ\text{C}$ 以上积温 $300-400^\circ\text{C}$ 。

全生育期:在4种人工牧草中,只有紫花苜蓿未成熟即进入黄枯期,其余3种人工牧草全生育期需 $0^\circ\text{C}$ 以上积温分别为 $1358^\circ\text{C}$ 、 $1291^\circ\text{C}$ 和 $1254^\circ\text{C}$ 。

#### 2.1.2 人工牧草的气候适应性

从4种人工牧草的全生育期热量指标来看,紫花苜蓿需要的热量最多,在 $0^\circ\text{C}$ 以上积温只有 $1575^\circ\text{C}$ 的乌鲁木齐不能满足所需热量,所以未能结实就进入黄枯期。再加上紫花苜蓿越冬能力较差,第二年的干草产量仅为 $90.1 \text{kg}/\text{亩}$ ,比第一年减少 $45.9 \text{kg}/\text{亩}$ ,可见其气候适应性较差。

红豆草属温凉湿润型牧草,年产干草量 $956.1 \text{kg}/\text{亩}$ ,是天然牧草产量的4.5倍。

无芒雀麦和老芒麦具有发达的地下根茎,生活能力强,年产干草量分别为 $705.2 \text{kg}/\text{亩}$ 和 $659.6 \text{kg}/\text{亩}$ ,是天然牧草产量的3.3倍和3.1倍。这两种牧草是该地区适宜栽培的优良人工牧草,可以推广。

#### 2.1.3 天然牧草的热量指标

返青期:喜凉牧草(萎陵菜、赖草和毛茛)返青前5天平均气温为 $-1-2^\circ\text{C}$ 、地面温度为 $1^\circ\text{C}$ 、 $0^\circ\text{C}$ 以上积温为 $15-19^\circ\text{C}$ 时即可返青;喜温牧草(岩黄芪)返青前5天平均气温和为 $68^\circ\text{C}$ 时才能返青。

黄枯期:开始黄枯的前5天平均气温,萎陵菜和毛茛为 $8-9^\circ\text{C}$ 。赖草和岩黄芪为 $6-8^\circ\text{C}$ 。天然牧草的黄枯期与日平均气温稳定通过 $5^\circ\text{C}$ 日期比较接近,在气候分析中,可以用秋季日平均气温稳定通过 $5^\circ\text{C}$ 的日期作为天然牧草的黄枯期。

全生育期:4种天然牧草从返青到黄枯需要的 $0^\circ\text{C}$ 以上积温,以岩黄芪最少( $1368^\circ\text{C}$ ),其次是赖草和萎陵菜(分别为 $1416.5^\circ\text{C}$ 和 $1436.3^\circ\text{C}$ ),毛茛最多( $1510^\circ\text{C}$ )。

## 2.2 牧草光谱特征

### 2.2.1 牧草绿度值的季节变化

牧草的绿度值( $G$ )被定义为牧草红外波段的反射率( $CH_2$ )与红光波段的反射率( $CH_1$ )的比值。绿度值的变化与产草量有密切关系。天山北坡的牧草,5、6月份的平均绿度值( $G$ )变化缓慢,7月迅速增大,8月又呈下降趋势。这种S型的变化趋势与对应时期的水热条件有关。5、6月份温度缓慢上升,降水较少,牧草生长缓慢。7月温度最高,降水最多,水热条件配合好,牧草生长加快,叶面积和叶绿素含量增加。8月份水热条件仍较好,但因牧草已进入生殖生长阶段,故生长迅速减缓,以后牧草开始黄枯,叶面积与叶绿素含量减少。

### 2.2.2 叶面积与绿度值的关系

由于叶片吸收红光,随着牧草叶面积的增大及叶绿素含量的增多,牧草的红光反射率减小,因此,平均绿度值随叶面积增加而增大,天然牧草样方的叶面积( $LAI$ )与绿度值的关系式\*为

$$LAI = 2125.49 + G^{0.37} \quad (1)$$

式(1)的相关系数  $r = 0.882$ ,  $F = 27.92 (> F_{0.01}^{(1,8)})$ 。

### 2.2.3 牧草产量与绿度值的关系

在牧草成熟前,绿度值随牧草鲜重的增加而增大。观测点样方牧草鲜重( $GY$ )与绿度值的关系式\*为

$$GY = 40.54 + G^{1.694} \quad (2)$$

式(2)的相关系数  $r = 0.943$ ,  $F = 272.53 (> F_{0.01}^{(1,4)})$ 。

### 2.3 牧草生长高度与气象条件的关系

人工栽培牧草在6月中旬以前,生长高度( $H$ )旬增长量仅为6—13cm;6月中旬以后生长高度普遍加快,旬平均增长量为15—20cm,其中,无芒雀麦增长量达30cm;从8月上旬开始,牧草的生长高度又缓慢下来。天然牧草生长高度的变化与人工牧草相似。生长高度的变化趋势呈S型,可用 Logistic 方程

模拟,即

$$H = c / [1 + \exp(a - bx)] \quad (3)$$

表1的上半部和下半部分别为4种人工牧草和4种天然牧草的生长高度与 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温( $\sum T$ )、气温稳定通过 $0^\circ\text{C}$ 之日开始的累积日照时数( $\sum S$ )和上一年11月开始的累积降水量( $\sum R$ )的 Logistic 方程系数,这些方程的相关系数均在0.98以上,相关信度达到0.01显著水平。

表1 牧草生长高度与 $\sum T$ 、 $\sum S$ 、 $\sum R$ 的 Logistic 方程系数

系数	紫花苜蓿	红豆草	无芒雀麦	老芒麦	
$c$	64.3833	110.9201	128.5290	152.6486	
$\sum T$	$a$	2.9729	3.1980	4.1683	3.0449
	$b$	-0.2360	-0.2038	-0.2883	-0.1949
$\sum S$	$c$	67.0948	116.1539	131.6375	160.7857
	$a$	4.6970	5.6081	6.8377	4.7234
	$b$	-0.2683	-0.7505	-0.3616	-0.2362
$\sum R$	$c$	63.0432	111.1143	127.2050	153.3540
	$a$	3.1138	3.1366	4.0847	3.0025
	$b$	-0.2467	-0.1946	-0.2801	-0.1854
系数	顿草	岩黄芩	萎陵菜	毛茛	
$\sum T$	$c$	36.5357	12.0955	15.1934	23.8223
	$a$	1.7620	1.5151	2.0011	2.5909
	$b$	-0.2023	-0.2115	-0.2079	-0.2278
$\sum S$	$c$	35.5351	11.8137	14.6598	23.0447
	$a$	2.7594	2.6987	2.9749	3.5488
	$b$	-0.2504	-0.2612	-0.2564	-0.2661
$\sum R$	$c$	37.6518	12.4243	15.8798	24.0598
	$a$	2.7120	1.9241	3.0596	4.2153
	$b$	-0.1928	-0.2041	-0.1968	-0.2580

### 2.4 牧草产量与气象条件的关系

在天山北坡,人工牧草和天然牧草的产量均与牧草生育期间的积温( $\sum T$ )、累积日照时数( $\sum S$ )和累积降水量( $\sum R$ )呈正相关关系(表2),其相关信度均达到0.05和0.01显著水平。

表3为牧草产量与 $\sum S$ 和 $\sum R$ 的回归方程。方程中 $\sum S$ 和 $\sum R$ 的标准回归系数( $b_1$ 、 $b_2$ )分别为:

\* 该关系式不适用于高覆盖度和高产量的草场。

紫花苜蓿  $b'_1=0.06936$   $b'_2=0.844$   
 $b'_2 > b'_1$   
 红豆草  $b'_1=0.1808$   $b'_2=1.0299$   
 $b'_2 > b'_1$   
 无芒雀麦  $b'_1=1.2689$   $b'_2=1.0945$   
 $b'_1 > b'_2$   
 老芒麦  $b'_1=0.2263$   $b'_2=0.7193$   
 $b'_2 > b'_1$

由此可以看出,在人工牧草的产量形成过程中,只有无芒雀麦需要充足的降水,紫花苜蓿、红豆草和老芒麦均需较强的光照,其次是丰富的降水。

牧草产量与  $\sum T$ 、 $\sum S$ 、 $\sum R$  的回归方程的回归效果均达到0.05和0.01显著水平,这些回归方程可以在牧草产量预报中应用。

表2 牧草产量(干重)与  $\sum T$ 、 $\sum S$ 、 $\sum R$  的单相关系数

	人工牧草				天然牧草		
	紫花苜蓿	红豆草	无芒雀麦	老芒麦	禾本科	杂草类	总产量
$\sum T$	0.8959	0.8638	0.9717	0.9527	0.8710	0.6740	0.8600
$\sum S$	0.9134	0.8520	0.9495	0.9421	0.8730	0.6110	0.8410
$\sum R$	0.9017	0.8336	0.9733	0.9347	0.8820	0.7610	0.8960

表3 牧草产量(y)与  $\sum T$ 、 $\sum S$ 、 $\sum R$  的回归方程

		回归方程	复相关系数
人工牧草	紫花苜蓿	$Y = -34.637 + 0.021 \sum S + 0.139 \sum R$	0.9135
	红豆草	$Y = -644.468 - 0.414 \sum S + 1.347 \sum R$	0.8526
	无芒雀麦	$Y = -146.274 - 2.256 \sum S - 0.305 \sum R$	0.9747
	老芒麦	$Y = -420.824 + 0.428 \sum S + 0.777 \sum R$	0.9429
天然牧草	禾本科	$Y = -1.5785 - 0.0213 \sum T + 0.2145 \sum R + 0.0984 \sum S$	0.8998
	杂草类	$Y = 0.6474 + 0.0193 \sum T - 0.1776 \sum R - 0.0349 \sum S$	0.7850
	总产量	$Y = -0.9258 - 0.0017 \sum T + 0.3894 \sum R - 0.0443 \sum S$	0.8985

## Relationship between the Growing and Yielding of Herbage and Meteorological Elements in the North Slope of the Tianshan Mountains

Xu Deyuan Huang Jingfeng Wang Shumin

(Xinjiang Meteorological Institute, Urumqi 830002)

Li Xinghua Lin ke

(Urumqi Stock Raising Meteorological Experimental Station)

### Abstract

Based on experimental data, the relationship between the growing of herbage and meteorological conditions is studied. The climate ecological indices of the main growing stages are given. The relationship between the green values, leaf areas of herbage and its yield is presented. The mathematical models on growing yielding of herbage with light, temperature and water are set up.

**Key Words:** herbage growing yielding meteorological condition experiment