

# 内蒙古典型草原水分条件 与天然牧草产量的关系<sup>①</sup>

侯 琼 梁秀婷

(内蒙古气象科研所, 呼和浩特 010051)

## 提 要

水分是干旱、半干旱地区天然牧草生长的限制因子。分析水分条件与牧草产量的关系是确定旱灾指标、评价草原生态环境优劣的基础。利用内蒙古典型草原区3个站点近15年的天然牧草、土壤水分和气象观测资料,计算了降水量、土壤水分和耗水量与不同时期牧草产量的相关系数,分析了各水分因子相关性的时空分布规律。得出:土壤水分与产量的相关好于降水量;降水与产草量多呈二次曲线变化,土壤水分和耗水量与产草量多呈直线变化;相关程度随生长进程的推进,有逐渐增强的趋势等。

**关键词:** 水分条件 天然牧草 产量 典型草原

## 引 言

天然草场是内蒙古畜牧业的主要生产基地,除呼伦贝尔草原外,大部分属温暖干旱、半干旱区,无霜期多在120天以上, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温一般在2000°C以上,日照时数不低于2900h,光、热条件基本能满足牧草生长的需要。而降水量多在350mm以下,是制约我区草地生产力的主要气候因子。通常水分条件的优劣直接影响草原群落生物量。前人对降水与牧草产量的关系研究较多<sup>[1]</sup>,在土壤水分对牧草产量的影响方面研究较少。由于不同形式的水分供给对植物生长的影响不同,探讨不同形式的水分条件对天然牧草产量的影响,是选择干旱因子的基础。本文以内蒙古典型草原区为例,利用实际观测资料,分析不同时期降水量、土壤水分和耗水量与相应阶段产草量的关系,确定了与产量最为密切的水分因子;为在草原干旱监测、评价工

作中筛选评价因子提供理论依据和实际指导。

## 1 资料来源和方法

利用典型草原区3个代表站点:锡林浩特牧业气象试验站、镶黄旗和察右后旗气象站近20年的气象资料和牧草、土壤水分平行观测资料进行分析。利用相对变率公式<sup>[2]</sup>计算了年降水相对平均变率 $V_{\text{年}}$ 和牧草最高产量相对平均变率 $V_y$ ,采用伊万诺夫湿润度公式<sup>[3]</sup>计算了生长季湿润系数 $K_{4-9}$ 。牧草产量为地上部总生物量,从5月底开始每月测定一次,共测8~9次。以8月底测定的多年平均产量来衡量各地区草场生产力。土壤水分资料采用4—9月每旬测定值,并统计成月值,与产草量在时间上取得一致。各站点气候、土壤等主要特征值见表1。

① 中国气象局新技术开发基金“农业气象试验站生态环境监测和信息服务试验示范”项目资助

表1 各站主要气候、土壤特征<sup>\*</sup>

	R <sub>年</sub> /mm	K <sub>4~9</sub>	T <sub>年</sub> /℃	降水变率/V <sub>年</sub>	W <sub>有</sub>	γ <sub>0~50</sub>	最高产量/kg·hm <sup>-2</sup>	产量相对变率V <sub>y</sub> /%
锡林浩特	286.6	0.31	2.6	24.6%	84.9	1.41	1198.3	31.5
镶黄旗	279.9	0.27	3.5	17.4%	85.4	1.49	924.7	35.9
察右后旗	335.2	0.40	3.8	18.9%	145.4	1.14	2658.3	30.5

注:W<sub>有</sub>和γ<sub>0~50</sub>分别表示0~50cm土层的有效持水量和平均容重。

## 2 结果分析

### 2.1 天然牧草生长规律

天然牧草生长时间动态与大多数农作物一样可用logistics方程拟合<sup>[1]</sup>,也可用多项式表示。锡盟典型草原区一般牧草4月份返青后生长缓慢,6、7月份生长量迅速增加,8月份生长减缓,且生物量达到最大,9月末大多数牧草枯黄。此生长规律可以从牧草高度和生物量上反映出来(见表2和图1),且不受水文年型的影响。图1为锡林浩特牧业气象试验站不同水文年型下克氏针茅生长高度变化的拟合曲线(三项式),其拟合的相关程度

很高,1993年为丰水年,2000年为水分严重亏缺年,丰年与歉年牧草在高度上可以相差1~2倍,在产草量上可以相差2~3倍。表2反映出生物量的时间变化趋势,3个站点规律相同,但草地生产力差异很大,以察右后旗产草量最高,镶黄旗最差。其原因主要是察右中旗降水多,相对变率小,湿润系数K<sub>4~9</sub>大,土壤有效持水量高,因此产草量高,相对变率小,年际间的产量波动小于其它两站,产草量比较稳定;其它两地气候和土壤条件相近,产草量差异不大(见表1)。

表2 各站点不同时期测定的牧草地上生物量多年平均值/kg·hm<sup>-2</sup>

	4月30日	5月31日	6月30日	7月31日	8月31日	9月30日	10月31日
锡林浩特	203.5	311.1	502.4	1136.1	1198.3	934.1	845.7
镶黄旗	99.8	179.7	406.3	879.6	924.7	—	—
察右后旗	—	409.9	1507.3	2358.4	2658.3	—	—

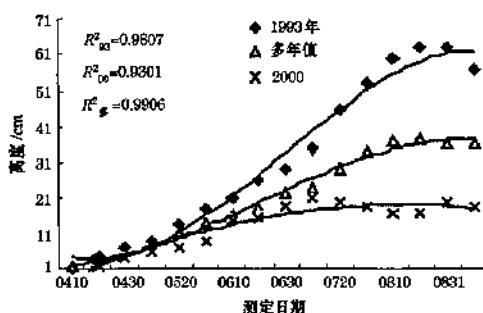


图1 锡林浩特克氏针茅生长高度时间变化

### 2.2 降水量与牧草产量的关系

在大多数情况下,降水量是牧草生长的唯一水分来源。典型草原区年降水量虽少,但80%以上的降水集中在4—9月(生长季),甚至有一半的年份生长季降水占年降水

量的90%以上,雨热同季为牧草生长创造了有利条件。一般9月份以后的降水对当年牧草生长的影响很小,主要与第二年牧草生长有关<sup>[3]</sup>,故将第一年9月份以后到第二年8月份以前作为典型草原牧草生长年度进行分析。从表3中可以看出春季牧草产量与同期降水量的关系不十分显著,牧草进入旺盛生长期后,相关程度不断加强,7、8月份牧草产量与前期降水关系最为密切,牧草生长年度降水量与牧草最高产量的相关程度次之。但不同地区相关程度有所差异,锡林浩特地区各时段的相关程度最好,镶黄旗较差,察右后旗6月份以前两者关系甚微,7、8月份相关程度迅速提高。

表3 不同时段降水量与牧草产量的相关(相关系数 $r$ /样本数 $n$ )<sup>\*</sup>

测产时间	5月31日	6月30日	7月31日	8月31日	8月31日
降水时段	4—5月	4—6月	4—7月	4—8月	牧草生长年度
锡林浩特	0.56/13**	0.61/10**	0.89/12***	0.71/15***	0.74/15***
镶黄旗	0.52/15**	0.52/18**	0.59/9*	0.58/17**	0.49/17**
察右后旗	-0.17/14	0.19/12	0.57/13**	0.74/14***	0.69/14***
平均	0.3/14	0.44/13	0.68/11**	0.68/15***	0.64/15***

注：“\*\*\*”、“\*\*”和“\*”分别表示通过0.01、0.05和0.1显著性水平的检验。

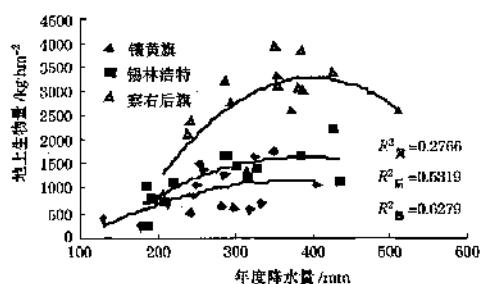


图2 最高产量与群落生长年度降水量的关系

降水对牧草生长的影响以正效应为主，水分过多时也会产生负效应。从图2中可以看出牧草群落生长随降水量增加产量增加，当降水量达到一定程度时，产量增加缓慢，直至减少，3个地区反映出同样的规律，用二次曲线拟合，除镶黄旗规律不明显外，其它两地效果较好。说明典型草原区降水量对群落植被生长的影响存在一个上限值。降水的这种负效应在察右后旗表现比较突出，表明降水的亏缺程度小于其它两站。

天然牧草在不同生长阶段对水分的要求不同。据研究，大气降水的时间分布对天然牧草产量的影响以6月下旬最显著，春、秋两季影响较小<sup>[1]</sup>。图3显示了牧草生长旺盛期产量与前期降水量的关系：7月31日产量与当年前期降水的关系最好，8月31日产量与前期降水的关系次之，并呈抛物线型变化；5、6月份降水与产量呈直线关系（图略），前期降水对察右后旗牧草返青生长影响不大。各地区6月份以前降水对牧草产量的影响均为正相关，基本不存在水分过多现象，与该区域

春季十年九旱的气候特点相吻合。

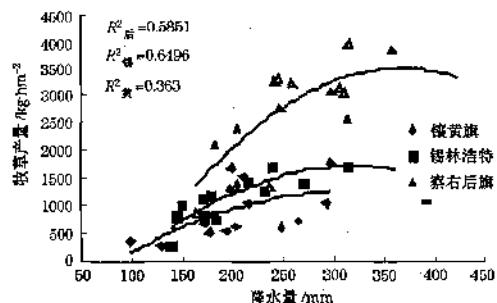


图3a 最高产量与4—8月降水的关系

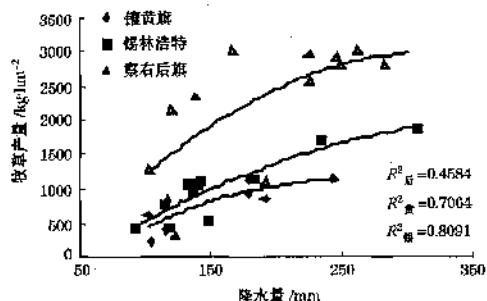


图3b 7月31日产量与4—7月降水的关系

### 2.3 土壤水分与牧草产量的关系

降水是以土壤水分的方式直接对牧草的生长发育起作用。通过不同时期产草量与前期土壤储水量的相关分析，看出土壤水分对牧草生长的影响程度远大于降水，并随时间推移累加效益增强。如表4所示：从3个地区的平均状况来看，相关程度以4—7月份最好，4—5月份最差；不考虑前期水分条件下，7月份的土壤储水量与7月底产量的相关最显著，说明该区域牧草的水分敏感期出现在

7月份。但地区间存在一定差异,锡林浩特地区4—6月的土壤水分对产草量影响最大,产量对春季土壤水分的依赖程度高于其它两地;而察右后旗4—8月的相关程度最高,春

季牧草返青生长对土壤水分的依赖性不及锡林浩特强,但相关也较为明显,春旱对牧草生长返青也有一定影响。

表4 不同时段土壤储水量与牧草产量的相关(相关系数 $r$ /样本数 $n$ )<sup>\*</sup>

测产时间 时段平均储水量	5月31日	6月30日	7月31日	8月31日	7月31日
	4—5月	4—6月	4—7月	4—8月	7月
锡林浩特	0.7888/13	0.8480/10	0.8217/12	0.7518/14	0.8605/12
镶黄旗	0.4972/15**	0.6716/17	0.7853/8**	0.7216/16	0.7354/8**
察右后旗	0.4377/14*	0.6438/11	0.8434/13	0.8776/14	0.8822/13
平均	0.5746/14	0.7211/13	0.8168/11	0.7837/15	0.8275/11

注:“\*\*”和“\*”分别显著水平 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.1$ ,未标注者 $\alpha=0.01$ 。

察右后旗土壤储水量与产草量关系曲线的走势相似于4月到7、8月份降水量与产草量关系曲线的走势,可用二次曲线拟合,而4月到5、6月份的曲线走势与降水的不同(见图4),反映出该地区不仅夏季有土壤水分供给过剩造成减产的现象出现,而且春季也有土壤水分过多而抑制牧草生长的现象。锡林浩特和镶黄旗土壤储水量与产草量关系曲线的走势,在各生长时期均保持直线关系,且相关程度较高,以4—7月份相关最好(图略),说明夏季降水在0~50cm土层内下层渗漏或径流等损失现象较严重,利用50cm以上土层的水分含量反映土壤对牧草生长的供水量存在偏颇,下层水分对牧草生长的影响不容忽视。同时也说明土壤接纳雨水的能力弱,目前观测到的资料尚未反映出最适土壤储水量,即上限值。

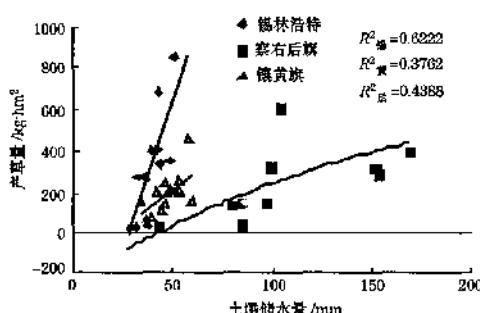


图4a 4—5月土壤储水量与5月底产量的关系

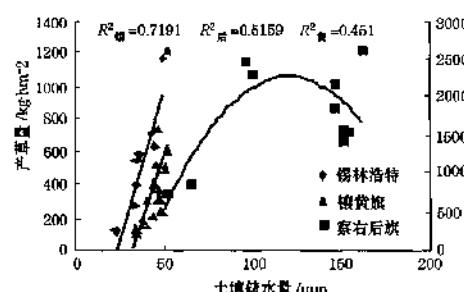


图4b 4—6月水分储水量与6月底产草量的关系

#### 2.4 耗水量与牧草产量的关系

耗水量可以反映草原群落水分的收支情况。由于典型草原区强降水过程少,地势较平坦,地下水位深,群落低矮稀疏,土层相对较薄,径流、深层渗漏和补给、及植物截流等对0~50cm土层的土壤储水量影响不大<sup>[4]</sup>,且深层土壤水分资料缺乏,可利用简化的水分平衡公式来计算草地耗水量。即,典型草原区简化的水量平衡公式可表示为:

$$W_i = W_{i-1} + R_i - E_i \quad (1)$$

式(1)也可写成:

$$E_i = W_{i-1} - W_i + R_i \quad (2)$$

式中 $W_i$ 、 $W_{i-1}$ 分别为时段末和时段初土壤水分储量, $R_i$ 为时段内降水量, $E_i$ 为时段内耗水量,单位均为mm。

利用1986—2002年3个地区土壤水分、各月降水量和产量资料,根据式(2)计算各年

度不同时段的草地耗水量,统计了其与产草量的相关程度(表5),并绘制了相应的关系图(略)。

表5 各站点耗水量( $E_n$ )与同时段产量( $Y_i$ )的相关分析( $r/n$ )<sup>\*</sup>

耗水时段	4—5月(5月)	4—6月(5—6月)	4—7月(5—7月)	4—8月(5—8月)
测产日期	5月31日	6月30日	7月31日	8月31日
锡林浩特	0.7224/12***	0.7805/10***	0.8717/11***	0.8992/14***
察右后旗	-0.354/14	0.3489/11	0.6289/13**	0.8618/14***
镶黄旗	0.407/15	0.3754/16	0.8439/8***	0.7371/14***

注:察右后旗时段从5月份开始统计。“\*\*”和“\*\*\*”表示显著水平 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$

图4和表5显示,各站点4月至7、8月份产草量与前期耗水量的关系十分密切,相关程度好于降水和土壤水分与产草量的相关程度,并呈直线变化,耗水量越多产草量越高;6月份以前除了锡林浩特相关程度高外,其它两个站点耗水量与产草量的关系不明显,相关程度小于降水和土壤水分,特别是察右后旗5月份出现负相关,分析其原因很可能是因为:(1)耗水量的计算只考虑50cm以上土层的土壤水分,对于土壤质地良好,下层储水较多的地区,未考虑下层水分对产量的贡献势必会造成较大误差,若用1m深土壤水分进行计算效果可能会好一些;(2)水分不是唯一限制牧草前期产量的因素,温度也有较大影响。镶黄旗的效果也不理想,是否与耗水量的计算有关,还有待于进一步分析。

### 3 主要结论

根据上述分析可以得出以下几点结论。

(1)不同的水分供给方式与牧草产量的相关性不同。总体而言,与产量的相关以土壤水分最好,耗水量次之,降水量最差。从变化曲线上看,降水与产草量的关系多呈二次曲线变化,土壤水分和耗水量与产草量的关系多呈直线变化。

(2)水分因子与产草量的关系在时间尺度上存在前期相关性差,随生长进程的推进,相关程度呈逐渐增强的趋势,同时存在累加效应。尽管如此,春季土壤水分与前期产量

的关系均达到显著水平,而春季降水量和耗水量与产量关系不密切,一是说明牧草返青期水分不是唯一的关健影响因子,二是春季底墒对牧草返青和产量的贡献大于春季降水。

(3)由于土壤质地和气候条件的地域差异,各站点水分因子与牧草产量的密切程度和曲线走向不同。锡林浩特各水分因子各时期的的相关性总体上最好,一方面表明土壤水分和产草量资料的代表性好,观测误差小,另一方面反映出该地区牧草产量所需的水分基本由0~50cm土层提供,且降水也主要贮存在该土层中。察右后旗土壤水分物理特性较好,降水较多,土壤水分和降水与产草量的二次曲线特征明显。此外,利用0~50cm土层水分作为牧草生长的供水量,对于土层深厚的察右后旗来说显然欠妥,应考虑下层水分的补给和对产量的影响。

### 参考文献

- [1] 王英舜,杨文义,贺俊杰,等.草原干旱对天然牧草生长发育及产量形成的影响[J].气象,27(2):12-15.
- [2] 马开玉,张耀存,陈星.现代应用统计学[M].北京:气象出版社,2004:15-16.
- [3] 陈仲全,何友松.干旱气候[M].兰州:甘肃教育出版社,1991:43-45.
- [4] 孙金铭.气候条件与内蒙古草原畜牧业[C].畜牧气象文集,北京:气象出版社,1991, 14-19.