

呼伦贝尔典型草原区牧草气候生产潜力评估

赵慧颖¹, 魏学占², 乌秋力¹, 赵恒和³, 田辉春³

(1. 内蒙古呼伦贝尔市气象局, 内蒙古 海拉尔 021008; 2. 内蒙古自治区气象局, 内蒙古 呼和浩特 010051;
3. 青海省海南地区气象局, 青海 海南 813000)

摘要: 利用迈阿密模型和 Tharntwaite Memorial 模型研究了呼伦贝尔典型草原区 6 个旗县牧草气候生产潜力, 结果表明, 牧草气候生产潜力在 4925.500~5551.542 kg/(hm²·a), 潜力较大, 地区差异不很明显; 最大潜力地区在降水量较多的陈旗以南一带, 北部新右旗至满洲里一带的降水较少, 气候潜力普遍偏低; 牧草气候资源潜力的利用率陈旗以南地区为 34.2%~37.9%, 新右旗至满洲里一带为 27.6%~30.9%, 表明现实的生产力远未达到气候生产潜力, 尚有很大潜力可以开发; 与气温相比, 降水量是限制该地区牧草气候生产潜力的主导因素, 决定牧草气候生产潜力高低的关键因子是水热组合情况; 在温度不变的情况下, 降水每增加 1 mm, 牧草的生产潜力增加 8.7111~14.0877 kg/(hm²·a); 用气温、降水量与牧草气候生产潜力建立的 6 个县级单元气候评估模式均通过了 0.01 信度检验, 模拟的平均相对误差均 < 5%, 可以用于未来气候变化条件下呼伦贝尔草地生产力的评估研究。

关键词: 牧草气候生产潜力; 迈阿密模型; 气候资源潜力利用率; 气候变化; 典型草原区

中图分类号: S1621.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)01-0137-04

呼伦贝尔典型草原区位于大兴安岭西侧、内蒙古东北部, 地处北纬 47°10'~50°10', 东经 115°03'~121°10', 行政区域包括 6 个县级单元, 土地总面积 9.4×10⁴ km², 草地总面积 709.80×10⁴ hm²。因水草丰美而成为全国著名的畜牧业生产基地, 但该区地处欧亚大陆中纬度地带, 远离海洋, 大陆度在 70~85 之间, 大部分地区属中温带大陆性季风气候, 年平均气温 -0.8~1.8℃, 年降水量 240~360 mm, 无霜期 90~105 d, 容易受干旱、低温冷害等气象灾害的侵袭, 目前, 该区的社会生产力水平较低, 至今摆脱不了“靠天养畜”的局面。天然牧草产量的高低主要取决于当地的气候环境及其变化^[1], 因此, 探讨天然牧草生产潜力, 首先要从影响牧草产量的主要环境因子——气候、气候变化方面入手, 进而研究牧草气候生产潜力随气候变化的规律。

近年来, 国内外研究植物气候生产潜力的报道较多^[2~12]。但受经济发展和科研水平的限制, 到目前为止, 关于研究该区牧草气候生产潜力的报道尚未见到。因此, 本文着重分析呼伦贝尔草地牧草气候生产潜力地理分布特征, 评估气候变化对其产生的影响。旨在为充分利用气候资源, 发挥牧草气候生产潜力, 制定相应对策, 提高生产力, 合理布局畜牧业生产, 为天然牧草第一性生产力的动态监测和

发展草业生产提供可参考的理论依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

本研究利用的各时段气温、降水量等气象资料为位于典型草原区的 6 个旗县气象台站 1971~2005 年的观测资料。天然牧草产草量资料为鄂温克旗畜牧业气象试验站(巴彦托海镇)1982~2005 年观测资料, 观测场为天然草场, 观测场面积为 1.00 hm², 设置围栏围封保护。其它 5 个旗县 1992~2005 年牧草产量为调查资料。

1.2 研究方法

在众多的计算植物气候生产力模型中, 选取了江爱良模型、Tharntwaite Memorial 模型和迈阿密模型进行本地化试验后发现: 江爱良模型考虑的气象因素较多, 但光合辐射资料难以得到, 且光能因子又不是影响该区牧草生长的主要因子; Tharntwaite Memorial 模型考虑了蒸散因子, 而迈阿密模型则考虑了气温和降水因子, 这两种方法基本反映了该区影响牧草生长发育的关键因子为降水量、气温和蒸散的特点。综上分析, 本文选用迈阿密模型和 Tharntwaite Memorial 模型计算当地牧草的气候生产潜力。

收稿日期: 2007-01-05

基金项目: 呼伦贝尔市科技攻关项目(20050105)

作者简介: 赵慧颖(1964—), 男, 黑龙江讷河县人, 高级工程师, 在读硕士研究生, 主要从事应用气象、气候与生态研究。E-mail: zhao-hyy2008@yahoo.com.cn。

通讯作者: 田辉春(1964—), 男, 青海西宁人, 工程师, 主要从事应用气象研究。

迈阿密模型为^[13,14]:

$$W_T = 30000 / (1 + e^{1.315 - 0.119T}) \quad (1)$$

$$W_R = 30000(1 - e^{-0.000664R}) \quad (2)$$

式中, T 为年平均气温($^{\circ}\text{C}$); R 为年降水量(mm); e 取 2.7183; W_T 、 W_R 分别表示由年平均气温、年平均降水量决定的干物质的产量 $[\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$ 。

Tharntwhaite Memorial 模型为^[15,16]:

$$W_V = 30000(1 - e^{-0.0009695(V-20)}) \quad (3)$$

式中, W_V 为蒸散量决定的植物干物质产量 $[\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$, V 是年平均实际蒸散量(mm), 可用下式计算:

$$V = 1.05R / [1 + (1.05R/L)^2]^{1/2} \quad (4)$$

式中, R 为年平均降水量(mm); L 为年平均最大蒸

散量(mm), 它是年平均温度 T 的函数, L 与 T 之间存在如下关系:

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad (5)$$

采用(1)~(3)式同时估算某地植物气候生产力时, 需用 Liebig 定律取三者中较低值做标准值(W)。 W 为草地牧草气候生产潜力 $[\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$ 。

2 结果与分析

2.1 牧草气候资源生产潜力的计算与分析

根据两个模型, 用公式(1)~(3)分别计算牧草气候资源生产潜力, 得到由多年平均气温、降水量、蒸散量所确定的牧草气候生产潜力(见表 1)。

表 1 典型草原区牧草气候资源生产潜力 $[\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$

Table 1 The production potential of climate resources of typical grassland

地名 Area	C (%)	T ($^{\circ}\text{C}$)	R (mm)	V (mm)	W_T	W_R	W_V	W	限制因子 Limiting factor
海拉尔 Hailar	36.1	-0.2	354.0	231.1	6231.180	6284.240	5551.542	5551.542	V
鄂温克 Ewenk	37.9	-0.3	329.3	223.3	6172.634	5893.673	5367.730	5367.730	V
陈旗 Chenqi	34.2	-0.8	331.8	218.2	5886.031	5932.059	5245.549	5245.549	V
满洲里 Manzhouli	27.6	-0.1	288.5	212.3	6290.134	5230.028	5101.597	5101.597	V
新右旗 Xinyuoqi	27.8	1.7	246.4	206.5	7420.994	4527.825	4962.135	4527.825	R
新左旗 Xinzuoqi	30.9	0.8	270.1	212.3	6839.106	4925.500	5101.511	4925.500	R

从表 1 可以看出, 由降水量和蒸散量决定的牧草生产潜力二者值比较接近, 由温度决定的牧草生产潜力的值则偏高, 说明与气温相比, 降水量是限制该地区牧草气候生产潜力的主导因素, 而决定牧草气候生产潜力高低的关键因子是水热组合情况。分析代表呼伦贝尔草地牧草气候生产潜力 W 值可知, 该区牧草气候生产潜力较大, 地区差异不很明显, 地理分布与降水量分布趋势一致。比较而言, 潜力最大的地区是在降水量较多的陈旗及以南海拉尔、鄂温克一带, 北部新右旗、新左旗至满洲里一带的降水较少, 生产潜力普遍偏低。

为了分析气候资源的利用状况, 可以用牧草的实际生产力(牧草产量多年平均值)与牧草气候生产潜力的百分比(C)表示气候资源生产潜力的利用率, 公式为: $C = (\text{实际生产力}/\text{气候生产潜力}) \times 100\%$ 。用各地监测、调查的实际牧草产草量表示实际生产力, 计算 C 值(见表 1)。在陈旗以南地区为

34.2%~37.9%, 新右旗至满洲里一带为 27.6%~30.9%, 表明现实的生产力远未达到气候生产潜力, 尚有 60% 以上的潜力可以开发。气候资源生产潜力的利用率(C)较小主要是受到两方面的限制: 一是现有的牧业资金、技术投入及管理水平还比较落后, 二是降水的季节分配不均且变率大, 该区约 75%~90% 的降水集中在 7、8 月份, 干旱、风沙、霜冻、冰雹等自然灾害频繁, 土地退化迅速。因此, 要想提高气候资源生产潜力的利用率必须从这两方面入手, 加大对牧业的物资、科技投入, 改善牧业生产条件, 积极实施人工增雨、节水灌溉工程, 保护生态环境, 降低自然灾害发生的频率。

2.2 牧草气候生产潜力对气候变化的响应

2.2.1 气候资源的变化趋势 选用典型草原区 6 个气象台站 1971~2005 年年平均气温、最冷月气温、最热月气温和年降水量资料, 绘制了各个台站各项平均资料逐年变化曲线图(图略)。分析可知, 气

温在波动中逐渐升高,典型草原区变暖趋势明显,降水量变化不大,呈微弱的“单峰型”,总趋势是减少的,表明该区干旱有加重的趋势。根据图形的变化,将 1971~2005 年时间段分为 1971~1983 年、1984~1995 年、1996~2005 年三个时间段,统计各个时段气象要素的均值(见表 2)。由表 2 可知:1984~1995 年与 1971~1983 年相比,年平均气温增加了 0.7~1.3℃,最冷月平均气温升高了 0.4~1.5℃,

最热月平均气温变化不大,稍有降低,降水量增加 14%以下,这说明此时段本区气候变暖主要体现在冬季增温,冬季增温可能使该地区春季的干旱进一步加剧;1996~2005 年与 1984~1995 年相比,年平均气温增加为 0.6℃以下,最冷月平均气温微降 0.5℃左右,最热月平均气温升高了 1.3~2.0℃,这说明此时段本区气候变暖主要体现在夏季增温,降水量降低了 15%左右,牧草生长季干旱明显。

表 2 典型草原区不同时期水热资源变化

Table 2 Distribution of annual temperature and precipitation of typical grassland

单元 Modules	1971~1983				1984~1995				1996~2005			
	T	TL	TR	R	T	TL	TR	R	T	TL	TR	R
海拉尔 Hailar	-1.6	-25.7	19.8	331.4	-0.5	-24.5	19.7	368.2	0.0	-24.8	21.1	355.2
鄂温克 Ewenk	-2.1	-26.5	19.8	335.3	-1.1	-25.4	19.6	349.5	-0.7	-26.0	20.9	324.7
陈旗 Chenqi	-2.2	-27.1	19.8	320.9	-0.9	-25.6	19.7	366.1	-0.6	-26.1	21.1	311.7
满洲里 Manzhouli	-1.2	-23.4	19.6	283.3	-0.5	-23.0	19.3	319.6	0.1	-23.3	21.3	256.2
新右旗 Xinyouqi	0.6	-21.8	21.7	237.6	1.4	-21.0	21.1	279.7	1.7	-21.3	22.9	223.5
新左旗 Xinzuoqi	-0.2	-23.6	21.2	268.2	0.5	-23.0	20.6	287.1	0.9	-23.7	22.2	282.0

注: TL 为最冷月平均气温(℃), TR 为最热月平均气温(℃)。

Note: TL means the average temperature (°C) in the coldest month, while TR means the average temperature (°C) in the hottest month.

2.2.2 牧草气候生产潜力随气候变化规律 牧草气候生产潜力是指在土壤养分、技术管理水平保持最适宜状态时,由光照、温度和自然降水等三个因子共同决定的产量,是优化管理及自然降水条件下一个地区可能达到的牧草产量的上限。综合上述分析可知,气温和降水量的组合是影响该地区牧草气候生产潜力的主要因子。为了分析气候变化对牧草气

候生产潜力的影响,利用(1)~(3)式估算的各县级单元 1971~2005 年牧草气候生产潜力与年平均气温、降水量做回归分析,数学模型为:

$$W = a + bT + cR \quad (6)$$

式中, W 为牧草气候生产潜力, T、R 含义同上; a、b、c 为待定系数,用最小二乘法求算。各县级单元牧草气候生产潜力的回归参数见表 3。

表 3 各县级单元牧草气候生产潜力的回归模式参数

Table 3 The regression parameter of the climate production potential of grass of each county level unit

单元 Modules	a	b	c	r
海拉尔 Hailar	2377.672	216.7314	8.9243	0.9434
鄂温克 Ewenk	2216.803	105.7781	10.2214	0.9587
陈旗 Chenqi	2597.965	152.9614	8.7111	0.9359
满洲里 Manzhouli	1903.215	-37.3217	9.6215	0.9536
新右旗 Xinyouqi	1220.154	-187.9124	14.0877	0.9817
新左旗 Xinzuoqi	1573.755	-47.8384	12.0033	0.9646

从表 3 可以看出,最小的相关系数(r)值为 0.9359,6 个回归模式均通过了 0.01 的信度检验。用 6 个气候模式模拟的平均相对误差均 < 5% (平均相对误差海拉尔为 0.4%、鄂温克为 0.6%、陈旗为 2.7%、满洲里为 4.5%、新右旗为 4.7%、新左旗为 4.4%),模拟效果很好。

温度与降水对牧草气候生产潜力的影响都具有正效应,温度与降水的综合关系为:当温度每升高 1℃,降水增加 1 mm 时,牧草气候生产潜力分别增加 216.7314、105.7781、152.9614 kg/(hm²·a) 和 8.9243、10.2214、8.7111 kg/(hm²·a)。而满洲里、新右旗、新左旗温度与降水对牧草气候生产潜力的影响是相反的,温度为负效应,降水为正效应,温度

分析回归方程可以看出,海拉尔、鄂温克、陈旗

与降水的综合关系为:当温度每降低 1°C , 降水增加 1 mm 时, 牧草的气候生产潜力分别增加 37.3217 、 181.9124 、 $47.8384\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 和 9.6215 、 14.0877 、 $12.0033\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

3 结论与讨论

1) 该区牧草气候生产潜力较大, 地区差异不很明显, 其地理分布与降水量分布趋势一致。牧草气候生产潜力最大的地区在降水量较多的陈旗以南地区, 北部新右旗至满洲里一带的降水较少而普遍偏低。该区气候资源潜力的利用率较低, 陈旗以南地区为 $34.2\% \sim 37.9\%$, 新右旗至满洲里一带为 $27.6\% \sim 30.9\%$, 表明现实的生产力远未达到气候生产潜力, 尚有很大潜力可以开发。要想提高气候资源潜力的利用率必须加大对牧业的物资、科技投入, 改善牧业生产条件, 积极实施人工增雨、节水灌溉工程, 保护生态环境, 降低自然灾害发生的频率。

2) 典型草原区牧草气候生产潜力随气候的变化而变化, 其大小主要取决于气温和降水的组合情况, 利用气温和降水建立的草地生产潜力气候模式模拟效果很好, 6 个县级单元模式模拟的平均相对误差均 $< 5\%$, 可以用于未来气候变化条件下呼伦贝尔草地生产力影响的评估研究。

3) 在降水不变的情况下, 温度每升高 1°C , 海拉尔、鄂温克、陈旗牧草生产潜力分别增加 216.7314 、 105.7781 、 $152.9614\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 而满洲里、新右旗、新左旗的牧草生产潜力分别减少 37.3217 、 181.9124 、 $47.8384\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; 在温度不变的情况下, 降水每增加 1 mm , 海拉尔、鄂温克、陈旗、满洲里、新右旗、新左旗的牧草生产潜力分别增加 8.9243 、 10.2214 、 8.7111 、 9.6215 、 14.0877 、 $12.0033\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

4) 本文只就气候条件对草地牧草生产潜力的影响进行了研究, 而对生产技术、植被群落组成、生理生态的内在机制等因子考虑较少。因此, 自然因

素和社会、经济、技术因素对草地生产潜力的综合影响是今后重点研究的内容。

参考文献:

- [1] 邓根云, 冯雪华. 我国光温资源与气候生产潜力[J]. 自然资源, 1980, (4): 11—16.
- [2] 孙艳玲, 延晓冬. 基于布迪科指标的中国植被—气候关系研究[J]. 资源科学, 2006, 28(3): 23—29.
- [3] 谢云, 王晓岚. 近 40 年中国东部地区夏秋粮食作物气候生产潜力时空变化[J]. 资源科学, 2003, 25(2): 7—13.
- [4] 杨小利. 陇东黄土高原牧草气候生产潜力评价[J]. 草业科学, 2003, 23(2): 1—5.
- [5] 崔文芳, 高聚林, 刘克礼, 等. 呼伦贝尔岭东南旱作丘陵区气候资源潜力分析[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(3): 126—131.
- [6] 姚玉璧, 李耀辉, 王毅荣, 等. 黄土高原气候与气候生产力对全球气候变化的响应[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 206—212.
- [7] 王毅荣, 张存杰. 中国黄土高原气候生产力次区域反向演变特征[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 190—194.
- [8] 赵艳霞, 王馥棠, 刘文泉. 黄土高原气候生态环境、气候变化与农业气候生产潜力[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 145—149.
- [9] 李镇清, 刘振国, 陈佐忠. 中国典型草原区气候变化及其对生产力的影响[J]. 草业学报, 2003, 12(1): 4—10.
- [10] 徐雨晴, 陆佩玲. 气候变化对植物物候影响的研究进展[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 129—136.
- [11] 李广, 黄高宝. 北方农牧交错带气候变化对农作物生产力影响的诊断分析[J]. 干旱区资源与环境, 1997, 20(1): 104—107.
- [12] 李英年. 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[J]. 草业学报, 2000, 9(2): 77—82.
- [13] 林贤福. 应用迈阿密模型分析宁德市土地气候生产潜力[J]. 宁德师专学报, 2006, 18(1): 13—15.
- [14] 陈国南. 用迈阿密模型计算我国生物生产量的初步尝试[J]. 自然资源学报, 1987, 2(3): 270—278.
- [15] 唐冲, 马礼, 杜淑焕. 尚义县气候资源生产潜力及其耕地人口承载力研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(4): 284—287.
- [16] 侯光良, 游松才. 用筑后模型估算我国植物气候生产力[J]. 自然资源学报, 1990, 5(1): 60—65.

(下转第 159 页)

distribution, and the precipitation gross took on reducing trend from 1986. Contrast analysis showed that winter wheat yield increased by $420\sim 720\text{ kg/hm}^2$ if there was plenty rainfall in July to October last year and April to June the same year, while the yield reduced by $180\sim 660\text{ kg/hm}^2$ if the rainfall was too little. Plenty rainfall made the yield of maize increase by 435 kg/hm^2 , while too little rainfall made it reduce by 435 kg/hm^2 in April to September in the same year.

Key words: Loess Plateau; half-year of summer; precipitation; space-time distribution; grain yield

(上接第 140 页)

Assessment of climate potential for forage production in typical grassland

ZHAO Hui-ying¹, WEI Xue-zhan², WU Qiu-li¹, ZHAO Heng-he³, TIAN Hui-chun³

(1. Hulunbeier Meteorological Bureau, Hailaer, Inner Mongolia 021008, China;

2. Inner Mongolia Autonomous Region Meteorological Bureau, Huhehaote, Inner Mongolia 010051, China;

3. Hainan Meteorological Bureau, Hainan, Qinghai 813000, China)

Abstract: Calculated with Miami model and Matharntwhaite Memorial model, the climate potential for forage production in the typical Hulun Buir Grassland is $4925.500\sim 5551.542\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$. With great general climate potential for forage production, the regional differences are not obvious. The maximum of the potential is in the areas south of Chen Qi where the precipitation is relatively high, while the potential is generally little in the northern part of New Right Banner to Manzhouli area where the precipitation is low. The utilization efficiency of climate potential is $34.2\%\sim 37.9\%$ in the area south of Chenqi, $27.6\%\sim 30.9\%$ in the area from New Right Banner to Manzhouli, indicating that the real productivity is far bellow from the climate production potential, and there is a great potential for development. Compared with temperature, precipitation is the dominant factor of climate production potential in the region. The composition of heat and water is the key factor for the production potential. When temperature remains unchanged, the forage production potential increases by $8.7111\sim 14.0877\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ with the precipitation increased by 1 mm . The six county-level climate assessing models established with the factors of temperature, precipitation and grassland productivity all passed 0.01 reliability test. The simulated average relative errors are $<5\%$, so it can be used in future assessment of climate change in the Hulun Buir grassland productivity research.

Key words: climate potential for forage production; Miami model; climate utilization; climate change; typical grassland