

气候变化对内蒙古巴雅尔图胡硕草地生产力的影响

杨泽龙¹ 巴 彦¹ 陈 杰² 侯 琼¹ 李喜仓³

(1. 内蒙古自治区气象科学研究所, 呼和浩特 010051;
2. 内蒙古自治区气象局; 3. 内蒙古自治区气候中心)

提 要: 利用内蒙古巴雅尔图胡硕地区 1960—2005 年间的气象观测资料, 以及 1983—2002 年间的牧草产量资料, 在对 Miami 模型和 Thornth waite Memorial 模型 2 个气候生产力模型进行比较的基础上, 分析了该地区草地生产力气候变化响应特征。结果表明, 年平均气温与年平均最低气温的逐渐升高, 对巴雅尔图胡硕草地生产力的提高较为有利。但从气温与降水之间的组合效应来看, 由于气温与降水存在负相关性, 随着气温的不断升高, 降水量会不断减少, 草地生产力将随之降低。

关键词: 气候生产力 气候变化 生产力模型 草甸草原

引 言

气候是天然草地植物群落能量流动的主要自然条件, 研究气候对草地生产力的影响, 不仅是进行草地植物群落能流研究的基础, 也是深入了解气候影响草地生态系统功能的基础。自 1960 年代以来, 国内外针对气候与植被初级生产力关系, 开展了大量的研究工作, 建立了各种气候生产力模型^[1-5]。其中, 具有深远影响的是早在 1963—1972 年间, 联合国教科文组织的国际生物学计划 (IBP), 通过大量植物初级生产力 (NPP) 的测定, 结合气候与环境因子建立了 Miami 模型、Thornth waite Memorial 模型等气候生产力模型^[6], 这些模型参数少, 形式简洁, 便于分析, 至今被广大气候生态学者所应用^[3,7,8]。目前, 植被初级生产力已成为

国际地图—生物圈计划 (IGBP)、以及全球变化与陆地生态系统 (GCTE) 研究的核心内容之一^[9]。内蒙古草原是国际地图—生物圈计划 (IGBP) 全球变化研究的典型陆地样带—中国东北温带森林—草原样带 (NECT) 的组成部分^[10,11], 在全球生态学领域具有十分重要的研究地位。本文以位于该样带的内蒙古通辽市扎鲁特旗巴雅尔图胡硕草地为研究对象, 利用该地区较长时间序列的气象与牧草产量资料, 分析了气候变化特征及其对草地生产力波动的影响, 这对于深入进行气候变化与草地生产力关系研究, 具有一定的参考意义。

1 资料与方法

气象观测资料与牧草产量数据均源于内

蒙古巴雅尔图胡硕牧业气象试验站，该站点地理坐标为 $45^{\circ}04'N$ 和 $120^{\circ}20'E$ ，观测场所在草地类型为草甸草原，主要牧草种类有：早熟禾、针茅、扁蓿豆、胡枝子、草地看麦娘、赖草、苔草及艾蒿等。观测场地上生物量受观测测产干扰之外，无放牧及其他人为干扰。数据分析以年平均气温（Annual Average Temperature, AAT）、年平均最高气温（Annual Highest Temperature, AHT）、年平均最低气温（Annual Lowest Temperature, ALT）以及年降水量（Annual Precipitation, AP）为指标，以 SAS 8.1 软件运用主成分分析方法分析了 1960—2005 年近 46 年的气候变化特征。以牧草产量（Above-ground Biomass, AB）作为草地实际生产力衡量指标，并以牧草产量占草地气候生产潜力比例，作为分析草地生产力响应气候变化影响的指标。草地气候生产潜力以 Miami 模型和 Thornthwaite Memorial 模型 2 个气候生产力模型进行计算：

(1) Miami 模型

$$P_t = 3000 / [1 + \exp(1.1315 - 0.1190t)];$$

$$P_p = 3000 [1 - \exp(0.00064p)];$$

$$P_{(t/p)} = \min(P_t, P_p)$$

式中： t 为年平均温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）； p 为年降水量（mm）； P_t 和 P_p 分别表示以温度和降水量估算的植物干物质产量（ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ）； $P_{(t/p)}$ 为植被初级生产力，单位 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。根据 Liebig 限制因子定律， $P_{(t/p)}$ 值选取 P_t 和 P_p 两者中的最低值作为各计算点的生物生产力数据。

(2) Thornthwaite Memorial 模型

$$P_v = 3000 \{1 - \exp[-0.0009695(V - 20)]\}$$

式中： P_v 表示以年蒸散量估算的植物干物质产量（ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ）； V 表示年蒸散量，由 Ture 公式计算求得：

$$V = 1.05p / \sqrt{1 + (1.05p/L)^2}$$

其中， p 为年降水量（mm）， $L = 300 + 25t$

$+ 0.05t^3$ ， t 为年平均气温（ $^{\circ}\text{C}$ ）。此外，为分析草地生产力对气候变化的响应特征，在计算气候生产力时对气象数据和牧草产量数据均进行了不同年度间隔的滑动平均处理。

2 结果与分析

2.1 气候变化特点

依据近 46 年（1960—2005）年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温与年降水量变化趋势（图 1），巴雅尔图胡硕年平均气温与年平均最低气温呈明显增高趋势，降水呈一定的降低趋势，年平均最高气温则没有明显的增减趋势。从主成分分析结果（表 1）来看，前 3 个主成分的累积贡献率达到了 0.95 以上，基本可以代表巴雅尔图胡硕地区近 46 年来气候变化的全部信息。第一主成分的方差贡献率为 0.525，是气候变化的主体信息。其特征向量以年平均气温（ X_1 ）的绝对值为最大。因此，年平均气温的变化是巴雅尔图胡硕气候变化的主要信息。在第二主成分和第三主成分的特征向量中，各指标的绝对值分别以年平均最低气温（ X_3 ）和降水（ X_4 ）、以及年平均最高气温（ X_2 ）和降水（ X_4 ）为高。因此，极端气温与降水之间的组合效应变化是巴雅尔图胡硕

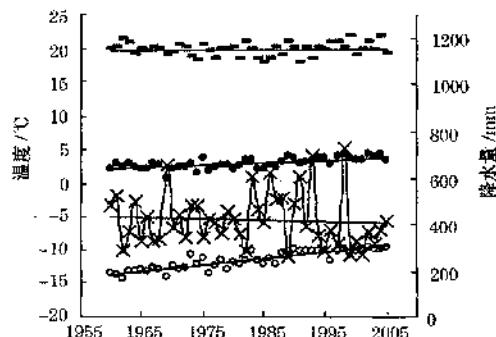


图 1 近 46 年气温与降水变化趋势

● ATT; — AHT; ○ ALT; × AP

表 1 各主成分累积贡献率及其特征向量

主成分	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4
累积贡献率	0.5250	0.8472	0.9784	1.0000
特征向量	0.6428(X ₁) 0.4698(X ₂) 0.4867(X ₃) -0.3595(X ₄)	0.2500(X ₁) -0.4907(X ₂) 0.5839(X ₃) 0.5964(X ₄)	0.1198(X ₁) 0.6403(X ₂) -0.2463(X ₃) 0.7176(X ₄)	-0.7141(X ₁) 0.3585(X ₂) 0.6013(X ₃) 0.0057(X ₄)

注: 表中 Prin1、Prin2、Prin3、Prin4 分别表示第一、第二、第三和第四主成分; X₁、X₂、X₃、X₄ 分别代表 4 个气象指标 AAT、AHT、ALT、AP。

气候变化的另一个重要方面。从各气象指标之间的相关性来看, 年平均气温与年平均最低气温具有很高的正相关关系; 而 3 个气温指标与降水之间均呈负相关(见表 2)。

表 2 各气象指标间的相关矩阵

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
X ₁	1.0000	0.4942	0.7926	-0.2483
X ₂	0.4942	1.0000	0.0469	0.4906
X ₃	0.7926	0.0469	1.0000	-0.0110
X ₄	-0.2483	0.4906	-0.0110	1.0000

注: 表中 X₁、X₂、X₃、X₄ 代表意义同表 1。

总体上看, 巴雅尔图胡硕近 46 年气候变化的特点主要体现在 2 个方面: (1) 年平均气温逐渐升高, 并与年平均最低气温的逐渐升高存在较高的相关性; (2) 降水量呈一定降低趋势, 极端气温与降水之间的组合效应变化是巴雅尔图胡硕气候变化的重要方

面。

2.2 两种气候生产力模型比较

由于当年的牧草实际生产力与前一年(或前几年)的生产力状况有较为密切的关系, 而且除受气候因素影响之外, 草地植物群落演替以及生物种间关系等都会影响到草地生产力的波动。要分析草地生产力的气候变化响应特征, 以不同年度间隔进行滑动平均处理, 有助于进一步分析草地实际生产力响应气候变化的时间尺度。为此, 利用巴雅尔图胡硕 1983—2002 年间的年平均气温、年降水量和牧草产量数据, 以 1~10 年共 10 个年度滑动间隔分别计算 $P_{(t/p)}$ 、 P_v 及 AB 值, 得出不同滑动间隔下 2 种气候生产力数据之间及其与牧草产量相关性的变动情况(见表 3)。

表 3 两种气候生产力数据之间及其与牧草产量的相关系数

Intervals	1 年	2 年	3 年	4 年	5 年	6 年	7 年	8 年	9 年	10 年
$P_{(t/p)} - P_v$	0.9736	0.9884	0.9788	0.9672	0.9634	0.9542	0.9424	0.9509	0.9563	0.9370
$P_{(t/p)} - AB$	0.0740	0.1662	0.3987	0.2416	0.1356	0.0631	0.0295	-0.0145	-0.0626	-0.2393
$P_v - AB$	0.1421	0.1481	0.4010	0.3019	0.2811	0.2452	0.3228	0.2580	0.1902	0.0759

由表 3 计算结果可知, $P_{(t/p)}$ 与 P_v 值之间具有极高的相关性, 表明以 Miami 模型和 Thornth waite Memorial 模型所表示的气候生产力之间有很高的一致性。从不同滑动间隔下 2 种气候生产力数据与牧草产量的相关性来看, 3 年滑动间隔的相关系数最高,

且 P_v 与 AB 值之间的相关系数高于 $P_{(t/p)}$ 与 AB 值之间的相关系数。因此, 与 Miami 模型相比, Thornth waite Memorial 模型更能反映巴雅尔图胡硕地区草地的气候生产潜力。而且, 3 年滑动间隔是分析草地生产力响应气候变化的较好尺度。

2.3 草地生产力波动及其气候变化响应特征

依据 3 年滑动平均处理下牧草产量占 Thornthwaite Memorial 模型气候生产潜力比例, 以 50% 以下、50%~60% 和 60% 以上 3 个水平, 分析巴雅尔图胡硕草地生产力对气温与降水的响应特征, 结果见表 4。

在牧草产量占气候生产潜力 60% 以上的生产力水平上, 年平均气温 (AAT) 与年平均最低气温 (ALT) 高, 年平均最高气温 (AHT) 低, 降水量 (AP) 处于中等、或偏上水平。在 50% 以下的生产力水平上, 年平均气温与年平均最低气温处于中等水平, 年平均最高气温高, 降水量偏少。

在 50~60% 的生产力水平上, 年平均气温、年平均最高气温与年平均最低气温均比较低, 但降水量偏多。综合来看, 在年平均气温与年平均最低气温高、年平均最高气温低、并具有中等或偏上水平降水量的情况下, 巴雅尔图胡硕草地具有较高生产力。在年平均气温与年平均最低气温均比较低的情况下, 高降水量会补偿低温对草地生产力的影响。因此, 依据巴雅尔图胡硕地区气候变化趋势, 年平均气温与年平均最低气温的逐渐升高, 对巴雅尔图胡硕草地生产力的提高较为有利。但从气温与降水之间的组合效应来看, 由于气温与降水之间存在负相关性 (见表 2), 随着气温的不断升高, 降水量会不断下降, 草地生产力则随之降低。

表 4 草地不同生产力水平上气温与降水变化情况

	50% 以下	50%~60%	60% 以上
AAT/°C	3.45 (+0.41, -0.62)	3.41 (+0.87, -1.00)	3.60 (+0.23, -0.34)
AHT/°C	19.74 (+0.26, -0.67)	19.70 (+1.24, -1.46)	19.70 (+0.89, -0.89)
ALT/°C	-10.50 (+0.70, -0.75)	-10.56 (+0.67, -0.94)	-10.12 (+0.18, -0.35)
AP/mm	431.03 (+117.80, -108.50)	453.68 (+61.15, -163.35)	445.25 (+123.98, -114.35)

注: 表中数值为平均值及其最高、最低值相对于平均值的波动值

3 结语

植物初级生产力是陆地生态系统物质循环与能量流动的基础, 随着以全球变暖为特征的气候变化影响不断凸现, 植物初级生产力已成为气候变化影响研究的一个重要方面。内蒙古巴雅尔图胡硕草地处于草原—森林过渡带, 针对该植被类型开展初级生产力的气候变化影响研究, 对于比较和分析气候影响不同植被类型间的初级生产力, 具有一定的必要性。但由于缺乏牧草地下生物量观测资料, 对草地实际生产力不能作精确估算。因此, 在进行 2 种气候生产力模型的比较, 以及分析草地生产力的气候变化响应特

征时, 其结果较为粗略, 有待于作进一步的验证和分析。

参考文献

- [1] Potter, C. S. and J. T. Randerson et al. Terrestrial Ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data [J]. Global Biogeochemical Cycles, 1993, 7 (4): 811-841.
- [2] 朴世龙, 方精云, 郭庆华. 利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力 [J]. 植物生态学报, 2001, 25 (5): 603.
- [3] 田淑君, 洪伟, 吴承桢, 等. 自然植被净第一性生产力模型的改进 [J]. 江西农业大学学报, 2001, 23 (2): 248-252.
- [4] Parton W J, Scurlock J M O, Ojima D S, et al. Observations and modeling of biomass and soil or

- ganic matter dynamics for the grassland biome worldwide [J]. *Global Biogeochem. Cyc.*, 1993, 7: 785-890.
- [5] Kedek J, Heinmann M. A prognostic phenology scheme for global terrestrial carbon cycle models [J]. *Clim. Res.*, 1996, (6): 1-19.
- [6] 蔡承俊. 植被净第一性生产力及其对气候变化响应研究进展 [J]. 新疆气象, 2003, 26 (6): 1-12.
- [7] 李广, 黄高宝. 北方农牧交错带气候变化及草地生产力的响应——以甘肃省定县为例 [J]. 中国草地, 2005, 27 (1): 7-11.
- [8] 赵慧颖. 气候变化对典型草原区牧草气候生产潜力的影响 [J]. 中国农业气象, 2007, 28 (3): 281-284.
- [9] 朱文泉, 陈云浩, 徐丹, 等. 陆地植被净初级生产力计算模型研究述展 [J]. 生态学杂志, 2005, 24 (3): 296-300.
- [10] 白永飞, 李凌浩, 王其兵, 等. 锡林河流域草原群落植物多样性和初级生产力沿水热梯度变化的样带研究 [J]. 植物生态学报, 2000, 24 (6): 667-673.
- [11] 董云社, 章申, 齐玉春, 等. 内蒙古典型草地 CO₂、N₂O、CH₄通量的同时观测及其日变化 [J]. 科学通报, 2000, 45 (3): 318-322.