

黄土高原夏半年降水气候变化特征 及对作物产量的影响

王位泰^{1,2}, 张天锋², 姚玉璧³, 王润元¹, 郭江勇^{1,2}, 黄 斌²

(1. 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020;

2. 庆阳市气象局, 甘肃 西峰 745000; 3. 定西市气象局, 甘肃 定西 743000)

摘要: 利用黄土高原 56 站夏半年(4~10 月)降水总量资料, 分析了其空间基本分布特征, 用 EOF、REOF 方法对平均降水总量进行了气候分区, 用方差分析方法分析了其时间变化特征, 对比分析了多雨年和少雨年降水对冬小麦及玉米产量的影响。结果表明: 黄土高原夏半年降水具有明显的南北和东西差异, 可分为 6 个气候分区, 不同区域降水的年代际变化明显; 在时间分布上少雨年份和多雨年份交替出现, 自 1986 年以来降水总量趋于减少趋势; 对比分析表明, 上年 7~10 月和当年 4~6 月多雨使冬小麦产量增加 420~720 kg/hm², 少雨使冬小麦产量减少 180~660 kg/hm², 当年 4~9 月多雨使玉米产量增加 435 kg/hm², 少雨使玉米产量减少 435 kg/hm²。

关键词: 黄土高原; 夏半年; 降水; 时空分布; 粮食产量

中图分类号: S162.5⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)01-0154-06

由于工业革命以来人类活动日益增强, 特别是 CO₂ 等温室气体浓度的上升导致全球气候变化问题已成为目前国内外科学研究的焦点之一^[1]。气候变化对中国黄淮海农业区小麦生产的影响, 在不充分考虑 CO₂ 直接肥效情况下, 雨养区小麦全面减产, 灌溉区小麦产量维持现有水平, 但灌溉水量增加^[2]; 东北地区近 50 年来极端降水和干燥事件在时空演变上降水总量趋于减少, 降水时间有向极端化发展倾向, 特别是干旱加重, 对农业生产产生不利影响^[3]。

黄土高原深居中国内陆, 是典型的雨养旱作农业区, 也是我国气候变化与环境的敏感脆弱区之一^[4]; 分析表明黄土高原地区冬小麦生态和农业物候对气候变暖的响应关系显著^[5,6]; 已有的研究对黄土高原区域的春季第一场透雨与春季 3~5 月降水气候特征^[7]、近代降水变化特征^[8]和年际降水时空分布规律^[9,10]进行了深入探讨; 黄土高原秋季降水年际和年代际气候变化具有明显的持续阶段和转折变化特征^[11]。

黄土高原夏半年(4~10 月, 下同)降水分布变化对冬小麦拔节、孕穗、抽穗、乳熟和秋播、幼苗生长及分蘖等关键发育有重要影响, 同时直接制约着春

小麦、大秋作物和果树瓜类与饲草等的生长发育。本文通过对近 40 a 夏半年黄土高原地区降水的空间分布和时间变化特征分析, 并探讨夏半年极端降水气候变化与冬小麦和玉米产量的相关关系及影响, 对科学评价和开发利用本区气候资源, 为政府有关部门决策农业生产年度布局、调整农业生产结构和发展区域特色经济等, 提供科学参考依据。

1 资料样本与分析方法

1.1 资料样本

降水资料选取黄土高原地区 56 个站 1961~2000 年夏半年降水总量序列(标准化处理资料和部分代表站降水距平百分率序列, 资料来源于国家气候中心)。

冬小麦产量来自西峰国家一级农业气象试验站作物观测资料, 按《农业气象观测规范》获取记录^[12]; 玉米产量来自甘肃庆阳市统计局。

1.2 分析方法

应用 EOF、REOF 和周期分析方法进行分析。EOF 和 REOF 能很好地揭示气象原始场的主要特征信息, 这方面的研究已有很多的工作, 详细方法参阅文献^[13]。

收稿日期: 2007-03-07

基金项目: 科技部科研院所社会公益研究专项“西北农作物对气候变化的响应及其评价方法”(2005DIB3J100)

作者简介: 王位泰(1958-), 男, 甘肃庆阳人, 高级工程师, 主要从事气象业务管理及应用气候研究工作。E-mail: wangwt_gsqy@163.com。

2 空间分布特征

2.1 降水总量基本气候特征

黄土高原年平均降水量的区域分布总趋势是南多北少、东多西少,由东南向西北减少,数值相差悬殊。夏半年降水总量分布趋势与年降水分布相似(图略),除华山和五台山等特殊地形影响因素外,降水量等值线基本呈东北~西南走向,最多降水出现在华阴(110.08°E, 34.48°N),达 650 mm 以上,最少降水出现在临河(107.42°E, 40.75°N),不足 150 mm,相差 4 倍以上。为分析其降水量的变异程度,从夏半年平均降水量方差分布图上(图 1)反映出东南部方差占平均值 25%左右,而西北部边缘地区方差占平均值接近 40%,表明黄土高原夏半年降水总量的变率从东南向西北增大,干旱加重。

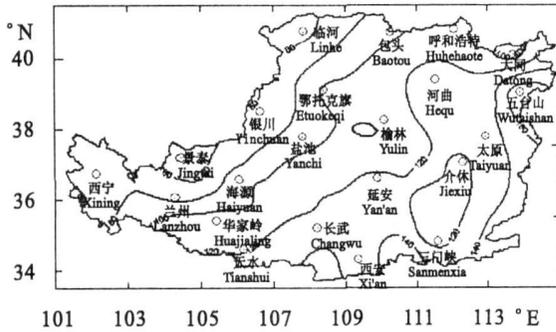


图 1 夏半年平均降水量方差分布

Fig.1 The variance-distributing chart of average precipitation during summer half year

2.2 降水总量的异常分布特征

为进一步分析其空间分布特征,从 EOF 对黄土高原 56 站 1961~2000 年夏半年降水总量进行分解来看,前 5 个载荷向量收敛迅速。第一载荷向量(图 2)均为正值,最大值中心为 0.80,位于海源一环县一榆林一带,最小值中心为 0.40,位于宝鸡附近,大值在区域分布上呈东北一西南走向,北部的临河和南部宝鸡一西安相对较小,反映了黄土高原夏半年降水的区域分布变化的一致性。第二载荷向量(图略)为东南正、西北负分布,零线位于五台山一绥德一环县一固原一定西,反映了黄土高原夏半年降水总量受夏季风的影响显著,零线位置基本对应夏季风的边缘地带。第三载荷向量(图略)除西北部临河局部地区外,基本为东负西正反位相分布,零线走向为呼和浩特一盐池一环县一洛川一孟津,反映了黄土高原夏半年降水总量分布受西风带低压槽南亚高压和西太平洋副热带高压等天气系统的影响差异。

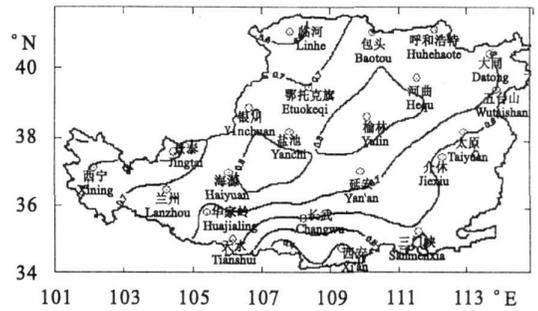


图 2 EOF 第一载荷向量分布图

Fig.2 EOF the first load vector distributing chart

2.3 夏半年降水的气候分区

为了分区分析其空间分布特征,由 REOF 分解得到的第一载荷向量(图略)的区域分布表明,黄土高原为一致的正值区,最大值在兰州一靖远,为 0.75,最小值在宝鸡,为 0.05,其值由西北部向东南递减;第二载荷向量,黄土高原为一致的正值区,最大值在宝鸡一武功一西安,为 0.90,最小值在临河和原平,为 0.00,从南向北递减。第三载荷向量黄土高原为一致的负值区,最大绝对值在介休,最小绝对值在包头、西宁和宝鸡,为 0.15,从东向西,从中部向北向南递减。通过前 5 个载荷向量的分析,用 0.4 的等值线截取,得出黄土高原夏半年降水总量的 6 个气候分区(图 3):

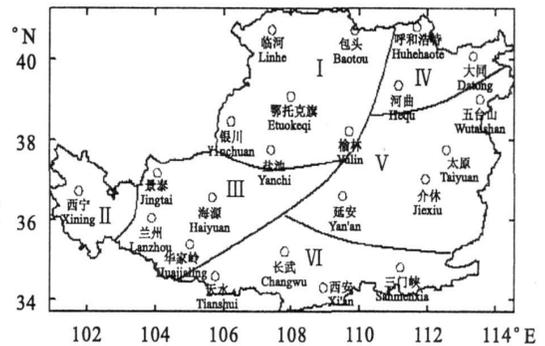


图 3 黄土高原夏半年降水总量的 6 个气候分区

Fig.3 The six climate regions of precipitation gross during half year on Loess Plateau

第一分区(北部地区):包括惠农、临河、包头、东胜、陶乐、鄂托克旗、银川、盐池、榆林 9 县(市),代表黄土高原北部荒漠干旱气候区,代表站为临河站。

第二分区(西部山地):包括门源、西宁、贵德和民和 4 县(市),表征黄土高原与青藏高原交界区域山地半干旱气候,西宁为代表站。

第三分区(中部地区):包括中宁、海原、固原、同心、西吉、景泰、靖远、华家岭、临洮、兰州、临夏、榆中、环县、吴旗等 14 县(市),反映了黄土高原中部丘

陵地区的干旱半干旱气候,海原为代表站。

第四分区(东北地区):包括呼和浩特、兴县、横山、河曲、左玉、大同 6 县(市),反映了黄土高原东北部干旱半干旱气候,代表站为河曲。

第五分区(东部地区):包括五台山、原平、太原、阳泉、绥德、介休、榆社、延安、隰县、洛川、临汾和阳城等 12 县(市),反映了黄土高原中东部半干旱半湿润气候,代表站为介休。

第六分区(南部地区):包括天水、平凉、西峰、长武、宝鸡、武功、西安、华阴、运城、三门峡、孟津 11 县(市),反映了黄土高原南部、渭水流域及黄河中上游半湿润气候,代表站为长武。

3 时间变化特征

3.1 降水总量的年际变化特点

应用 EOF 方法对 1961~2000 年夏半年降水量进行分解,从得出的第一时间系数演变曲线(图 4)可见,1961~1967 年出现 3 个多雨年份和 3 个少雨年份,3 年一遇;1968~1975 年除 2 年连续偏少外,基本表现为逐年交替变化;值得注意的是从 1976 年开始年际变化出现较强的持续性,1976~1978 年连续偏多,1979 年正常,1980~1982 年连续偏少,1983~1985 年连续偏多,1986~1987 年连续偏少,即在 1976~1987 年时段内表现为持续性变化特点;1988~1994 年又进入一个逐年交替变化时段;1994~2000 年持续与交替变化时段缩短,表现为 2 年快速转换,明显与 1993 年以前的较长时段交替变化和持续性变化规律不同,似可认为处在一个过渡变化时段,有待于进一步探讨。

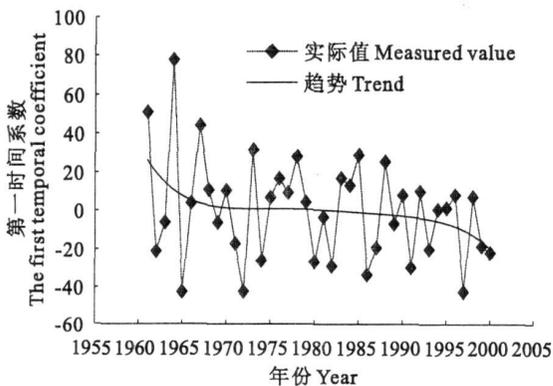


图 4 黄土高原夏半年降水第一时间系数演变曲线

Fig. 4 The first time coefficient curve of precipitation during summer half year on Loess Plateau

在年际降水趋势上,1961~1968 年大于平均值且迅速减小,1969~1985 年降水接近平均值状态,

1986 年开始,降水总量明显小于平均值,且减小变率趋于增大。

3.2 降水总量的周期变化特点

周期分析表明,3 年、5 年和 20 年周期占优势(图 5),1970 年以前以 3 年周期为主,其后以 5 年和 20 年周期为主,且周期振荡趋于复杂,其一表现在降水偏多或偏少年份的持续性,其二表现在振荡周期变长,其三表现在振荡的振幅减小,降水总量趋于减小。

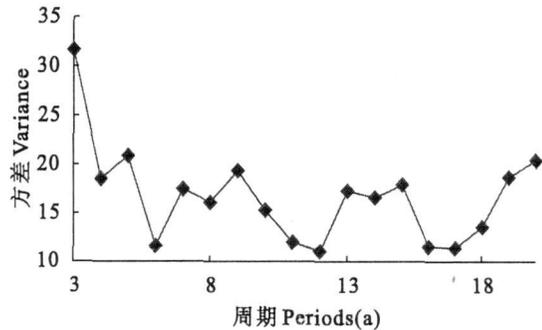


图 5 黄土高原夏半年降水周期方差曲线

Fig. 5 The curve of periods variance of the precipitation during summer half year on Loess Plateau

3.3 降水总量的年代际变化特点

20 世纪 60 年代黄土高原多雨,距平百分率均为正值(图略),最大值在中部的环县、吴旗、绥德;70 年代降水距平百分率除西南部临洮和东部介休及太原略多外,其余地方均偏少;降水最少出现在盐池、环县、吴旗,偏少 10%;80 年代西部偏少,中南部偏多,东部正常;90 年代除北部临河略多外,其余地方均偏少,最少出现在中东部绥德和介休,南部天水、宝鸡及武功。

4 黄土高原夏半年降水对主要农作物产量的影响

4.1 多雨年与少雨年对冬小麦和玉米产量的影响

黄土高原地区是我国主要旱作农业区,夏半年降水除影响当年冬小麦和玉米产量外,7~10 月的伏秋降水与次年冬小麦产量有着密切的关系。如表 1 和表 2 所示。

对当年 4~6 月降水选择 5 个多雨年(偏多 35%~109%),5 个少雨年(偏少 26%~81%);对上年 7~10 月降水选择 5 个多雨年(偏多 19%~79%),5 个少雨年(偏少 35%~53%);对当年 4~9 月降水选择 5 个多雨年(偏多 8%~52%),5 个少雨年(偏少 19%~41%)。分别统计位于黄土高原中心地带具有代表性^[7]的陇东黄土高原多雨年和少雨年的当年及

次年冬小麦单产,得到 4~6 月多雨年当年冬小麦产量为 3 555 kg/hm²,少雨年当年冬小麦产量为 2 955 kg/hm²,分别比平均产量 3 135 kg/hm² 增加(减少) 420 kg/hm²(180 kg/hm²); 7~10 月多雨年的次年冬小麦产量为 6 690 kg/hm²,少雨年次年冬小麦产量为 2 475 kg/hm²,分别比平均产量 3 135 kg/hm² 增加

(减少)720 kg/hm²(660 kg/hm²)。

4~9 月多雨年当年玉米产量为 6 690 kg/hm²,少雨年当年玉米产量为 5 280 kg/hm²。分别比平均产量 6 255 kg/hm² 增加(减少) 435 kg/hm² (975 kg/hm²)。

表 1 黄土高原地区夏半年多雨年和少雨年冬小麦产量

Table 1 The yield of winter wheat in years with more or less precipitation in the half year of summer in the Loess Plateau

年份 Year	降水 (mm) Rainfall	4~6 月 距平(%) Distance to average	冬麦产量 (kg/hm ²) Yield of winter wheat	年份 Year	降水 (mm) Rainfall	7~10 月 距平(%) Distance to average	次年冬麦产量 (kg/hm ²) Yield of winter wheat next year
1982	71.3	-54	2700	1986	189.3	-43	2340
1983	324.2	109	3240	1987	214.5	-36	3375
1990	237.5	53	3990	1988	484.3	45	4755
1991	217.9	40	3855	1990	434.0	30	3855
1993	87.4	-44	3225	1991	158.3	-53	2355
1994	209.2	35	2880	1992	438.2	31	3225
1995	29.7	-81	1065	1994	218.0	-35	1065
1997	72.8	-53	4140	1997	207.6	-38	3225
2001	114.7	-26	3675	2001	400.2	19	3825
2002	285.0	84	3825	2003	598.5	79	3735
多雨年 More precipitation	254.8	64	3555	多雨年 More precipitation	471.0	41	3885
增加 To add			420	增加 To add			720
少雨年 Less precipitation	75.2	-52	2955	少雨年 Less precipitation	197.5	-41	2475
减少 To lessen			180	减少 To lessen			660

注:小麦多年平均产量为 3 135 kg/hm²。

Note: The average yield of wheat in many years is 3 135 kg/hm².

表 2 黄土高原地区夏半年(4~9 月)多雨年和少雨年玉米产量

Table 2 The yield of maize in more and less precipitation year from April to September in the Loess Plateau

年份 Year	降水 (mm) Rainfall	多雨年 距平(%) Distance to average	玉米产量 (kg/hm ²) Yield of maize	年份 Year	降水 (mm) Rainfall	少雨年 距平(%) Distance to average	玉米产量 (kg/hm ²) Yield of maize
1992	534.4	19	6750	1991	350.7	-22	5910
2001	484.5	8	3795	1994	347.5	-23	7980
2002	513.4	14	7530	1995	266.6	-41	5340
2003	682.9	52	7875	1997	267.8	-40	2880
2004	497.8	11	7470	2000	362.9	-19	4260
平均 Average	542.6	21	6690	平均 Average	319.1	-24	5280
增加 To add			435	减少 To lessen			975

注:玉米多年平均产量为 6 255 kg/hm²。

Note: The average yield of maize in many years is 6 255 kg/hm².

4.2 夏半年降水与冬小麦和玉米产量的相关关系

统计冬小麦产量与当年 4~6 月降水量和上年

7~10 月降水量的相关系数为 0.28 与 0.44,玉米产

量与当年 4~9 月降水量的相关系数为 0.53,分别

通过信度为 0.2、0.05 和 0.01 的统计检验。表明夏半年多(少)雨,玉米产量显著增加(减少),对次年冬小麦产量的正相关影响程度大于对当年冬小麦产量的影响,表明伏秋(7~10 月)降水对冬小麦播种、冬前生长和中深层土壤贮水对冬小麦产量的形成具有重要影响作用,在年度农业生产布局上具有重要的决策价值。即若遭遇严重的伏秋持续干旱少雨,可果断调整农业年度布局,压缩冬小麦播种面积,减少投资浪费,扩大来年大秋作物播种面积^[8],提高粮食总产和综合农业生产经济效益。

5 小 结

1) 黄土高原夏半年降水在区域分布上从南向北减少,从东向西减少,东北—西南向的降水等值线分布反映了季风影响明显,从 1986 年以来降水总量趋于减少趋势。应用 REOF 将黄土高原夏半年降水划分为 6 个气候分区,不同区域降水的年代际变化明显,20 世纪 60 年代黄土高原降水普遍偏多;70 年代除东部介休—太原及西南部的临洮外,大部分地方降水偏少;80 年代西部偏少,中南部偏多;90 年代除北部临河略增加外,绝大部分地方降水偏少,且南部和中南部降水减少明显,这种变化是否是一种转折变化,尚需进一步研究。

2) 对比分析表明,上年 7~10 月和当年 4~6 月多雨使冬小麦产量增加 420~720 kg/hm²,少雨使冬小麦产量减少 180~660 kg/hm²;当年 4~9 月多雨使玉米产量增加 435 kg/hm²,少雨使玉米产量减少 975 kg/hm²。夏半年降水对主要粮食作物冬

小麦和玉米产量具有重要影响,应高度重视夏半年降水的监测和预测工作,客观决策年度农业生产布局,以获取最佳经济效益。

参 考 文 献:

- [1] 张志强,孙成权.全球变化研究十年进展[J].科学通报,1999,44(5):464-477.
- [2] 田展,刘纪远,曹明奎.气候变化对中国黄淮海农业区小麦生产影响模拟研究[J].自然资源学报,2006,21(4):598-607.
- [3] 孙凤华,吴志坚,杨素英.东北地区近 50 年来极端降水和干燥时间时空演变特征[J].生态学杂志,2006,25(7):779-784.
- [4] 郭江勇,叶燕华,林纾,等.甘肃河东春季透雨日期与海温的相关分析[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):18-22.
- [5] 王位泰,张天峰,黄斌,等.甘肃陇东黄土高原冬小麦对气候变暖的响应[J].生态学杂志,2006,25(7):774-778.
- [6] 郭海英,赵建萍,索安宁,等.陇东黄土高原农业物候对全球气候变暖的响应[J].自然资源学报,2006,21(4):608-613.
- [7] 叶燕华,郭江勇,王风.黄土高原春季降水的气候特征分析[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):11-17.
- [8] 姚辉,贵晓玲.甘肃各区近代降水变化特征研究[J].甘肃气象,1999,17(1):4-7.
- [9] 钱林清.黄土高原气候[M].北京:气象出版社,1991.
- [10] 李栋梁,刘德祥.甘肃气候[M].北京:气象出版社,2000.68-116.
- [11] 王位泰,张天峰,杨民,等.黄土高原秋季降水年际和年代际气候变化特征[J].干旱地区农业研究,2006,24(4):187-209.
- [12] 国家气象局.农业气象观测规范[M].北京:气象出版社,1993.4-73.
- [13] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999.115-140.

Climate change character of precipitation during the half year of summer and its impact on crop yield in the Loess Plateau

WANG Wei-tai^{1,2}, ZHANG Tian-feng², YAO Yu-bi³, WANG Run-yuan¹,
GUO Jiang-yong^{1,2}, HUANG Bin²

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster, Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Qingyang Municipal Meteorology Bureau, Xifeng, Gansu 745000, China;
3. Dingxi Municipal Meteorology Bureau, Dingxi, Gansu 743000, China)

Abstract: It makes use of 56 stations' precipitation gross data in the half-year of summer from April to October in the loess plateau, analyzing their basal space distributing character and average gross precipitation with the EOF and REOF methods, and analyzing the time change character with variance analysis method. The effect of precipitation on the yield of winter wheat and maize in less and more rainfall years was also analyzed. The result showed that the precipitation during the half-year of summer had distinct difference from south to north and from east to west, and it might be divided into six regions. In different regions, the precipitation changed distinctly every year. The year of rain shortage and the year of rain abundance alternately appeared about time

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