

近 45 年山西省气候生产潜力时空变化特征分析

武永利¹, 卢淑贤², 王云峰¹, 李智才¹

1. 山西省气候中心, 太原 030006; 2. 山西省气象科学研究所, 太原 030002

摘要: 利用山西省 108 个气象台站 1961—2005 年逐年年平均气温、年降水量资料,应用 Thornthwaite Memorial 模型估算了山西省气候生产潜力(TSPV),探讨气候生产潜力与实际产量的关系,分析气候生产潜力的时空变化特征以及对气候变化的响应。分析结果表明:该模型能够较好地反映区域农业生产实际;生产潜力空间分布特征表现出较为明显的纬向递减特征,南高北低、东高西低;近 45 a 变化趋势并不显著,北部和晋东南中部增加趋势,晋中以及晋南为递减趋势;境内各地热量条件充足,降水是作物产量的主要限制因素,降水增减 1 mm,气候生产潜力增减 0.473 8~1.138 之间,变率空间差异明显,表现出以东西—西南方向为斜轴向两侧递减的趋势,为全省受降水限制最显著区域。

关键词: 生产潜力; Thornthwaite Memorial 模型; 时空变化

中图分类号: S162.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 02-0567-05

地处干旱、半干旱地区的山西省,自然生产力和经济生产力水平较低,农业生产至今摆脱不了“靠天吃饭”的局面,农业生产主要取决于区域的光、热和水资源等环境因子及其变化。因此,对区域土地气候生产潜力计算模型进行研究;探讨气候生产潜力与实际经济产量的关系;从气候因子及其变化入手,研究区域农业生产的主要影响因子;进而研究气候生产潜力随气候变化的规律。对于合理利用气候资源,充分发挥气候生产潜力,提高生产力应用水平,指导农业生产,具有重要的理论和现实意义。

土地生产潜力是指一定条件下能够生产某种生物产品(如粮食、经济作物等)的内在能力^[1-2],很大程度上受制于气候资源、土地资源等自然环境因素以及经济发展、科技水平等社会因素。在社会发展和其他影响农业生产因素相对稳定的条件下,气候及气候变化成为影响作物生产潜力的重要因素,为此国内外对气候生产潜力开展了大量的分析研究^[3-8]。目前国内外常用的比较成熟的模型有根据植物生产量与气温降水相关而建立的 Miami 模型^[9]、通过蒸散量模拟植物生产量的 Thornthwaite Memorial 模型^[10]、表征农作物光温生产力的 Wagenigen 模型^[11]和农业区域生态 AEZ 模型^[12-13]等。关于作物气候生产潜力的计算方法、时空分布等已有不少研究^[14-17],由于桑斯维特纪念模型以体现多个气象要素综合影响的年平均实际蒸散量来建模,涵盖了太阳辐射、温度降水、饱和度和风等气象因子,该模型相对更为周密、准确,更加接近生产实际,得到较为广泛的应用。

因此,本研究利用多年气象资料,运用桑斯维

特纪念模型估算山西省的土地气候生产潜力,分析山西省气候生产潜力与实际经济产量的关系,着重研究气候生产潜力的时空分布特征及变化规律,针对影响气候生产潜力的主要限制因子,分析气候变化对区域生产潜力的影响,为充分利用气候资源、提高生产力水平,为区域农业生产合理布局及可持续发展提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 资料

山西省地处黄河中游、黄土高原东部,介于东经 110°15′~114°33′、北纬 34°34′~40°43′之间,省境轮廓大体呈平行四边形,总面积 15.66 km²,现有耕地 553 876 万 hm²,主要粮食作物有小麦、高粱、豆类和薯类;经济作物有棉花、烟叶、甜菜、胡麻、油菜籽等。大同、太原、忻州、上党、临汾和运城等盆地是山西省的主要农作区。

山西纬向跨越近 6 个纬距,地形多样,高差悬殊,气候主体体现出纬度地带性气候,又有很明显的垂直变化。属中纬度温带、暖温带大陆性季风气候,冬寒夏暖,四季分明。年平均气温 3~14℃,昼夜温差大,南北温差也大。年降水量在 400~650 mm,但季节分布不均匀,夏季降水高度集中且多暴雨,降水量约占全年的 60%以上。

研究中所用气温和降水资料来自山西省气象信息中心,选取山西境内 108 个气象台站 1961—2005 年逐年年平均气温、年降水量资料。农业生产资料来自 2006 年山西省统计年鉴。

1.2 研究方法

1.2.1 气候生产潜力估算方法

在综合分析和分析试验的基础上,采用比较成

熟、国际上通用的桑斯维特纪念模型计算区域气候生产潜力。

Thornthwaite Memorial 模型:

$$T_{SPV} = 3000(1 - e^{-0.0009695(V-20)}) \tag{1}$$

$$V = \begin{cases} 1.05P / \sqrt{1 + (1.05P / L)^2} & P \geq 0.316L \\ P & P < 0.316L \end{cases} \tag{2}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \tag{3}$$

式中: T_{SPV} 是以实际蒸散量计算得到的作物干物质产量($g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$); V 为年平均实际蒸散量(mm); L 为年最大蒸散量 (mm), 表征为年平均温度的经验函数; T 为年平均气温($^{\circ}C$); P 为年降水量(mm)。

1.2.2 分析方法

将模型所需参数分别带入 (1)、(2) 和 (3) 式计算各气象站代表的气候生产潜力, 采用常规数理统计分析方法, 分析研究区域气候生产潜力的年际变化; 气候生产潜力变化趋势分析采用气候分析中常用的线性拟和趋势率分析法^[18]进行, 对研究区域每一个台站对应的年平均值与年份进行回归分析, 得到各站的相关系数以及线性回归方程斜率, 用以表征变化趋势和变化率; 气候生产潜力与气象要素的响应规律研究采用生产潜力与同期气候要素值进行线性趋势拟和的方法分析, 以拟和的斜率表征气候变化对气候生产潜力的影响。

为直观反映气候生产潜力变化的空间分布特征, 采用美国环境系统研究所开发的地理信息系统软件 ArcGIS 将估算结果数据采用经纬投影进行空间地理分布制图分析。上述工作在地理信息系统软件 ArcGIS、统计软件 SPSS 及 VB 下编程实现。

2 结果与分析

2.1 气候生产潜力与经济产量的关系

表 1 和图 1 为 1986—2005 年山西省粮食总产量与同期气候生产潜力年均值对比结果。由图中可

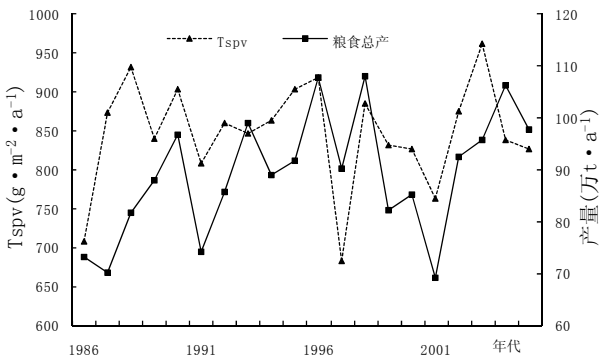


图 1 生产潜力与粮食产量对比
Fig. 1 The comparison between potential productivity and total yields of grain

以看出, 气候生产潜力在近 20 年的变化趋势较为一致, 尤其起伏变化比较接近, 统计表明相关系数达 0.4415, 通过 $\alpha = 0.05$ 信度检验。

据统计资料表明, 山西省区域 2001—2005 年的粮食平均产量为 $3\,143.6\,kg \cdot hm^{-2}$, 同期气候生产潜力为 $846.756\,g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 粮食产量达到气候生产潜力的 37.1%。由此可见, 山西省气候生产潜力应用水平相对较低。

分析表明, 气候生产潜力同粮食实际产量之间关系密切, 根据实际蒸散量估算的气候生产潜力 T_{SPV} 能够综合反映区域水热状况对生产潜力的影响, 对气候潜力的分析研究可以一定程度上反映区域实际产量, 对其变化规律的研究可以为农业生产及气候资源利用参考。

2.2 气候生产潜力空间分布特征

图 2 为估算的气候生产潜力的地理分布图。由图 2 可见, 山西省气候生产潜力空间分布特征表现出较为明显的纬向递减特征, 高值区位于水热条件较好的南部垣曲县, 最高值可达 $1\,015\,g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 低

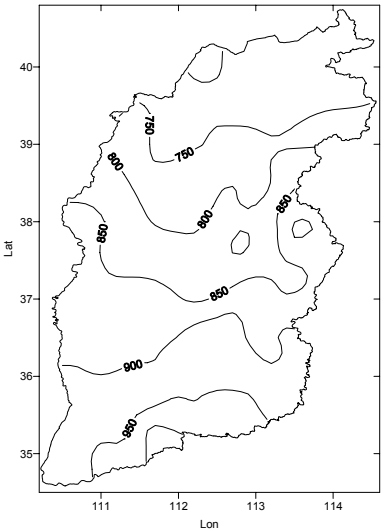


图 2 气候生产潜力地理分布
Fig. 2 Climatic potential productivity geographic distribution map

表 1 粮食总产 (万 t) 与气候生产潜力对比
Table 1 The comparison between total yields of grain (10K tons) and climatic potential productivity $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$

年代	粮食总产	作物生产力	年代	粮食总产	作物生产力
1986	73.24	707.5812	1996	107.71	918.0534
1987	70.23	874.3973	1997	90.19	683.3739
1988	81.8	931.9258	1998	108.15	885.736
1989	87.91	840.7314	1999	82.17	831.6635
1990	96.9	903.1819	2000	85.34	826.1432
1991	74.24	808.0675	2001	69.21	763.7941
1992	85.83	860.1549	2002	92.55	874.9443
1993	99.02	846.2124	2003	95.89	962.0045
1994	89.04	862.9157	2004	106.2	838.2072
1995	91.71	904.4431	2005	97.8	826.0475

值区主要分布在水热条件较差的晋北地区,最低值出现在右玉县,只有 $685 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。全省平均为 $846.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。明显低于相邻地区的气候生产潜力^[17]。

2.3 气候生产潜力年际变化趋势分析

近 45 a 山西省气候生产潜力在 $645.2 \sim 972.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,年际间变化波动较大,表现出极弱的递减趋势,递减率为 $-0.53782 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,各站年际变化均未通过相关检验。

图 3 为选取的三个代表站气候生产潜力年际变化曲线图,各站气候生产潜力总体变化趋势不明显,但近年数据表明波动趋势加大,与近年来气候变化趋势加剧不无关系。

图 3 的气候生产潜力年际变率地理分布等值线图反映了区域生产潜力随年际变化的空间分布特征。由图 3 可见,山西省北部和晋东南中部气候生产潜力呈现增加趋势,晋中以及晋南为递减趋势,这一结果与笔者采用 NASA/GIMMS 植被指数 (NDVI) 数据集分析的区域植被年际变化趋势(另文分析,《生态环境》杂志已采用)是一致的,从一个侧面反映出气候生产潜力估算结果能够反映区域植物生长状况。

2.4 气候要素对气候生产潜力影响分析

分别计算气候潜力与同期气温和降水的相关关系,计算表明,气温同气候生产潜力相关系数极小,未通过信度检验,说明区域生产潜力与气温关系甚微,气温并非区域农业生产的限制因子;降水与同期气候生产潜力关系密切,相关系数均在 0.9 以上,均通过了 $\alpha=0.001$ 的信度检验。表明山西大部分地区热量条件相对充足,降水是限制区域作物产量的主要限制因子。

图 4 为气候生产潜力与同期降水的线性拟和趋势等值线地理分布图。分析可知,降水对气候生产

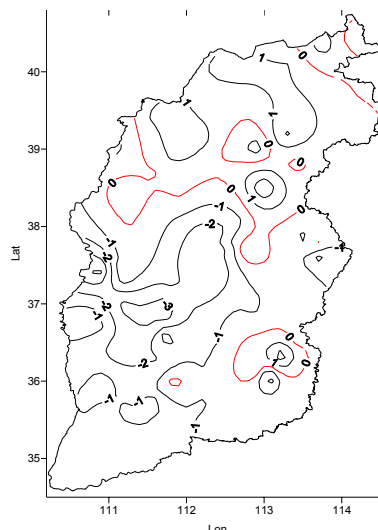


图 4 区域生产潜力变化趋势

Fig. 4 Region potential productivity changing trend

潜力影响较大,年降水增减 1 mm 导致区域气候生产潜力增减变化在 $0.4738 \sim 1.138 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,等值线表现出以东北-西南方向为轴线向两侧递减的趋势,说明轴线附近区域气候生产潜力受降水限制程度较大,两侧的太行山和吕梁山受降水限制程度相对较低。突出表现在其间穿插的几大盆地受降水影响较大,为全省受降水限制最显著区域。

在全球变暖背景下,山西省气温递增速率高于全国平均水平,而降水表现出弱的减少趋势,区域作物发育期延长,但由于区域作物的主要限制因素为降水。因此,未来气候变化对山西省农业发展存在一定不利因素;同时山西气候生产潜力利用水平较低,采取有力措施可以应对或减缓气候变化对农业生产带来的不利影响。

3 结论与讨论

(1) 桑斯维特纪念模型体现了气象要素的综合

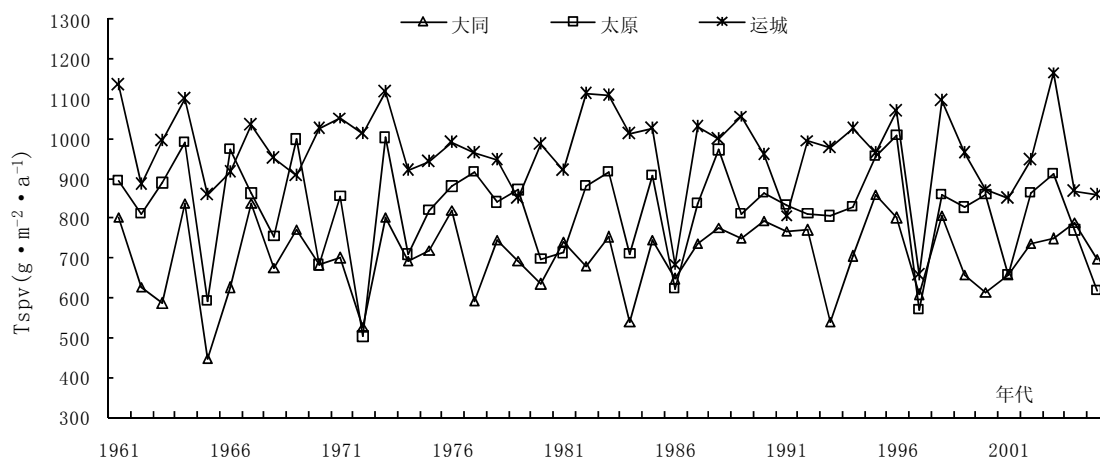


图 3 代表站气候生产潜力年际变化

Fig. 3 Climatic potential productivity annual changing graph in representative stations

影响,模型合理,计算结果与生产实际关系密切,以此模型所计算的气候生产潜力适用于山西,基于气候生产潜力分析研究可以一定程度上反映区域实际产量,对其变化规律的研究可以为农业生产及气候资源利用参考。

(2) 山西省气候生产潜力空间分布特征表现出较为明显的纬向递减特征;年际间变化表现出极弱的递减趋势,北部和晋东南中部气候生产潜力呈现增加趋势,晋中以及晋南为递减趋势。

(3) 区域气候生产潜力与气温关系甚微,与降水关系密切,山西大部分地区热量条件相对充足,降水是限制区域作物产量的主要限制因子;受降水限制最为显著的区域为以东北-西南走向的轴线附近,其间穿插的几大盆地受降水影响较大,为全省受降水限制最显著区域。

山西省由于降水相对较少,影响了植物生物产量的提高,降水是制约区域植物生物产量提高的主要因素,降水减小的趋势变化对山西省农业发展存在一定不利因素。关键是要解决水的问题,解决好农业生产用水的问题,提高水资源利用率,提高生产潜力应用水平,可以有效应对或减缓气候变化对农业生产带来的不利影响。

参考文献:

- [1] 黄秉维. 关于农业生产潜力研究. 中国土地资源的人口承载能力研究[C]. 中国科学技术出版社, 1992, (9): 13.
- [2] 左大康. 现代地理学辞典[M]. 北京:商务印书馆, 1991, 99-102.
- [3] 周白, 郑剑非. 内蒙古武川旱农实验区自然降水生产潜力研究[J]. 中国农业气象, 1992, 13(1): 2-4.
ZHOU Bai, ZHENG Jianfei. The Study of the potential productivity of precipitation in arid agricultural experimental zone in Wu Chuan, Inner Mongolia[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 1992, 13(1): 2-4.
- [4] 李迪强, 孙成永, 张新时. 中国潜在植被生产力的分布与模拟[J]. 植物学报, 1998, 40(6): 560-566.
LI Diqiang, SUN Chengyong, ZHANG Xinshi. Modelling the net primary productivity of the natural potential vegetation in China[J]. Acta Botanica Sinica, 1998, 40(6): 560-566.
- [5] 田志会, 李凤琴, 郭文利, 等. 基于小网格的北京山区植物气候生产力及其限制因子分析[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(6): 21-26.
TIAN Zhihui, LI Fengqin, GUO Wenli, et al. Analysis of plant climatic production potential and its restricting factors of 1 km grid of Beijing mountain area[J]. Journal of China Agricultural University, 2004, 9(6): 21-26.
- [6] 郭建平, 高素华, 刘玲. 中国北方地区牧草气候生产潜力及限制因子[J]. 中国农业生态学报, 2002, 10(3): 44-46.
GUO Jianping, GAO Suhua, LIU ling. Climatic productivity of forage grass and its restricting factors in north region of China[J]. Chinese journal of eco-agriculture, 2002, 10(3): 44-46.
- [7] 黄承标, 何志远, 庞庭颐. 广西森林气候可能生产力与实际生产力的比较研究[J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2002, 24(3): 355-359.
HUANG Chengbiao, HE Zhiuan, PANG Tingyi. Comparison on potential productivity of forest climate and potential productivity of reality in Guangxi[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2002, 24(3): 355-359.
- [8] 白永平. 甘肃省农业生态气候资源潜力比较与利用探讨[J]. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2000, 36(2): 67-74.
BAI Yongping. Comparative analysis and exploitation discussion of agro-ecoclimatic resources in Gansu Province[J]. Journal of northwest normal university: natural science edition, 2002, 24(3): 355-359.
- [9] 陈国南. 用迈阿密模型测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.
CHEN Guonan. Preliminary study on calculation of primary production of ecosystem in China with application of Miami model[J]. Journal of Natural Resources, 1987, 2(3): 270-278.
- [10] 高素华, 潘亚茹, 郭建平. 气候变化对植物气候生产力的影响[J]. 气象, 1994, 20(1): 30-33.
GAO Suhua, PAN Yaru, GUO Jianping. The Variation of Plant Climate Productivity for the Last 40 Years and the effects of climate change in China[J]. Meteorological monthly, 1994, 20(1): 30-33.
- [11] 林忠辉, 莫兴国, 项月琴. 作物生长模型研究综述[J]. 作物学报, 2003, 29(5): 750-758.
LIN Zhonghui, MO Xingguo, XIANG Yueqin. Research Advances on crop growth models[J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(5): 750-758.
- [12] 赵安, 赵小敏. FAO-AEZ 法计算气候生产潜力的模型及应用分析[J]. 江西农业大学学报, 1998, 20(4): 528-533.
ZHAO An, ZHAO Xiaomin. Analysis on the modeling and application of calculation of potential net biomass and potential yield through FAO-AEZ methodology[J]. Acta Agriculturae universitatis Jiangxiensis, 1998, 20(4): 528-533.
- [13] 王恩利, 韩湘玲. 黄淮海地区冬小麦、夏玉米生产力评价及其应用[J]. 中国农业气象, 1990, 11(2): 41-45.
WANG Enli, HAN Xiangling. Evaluation and application of winter wheat and summer corn in Huang-Huai-Hai region[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 1990, 11(2): 41-45.
- [14] 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.
XIE Yun, WANG Xiaolan. Temporal and spatial variation of climatic potential productivity for grain crops in eastern China within forty years[J]. Resources science, 2003, 25(2): 7-13.
- [15] 姚玉璧, 朱国庆, 李巧珍, 等. 陇中高寒阴湿区蚕豆气候区划[J]. 中国农业气象, 2002, 23(1): 35-37.
YAO Yubi, ZHU Guoqing, LI Qiaozheng, et al. A study of climatic classification for broad bean in the middle Gansu Province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2002, 23(1): 35-37.
- [16] 赵慧颖, 魏学占, 乌秋力. 呼伦贝尔典型草原区牧草气候生产潜力评估[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 137-140.
ZHAO Huiying, WEI Xuezhao, WU Qiuli, et al. Assessment of climate potential for forage production in typical grassland[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(1): 137-140.
- [17] 康西言, 马辉杰. 河北省气候生产潜力的估算与区划[J]. 中国农业气象, 2008, 29(1): 37-41.
KANG Xiyan, MA Huijie. Evaluation and classification of climate

productive potential in Hebei Province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2008, 29(1): 37-41.

[18] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000:135-144.

Spatial-Temporal Changing Characteristics of The Evapotranspiration Climate Potential Productivity in Shanxi Province During Last 45 Years

WU Yongli¹, LU Shuxian², WANG Yunfeng¹, LI Zhicai¹

1. Shanxi Climate Center, Taiyuan, 030006 China; 2. Shanxi Meteorological Science Institute, Taiyuan, 030002, China

Abstract: The evapotranspiration climate productive potential (TSPV) in Shanxi Province was estimated by Thornthwaite Memorial model using the annual mean temperature and precipitation data from 108 meteorological observatories during 1961—2005. The varieties of real productive and regional climate induced by TSPV as well as the spatial-temporal changing characteristics of TSPV were analyzed to present that the Thornthwaite Memorial model can simulate reasonably the actual regional agricultural output. TSPV in Shanxi Province decreases with the increasing latitude and it is much larger in eastern part than that in western part of Shanxi Province. An inconspicuous temporal variety tendency of TSPV was founded in the whole province during the past 45 years except for slight increasing in southeastern part and slight decreasing in central part of Shanxi Province. It is worth noting that the variety of precipitation, a dominating factor for crop output, can lead to the increasing of TSPV from 0.473 8 to 1.138 with 1 mm precipitation increment. The simulation result indicated that the increasing of TSPV induced by precipitation was inhomogeneous in the whole province with the maximum increment in a zone characterized by northeast-southwest through the province and decreasing in border area, where was regarded as the most impressible region by precipitation in Shanxi Province.

Key words: productive potential; Thornthwaite Memorial model; spatial-temporal change