

谢万银,郭小芹,陆登荣,等. 陇中黄土高原气候生产潜力时空变化及水热因子驱动分析[J]. 干旱气象,2015,33(5):861-866, [XIE Wanyin, GUO Xiaoqin, LU Dengrong, et al. Spatial and Temporal Variation of Climatic Production Potential and Its Driving Force Factors in Middle Gansu Loess Plateau[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(5):861-866], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-05-0861

## 陇中黄土高原气候生产潜力时空变化 及水热因子驱动分析

谢万银,郭小芹,陆登荣,殷玉春,王锦波

(甘肃省气象局,甘肃 兰州 730020)

**摘要:**根据陇中黄土高原27个气象台站1971~2013年气象资料,采用Thornthwaite Memorial模型计算气候生产潜力,通过经验正交函数(EOF)方法分析其变化特征。研究表明:研究区域升温明显,降水以及气候生产潜力呈波动性变化,实际产量占气候生产潜力的43.8%(2000~2013年),农业开发力度还待大幅提升。气候生产潜力南高北低,纬向分布差异明显;在热量驱动下温度每降低1℃,气候生产潜力减产22 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>;温度每增加1℃,气候生产潜力增产18 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,热量不足对农业产量有明显抑制作用;在水分驱动下每减少10 mm降水,气候生产潜力将减产11 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>;降水每增加10 mm时,气候生产潜力将增加10 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>。在热量、水分双驱动时气候生产潜力同步叠加了水热条件的共同影响,加大水热供应量将会有效提升农业产量,并且使气候生产潜力差异性变化趋缓。驱动效益分析将陇中黄土高原划分为4个区域,在不同区域农业发展需要因地制宜,区别对待。

**关键词:**陇中黄土高原;气候生产潜力;驱动效益

**文章编号:**1006-7639(2015)-05-0861-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-05-0861

**中图分类号:**S162

**文献标识码:**A

### 引言

气候变化使农业可持续发展面临着巨大挑战,在气候变暖的趋势下极端天气不断出现,自然灾害比以往任何时候更具复杂性。由于农业受气候变化影响最为直接,尤其伴随近年来局地高温干旱的加重,农业气象灾害频发,农业生态环境变得非常脆弱和异常敏感,加上水资源短缺、土地退化等不利因素,农业发展与粮食安全受到严重影响,因此对农业如何适应气候变化这一问题的研究变得非常现实<sup>[1-2]</sup>。现有研究结果<sup>[3-4]</sup>已经证实甘肃省气候暖干化这一事实,干旱灾害频繁发生,农业受灾面积扩大。作为甘肃省重要的农业发展基地,陇中黄土高原生态脆弱,农业生产水平更易受气候变化制约,因此研究其特征,认识其规律,因势利导,趋利避害,对缓解气候不利影响及保障粮食增产将具有重要意义。

生产潜力是指在一定条件下能够生产某种生物

产品的内在能力,很大程度上受制于区域性人口资源、土地资源、气候资源、经济水平和科技应用能力等<sup>[5-7]</sup>,当其它条件(如土壤、养分、二氧化碳等)处于最适状况时,气候变化是影响生产潜力的重要因素。

气候生产潜力就是指充分利用光、热、水资源时单位面积土地上农业产量的理想值。近年来,国内外对气候生产潜力研究已经取得不少成果<sup>[8-12]</sup>,并建立了一些比较成熟的模型,如Miami<sup>[13]</sup>、AEZ<sup>[14]</sup>、Wageningen<sup>[15]</sup>、Thornthwaite Memorial模型<sup>[16]</sup>等。陇中黄土高原包含兰州、白银、天水、定西、临夏州以及平凉的静宁、庄浪,大陆性气候特征明显,年平均温度4~11℃,年平均降水量200~550 mm,≥10℃年积温1500~3300℃,春末夏初旱和伏旱分别占40%~60%和30%~40%,属于半干旱气候区域。海拔高度1200~2500 m,境内地貌复杂,山地丘陵约占总面积77.8%,平原河谷川地约占22.2%,旱地占总耕地面积的80.48%,该区域集中了

收稿日期:2014-02-15;改回日期:2014-12-27

基金项目:“设施农业气象灾害保险理赔指数研究”(2015-18)项目资助

作者简介:谢万银(1973-),男,工程师,从事应用气象与气候资源研究工作。E-mail:gxq9179@126.com

甘肃省 44.1% 的人口、41.7% 的耕地面积、32% 的粮食总产量,主要作物有小麦、玉米、马铃薯、糜子、胡麻、油菜籽、甜菜、棉花、大麻、烟叶、当归、党参等,对甘肃省农业经济发展起着举足轻重的作用。陇中黄土高原是典型的旱作农业区,基于 Thornthwaite Memorial 模型的气候生产潜力分析将为研究区域高效利用气候资源、提高生产力水平、指导农业可持续发展提供科学依据。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

选取该区域 27 个气象台站 1971~2013 年逐月温度与降水资料,资料源自甘肃省气象信息中心,所选时段内数据完整,无缺失和遗漏。

### 1.2 气候生产潜力模型

为全面反映温度、降水与农业生产潜力之间的关系,经综合分析并与对比,采用国际通用的 Thornthwaite Memorial 模型计算研究区域的气候生产潜力。

$$Y_e = 3000 \times (1 - e^{-0.0009695(V-20)}) \quad (1)$$

其中  $Y_e$  为由蒸散量决定的气候生产潜力(单位:  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ),  $V$  是年平均实际蒸散量(单位:  $\text{mm}$ ),计算公式如下:

$$V = \frac{1.05 \times R}{\left(1 + \left(\frac{1.05 \times R}{L}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

其中  $R$  为年平均降水量(单位:  $\text{mm}$ ),  $L$  为年平均最大蒸散量(单位:  $\text{mm}$ ),是年平均温度  $T$  的函数:

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

按照模型所需参数计算各地气候生产潜力 ( $Y_e$ ),数据处理工具为 SPSS13.0 版本(SPSS Inc.)、Minitab Ver 8.02,计算过程还采用多种数理统计方法。

### 1.3 EOF 经验正交函数

EOF 经验正交函数<sup>[17]</sup>是衡量变量场空间结构或多变量综合信息的一种特征分析方法,它能够将变量场的时间和空间变化分离,将多个变量的大部分信息最大限度地集中在有限个独立变量的主分量上,即将  $m$  个空间点  $n$  次观测值构成变量  $X_{m \times n}$  分解为  $p$  个空间特征向量和对应的时间权重系数的线性组合:

$$X_{m \times n} = V_{m \times p} \times T_{p \times n} \quad (4)$$

其中空间函数概括了变量场的地域分布特点,时间函数则是变量场空间点阵的线性组合,式(4)旨在用主要分量的变化规律来解释变量场的物理变

化特征。这种方法的优点在于展开收敛速度快,容易将大量资料浓缩集中,且能对有限区域内的不规则分布站点进行具有物理意义的结构分解,因此也称为时空分解。

## 2 结果分析

### 2.1 气候生产潜力时间变化

图 1 为研究区域温度、降水变化序列,陇中黄土高原 1971~2013 年升温显著,倾向率为  $0.369 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ ;降水波动性明显,其中 2003 年降水最多为 564  $\text{mm}$ ,1982、1997 年最少为 310  $\text{mm}$ 。

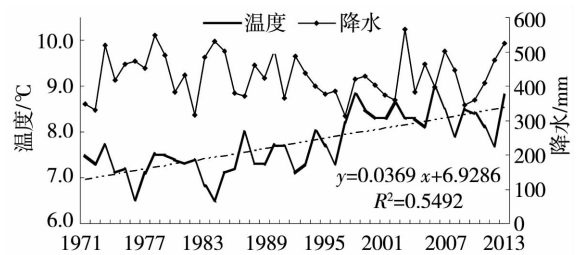


图 1 1971~2013 年陇中黄土高原气温与降水的变化趋势

Fig. 1 Annual variation of temperature and precipitation in middle Gansu Loess Plateau from 1971 to 2013

图 2 为研究区域 1971~2013 年气候生产潜力及粮食总产量变化,气候生产潜力最大值为 2003 年的  $886.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,最小值为 1982 年的  $640.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,极差为平均值的 32.3%,说明气候生产潜力有明显的波动性,当其他因素满足时,农业生产对气候条件有极大的依赖性。从平均值上看实际粮食产量仅占气候生产潜力的 36.8%,也就是说农业生产还有很大的增长潜能,分析发现这种潜在在近年来得到了很好的挖掘,实际产量增长十分明显,增长率为  $53.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}/10 \text{ a}$  ( $R_{0.01} = 0.4296$ ),其中 2000~2013 年实际产量占到气候生产潜力的 43.8%,气候生产潜力开发度有了大幅度的提升。

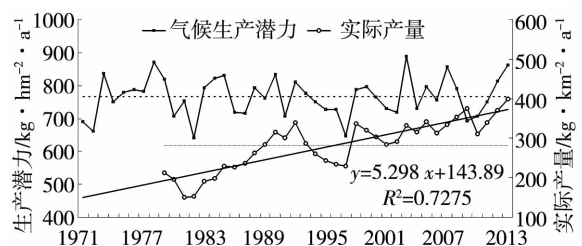


图 2 陇中黄土高原气候生产潜力变化趋势

Fig. 2 Variation tendency of climatic production potential in middle Gansu Loess Plateau from 1971 to 2013

在初级生产力水平下农业产量更多的依赖于自然条件,伴随生产力水平的提升农业产量将会集成综合因素的影响。按照现有研究结论可以肯定的是,在水热条件基本满足的情况下,生产力水平的提高将会有效增加粮食产量,在此基础上如果能充分且高效地利用气象条件,因地制宜,因势利导,必然会使农业产量得到明显的提升。

### 2.2 气候生产潜力空间分布

对研究区域各地气候生产潜力进行分析(图 3),结果呈现出南高北低近似于纬向分布的典型特征,其中最低值出现在白银( $446 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ),最高值出现在天水( $927 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ),前者仅占后者的 48%,这说明研究区域气候生产潜力在纬向分布上差异很大,相比北部,南部农业生产潜力大,产值高,农业优势非常明显。

地形因素影响气候生产潜力,研究区域中西部地区毗邻甘南高原,其中夏河以 2 931 m 海拔成为最高点,这使得临夏一带的等值线分布非常密集,不仅说明该区域气候生产潜力的变化非常大,也说明了农业发展更需要因地制宜,精细区划。

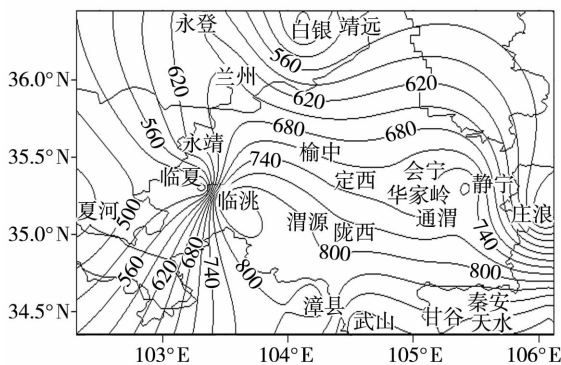


图 3 陇中黄土高原气候生产潜力分布状况  
Fig. 3 Spatical distribution of climatic production potential in middle Gansu Loess Plateau

### 2.3 气候生产潜力 EOF 变化特征

对研究区域气候生产潜力进行 EOF 分析,前 2 个特征向量(特征值  $\geq 1.0$ )其方差贡献率分别为 56.38%、15.99%,累积贡献值达到 72.37%,说明前 2 个特征向量能够很好地反映该地区气候生产潜力的变化特征。

从第一特征向量场(图 4a)看出,全场特征值均为正值,反映了陇中黄土高原气候生产潜力在空间分布上的同步性,这种特征与研究区域气候生产潜力的平均分布特征相一致,即总体分布呈南高北低,其中南部天水—清水一带最大(0.23),北部形成了以白银为中心的低值区,从北到南气候生产潜力随纬度不断增加。另外看出,临夏—永靖一带等值线分布非常密集,表明气候生产潜力的敏感度很大,说明山地环境极大地制约着农业生产的发展。

第二特征向量场(图 4b)与第一特征向量变化不同,具有南北反向变化的结构特征,其中北部形成了以白银为中心的负值区域,南部形成了以天水为中心的正值区域,零等值线横向穿越研究区域中部,接近于农业种植区域的分界线,气候生产潜力随纬度变化的同时,也受到局地地形的影响。南北差异是研究区域气候生产潜力第二空间的异常类型。

### 2.4 气候生产潜力驱动力

气候生产潜力是在充分利用气候资源的前提下农业生产所能达到的理想状态,在研究区域气候明显变暖、水资源严重匮乏的今天,对农业发展驱动力的深入分析将有助于区域农业的科学发展,有助于对资源边际效应的再认识。

假定在水肥气种等基本条件满足的情况下,农业仅受温度和降水 2 个气象因素约束,依据气候生产潜力变化分析驱动效益,其结果可以深刻揭示这些约束因子的重要性。

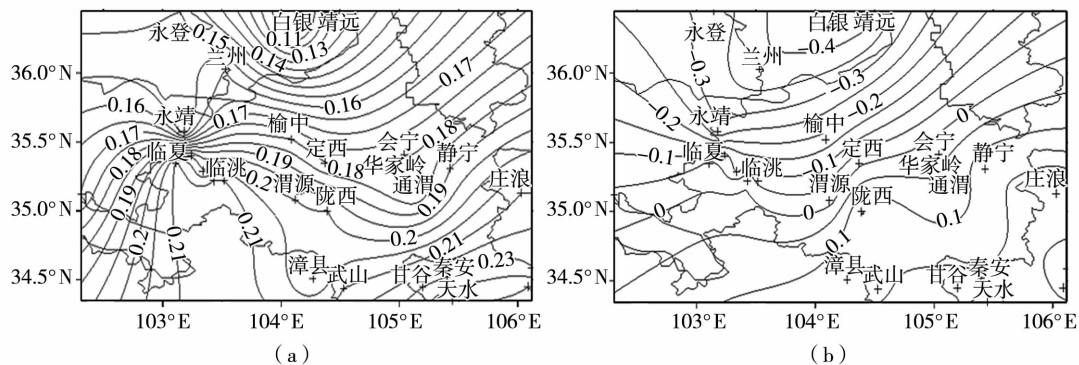


图 4 陇中黄土高原气候生产潜力 EOF 第一(a) 第二(b)特征向量场  
Fig. 4 The first (a) and the second (b) eigenvector fields from EOF of climatic production potential in the middle of Gansu Loess Plateau

### 2.4.1 热量驱动

从图5a可以看出,在降水维持不变的情况下,温度变化 $-1$ 、 $-2$ 、 $-3$   $^{\circ}\text{C}$ 时,研究区域气候生产潜力将依次减少 $20.82$ 、 $42.68$ 和 $65.67$   $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,即温度每降低 $1$   $^{\circ}\text{C}$ ,气候生产潜力大约减少 $22$   $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,热量约束使得农业产量显著减少,且约束力越强减产幅度越大。热量对各地气候生产潜力的影响非常显著,其中最敏感区出现在东乡,减产幅度依次为 $30.26$ 、 $61.69$ 、 $94.51$   $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,约为区域平均值 $144\%$ ~ $147\%$ ,此外夏河、康乐、华家岭、张家川的减产也都超过了 $135\%$ ;白银、永靖对热量约束尚不敏感,气候生产潜力减幅仅为区域平均值的 $19\%$ ,也就是说热量对这两地农业影响并

不敏感。

图5b分析显示,在降水维持不变的情况下,当温度变化 $1$ 、 $2$ 、 $3$   $^{\circ}\text{C}$ 时,研究区域气候生产潜力分别增加 $19.84$ 、 $38.72$ 和 $57.25$   $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,即温度每增加 $1$   $^{\circ}\text{C}$ ,气候生产潜力大约增长 $18$   $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,热量供给不仅有助于农业产量的提升,而且温度越高其增量越明显。东乡增产幅度依次为 $29.24$ 、 $57.53$ 、 $85.95$   $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,约为区域平均值的 $145\%$ ~ $149\%$ ,其次庄浪、康乐、张家川也有明显增长。除了白银、靖远对热量供给反应不敏感外,绝大多数区域都表现出相对的一致性,就气候生产潜力变化来说,热量约束效率大于热量供给,也就是说热量不足对产量形成有明显的抑制作用。

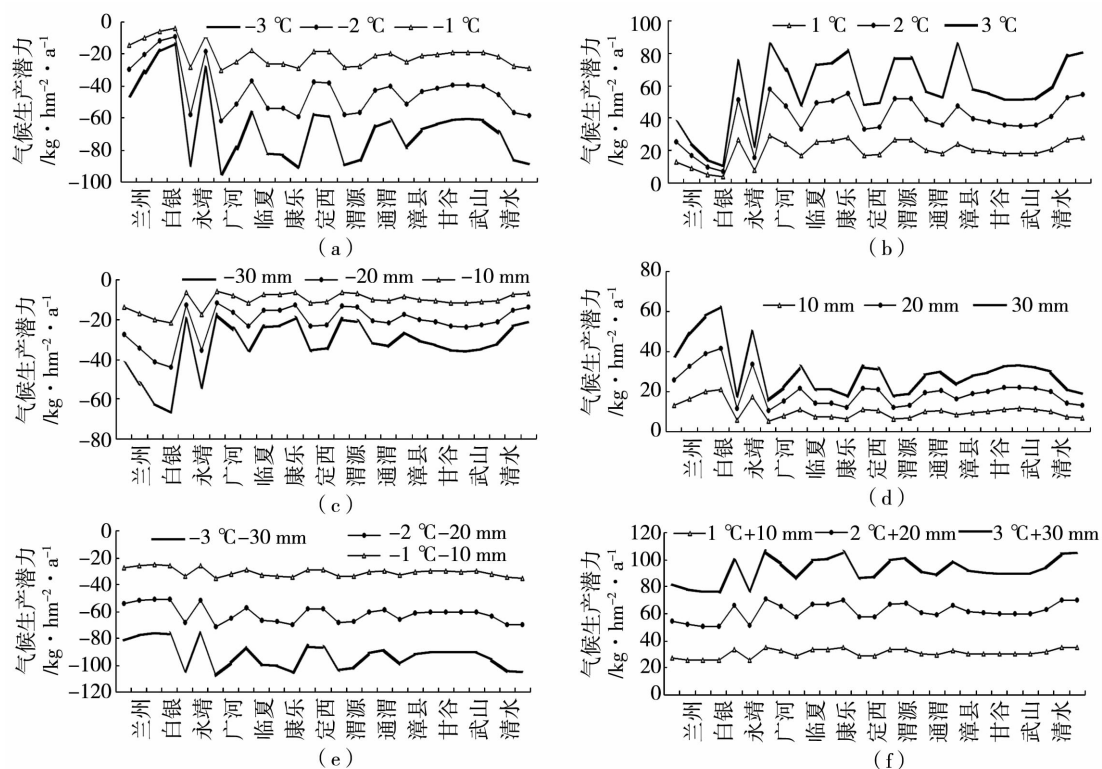


图5 研究区域气候生产潜力的驱动力分析

Fig. 5 Analysis of the driving forces of climatic production potential in the middle Gansu Loess Plateau

### 2.4.2 水分驱动

图5c显示,当温度维持不变时,降水减少 $10$ 、 $20$ 、 $30$   $\text{mm}$ 时,研究区域气候生产潜力将依次减少 $10.68$ 、 $21.70$ 和 $33.09$   $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,也就是说降水每减少 $10$   $\text{mm}$ ,气候生产潜力约减少 $11$   $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,水分胁迫明显地影响着农业产量,即水分供给越少,农业产量越低,尤其是区域西端对水分更为敏感,且集中表现为减产极值区,白银减产幅度依次为 $21.75$ 、 $44.06$ 和 $66.94$   $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,超过区域

平均值的 $2$ 倍,其次靖远减产 $20.29$ 、 $41.12$ 、 $62.48$   $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,为区域平均值的 $193\%$ ;东乡、夏河对水分敏感程度相对较弱。

图5d显示,当温度维持不变时,降水增加 $10$ 、 $20$ 、 $30$   $\text{mm}$ 时,研究区域气候生产潜力分别增加 $10.34$ 、 $20.36$ 和 $30.05$   $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,降水每增加 $10$   $\text{mm}$ 时气候生产潜力平均增加 $10$   $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,即水分供应越充足,产量相对越高,但在水分驱动下各地差异还是比较明显,高敏感区域为白银,气候生

产潜力依次增加 21.18、41.81、61.88  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 超过区域平均值的 2 倍, 其次靖远、永靖、兰州、永登等北部干旱地区对水分供求也非常敏感, 可以认为这些地区农业增产的瓶颈在于水, 增加水分将有利于农业产量的大幅度提升。

#### 2.4.3 双驱动

当热量水分条件双约束时, 气候生产潜力将会发生显著变化。从图 5e 可以看出, 假如在温度降低  $-1$ 、 $-2$ 、 $-3$   $^{\circ}\text{C}$  时, 降水同步减少 10、20、30 mm, 这时气候生产潜力将分别减少 30.85、61.77 和 92.84  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 即热量和水分降低  $1$   $^{\circ}\text{C}$  与 10 mm, 气候生产潜力会减少 31  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 图 5f 显示当温度增加 1、2、3  $^{\circ}\text{C}$ , 降水同时增加 10、20、30 mm, 气候生产潜力将依次增加 30.82、61.64 和 92.42  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

双要素驱动下气候生产潜力的显著变化, 基本上等于 2 个单要素影响下气候生产潜力的累加值, 也就是说加大双要素的供应量将会有效提升农业产量, 并且使研究区域气候生产潜力差异性变化趋缓, 变幅减小。

#### 2.4.4 驱动效益

用 Thornthwaite Memorial 模型假定温度与降水以指定规律变化, 探寻研究区域气候生产潜力的变化, 这种方法一定程度上揭示了影响因子的驱动效益, 但这种假定能否恰当描述其变化情况, 还得对影响因子的权重进行科学分析, 以充分佐证驱动效益的准确性。

通过对模型的反向诉求, 假定温度每变化  $1$   $^{\circ}\text{C}$  时对降水变化效率进行分析, 从图 6 可以看出, 庄浪、康乐、东乡均超过 10 mm, 也就是说温度变化  $1$   $^{\circ}\text{C}$  等于降水变化  $\geq 10$  mm 的效率, 相对来说这些地方的热量供给非常重要; 而在永登、兰州、靖远、白银、永靖均不足 5 mm, 说明温度变化  $1$   $^{\circ}\text{C}$  等于降水变化  $\leq 5$  mm 的效率, 相比热量而言水分供给显得非常重要。按照降水效率可将研究区域划分为 4 个等级, 降水  $\geq 10$  mm 为 I 级,  $8.0$  mm  $\leq$  降水  $< 9.9$  mm 为 II 级,  $5.0$  mm  $\leq$  降水  $< 8.0$  mm 为 III 级, 降水  $< 5.0$  mm 为 IV 级。

陇中黄土高原属于干旱区域, 水分严重制约农业发展, 因此农业发展特别需要分类区别, 因地制宜。在 I 级区域(庄浪、康乐、东乡)应高度重视热量效率, 采用暖棚与地膜覆盖技术尽可能增加农业种植区域的温度, 通过热量供给有效替代区域水分的亏空; IV 区域(永登、兰州、靖远、白银、永靖)则应该适当地限制热量供应, 避免因温度过高消耗有限

水分, 同时要通过节水、抗旱等手段使农业现有保水量得到高效利用。II 级区域(夏河、广河、临夏、临洮、华家岭、渭源、清水、张家川)应该偏重于热量供给, 通过现代设施保温技术尽可能增加农作物生长季的热量供给; III 级区域(榆中、会宁、定西、静宁、通渭、漳县、陇西、甘谷、秦安、天水)应该偏好水分供给, 通过农业保湿节水技术使现有农业供水(有效降水)发挥最大功效。

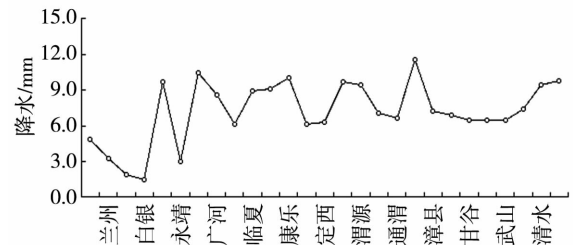


图 6 温度每变化  $1$   $^{\circ}\text{C}$  时降水的变化效率  
Fig. 6 The precipitation driving effectiveness of climatic potential productivity when temperature changes  $1$   $^{\circ}\text{C}$  in middle Gansu Loess Plateau

### 3 小结与讨论

陇中黄土高原年平均气温呈上升趋势, 气候倾向率为  $0.369$   $^{\circ}\text{C}/10$  a, 降水以及气候生产潜力均呈明显的波动性变化, 尽管实际粮食产量增长明显, 但仅占到气候生产潜力的 43.8% (2000 ~ 2013 年), 农业开发力度还待大幅提升。气候生产潜力南高北低, 纬向分布差异明显, 同时还受局地地形影响, 这一现象在 EOF 第一向量特征分析中得到了进一步佐证。

在热量驱动下温度每降低  $1$   $^{\circ}\text{C}$ , 气候生产潜力减产  $22$   $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 即热量约束使农业产量显著减少; 温度每增加  $1$   $^{\circ}\text{C}$ , 气候生产潜力增产  $18$   $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 也就是说热量约束效率大于供给, 热量不足对农业产量的形成有明显抑制作用。在水分驱动下每减少 10 mm 降水, 气候生产潜力将减产  $11$   $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 相反降水每增加 10 mm 时气候生产潜力将增加  $10$   $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 也就是说降水与气候生产力的变化非常接近。在热量、水分双驱动时气候生产潜力同步叠加了 2 个单要素的影响值, 加大水热供应量将会有效提升农业产量, 并且使气候生产潜力差异性变化趋缓, 变幅减小。

进一步对驱动效益进行分析, 可以将陇中黄土高原划分为 4 个区域, 在不同区域上农业发展需要因地制宜, 区别对待, 从而为气候生产潜力区划提供一定的支撑, 同时为研究区域高效利用气候资源、提

高生产力水平、指导农业可持续发展提供参考依据。

对旱作农业而言,水资源不足是农业发展的最大瓶颈,而基于温度与降水的气候生产潜力仅仅反映了现阶段农业生产潜能的理论值,农业实际产量与之相比还有很大差距,这一方面反映了农业产量提升是一个长期课题,需要持之以恒的努力,另一方面气候生产潜力差异性给区域农业发展提出了挑战,如何利用农业现代技术提升气候资源的高效利用能力将是一项战略性的任务。

气候生产潜力理论研究是基于各种影响因素在最优情况下的假设,在实际生产中各种因素不可能全部满足。另外本研究所涉及的参数在不同区域肯定是有变化的,为了研究方便,本文采用统一值,从而隐藏了其中的误差,这是缺憾之一。尽管气候生产潜力有赖于光、温、水等自然条件的影响,但如果能够进一步考虑土壤、灌溉、化肥、农业机械等社会因素的影响,则可获得更为准确的研究结论。

#### 参考文献:

- [1] 肖国举,张强,王静. 全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展[J]. 应用生态学报,2007,18(8):1877-1885.
- [2] 张强,陈丽华,王润元,等. 气候变化与西北地区粮食和食品安全[J]. 干旱气象,2012,30(4):509-513.
- [3] 宁惠芳,林婧婧,陈佩璇. 甘肃省气候暖干化与农业干旱灾害的联系[J]. 干旱气象,2010,28(2):198-201.
- [4] 林婧婧,申恩青,刘德祥. 甘肃省近58 a 春末夏初旱变化特征及其对夏粮的影响[J]. 干旱气象,2012,30(1):77-80.

- [5] 陶波,李克让,邵雪梅,等. 中国陆地净初级生产力时空特征模拟[J]. 地理学报,2003,58(3):372-380.
- [6] 贾文雄,何元庆,李宗省,等. 祁连山及河西走廊气候变化的时空分布特征[J]. 中国沙漠,2008,28(6):1151-1154.
- [7] 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.
- [8] 郭建平,高素华,刘玲,等. 气候变化对红松气候生产潜力的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(2):129-131.
- [9] 马瑞芳. 内蒙古草原区近50年气候变化及其对草地生产力的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2007.30-35.
- [10] 陆魁东,屈右铭,张超,等. 湖南气候变化对农作物生产潜力的响应[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2007,33(1):9-13.
- [11] 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):202-208.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 姚玉璧,杨金虎,王润元,等. 50年长江源区域植被净初级生产力及其影响因素变化特征[J]. 生态环境学报,2010,19(11):2521-2528.
- [16] 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.
- [17] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.1-269.

## Spatial and Temporal Variation of Climatic Production Potential and Its Driving Force Factors in Middle Gansu Loess Plateau

XIE Wanyin, GUO Xiaoqin, LU Dengrong, YIN Yuchun, WANG Jinbo

(Gansu Provincial Meteorological Bureau, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** Based on meteorological data of 27 observation stations in the middle of Gansu Loess Plateau from 1971 to 2013, the climatic production potential was calculated by using the Thornthwaite Memorial model and its variation tendency was analyzed by means of Empirical Orthogonal Function (EOF). Studies show that temperature increase was obvious in middle Gansu Loess Plateau, the climatic production potential was greatly dependent on precipitation and fluctuated with the change of precipitation. On the whole, the climatic production potential presented a zonal distribution, which was affected by topography. Driven by a single factor, when temperature was reduced by 1 °C, the climatic production potential would be cut by 22 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>, and when temperature increased 1 °C, the climatic production potential would increase 18 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>. And when precipitation was reduced by 10 mm, the climatic production potential would decrease 11 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>, and when precipitation increased 10 mm, the climatic production potential would increase 10 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>. The dual driving effect was just like the superposition of the single factor. The study area was divided into four regions by the weight assessment of driving factors, it should be treated differently in the regional agricultural development strategy in order to fully improve the efficiency of climate resources.

**Key words:** middle Gansu Loess Plateau; climatic production potential; driving effectiveness