王 胜,王毅荣. 甘肃春小麦产量时空分布及其气候响应[J]. 干旱气象,2013,31(2):298-302,doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-02-0298

甘肃春小麦产量时空分布及其气候响应

王 胜[1],王毅荣[2]

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室,甘肃 兰州 730020;2. 甘肃省定西市气象局,甘肃 定西 743000)

摘 要:利用近45 a甘肃省78县区春小麦实际产量生长期(3~6月)气温、降水和日照时数等资料,主要采用REOF和小波分析等方法,分析春小麦产量时空演变及气候响应。结果表明:1)甘肃春小麦产量由西向东、由北到南产量递减;2)存在河东、河西2个特别区域,春小麦在河西走廊地区高产而稳定,河东地区明显产量低且不稳定,陇中黄土高原地区最为突出;河西走廊区域产量变化与陇中反向,及河西产量偏高年份河东反而偏低,反之亦然。河东地区相关程度很高,产量变化与河西反向;3)河西走廊地区对气温响应敏感,甘肃黄土高原地区对干湿(降水)的变化敏感;4)响应最敏感区产量1991年之前变幅较小,之后变幅加大;丰欠年份相间,存在2~3 a的准振荡周期。

关键词:甘肃;春小麦产量;时空特征;气候变暖;响应

文章编号:1006-7639(2013)-02-0298-05 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-02-0298

中图分类号:S162.5 **文献标识码**:A

引 言

全球气候变化已成为当今生物有机体面临的最严峻的生态胁迫。气温升高和降雨格局的改变使得生物有机体的性状、种间关系、分布格局与生物多样性发生改变,进而影响以生物有机体为主体的生态系统功能和稳定性,最终影响人类的生存和社会经济的可持续发展。作物生态环境出现响应和适应[1-2]。

气候变化下作物生长响应明显、气候极端事件增多[3-5]。对未来气候变化将造成的不良后果人们十分关心,许多国家都对此做了认真研究,以便及时采取对策,对农业做出相应调整[6-7]。全球气候变化对农业产生重大影响,其中对那些适应能力差,生产异常脆弱的地区是不利的[8-9]。就农业而言,与气候变化同样重要的是气候变率的变化,而极端气候事件则常使粮食生产损失巨大[10-11]。

气候变化对农业生产的影响主要表现在产量上,建立气候波动与作物产量或气候生产力之间关系的气象产量模型或气候生产力模型,可以模拟气候变化对粮食产量的影响[12-16]。

甘肃地处内陆温带,是生产环境异常脆弱地区[17-18],继续增暖气候没有明显转型的迹象[19-20],春小麦作为当地主要粮食作物,夏季生长期短,研究脆弱区农业对气候变化响应程度很有必要,本文着重对甘肃春小麦产量对气候变暖响应进行研究。

1 研究方法

主要利用1981~2000年20 a甘肃全省78县区(图1)代表站45a(1963~2007年)春小麦实际产

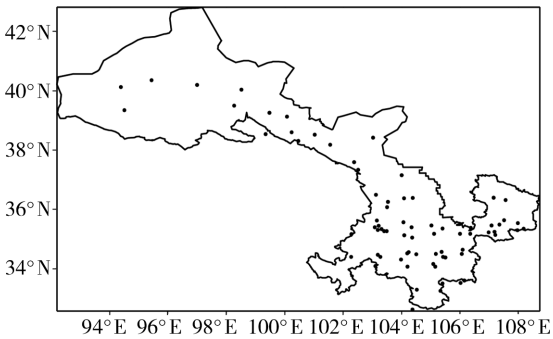

图1 甘肃78县区春小麦分布

Fig. 1 The distribution of 78 counties for spring wheat planting in Gansu Province

收稿日期:2012-10-30;**改回日期**:2013-01-21

基金项目:国家自然科学基金项目(41075009,40830957)、中国气象局兰州干旱气象研究所科研业务费项目共同资助

作者简介:王胜(1973-),男,新疆奎屯人,副研究员,主要从事陆面过程研究. E-mail:totrump@126.com

通讯作者:王毅荣(1967-),男,甘肃定西人,高级工程师,现主要从事天气气候、应用气象研究. E-mail:werice@163.com

量和生长期(3 ~6 月)相关气象实况资料。计算产量的绝对变率(绝对偏差的平均值)和相对变率(绝对变率与均值之比)。用 REOF 分解,对时间系数序列使用小波分析[21]方法分析产量的演变周期特征,采用 Petitt 方法[22-23]计算变点和滑动 t 检验方法。

2　春小麦产量的地域特征

2.1　春小麦平均产量地域差异

春小麦平均产量分布(图 2)的基本特点是,由西向东、由北到南产量递减,其中河西走廊大多在 5 000 kg/hm^2 以上,最高超 8 500 kg/hm^2,黄河灌区次高,黄土高原半干旱区产量最低,在 1 500 kg/hm^2 以下。

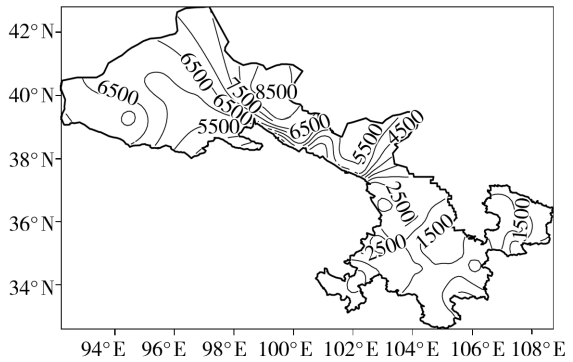

图 2　甘肃春小麦产量分布

Fig. 2　Spatial distribution of spring wheat yield in Gansu region

2.2　春小麦产量变率地域差异

从甘肃省春小麦产量的绝对变率来看(图 3a),河西西部地区数值最大,陇中盆地、陇东高原地区数值较小;相对变率(图 3b)陇东高原最大,河西中部最小。可见,春小麦在河西走廊地区高产而稳定,河东地区明显低产而且不稳定,陇中黄土高原地区最为明显。

2.3　春小麦产量的次区域划分

对 1981 ~2007 年春小麦产量剔去线形趋势项,进行 EOF 分解,取前 5 主分量(其解释了总方差的 95.6%。)参加转动,做方差最大正交旋转(REOF 分解)。REOF(空间模,旋转后的特征向量)反映空间相关程度。

图 4 给出了前 2 个空间模态分布,依此分析甘肃春小麦次区域尺度特征(前 2 个空间模态解释了总方差的 71.7%)。

第 1 空间模(图 4a)占总方差的 38.95%,图中最显著的特征是区域数值以正值为主,从西向东减小,到河东陇中转为负值;反映出河西走廊区域相关程度很高,产量变化与陇中反向,即河西产量偏高年份河东反而偏低,反之亦然。

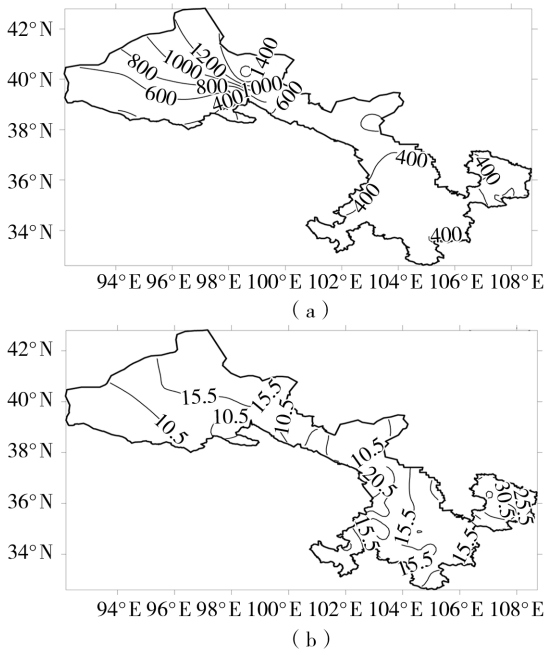

图 3　春小麦产量绝对变率(a)和相对变率(b)的空间分布

Fig. 3　Spatial distribution of absolute (a) and relative (b) variation rate of spring wheat yield in Gansu Province

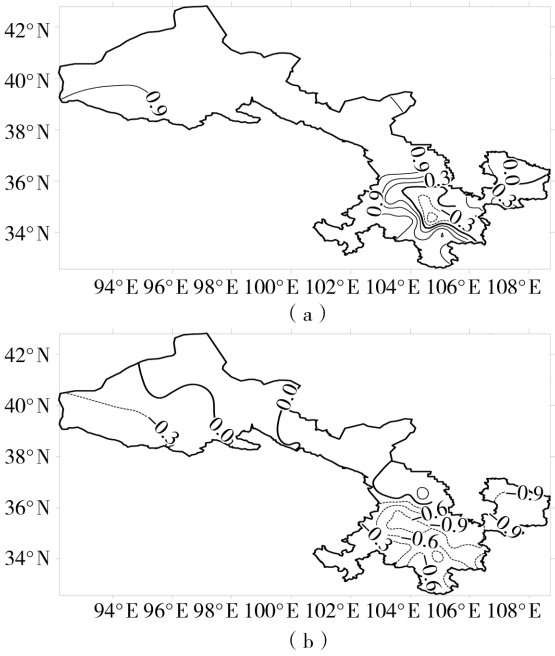

图 4　春小麦产量 REOF 的第 1(a)和第 2(b)个空间模

Fig. 4　Spatial structures of the first (a) and second (b) rotating loading vectors of spring wheat yield in Gansu

第 2 空间模(图 4b)占总方差的 32.75%,区域数值以负值为主,绝对值从东向西降低,可见河东地区相关程度很高,产量变化与河西反向。由此可见,甘肃春小麦产量存在河东、河西 2 个特别区域。

河西走廊的气候属大陆性干旱气候,以灌溉农业为主,年降水量大多在 200 mm 以下,云量稀少,日照时间较长,全年日照可达 2 550 ~ 3 500 h,光照资源丰富,对春小麦生长发育十分有利。河东地区基本以雨养农业为主,大陆性季风气候显著,夏季短促而不炎热,冬季干旱是威胁作物生长的主要因素。

3 春小麦产量对气候响应

3.1 敏感区

对甘肃省 30 个气象观测站 3 ~ 6 月平均气温(标准化资料)进行 EOF 分解,EOF1 空间分布全区数值符号一致,EOF1 解释了 85% 以上的方差,可见甘肃春小麦种植区的气温变化具有很高的一致性,PC1 提取了大范围气温变化特征。同期降水距平百分率 EOF1 的方差贡献为 55% 以上,全区一致也是甘肃降水年际变化的主要特征。

图 5 给出各地小麦产量与气温、降水场 PC1 的相关分布,分析全省春小麦产量对气候暖干化的响应关系。图 5a 可见,气温在黄土高原地区(陇中、陇东)与春小麦产量呈负相关(信度较低),表明这些地方对大尺度气候(气温)的变化不太敏感;其余各地相关显著(通过 0.01 信度检验),对气候变暖响应明显,尤其是在河西走廊东部地方最为敏感。气温偏高年份河西春小麦产量偏高,反之亦然。这是因为河西走廊地区太阳辐射强、温差大、光温配合好,小麦光合作用强度高,呼吸消耗小,有利于更多地积累同化产物。从图 5b 可见,降水与产量全区呈现正相关,相关系数由东向西减少,其中甘肃黄土高原地区相关系数最大,最为显著(通过 0.01 信度检验),表明这些地方对干湿(降水)的变化很敏感,对气候变干(湿)响应明显,降水偏多(少)此处春小麦产量偏高最明显,反之亦然。

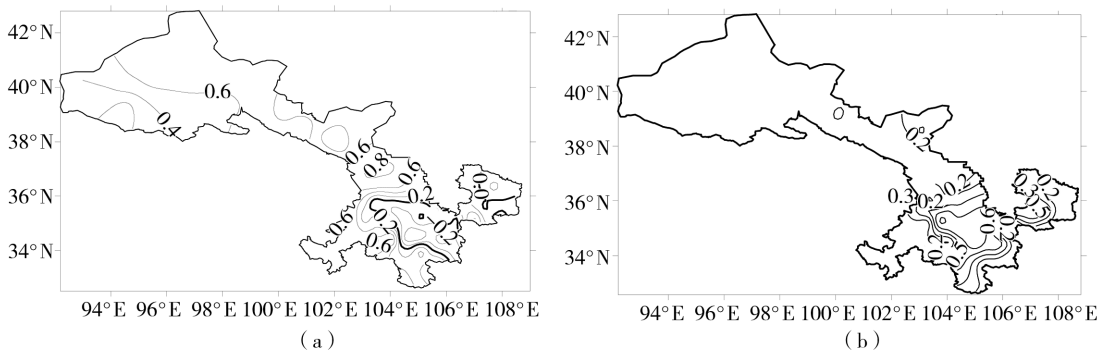

图 5 气温(a)及降水(b)EOF1 时间系数与春小麦产量间相关系数分布

Fig. 5 Correlation coefficients between spring wheat yield and the time coefficients from EOF1 of temperature(a) and rainfall(b) in Gansu Province

计算表明,RPC1 时间系数与河西平均日照时数间在 $\alpha = 0.05$ 信度水平相关显著,及日照偏多年份产量偏高;而 RPC2 时间系数与河东平均日照时数相关系数反映出,日照偏多年份产量反而偏低,这与日照丰富年份往往降水偏少干旱偏重有关。这也是河西、河东产量反向演变的原因之一。

3.2 敏感时段

从春小麦产量空间敏感区看到,甘肃春小麦产量变化最敏感区域在河东陇中地区一带,选取该区域的定西市代表典型敏感区,进一步分析敏感区春小麦在时间上对气候变化的响应。

在 1963 ~ 2007 年 45 a 间,定西市春小麦单产量相对变幅平均为 23.4%,最大变幅为 67.6%;偏丰年有 25 a,偏欠年 20 a。

图 6 给出 1963 ~ 2007 年定西市春小麦单产(剔除线性趋势)曲线及其小波分析。45 a 春小麦单产序列与其 3 阶主旨函数(图 6a),主旨函数与其原序列在 $\alpha = 0.01$ 信度水平相关显著,主旨函数对其趋势有很好的代表性,看到产量大致存在 2 个阶段,1991 年之前以上升为主,之后下降明显;1991 年之前产量变幅较小,之后变幅加大。

1982 年和 1999 年是 Petitt 变点,在 $\alpha = 0.005$ 水平上滑动 t 检验突变显著,表明定西市春小麦单产在 1982 年和 1999 年附近存在突变,在 1982 年之前处于相对低产阶段,1982 ~ 1999 年间为相对不稳定高产阶段,1999 年后再次转入低产阶段。

小波图(图 6b)中阴影表示振荡振幅为负,其余振幅为正。可以看出,在年代际时间尺度上振幅前

期为负后期为正,表明春小麦单产量前期为偏欠阶段,后期偏丰,分界大致至在 1982 年附近,这与 Petitt 变点一致;在 10 a 时间尺度上,1970 年代产量偏丰、1980 年代产量偏欠,存在 10 ~ 11 a 振荡周期;在年际变化时间尺度上正负振幅区域相间,表明丰欠年份相间,存在 2 ~ 3 a 的准振荡周期。

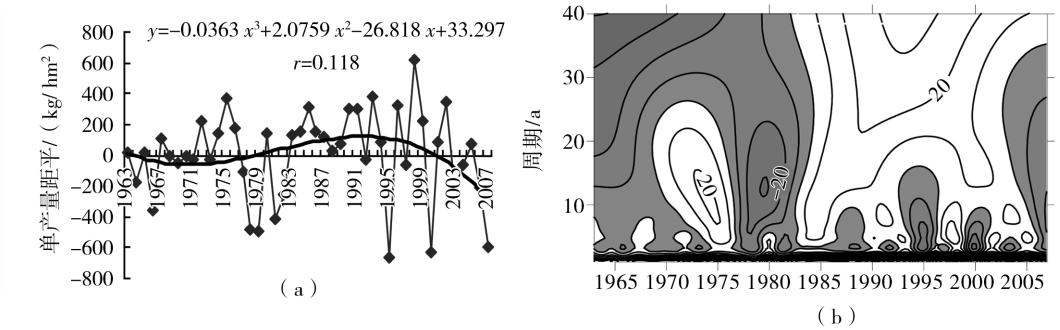

图 6　定西春小麦单产量曲线(a)和小波分析(b)

Fig. 6　The annual variation curve (a) and wavelet analysis(b) of spring wheat yield in Dingxi of Gansu Province

4　结论和讨论

(1)甘肃春小麦产量由西向东、由北到南产量递减,其中河西走廊大多在 5 000 kg/hm^2 以上,最高超 8 500 kg/hm^2,黄河灌区次高,黄土高原半干旱区产量最低,在 1 500 kg/hm^2 以下。春小麦在河西走廊地区高产而稳定,河东地区产量较低且不稳定,陇中黄土高原地区最为突出。

(2)产量的主要空间模态反映出河东、河西 2 个特别区域;河西走廊区域相关程度很高,产量变化与陇中反向,即河西产量偏高年份河东反而偏低,反之亦然。河东地区相关程度很高,产量变化与河西反向。

(3)甘肃黄土高原地区(陇中、陇东)春小麦产量与气温负相关(信度较低),对大尺度气温的变化不太敏感;其余各地对气候变暖(冷)响应明显,尤其是在河西走廊东部地区最为敏感,与气温显著正相关,即气温偏高年份河西春小麦产量偏高,反之亦然。甘肃黄土高原地区对干湿(降水)的变化很敏感,对气候变干(湿)响应明显,降水偏多(少)年份春小麦产量偏高最明显,反之亦然。

河西平均日照时数在 $\alpha = 0.05$ 信度水平相关显著,即日照偏多年份产量偏高;河东日照偏多年份产量反而偏低。

(4)春小麦产量响应最敏感区域时间主要特点:1991 年之前以上升为主,之后下降明显;1991 年之前产量变幅较小,之后变幅加大;产量在 1982 年和 1999 年附近存在突变,在 1982 年之前处于相对低产阶段,1982 ~ 1999 年间相对不稳定高产阶段,1999 年后再次转入低产阶段。在 10 a 时间尺度上,1970 年代产量偏丰、1980 年代产量偏欠,存在 10 ~ 11 a 振荡周期;丰欠年份相间,存在 2 ~ 3a 的准振荡周期。

干旱是影响河东小麦产量的最主要气候因素,针对小麦产量随气候演变的周期特点,在不适宜年份,提早蓄水或加大浇灌能力,加强土壤水分供给,或者改种其他作物;影响河西产量的主要因素是光照热量,在目前人力难以大规模提高热量的形势下,根据演变的周期特点,适时改种不失为好的措施。因此,甘肃省政府提出“4 个千万亩”[24],即全膜双垄沟播玉米 1 000 万亩、马铃薯脱毒种薯种植 1 000 万亩、高效节水农业 1 000 万亩、优质林果 1 000 万亩等措施,不失为很好的应对措施和对策。

参考文献:

[1] Luo Y, Wan S, Hui D, et al. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie[J]. Nature, 2001, 413: 622 – 625

[2] Heimann M, Reichstein M. Terrestrial ecosystem global warming due to carbon – cycle feedbacks in a coupled climate model[J]. Nature, 2000, 408: 184 – 187.

[3] 史晓霞. 黄土高原半干旱区主要作物生育期土壤水分变化[J]. 干旱气象, 2011, 29(4): 461 – 465.

[4] 郭江勇, 李耀辉. 甘肃黄土高原气温 10 ℃初日的变化特征[J]. 干旱气象, 2005, 23(4): 24 – 29.

[5] 符淙斌, 董文杰, 温刚, 等. 全球变化的区域响应和适应[J]. 气象学报, 2003, 61(2): 245 – 249.

[6] Ye Duzheng, Jiang Yundi, Dong Wenjie. The Northward shift of climatic belts in China during the last 50 years and the corresponding seasonal responses[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2003, 20(6): 959 – 967.

[7] 丁一汇,张锦,宋亚芳. 天气和气候极端事件的变化及其与全球变暖的联系[J]. 气象,2002,28(3):3-7.
[8] 林海. 中国全球变化研究的回顾与展望[J]. 地学前缘,2002,9(1):19-25.
[9] 单新兰,苏占胜,张智,等. 宁夏山区春季降水对冬小麦生长发育的影响[J]. 干旱气象,2012,30(3):426-430.
[10] 秦大河. 气候变化的事实与影响及对策[J]. 中国科学基金,2003,17(1):1-3.
[11] Brown R A, Rosenberg N S. Sensitivity of crop yield and water use to change in a range of climatc factor and CO_2 concentrations: a simulation study apply Epic to the central USA[J]. Agricultural Forest Meteorology,1997,83(2):171-203.
[12] IPCC Working Group Ⅰ. Scientific Assessment of Climate Change [R]. Cambridge: Cambridge Publishing House,1992:58-125.
[13] 刘德祥,董安祥,陆登荣. 中国西北地区近43年气候变化及其对农业生产的影响[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(2):195-200.
[14] 章基嘉,徐祥德,苗俊峰. 气候变化及其对农业作物生产潜力的影响[J]. 气象,1992,18(8):3-7.
[15] 郑腾飞,郭建茂,于鑫,等. 基于氮处理的不同生育期冬小麦光能利用率和光化学植被指数的关系[J]. 干旱气象,2012,30(4):623-629.
[16] 张宇,王石立,王馥棠. 气候变化对黄淮海地区小麦产量可能影响的模拟试[J]. 应用气象学报,2000,11(3):264-270.
[17] 秦大河. 中国西部环境演变评估·综合卷——中国西部环境演变评估综合报告[M]. 北京:科学出版社,2002. 56-66.
[18] 孙国武,罗哲贤,李兆元. 中国西北干旱气候动力学引论[M]. 北京:气象出版社,2005. 225.
[19] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土,2002,25(3):219-226.
[20] 汤懋苍,柳艳香,冯松. 一个新的千年暖期可能已经来临[J]. 高原气象,2002,21(2):128-131.
[21] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M](第二版). 北京:气象出版社,2007. 157-160.
[22] 王毅荣. 黄河上游牧草区水热变化及土壤水分响应[J]. 自然资源学报,2007,22(2):260-267.
[23] Petitt A N, A non-parametric approach to the change point problem[J]. Appl statis,1979,28:125-135.
[24] 邓振镛,张强,赵红岩,等. 气候暖干化对西北四省(区)农业种植结构的影响及调整方案[J]. 高原气象,2012,31(2):498-503.

Spatial-temporal Characteristic and Response of Spring Wheat Yield to Climate Change in Gansu Province

WANG Sheng[1], WANG Yirong[2]

(1. *Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province; Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou* 730020; *China*; 2. *Dingxi Meteorological Bureau of Gansu Province, Dingxi* 743000, *China*)

Abstract: Based on temperature, rainfall and sunshine hours data during spring wheat growth period (March to June) from 78 stations of Gansu Province in recent 45 years, the spatial and temporal evolution and climate response of spring wheat yield were analyzed by means of REOF and wavelets analysis. The results are as follows: (1) The spring wheat yield decreased from west to east and north to south region in Gansu Province; (2) There was two special regions for spring wheat, in east region of Gansu Province, the spring wheat yield was obviously lower and unstable, especially for the loess plateau region of the middle Gansu, while in west region of Gansu Province, the spring wheat yield was higher and stable. And when higher yield appeared in Hexi Corridor, the lower yield appeared in east region of Gansu Province and vice versa; (3) The spring wheat yield was sensitive to temperature change in Hexi Corridor, but in the loess plateau region, it was sensitive to precipitation; (4) The spring wheat yield amplitude was smaller before 1991 in the most sensitive area and then increased, and the abundant and shortfall years alternated with two to three years period.

Key words: Gansu; spring wheat yield; spatial-temporal characteristic; climate warming; response