

1961—2010 年陕甘宁农区干旱变化规律及其 对小麦潜在产量的影响

刘 明¹, 李素菊¹, 武建军², 和海霞¹, 黄 河¹, 吕爱锋³

(1. 民政部国家减灾中心, 北京 100124; 2. 北京师范大学减灾与应急管理研究院, 北京 100875;

3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 干旱作为一种典型的气象灾害事件, 对人类生产生活带来了极大影响。近几十年来, 随着气候变化不断加剧, 干旱的变化规律及对作物生长影响的变化趋势已成为气候变化影响研究的重要组成部分。该文选择中国陕甘宁农区为研究区, 利用帕默尔干旱指数 (Palmer drought severity index, PDSI) 分析了 1961—2010 年干旱强度及频率的变化趋势, 并研究了不同月份干旱的变化趋势; 在此基础上, 依托 EPIC (environmental policy integrated climate) 模型分别模拟了冬小麦、春小麦在雨养和充足灌溉条件下的作物生长过程, 通过两种模拟情景的差异研究降水亏缺所导致干旱对作物潜在产量影响的变化趋势。研究发现: 1961—2010 年, 中国陕甘宁农区年均 PDSI 呈现明显的下降趋势, 并且年内重度干旱月份数 (PDSI<-3.0) 出现了明显的增长趋势, 干旱发生频率上升, 强度增强。尤其在 4、5、7 月, 由于降水量明显下降, PDSI 的下降趋势最为明显。相比而言, 冬小麦种植区 PDSI 的变化幅度较大。通过分析 EPIC 模拟结果发现, 近 50 a, 研究区大部分站点干旱导致的作物减产量均出现不同程度的上升, 并且空间分布格局与 PDSI 变化趋势分布相同, 研究区中部地区作物产量的减产幅度明显大于其他地区。

关键词: 农业; 干旱; 作物; 产量; EPIC 模型; 帕默尔干旱指数

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.021

中图分类号: S166

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-18-0147-08

刘 明, 李素菊, 武建军, 和海霞, 黄 河, 吕爱锋. 1961—2010 年陕甘宁农区干旱变化规律及其对小麦潜在产量的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 147—154. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.021 <http://www.tcsae.org>

Liu Ming, Li Suju, Wu Jianjun, He Haixia, Huang He, Lü Aifeng. Change of drought and its impact on potential yield of wheat in agricultural region of Shan-Gan-Ning region in 1961—2010[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(18): 147—154. (in Chinese with English abstract)

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.021 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

干旱灾害形成过程复杂, 影响因素众多, 影响范围广泛, 危害极为严重^[1]。中国水资源极度匮乏, 人均水资源量尚不足全球平均值的 25%, 且水资源分布极不平均, 是全球干旱影响较严重的国家之一^[2]。近几十年来, 随着气候变化不断加剧, 干旱等极端灾害性气象事件频发, 危害愈发严重^[3], 中国的农业生产及粮食安全也日趋受到威胁, 开展干旱变化及影响趋势研究已刻不容缓。

农业干旱变化趋势研究可为农业干旱防御工作提供重要的参考依据。多年以来, 国内外学者基于气象干旱指数、土壤水分模型等方法在此方面开展了诸多研究。其中, 帕默尔干旱指数 (Palmer drought severity index, PDSI) 因充分考虑了土壤水分平衡, 被广泛应用于探索农业干旱的变化规律。Dai 等^[4]基于 PDSI 分析了全球范围内干旱变化趋势, 发现自 1970s 干旱存在加重的趋势。Zhai 等^[5]也通过分析中国北方地区 PDSI 的变化规律, 发现干旱

发生年份呈现明显的上升趋势。在中国主要农业区——黄淮海平原, 马柱国、翟盘茂等^[6-7]基于 PDSI 的变化发现, 21 世纪以来重度干旱发生频率是上世纪 50 年代的 3 倍。以上研究均基于 PDSI 分析了主要农业区干旱的变化趋势, 并通过 PDSI 年度数值变化以及重度干旱发生次数, 对干旱的强度及发生频率的变化趋势进行了定量分析。但是, 农作物是干旱的主要承灾体, 农作物具有一定的生长规律, 不同生长阶段水分亏缺对产量的影响差异较大^[8], 农业干旱变化趋势研究需结合农作物生长规律, 但在不同生长阶段开展农业干旱变化分析的研究相对较少。

干旱对作物产量的影响分析也是农业干旱研究的重要方向。蒸散量可以反映作物生长的实际耗水量, 构成了农业干旱形成要素中的需水部分。很多学者基于蒸散亏缺量与作物减产的关系构建了农业干旱损失评估模型^[9], 其中, 作物水分生产函数 (crop water production function, CWPF)^[10-14]为主要研究手段。作物水分生产函数可有效反映水分亏缺对作物的影响, 但其获取多通过农田试验获取, 大面积推广存在一定难度。遥感技术具有实时大面积区域监测的优势, 通过遥感、GPS 等手段可以获取旱区空间范围和作物长势, 通过对比历史同期数据, 完成区域尺度上干旱损失评估^[15]。但是, 基于

收稿日期: 2015-05-26 修订日期: 2015-08-22

基金项目: 国家国际科技合作专项 (2013DFG21010-2)

作者简介: 刘 明, 河北邢台人, 助理研究员, 主要从事干旱灾害变化规律研究。北京 民政部国家减灾中心, 100124。Email: liuming@ndrcc.gov.cn

标准化处理以后，值一般在-6（干）和+6（湿）之间变化，其中指征干旱的分级标准如表 1 所示。

表 1 PDSI 干旱指数等级划分表
Table 1 Drought grades classification of Palmer drought severity index (PDSI)

等级 Grade	类型 Classification	PDSI 值 PDSI Value
1	无旱	-1.0<PDSI
2	轻旱	-2.0<PDSI≤-1.0
3	中旱	-3.0<PDSI≤-2.0
4	重旱	-4.0<PDSI≤-3.0
5	特旱	PDSI≤-4.0

1.4 EPIC 作物生长模型

EPIC 综合了作物生长过程中发生在土壤、作物、大气、管理之间的主要过程，以辐射利用效率为主要方法，通过分析土壤水分、养分、温度等要素对作物生长的影响，以日为时间步长，模拟从一个生长季到上百年的农田水土资源及作物生产力的动态变化^[25]。EPIC 模型可以模拟灌溉、施肥、除草等农田耕作对作物生长及产量的影响，是开展农业技术选择、农业生产管理决策的重要分析工具^[26]。本文基于 EPIC 模型开展冬小麦、春小麦研究所需参数，也已通过近年产量统计数据开展了验证，模型精度能够达到在此区域中的应用要求^[27]。

1.5 趋势分析方法

变化趋势分析可用于研究判断要素在过去一段时间的变化规律。在本文中，变化趋势分析主要用于研究冬小麦生长期及不同生长阶段内温度、降水等气象数据以及水分亏缺、产量等要素的变化规律。本文利用广泛应

用于长时间序列气象、水文变化趋势分析的 Hirsch 法来研究以上要素的变化^[28-29]。

$$\beta_k = \text{median} \left(\frac{X_{jk} - X_{ik}}{j - i} \right) \quad (1)$$

$$k = 1, 2, \dots, 12 \quad 1961 \leq i < j \leq 2010$$

式中： β_k 为变化幅度， i 、 j 为需要监测时间段中的年份， X 为需要监测的要素， k 为需要监测要素的月份，median 为中位数。

2 结果与分析

2.1 温度、降水量与 PDSI 变化趋势

温度、降水变化是影响干旱发生规律变化的主要因素。1961—2010 年，研究区温度出现了明显的增长趋势（见图 2a），12 个月份均呈现出不同程度的增长趋势，其中，冬季 1、2 月份温度增长趋势尤为明显。与温度较为统一的增长趋势不同，不同月份降水量的变化趋势则呈现出一定的差异性（见图 2a）。4、7、9 月的降水量出现明显下降，变化趋势量大于 0.2 mm/a，10、11 月的降水量也出现了小幅的下降，与之相反，降水量在 6 月则有所增大，变化趋势量超过了 0.1 mm/a。

温度的升高将在一定程度上增加水分的蒸发量，而若同期降水量出现明显的下降趋势，则极易导致愈发频繁且严重的干旱。通过分析近 50 a 不同月份 PDSI 的变化趋势发现（见图 2b），4、7—11 月，由于降水量的明显下降，PDSI 呈现出明显的下降趋势。6 月，由于降水量的增加，PDSI 的下降趋势有所缓和。4—10 月为本研究区主要作物的重要发育阶段，愈发严重的干旱将对作物生长及产量造成更大的影响。

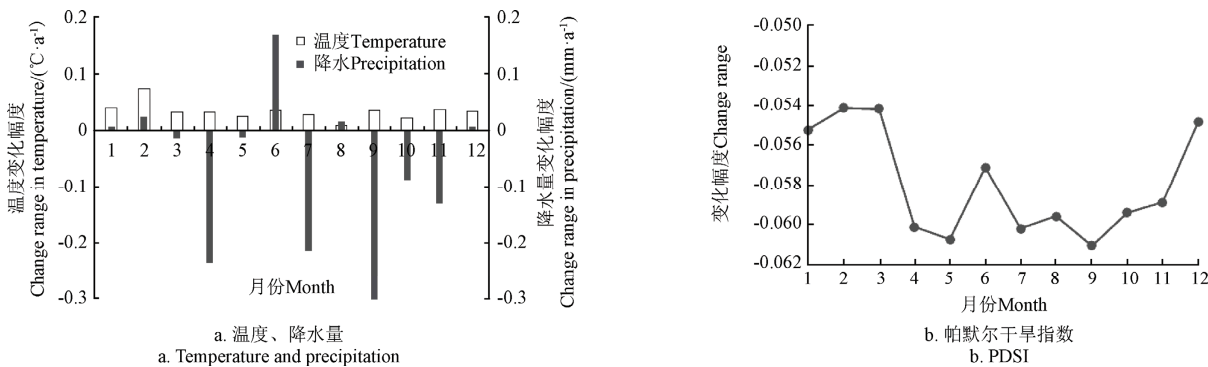


图 2 研究区 1961—2010 年不同月份温度、降水量及 PDSI 变化幅度
Fig.2 Change range of temperature, precipitation and PDSI in 1961—2010

1961—2010 年，研究区不同站点年均温度均呈现不同幅度的增长趋势（见图 3a），其中，研究区中部、北部，即甘肃北部、宁夏等地温度增长的幅度较高，银川、陶乐、同心、民勤等站点年均温度的增长趋势大于 0.04℃/a，而在陕西南部，除个别地区外，温度的增长幅度不明显。与温度整体升高趋势不同，研究区不同站点年降水量则呈现出一定的地区差异（见图 3b），降水量出现下降趋势的站点主要分布在陕西大部、宁夏南部、甘肃东南部

站点，其中绥德、汉中的降水量下降趋势达到了 3.0 mm/a，下降趋势最为明显。但在甘肃西部河西走廊地区，降水量变化趋势不明显。

2.2 干旱变化趋势

本文通过分析区域 PDSI 数值变化以及重度等级干旱发生次数，反映近 50 a 来研究区干旱频率、强度的变化趋势。区域 PDSI 数值与重度等级干旱发生月数通过研究区站点均值反映。通过分析不同月份 PDSI 的变化趋势，

来反映干旱在年内不同时期的变化差异。

1961—2010 年, 研究区年均 PDSI 呈现明显的下降趋势(图 4a), 干旱强度逐渐增大。1990 年之前, 年度 PDSI 均值在 $-1.5 \sim 3.0$ 之间波动, 处于轻度干旱到湿润之间。但是, 进入 20 世纪 90 年代之后, PDSI 小于 -1.0 的年份频繁出现, 干旱发生频繁且强度较大, 尤其在 2000 年左右, 年度 PDSI 均值下降至 -3.0 左右, 达到了重旱等级。研究区不同作物区, PDSI 的变化趋势略有不同, 相比而言, 冬小麦种植区 PDSI 的变化幅度较大, 且在近 50 a 中 PDSI 下降的趋势较大, 并于 1996—2001 年连续 6 a 均为中到重度干旱 ($\text{PDSI} < -2.0$)。

1960—2010 年, 研究区年内重度干旱月份数也出现了明显的增长趋势(见图 4b)。近 50 a, 重度干旱发生频率出现了 3 个峰值, 第一个峰值位于 1965 年前后, 峰值期间有 2 个左右月份出现重度以上干旱 ($\text{PDSI} < -3.0$); 第二个峰值在 1981 年前后, 峰值期间也有 2 个左右月份出现重度以上干旱; 第三个峰值发生在 1999 年前后, 此次干旱峰值期间, 平均每年有 3 个月以上处于重度以上干旱, 并且在随后的十年间, 重度干旱月份始终处于较高水平, 在 2005、2008 年也有 3 个左右月份处于重度干旱。因此, 90 年代中期之后, 干旱发生愈发频繁, 强度较高, 持续时间也偏长。

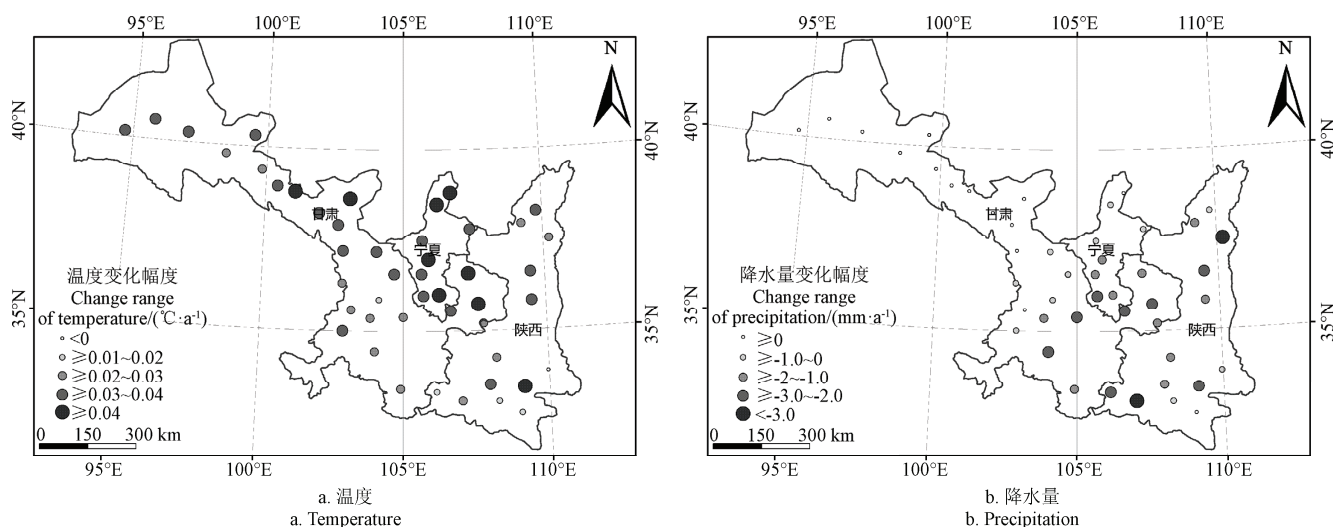


图 3 研究区 1961—2010 年温度、降水变化站点差异

Fig.3 Change of temperature and precipitation in different stations in 1961—2010

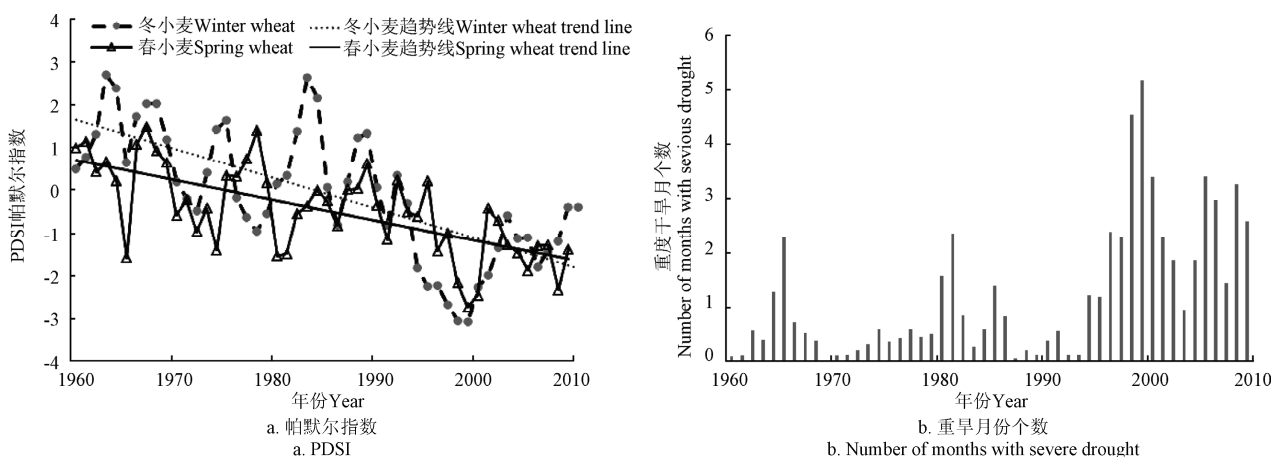


图 4 研究区 1961—2010 年 PDSI 及重旱发生月份变化

Fig.4 Change of PDSI and number of severe drought months in 1961—2010

随着降水量由东南向西北逐渐降低, 研究区 PDSI 50 a 平均值呈现东南高西北低的分布格局(见图 5a), 陕西大部、甘肃南部、宁夏南部地区 PDSI 均大于 0, 呈现出正常或湿润条件, 而在甘肃省中西部、宁夏北部, PDSI 多小于

-1.0 , 水分条件相对较差。1961—2010 年, 研究区不同站点 PDSI 年均变化趋势也存在差异(见图 5b)。研究区中部及东南部站点 PDSI 呈现出明显的下降趋势。干旱愈发严重的地区主要集中在宁夏南部、甘肃东南部、陕西西部地区。

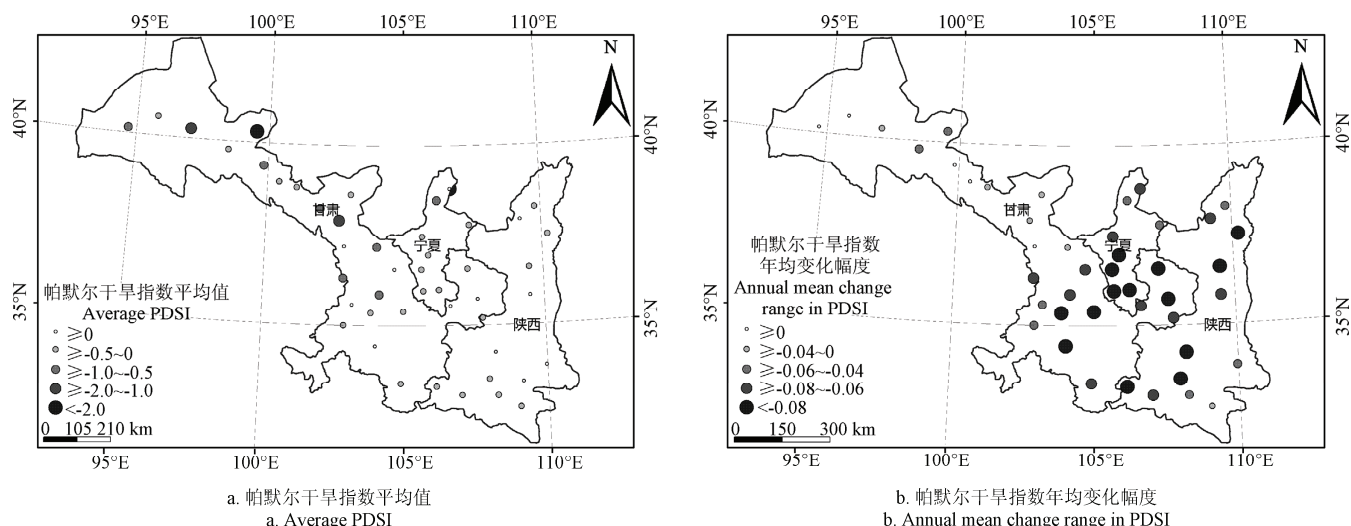


图 5 研究区 PDSI 空间分布及变化趋势

Fig.5 Distribution and Trend of PDSI in different stations

2.3 干旱影响变化

本研究基于 EPIC 作物生长模型, 分别模拟作物在雨养和充足灌溉两种情景下的作物生长过程, 两种情景模拟下均通过相关参数的设置消除了施肥、病虫害等因素的影响。充足灌溉情景消除了水分亏缺的影响, 其模拟产量反映了当地光、热条件下的作物产量, 称之为潜在产量。雨养情景则在生长模拟过程中避免了人工灌溉的参与, 综合反映了当地光、热、水因素的影响。因此, 本研究通过两种情景产量差的变化趋势分析当地因水分亏缺造成的作物减产量的变化趋势。

与 PDSI 的变化趋势相同, 研究区中部地区(冬小麦种植区西北部、春小麦种植区东南部)作物产量的减产幅度明显大于其他地区(见图 6)。在冬小麦种植区北部

区域, 干旱造成的作物减产量相比 50 a 前均大于 1.0 t/hm^2 , 而在陕西中南部地区, 干旱所造成的影响与 50 a 前变化不明显。春小麦种植区中, 甘肃中部、宁夏大部分站点干旱所照成的作物减产量明显增加, 变化幅度大于 0.8 t/hm^2 , 略小于冬小麦变化, 而在甘肃西部及西南部地区, 因旱导致春小麦减产量变化不明显。由于 PDSI 在不同月份的变化幅度存在差异(见图 2b), 对于冬小麦而言, 4 月份正值拔节、抽穗期还有灌浆期所在的 5 月均是重要的水分敏感生长阶段, 水分亏缺对产量的影响较大。对于春小麦而言, 4、5、7、8 月份占据了其生长期 80% 的时期。因此, 在此期间干旱的不断加剧, 严重影响了作物的生长发育, 导致了两种作物产量的显著下降。

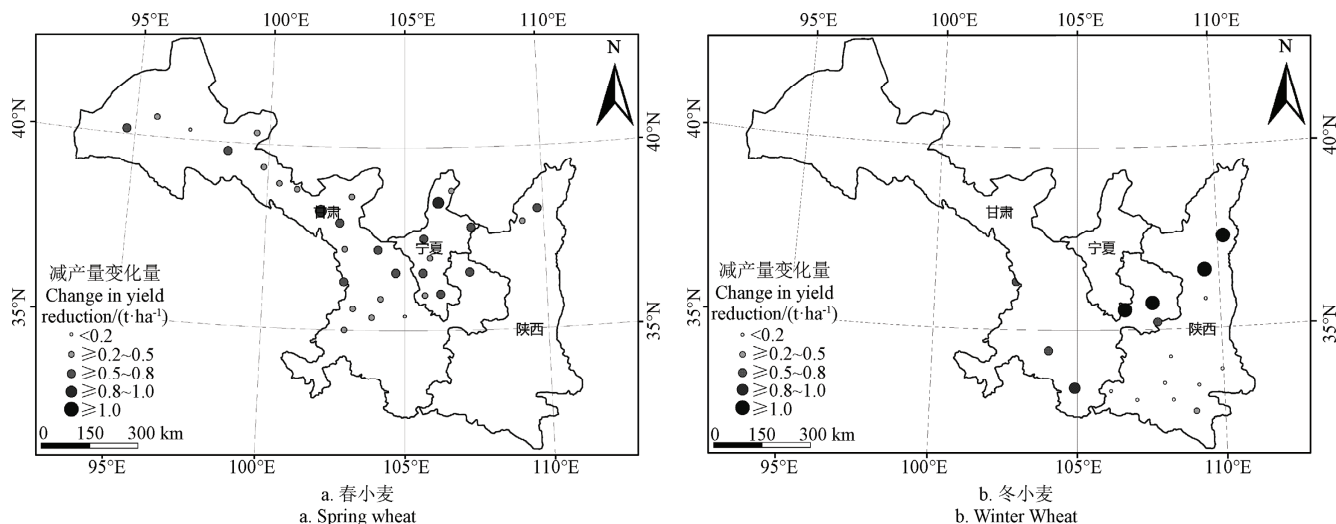


图 6 研究区 1961—2010 年干旱对作物产量影响的变化量

Fig.6 Impact of drought on crop yield in 1961-2010

3 结论与讨论

随着气候变化的不断加剧, 干旱及对作物生长影响

的变化趋势已成为气候变化影响的研究内容, 同时可为农业抗旱政策的制定提供有力的参考。中国陕甘宁农区地处大陆内部, 降水较少且具有较高的年际变化率, 生

态环境也相对较为脆弱,较易受到气候变化的影响。因此,本文选择陕甘宁农区为研究区,通过分析 1961—2010 年帕默尔干旱指数(PDSI)的年际变化规律及重旱发生次数,分析了近 50 a 干旱强度及频率的变化趋势,并基于 PDSI 分析了研究区不同月份干旱的变化趋势;在此基础上,基于 EPIC 模型分别模拟了冬小麦、春小麦在雨养和充足灌溉条件下作物生长过程,通过两种模拟情景的差异来分析因降水亏缺所导致干旱对作物产量影响的变化趋势。

研究发现:1961—2010 年,中国陕甘宁农区年均 PDSI 呈现明显的下降趋势,并且年内重度干旱月份数(PDSI<-3.0)也出现了明显的增长趋势,干旱发生频率上升,强度增强,并且持续时间也偏长。相比而言,冬小麦种植区 PDSI 的变化幅度较大,干旱强度呈现明显增强趋势。PDSI 在不同月份的变化趋势存在差异,其中,4、5、7、9 月,由于降水量的明显下降,PDSI 呈现出明显的下降趋势,而这几个月份正值作物生长的关键时期,干旱的不断加剧对产量的影响较大。通过分析 EPIC 模拟结果发现,研究区大部分站点干旱导致的作物减产量均出现不同程度的上升,并且与 PDSI 变化趋势分布相同,研究区中部地区作物产量的减产幅度明显大于其他地区。

本文基于 EPIC 模型,通过模拟不同水分条件下作物产量变化,分析了干旱对作物产量的影响。所选择的作物参数是通过近年多个站点作物产量数据验证得到的,但获取作物参数的方式将带来一定时间和空间的不确定性。首先,作物参数较为符合近几年作物品种的生长特性,但近 50 a 来,作物品种变化较大,通过近几年的品种参数并不能准确反映长时间尺度的作物生长变化。其次,基于此套参数的模拟结果,可以达到研究区所有站点的整体误差最小,但却不能保证每个站点参数最优。由于前期作物观测和统计数据的欠缺,已很难获取较长序列的站点作物品种及产量数据,选取近几年作物品种参数也恰恰可以反映这个品种在气候变化背景下的适应能力,从而更好地为农业干旱防御政策的制定提供参考。而针对于多个站点的精确参数校准,虽然对数据的获取能力要求较高,但仍然是未来需要改进的方向。

[参 考 文 献]

- [1] Mkhabela M, Bullock P, Gervais M, et al. Assessing indicators of agricultural drought impacts on spring wheat yield and quality on the Canadian prairies[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(3): 399—410.
- [2] 陈晓楠. 农业干旱灾害风险管理理论与技术[D]. 西安: 西安理工大学, 2008.
Chen Xiaonan. Theory and Technology of Risk Management for Agricultural Drought Disaster[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [3] Mishra A K, Singh V P. A review of drought concepts[J]. *Journal of Hydrology*, 2010, 391(1/2): 202—216.

- [4] Dai A, Trenberth K E, Qian T. A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870—2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming[J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2004, 5(6): 1117—1130.
- [5] Zhai J, Su B, Krysanova V, et al. Spatial variation and trends in PDSI and SPI indices and their relation to streamflow in 10 large regions of China[J]. *Journal of Climate*, 2010, 23(3): 649—663.
- [6] 马柱国, 符淙斌. 1951—2004 年中国北方干旱化的基本事实[J]. *科学通报*, 2006, 51(20): 2429—2439.
Ma Zhuguo, Fu Congbin. Drought in the northern of China in 1951—2004[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(20): 2429—2439. (in Chinese with English abstract)
- [7] 翟盘茂, 邹旭恺. 1951—2003 年中国气温和降水变化及其对干旱的影响[J]. *气候变化研究进展*, 2005, 1(1): 16—18.
Zhai Panmao, Zou Xukai. Changes in temperature and precipitation and their impacts on drought in China during 1951—2003[J]. *Advanced in Climate Change Research*, 2005, 1(1): 16—18. (in Chinese with English abstract)
- [8] Cabelguenne M, Debaeke P, Bouniols A. EPICphase, a version of the EPIC model simulating the effects of water and nitrogen stress on biomass and yield, taking account of developmental stages[J]. *Agricultural Systems*, 1999, 60(3): 175—196.
- [9] 马晓群, 姚筠, 许莹. 安徽省农作物干旱损失动态评估模型及其试用[J]. *灾害学*, 2010, 25(1): 13—17.
Ma Xiaoqun, Yao Yun, Xu Ying. A model for dynamic assessment of crop yield losses from drought and its tryout in Anhui province[J]. *Journal of Catastrophology*, 2010, 25(1): 13—17. (in Chinese with English abstract)
- [10] Igbadun H E, Tarimo A K, Salim B A, et al. Evaluation of selected crop water production functions for an irrigated maize crop[J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 94(1/3): 1—10.
- [11] 陈晓楠, 段春青, 刘昌明, 等. 基于两层土壤计算模式的农业干旱风险评估模型[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(9): 51—55.
Chen Xiaonan, Duan Chunqing, Liu Changming, et al. Model of risk assessment for agricultural drought based on two-layer soil computing model[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(9): 51—55. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王石立. 冬小麦生长模式及其在干旱影响评估中的应用[J]. *应用气象学报*, 1998, 9(1): 15—23.

- Wang Shili. Growth simulation model of winter wheat and its application in drought assessment[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1998, 9(1): 15—23. (in Chinese with English abstract)
- [13] 宋丽莉, 王春林, 董永春. 水稻干旱动态模拟及干旱损失评估[J]. 应用气象学报, 2001, 12(2): 226—233.
- Song Lili, Wang Chunlin, Dong Yongchun. Dynamic simulation and damage evaluation of rice by drought[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2001, 12(2): 226—233. (in Chinese with English abstract)
- [14] 刘静, 王连喜, 马力文, 等. 中国西北旱作小麦干旱灾害损失评估方法研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(2): 201—207.
- Liu Jing, Wang Lianxi, Ma Liwen, et al. A loss estimation method of monitoring and estimating the yield loss of wheat by drought in dry farming areas in northwestern of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(2): 201—207. (in Chinese with English abstract)
- [15] 李洁, 宁大同, 程红光, 等. 基于 3S 技术的干旱灾害评估研究进展[J]. 中国农业气象, 2005, 26(1): 49—52.
- Li Jie, Ning Datong, Cheng Hongguang, et al. Research progress on assessment of drought disaster based on 3S techniques[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2005, 26(1): 49—52. (in Chinese with English abstract)
- [16] 刘明, 武建军, 吕爱锋, 等. 黄淮海平原雨养条件下冬小麦水分胁迫分析[J]. 地理科学进展, 2010, 29(4): 427—432.
- Liu Ming, Wu Jianjun, Lü Aifeng, et al. The water stress of winter wheat in Huang-Huai-Hai plain of China under rainfed condition[J]. Progress in Geography, 2010, 29(4): 427—432. (in Chinese with English abstract)
- [17] Hillel D, Rosenzweig C. Handbook of Climate Change and Agroecosystems: Impacts, Adaptation, and Mitigation[M]. London: Imperial College Press, 2011.
- [18] 王宗明, 梁银丽. 应用 EPIC 模型计算黄土塬区作物生产潜力的初步尝试[J]. 自然资源学报, 2002, 17(4): 481—487.
- Wang Zongming, Liang Yinli. The application of EPIC model to calculate crop productive potentialities in loessic yuan region[J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(4): 481—487. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王学春, 李军, 郝明德. 基于 EPIC 模型的黄土高原旱地草粮轮作田土壤湿度模拟[J]. 草业科学, 2010, 27(12): 11—20.
- Wang Xuechun, Li Jun, Hao Mingde. Soil moisture simulation of cereal-alfalfa rotation system in the arid-land Loess Plateau based on the EPIC model[J]. Pratacultural Science, 2010, 27(12): 11—20. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李军, 邵明安, 张兴昌. 黄土高原地区 EPIC 模型数据库组建[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(8): 21—26.
- Li Jun, Shao Ming'an, Zhang Xingchang, et al. Simulation equations for crop growth and yield formation in the EPIC model[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2004, 32(8): 21—26. (in Chinese with English abstract)
- [21] 中国气象数据网[EB/OL]. <http://data.cma.gov.cn>, 2015-07-23.
- [22] 全国土壤普查办公室. 中国土种志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993.
- [23] Palmer W C. Meteorological drought[R]. US. Weather Bureau Research Paper No. 45, 1965.
- [24] Dai A, Trenberth K E. Global variations in droughts and wet spells: 1900—1995[J]. Geographical Research Letters, 1998, 25(17): 3367—3370.
- [25] Williams J R, Jones C A, Kiniry J R, et al. The EPIC crop growth model[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineering, 1989, 32(2): 497—511.
- [26] 刘明, 武建军, 吕爱锋, 等. 黄淮海平原典型区冬小麦水分胁迫规律与适应策略[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 40—44.
- Liu Ming, Wu Jianjun, Lü Aifeng, et al. The water stress of winter wheat and its adaptive strategy in typical region of Huang-Huai-Hai Plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(5): 40—44. (in Chinese with English abstract)
- [27] 王志强, 方伟华, 何飞, 等. 中国北方气候变化对小麦产量的影响——基于 EPIC 模型的模拟研究[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(1): 9—14.
- Wang Zhiqiang, Fang Weihua, He Fei, et al. Effects of climate change on wheat yield in northern China: A research based on EPIC model[J]. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(1): 9—14. (in Chinese with English abstract)
- [28] Fu Guobin, Chen Shulin, Liu Changming, et al. Hydro-climatic trends of the Yellow River basin for the last 50 years[J]. Climatic Change, 2004, 65(1/2): 149—178.
- [29] Gan T Y. Hydroclimatic trends and possible climatic warming in the Canadian prairies[J]. Water Resources Research, 1998, 34(11): 3009—3015.

Change of drought and its impact on potential yield of wheat in agricultural region of Shan-Gan-Ning region in 1961—2010

Liu Ming¹, Li Suju¹, Wu Jianjun², He Haixia¹, Huang He¹, Lü Aifeng³

(1. National Disaster Reduction Center of China, Ministry of Civil Affairs, Beijing 100124, China;

2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, China Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: As a typical meteorological disaster, drought has made serious impacts on human being. Especially during the recent decades, the frequency of drought has increased along with climate change. Researches on the change in the drought occurrence and its impacts will become more important to reduce the negative impacts of climate change. In this study, the agricultural region of Shan-Gan-Ning region, which was located in the eastern part of the Northwestern China and belonged to arid and semi-arid region, was chosen as the study area due to its vulnerability to climate change. Spring wheat and winter wheat were 2 main crops in this region and selected as the research crops. The trends in agricultural drought and its impact of crop yield were analyzed by drought index and crop growth simulation. Palmer drought severity index (PDSI), was used to analyze the change of agricultural drought in different periods and regions. It was based on the water balance in soil and considered the previous soil moisture, which had been widely used to analyze the temporal and spatial distribution of agricultural drought. The trends of precipitation, temperature and PDSI in different months from 1961 to 2010 were investigated. Then the impact of drought on crop growth of wheat was analyzed by the crop growth simulation. Crop growth model, which was built based on the crop growth mechanism, could simulate the change of soil water deficit and crop growth in a long period. It had become an important method to the research on the impact of climate change on the crop yield. The crop growth under rainfed and efficient irrigation scenarios was simulated by the environmental policy integrated climate (EPIC) model. The crop yield under the efficient irrigation scenario could eliminate the negative impact of water deficit and reflect the impact of local condition on crop growth such as solar radiation and temperature. The rainfed condition showed the synthesized effect of local condition. The crop yield gap between those 2 scenarios was recognized as the impact of water deficit by lower precipitation. Over the past 50 years, it showed a significant increasing trend in temperature in this region, especially in January and February. There were significant decreasing trend in the precipitation in April, July and September. Increasing temperature and decreasing precipitation would result in more serious water deficit condition. PDSI had a significant decreasing trend in the eastern part of Northwest China in 1961—2010. The number of months with severe drought (PDSI was less than -3.0) showed a significant increasing trend. Both of them indicated that drought had become more severe and more frequent. Especially in April, July and September, PDSI was much less than before because of the decreasing trend of precipitation in these months. Since many important crop growth stages were in those months, drought during this period would have more serious impact on the crop yield. Those stations that were distributed in the central part of this region had a larger negative trend in PDSI, because of the more reduction in precipitation. Based on the crop growth simulation, almost all the stations had an increasing trend on crop yield reduction caused by water deficit over the past 50 years. The situations in the central part of study area, especially for the northwestern stations in winter wheat growth region, had larger change range in the yield reduction. All of those stations had more serious water deficit condition because of the decreasing trend in precipitation, especially in April, which was jointing and heading stage and key to crop growth. The PDSI in those stations also had decreasing trend. The central parts of the study region should be more concerned by the agriculture and water resource managers, especially in April, July and September.

Key words: agricultural; drought; crops; yield; EPIC model; Palmer drought severity index