

张建军,盛绍学,王晓东. 安徽省夏玉米生长季干旱时空特征分析[J]. 干旱气象,2014,32(2):163-168, [ZHANG Jianjun, SHENG Shaoxue, WANG Xiaodong. Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Drought During Summer Corn Growing Season in Anhui Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(2):163-168], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-02-0163

安徽省夏玉米生长季干旱时空特征分析

张建军¹, 盛绍学², 王晓东¹

(1. 安徽省气象科学研究所,安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室,
安徽 合肥 230031;2. 安徽省气象信息中心,安徽 合肥 230031)

摘要:利用安徽省夏玉米主产区37个气象站点1961~2010年的气象资料,选取修订后的作物水分亏缺指数作为表征夏玉米干旱的指标,分析了安徽省夏玉米生长季内干旱频率的时空分布特征及表征干旱风险大小的干旱风险度的时空特征。结果表明:近50 a安徽省夏玉米不同发育阶段水分亏缺指数未发生显著变化,但夏玉米成熟后期的干旱现象有加重趋势;抽雄开花期是干旱频率及干旱风险较高的时段;从空间分布特征看,干旱频率与干旱风险度的空间分布特征相似,夏玉米营养生长阶段二者的高值区在淮北北部,而在夏玉米生长中后期,干旱主要发生在沿淮西部和江淮南部。整个生长季内,沿淮淮北西部是干旱高发和高风险区。

关键词:夏玉米;作物水分亏缺指数;干旱;频率;风险度

文章编号:1006-7639(2014)-02-0163-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-02-0163

中图分类号:S513

文献标识码:A

引言

玉米是安徽省3大粮食作物之一,在安徽省的粮食生产中占有重要位置。安徽以夏玉米为主,常年种植面积在67万 hm^2 以上,主要分布在江淮之间及其以北地区。安徽夏玉米一般6月上中旬播种,9月中下旬收获。夏玉米生育期间热量和光照条件相对稳定,完全能够满足生长需要,但是水分不足制约了安徽夏玉米的生产,其中干旱是其主要的农业气象灾害^[1]。

表征农业干旱的指标较多,如降水量距平百分率、土壤相对湿度、连续无有效降水日数、水分亏缺指数等。水分亏缺指数是指作物需水量与实际供水量之差,以百分率表示,是常用的作物干旱诊断指标之一^[2]。研究表明气候变化对作物生长发育进程及其产量均会产生影响^[3-6],研究人员对作物生长季内的降水量及其需水量变化进行了分析^[7-8],揭示了由于水分亏缺导致的干旱对作物的影响^[9-12],并对于干旱风险进行了评估^[13-15],但目前利用水分亏缺指数分析安徽省

夏玉米生长季内干旱特征的研究还未见到。本文选取水分亏缺指数作为夏玉米干旱指标,并对水分亏缺指数进行修订,分析安徽省夏玉米生长季内逐旬及不同发育阶段干旱的时空分布特征,以期为夏玉米生产的发展和合理布局、制定防灾与减灾决策提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料及研究区概况

观测资料来源于安徽省气象信息中心。选用安徽省夏玉米主要种植区37个基本气象站1961~2010年逐日观测数据,主要包括:平均气温、降水量、日照时数、平均风速、相对湿度等。取区域内所有站点气象要素的平均值作为该区域相应气象要素的值。37个基本气象站所在市县的夏玉米产量资料来源于安徽省农业统计年鉴,以夏玉米总产与种植面积的比值作为单产。

夏玉米主种植区指合肥及其以北37个市县,该区域集中了安徽省玉米种植总面积的95%以上,为安徽省玉米主产区。

收稿日期:2013-11-20;改回日期:2014-01-16

基金项目:公益性行业(气象)科研专项“夏玉米高产稳产气象保障关键技术研究”(GYHY201006041)、“淮河流域主要农作物旱涝损失精细化评估技术”(GYHY201006027)资助

作者简介:张建军(1982-),男,汉族,山东聊城人,工程师,主要从事农业气候资源分析与评价工作. E-mail: jianjun_z@163.com

1.2 水分亏缺指数计算方法

安徽夏玉米生长季处于主汛期,是全年降水最集中的时段,夏玉米在生长过程中,水分供应以自然降水为主。以作物潜在蒸散量作为需水指标,自然降水作为供水指标,二者之差价占作物需水量的百分

$$CWDI = a \times CWDI_i + b \times CWDI_{i-1} + c \times CWDI_{i-2} + d \times CWDI_{i-3} \quad (1)$$

式(1)中:玉米生育期按旬时段计算的累计水分亏缺指数,为体现水分亏缺的累积效应,此处计算连续4旬的作物亏缺指数, $CWDI_i$ 、 $CWDI_{i-1}$ 、 $CWDI_{i-2}$ 、 $CWDI_{i-3}$ 分别为该旬及前3旬水分亏缺指数; a 、 b 、 c 、

比作为衡量作物水分状况的水分亏缺指数($CWDI$)。根据张艳红^[16]、黄晚华^[17]等的研究,并结合在安徽农业干旱监测中广泛使用的累积湿润指数^[18],对水分亏缺指数计算公式做了改进,计算方法为:

d 为对应的累计权重系数。根据马晓群等的研究^[18],6月上旬、9月上旬至下旬分别取值为0.07、0.13、0.2和0.6,其余时段取值为0.05、0.1、0.15和0.7。单旬水分亏缺指数计算方法为:

$$CWDI_i = \begin{cases} (ET_m - P_i)/ET_m & P_i \leq ET_m \\ 0 & ET_m < P_i \leq 45 \\ K_i \times 100\% & P_i > 45 \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中: $CWDI_i$ 为第*i*旬玉米水分亏缺指数, ET_m 为玉米需水量,单位为mm, P_i 为第*i*旬降水量,单位为mm。其中 ET_m 由参考作物蒸散量(ET_0)与玉米的作物系数(k_c)相乘得到。参考作物蒸散量(ET_0)采用联合国粮农组织(FAO)

1998年推荐的Penman-Monteith方法计算(公式略)。 K_i 为降水量远大于需水量时的水分盈余系数,参考李粉婵^[19]、刘战东^[20]等的研究,考虑有效降水 and 水分盈余,分3个量级计算盈余的不同效应:

$$K_i = \begin{cases} (ET_k - P_i)/ET_k & ET_k < P_i \leq 1.5ET_k \\ (1.5ET_k - P_i)/2ET_k - 0.5 & 1.5ET_k < P_i \leq 2.5ET_k \\ -1.0 & P_i > 2.5ET_k \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中: ET_k 为玉米的需水量基数,此处取45mm。当降水在 $ET_k \sim 1.5ET_k$ 时,即旬降水量大于作物旬需水量基数且小于1.5倍旬作物需水量基数时,盈余效果良好;当降水量在 $1.5ET_k \sim 2.5ET_k$ 时,即旬降水量大于1.5倍旬作物需水量基数时,盈余效果变差;降水 $> 2.5ET_k$ 时,即旬降水大于2.5倍旬作物需水量基数时,多余降水基本成为径流流失,水分盈余稳定。

1.3 玉米干旱指标分级及干旱频率、风险度计算

根据王春乙^[21]对包括安徽在内的南方地区干旱的研究成果,安徽夏玉米干旱分级标准见表1。根据分级标准,统计各站逐旬干旱发生的频率(F)、平均干旱强度(T),同时为反映干旱风险的大小,并计算逐旬干旱风险度(A)。

$$F = H/n \times 100, T = \sum_{i=1}^m T_i/m, A = F \times T \quad (4)$$

式(4)中: H 为第*i*旬干旱发生的年次数, n 为统计资料总年数, T_i 为干旱等级, m 为发生干旱的总年数。

表1 夏玉米干旱等级
Tab.1 Grade of drought for summer maize

| 等级 | 类型 | 水分亏缺指数/% | |
|----|----|---------------------|---------------------|
| | | 水分临界期 | 其余发育期 |
| 0 | 无旱 | $CWDI \leq 30$ | $CWDI \leq 35$ |
| 1 | 轻旱 | $30 < CWDI \leq 40$ | $35 < CWDI \leq 50$ |
| 2 | 中旱 | $40 < CWDI \leq 50$ | $50 < CWDI \leq 65$ |
| 3 | 重旱 | $50 < CWDI \leq 60$ | $65 < CWDI \leq 80$ |
| 4 | 特旱 | $60 < CWDI$ | $80 < CWDI$ |

2 结果分析

2.1 夏玉米生长季内水分供需状况基本特征

图1为夏玉米生长季内多年平均逐旬降水量与需水量随时间的变化曲线。从多年平均状况看,8月前降水基本能满足夏玉米生长需要,尤其是7月。7月是夏玉米种植区降水最集中的时段,此期降水量明显超过了作物需水量。安徽夏玉米主种植区生长季内多年平均降水量为560

mm左右,虽然降水总量超过了夏玉米的需水量,但季内降水分布不均,且平均降水量年际变率大,尤其是进入8月以后,正值水分敏感期,自然降水往往无法满足玉米生长需要,由于水分供需不平衡,夏玉米此期易遭受干旱威胁,即“卡脖子”。据研究,安徽省淮北地区玉米减产率在10%以上的年份均由降水过多或过少引起^[22]。

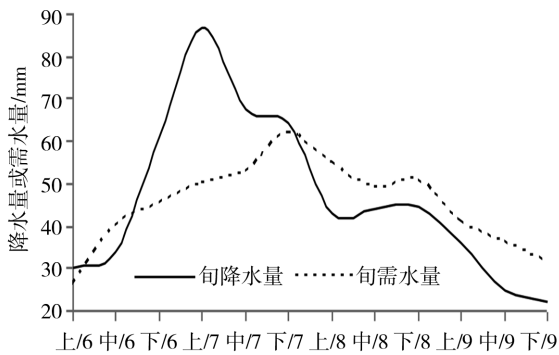


图1 安徽省夏玉米多年平均逐旬降水量与需水量变化

Fig. 1 Variations of average precipitation, water requirement of ten days during summer maize growing season in Anhui Province

2.2 夏玉米干旱频率变化特征

2.2.1 夏玉米干旱时间变化特征

利用水分亏缺指数公式计算夏玉米主种植区的水分亏缺指数。水分亏缺指数的正负反映了降水对玉米生长需求的满足程度。水分亏缺指数为正值且越大,缺水越严重,干旱的等级也越高。从夏玉米生长季内各旬水分亏缺指数的年际变化趋势看(图略),6月各旬水分亏缺指数一致下降,9月各旬水分亏缺指数一致上升,7、8月各旬水分亏缺指数呈一升一降交替变化,但各旬水分亏缺指数变化趋势均未达到显著水平。

根据逐旬水分亏缺指数与夏玉米单产的相关性,确定各旬的权重,利用一元积分回归法获得不同发育阶段及全生育期的水分亏缺指数。分析近50a不同发育阶段及全生育期水分亏缺指数变化趋势,发现播种期至抽雄开花期的水分亏缺指数均呈下降趋势,但灌浆成熟期的水分亏缺指数呈上升趋势,全生育期的水分亏缺指数呈下降趋势,各发育阶段及全生育期的水分亏缺指数变化趋势均不显著。水分亏缺指数的变化趋势说明近50a来,夏玉米全生育期的干旱情况有所缓解,但灌浆成熟期的干旱有加重趋势。

图2为近50a安徽省夏玉米主种植区逐旬干旱

频率变化曲线。从中可以看出,夏玉米播种出苗期、抽雄开花期及成熟后期3个时段出现干旱的频率比较高。玉米苗期较耐旱,但播种期出现重旱及以上干旱的频率较高,达到了20%,平均每5a就会发生一次重旱,影响玉米播后出苗。6月下旬至7月下旬夏玉米处于苗期—拔节期,此时段正值降水集中期,干旱发生的频率较低,在20%左右,重旱及以上干旱发生的频率接近6%。玉米抽雄前后一个月是水分临界期,对水分特别敏感,此时如遇干旱,幼穗发育不好,果穗小,籽粒少,影响产量。8月安徽夏玉米正值抽雄开花期,月内各旬发生干旱的频率在36%~42%之间,平均每3a出现一次干旱,其中中旱及以上干旱发生的频率平均为27%,重旱及以上的频率为17%。9月中下旬夏玉米处于成熟后期,此期发生干旱的频率在50%左右,是夏玉米生长季内干旱频率最高的时段,而且发生重旱的频率达到25%,平均每4a发生一次重旱,干旱导致玉米灌浆期缩短,籽粒灌浆不饱满,直接影响玉米的质量和产量。

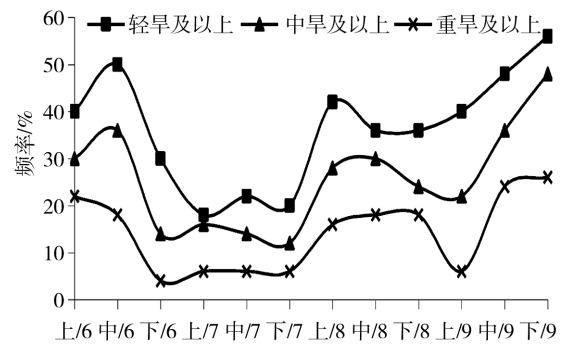


图2 安徽省夏玉米逐旬干旱频率变化

Fig. 2 Variations of drought frequency of ten days during summer maize growing season in Anhui Province

2.2.2 夏玉米干旱频率空间分布特征

图3为中旱及以上干旱发生频率较高的3个时段及全生育期干旱发生频率的空间分布。在播种出苗期,干旱频率大致呈纬向分布,由南向北递增,淮北北部干旱发生的频率最高达到50%。抽雄开花期,干旱发生的频率呈东北西南向带状分布,干旱发生频率有2个高值区,一个是江淮之间的合肥附近,另一个为沿淮西部,干旱频率在45%左右。灌浆成熟期,各地干旱发生的频率差异不明显,高值区在沿淮淮北中西部及合肥一带。全生育期来看,各地干旱发生的频率在37%~42%之间,干旱高发区仍在沿淮淮北西部和合肥附近。从不同发育阶段干旱发生频率来看,在夏玉米营养生长阶段,干旱高发区在淮北北部,而在夏玉米生长中后期,干旱主要发生在沿淮西部和江淮之间的合肥附近。

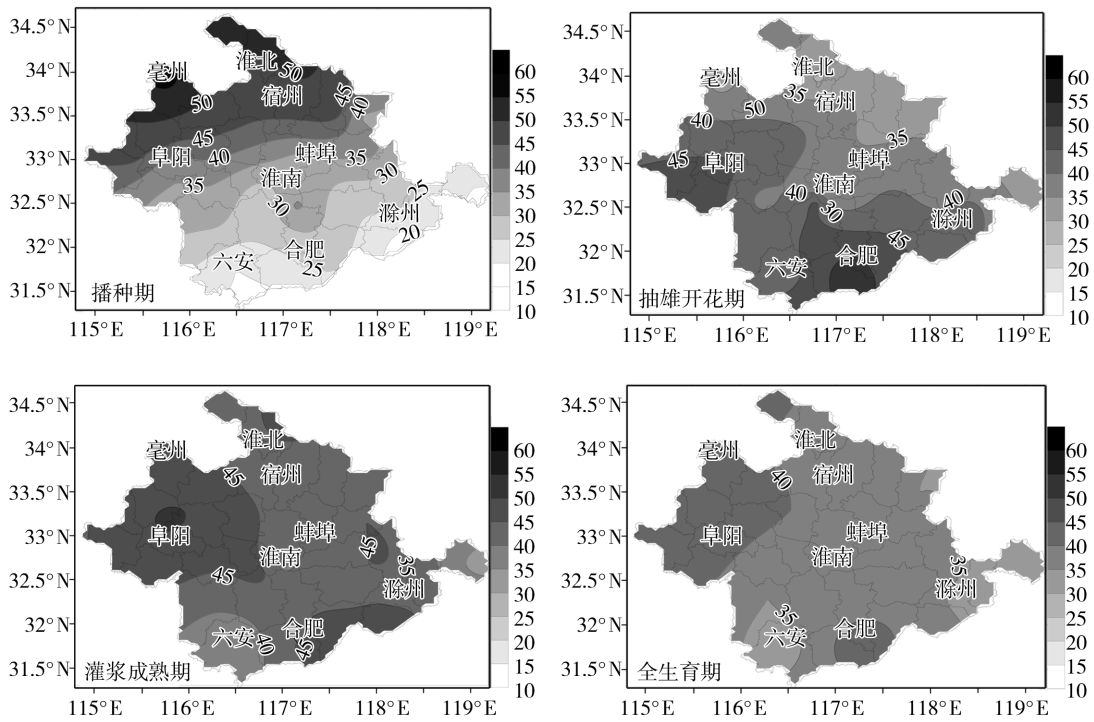


图3 安徽省夏玉米不同发育时段干旱频率空间分布
 Fig. 3 Spatial distributions of drought frequency at different growth stages of summer maize in Anhui Province

2.3 夏玉米干旱风险度分布特征

参照陈晓艺等^[15]对冬小麦干旱风险度的分级方法,安徽省夏玉米风险度等级划分见表2。

从图4可见,夏玉米生长季内各旬干旱风险度的变化与干旱发生频率的变化基本一致,6月上、中旬,8月以及9月中、下旬干旱风险度比较高,属于中度风险,9月下旬干旱风险度达到29,已接近重度风险。6月下旬至7月下旬干旱风险较低在10以内,为轻度风险。

夏玉米不同发育阶段干旱风险度空间分布见图5,同一发育阶段的干旱风险度与干旱频率的分布特点基本一致。播种期,自北向南风险度逐渐降低,淮西北部发生干旱的风险为重度,沿淮及其以南大部

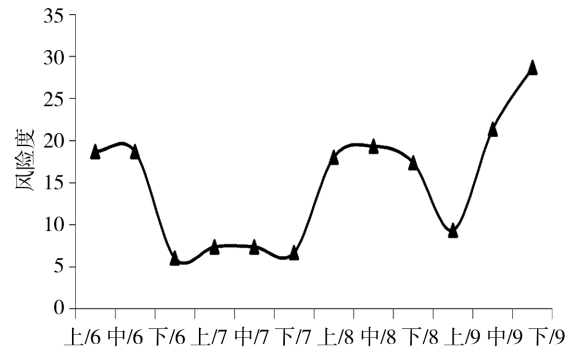


图4 安徽省夏玉米逐旬干旱风险度
 Fig. 4 Variations of drought's risk degree of ten days during summer maize growing season in Anhui Province

表2 安徽夏玉米干旱风险度分级

Tab. 2 Grade of drought's risk degree for summer maize in Anhui Province

| 风险等级 | 极重风险 | 重度风险 | 中度风险 | 轻度风险 | 无风险 |
|------|-------------|------------------|------------------|-----------------|---------|
| 风险度 | $50 \leq A$ | $30 \leq A < 50$ | $15 \leq A < 30$ | $5 \leq A < 15$ | $A < 5$ |

分地区发生干旱的风险为中度,仅江西南部局部地区风险度比较低,为轻度风险;抽雄开花期,江淮之间和沿淮淮西北部为重度风险,其它地区为

中度风险;灌浆成熟期,淮北西部和合肥一带处于重度风险,其余大部分地区为中度风险。夏玉米整个生长季来看,大部分地区处于中度风险,

沿淮淮北东部及江淮之间东部干旱风险度相对较低。综合分析不同发育阶段的干旱风险度,夏玉米抽雄开花期是发生干旱的高风险时段,而此

期正是夏玉米水分临界期,因此在夏玉米种植过程中该时段应采取合理灌溉等措施尽量减轻干旱的影响。

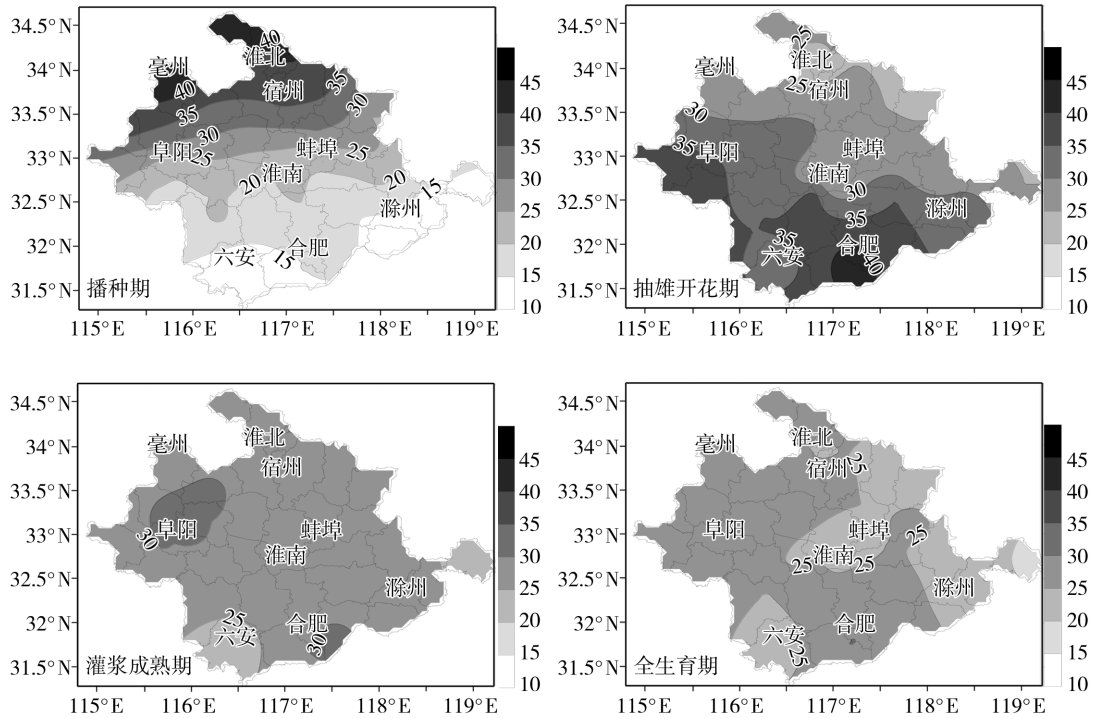


图5 安徽省夏玉米不同发育时段干旱风险度分布

Fig.5 Spatial distributions of drought's risk degree at different growth stages of summer maize in Anhui Province

3 结论与讨论

分析表明,近50 a来夏玉米不同时段的水分亏缺指数均未发生显著变化,属于正常波动,其中播种至抽雄开花期的水分亏缺指数呈下降趋势,灌浆成熟期的水分亏缺指数呈上升趋势。就不同时段干旱发生频率及风险来看,除6月中下旬至7月上半月梅雨季节干旱发生频率及干旱风险较低外,其余各发育时段都较高。淮北西部为干旱频率及风险高值区,这与以往的研究结果一致^[23],但同时也发现,在生殖生长阶段,江淮中部也是干旱高发区,而且干旱风险较高。

农业干旱的发生是一个累积过程,当前的水分供需状况既受前期降水影响,同时又对作物后期生长产生影响。本文在利用水分亏缺指数分析夏玉米干旱特征时,考虑了前期降水的盈余效应和降水的有效性,这与不考虑降水量级直接将盈余部分累积相比的研究,对降水累积效应的处理更符合实际。但在分析时,降水以旬为基本单位,未考虑旬内单日或多日连续出现集中强降水时水分盈余效果降低的

因素,也没有考虑到各地抗灾能力的差异以及地形因素的影响,因此本文分析得到的夏玉米干旱特征与实际情况可能存在一定差异。在以后的研究中,可以通过先对逐日有效降水累加得到旬降水,并结合GIS信息开展更精细化的夏玉米干旱特征分析。

参考文献:

- [1] 姚永明,陈玉琪,张啟祥,等. 淮北夏玉米生育期气候资源特点和增产栽培技术[J]. 中国农业气象,2009,30(增2):205-209.
- [2] 刘丙军,邵东国,沈新平. 作物需水时空尺度特征研究进展[J]. 农业工程学报,2007,23(5):258-264.
- [3] 张洁,白青华,马鸿勇. 气候变化对河西走廊中部地区主要农作物的影响[J]. 干旱气象,2013,31(2):303-308.
- [4] 纪瑞鹏,张玉书,姜丽霞,等. 气候变化对东北地区玉米生产的影响[J]. 地理研究,2012,31(2):290-298.
- [5] 汪青春,张国胜,李林,等. 柴达木盆地近40a气候变化及其对农业影响的研究[J]. 干旱气象,2004,22(4):29-33.
- [6] 马晓群,张辉. 近30年安徽省地表干湿时空变化及其对农业影响[J]. 应用气象学报,2007,18(6):783-790.
- [7] 高歌,陈德亮,任国玉. 1956-2000年中国潜在蒸散量变化趋势[J]. 地理研究,2006,25(3):378-387.
- [8] 刘晓英,李玉中,郝卫平. 华北主要作物需水量近50年变化趋势

- 及原因[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 155 - 159.
- [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] 张爱民, 马晓群, 杨天明, 等. 安徽省旱涝灾害及其对农作物产量的影响[J]. 应用气象学报, 2007, 18(5): 619 - 625.
- [11] 赵鸿, 李凤民, 熊友才, 等. 土壤干旱对作物生长过程和产量影响的研究进展[J]. 干旱气象, 2008, 26(3): 67 - 71.
- [12] 段晓凤, 刘静, 张晓煜, 等. 基于旱灾指数的宁夏小麦产量分析[J]. 干旱气象, 2012, 30(1): 71 - 76.
- [13] 王石立, 娄秀荣. 华北地区冬小麦干旱风险评估的初步研究[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(3): 63 - 68.
- [14] 袭祝香, 王文跃, 时霞丽. 吉林省春旱风险评估及区划[J]. 中国农业气象, 2008, 29(1): 119 - 122.
- [15] 陈晓艺, 马晓群, 孙秀邦. 安徽省冬小麦发育期农业干旱发生风险分析[J]. 中国农业气象, 2008, 29(4): 472 - 476.
- [16] 张艳红, 吕厚荃, 李森. 作物水分亏缺指数在农业干旱监测中的适用性[J]. 气象科技, 2008, 36(5): 596 - 600.
- [17] 黄晚华, 杨晓光, 曲辉辉, 等. 基于作物水分亏缺指数的春玉米季节性干旱时空特征分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 28 - 34.
- [18] 马晓群, 吴文玉, 张辉. 农业旱涝指标及在江淮地区监测预警中的应用[J]. 应用气象学报, 2009, 20(2): 186 - 194.
- [19] 李粉婵. 山西省编制的灌溉用水定额及现状灌溉缺水程度分析[J]. 山西水利科技, 2005, 156(2): 62 - 64.
- [20] 刘战东, 段爱旺, 肖俊夫, 等. 旱作物生育期有效降水量计算模式研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(3): 27 - 30.
- [21] 王春乙. 中国重大农业气象灾害研究[M]. 北京: 气象出版社, 2010. 272 - 273.
- [22] 马晓群, 陈晓艺, 姚筠. 安徽淮河流域各级降水时空变化及其对农业的影响[J]. 中国农业气象, 2009, 30(1): 25 - 30.
- [23] 李德, 祁宦, 马晓群. 安徽省淮北平原夏玉米主要生育时期旱涝指标与影响评估[J]. 中国农学通报, 2013, 29(17): 208 - 216.

Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Drought During Summer Corn Growing Season in Anhui Province

ZHANG Jianjun¹, SHENG Shaoxue², WANG Xiaodong¹

(1. Institute of Meteorological Sciences of Anhui Province, Key Laboratory of Atmospheric Science and Satellite Remote Sensing of Anhui Province, Hefei 230031, China;
2. Meteorological Information Centre of Anhui Province, Hefei 230031, China)

Abstract: Based on observation data from 37 meteorological stations during 1961 - 2010 in Anhui Province, the temporal and spatial distribution characteristics of the drought frequency and the risk degree of drought were analyzed by using the modified crop water deficit index (CWDI) as an indicator of characterizing drought in summer corn growing season. The results showed that the crop water deficit index during different development stages of summer corn did not change obviously in recent 50 years in Anhui. The crop water deficit index from sowing to booting - flower stage of summer corn showed a downward trend, and it had an increase trend during grain filling and ripening stage. Drought in the late growing stage of summer corn had an increasing trend. The seeding stage, booting - flower stage and the late growing stage of summer corn were the high frequency periods of drought, while seedling and jointing stages were the low frequency periods of drought. The spatial distribution of drought frequency was similar to that of drought risk degree, the high value areas were in the north of Huaipei during the vegetative growth phase of summer corn, while during the middle and late growing stages of summer corn, drought occurred mainly in the western the southern areas of the Huaihe River, and throughout the growing season of summer corn, the western area of Huaipei was the high frequency and high risk region of drought.

Key words: summer corn; crop water deficit index; drought; frequency; risk degree