

基于降水距平的黄淮平原夏玉米干旱评估指标研究

李树岩^{1,2}, 刘荣花^{1,2}, 马志红^{1,2}

(1. 河南省气象科学研究所, 河南 郑州 450003; 2. 中国气象局农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 河南 郑州 450003)

摘要: 以降水和产量资料为基础, 研究确定了夏玉米干旱评估指标。首先对历史产量序列进行处理, 利用三次多项式拟合趋势产量, 分离相对气象产量; 分析不同生育阶段降水距平和相对气象产量的相关关系, 结果表明, 玉米出苗~抽雄期降水距平与相对气象产量呈显著的正相关; 通过统计分析, 建立了它们之间的回归方程, 并结合农业干旱划分标准, 确定了夏玉米生长季不同等级的农业气象干旱指标, 即降水负距平 < 20%、20%~50%、50%~80%、> 80% 时, 分别出现轻旱、中旱、重旱和严重干旱, 产量分别减少 < 10%、10%~20%、20%~30%、> 30%。

关键词: 夏玉米; 趋势产量; 气象产量; 干旱指标; 黄淮平原

中图分类号: S421; S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)03-0252-05

干旱作为全球性气象灾害, 在国内外得到了广泛研究, 干旱灾害以其发生的频率高、范围广、持续时间长、后延影响大, 在各种气象灾害中占据重要位置^[1-3]。农业干旱是以一定时间和空间范围内降水缺少, 并造成农业减产为特征^[4], 一般采用降水量指标、土壤含水量指标、作物旱情指标或综合类指标等来评价^[5-7]。干旱指标的研究是进行干旱灾损评估、灾害风险区划等一系列工作的基础。

黄淮平原是夏玉米主产区, 水资源不足是限制该地区农业可持续发展的主要因素, 也是威胁夏玉米稳产高产的主要气象灾害之一。统计资料表明, 河南省初夏旱发生概率为 24%~57%, 卡脖旱发生概率为 22%~44%, 平均不同程度干旱发生约 10 年 7 遇^[8]。黄淮平原降水量时空变异大, 分布不均匀, 再加上夏玉米生育期短, 生长季处于天气过程多变季节, 且生理需水量大, 短时干旱就会造成较大减产^[9,10]。因此, 夏玉米干旱问题也一直是有关专家研究的热点, 并且已经取得了较大的进展^[11-17]。但研究多侧重于干旱对玉米生长发育产量的影响、品种及栽培技术更新等, 针对夏玉米干旱损失评估指标的研究相对较少。本文从降水和产量资料出发, 运用统计学方法, 研究二者之间的关系, 确定夏玉米生长季农业气象干旱指标, 为进行夏玉米干旱灾损评估和制定防灾减灾措施提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 数据来源

本文主要以产量和降水资料来分析水分亏缺对

产量形成的影响, 由于灌溉范围的不断扩大, 掩盖了降水减少带来的干旱危害, 为降低人工灌溉对产量的干扰作用, 分离气象条件对产量的影响, 研究中尽量选择灌溉条件较差的非灌溉地区或少灌溉地区(可灌溉面积/耕地面积 < 30%)进行分析, 对于灌溉地区(可灌溉面积/耕地面积 > 80%)则重点分析减产年气象产量和降水负距平的关系。本文选择卢氏、伊川、宜阳、巩义和文登站作为非灌或少灌区的代表站, 选择杞县、濮阳和莱州站作为灌区的代表站。其中夏玉米产量资料为 1950—2008 年当地统计部门的县平均产量, 降水资料为 1950—2008 年相应各气象站的逐日观测资料, 夏玉米发育期资料为各代表站农气观测资料。

1.2 产量分解方法

一般来说, 农作物产量可分为 3 个部分, 即趋势产量、气象产量和随机“噪声”^[18], 表示为:

$$Y = Y_t + Y_w + \epsilon \quad (1)$$

式中, Y 为作物历年单产; Y_t 为趋势产量; Y_w 为气象产量; ϵ 为随机“噪声”, 一般忽略不计, 故(1)式可简化为:

$$Y = Y_t + Y_w \quad (2)$$

本文分别采取三次多项式、四次多项式和五点滑动平均进行趋势产量的模拟, 图 1 为三次多项式模拟的濮阳县夏玉米趋势产量。趋势产量序列方程为:

$$Y = -0.0522X^3 + 5.706X^2 - 66.901X + 778.11$$

式中, Y 为趋势产量, X 是从 1950—2008 年的年代序

收稿日期: 2012-01-06

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项“农用天气预报关键技术研究”(GYHY200906021), “夏玉米高产稳产气象保障关键技术研究”(GYHY201006041); 中国气象局农业气象保障与应用技术重点开放实验室研究基金项目“基于气候变化的河南省高产夏玉米水分条件研究”(AMF200910)

作者简介: 李树岩(1979—), 女, 硕士研究生, 主要从事农业气象研究。Email: lsy_126com@126.com。

数,根据方程可求得历年的趋势产量 Y_t 。

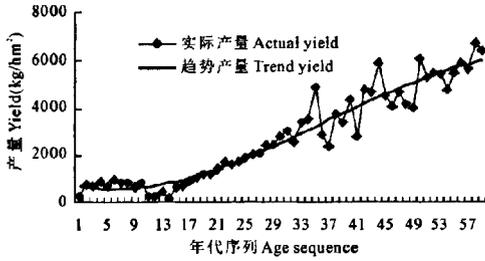


图1 濮阳县历年夏玉米产量和模拟曲线

Fig.1 Summer maize yield and simulation curve in Puyang county

为比较三次多项式、四次多项式和5点滑动平均三种方法的模拟效果,分别用卢氏县相对气象产量和夏玉米全生育期的降水距平百分率进行相关分析^[19]。相关系数见表1,可以看出卢氏县相对气象产量和夏玉米全生育期的降水距平百分率呈显著的正相关关系,说明可以用降水距平百分率来反映气象条件对产量的影响,作为评估玉米干旱的指标。由3种方法的模拟效果可以看出,三次多项式和四次多项式的模拟结果均通过了0.01的显著性检验,优于5点滑动平均法,四次多项式的模拟效果较三次多项式稍好一些,但考虑计算的简便性,我们在进行趋势产量模拟时均采用三次多项式。

利用实际产量减去趋势产量得到气象产量 Y_w ,如公式(3)所示。

$$Y_w = Y - Y_t \quad (3)$$

由于不同地区的产量水平有较大差异,为了便于比较,将气象产量转化为相对气象产量,见公式(4), Y_r 为相对气象产量,以百分率(%)表示。

$$Y_r = Y_w / Y_t \quad (4)$$

表2 夏玉米不同生育阶段降水距平百分率和相对气象产量的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between relative meteorological yield and precipitation anomaly percentage during different growth stages of summer maize

站点 Site	全生育期 Whole growth period	出苗~拔节 Emergence to jointing	拔节~抽雄 Jointing to teaselng	抽雄~乳熟 Teaselng to milky maturity	乳熟~成熟 Milky maturity to maturity	出苗~抽雄 Emergence to teaselng	抽雄~成熟 Teaselng to milky maturity
卢氏 Lushi	0.405**	0.315*	0.328*	0.035	0.028	0.454***	0.045
伊川 Yichuan	0.404**	0.363**	0.284	0.088	0.161	0.541***	0.174
巩义 Gongyi	0.443	0.377**	0.433	0.073	-0.071	0.578***	0.011
宜阳 Yiyang	0.427**	0.433**	0.208	0.240	0.068	0.451***	0.229
文登 Wendeng	0.278	0.654	0.121	-0.150	-0.070	0.598***	-0.178

注:表中***表示通过0.001的显著性检验,**表示通过0.01的显著性检验,*表示通过0.05的显著性检验。

Note: *** means significance at 0.001 level, ** means that at 0.01 level, and * means that at 0.05 level.

表1 三种模拟方法得出的卢氏县相对气象产量和夏玉米全生育期降水距平百分率的相关关系

Table 1 The relationship between relative meteorological yield and precipitation anomaly percentage during the whole growth period of summer maize in Lushi county come from three methods of simulation

项目 Item	三次多项式 Cubic polynomial	四次多项式 Quartic polynomial	5点滑动平均 Five-point sliding average
相关系数 Correlation coefficient	0.3609	0.4000	0.2165
显著水平 Significant level	0.01	0.01	0.1

2 气象产量和不同生育阶段降水距平的关系

夏玉米发育期短,生长迅速,对水分要求十分敏感,尤其是生长前期夏玉米产量形成不仅与全生育期降水总量有关,而且与降水在各个生育阶段的分配有着密切关系^[20-21]。拔节~抽雄期及灌浆期为夏玉米需水关键期,此期分别属于营养生长的旺盛期和产量形成期的关键期,需水量大,如果缺水将直接影响最终产量的形成。因此,我们根据黄淮地区夏玉米生长发育特点,参考各站点农业气象观测资料,将夏玉米全生育期划分为4个阶段,即出苗~拔节期(6月上旬~7月上)、拔节~抽雄期(7月中旬~7月下旬)、抽雄~乳熟期(8月上旬~8月中旬)、乳熟~成熟期(8月下旬~9月中旬),同时为了验证生长前期和后期水分条件的影响差异以及全生育期降水总量的影响,增加了出苗~抽雄、抽雄~成熟即营养生长和生殖生长两个阶段和全生育期(6月上旬~9月中旬)来确定不同生育阶段降水量与产量形成的关系。

按照以上划分的7个阶段,分别统计代表站的历年降水距平和距平百分率,并分析其与相对气象产量的相关关系,结果如表2所示。

从表 2 中可以看出,不同时期的降水量距平百分率与产量的相关性是不同的,其中出苗~抽雄期降水量距平百分率与产量关系最为密切,相关系数均通过了 0.001 的显著性检验,其次是全生育期(6 月上旬~9 月中旬),均超过了 0.01 的显著水平。出苗~拔节期和拔节~抽雄期也基本达到显著和较显著的水平,其他发育阶段则相关性不显著。

由以上分析可知,在研究确定夏玉米干旱指标时需要确定夏玉米出苗~抽雄期和全生育期降水量进行重点分析,研究降水变化对产量的影响。

3 干旱指标的确定

根据以上分析,夏玉米干旱指标可用出苗~抽雄期降水距平百分率来确定。对于非灌溉地区和灌溉面积所占比例很小的地区,可直接用夏玉米出苗~抽雄期降水距平百分率和相对气象产量的全部序列进行回归分析,河南省卢氏县和巩义县的相对气象产量和降水距平百分率的关系如图 2、图 3 所示,其对应的回归方程为:

$$\text{卢氏: } Y = 0.3014X + 1.593$$

$$\text{巩义: } Y = 0.3611X + 0.0195$$

式中, Y 为相对气象产量, X 为夏玉米出苗~抽雄期降水距平百分率。

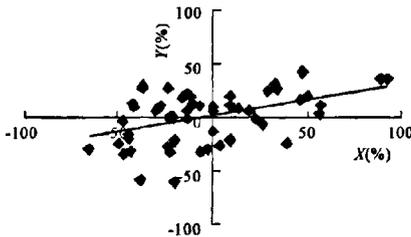


图 2 卢氏县降水距平百分率和相对气象产量
Fig.2 The relationship between precipitation anomaly percentage and relative meteorological yield in Lushi county

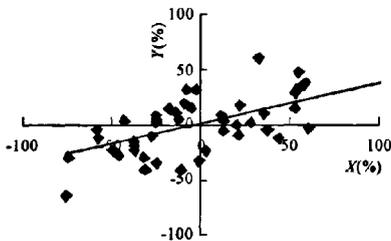


图 3 巩义县降水距平百分率和相对气象产量
Fig.3 The relationship between precipitation anomaly percentage and relative meteorological yield in Gongyi county

对于灌溉地区和灌溉面积所占比例较大的地区,则从降水距平和相对气象产量序列中选择降水负距平和对应的减产百分率进行回归分析,减产百分率和降水负距平百分率的关系如图 4、图 5 所示,其对应的回归方程为:

$$\text{杞县: } Y = 0.4418X - 10.799$$

$$\text{濮阳: } Y = 0.3517X - 7.232$$

式中, Y 为相对气象产量, X 为夏玉米全生育期降水距平百分率。

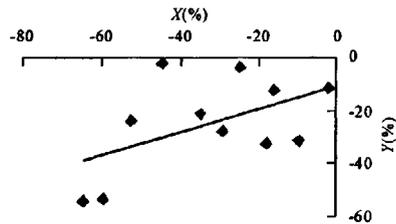


图 4 杞县降水负距平百分率和相对气象产量
Fig.4 The relationship between negative precipitation anomaly percentage and relative meteorological yield in Qi county

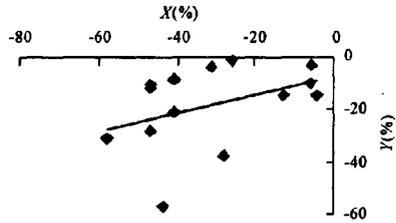


图 5 濮阳县降水负距平百分率和相对气象产量
Fig.5 The relationship between negative precipitation anomaly percentage and relative meteorological yield in Puyang county

利用同样的方法,我们对黄淮平原其他几个站做了类似的分析,建立了回归方程,根据回归方程,求出与不同降水负距平相对应的减产百分率,如表 3 所示。可以看出尽管各站气候条件不同,但降水负距平对相对气象产量减产的幅度来看基本相同,即降水负距平的绝对值越大,减产幅度越大;同一降水负距平等级对应的不同地点的减产幅度基本变化不大,因此可以用降水负距平作为干旱指标。

农业上划分干旱类型的标准通常以减产百分率来确定,一般以减产 10% 以下为轻旱;10%~20% 为中旱;20%~30% 为重旱;大于 30% 为严重干旱,根据表 3,基于降水距平的夏玉米干旱指标可确定如表 4 所示。

表 3 出苗至抽雄降水距平及对应的减产百分率

Table 3 The precipitation anomaly and yield reduction percentage from emergence to teasing stage

降水距平(%) Precipitation anomaly	减产率 Yield reduction(%)								
	卢氏 Lushi	巩义 Gongyi	伊川 Yichuan	宜阳 Yiyang	濮阳 Puyang	杞县 Qixian	莱州 Laizhou	文登 Wendeng	平均 Average
-10	-1.4	-3.6	-5.1	-4.4	-10.7	-15.2	5.9	-2.9	-4.7
-20	-4.4	-7.2	-7.9	-7.2	-14.3	-19.6	1.8	-6.4	-8.2
-30	-7.4	-10.8	-10.6	-10.0	-17.8	-24.1	-2.3	-9.9	-11.6
-40	-10.5	-14.4	-13.4	-12.8	-21.3	-28.5	-6.4	-13.4	-15.1
-50	-13.5	-18.0	-16.2	-15.6	-24.8	-32.9	-10.5	-16.9	-18.6
-60	-16.5	-21.6	-18.9	-18.4	-28.3	-37.3	-14.6	-20.4	-22.0
-70	-19.5	-25.3	-21.7	-21.2	-31.9	-41.7	-18.6	-24.0	-25.5
-80	-22.5	-28.9	-24.5	-24.0	-35.4	-46.1	-22.7	-27.5	-29.0
-90	-25.5	-32.5	-27.2	-26.8	-38.9	-50.6	-26.8	-31.0	-32.4
-100	-28.5	-36.1	-30.0	-29.6	-42.4	-55.0	-30.9	-34.5	-35.9

表 4 基于降水距平的夏玉米干旱指标

Table 4 The drought index of summer maize base on the precipitation anomaly

干旱等级 Drought grade	减产率(%) Yield reduce	降水负距平(%) Negative precipitation anomaly
轻旱 Light drought	< 10	< 20
中旱 Middle drought	10 ~ 20	20 ~ 50
重旱 Heavy drought	20 ~ 30	50 ~ 80
严重干旱 Serious drought	> 30	> 80

4 结 语

利用三次多项式模拟对历史产量序列进行了处理,分离出气象产量,并用相对气象产量消除地区差异。通过相对气象产量和夏玉米不同生育阶段降水距平百分率的相关分析表明,出苗~抽雄期和全生育期降水距平与相对气象产量的相关关系比较密切,其中出苗~抽雄期相关最为显著。

通过出苗~抽雄期降水距平百分率与相对气象产量的回归方程,结合农业干旱等级划分标准,得出了基于降水距平的夏玉米不同干旱等级指标。即降水负距平 < 20%、20% ~ 50%、50% ~ 80%、> 80% 时,相应干旱等级分别为轻旱、中旱、重旱和严重干旱,相对气象产量减产率分别为 < 10%、10% ~ 20%、20% ~ 30%、> 30%。该指标和现有玉米干旱指标相比所需参数较少,计算过程简单,且能够反映出干旱对夏玉米产量的影响,并可用于损失评估。

参 考 文 献:

[1] 冯平,朱元生.干旱灾害的识别途径[J].自然灾害学报,1997,6(3):41-47.
 [2] 顾颖,谷震.农业干旱模拟研究[J].水科学进展,1993,8(1):253-259.
 [3] 徐向阳,刘俊,陈晓静.农业干旱评估指标体系[J].河海大学

学报,2001,29(4):56-60.
 [4] 王密侠,马成军,蔡焕杰.农业干旱指标研究与进展[J].干旱地区农业研究,1998,16(3):119-124.
 [5] 袁文平,周广胜.干旱指标的理论分析与研究展望[J].地球科学进展,2004,(6):982-991.
 [6] 邱林,陈晓楠,段春青,等.农业干旱程度评估指标的量化分析[J].灌溉排水学报,2004,23(3):34-37.
 [7] 姚玉璧,张存杰,邓振镛,等.气象.农业干旱指标综述[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):185-190.
 [8] 陈怀亮,张雪芬.玉米生产农业气象服务指南[M].北京:气象出版社,1999.
 [9] 吕厚荃,杨霏云,钱拴.干旱条件下夏玉米耗水分析[J].气象,2000,28(2):37-41.
 [10] 孙景生,肖俊夫,段爱旺,等.夏玉米耗水规律及水分胁迫对其生长发育和产量的影响[J].玉米科学,1999,7(2):45-48.
 [11] 方文松,朱自玺,刘荣花,等.夏玉米水分产量反应系数研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(2):111-114.
 [12] 张仁和,马国胜,柴海,等.干旱胁迫对玉米苗期叶绿素荧光参数的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(6):170-176.
 [13] 贾金生,刘昌明,王会肖.夏玉米水分胁迫效应的试验研究[J].中国农业生态学报,2002,10(2):97-101.
 [14] 毕建杰,刘建栋,叶宝兴,等.干旱胁迫对夏玉米叶片光合及叶绿素荧光的影响[J].气象与环境科学,2008,(1):10-15.
 [15] 张英普,何武权,韩健.水分胁迫对玉米生理生态特性的影响[J].西北水资源与水工程,1999,10(3):18-21.
 [16] 鲍巨松,杨成书,薛吉全,等.不同生育时期干旱胁迫对玉米生理特性的影响[J].作物学报,1991,(4):1-6.
 [17] 杨德光,沈秀瑛,赵天宏.玉米旱害生理研究进展[J].作物杂志,2001,(5):1-4.
 [18] 邓园,李世奎.中国粮食作物产量风险评估方法[C]//李世奎.中国农业灾害风险评估与对策.北京:气象出版社,1999:122-128.
 [19] 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.
 [20] 梁涛,刘景利.水分胁迫对玉米生长发育和产量的影响[J].安徽农业科学,2009,(35):17436-17437,17472.
 [21] 顾敬连,沈秀瑛,戴俊英,等.玉米不同品种各生育时期对干旱的生理反应[J].沈阳农业大学学报,1990,21(3):6-10.

Research on drought assessment index of summer maize base on precipitation anomaly

LI Shu-yan^{1,2}, LIU Rong-hua^{1,2}, MA Zhi-hong^{1,2}

(1. He'nan Institute of Meteorological Sciences, Zhengzhou, He'nan 450003, China;

2. Key Laboratory of Agro-meteorological Safeguard and Applied Technique, CMA, Zhengzhou, He'nan 450003, China)

Abstract: The drought assessment index of summer maize was determined based on the relationship between precipitation and yield. Firstly, the history data series of yield were processed, trend yield was fitted using cubic polynomial, and the relative meteorological yield was detached; and then the relationship between precipitation anomaly in different growing phase and relative meteorological yield was analyzed. The result showed that precipitation anomaly from emergence to teaseling stage had significant positive correlation with relative meteorological yield. The regression equation was established through statistic analysis. The drought assessment index of summer maize in different grade was determined combined with division standard of agricultural drought. The index was: when negative precipitation anomaly was < 20%, 20% ~ 50%, 50% ~ 80%, or > 80%, the drought grade was slight drought, middle drought, heavy drought and serious drought, and the yield reduction was < 10%, 10% ~ 20%, 20% ~ 30%, or > 30%.

Keywords: summer maize; trend yield; meteorological yield; drought index

(上接第 251 页)

- [18] 刘耀武,朱琳,郭兆夏,等.陕西省冬小麦北移气候分析和区划[J].陕西气象,2001,(4):24-26.
- [19] 曾英,黄祖英,张红娟.气候变化对陕西小麦种植区的影响[J].水土保持通报,2007,27(5):137-140.
- [20] 亚热带东部丘陵山区农业气候资源及其合理利用研究课题组.中国亚热带东部丘陵山区农业气候资源及合理利用研究[M].北京:科学出版社,1989.
- [21] 施能.气象科研与预报中的多元分析方法[M].北京:气象出版社,1995:58-100.
- [22] 中国农林作物气候区划协作组.中国农林作物气候区划[M].北京:气象出版社,1987:174-184.
- [23] 郭兆夏,朱琳,叶殿秀,等. GIS在气候资源分析及农业气候区划中的应用[J].西北大学学报(自然科学版),2000,30(4):357-359.
- [24] 陕西省气象局区划办公室.陕西省农业气候区划[M].西安:西安地图出版社,1988.

Impact of climate change on planting distribution of winter wheat in Shaanxi Province

ZHENG Xiao-hua, QU Zhen-jiang, LU Yuan-ping

(1. Shaanxi Meteorological Bureau, Xi'an, Shaanxi 710015, China;

2. Shaanxi Meteorological Service Station for Economic Crops, Xi'an, Shaanxi 710015, China)

Abstract: The data of climate and winter wheat yield in Shaanxi Province in recent 35 years (1971—2005) were used to analyze the relationship between winter wheat yield and typical climatic factors such as temperature $\leq 0^{\circ}\text{C}$ during over-wintering stage, precipitation amount in April to May, precipitation days in May and precipitation amount in October to November so as to establish an index system of suitable climatic resources for winter wheat. And the suitable planting area of winter wheat in three periods of 1970s, 1980s and after 1990s was calculated by using fuzzy multiple estimation and spatial analysis function of the GIS system. The results show that the most suitable planting area of winter wheat is decreasing due to global warming and the increase of extreme weather events. However, the general suitable planting area is increasing and the unsuitable area is decreasing because of the increase of temperature in winter. The planting boundary of winter wheat in Shaanxi Province has been expanded northwards to the counties of Dingbian, Jingbian, Hengshan, Zizhou, Mizhi and Jiexian.

Keywords: climate change; winter wheat; planting distribution; Shaanxi Province