

西北地区干旱对农业影响的评估方法

——以甘肃省春玉米为例

王瑜莎¹ 张钛仁² 白月明³

(1 辽宁省阜新市气象局, 阜新 123000; 2 中国气象局, 北京 100081; 3 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要: 在分析西北地区降水的变化特点以及干旱对玉米产量影响的基础上, 利用1985—2007年甘肃省春玉米产量资料、CI指数和相对应的降水、需水资料, 提出了干旱对玉米产量影响的定量评估方法。该方法以DI指数作为干旱评估指标, 综合考虑了相对气象减产率和DI累积指标的关系, 并进行了实证分析, 取得了比较可信的评估结果, 为科学、定量地分析西北地区干旱对农业生产的影响提供了可借鉴的评估方法。

关键词: 西北地区, 干旱, 春玉米, 影响, 评估方法

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2013.02.007

The Research of the Assessment Method of Drought for the Impact on Agriculture in the Northwest

——The Spring Corn in Gansu Province

Wang Yusha¹, Zhang Tairen², Bai Yueming³

(1 Fuxin Meteorological Bureau of Liaoning Province, Fuxin 123000 2 China Meteorological Administration, Beijing 100081

3 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract: The changing characteristics and trends of the precipitation of the Northwest Territories, as well as the impact of drought on agriculture was analyzed. Based on these, using the data of spring corn yield, CI index and corresponding to the precipitation, water demand from 1985 to 2007 in Gansu Province, the quantitative evaluation method of the influence of drought on corn yield was discussed in the paper. With the help of this method, DI index as drought assessment indicators was proposed. The relationship between the relative meteorological production rate and cumulate DI index were comprehensively considered, of which was made a positive analysis, so as to obtain a more reliable evaluation result. Therefore, the paper put forward a reference assessment method, in order to make a scientific analysis and a quantitative assessment of the influence of drought on agricultural production.

Keywords: the Northwest, drought, spring corn, influence, evaluation method

1 引言

西北地区深居内陆, 来自海洋的湿润气流难以到达, 降水稀少, 气候干旱。全球气候变暖背景下, 西北地区气温升高、蒸发加大, 气候变得更加干旱, 农业生产可持续发展受到的负面影响逐渐显露且变得越来越严重^[1]。

王大钧等^[2]对中国西部近40年的降水研究表明, 西部年降水量的空间分布极不均匀, 局地差异大, 特别是农业比较发达的地区, 出现了降水减少、干旱加剧的情况。刘德祥等^[1]认为甘肃东部降水持续偏少, 干旱大面积频发, 暖干化已成为西北现代气候变化的总

体特征, 甘肃东部是人口密集的重要农作区域, 暖干化趋势影响到了当地作物的产量, 影响了社会经济的全面发展。居辉等^[3]认为, 热量资源增加可能会由于水资源的匮乏而无法得到充分利用, 最终使农作物生长加快, 发育期提前, 全生育期缩短, 引起减产。西北地区降水的总体变化特点是降水总量减少, 时空分布不均匀, 年际变化大, 加剧了干旱发生程度, 对农作物熟制、布局、结构产生了严重影响。

玉米是我国北方旱作区主要栽培作物之一, 也是甘肃的主要粮食作物, 生长季节在4—9月, 期间的热量条件基本满足玉米正常生长, 除病虫害外, 降水几乎成为制约玉米产量的唯一因素^[4]。姚晓红等^[5]对1985—2004年实测气象和粮食产量资料的分析表明, 暖干化的趋势导致西北春旱、初夏旱、伏旱加剧。春旱造成玉米出苗不齐, 亩茎数不足; 初夏旱影响发育

收稿日期: 2012年3月13日; 修回日期: 2012年10月22日

第一作者: 王瑜莎(1984—), Email: wangyusha46@163.com

通信作者: 张钛仁(1957—), Email: zhtr@cma.gov.cn

资助信息: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106021)

期玉米授粉；伏旱会影响作物灌浆乳熟，对玉米产量影响较大^[6]，最终造成玉米减产。因农业生产具有很强的季节性，当干旱出现在农作物水分敏感期时，对农业危害最为严重^[7]，特别是在生殖生长初期，如遇到干旱，即使后期条件转好，作物长势也很难恢复或弥补，最终会对产量造成很大的影响，甚至绝收^[8]。

针对不同区域农业生产特点，综合考虑降水、热量和作物生育阶段定量分析评估干旱对农作物的影响，对提高防灾减灾的能力，趋利避害，保障农业增产，促进农业的可持续发展具有十分重要的现实意义，同时也可开展多时效、定量化的干旱灾害监测分析、影响评估提供技术支持。

2 干旱对西北地区农业影响评估方法

灾害评估是灾害研究的核心内容，作物干旱灾害损失评估是中国西北地区旱作农业的一个研究热点。近年来，量化评估灾害所造成的产量损失开始受到人们的关注^[9]。

刘静等^[10]利用正交多项式将各县单产序列进行产量趋势分离，建立气象产量与各月旱灾累积指数的关系，估算各县作物单产；根据各县作物单产与历史同期最高产量（即期望产量）或同期历史平均产量的比较，核算干旱减产幅度或减产产量，再根据当年粮食价格，可估算减产损失，实现灾损评估。刘静等^[11]利用小麦干热风观测资料和产量统计年鉴，结合民政部门灾害历史资料，运用产量逐级分离模拟和给定初始聚类中心的逐步筛选聚类分析方法，分别确定了宁夏引黄灌区春小麦两类干热风灾害等级判别指标，并建立了各自的等级判别方程；通过小麦抽穗扬花前的气候模拟，分离出灌浆期间两类干热风影响的产量损失评估。

可见，进行灾损评估，必须要有相应的干旱指标、等级标准和评估方法。本文以甘肃省春玉米生产为例，着重介绍了干旱导致农作物损失的评估方法。

2.1 资料与方法原理

产量资料：收集甘肃省主要市（县）1985—2007年的玉米产量资料，产量资料是由《甘肃省年鉴》和有关文献整理得到，通过对产量资料进行社会经济产量和气象产量的分离，模拟相对气象产量（负值的部分）。

表1 张掖发育期内的需水量^[12]

发育期	时间	蓄水总量 (mm)	每天的需水量 (mm·d ⁻¹)
播种—出苗	4月11日—5月10日	18	0.6
出苗—拔节	5月11—31日	51	2.6
拔节—吐丝	6月1日—7月10日	266	6.5
吐丝—成熟	7月11日—9月30日	247	2.8

气象资料：利用气温和降水实测资料，计算CI和降水需水比，需水量资料如表1，然后反演代表站逐日玉米干旱指标DI。用靖远的相对气象产量对DI作为干旱指标的可行性进行验证发现，相对气象产量（负值部分）与DI指数有弱的相关（图1），虽然相关性并不显著，但只要有一定相关性，而且成正相关就符合本研究的需求，因为本研究旨在提供一种思路。由图1可见，相对气象产量的值越小，DI指数的值越小，而DI指数值越小，表明产量越低，干旱越重。

对玉米干旱指标分别建立灾害累积指数，累积指数的研究是利用历史农业气象灾害数值化反演数据库，研究西北地区玉米全生育期干旱灾害的累积指数，在此基础上以减产百分率为评估量，以发育阶段DI指数为评估要素进行分析和研究，从而实现灾损评估。

2.2 干旱损失的分离

该方法是评估方法中重要的一个环节，具体是将气候产量采用趋势法从社会产量中分离。很多研究表明，评估干旱对作物产量造成的损失，应将干旱对农作物产量的影响与其他因素对产量的影响分离开^[13]。

陈家金等^[14]认为，农业技术水平的提升等因素引起粮食单产增加，气象条件的变化引起粮食单产的年际波动，粮食单产和趋势产量、气象产量有着密切的关系，于是在福建省粮食产量气象灾害风险评估中运用三者之间的关系进行了产量处理：

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

式中， Y 为粮食实际单产， Y_t 为趋势产量（作物在正常天气条件下，农技措施没有明显变化时的基本产量特征，代表着气象变化之外的所有自然和非自然因素对产量的影响）， Y_w 为气象产量（代表气象因素对产量的影响，也包括了某些气象灾害的影响）， ε 为随机噪声，由于所占比例小，忽略不计。

甘肃省春玉米实际产量 Y 为农业技术对玉米产量的贡献 Y_t 和气象产量（负值即为气象灾害损失产量） Y_w 之和。农业技术产量一般用5年滑动平均求得，气象影响产量即为实际产量与农业技术产量之差。为了

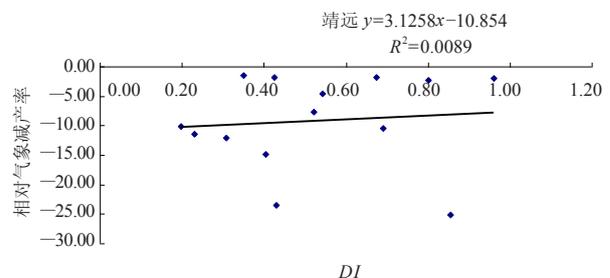


图1 相对气象产量和DI指数的关系

消除地区间的农业生产水平差异,用气象产量除以趋势产量,得到相对气象产量以表示气象条件对产量的影响,这样变量不受时间和空间影响,具有可比性,公式为:

$$Y_{wi} = (Y_i - Y_{ti}) / Y_{ti} \times 100\% \quad (2)$$

式中, Y_{wi} 为第 i 年的气象影响产量, Y_{ti} 为第 i 年的农业技术产量, Y_i 为第 i 年实际产量。表2和表3是运用上述方法后得出的结果。

2.3 干旱指标的确立

降水是旱地农田水分的主要来源,也是影响干旱的主要因素。张叶等^[15]在农业气象干旱指标研究中使用了降水距平百分率,它可以直观地反映出某一时段内降水量与多年平均值的相对多少,还能反映出干旱的发生趋势,但是它不能直接表示农作物遭受干旱影响的程度。甘肃不仅降水量少且时空分布极不均匀,年降水量极不稳定,在甘肃仅用降水距平百分率的指标方法评价干旱并不科学。而一些多因子综合指标,如相对湿度指数、综合气象干旱指数等,都是以降水量为主,兼顾其他诸气象要素构建的,能全面反应农业干旱的发生及其影响。

江远安等^[16]指出,单一干旱指数很难满足既适合不同季节、又适合不同区域的要求,而以标准化降水指数、相对湿度指数和降水量为基础的气象干旱综合指数 CI ^[17] 具有更多的优势, CI 指数中包含90d、30d降水和30d温度的影响,适合较长时间尺度(季度、月)的干旱监测。考虑到甘肃干旱区春玉米受发育期干旱影响较大,所以,在应用 CI 作为玉米干旱指数时,可以加上发育期降水/需水比值,即水分适宜度^[18]。这样构建的干旱指标 DI 既考虑了降水、热量的中、长期(30d与90d)影响,也考虑了生育期降水和需水的作用,不但具有气候意义,更具有生物学意义。可表述为: $DI = CI + \text{逐日} R / (\text{该日所在发育阶段的需水量} Q / \text{该日所在发育阶段的日数})$, 即

$$DI = CI + P \quad (3)$$

表2 代表站趋势产量模型(以2007年为例)

站点名称	趋势产量模型	R^2
西峰	$Y_i = 13.49x - 26551$	0.5281
武都	$Y_i = 1.9532x - 3742.9$	0.1121
永昌	$Y_i = 11.945x - 23256$	0.3249
靖远	$Y_i = 1.8375x - 3271.1$	0.0404

表3 代表站趋势产量、气象产量、相对气象产量(以2007年为例)

站点名称	趋势产量(kg)	气象产量(kg)	相对气象产量
西峰	523.4300	2.6559	0.51
武都	177.1724	24.0115	13.55
永昌	717.615	-68.6104	-9.56
靖远	416.7625	-7.3300	-1.76

$$P = R/Q \quad (4)$$

式中, DI 为玉米干旱指数,无量纲,主要适用于西北地区春玉米逐日的旱情评估。 CI 为综合气象干旱指数,代表中、长期气象干旱状况,无量纲。 P 为发育阶段降水需水比(即发育阶段水分适宜程度)。 R 为降水量(mm)。 Q 为生理需水量(mm)。其中, $Q = A/D$, A 为发育阶段内总生理需水量, D 为发育阶段天数。

2.4 干旱等级的划分

对旱灾进行分级,能够有效地评定作物受损状况、产量损失程度。朱自玺等^[19]研究小麦干旱风险评估技术和方法时,从降水资料出发,按降水负距平绝对值的大小不同划分不同的干旱等级。刘小艳^[20]在陕西省干旱灾害风险评估及规划中,采用 CI 划分整个陕西省的干旱等级。本研究只探讨由降水减少所引起的减产。

利用灾害年中由干旱造成的减产率(相对气象减产率)、播种一出苗期降水总量和播种一出苗期 DI 累积指标的关系,确定出西北地区春玉米播种一出苗期干旱 DI 指标的划分等级,如表4。

3 评估方法应用实例

图2给出了六个典型站点的播种一出苗期 DI 指数的逐年变化特征。从播种一出苗期的 DI 指数变化来看,可将这些站点分为三组:西峰和临洮波动最大,线很陡,趋势最为明显,例如,西峰在1998年的值为7.07,2005年的值为-0.12;武都次之,波动趋势相对比较大, DI 指数的大小居中,最大值在2002年,最小值在2005年;榆中、永昌、靖远波动情况相似,波动最平缓,数值整体偏小,说明干旱程度比较大,干旱年份比较多。六个站在1998年左右的数值都比较大,

表4 播种一出苗期 DI 指数等级划分表

干旱等级	DI 指数等级	划分依据
轻旱	$DI \geq 5$	降水量 $\geq 70\text{mm}$ 且减产率 $\geq -15\%$
中旱	$3 \leq DI < 5$	$40\text{mm} \leq \text{降水量} < 70\text{mm}$ 且 $-40\% \leq \text{减产率} < -15\%$
重旱	$1.5 \leq DI < 3$	$20\text{mm} \leq \text{降水量} < 40\text{mm}$ 且 $-55\% \leq \text{减产率} < -40\%$
特旱	$DI < 1.5$	降水量 $< 20\text{mm}$ 且减产率 $< -55\%$

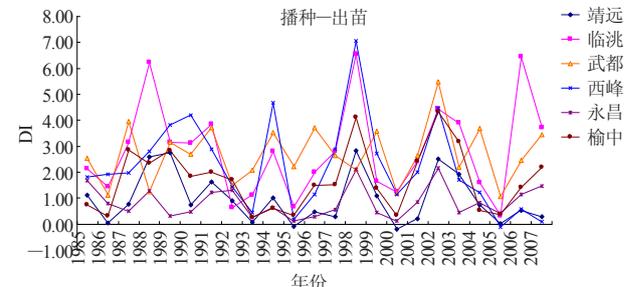


图2 播种一出苗期 DI 指数逐年变化图

表明1998年左右相对无旱, 2005年数值都较小, 表明2005年六个站点相对较早。

4 结论与讨论

4.1 评估指标

评估指标是灾损评估的关键, 评估指标的确定是灾损评估研究中的难点。目前在评估中几乎都用降水距平作为干旱灾害评估指标, 但是对于短期干旱或干旱期间采取了灌溉措施的情形, 用降水距平作为作物干旱评估指标, 评估的结果准确性较低, 缺乏科学性。

对农业气象灾害评估时, 最关心的是旱灾发生范围和程度、作物受损状况和减产成数。针对甘肃省的气候条件, 本研究构建了以综合气象干旱指数CI为基础的干旱灾损评估指标DI, 涵盖了长中短期气象影响和发育阶段气象影响, 具有生物学意义, 可用于评估干旱发生时空变化和规律, 也可作灾损评估模型中的参数。

4.2 等级划分

在灾损评估方面, 目前所采用的方法虽然简单、实用, 对气象资料的需求少, 便于推广, 但是这些都不能准确地反映出农作物的受旱程度。

根据DI指数来划分时段干旱灾害影响的轻重, 是比较合理的。还需注意, 气象条件达到农业气象灾害指标后并不意味着作物遭受灾害, 当地作物实际受灾等级应为用农业气象灾害指标划定的灾害等级与当地抗灾能力的叠加。由于不同作物的抗灾能力不同, 同一作物不同时期抗灾和恢复能力不同, 所以作物产量受损的程度不同^[21]。

4.3 评估方法

通过反演历史农业气象灾害, 建立甘肃省春玉米干旱数据库, 数据库中包含甘肃各玉米生产县、市的站点历年资料, 玉米单产、总产、播种面积, 春玉米发育期资料, 逐日降水量, 逐日气温, 逐日CI指数、逐日降水需水比。利用该数据库研究玉米整个生长季同类灾害的累积指数, 在此基础上开展干旱的数值化定量分析, 研究干旱对玉米产量的影响以及近几十年来甘肃省春玉米干旱的时空变化规律。

总之, 农业生产是在自然的、多变的气候环境条件下进行的自然再生产和社会再生产过程, 生产的每

个环节都与天气、气候条件密切相关^[22]。气候变化会使农业的脆弱性更加明显, 农业气象灾害的困扰也日益上升。所以掌握灾损的评估方法, 尽力做到减轻或避免灾害对农业生产的影响, 改善农业生态环境, 适应气候变化, 对保证高效农业和农业的可持续发展具有重要意义^[23]。

参考文献

- [1] 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. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 195-201.
- [2] 王大钧, 陈列, 丁裕国. 近40年来中国降水量、雨日变化趋势及与全球温度变化的关系. 热带气象学报, 2006, 22(3): 283-289.
- [3] 居辉, 熊伟, 许吟隆, 等. 气候变化对我国小麦产量的影响. 作物学报, 2005, 31(10): 1340-1343.
- [4] 蒲金涌, 张存杰, 赵红岩, 等. 干旱对陇东及陇东南地区粮食产量的影响评估. 华北农学报, 2008, 23(增刊): 163-166.
- [5] 姚晓红, 许彦平, 王润元, 等. 天水市农业气象灾害对主要粮食作物产量的影响. 中国农业气象, 2008, 29(2): 221-223.
- [6] 蒲金涌, 张存杰, 姚小英, 等. 干旱气候对陇东南主要农作物产量影响的评估. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 167-171.
- [7] 何爱平. 我国西部农业灾害的特点及减灾对策研究. 经济地理, 2001, 21(1): 19-22.
- [8] 王春乙, 娄秀荣, 王建林. 中国农业气象灾害对作物产量的影响. 自然灾害学报, 2007, 16(5): 37-43.
- [9] 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. 中国农业科学, 2004, 37(2): 201-207.
- [10] 刘静, 武万里, 孙银川, 等. 干旱累积指数在宁夏干旱灾害监测及损失评估中的应用. 新世纪气象科技创新与大气科学发展——中国气象学会2003年年会“农业气象与生态环境”分会论文集, 2003.
- [11] 刘静, 马力文, 张晓煜. 春小麦干热风灾害监测指标与损失评估模型方法探讨——以宁夏引黄灌区为例. 应用气象学报, 2004, 15(2): 217-225.
- [12] 李金华, 杨晓光, 曹诗瑜, 等. 甘肃张掖地区不同种植模式需水特征及作物系数分析. 江西农业学报, 2009, 21(4): 17-20.
- [13] 官德吉, 陈素华. 农业气象灾害损失评估方法及其在产量预报中的应用. 应用气象学报, 1999, 10(1): 66-71.
- [14] 陈家金, 张春桂, 王加义, 等. 福建省粮食产量气象灾害风险评估. 中国农学通报, 2009, 25(10): 277-281.
- [15] 张叶, 罗怀良. 农业气象干旱指标研究综述. 资源开发与市场, 2006, 22(1): 50-52.
- [16] 江远安, 赵逸舟, 陈颖, 等. 干旱指数CI的确定及其在新疆的应用. 沙漠与绿洲气象, 2010, 4(2): 18-20.
- [17] 张强, 邹旭恺, 肖风劲, 等. GB/T20481-2006, 气象干旱等级. 中华人民共和国国家标准. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [18] 姚小英, 蒲金涌, 姚茹莘, 等. 气候暖干化背景下甘肃旱作区玉米气候适宜性变化. 地理学报, 2011, 66(1): 59-67.
- [19] 朱自玺, 刘荣花, 方文松, 等. 华北地区冬小麦干旱评估指标研究. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 145-151.
- [20] 刘小艳. 陕西省干旱灾害风险评估及区划. 西安: 陕西师范大学, 2010.
- [21] 魏瑞江, 姚树然, 王云秀. 河北省主要农作物农业气象灾害灾损评估方法. 中国农业气象, 2000, 21(1): 27-31.
- [22] 贺宇. 农业气象服务现状与发展趋势. 现代农业科学, 2009, 16(2): 129-131.
- [23] 成兆金, 赵再全, 靳会敏, 等. 气候变化对首县农业气象灾害的影响及对策. 中国农学通报, 2007, 8(123): 540-543.