

许朗,王焱璞,顾天竹. 玉米生长期干旱特征及其对产量的影响——基于河南省 SPEI 指数的实证分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(8):311–316. doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2019.08.070

玉米生长期干旱特征及其对产量的影响 ——基于河南省 SPEI 指数的实证分析

许朗^{1,2}, 王焱璞¹, 顾天竹¹

(1. 南京农业大学经济与管理学院, 江苏南京 210095; 2. 南京农业大学中国粮食安全研究中心, 江苏南京 210095)

摘要:玉米是河南省种植面积仅次于小麦的重要粮食作物,在玉米生长期内极易发生干旱等自然灾害,严重影响着玉米的稳定生产。基于 1987—2015 年河南省 17 个地市的玉米生产和气象数据,利用标准化降水蒸散指数(SPEI)分析了玉米生长期的干旱时空特征,通过建立变截距和变系数模型研究干旱等气候因素对河南省玉米产量的影响,并识别出受干旱影响较为严重的地区。研究表明,玉米生长期内干旱频繁发生,平均每 3 年发生 1 次干旱且干旱程度有增强的趋势;干旱导致了玉米产量的减少,相较于正常年份,干旱年份玉米总产量将平均减产 6.75%;地区层面上,干旱对各地区玉米生产的影响差异较大,且受干旱负面影响最大的主要集中在西南部地区;干旱发生频率和干旱强度是导致玉米减产的重要原因,但区域自然条件、经济发展水平等同样是不可忽视的因素。

关键词:干旱;SPEI;玉米产量;面板数据;河南省;地区差异

中图分类号: S423;S162.5⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2019)08–0311–06

近年来,全球各地均有不同程度的干旱、洪涝等自然灾害事件发生,与其他自然灾害相比,旱灾具有出现次数多、持续时间长、影响范围广等特点,因此被认为是造成农业经济损失最大的自然灾害类型之一。据统计,全球约有 1/3 的土地以及 20% 的人口长期遭受干旱灾害的影响,农业上受干旱影响造成的损失高达 260 亿美元/年,全球几乎全部的农业用地都处于干旱灾害极易发生的地区^[1]。在气候变暖的背景下,我国的干旱发生范围和强度也呈现出明显增强的趋势,成为制约我国农业发展和粮食安全的主要因素^[2]。

河南是我国重要的农业大省和粮食生产大省,玉米是河南省第二大粮食作物,其种植面积约占全国播种面积的 1/10,仅次于小麦。河南省玉米生产区位于黄淮海玉米主产区的核心地带,区位优势明显。得益于黄淮海地区丰富的光热资源,该区十分适宜玉米的种植,但由于受季风型气候以及干旱化趋势的干扰,玉米生长期内极易发生干旱等自然灾害。研究表明河南地区 1971—2010 年间的近 30 年中,对粮食生产影响最为严重的是干旱,其中发生频率最高的干旱类型则是伏旱^[3]。李树岩等基于气象干旱综合指数(CI 指数)的研究表明,河南省伏旱发生频率高达 63.6%,严重制约玉米的生产^[4],1997 年 7—8 月河南全省一半播种面积以上的秋作物受旱减产,旱情最严重的洛阳受旱面积高达 90%^[5],2014 年河南省更是因旱灾秋粮受灾面积达到 154 万 hm²,是 63 年来最为严重的伏旱。鉴于干旱灾害对河南省玉米生产造成的严重威胁,为保障玉米的稳定生产,科学应对干旱灾害,加强

与深化干旱评估以及与农业生产关系方面的研究工作十分有必要。

气温和降水是气候的主要因素,也是干旱的直接表征量。Vicente–Serrano 等提出的标准化降水蒸散指数(standardized precipitation evapotranspiration index, SPEI),继承了帕默尔干旱指数(PDSI)对于温度灵敏性以及标准化降水指数(SPI)的多时空特点,同时考虑了降水和温度对于干旱的影响,非常适合全球气候变暖背景下的干旱特征分析^[6–7]。因此,本研究选择 SPEI 指数分析河南省玉米生长期的干旱情况。

干旱会导致作物缺水,影响作物的生长发育,最终导致减产。国内外学者就干旱对作物产量的影响机制及影响规律等展开了广泛的研究。从研究方法上看,大致可以分为 2 类。第 1 类是基于作物生长动态模拟模型,模拟作物各生育阶段不同等级干旱对作物产量的影响^[8–10]。第 2 类是统计方法,借助气象数据和产量数据,利用不同的干旱指标对干旱程度进行量化,进而通过相关性分析、简单线性回归、柯布–道格拉斯(Cobb–Douglas,简称 C–D)生产函数及面板数据模型等数理统计方法,在控制了技术进步、经济因素和人为行为影响的基础上探讨了干旱与作物产量之间的关系。陈玉萍等基于干旱虚拟变量固定效应模型利用湖北、广西、浙江 3 个省份的降水和水稻生产历史数据分析了水稻生产对降水量的弹性^[11],并得出了干旱造成的水稻生产的直接损失。许朗等以历年的旱灾受灾面积作为衡量农业干旱的程度,利用面板固定效应模型实证分析了淮河流域干旱对于粮食、小麦以及水稻的影响^[12]。何永坤等基于逐旬干湿指数建立了中国西南地区的玉米干旱累积指数,结合玉米产量资料,构建了气候产量与干旱指数的线性回归模型^[13]。杨晓晨等利用农业干旱指标标准化降水蒸散指数(SPEI)从时间、空间 2 个维度分析中国东北春玉米区干旱特征,并利用回归分析进行 SPEI 与玉米气候产量的关系分析^[14]。

收稿日期:2019–01–30

基金项目:国家自然科学基金(编号:71573126);国家社会科学基金(编号:13ZD160)。

作者简介:许朗(1961—),男,江苏扬州人,博士,教授,主要从事农业经济管理研究。E-mail: xulang@njau.edu.cn。

在实际生产中,作物产量是由自然因素和经济社会因素共同决定的。而农作物生长模拟模型的核心是试验参数,并不考虑经济因素和人类行为,因而对社会经济影响的解释能力有限。C-D 生产函数模型是描述生产要素和产量之间关系的重要方法。丑洁明等研究认为如果在 C-D 生产函数中纳入自然因素,对于农业投入与产出的反映将更为科学^[15]。鉴于此,本研究将干旱等气候因素作为外生变量以中性的方式引入到 C-D 生产函数中,通过建立变截距和变系数模型研究干旱等气候因素对河南省玉米产量的影响,并识别出受干旱影响较为严重的地区,相关研究对防御气象灾害对玉米生产的影响具有重要的现实意义。

1 研究方法

1.1 SPEI 的计算方法

SPEI 的计算主要利用到月降水量和月平均温度,通过计算降水量与蒸散量的差值并将其正态标准化得到。具体的计算步骤如下:

(1) 计算降水量与蒸散量差值,即气候水平衡:

$$D_i = P_i - PET_i。$$
 (1)

式中: D_i 为降水量与蒸散量的差值,mm; P_i 为降水量,mm; PET_i 为潜在蒸散量,mm。

(2) 建立不同时间尺度气候学意义上的水分盈亏累积序列:

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-i} - PET_{n-i}), n \geq k。$$
 (2)

式中: k 为时间尺度,月; n 为计算次数;

(3) 采用 3 参数的 Log-Logistic 概率分布 $F(x)$ 对 D 序列进行拟合,并对序列进行标准正态分布转化,计算每个 D 对应的 SPEI 值:

$$SPEI = w - \frac{c_0 - c_1 w + c_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3}, w = \sqrt{-2 \ln(P)}。$$
 (3)

式中: P 为超过特定 D 值的累积概率,当 $P > 0.5$ 时,SPEI 值的符号被逆转。常数项的值分别是 $c_0 = 2.515\ 517$, $c_1 = 0.802\ 853$, $c_2 = 0.010\ 328$, $d_1 = 1.432\ 788$, $d_2 = 0.189\ 269$, $d_3 = 0.001\ 308$ 。

SPEI 的计算可采用以月为单位的不同时间尺度,考虑到河南省玉米生长期集中在 6—9 月^[16],因此选择 4 个月尺度的 SPEI 值研究玉米生长期的干旱特征。根据 SPEI 值可以划分单站的干旱等级程度(表 1)^[17-18]。

表 1 SPEI 的干旱等级划分与累积概率

干旱程度	SPEI 值	概率 (%)
极端干旱	$(-\infty, -2.0]$	2.28
中度干旱	$(-2.0, -1.0]$	13.59
一般干旱	$(-1.0, -0.5]$	14.98

1.2 模型构建

C-D 生产函数是描述生产要素和产出之间关系的经典模型。作物生长不仅受土地、劳动、化肥、灌溉等传统投入要素的影响,与气候因素同样联系密切,极端气候事件(旱、涝等)对于农业产量的影响更为明显,与传统投入要素不同的是,气候因素本身不是生产要素,而是通过影响生产要素的使

用效率进而影响最终的产出^[19]。因此,本研究参考相关文献将气候因素作为外生变量以中性的方式引入到模型中^[19-20],用以估计干旱等气候因素对玉米产量的影响程度。具体形式如式(4):

$$Q = \alpha_0 A^\alpha L^\beta K^\gamma e^{\eta C} + \mu。$$
 (4)

其对数函数形式为:

$$\ln Q = \alpha_0 + \alpha_0 + \alpha \ln A + \beta \ln L + \gamma \ln K + \eta C + \mu。$$
 (5)

式中: Q 表示玉米产量; A 表示玉米种植面积; L 表示劳动投入; K 表示资本投入; C 表示气候因素(包括干旱、降水和气温); α_0 、 α 、 β 、 γ 、 η 是待估系数; μ 是误差项。

此外,模型还包括时间趋势变量 T ,作为技术进步程度的测度,地区虚拟变量用以控制海拔、土壤等不随时间变化的要素。本研究最终模型设定如下:

$$\ln Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 T + \beta_1 Z_{it} + \beta_2 TEM_{it} + \beta_3 PRE_{it} + \eta_1 \ln(CA_{it}) + \eta_2 \ln(FT_{it}) + \eta_3 \ln(AM_{it}) + \eta_4 \ln(LB_{it}) + \sum_{m=1}^{16} \rho_m D_m + \mu。$$
 (6)

式中: i 和 t 表示第 i 个地市的第 t 年份; Y 表示玉米产量,万吨; T 为时间趋势变量(取值为 1,2,⋯,29); Z 为气候类型虚拟变量($Z=0$ 表示正常年份, $Z=1$ 表示干旱年份),由每年的玉米生长期的 SPEI 指数进行划分, $SPEI \leq -0.5$ 的年份定义为干旱年; TEM 表示玉米生长期期间的月平均气温($^{\circ}C$); PRE 表示玉米生长期的月平均降水量(mm); CA 表示玉米种植面积($\times 10^3\text{ hm}^2$); FT 表示玉米生产的化肥投入量(万吨); AM 表示玉米生产的农业机械总动力(万 kW); LB 表示从事玉米生产的劳动力总数(万人); D_m 为一组地区虚拟变量。 Z 、 TEM 和 PRE 是本研究关注的核心变量。

2 数据来源

本研究使用的数据主要包括气象数据和玉米投入产出数据 2 个部分。气象数据为河南省 45 个气象站 1971—2015 年 45 年的逐日降水量和平均气温,由中国科学院资源环境科学数据中心提供(<http://www.resdc.cn/>),45 个气象站均匀分布在河南全省,具有较好的代表性;玉米的投入产出数据为河南 17 个市(由于济源市在 1996 年前由焦作市代管,为前后统一,本研究将济源市和焦作市投入产出数据合并,仍以焦作市命名)的玉米产量、劳动力投入、农业机械总动力、化肥投入等,主要来自河南省统计年鉴,时间序列为 1987—2015 年。由于研究对象为玉米,从年鉴中得到的化肥投入、农业机械总动力以及农村劳动力人数不能直接用于模型估计,参考周曙东等的研究方法^[21-22],以玉米播种面积占农作物播种面积的比例为权重,对变量进行变化处理。

3 结果与分析

3.1 玉米生长期干旱特征分析

3.1.1 干旱的时间特征分析 河南省平均 SPEI 指数年际变化趋势见图 1。全省年平均 SPEI 指数是 45 个气象台站 SPEI(6—9 月)的平均值,所有站台均匀分布在全省各地区,具有很好的代表性。河南省玉米生长期干旱始于 1986 年前后,此后的 15 年间干旱频繁发生,2005—2010 年偏湿润,2010 年开始又出现干旱趋势。干旱最严重的前 3 个年份分别是 1997

年、2013 年和 1986 年,最湿润的前 3 个年份分别是 1984 年、2000 年和 2003 年,从 SPEI 的数值上来看,最干旱的年份偏离正常年份的程度略大于最湿润年份的偏离程度。从 1971—2015 年的 45 年间,该地区玉米生长期平均 SPEI 指数

以 0.031/10 年的速度下降,若只计算 1986—2015 年近 30 年的 SPEI 指数,这种下降速度达 0.127/10 年,说明玉米生长期的干旱趋势明显在增强。

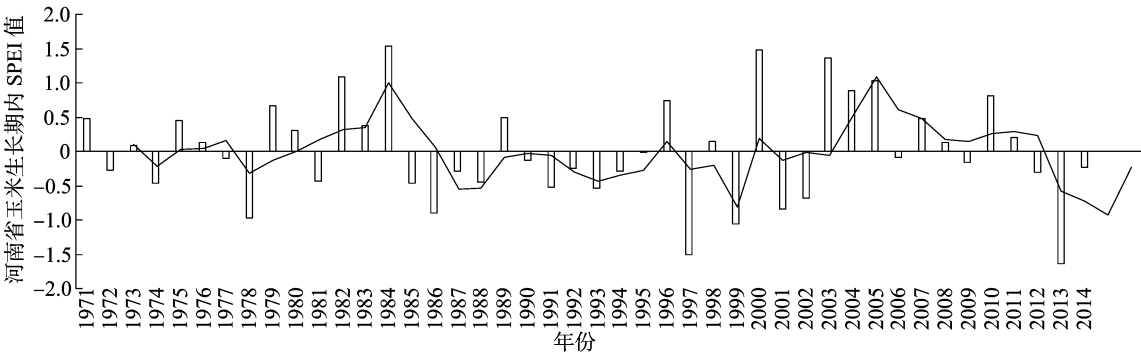


图1 河南省玉米生长期平均 SPEI 指数年际变化

3.1.2 干旱的空间特征分析 根据标准化降水蒸散指数 (SPEI) 的计算结果,依据表 1 划分的干旱标准统计河南省 45 个站点的干旱发生频率 (1971—2015 年)。从全省平均看,1971—2015 年的 45 年中,河南省玉米生长期干旱发生频率为 0.322 2 ($SPEI < -0.5$),平均每 3 年发生 1 次干旱,其中一般干旱发生频率为 0.151 5 ($-1 < SPEI \leq -0.5$),平均每

6.65 年发生 1 次,中度干旱发生频率与一般干旱发生频率差别较小,频率为 0.149 0 ($-2 < SPEI \leq -1$),平均每 6.60 年发生 1 次,极端干旱发生频率为 0.021 7 ($SPEI \leq -2$),频率较低。为更直观地得到玉米生长期干旱发生的空间分布特征,本研究通过 ArcGIS 软件运用反距离加权 (IDW) 的插值法得到干旱频率分布图 (图 2)。由图 2-a 可知,一般干旱发生频

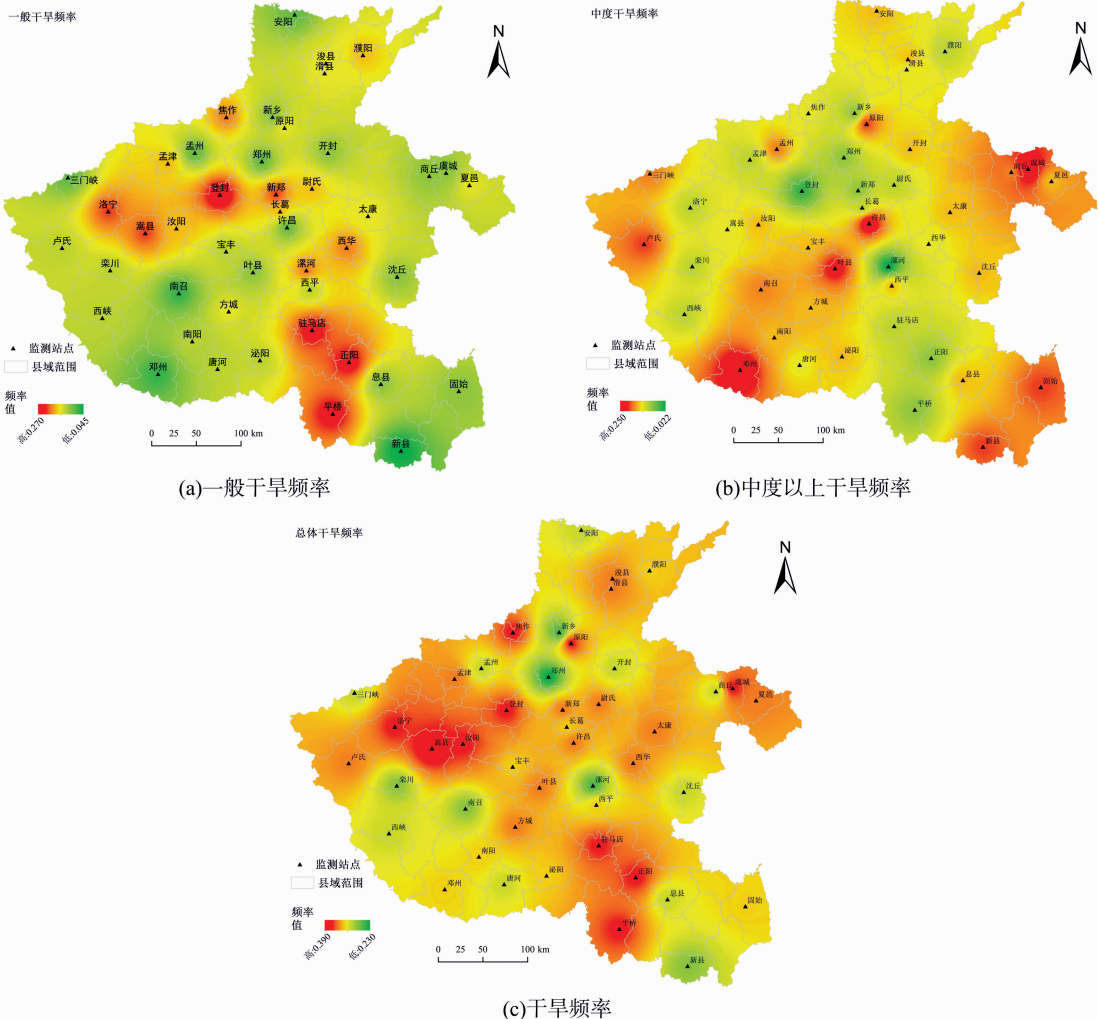


图2 河南省玉米生长期干旱频率空间分布

率在 0.045~0.270 之间,各地差异较大,频率高值区主要集中在周口、驻马店一带,豫西及豫北的部分地区干旱发生频率在 0.15 以上,其中郑州、驻马店及濮阳的部分地区一般干旱发生频率最高,南阳盆地、河南中东部地区及北部的安阳、新乡等地一般干旱发生频率较低。中度以上干旱(包括中度和极端干旱)发生频率整体较高,但地区间差异不大,大部分地区集中在 0.15~0.20 之间。低频区主要在漯河和驻马店一带,频率在 0.10 以下,高频区分布在豫西南及豫东北部分地区,频率在 0.25 左右(图 2-b)。总体来看,河南各地区玉米生长期干旱发生频率在 0.23~0.40 之间,平均每 3 年就会发生 1 次干旱,高频区主要集中在豫西北以及南阳、驻马店和信阳交界一带的地区(图 2-c)。

表 2 估计模型选择的计量检验结果

检验类型	原假设	检验统计量	伴随概率	结论
Wooldridge 检验	不存在组内自相关	0.13	0.723 4	接受原假设
Breusch-Pagan LM 检验	不存在同期相关(截面相关)	561.029	0	拒绝原假设
沃尔德检验	不同个体的扰动项方差相等	608.15	0	拒绝原假设

为了说明干旱等气候因素对玉米产量影响的稳健性,本研究同时设定了模型 1~3。由表 3 可知,模型 1 只说明了干旱、温度、降水等气候变量对玉米产量的影响,模型 2 加入了玉米种植面积作为控制变量,而模型 3 除了加入了玉米种植面积外,更全面地考察了影响玉米产量的其他因素,包括化肥投入、农业机械投入以及劳动投入等。通过 3 个模型的比较发现,与模型 1 相比,在加入种植面积、化肥投入等控制变量后,干旱虚拟变量和降水的系数值变动较小,显著性水平没有变化,证明了模型的稳健性,说明了估计结果的可靠性。因此,本研究拟采用模型 3 的估计结果进行具体分析。

由模型 3 可知,干旱虚拟变量在 1% 的显著性水平上通过了显著性检验且系数为负,表明玉米生长期内发生干旱将引起玉米总产量的下降。河南省玉米以夏玉米为主,生长期较短,全生育期基本在 6 月上旬至 9 月下旬,处于天气过程多变的夏季,生育期内干旱常有发生,影响生产。6 月上旬至 7 月中旬左右是玉米生长的播种-拔节期,此时气温上升较快,蒸发量大,但降水偏少,干旱时有发生,影响玉米播种时期,造成晚播,导致减产,7 月中下旬至 8 月上旬属于玉米生长的拔节-抽雄时期,是需水量最大的时期,同时也是干旱高发时段,此时出现干旱(俗称卡脖子旱),会严重影响玉米抽雄吐丝,

3.2 干旱对玉米产量影响的总体估计

首先不考虑干旱对各市玉米生产影响的地区差异,采用个体固定效应(变截距)模型进行总体估计,针对 T 较长的面板数据,须密切关注几个潜在问题,包括组间异方差、组内自相关以及截面相关。本研究顺序使用沃尔德检验、Wooldridge 检验以及 Breusch-Pagan LM 检验对上述可能存在的问题进行判定,检验结果见表 2;异方差检验结果表明模型存在异方差;Wooldridge 检验结果显示误差项不存在组内自相关;Breusch-Pagan LM 检验结果显示模型存在组间同期相关即截面相关,针对上述问题,选择可行的广义最小二乘法(FGLS)进行修正。

导致玉米减产。从影响系数看,与正常年份相比,河南省玉米总产量在干旱年份平均将减少 6.75%,按目前全省玉米种植面积 300 万 hm^2 ,产量 1 700 万 t 计算,若发生干旱,总产量将减产 115 万 t,单产将减少 400 kg/hm^2 。

降水对河南省玉米产量有负向影响,且在 1% 的统计水平上显著,温度对玉米产量的线性影响不明显,这与成林等基于 1988—2010 年的资料所开展的研究结果^[16]一致。河南省玉米生长期主要集中在 6—9 月,期间降水波动较大,研究表明河南省玉米生长期内降水变异系数达 31.1%~40.6%^[16],降水的波动性特征必然导致玉米产量的不稳定,河南省气温在近年来总体呈上升的趋势^[23],但随着技术的进步,农户在耕作方式、品种选择上的改变,一定程度上发挥了气候变化的有利因素,减缓了因温度上升而带来的不利因素。

从控制变量来看,与预期一致,玉米种植面积、劳动力投入、化肥投入、农业机械总动力均通过了 1% 的显著性检验,且系数为正。具体来看,玉米种植面积对玉米产量的影响系数最大,符合经济现实,玉米种植面积每增加 1 百分点,玉米产量将增加 0.87%;化肥投入、农业机械总动力以及劳动力三者分别增加 1 百分点,玉米总产量将分别增加 0.06%、0.08%、0.07%;时间趋势变量 t 也通过了 1% 的显著性水平

表 3 模型估计结果

自变量	模型 1		模型 2		模型 3	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
干旱年份虚拟变量	-0.080 6***	0.010 9	-0.065 1***	0.009 0	-0.067 5***	0.009 2
降水量(mm)	-0.001 0***	0.000 1	-0.000 4***	0.000 1	-0.000 4***	0.000 1
温度(℃)	0.003	0.012 7	0.001 2	0.010 3	0.006 4	0.010 8
ln(玉米种植面积)	—	—	1.037 4***	0.023 3	0.874 9***	0.046 1
ln(玉米化肥投入)	—	—	—	—	0.061 2***	0.022 5
ln(玉米农业机械投入)	—	—	—	—	0.080 9***	0.023 9
ln(玉米劳动投入)	—	—	—	—	0.079 6***	0.031 4
时间趋势项	0.039 16***	0.001 2	0.014 5***	0.001 2	0.005 7***	0.001 7
常数项	4.151 4***	0.316 3	-0.849 1***	0.284 2	-0.501 7***	0.321 1
地区虚拟变量	是		是		是	
样本数(N)	476		476		476	

注:***、**、* 分别表示在 0.01、0.05、0.1 水平上显著。表 4 同。

检验,且系数为正。

3.3 干旱对玉米产量影响的区域差异估计

为了测度干旱对每个地市玉米生产的影响程度并展开地区间的横向比较,需要采用变系数面板数据模型。为了不使模型方程估计参数太多,模型中将个体虚拟变量以及虚拟变量与干旱、降水、温度 3 个核心解释变量的交互项引入到回归方程,采用最小二乘虚拟变量(LSDV)法,进行基于核心解释变量的部分变系数面板模型估计^[24]。同时,为了得到各地市核心解释变量的显著性,将原模型中核心变量 Z、PRE 和 TEM

的独立项去掉,只保留三者与各市虚拟变量的交互项。考虑到可能存在的异方差、自相关等问题,仍采用可行的广义最小二乘法(FGLS)对模型进行估计。

变系数模型的估计结果表明,除个别地市外,干旱几乎对河南省所有地市的玉米生产都具有显著的负面影响,方程在 0.01 的显著性水平上通过了联合显著性检验,即变系数模型中的解释变量对玉米产量的变化有较大的解释力。不过干旱虚拟变量的系数大小在不同地市间存在较大差异(表 4)。

表 4 变系数面板模型估计结果

地市	Z 系数	标准误	PRE 系数	标准误	TEM 系数	标准误
安阳	-0.025 7**	0.012 8	-0.000 5**	0.000 2	-0.009 7	0.013 5
鹤壁	-0.120 0***	0.037 4	-0.000 7	0.000 5	0.046 8*	0.027 4
焦作	-0.078 0**	0.032 5	-0.001 2**	0.000 5	0.058 7**	0.022 9
开封	-0.112 0***	0.033 3	-0.003 1***	0.000 5	0.070 8*	0.036 8
漯河	-0.070 3**	0.032 8	-0.001 8***	0.000 3	0.029 0	0.029 4
洛阳	-0.180 0***	0.029 1	0.000 6	0.000 4	-0.018 5	0.035 8
南阳	-0.147 0***	0.044 7	0	0.000 6	-0.065 7*	0.035 8
平顶山	-0.206 0***	0.030 8	-0.001 2***	0.000 4	0.046 9	0.031 6
濮阳	-0.030 6**	0.020 9	-0.000 9***	0.000 2	0.053 9**	0.025 4
商丘	-0.191 0***	0.029 0	-0.002 7***	0.000 5	0.013 0	0.041 6
三门峡	-0.463 0***	0.052 8	-0.002 1**	0.000 8	-0.025 1	0.050 9
新乡	-0.036 5**	0.017 2	-0.000 7***	0.000 2	0.026 7*	0.015 5
信阳	0.033 9	0.081 1	0.000 6	0.000 8	0.031 7	0.076 0
许昌	-0.007 8	0.017 0	0.000 3	0.000 2	0.007 0	0.015 3
郑州	0.055 1	0.022 0	0.002 0***	0.000 4	0.030 3	0.023 7
周口	-0.013 1	0.024 9	-0.001 6***	0.000 4	-0.025 7	0.048 5
驻马店	-0.031 7	0.070 0	-0.000 8	0.000 6	-0.074 6	0.568 0

具体来看,玉米生产受干旱负面影响最大的地区主要集中在河南的西南部地区,大致包括三门峡、洛阳、平顶山以及南阳 4 个市,其中三门峡、洛阳和平顶山一般认为属于豫西地区,豫西地区玉米生长期中干旱频发,平均每 2~3 年就会发生 1 次干旱,地貌类型又以山地丘陵为主,一方面会加大灌溉难度,另一方面会影响土壤对水的保持能力,加快水分流失速度,因此易引发干旱灾害。南阳市地理位置上属于豫南西部地区,为雨养农业区,南阳市处于气候过渡带,降水较为充沛但分布不均,年际间波动剧烈,阶段性的干旱灾害时有发生^[25],且干旱强度一般较高,中度以上干旱发生频率较高(图 2-b),影响了玉米生产的稳定。从影响系数上看,南阳市的干旱影响系数(Z 系数)为 -0.15,洛阳和平顶山的影响系数在 -0.20 左右,而三门峡的干旱影响系数高达 -0.46,四者均通过了 0.01 的显著性水平检验。玉米生产受干旱影响较小的区域主要集中河南中部和南部地区,其中信阳和郑州的干旱影响系数为正,但未通过显著性检验。信阳市位于河南省最南部,淮河上游,水田如网,农作物以水稻、小麦以及油菜为主,玉米常年播种面积仅为 3 万 hm²,占农作物播种面积的比例不足 2.5%,因此玉米并不是信阳市主要的农作物,干旱对其生产影响较小。郑州市为河南省省会,是中原经济区核心城市,经济发达,农业现代化水平高,灌溉条件优越,因此该区域应对干旱灾害的适应能力也较强,如果发生干旱,农户能及时调整灌溉方式,加大抗灾投入,减缓甚至避免干旱对玉米生产的影响,在干旱年仍有可能保持增产效应。另外,降水和

温度的变系数估计结果与总体估计的结果类似,降水的系数以负值为主,大多数地市通过了显著性检验,河南省降水在空间上分布不均,在时间上同样变化很大,降水的波动性特征是限制各地区玉米稳定生产的因素之一。而温度对于玉米生产的线性影响不明显,大部分地市未通过显著性检验。

结合图 2 可知,干旱对玉米产量影响的区域差异,与干旱发生频率、干旱强度均有关,以干旱影响程度最大的河南西南部为例,豫西 3 个市干旱发生频率整体较高,大部分地区干旱发生频率在 0.35 左右,南阳市干旱整体发生频率就全省而言并不算高,但多发生中度干旱和极端干旱,因此干旱强度相对较强。但是,笔者发现河南南部的驻马店和信阳等地,干旱发生频率整体偏高,但干旱对玉米生产的影响程度有限,这一方面与当地遭受的干旱强度有关,另一方面很可能与当地的农业种植结构、灌溉条件以及经济水平等有关。因此,干旱发生频率和干旱强度是导致干旱对玉米产量不良影响程度的重要原因,但并不是唯一的原因。

4 结论与政策含义

本研究基于标准化降水蒸散指数(SPEI),利用扩展的 C-D 生产函数模型,建立变截距和变系数模型研究干旱对河南省玉米产量的影响。得出以下主要结论:(1)近 45 年来,河南省玉米生长期中干旱频繁发生,且干旱程度有增强的趋势。玉米生长期平均 SPEI 指数以 0.031/10 年的速度下降,若只计算 1986 年到 2015 年的近 30 年的 SPEI 指数,这种

下降速度达0.127/10年。生长期干旱发生频率为0.322 2,平均每3年发生1次干旱;(2)变截距模型的估计结果表明,干旱对于河南省玉米产量有显著的负面影响,相比于正常年份,干旱年份河南省玉米总产量平均将减产6.75%,其次,降水对河南省玉米产量有负向影响,且在0.01水平上显著,而温度对玉米产量的线性影响不明显,另外,播种面积、化肥投入、机械投入以及劳动投入等均显著促进产量的提高;(3)变系数模型的估计结果表明,不同地市若发生干旱对玉米产量的影响存在较大差异,受干旱负面影响最大的地区主要集中在河南的西南部地区,受干旱影响最小的区域集中在河南中部和南部地区。根据上述干旱对河南省玉米生产影响的研究,提出以下3点政策建议:(1)从预防角度考虑,应该在玉米种植的关键时期,加强开展农业气象服务工作,积极开展大田调查,实时了解生产情况,针对性开展专题气象服务,及时制作农业气象预报服务信息,通过党政网、手机短信等渠道滚动发布;其次,必要时可进行人工干预干旱从而减轻干旱危害。(2)从农户应对干旱的适应能力角度考虑,除了发挥生产要素投入在提高玉米产量上的重要作用之外,加强农业基础设施建设也是提高农户对气候变化适应能力的重要途径,尤其是加大农田水利设施的投资。为实现持续增加农业基础设施的补贴和投入,可建设专项资金,也可通过社会或民间投资等方式并进;对于农田水利设施要多措并举着力解决重建轻管问题,既要严抓建设更要注重维护,更新陈旧的灌溉设施,从根本上增强农业抗御气象灾害的能力。(3)从干旱影响的地区差异考虑,相关部门应根据各地区玉米生产受干旱的影响程度,结合各地的区域特征,给予不同的补贴和投入,同时针对性采取措施,降低干旱的负面影响。比如,在玉米生产系统受干旱影响最为明显的豫西地区,考虑到因地形导致的供水不足问题,可以实施高效水肥利用技术,科学分析玉米需水关键期,合理补水。

参考文献:

- [1] Mishra A K, Singh V P. A review of drought concepts[J]. *Journal of Hydrology*, 2010, 391(1/2): 202–216.
- [2] 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[J]. *自然灾害学报*, 2007, 16(5): 37–43.
- [3] 李治国. 近40年河南省农业气象灾害对粮食生产的影响研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(5): 126–130.
- [4] 李树岩, 刘荣花, 师丽魁, 等. 基于CI指数的河南省近40年干旱特征分析[J]. *干旱气象*, 2009, 27(2): 97–102.
- [5] 薛昌颖, 刘荣花, 马志红. 黄淮海地区夏玉米干旱等级划分[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(16): 147–156.
- [6] Vicente – Serrano S M, Beguería S, López – Moreno J I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index[J]. *Journal of Climate*, 2010, 23(7): 1696–1718.
- [7] Vicente – Serrano S M, Beguería S, Lorenzo – Lacruz J, et al. Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications[J]. *Earth Interactions*, 2012, 16(10): 1–27.
- [8] 米娜, 张玉书, 蔡福, 等. 土壤干旱胁迫对作物影响的模拟研究进展[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(9): 2519–2526.
- [9] 董朝阳, 刘志娟, 杨晓光. 北方地区不同等级干旱对春玉米产量影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(11): 157–164.
- [10] 张建平, 刘宗元, 王靖, 等. 西南地区综合干旱监测模型构建与验证[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(5): 102–107.
- [11] 陈玉萍, 陈传波, 丁士军. 南方干旱及其对水稻生产的影响——以湖北、广西和浙江三省为例[J]. *农业经济问题*, 2009, 31(11): 51–57.
- [12] 许朗, 欧真真. 淮河流域农业干旱对粮食产量的影响分析[J]. *水利经济*, 2011, 29(5): 56–59, 74.
- [13] 何永坤, 唐余学, 张建平. 中国西南地区干旱对玉米产量影响评估方法[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(23): 185–191.
- [14] 杨晓晨, 明博, 陶洪斌, 等. 中国东北春玉米区干旱时空分布特征及其对产量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(6): 758–767.
- [15] 丑洁明, 董文杰, 叶笃正. 一个经济 – 气候新模型的构建[J]. *科学通报*, 2006, 51(14): 1735–1736.
- [16] 成林, 马志红, 李树岩. 气候变化对河南省夏玉米单产的影响分析[J]. *玉米科学*, 2016, 24(1): 88–95.
- [17] 刘珂, 姜大膀. 基于两种潜在蒸散发算法的 SPEI 对中国干湿变化的分析[J]. *大气科学*, 2015, 39(1): 23–36.
- [18] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2007.
- [19] 崔静, 王秀清, 辛贤, 等. 生长期气候变化对中国主要粮食作物单产的影响[J]. *中国农村经济*, 2011(9): 13–22.
- [20] 吴丽丽, 李谷成, 尹朝静. 生长期气候变化对我国油菜单产的影响研究——基于1985—2011年中国省域面板数据的实证分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2015(12): 198–203.
- [21] 周曙东, 朱红根. 气候变化对中国南方水稻产量的经济影响及其适应策略[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(10): 152–157.
- [22] 付莲莲, 朱红根, 周曙东. 江西省气候变化的特征及其对水稻产量的贡献——基于“气候 – 经济”模型[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(4): 590–598.
- [23] 史佳良, 王秀茹, 李淑芳, 等. 近50年来河南省气温和降水时空变化特征分析[J]. *水土保持研究*, 2017(3): 151–156.
- [24] 陈强. 高级计量经济学及Stata应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [25] 刘小雪, 申双和, 刘荣花. 河南夏玉米产量灾损的风险区划[J]. *中国农业气象*, 2013, 34(5): 582–587.