

引用格式:杨宇,王金霞,黄季焜.农户灌溉适应行为及对单产的影响:华北平原应对严重干旱事件的实证研究[J].资源科学, 2016, 38(5): 900-908. [Yang Y, Wang J X, Huang J K. The adaptive irrigation behavior of farmers and impacts on yield during extreme drought events in the North China Plain[J]. *Resources Science*, 2016, 38(5): 900-908]. DOI: 10.18402/resci.2016.05.9

农户灌溉适应行为及对单产的影响:华北平原 应对严重干旱事件的实证研究

杨宇^{1,3},王金霞²,黄季焜²

(1. 成都理工大学商学院, 成都 610059; 2. 北京大学现代农学院, 北京 100871;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所农业政策研究中心, 北京 100101)

摘要:华北平原作为中国的粮食主产区和严重干旱事件发生频繁的区域,如何提高该区域农户灌溉适应能力对保障中国的粮食安全具有十分重要的意义。基于华北5省889个农户的1663小麦地块的实地调研数据,运用两阶段的思路构建计量经济模型,定量分析了农户实施灌溉适应行为的影响因素和评估其成效。研究结果表明:①相比于相对正常年,在受灾年中严重干旱事件的发生显著地促使农户提高了约17.4%的灌溉频次,同样也增加了约6.6%的小麦单产损失;②灌溉适应行为的确在抵御和减缓严重干旱事件对小麦单产产生的负面影响上起着显著的积极作用,具体而言,每增加50%的灌溉次数(相当于增加0.9次),可以挽回14.2%的小麦单产损失;③良好的农田水利设施条件对农户灌溉行为产生显著的正向效果。例如,相比于农田水利设施较差地区,一般和较好地区的农户灌溉强度分别显著地提高了约13.2%和18.0%;④农户种植规模、户主年龄以及教育水平等农户家庭特征也显著地影响农户的灌溉行为。

关键词:严重干旱事件;灌溉适应行为;灌溉成效;华北平原

DOI: 10.18402/resci.2016.05.9

1 引言

在气候变化背景下,缓解极端气候事件的负面影响已引起国内外决策者的高度关注。相关证据表明,气候变化将会加剧极端气候事件(如旱灾和洪涝等)发生的频率和强度^[1]。基于此,国际社会呼吁建立共同应对和适应气候变化的计划框架^[2,3]。中国各级政府也发布一系列适应气候变化政策^[4]。例如,为了提高应对极端气候事件的适应能力,国务院于2009年颁布了《中华人民共和国防汛条例》、《中华人民共和国抗旱条例》,并于2011年又出台了《抗旱规划》。

农户是极端气候事件直接影响的利益相关者和采取适应性措施的实践者,其适应性行为的研究

已经引起了国内外学者的重视。近些年,一些学者已经对影响农户适应措施采用的因素进行了实证研究^[5-7];对于适应措施的成效评估,目前主要是自然科学家运用作物模型来进行模拟研究^[8,9],而基于大规模实地调研数据来开展实证研究的文献较少^[10-12]。另外,如果能将农户适应行为采用的影响因素分析与适应行为的成效评估结合在一起研究会更好地分析适应行为,然而把两方面研究放在一起分析的文献很少^[10,12,13]。两方面结合起来研究能更好地分析适应行为的原因是,由于适应行为具有较强的内生性,如果适应行为的成效评估不考虑适应行为的内生问题,得出的评估结论就会有一定的偏差和提出误导性的政策建议^[12,14]。

收稿日期:2015-10-09;修订日期:2016-01-07

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2012CB955700);国家自然科学基金重大国际合作项目(71161140351);加拿大国际发展研究中心(IDRC)项目(107093-001)。

作者简介:杨宇,男,四川金堂人,博士,讲师,主要研究方向为资源环境经济学。E-mail: yangy.11b@igsrr.ac.cn

通讯作者:王金霞, E-mail: jxwang.cc@pku.edu.cn

2016年5月

华北平原作为中国的粮食主产区和严重干旱事件发生频繁的区域,如何提高该区域农户的适应能力,对保障中国的粮食安全具有十分重要的意义。在中国 13 个粮食主产区中,华北平原就占了 5 个,包括山东、河南、河北、江苏以及安徽。2011 年该区域小麦、玉米以及水稻的总产量分别占到全国总产量约 75%、32% 和 19%^[15]。尽管在粮食生产方面具有举足轻重的地位,该区域却面临着水资源十分短缺和干旱事件发生频繁的挑战。华北平原的耕地面积占全国的 31%,而水资源仅仅占全国的 6%^[16]。华北平原的旱灾发生也极为频繁和影响程度较严重,例如,在 1980–2011 年这 32 年间,旱灾年均受灾面积达到 740 万 hm^2 ,为年均粮食播种面积的约 20%^[16]。

作为水资源短缺和旱灾发生极为频繁和严重的区域,如何充分发挥农户灌溉行为在农业生产中的作用就显得尤为重要。研究表明,提高灌溉强度对于增加作物单产和降低作物生产风险是至关重要的^[17-19]。鉴于此,为了提高华北平原农业部门应对极端干旱事件的灌溉适应能力和减少旱灾的负面影响,急需解答几方面问题:农户在抵御旱灾风险中如何改变灌溉行为?影响农户灌溉适应行为的主要因素有哪些?农户灌溉适应性行为的改变能挽回多大程度上的单产损失?由此,本文将基于两阶段的研究思路来构建计量经济模型系统,对农户采用灌溉适应措施的影响因素和适应措施对单产的影响开展实证研究,为华北平原地区进一步加强和完善应对干旱事件的适应性政策提供重要的实证依据。另外,在华北平原,小麦相比于其他粮棉作物(夏玉米和棉花)对气候变化的适应能力较差^[20]及小麦总产量占全国总产量的绝对比重^[15]。由此,本研究选择了小麦种植户作为研究对象。

2 数据来源及说明

本研究所用的数据来源于2012年末至2013年初中国科学院农业政策研究中心对华北平原的河北、河南、山东、江苏及安徽5省进行的实地调研问卷。采取了分层随机抽样的方法来选择样本。样本县的抽取原则为:在2010-2012年这3年中该县

有一年是经历过严重的旱灾或者洪涝¹⁾,即定义为发生过严重气候事件(受灾年);也有一年未受灾或者受灾程度较轻(相对正常年)。从每个省所筛选的县随机抽取3个样本县。每个县随机分别抽取农田水利设施较好、一般及较差的3个样本乡镇。每个乡镇随机抽取3个村,每个村随机抽取10个农户,每个农户中选择2块种植粮食作物的地块。总调研样本覆盖15个县、45个乡镇、1350个农户和2700地块(调研区域见图1)。

鉴于华北平原作为水资源短缺和严重旱灾发生极为频繁和严重的区域,本文主要研究在发生严重旱灾条件下,农户采用适应措施的影响因素和成效。由此,将删掉涝灾县以及这三年未种植小麦的农户样本。最终有效的分析样本是覆盖了10个县,30个乡镇、90个村,889个农户和1663地块。另外,针对每一块地,调研分别收集了受灾年(发生过严重干旱事件)和相对正常年(未发生严重干旱事件)两年的信息。

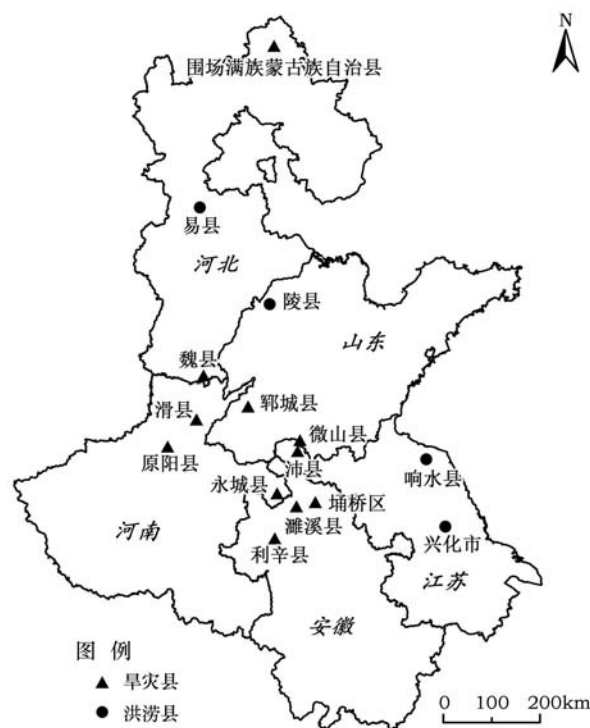


图1 华北平原5省旱灾洪涝抽样分布

Figure 1 The sampling distribution on drought and flood cities of five provinces in the North China Plain

1) 灾害等级主要是与省水利厅和农业厅等相关部门的座谈及历史受灾资料来确定的。具体而言,如果减产超过 30%,定义为严重受灾事件(受灾级别为高),减产 10~30%定义为中等受灾事件(受灾级别为中),减产小于 10%定义为轻度受灾事件(受灾级别为低)。

调查采用面对面的问卷方式。由于问卷涉及的内容丰富,文章选取了与研究有关的变量进行阐述。这些变量包括小麦单产、灌溉频次、严重干旱事件、乡镇水利设施条件、投入变量、家庭特征和地块特征等7类变量。变量的具体统计信息见表1。

3 描述性统计分析

3.1 影响农户灌溉适应行为决策的主要因素

由于华北平原是干旱事件发生十分频繁的生态脆弱区,无论受灾年还是相对正常年,农户都会采取灌溉行为来稳产及增产。样本资料显示,样本地块中有灌溉和无灌溉的地块分别占79%和21%,且灌溉样本地块中的灌溉强度也有所差异。那么,灌溉强度的差异与严重干旱事件的发生是否有关?

调研数据发现,相对正常年有45%的地块受到了旱灾的影响;受灾年有74%的地块受到旱灾的影

响,较之相对正常年增长了约30%。另外数据还显示,在相对正常年农户平均灌溉频次达到了1.5次;而在受灾年农户平均灌溉频次达到了1.8次,相比于相对正常年灌溉强度提高了约19%。这表明气候干旱是限制华北平原小麦生长发育和降低产量的一个重要因素,在实际生产中要保证小麦稳产和增产,需通过增加灌溉强度来保证作物需水,进而应对和适应干旱^[18]。

增加灌溉强度需要一定的农田水利设施条件为基础。在华北平原,主要依赖于地下水源的机井和地表水源的水渠等农田水利设施来实现灌溉。调研数据显示,农田水利设施条件较好的乡镇地下水机井密度和水渠平均长度分别为0.22眼/hm²和7.7m/hm²,一般的乡镇分别为0.18眼/hm²和14m/hm²,较差的乡镇分别为0.14眼/hm²和7.3m/hm²。这表明华北平原农田水利设施主要是机井。另外,调研数据还表明良好水利设施条件对农户灌溉行为有显著的激励效果。例如,相对于水利设施条件较差的乡镇的农户年平均灌溉频次达1.5次,一般和较好乡镇的农户年平均灌溉频次达1.7次和1.8次,分别增加13%和20%。其主要缘由是良好的农田水利设施蓄水能力更强和更能保证灌溉供水的可靠性(尤其在干旱季节和地区,效果更显著)^[21, 22]。这样有助于农户实施灌溉行为,进而缓解和抵御严重干旱事件的负面影响。

3.2 农户灌溉适应行为的成效分析

样本资料显示,灌溉适应性行为强度与小麦单产呈现正向关系。无论在相对正常年还是在严重干旱年(受灾年),随着灌溉强度的增加,小麦单产随之增加。比如,在相对正常年中,实施中强度(1~2次)和高强度(3~6次)灌溉行为,相对于未灌溉,使单产分别增加了66kg/hm²和121kg/hm²,提高了约1%和2%(见图2)。对于严重干旱年份效果更明显,即中强度和高强度灌溉行为较之未灌溉分别增加了204kg/hm²和308kg/hm²的单产,提高了约3%和5%(见图2)。因此,增加灌溉行为强度有利于增加作物单产和降低单产损失的风险,尤其在发生严重干旱情况下效果更明显。

表1 变量的统计信息

Table 1 Descriptive statistics of variables

变量	均值	标准差
小麦单产/(kg/hm ²)	6 401.20	1 096
灌溉频次	1.71	1.30
严重干旱事件		
是否发生严重干旱(1=是;0=否)	0.50	0.50
水利设施条件		
水利设施条件较差(1=是;0=否)	0.32	0.47
水利设施条件一般(1=是;0=否)	0.33	0.47
水利设施条件较好(1=是;0=否)	0.34	0.47
投入变量		
化肥纯量投入/(kg/hm ²)	586.90	244.5
劳动力投入/(日/hm ²)	32.44	23.72
机械投入/(元/hm ²)	1 592.70	546.6
其他投入(种子和农药)/(元/hm ²)	1 301.00	520.2
家庭特征变量		
农户种植规模/(hm ² /户)	0.55	0.63
户主年龄/岁	54	10
户主受教育年限/年	7.00	3.16
亲戚数量/人	12.84	5.37
地块特征变量		
是否壤土(1=是;0=否)	0.37	0.48
是否黏土(1=是;0=否)	0.38	0.49
是否是盐碱地(1=是;0=否)	0.11	0.31
是否平地(1=是;0=否)	0.98	0.12

数据来源:2012年底中国科学院农业政策研究中心调研的问卷数据。

2016年5月

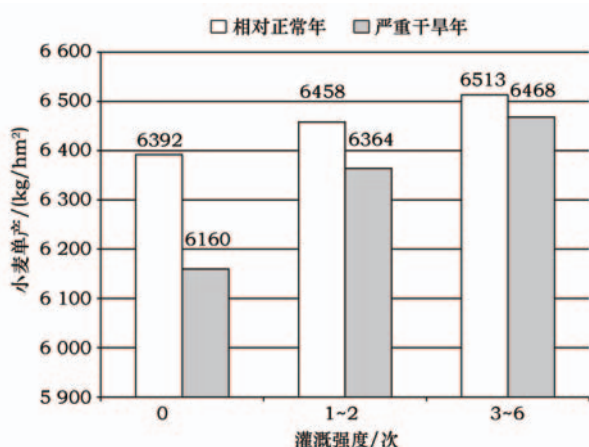


图2 农户灌溉适应行为的成效

Figure 2 The effect of farmers' adaptive irrigation measures

4 农户灌溉适应性行为及灌溉成效的实证分析

4.1 农户灌溉适应行为及成效的理论模型框架

理论模型框架是参考了国外两位学者的农户行为模型^[23,24]。该模型主要是分析在信息不对称和不确定条件下农户如何做出行为决策及行为的成效。首先,假设农户是风险厌恶者和异质的。其次,生产函数集 $f(\cdot)$ 主要由传统的生产要素 (x)、灌溉 (x_w) 以及农户的生产风险 (ε) 所构成,是连续且二阶可导的。另外, p 、 r 和 r_w 分别表示小麦价格、传统生产要素及灌溉的价格集。本文的生产风险 (ε) 仅仅是由于极端气候事件对作物单产的冲击而产生的,与产出和要素价格(这两者要素是非随机的)无关。 $G(\cdot)$ 表示生产风险的分布,且对于农户的行为而言是外生的。需要注意的是,由于假设农户存在异质性,那么在一定程度上,农户的灌溉行为可能依赖于诸如农田管理信息、农户家庭特征以及其他的社会经济环境所构成信息集合 (α)。

综上所述,农户的随机生产函数可以表示为: $y=f(\varepsilon, x_w(\alpha), x)$ 。另外,考虑构建生产函数之前,需理解农户如何做出不同的灌溉适应行为。由此,基于风险规避者的农户在是否发生极端气候事件条件下来做出生产决策的考虑,建立了期望效用函数(冯·纽曼——摩根斯坦效用函数)来考察农户灌溉适应性行为:

$$\max_{x, x_w} E[U(\bar{\omega})] = \max_{x, x_w} \int \{U[p \cdot f(\varepsilon, x_w(\alpha), x) - r_w \cdot x_w - r \cdot x]\} dG(\varepsilon) \quad (1)$$

式中可假设 $x_w^0(\alpha)$, $x_w^1(\alpha)$, $x_w^2(\alpha)$, \dots , $x_w^n(\alpha)$ 分别表示不同灌溉强度(次数)所投入灌溉水源。出于简化模型的考虑,假设每次所灌溉的水源是均等的。

$E[U(\bar{\omega}^0)]$, $E[U(\bar{\omega}^1)]$, $E[U(\bar{\omega}^2)]$, \dots , $E[U(\bar{\omega}^n)]$ 表示对应的期望效用。 x^0 , x^1 , x^2 , \dots , x^n 则分别指对应的传统要素投入,且假定这些要素的投入在对应灌溉投入基础上也是最优的。农户具体如何做出灌溉行为的过程如下:

假定:

$E[U(\bar{\omega}^1)] > E[U(\bar{\omega}^0)]$, 农户就会选择灌溉适应行为为1次。具体而言,如公式(2):

$$\max \left\{ \int \{U[p \cdot f(\varepsilon, x_w^1(\alpha), x^1) - r_w \cdot x_w^1 - r \cdot x^1]\} dG(\varepsilon) > \int \{U[p \cdot f(\varepsilon, x_w^0(\alpha), x^0) - r_w \cdot x_w^0 - r \cdot x^0]\} dG(\varepsilon) \right\} \quad (2)$$

假定: $E[U(\bar{\omega}^2)] > E[U(\bar{\omega}^1)]$, 农户就会选择灌溉适应行为为2次。

以此类推(当然可以反推),每个农户来选择最优的灌溉适应行为。从以上推理中,可以清楚知道,灌溉投入的单位成本可能会影响农户的期望效用,进而左右农户的灌溉适应性行为。例如,如果政府能给社区或农户农业生产配套良好的农田水利设施,实现农田水利设施到农田的“最后1km”,这样相应地减少农户灌溉成本,进而激励农户增加灌溉适应性行为来应对极端气候事件。另外,模型也强调了诸如农田管理信息、农户家庭特征以及其他的社会经济环境所构成信息集合 (α) 的影响。

如果选择最优灌溉适应行为 $x_w^*(\alpha)$ 和对应最优传统要素 x^* , 那么相应的随机生产函数如下:

$$h=f(\varepsilon, x_w^*(\alpha), x^*) \quad (3)$$

4.2 计量经济模型设定

因为简单的描述性统计分析并不能控制其他相关因素(例如农户家庭特征、社会经济环境条件、区域资源禀赋)对农户灌溉适应行为及对小麦单产的影响,为此,基于上述理论框架,需建立严谨的计量经济学模型系统来分析。另外,由于农户的灌溉适应行为与无法观测的因素(农户的能力禀赋)存在相关关系,可能会产生内生问题,所以在评估行为的成效过程中可能存在内生性,即可能导致评估的系数出现偏误。为克服内生性问题,将运用两阶

段的思路来设定计量经济模型系统。这既能分析农户灌溉适应性行为的影响因素又能分析其对小麦单产的影响。

首先,在第一阶段中,构建了农户灌溉适应行为的计量经济模型。具体模型如下:

$$M_{ijk} = \beta_0 + \beta_d D_k + \beta_{IV} IV_k + \beta_h H_{jk} + \beta_l L_{ijk} + \beta_r R_k + \varepsilon_{ijk} \quad (4)$$

在模型(4)中,因变量 M_{ijk} 表示 k 村 j 农户 i 地块的灌溉频次,即主要目的是分析严重干旱事件的发生对农户采用灌溉适应行为的影响。另外,严重干旱事件发生自变量 D_k (1=发生严重旱灾,0=未发生严重旱灾)。工具变量 IV_k , 代表一组乡镇水利设施条件状况的变量,分为三类:农田水利设施条件分为较差、一般和较好。其中较差的水利设施条件作为对照组,其余二类均为处理组,即分别是否是一般的水利设施条件(1=是;0=否)、是否是较好的水利设施条件(1=是;0=否)。之所以选择农田水利设施作为工具变量在于:就工具变量本身而言,其对农户灌溉适应行为有激励作用(描述分析已论证),进而间接地影响单产,但农田水利设施条件的优劣与农户自身能力差异是无关的;对政策评估效果来说,最近10年来,政府不断加大对农田水利设施进行投入,试分析这些水利设施的投入对农户灌溉行为有显著的促进作用,进而能抵御旱灾的负面影响。农户、地块以及区域特征作为控制变量。 H_{jk} 为 k 村 j 农户的一组家庭特征变量,包括农户种植规模($\text{hm}^2/\text{户}$)、户主年龄(岁)、户主受教育水平(年)以及三代内的亲戚数量(人); L_{ijk} 为一组地块特征变量,其包括土壤类型(沙土、壤土及黏土,其中以沙土为对照组,及以壤土(1=是;0=否)和黏土(1=是;0=否)作为处理组)、土壤性质(1=盐碱地;0=否)、地块地形(1=平原;0=山地或丘陵);虚拟变量 R_k 用来控制那些模型中没有包括的固定不变的区域特征,例如不同地区之间的自然资源禀赋差异、经济发展水平差异等; β 簇是待估参数; ε_{ijk} 是误差项。

在第二阶段中,构建了农户灌溉成效的计量经济模型。具体模型如下:

$$Q_{ijk} = \alpha_0 + \alpha_m \hat{M}_{ijk} + \alpha_d D_k + \alpha_f F_{ijk} + \alpha_h H_{jk} + \alpha_l L_{ijk} + \alpha_r R_k + \mu_{ijk} \quad (5)$$

在模型(5)中,因变量 Q_{ijk} 为 k 村 j 农户 i 地块的单产(对数); \hat{M}_{ijk} 为农户灌溉适应行为模型(模型4)对灌溉频次进行预测的值; F_{ijk} 为 k 村 j 农户 i 地块的一组传统要素投入变量(取对数):化肥纯量(kg/hm^2)、劳动力投入($\text{日}/\text{hm}^2$)、机械投入($\text{元}/\text{hm}^2$)、其他投入($\text{元}/\text{hm}^2$)。 D_k 、 H_{jk} 、 L_{ijk} 及 R_k 的设定与模型(4)的设定相同; α 簇为待估参数; μ_{ijk} 为模型的误差项。

4.3 计量经济模型结果与分析

对于农户灌溉适应行为模型(4)的设定,鉴于灌溉频次是0、1、2、3...等数值的非负的计数因变量,将考虑限制因变量模型,即泊松回归模型^[14]。泊松回归模型的参数估计采用准极大似然估计法(QMLE)。农户灌溉成效模型(5)的参数估计采用最小二乘法(OLS)。总体来看,无论是灌溉适应行为模型还是成效模型,其运行结果都良好。灌溉适应行为模型的调整判定系数(Pseudo (\bar{R}^2))和灌溉成效模型的调整判定系数(\bar{R}^2)分别为0.111和0.114(表2);尽管两个模型的判定系数相对于时间序列得到的判定系数较低,但对于用农户和地块的横截面资料所做的分析是足够了。另外,灌溉适应行为模型的 $LR\chi^2$ 值是1211($P=0.000$)和灌溉成效模型的F检验值是11.18($P=0.000$)(表2),表明两个模型运行结果总体而言是通过了显著性的统计检验。需要强调的是,在弱工具变量检验中(由于篇幅限制,未以表格的形式来整理),F检验值为22.74($P=0.000$),拒绝了工具变量与内生变量相关性较低的原假设,表明选择的工具变量既符合经济直觉的预判也通过统计意义的检验。重要的是,关键性变量和部分控制变量的系数也通过统计的显著性检验且符合预期。

(1)严重干旱事件显著地刺激了农户增加灌溉行为强度和对小麦单产产生了显著的负面影响。例如,在保持其他因素不变的前提下,相比于相对正常年(未发生严重干旱事件),在受灾年中严重干旱事件的发生显著地使灌溉频次提高了约17.4%的强度(表2)。尽管面对严重干旱事件时,农户提高了灌溉强度去应对及农户平均灌溉达到了1.8次。然而,有关研究表明在面临严重干旱时,如果有较

2016年5月

好的灌溉条件,华北地区的小麦应被灌溉4次水之后,小麦全生育期内水分的亏缺程度才会很低^[18]。另外,相比于相对正常年,在控制其他变量不变的条件下,受灾年所发生的严重干旱事件增加了6.6%的单产损失(表2)。综上所述,在当前条件下,严重干旱事件对华北平原小麦产量造成了负面影响的事实是毋庸置疑的。

(2)灌溉适应行为在抵御和减缓严重干旱事件对小麦单产的负面影响上起着显著的积极作用。模型结果表明,在控制其他因素不变,平均而言,如果灌溉频次提高50%(由于平均灌溉1.7次,如果增加50%的灌溉强度相当于增加了0.9次灌溉),可以挽回14.2%($0.283 \times 50\%$)的小麦单产损失(表2)。主要因为增加灌溉强度有利于补给作物需水和增强底墒的抗旱能力,进而有利于作物生长和生产。基于此,拓展研究结论(假设研究结论是可靠的),具体来说,如果农户每增加50%的灌溉频次,那么整个华北平原在发生较严重的干旱的年份则可能挽回约143万t小麦单产损失(估计系数折算约 $14.2\% \times$ 调查干旱年份的平均产量 $6330\text{kg}/\text{hm}^2 \times$ 当年华北平原整个小麦种植面积约1600万 hm^2)和约286亿元的经济损失(按2元/kg计算)。可见,增加农户的灌溉行为强度能大大降低小麦产量及生产对于干旱气候响应的敏感性。

(3)与描述分析一致,良好的农田水利基础设施有助于农户实施灌溉适应性行为。相比于农田水利设施较差乡镇,在其他因素保持不变的情况下,一般和较好乡镇的农户灌溉强度分别显著地增加了13.3%和18.0%的灌溉频次(表2)。事实上,水利设施条件是一个乡镇或社区的“物质资本”,其优劣体现应对极端气候事件适应能力水平高低,是农户采取适应措施的重要因素^[25]。从样本村调研发现34%的水渠长度还是土渠和10%的机井是废井,在灌溉季节不能保证农业灌溉供水,时常延误农户灌溉。这表明农田水利设施的薄弱和滞后依然是影响农业生产稳定和粮食安全的硬伤和短板^[26]。这揭示要持续加大对华北平原农田水利设施投入和维护,以提高灌溉供水可靠性来激励农户采取农田灌溉适应行为,进而减缓旱灾对农业生产的负面影响。

表2 灌溉适应性行为的影响因素及对单产影响的回归结果

Table 2 Regression results on the determinants of irrigation behavior and its impacts on yield

变量	灌溉适应行为模型(4)	灌溉成效模型(5)
	灌溉频次	小麦单产(对数)
灌溉频次变量		0.283*** (6.53)
县级严重干旱事件发生变量		
是否发生严重干旱事件 (1=是;0=否)	0.174*** (6.54)	-0.066*** (6.68)
工具变量		
乡水利设施条件一般 (1=是;0=否)	0.133*** (3.90)	
乡水利设施条件较好 (1=是;0=否)	0.180*** (5.47)	
投入变量(对数)		
化肥纯量投入/(kg/hm^2)		0.037*** (4.52)
劳动力投入/(日/ hm^2)		0.024*** (4.02)
机械投入/(元/ hm^2)		0.023*** (3.80)
其他投入/(元/ hm^2)		0.009 (0.91)
家庭特征变量		
农户种植规模/(hm^2 /户)	0.148*** (7.75)	-0.034*** (4.14)
户主年龄/岁	-0.007*** (4.70)	0.002 (0.38)
户主受教育年限/年	-0.010** (2.23)	0.008 (0.76)
亲戚数量/人	0.001 (0.38)	-0.000 (0.31)
地块特征变量		
是否壤土(1=是;0=否)	0.077** (2.15)	-0.025** (2.49)
是否黏土(1=是;0=否)	-0.012 (0.34)	-0.003 (0.32)
是否盐碱地(1=是;0=否)	0.093** (2.28)	-0.073*** (6.26)
是否平原(1=是;0=否)	0.307** (2.44)	-0.011 (0.37)
省虚拟变量和常数项	Not report	Not report
Pseudo R^2 / 调整 R^2	0.111	0.114
F 检验值(P值)	—	11.18 ($P=0.000$)
LR χ^2 值(P值)	1211 ($P=0.000$)	—

注:***, **, *分别表示在1%, 5%以及10%显著性水平检验;括弧表示z或t的绝对值,样本是3326。

(4)传统要素投入变量的估计效果显著,且符合经济直觉和预期。在保持其他因素不变,化肥纯量、劳动力和机械投入每增加1%将分别导致小麦单产约0.037%、0.024%和0.023%的增长(表2)。综上所述,表明除了灌溉适应性措施之外,提高传统要素投入的强度也是应对干旱事件的一种适应措施^[6]。

(5)农户特征以及地块特征等部分控制变量也是影响农户实施灌溉适应性行为的重要因素。例如,在控制其他因素不变,种植规模越大的农户更愿意提高灌溉强度去应对旱灾,但是农户种植规模对单产产生消极的影响。农户户主的年龄与实施灌溉适应行为间是一种负向关系,这也符合华北农村的实际情况:户主年龄大的农户,尤其高龄(超过65岁)在农业生产中显得力不从心,只好粗放式地经营农业生产。另外,户主的教育文化水平对农户实施灌溉行为却产生负向的影响。按常理来说,文化水平高的农户户主(体现农户家庭的人力资本)更容易获得有关旱灾的预警信息和更能掌握农业生产技术,更有可能采取应对旱灾的决策。事实上,由于农业与非农业比较收益的差距,受教育水平高的农户更愿意花时间在非农业生产上,灌溉频次就相应减少(例如,调研发现相对于平均灌溉行为1.7次,高中文化水平的农户实施灌溉行为仅仅1.5次)。

5 结论与建议

本文旨在研究,在应对严重干旱事件情况下,影响农户灌溉适应行为的主要因素和评估灌溉适应行为以及严重干旱事件对小麦单产的影响,希望为政府制定和执行有关应对严重干旱事件的适应措施的政策提供可靠的实证依据。基于覆盖华北平原5省、10个县、30个乡镇、90个村、889个农户及1663小麦地块的实地调研问卷数据,依据两阶段研究思路构建计量经济模型,分析农户实施灌溉适应行为的影响因素和定量评估严重干旱事件及农户灌溉适应行为对小麦单产的影响。并得出以下结论和提出相应的政策建议:

(1)严重干旱事件显著地促使了农户增加灌溉适应行为强度,也对单产产生了显著的负面影响。例如,相比于相对正常年,严重干旱事件的发生显

著地促使农户提高了约17.4%的灌溉频次;同样,平均来说,严重干旱事件的发生将增加约6.6%的小麦单产损失。

(2)灌溉适应行为的确在抵御和减缓严重干旱事件对小麦生产的负面影响上起着显著的积极作用。平均而言,每提高50%的灌溉频次,可以挽回14.2%的小麦单产损失。

(3)良好的农田水利基础设施对农户实施灌溉适应性行为有显著的正向效果,但是水利设施的薄弱依然是影响农户灌溉行为的限制因素。例如,相比于农田水利设施较差地区,一般和较好地区的农户灌溉行为分别显著地增加了13.3%和18.0%的灌溉次数;但是从样本村调研发现一些土渠和废井等陈旧农田水利设施,在灌溉季节不能保证农业灌溉供水,时常延误农户灌溉。

(4)农户的家庭特征也是影响农户实施灌溉适应行为的重要因素。例如,农户种植规模,户主的年龄以及户主的教育水平对农户的灌溉行为产生显著的影响。

基于上述结论,提出相应的政策建议。具体政策建议如下:

(1)在农户灌溉适应措施的采用方面,政府应出台相应的政策去激励农户提高灌溉行为强度。样本资料表明,在应对严重干旱时,农户的灌溉强度仅仅有1.8次,与小麦生理需水(4次水)之间有一定差距,由此需继续提高华北平原农户灌溉适应行为强度。为了能有效地激励农户采用灌溉适应措施,政府应出台对农户灌溉适应行为进行物质、技术和资金支持方面的抗旱政策,减少农户抗旱资金压力和技术障碍,增加农户抗旱行为的经济效益,进而提高他们实施灌溉行为的积极性。

(2)政府应继续从农田水利设施方面改善农业生产条件,提高农户应对严重干旱事件的适应性能。调研显示,34%的水渠长度是土渠和10%的机井是废井,在灌溉季节不能保证农业灌溉供水,时常延误农户灌溉。这表明农田水利设施的薄弱和滞后依然是影响农业生产稳定的短板。由此,对华北平原地区,尤其农田水利设施条件差的地区,应继续投资和维修诸如水渠和机井等农田水利设施,保障农田灌溉供水的可靠性和及时性,实现农田水

2016年5月

利设施到农田的“最后1公里”目标,从而提高农户应对旱灾的适应能力。

(3)在制定提高农户灌溉适应行为强度的政策时,不要忽略农户家庭特征的影响。研究结论表明,农户种植规模、户主年龄及教育水平对农户灌溉适应行为产生不同程度和性质上的显著影响。因此,如果更好地挖掘农户实施灌溉适应行为的潜力,政府制定政策时要考虑农户家庭特征的影响。

参考文献(References)

- [1] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for Policymakers[A]. Food Security and Food Production Systems. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change[C]. London: Cambridge University Press, 2012.
- [2] Adger W N, Agrawala S, Mirza M M Q, et al. Assessment of Adaptation Practices, Options, Constraints and Capacity[A]. Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, et al. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[C]. London: Cambridge University Press, 2007.
- [3] World Bank, 2010. Economics of Adaptation to Climate Change: Synthesis Report. Available at <http://climatechange.worldbank.org/sites/default/files/documents/EACCSynthesisReport.pdf>
- [4] 彭斯震,何霄嘉,张九天,等. 中国适应气候变化政策现状、问题和建议[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(9): 1-7. [Peng S Z, He X, Zhang J T, et al. Current status, problem and recommendation on climate change adaptation policies in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(9): 1-7.]
- [5] Deressa T T, Hassan R M, Ringler C, et al. Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia[J]. *Global Environmental Change*, 2009, 19(2): 248-255.
- [6] Chen H, Wang J, Huang J. Policy support, social capital, and farmers' adaptation to drought in China[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 24: 193-202.
- [7] Wang J, Yang Y, Huang J, et al. Information provision, policy support, and farmers' adaptive responses against drought: An empirical study in the North China Plain[J]. *Ecological Modelling*, 2015, 318: 275-282.
- [8] Xiong W, Xu Y L, Lin E D. The simulation of yield variability of winter wheat and its corresponding adaptation options under climate change[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21: 380-385.
- [9] Tao F, Zhang Z. Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: Quantify the relative contributions of adaptation options[J]. *European Journal of Agronomy*, 2010, 33(2): 103-116.
- [10] Falco D S, Yesuf M. Does adaptation to climate change provide food security? A micro-perspective from Ethiopia[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2011, 93(3): 829-846.
- [11] 张兵,张宁,张铁凡. 农业适应气候变化措施绩效评价-基于苏北 GEF 项目区 300 户农户的调查[J]. 农业技术经济, 2011, (7): 43-49. [Zhang B, Zhang N, Zhang Y F. Performance assessment of agricultural adaptive measures to climate change[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2011, (7): 43-49.]
- [12] Huang J, Wang Y, Wang J. Farmer's adaptation to extreme weather events through farm management and its impacts on the mean and risk of rice yield in China [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2015, 97(2): 603-617.
- [13] Yesuf M, Falco S D, Deressa T, et al. The Impact of Climate Change and Adaptation on Food Production in Low-Income Countries: Evidence from the Nile Basin, Ethiopia[C]. Washington, DC: International Food Policy Research Institute (IFPRI), 2008.
- [14] Wooldridge J M. Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data[M]. Bridge: MIT Press, 2002.
- [15] 中华人民共和国农业部. 中国农业年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012. [Ministry of Agriculture of People's Republic of China. China Agriculture Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2012.]
- [16] 中华人民共和国水利部. 水旱灾害公报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012. [Ministry of Water Resources P R China. Bulletin of Flood and Drought Disaster in China[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2012.]
- [17] 王金霞,黄季焜,徐志刚,等. 灌溉、管理改革及其效应-黄河流域灌区的实证分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005. [Wang J X, Huang J K, Xu Z G, et al. Irrigation, Management Reform and Its Impacts-The Empirical Analysis on Irrigation Area in the Yellow River[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2005.]
- [18] 薛昌颖,霍治国,李世奎,等. 灌溉降低华北冬小麦干旱减产的风险评估研究[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 131-136. [Xue C Y, Huo Z G, Li S K, et al. Action of irrigation on decreasing yield reduction due to drought: A risk assessment of winter wheat in the North China Plain[J]. *Journal of Nature Disaster*, 2003, 12(3): 131-136.]
- [19] Foudi S, Erdlenbruch K. The role of irrigation in farmers' risk management strategies in France[J]. *European Review of Agricultural Economics*, 2012, 39(3): 439-457.
- [20] 刘晓英,林而达. 气候变化对华北地区主要作物需水量的影响. 水利学报, 2004(2): 77-82. [Liu X Y, L E D. Impact of

- climate change on water requirement of main crops in North China [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004(2):77-82]
- [21] 杨宇,王金霞,陈煌. 不同灌溉水源供水可靠性的评估[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(11):97-100. [Yang Y, Wang J X, Chen H. Assessment on water supply reliability of different irrigation water source[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(11):97-100.]
- [22] Olmstead S M. Climate change adaptation and water resource management: A review of the literature[J]. *Energy Economics*, 2014, 46:500-509.
- [23] Koundouri P, Nauges C, Tzouvelekas V. Technology adoption under production uncertainty: Theory and application to irrigation technology[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2006, 88(3):657-670.
- [24] Falco S D, Chavas J P. On crop biodiversity, risk exposure, and food security in the Highlands of Ethiopia[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2007, 91(3):599-611.
- [25] Wang Y J, Huang J K, Wang J X. Household and community assets and farmers' adaptation to extreme weather event: The case of drought in China[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13(4):687-697.
- [26] 陈雷. 加强小型农田水利重点县建设, 进一步夯实农业增产农民增收基础[J]. 中国水利, 2011, (22):1-3. [Chen L. To strengthen to invest in rural water infrastructure in key counties and further increase farmers' income[J]. *China Water Resource*, 2011, (22):1-3.]

The adaptive irrigation behavior of farmers and impacts on yield during extreme drought events in the North China Plain

YANG Yu^{1,3}, WANG Jinxia², HUANG Jikun²

(1. School of Business, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Center for Chinese Agricultural Policy, School of Advanced Agricultural Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

3. Center for Chinese Agricultural Policy, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: As an important agricultural production region and vulnerable region hit by drought in China, improving the irrigation adaptation capacity of farmers in the North China Plain (NCP) is of vital significance to food security in China. Using a large-scale survey of 1663 wheat plots of 889 households in five provinces in the NCP from the end of 2012 to early 2013, we built two-stage econometric models to quantitatively analyze the determinants of irrigation adaptation measures and assess the impacts of adaptation measures on wheat yield. We found that when wheat is shocked by severe drought, irrigation times significantly increase by 17.4% and the loss of wheat increases by 6.6% compared to the normal year. Irrigation adaptation measures play a significant and positive role in mitigating the adverse impacts of extreme drought events on wheat production. Specifically, losses will reduce by 14.2% with an increase of in 50% irrigation time (amounting to 0.9 irrigation times). Good water infrastructure plays an important role in adopting irrigation measure. For instance, relative to townships with irrigation of rural water infrastructure below average, farmer irrigation measures (average and above average) significantly increase irrigation times by 13.3% and 18.0% respectively. Household characteristics, such as farm size, age and education of household head have significant impacts on irrigation behavior. We discuss adaptation irrigation policy implications that governments should promote and popularize in dry areas to improve irrigation infrastructure investment in the NCP, especially in areas with bad water conservancy conditions.

Key words: severe drought event; adaptive irrigation behavior; effect of irrigation; North China Plain