

# 水资源的变革: 新中国地下水利用与农业发展

——基于对河南省的考察(1963—1978)

林友宏

内容提要: 本文利用河南省 1963—1978 年的县级面板数据, 考察了新中国地下水利用对农业发展的影响。双重差分模型的估计结果显示, 20 世纪 70 年代机电井密度越高的地区, 当地的粮食亩产和总产量较 20 世纪 60 年代的水平都出现了更显著的增长; 并且, 机电井的建设显著地缓解了降水异常(干旱或多雨)对粮食生产的不利影响。利用地质富水程度作为机电井密度的工具变量, 两阶段回归结果同样肯定了地下水利用对农业发展的重要作用。在促进农业发展的途径方面, 地下水利用不仅提高了耕地的灌溉比例, 同时也减少了盐碱地面积。因而, 地下水利用是促进我国农业发展的重要力量。

关键词: 地下水 农业发展 气候冲击

## 一、引言

水资源的利用是农业生产最为关键的因素之一。在我国历史上, 频繁的水旱灾害所导致的水资源危机曾严重地冲击农业生产, 甚至导致社会的动荡和王朝的衰亡。尽管历代王朝致力于水利工程的建设与维护, 并由此产生了严密的官僚组织和先进的水利科技, 但依然难以使得我国农业克服水资源危机的困扰。<sup>①</sup>直至近代, 水旱灾害仍然严重冲击着我国的农业生产和民众生计: 1876 至 1879 年间的旱灾导致北方五省约 900 万—1 300 万人死亡;<sup>②</sup>1920 年的华北旱灾使得 2 000 万人受灾, 50 万人死亡;<sup>③</sup>而 1931 年的江淮大水则造成了超过 3 000 万人受灾、15 万人死亡的后果。<sup>④</sup>

新中国成立后, 我国政府和民众开展了大规模的水利建设, 力图通过对水资源更有效的管理利用, 减轻水旱灾害给农业生产带来的损失。通过修筑河道堤防、兴建水库塘堰等措施, 一定程度上加强了我国农业抗御水旱灾害的能力。<sup>⑤</sup>但我国农业发展受水资源的限制依然严重。根据 1965 年统计数据, 我国北方的河南、河北、陕西、山西、山东、内蒙古、辽宁、北京 8 省(区、市)耕地的有效灌溉比例仅为 18%,<sup>⑥</sup>远低于全国 32% 的平均水平; 尽管耕地面积占到全国的 40%, 但粮食产量却只占全国

---

【作者简介】 林友宏, 广东外语外贸大学中国计量经济史研究中心讲师, 广州 510006, 邮箱: lin.youhong@foxmail.com。

① 冀朝鼎著, 朱诗鳌译《中国历史上的基本经济区与水利事业的发展》, 北京: 中国社会科学出版社 1981 年版; 卡尔·A. 魏特夫著, 徐式谷等译《东方专制主义: 对于极权力量的比较研究》, 北京: 中国社会科学出版社 1989 年版; 袁祖亮主编《中国灾害通史》, 郑州大学出版社 2009 年版; 卢嘉锡总主编, 周魁一著《中国科学技术史·水利卷》, 北京: 科学出版社 2002 年版。

② 北方五省包括山西、河南、山东、直隶和陕西, 见艾志端《铁泪图: 19 世纪中国对于饥馑的文化反应》, 南京: 江苏人民出版社 2011 年版。

③ 邓云特《中国救荒史》, 上海书店 1984 年版, 第 31 页。

④ 该数字为江苏、安徽、湖北、江西、湖南 5 省的统计数字, 见张宪文、张玉法主编, 赵兴胜等著《中华民国专题史·地方政治与乡村变迁》第 8 卷, 南京大学出版社 2015 年版, 第 462 页。

⑤ 王瑞芳《新中国成立初期的农田水利建设》, 《中国经济史研究》2013 年第 1 期。

⑥ 国家统计局国民经济综合统计司编《新中国六十年统计资料汇编》, 北京: 中国统计出版社 2010 年版, 第 99、167、201、235、269、575、609、981 页。

的27.5%,平均每年要调进50亿公斤粮食。<sup>①</sup>

我国北方的水资源利用模式在20世纪60年代中后期开始了一次意义重大的变革。由于钻井设备的改进和新中国机械工业的发展,使得大规模开展机电井建设、利用地下水资源进行农业灌溉成为可能。<sup>②</sup>全国配套机井数量从1965年的15万眼增长至1975年的182万眼,全国的井灌面积从1949年的1582万亩增长至1975年的1.55亿亩,<sup>③</sup>全国地下水开采量在1979年达到了618亿立方米。<sup>④</sup>在全国各省中,河南、河北和山东开采地下水的成效最大,20世纪70年代中期三省的机井数量已分别达到48万、41.2万和32万眼,井灌面积总和超过6000万亩,占耕地总面积的20%以上。<sup>⑤</sup>由于地下水开采导致了北方农业水资源利用模式的重大变革,因而很可能对农业发展产生重要影响。

本研究利用河南省1963—1978年的县级面板数据,构建计量模型考察了新中国地下水利用对农业发展的影响。估计结果显示,20世纪六七十年代机电井建设密度越高的地区,当地20世纪70年代的粮食亩产量和总产量较20世纪60年代出现了更显著增长;并且,机电井建设和地下水开采使得降水异常(干旱或多雨)对粮食生产的不利影响得到了显著的缓解;此外,本研究利用地质富水程度作为机电井建设的工具变量进行了两阶段回归估计,结果同样肯定了地下水利用对农业生产的重要作用。最后,在地下水利用促进农业发展的途径方面,研究发现机电井建设对农业灌溉的保障和对盐碱地的改良作用,是促进粮食产出提高的重要途径。

本文的贡献:首先,尽管珀金斯、樊胜根、林毅夫等学者已从制度、技术等方面对新中国的农业发展进行了深入考察,<sup>⑥</sup>但地下水利用的重要作用却尚未得到关注;本研究发现地下水开采是一项保障华北地区农业用水并提高粮食产出的重要技术手段,因而从技术角度进一步解释了新中国农业发展的原因。其次,通过考察地下水利用对农业抗旱与抗涝的影响,本研究也丰富了气候与经济相关文献。<sup>⑦</sup>最后,本研究发现了不同地区地下水资源富裕程度的差异对水资源利用和农业发展的影响,因而也扩展了关于自然资源禀赋与经济发展的研究。<sup>⑧</sup>

## 二、历史背景

### (一)历史上水资源对河南省农业发展的制约

河南在公元前5000年左右即开启了新石器时代。<sup>⑨</sup>尽管数千年来河南的农业经历了长足的发

① 丁泽民主编,水利部农村水利司编《新中国农田水利史略1949—1998》,北京:中国水利水电出版社1999年版,第108页。

② 机电井指的是安装有柴油机、电动机或其他动力机械带动水泵抽水灌溉农田的水井。参见国家统计局农村社会经济统计司编《农村社会经济统计问答》,北京:中国统计出版社1987年版,第38页。

③ 李海燕主编《地下水利用》,北京:中国水利水电出版社2015年版,第4页。

④ 水利部水资源司、南京水利科学研究所编《21世纪初期中国地下水资源开发利用》,北京:中国水利水电出版社2004年版,第19页。

⑤ 《中华人民共和国水文地质图集》编辑组编《中华人民共和国水文地质图集说明书》,北京:中国地图出版社1980年版,第180、342、412页。

⑥ [美]珀金斯著,宋海文等译《中国农业的发展1368—1968》,上海译文出版社1984版;Shenggan Fan and Philip G. Pardey, “Research, Productivity, and Output Growth in Chinese Agriculture”, *Journal of Development Economics*, Vol. 53, No. 1, 1997, pp. 115–137; Justin Yifu Lin “Rural Reforms and Agricultural Growth in China”, *American Economic Review*, Vol. 82, No. 1, 1992, pp. 34–51; Bruce Stone, “Developments in Agricultural Technology”, *The China Quarterly*, Vol. 116, No. 4, 1988, pp. 767–822.

⑦ Olivier Deschênes and Michael Greenstone, “The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather”, *American Economic Review*, Vol. 97, No. 1, 2007, pp. 354–385; Melissa Dell, Benjamin F. Jones and Benjamin A. Olken, “Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century”, *American Economic Journal: Macroeconomics*, Vol. 4, No. 3, 2012, pp. 66–95.

⑧ Jared M. Diamond, *Guns, Germs and Steel: A Short History of Everybody for the Last 13 000 Years*, Norton: Random House, 1998; Jeffrey D. Sachs and Andrew M. Warner, “The Big Push, Natural Resource Booms and Growth”, *Journal of Development Economics*, Vol. 59, No. 1, 1999, pp. 43–76.

⑨ K. C. Chang, *The Archaeology of Ancient China*, New Haven: Yale University Press, 1986.

展,但直至近代,频仍的水旱灾害仍对农业生产造成严重冲击。新中国成立前的五百年中,几乎年年有灾。<sup>①</sup>其中,光绪初年的大旱灾曾导致全省78州县报灾,28州县地全荒芜,1876至1878年间共减少人口280万;1931年的特大水灾则使得近900万人被灾,3000多万亩农田被淹。<sup>②</sup>

之所以河南易受水旱灾害的冲击,与河南省的气候特征关系密切。由于位于亚热带与暖温带的过渡地带,受季风性气候影响强烈,降水的年际变动相对较大。根据1949年以来的资料,河南省降水的相对变率在17%—23%之间,为全国降水变率最大地区之一,最多年降水量与最少年降水量相差2.6—4.7倍。<sup>③</sup>因而,河南省降水的剧烈波动加大了农业对水资源的利用难度。

## (二) 河南省地下水利用与农业发展

如何获取稳定的水资源是河南农业发展的关键。明清时期,政府和民众开始尝试通过加大对地下水资源的利用以抵御干旱的冲击。明代,“掘土深丈以上而得水者,为井以汲之。此法北土甚多,特以灌畦种菜。近河南及真定诸府,大作井以灌田,旱年甚获其利”。<sup>④</sup>而至清代,许州知州曾“劝民掘井三万余”,<sup>⑤</sup>武陟、温县、孟县、安阳等地也多有以井水灌田的记载。<sup>⑥</sup>然而,明清时期的凿井和汲水技术仍较为落后,难以对深层的地下水进行开采利用,因而旱灾较为严重时仍面临水源断绝的危机。<sup>⑦</sup>民国时期,虽然政府和社会团体也致力于凿井灌田振兴水利,但规模仍相对有限。<sup>⑧</sup>

新中国成立后,对地下水的开采利用成为河南水利事业的重要目标。政府通过发动群众,使用人力挖泥等传统方法开展打井作业,使得农业对地下水的利用程度获得了一定提升。全省的砖、土井数量从1949年的19.96万眼增长至1957年的107.6万眼,井灌面积从139万亩上升至934.5万亩。这一时期,机电井建设尚在起步,共建设3473眼。<sup>⑨</sup>“大跃进”运动期间,由于河南省的水利建设采取了以拦蓄地面水为主的方针,因而对地下水的开发利用进展缓慢。至1962年“大跃进”结束,砖、土井的数量反而减少至76万眼,机电井数增长不足1.5万眼。并且,“以蓄为主”的方针并未收到良好的效果,由于大搞平原水库和引黄漫灌,导致地下水位上升,涝碱灾害加剧,对农业生产造成了严重的阻碍。<sup>⑩</sup>

“大跃进”运动后,对地下水的利用重新开始得到重视。1964年,河南省将打井灌溉确立为水利工作的中心,并将建设旱涝保收、稳产高产田作为农业发展的目标。1965、1966年,河南连续大旱,成为开展机电井建设的外在动力。1966年3月,河南省召开“打井灌田建设稳产高产田会议”,提出“因地制宜,以深井(机井)为主,浅井(土井)为辅”的地下水利方针,从而为机电井的建设确立了方向。<sup>⑪</sup>1966年,全省共打机井5.65万眼,超过此前机井建设数量的3倍。机井建设在“文革”动乱中仍得以继续,至1969年,机井数已增长至20万眼,井灌面积达1444.29万亩。不仅打井机械的升级使得机井建设的速度加快,并且政府还加大力度对机井配套相应的汲水设备,使得机井的灌溉能力得到增强。至1976年底全省已拥有机井56.93万眼,配套45.36万眼,井灌面积2978.7万亩(图1)。

在河南省大力开发地下水资源的同时,河南省的农业也出现了快速的发展。1965年至1976

① 河南省水利厅水旱灾害专著编辑委员会编《河南水旱灾害》,郑州:黄河水利出版社1999年版,第3页。

② 李文海《中国近代十大灾荒》,上海人民出版社1990年版,第80—113、202—237页。

③ 温彦主编《河南水资源》,开封:河南教育出版社1994年版,第11页。

④ [明]徐光启《农政全书》卷16《水利》,北京:中华书局1956年版,第173页。

⑤ 王秀文等修纂:民国《许昌县志》卷8《水利》,宝兰斋民国13年版,第35—36页。

⑥ 李国勇《明清时期河南农田灌溉述论》,《安徽农业科学》2010年第38期。

⑦ 张芳著《中国古代灌溉工程技术史》,太原:山西教育出版社2009年版。

⑧ 黄祖玮、贺维周主编《中州·水利·史话》,郑州:河南科学技术出版社1991年版,第88页。

⑨ 河南省水利厅编印《河南省农田水利基本建设统计资料汇编1949—1978》,1981年印行,第330页。

⑩ 李日旭主编《当代河南的水利事业1949—1992》,北京:当代中国出版社1996年版,第75—82页。

⑪ 李日旭主编《当代河南的水利事业1949—1992》,第202—206页。

年间,河南省的粮食总产增长了182%,单产增长了226%,粮食生产取得了长足的进步(见图2)。地下水资源利用对农业灌溉的保障可能是促进农业发展的重要因素。1965年后,河南省的有效灌溉面积开始稳步上升,从1965年的746.22万亩增长至1976年的1536.11万亩,面积增长105.85%(见图3)。并且,地下水利用也对农业抗击干旱和涝渍灾害有着重要作用。例如,1978年河南受旱灾袭击,受灾面积达到3964.49万亩,几乎为1977年受灾面积的两倍,<sup>①</sup>但河南的粮食总产和亩产依然取得了增长。而井灌通过降低地下水位也使得农业的抗涝能力得到加强。例如,河南封丘县在采用井灌后地下水埋深增加2米,使得雨季后地下水位控制在3.5米下,从而有效地限制了涝灾和渍灾。<sup>②</sup>此外,地下水开采对农业用水的保障也是河南农业能够加大化肥、机械等要素投入的前提。河南全省每亩耕地的化肥施用量从1965年的4.84斤上升至1978年的54.75斤,而同一时期全省机耕面积占总耕地面积的比例也从16.24%上升至43.71%。<sup>③</sup>因此,地下水开采利用导致的水资源变革很可能是促进河南省农业发展的重要条件。

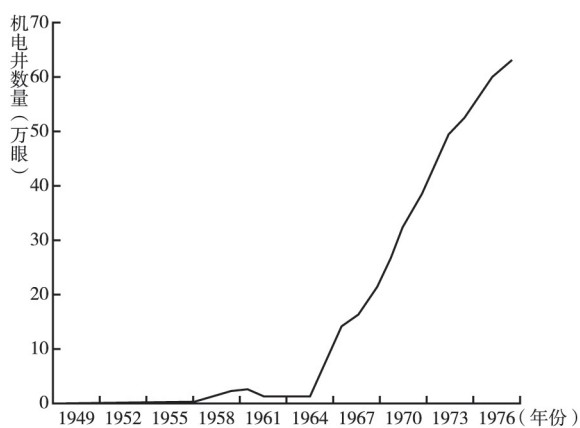


图1 河南省机电井数量的变化

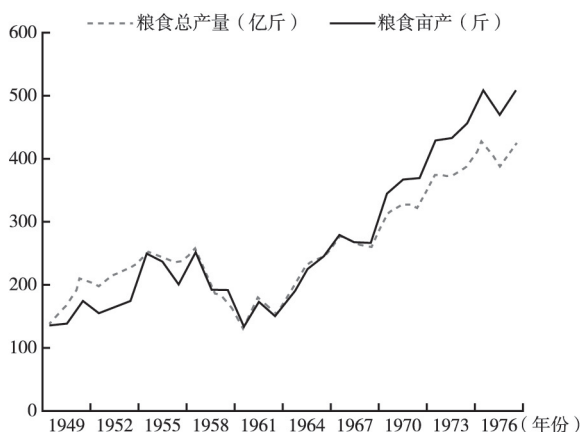


图2 河南省粮食产量的变化

资料来源: 河南省水利厅编印《河南省农田水利基本建设统计资料汇编1949—1978》。

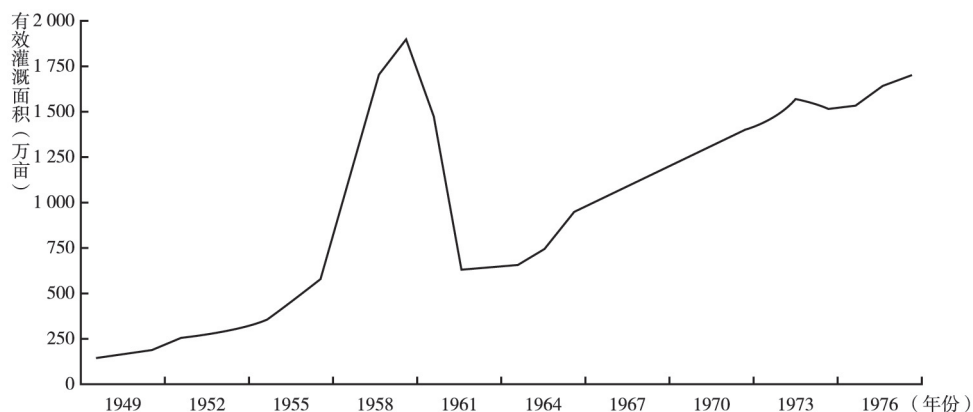


图3 河南省农田灌溉的变化

资料来源: 河南省水利厅编印《河南省农田水利基本建设统计资料汇编1949—1978》。

① 河南省水利厅编印《河南省农田水利基本建设统计资料汇编1949—1978》,第561页。  
 ② 刘文政《井灌并排综合防治旱涝盐碱的作用及其在我国的发展》,《土壤学进展》1982年第6期。  
 ③ 根据河南省统计局编印《建国三十年河南省农业统计资料(1949—1979)》分县数据汇总计算得出。

### 三、实证策略和数据来源

#### (一) 实证策略

为识别地下水利用对农业发展的作用,本研究构建了双重差分的实证策略。该策略将20世纪70年代地下水利用程度较高的地区作为实验组,而将同一时期地下水利用程度较低的地区作为对照组;同时,为控制除地下水利用外的其他固有因素对农业发展的影响,该策略将地下水利用尚在起步的20世纪60年代作为实验组与对照组的控制期。在时间范围的选择上,为排除“大跃进”时期制度差异造成的干扰,1963年被设为样本的上限;而样本下限则被设为即将全面开展农村经济体制改革的1978年。基于该实证策略的双重差分模型被设定为如下形式:

$$Y_{it} = \beta_1 + \beta_2 Post70_t \times Well_i + \varphi_i + \lambda_t + \beta_3 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,被解释变量 $Y_{it}$ 是第 $i$ 个县 $t$ 年的农业发展指标; $Post70_t$ 指示农业发展指标是否为20世纪70年代的数据; $Well_i$ 是衡量第 $i$ 个县20世纪70年代地下水利用程度的指标; $\varphi_i$ 和 $\lambda_t$ 分别为地区和年份的固定效应; $X_{it}$ 是其他可能影响农业发展因素的向量组; $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 和 $\beta_3$ 为待估计系数; $\varepsilon_{it}$ 为随机扰动项。交互项系数 $\beta_2$ 衡量了地下水利用对农业发展的影响,若 $\beta_2 > 0$ 则地下水利用对农业发展具有促进作用。

此外,为估计地下水利用对气候冲击的缓解作用,本研究在模型(1)的基础上设定了如下的扩展模型:

$$Y_{it} = \beta_1 + \beta_2 Post70_t \times Well_i \times Drought_{it} + \beta_3 Post70_t \times Well_i \times Rain_{it} + \varphi_i + \lambda_t + \beta_4 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, $Drought_{it}$ 是衡量第 $i$ 个县 $t$ 年是否干旱的指标, $Rain_{it}$ 是衡量第 $i$ 个县 $t$ 年是否多雨的指标,控制变量 $X_{it}$ 中还包括 $Post70_t \times Well_i$ 变量、 $Drought_{it}$ 变量、 $Rain_{it}$ 变量以及二者与 $Well_i$ 变量的交互项。交互项系数 $\beta_2$ 和 $\beta_3$ 分别衡量了地下水利用对农业受干旱和多雨影响的缓解作用。

#### (二) 数据来源

1. 被解释变量。为衡量河南省的农业发展状况,本研究选择了粮食亩产和粮食总产量两个指标。在20世纪六七十年代,由于粮食作物的播种面积占耕地面积的88%以上,因而粮食生产是这一时期河南农业的主体。<sup>①</sup>粮食亩产和总产量的县级数据来自《建国三十年河南省农业统计资料(1949—1979)》。

2. 解释变量。为衡量河南省20世纪70年代的地下水利用程度,本研究构建了机电井密度指标,即以机电井数量除以耕地面积。机电井数据来自《河南省农业统计资料1974年》,<sup>②</sup>为20世纪70年代中期的统计数据,而同年的耕地面积数据则来自《建国三十年河南省农业统计资料(1949—1979)》。<sup>③</sup>图4给出了河南省20世纪70年代中期地下水的利用状况。

为衡量河南省各县各年的降水异常情况(干旱或多雨),本研究利用了由中国气象局提供的中国753个气象站点逐日降水资料。本研究首先计算了河南省各县年累计降水量。若县境内有气象站分布,则使用该气象站的数据作为该县年降水量的近似;若县境内没气象站分布,则将该县200公里以内的气象站数据按距离的倒数进行加权平均,从而得到该县年降水量的估计值。根据各县年降水量的历史数据,一个县遭遇干旱年被定义为当年的降水量在该县1950至2000年的历史数据中处于降水最少的20%组别,而一个县遭遇多雨年则被定义为当年的降水量在该县1950至2000年的历史数据中处于降水最多的20%组别。<sup>④</sup>

3. 控制变量。为控制其他可能影响农业生产的因素,本研究选择了如下几个控制变量。首先,

① 胡廷积主编《河南农业发展史》,北京:中国农业出版社2005年版,第146页。

② 河南省革命委员会计划委员会编印,1977年印行。

③ 河南省统计局、河南省农业厅编印,1981年印行。

④ 本研究对气象数据的处理采用了现有文献的一般方法,详见Melissa Dell, Benjamin F. Jones and Benjamin A. Olken, "What do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature", *Journal of Economic Literature*, Vol. 52, No. 3, 2014, pp. 740-798.

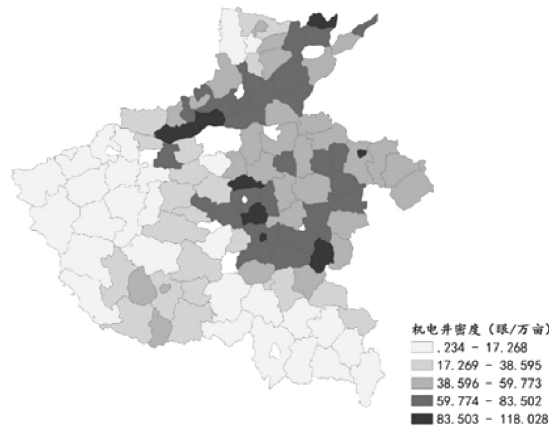


图4 河南省地下水开采状况(1974年)

资料来源:河南省革命委员会计划委员会编印《河南省农业统计资料1974年》。

气温是影响农作物生长的重要因素。因而,本研究根据中国753个气象站点的逐日气温资料,计算了各县各年的积温及其平方项作为控制变量。<sup>①</sup>其次,化肥、机械、能源以及劳动力的投入都会对农业生产造成影响。因此,利用《建国三十年河南省农业统计资料(1949—1979)》所提供的数据,模型控制了平均每亩耕地的化肥施用量和用电量、机耕比例以及人口数与耕地面积之比。最后,为控制水库及塘堰坝等水利设施对农业生产的影响,模型中还控制了水库蓄水能力和塘堰坝蓄水能力与耕地面积的比值。蓄水能力数据来自《河南省农田水利基本建设统计资料汇编1949—1978》,为市一级的年度数据。表1给出了主要变量的统计描述。

表1 主要变量的统计描述

主要变量	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值
粮食亩产(斤)	1 904	237.595	109.485	18.000	1 352.000
粮食总产量(万斤)	1 904	25 324.345	14 096.124	915.000	77 287.000
机电井密度(眼/万亩)	1 904	43.378	29.221	0.000	118.028
干旱	1 904	0.189	0.392	0.000	1.000
多雨	1 904	0.187	0.390	0.000	1.000
积温(摄氏度)	1 904	2.948	0.161	2.218	3.347
化肥施用量(斤/亩)	1 904	2.374	1.417	0.000	6.245
机耕比例	1 904	0.298	0.225	0.000	1.000
用电量(度/亩)	1 904	1.362	1.253	0.000	4.706
人口密度(人/亩)	1 904	0.645	0.461	0.030	5.567
水库蓄水能力(立方米/亩)	1 904	11.521	27.012	0.000	136.494
塘堰坝蓄水能力(立方米/亩)	1 904	103.156	97.327	0.000	424.763

## 四、实证结果

### (一) 初步回归结果

利用双重差分模型,表2给出了地下水开采对粮食亩产影响的估计结果。第一列控制了气候冲击、积温、化肥使用、机耕比例等因素。结果显示,干旱或多雨导致的气候冲击都会显著地降低粮食

<sup>①</sup> 积温指的是全年处于作物生长发育有效温度范围的日平均气温的总和。本研究采用的温度范围为8至32摄氏度,参考Olivier Deschênes and Michael Greenstone, “The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather”, *American Economic Review*, Vol. 97, No. 1, 2007, pp. 354-385.

亩产,因而水资源的波动对河南粮食生产有着重要影响;同时,反映20世纪六七十年代地下水利用变化的交互项(机电井密度1970年后)的估计系数显著为正,表明20世纪70年代机电井建设越为密集、地下水利用越发达的地区,当地的粮食亩产出现了更显著的增长;估计系数显示,机电井密度每增长1%,将使得粮食亩产显著增长0.0456%。

第二列至第四列考察地下水利用是否缓解了气候冲击对粮食生产的不利影响。第二列在第一列的基础上,加入了机电井密度、气候冲击与时期(1970年后=1)三变量的交互项,以及机电井密度与气候冲击的交互项。结果显示,机电井密度、干旱与时期(1970年后=1)的交互项系数显著为正,表明20世纪70年代机电井密度高的地区,干旱对粮食亩产的不利影响较20世纪60年代显著降低,机电井密度每增长1%将使得干旱的负面影响减轻0.0116%;同时,机电井密度、多雨与时期(1970年后=1)的交互项系数显著为正,表明地下水利用同样能够减轻多雨对粮食生产造成的负面影响。

第三列额外控制了市级各年度的水库蓄水量和堰塘坝蓄水量,以及二者与气候冲击变量的交互项。<sup>①</sup>结果显示,机电井密度、干旱与时期(1970年后=1)的交互项系数同样显著为正,表明地下水利用对干旱的缓解作用十分稳健;并且,机电井密度、多雨与时期(1970年后=1)的交互项系数同样显著为正,因而再次肯定了地下水利用减轻了多雨对粮食生产造成的负面影响。第四列额外控制了每亩耕地化肥使用量、每亩耕地用电量和机耕比例这三个变量与干旱、多雨变量的交互项,结果显示地下水利用缓解气候冲击的作用同样稳健。因此,表2的估计结果表明,地下水利用在提高粮食亩产和缓解气候冲击方面具有重要作用。

表2 地下水开采对粮食生产影响(粮食亩产)

	被解释变量: 粮食亩产(log)			
	(1)	(2)	(3)	(4)
核心解释变量:				
干旱	-0.0509*** (0.0110)	-0.0638** (0.0285)	-0.00387 (0.0377)	0.0123 (0.0392)
多雨	-0.0539*** (0.0164)	0.0732** (0.0326)	-0.00712 (0.0513)	-0.0281 (0.0550)
机电井密度 1970年后	0.0456*** (0.00658)	0.0263*** (0.00702)	0.0379*** (0.00749)	0.0364*** (0.00753)
机电井密度干旱 1970年后		0.0116* (0.00658)	0.0171** (0.00677)	0.0211*** (0.00715)
机电井密度多雨 1970年后		0.0417*** (0.00815)	0.0389*** (0.00803)	0.0421*** (0.00954)
控制变量:				
机电井密度干旱		-0.00140 (0.00875)	-0.0201** (0.00973)	-0.0205** (0.0101)
机电井密度多雨		-0.0589*** (0.00969)	-0.0484*** (0.0120)	-0.0406*** (0.0122)
水库蓄水量(每亩)			-0.481** (0.224)	-0.472** (0.223)
水库蓄水量(每亩) 干旱			0.182 (0.143)	0.185 (0.144)
水库蓄水量(每亩) 多雨			0.950*** (0.206)	0.919*** (0.206)

① 水库蓄水量和堰塘坝蓄水量是市一级的年度数据,所以不需要与时期变量(1970年后=1)相乘构建交互项。

续表

	被解释变量: 粮食亩产( log)			
	(1)	(2)	(3)	(4)
控制变量:				
堰塘蓄水量(每亩)			7.894 *** (1.537)	7.942 *** (1.523)
堰塘蓄水量(每亩)干旱			-2.367 *** (0.486)	-2.362 *** (0.485)
堰塘蓄水量(每亩)多雨			-2.226 *** (0.639)	-2.163 *** (0.648)
观测值	1 904	1 904	1 904	1 904
R <sup>2</sup>	0.891	0.895	0.899	0.899

说明: 各列的控制变量还包括年份和县域固定效应、积温、积温的平方、人口密度、每亩耕地化肥使用量和用电量、机耕比例。第四列额外加入了每亩耕地化肥使用量、每亩耕地用电量和机耕比例这三个变量与干旱、多雨变量的交互项。括号中汇报的是稳健标准误计量。\*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1。

表3对地下水开采对粮食总产量的影响进行考察。由于粮食总产量等于粮食亩产乘以粮食播种面积,因而地下水开采可能通过影响粮食播种面积对粮食总产量产生额外的影响。表3第一列的结果显示,机电井密度与时期(1970年后=1)的交互项系数显著为正,表明地下水利用显著提高了当地的粮食总产量。相比表2的结果,交互项系数略为增大,说明地下水开采在增加粮食亩产的同时也增加了粮食的播种面积。后三列考察地下水开采对缓解气候冲击的作用。结果显示,尽管第二列中机电井密度、干旱与时期(1970年后=1)的交互项系数并不显著,但在后两列充分控制了水库蓄水量、堰塘坝蓄水量等影响因素的情况下,机电井密度、干旱或多雨气候冲击与时期(1970年后=1)的交互项系数都显著为正,表明地下水开采同样缓解了气候冲击对粮食总产量的影响。

表3 地下水开采与粮食生产(粮食总产量)

	被解释变量: 粮食总产量( log)			
	(1)	(2)	(3)	(4)
核心解释变量:				
干旱	-0.0558 *** (0.0123)	-0.0753 *** (0.0273)	-0.00226 (0.0368)	-0.000236 (0.0387)
多雨	-0.0619 *** (0.0159)	0.0470 (0.0312)	-0.0219 (0.0499)	-0.0554 (0.0544)
机电井密度 1970年后	0.0474 *** (0.00697)	0.0300 *** (0.00736)	0.0477 *** (0.00801)	0.0465 *** (0.00818)
机电井密度干旱 1970年后		0.00856 (0.00727)	0.0163 ** (0.00753)	0.0179 ** (0.00827)
机电井密度多雨 1970年后		0.0420 *** (0.00788)	0.0392 *** (0.00776)	0.0401 *** (0.00938)
控制变量:	基本	基本	+ 水库堰塘	+ 更多交互
观测值	1 904	1 904	1 904	1 904
R <sup>2</sup>	0.958	0.959	0.962	0.962

说明: 各列的控制变量还包括年份和县域固定效应、积温、积温的平方、人口密度、每亩耕地化肥使用量和用电量、机耕比例。第四列额外加入了每亩耕地化肥使用量、每亩耕地用电量和机耕比例这三个变量与干旱、多雨变量的交互项。括号中汇报的是稳健标准误计量。\*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1。

(二) 共同趋势检验

以上双重差分模型估计有效性的重要条件,是实验组(地下水开采程度高的县)与对照组(地下



水开采程度低的县) 在不存在处理差异的情况下, 二者的粮食产量具有共同的时间趋势。为检验共同趋势的假定, 本研究以 1956 至 1965 年作为考察的时间段, ①采用加入了各年份与机电井密度的交互项的双重差分模型(以 1956 年作为基期), 对实验组与对照组粮食产出差异的时间变化进行考察。

表 4 给出了共同趋势的检验结果。第一列以粮食亩产作为被解释变量。从 1956 年至 1965 年, 实验组与对照组的粮食亩产差异虽然在某些特殊年份出现显著变化, 但并不存在不同的时间趋势。在各年份的交互项系数中, 仅有“大跃进”时期的 1958 至 1960 年显著为正; 这可能是由于“大跃进”前期粮食产量的虚报、水利的无效建设等因素导致的。②而 1963 年的交互项系数之所以显著为负, 则很可能与当年洪涝灾害的不均匀分布有关。③第二列以粮食总产量作为被解释变量, 结果同样类似。所以, 在大规模开采地下水之前, 实验组与对照组的粮食产量并不存在不同的时间趋势, 双重差分模型的共同趋势假定得到了更多支撑。

### (三) 工具变量回归结果

以上双重差分模型的估计结果可能存在两个问题。一是度量误差问题。由于 20 世纪 70 年代尚未对河南各县的地下水开采量进行统计, 因而本研究使用机电井密度作为地下水开采程度的代理变量, 但该代理变量可能存在着一定的度量误差。二是内生性问题。由于机电井建设可能受到经济、制度环境的影响, 如果对这些因素的控制不够充分, 将无法排除这些因素对农业的直接作用, 从而导致内生性问题和估计系数的偏误。④

表 4 共同趋势检验

	被解释变量:	
	粮食亩产( log)	粮食总产( log)
	( 1)	( 2)
核心解释变量:		
1957 年机电井密度( 20 世纪 70 年代)	0.00324 ( 0.0202)	-0.0212 ( 0.0231)
1958 年机电井密度( 20 世纪 70 年代)	0.0444 ** ( 0.0193)	0.0267 ( 0.0209)
1959 年机电井密度( 20 世纪 70 年代)	0.0687 *** ( 0.0222)	0.0541 ** ( 0.0232)
1960 年机电井密度( 20 世纪 70 年代)	0.0351 ** ( 0.0177)	0.00739 ( 0.0198)
1961 年机电井密度( 20 世纪 70 年代)	0.0251 ( 0.0258)	0.00267 ( 0.0311)
1962 年机电井密度( 20 世纪 70 年代)	1.94e -05 ( 0.0218)	-0.0176 ( 0.0227)
1963 年机电井密度( 20 世纪 70 年代)	-0.0677 *** ( 0.0235)	-0.0805 *** ( 0.0244)
1964 年机电井密度( 20 世纪 70 年代)	0.00796 ( 0.0198)	-0.00133 ( 0.0206)

① 选择 1956 年作为时间段的上限是由于当年农业社会主义改造基本完成, 从而降低农业制度变革的干扰。

② 参见孙建国《现代河南经济史》, 郑州: 河南大学出版社 2012 年版, 第 114—139 页。

③ 1963 年多雨县比例为 65.38%, 多雨变量与机电井密度变量的相关系数为 0.50; 而 1962 年多雨县比例为 4.62%, 多雨变量与机电井密度变量的相关系数为 0.079。尽管模型控制了降雨的多少, 但无法完全控制洪涝灾害的严重程度。

④ 20 世纪 70 年代机电井密度变量与 1965 年每亩化肥施用量、机耕比例、人口密度的相关系数分别为 0.07、0.41、-0.13, 因而机电井建设与初始的农业机械化程度存在一定关联, 并非是完全随机的。

续表

	被解释变量:	
	粮食亩产( log)	粮食总产( log)
	( 1)	( 2)
核心解释变量:		
1965 年机电井密度( 20 世纪 70 年代)	0. 0199 ( 0. 0184)	-0. 00336 ( 0. 0200)
观测值	1 190	1 190
R <sup>2</sup>	0. 819	0. 945

说明: 括号中汇报的是稳健标准误统计量。\*\*\*p < 0. 01, \*\*p < 0. 05, \*p < 0. 1。控制变量包括年份和县域固定效应、干旱、多雨、积温、积温的平方、人口密度、每亩耕地化肥使用量和用电量、机耕比例。

为解决以上问题,本研究选择采用地质富水程度作为机电井密度的工具变量进行两阶段最小二乘估计。由于地质富水程度外生地决定了一个地区可利用的地下水量,因而是影响地下水实际开采量的重要因素。并且地质富水程度主要受到岩石类型、地表水渗入量等自然因素的影响,与经济、制度环境因素不存在直接的联系,因而能够满足工具变量的外生性要求。地质富水程度数据来自《中华人民共和国水文地质图集》。<sup>①</sup>图集将我国各地的地质富水程度分为弱、中、强三个等级。本研究将三个等级依次记为 0、1 和 2,并根据不同富水等级地质所占面积的比例进行加权平均,从而得到河南各县地质富水程度的指标。

表 5 给出利用面板数据进行工具变量两阶段回归后的实证结果。面板 A 的第一阶段回归结果显示,地质富水程度与时期(1970 年后 = 1)的交互项系数显著为正,表明地质富水程度越高的地区,20 世纪 70 年代机电井密度也将显著更高。并且,第一阶段回归的 F 值都远大于 10,因而减轻了对弱工具变量的担忧。此外,地质富水程度、干旱/多雨与时期(1970 年后 = 1)的交互项同样与机电井密度、干旱/多雨与时期(1970 年后 = 1)的交互项之间存在着显著的正向关系,但并未在表格中给出。面板 B 给出了第二阶段的回归结果。前三列以粮食亩产作为被解释变量。结果显示,在不同的控制变量设定下,机电井密度与时期(1970 年后 = 1)的交互项系数都显著为正,表明地下水利用显著提高了粮食的亩产;同时,机电井密度、干旱/多雨与时期(1970 年后 = 1)的交互项系数都显著为正,表明地下水利用显著缓解了干旱与多雨对粮食生产的不利影响。最后三列以粮食总产量作为被解释变量,估计结果同样表明地下水利用对提高粮食总产量、缓解干旱与多雨冲击的显著作用。因此,采用地质富水程度作为工具变量的两阶段回归结果肯定了地下水开采对粮食增产和抵御灾害冲击的重要作用;同时,地下水的大规模开发利用也使得一个地区地下水资源富裕与否成为影响当地农业发展的重要环境变量。

表 5 地下水开采对粮食生产影响的工具变量回归结果

面板 A: 第一阶段回归						
	被解释变量: 机电井密度 1970 年后					
	( 1)	( 2)	( 3)	( 4)	( 5)	( 6)
核心解释变量:						
地质富水程度 1970 年后	1. 304 *** ( 0. 0524)	1. 025 *** ( 0. 0531)	1. 022 *** ( 0. 0534)	1. 304 *** ( 0. 0524)	1. 025 *** ( 0. 0531)	1. 022 *** ( 0. 0534)
控制变量:	基本	+ 水库堰塘	+ 更多交互	基本	+ 水库堰塘	+ 更多交互
观测值	1 904	1 904	1 904	1 904	1 904	1 904
F 值	383. 37	458. 56	452. 90	383. 37	458. 56	452. 90

① 国家地质总局水文地质工程地质研究所主编《中华人民共和国水文地质图集》北京: 地图出版社 1979 年版。

续表 5

面板 B: 第二阶段回归						
	被解释变量:					
	粮食亩产( log)			粮食总产( log)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
核心解释变量:						
机电井密度 1970 年后	0.0251 *** (0.00935)	0.0300 ** (0.0122)	0.0287 ** (0.0123)	0.0426 *** (0.00967)	0.0634 *** (0.0125)	0.0628 *** (0.0126)
机电井密度干旱 1970 年后	0.0177 ** (0.00726)	0.0184 ** (0.00741)	0.0272 *** (0.00838)	0.0180 ** (0.00777)	0.0215 *** (0.00803)	0.0269 *** (0.00937)
机电井密度多雨 1970 年后	0.0449 *** (0.00860)	0.0394 *** (0.00843)	0.0394 *** (0.00846)	0.0466 *** (0.00824)	0.0431 *** (0.00804)	0.0430 *** (0.00807)
控制变量:	基本	+ 水库堰塘	+ 更多交互	基本	+ 水库堰塘	+ 更多交互
观测值	1 904	1 904	1 904	1 904	1 904	1 904
R <sup>2</sup>	0.895	0.899	0.899	0.959	0.962	0.962

说明: 括号中汇报的是稳健标准误统计量。\*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1。

(四) 地下水利用促进农业发展的机制

地下水利用是通过何种途径促进了粮食生产和农业发展呢? 首先, 由于地下水利用使得农业获得了更稳定的水资源, 因而可能通过提高农业的灌溉比例增加农业产出, 并减少气候冲击的影响。为考察这种影响, 本文从《建国三十年河南省农业统计资料(1949—1979)》获得了县级的灌溉比例指标(即水田与水浇地面积占耕地面积的比例), 并利用双重差分模型进行了考察。

表 6 的第一列和第二列给出了回归结果。第一列控制了是否干旱、是否多雨、积温、积温平方以及年份和县域的固定效应, 结果显示机电井密度与时期(1970 年后 = 1) 的交互项系数显著为正, 表明 20 世纪 70 年代机电井密度越高的地区, 当地的灌溉比例较 20 世纪 60 年代出现了更为显著的增长, 因而地下水利用的确提升了灌溉比例。第二列额外控制了每亩耕地平均的水库蓄水量和堰塘坝蓄水量, 结果交互项系数依旧显著为正, 因而肯定了地下水利用对提升灌溉比例的重要作用。为考察灌溉比例的提升在多大程度上解释了地下水利用对粮食生产的影响, 第三列重新给出表 2 中已有的机电井密度与粮食亩产关系的回归结果, 第四列则在第三列采用的模型中额外加入了灌溉比例变量。结果显示, 灌溉比例提升对提高粮食亩产的作用十分显著, 并且机电井密度与时期(1970 年后 = 1) 的交互项系数较第三列大幅下降, 表明灌溉比例提升是地下水利用提高粮食亩产的重要途径。第五和第六列则以粮食总产出作为被解释变量, 并同样得到了类似的结果。此外, 附表 1 还考察了灌溉比例对缓解气候冲击的影响, 发现并不十分显著。这很可能是由于灌溉比例指标无法反映灌溉水源的稳定性导致的。因此, 以上结果说明改善农田灌溉状况是地下水利用促进粮食生产和农业发展的重要途径。

表 6 地下水开采、农业灌溉与粮食生产

	被解释变量:					
	灌溉比例		粮食亩产( log)		粮食总产出( log)	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
核心解释变量:						
机电井密度 1970 年后	0.0741 *** (0.00303)	0.0618 *** (0.00385)	0.0456 *** (0.00658)	0.0143 * (0.00734)	0.0474 *** (0.00697)	0.0161 ** (0.00759)
灌溉比例				0.428 *** (0.0502)		0.428 *** (0.0541)
控制变量:	基本	+ 水库堰塘	基本	基本	基本	基本
观测值	1 904	1 904	1 904	1 904	1 904	1 904
R <sup>2</sup>	0.908	0.910	0.891	0.896	0.958	0.960

说明: 括号中汇报的是稳健标准误统计量。\*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1。

地下水利用促进农业发展的另一个可能途径是对盐碱土壤的改良作用。20世纪60年代初,由于“大跃进”时期平原水库等阻水工程的兴建,导致地下水位的上升和内涝灾害的加剧,形成了大面积的盐碱土,极大地降低了农业的产出。<sup>①</sup>全省的盐碱地面积在1963年达到1173.37万亩。<sup>②</sup>1965年后,随着机电井的建设和地下水利用的发展,井灌井排被视为改良盐碱地的重要手段。通过机电井灌溉,能够显著地降低地下水位,从而使得表层土壤的盐分向底土转移,从而降低土壤的盐分。此外,井灌能够在雨季前腾空出足够的地下库容,从而有效减轻涝渍的灾害。<sup>③</sup>为考察地下水利用通过改良盐碱土促进农业发展的这一可能途径,本研究从《河南省农田水利基本建设统计资料汇编1949—1978》中获得了各市各年未治理的盐碱地面积数据,从而利用双重差分模型进行分析。

首先,本研究将机电井密度、干旱、多雨等变量汇总至市一级,以考察地下水利用对盐碱土改良的影响。表7的第一、二列给出了回归结果。结果显示,无论是否控制水库和堰塘坝蓄水量,机电井密度与时期(1970年后=1)的交互项系数都显著为负,表明20世纪70年代地下水开采更为集中的区域,当地的盐碱地面积较20世纪60年代出现了更为显著的下降。后四列利用县级样本考察盐碱地改良是否是地下水利用促进粮食生产的途径。第四列结果显示,盐碱地面积变量的系数显著为负,表明盐碱地面积的下降将显著增加粮食亩产;并且机电井密度与时期(1970年后=1)的交互项系数较第三列出现一定程度的下降,表明盐碱地改良是地下水利用提高粮食亩产的途径。第五、六列给出了类似的结果。因此,地下水开采利用通过改良土壤促进了农业的发展。

表7 地下水开采、土壤改良与粮食生产

	被解释变量:					
	盐碱地面积(log)		粮食亩产(log)		粮食总产出(log)	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
核心解释变量:						
机电井密度 1970年后	-0.301*** (0.0562)	-0.282*** (0.105)	0.0456*** (0.00658)	0.0410*** (0.00660)	0.0474*** (0.00697)	0.0401*** (0.00693)
盐碱地面积(log)				-0.0295** (0.0127)		-0.0460*** (0.0128)
控制变量:	基本	+ 水库堰塘	基本	基本	基本	基本
观测值	160	160	1904	1904	1904	1904
R <sup>2</sup>	0.985	0.985	0.891	0.891	0.958	0.958

说明: 括号中汇报的是稳健标准误统计量。\*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1。

## 五、结论及思考

水资源曾是限制我国农业发展的关键因素,而20世纪60年代以来我国对地下水资源的开采利用则是影响农业发展的革命性力量。本研究利用河南省1963—1978年的县级数据,采用双重差分模型对地下水开采与农业发展之间的关系进行了考察。估计结果显示,地下水开采利用显著提高了粮食亩产和总产量,并有效缓解了干旱与多雨对粮食生产的冲击。并且,以地质富水程度作为工具变量的两阶段回归结果肯定地下水开采对粮食生产的重要作用。最后,研究发现地下水开采对农业灌溉的促进和对盐碱土壤的改良作用是促进农业发展的重要途径。

尽管地下水利用对我国农业发展曾经起到重要作用,但随着时间的推移,当前我国地下水的利用状况亦应有所改变。首先,虽然地下水是一种可再生资源,但长期超量开采已导致华北地下水位

① 李日旭主编《当代河南的水利事业1949—1992》,第129页。

② 河南省水利厅编印《河南省农田水利基本建设统计资料汇编1949—1978》,第476页。

③ 中国农业科学院农田灌溉研究所编《黄淮海平原盐碱地改良》,北京:农业出版社1977年版,第144—150页。

持续下降、地面沉降塌陷等严重后果<sup>①</sup>因而我国应根据各地区水资源的状况,合理利用地下水资源,实现农业的可持续发展。其次,当前我国许多地区的地下水污染状况已十分严重,政府应加大力度控制工业、生活污染物的排放<sup>②</sup>保障农业用水的安全。

附表 1 地下水开采、农业灌溉与粮食生产(针对气候冲击的考察)

	被解释变量:			
	粮食亩产( log)		粮食总产出( log)	
	( 1)	( 2)	( 3)	( 4)
核心解释变量:				
机电井密度 1970 年后	0.0364 *** ( 0.00753)	0.0142 * ( 0.00809)	0.0465 *** ( 0.00818)	0.0244 *** ( 0.00859)
机电井密度干旱 1970 年后	0.0211 *** ( 0.00715)	0.0180 ** ( 0.00707)	0.0179 ** ( 0.00827)	0.0146 * ( 0.00834)
机电井密度多雨 1970 年后	0.0421 *** ( 0.00954)	0.0367 *** ( 0.00889)	0.0401 *** ( 0.00938)	0.0346 *** ( 0.00870)
灌溉比例		0.370 *** ( 0.0547)		0.382 *** ( 0.0578)
灌溉比例干旱		0.0213 ( 0.0487)		0.0149 ( 0.0479)
灌溉比例多雨		0.116 * ( 0.0697)		0.0635 ( 0.0652)
控制变量:	基本	基本	基本	基本
观测值	1 904	1 904	1 904	1 904
R <sup>2</sup>	0.899	0.903	0.962	0.964

说明: 括号中汇报的是稳健标准误统计量。\*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1。

## A Water Resource Revolution: The Exploitation of Groundwater and the Agricultural Development in China ( 1963 – 1978)

Lin Youhong

**Abstract:** This paper studies the impact of the exploitation of groundwater on the development of agriculture in China by using the county-level panel data of Henan from 1963 to 1978. The estimation of difference-in-difference model shows that: the crop yield per mu and total crop output both witnessed significantly faster increase from 1960s to 1970s in the regions with higher density of tube well in 1970. Besides, the construction of tube well significantly alleviated the negative effect of precipitation abnormality ( drought or heavy rainfall) on crop production. The important role of groundwater for Henan’s agricultural development is confirmed by using the groundwater abundance as the instrument variable. As for the channels through which groundwater use promoted the agricultural development, we find the exploitation of groundwater not only raised the irrigation ratio of cultivated land, but also decreased the size of salt-affected land. Thus, the exploitation of groundwater is an important force that promote the agricultural development in China.

**Key Words:** Groundwater; Agricultural Development; Weather Shock

(责任编辑: 黄英伟)

① 杨丽芝、曲万龙、刘春华《华北平原地下水资源功能衰退与恢复途径研究》,《干旱区资源与环境》2013 年第 27 期。  
② 罗兰《我国地下水污染现状与防治对策研究》,《中国地质大学学报( 社会科学版)》2008 年第 2 期。