

南水北调工程通水对受水区农业用水的影响

徐章星^{1,2,3}, 邱晓楠¹, 田贵良^{1,2,3}, 李祎雯^{1,2,3}

(1. 河海大学商学院, 南京 211100; 2. 生态文明建设与流域保护研究院, 南京 210024;

3. 江苏长江保护与高质量发展研究基地, 南京 210024)

摘要: 利用中国31个省(自治区、直辖市)2004—2021年面板数据, 构建渐进双重差分模型, 基于规模和结构双重视角, 考察了南水北调工程通水对于受水区农业用水的影响。结果表明: (1)南水北调工程通水降低了受水区农业用水规模和农业用水占比, 其中的作用机制为经济作物种植面积和比例的减少, 以及粮食作物种植比例的增加; (2)相较于东线而言, 南水北调工程通水对于受水区农业用水的负向影响在中线地区更为严重; (3)南水北调工程“通水间接返还农业用水”的效应存在, 但现阶段被工程对受水区农业用水的直接效应所遮掩。因此, 需要从战略高度清晰认识到南水北调工程通水对于受水区农业用水的影响, 强化农业用水支撑, 保障国家粮食安全, 推动南水北调后续工程高质量发展。

关键词: 南水北调; 工程通水; 农业用水; 渐进双重差分模型

水利是农业的命脉。理论上, 南水北调工程是实现中国水资源优化配置和促进经济社会高质量发展的重大战略性基础设施, 其在向受水区城市提供工业和生活用水的同时能够缓解地下水超采, 为农业用水间接提供了保障^[1,2], 同时工程的实施伴随着灌溉区的规划和修建, 改善了灌溉条件^[3,4], 能够助力粮食增产^[5]。南水北调工程置换了城市和工业挤占的农业和生态用水, 同时部分受水区将存放在河道里的调水尾水用于灌溉和生态补水, 间接和直接提高了农业和生态用水的保证率^[6]。但在实践中, 工程建设改变了沿线水文、土壤等自然条件^[7], 受水区出现灌溉沟渠干涸、灌溉用水提水困难等问题^[8], 同时调水期涵盖冬灌及春灌等重要时段, 加剧了农业用水负担^[9]。那么, 南水北调工程通水对受水区农业用水的影响到底如何? 本文就此问题展开讨论。

当前, 国内外关于调水工程对受水区的影响研究主要集中在以下几点: (1)从水资源配置、承载能力等方面分析调水工程对受水区水资源系统的影响^[10,11], 例如韩雁等^[12]通过构建基于量、质、域、流水资源承载力评估方法研究发现, 南水北调使得2015年北京、天津两地水资源承载力均提高了5%; Zhu等^[13]通过搜集2010—2017年北京市水文地质等相关数据, 系统分析了南水北调中线工程调水前后北京市地下水位的变动趋势。 (2)探讨调水工程和受水区经济发展之间的关系^[14,15], 例如杨丽等^[16]采用分摊系数法计算出南水北

收稿日期: 2023-09-04; 修订日期: 2024-02-19

基金项目: 江苏省社会科学基金青年项目(22EYC011); 江苏高校哲学社会科学研究一般项目(2022SJYB0032); 中央高校基本科研业务经费项目(B230207027); 江苏省创新支撑计划(软科学研究)专项资助(BR2023021-2)

作者简介: 徐章星(1991-), 男, 江苏苏州人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 主要从事水利经济学研究。

E-mail: xuzhangxing@hhu.edu.cn

通讯作者: 田贵良(1982-), 男, 江苏睢宁人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源与水环境经济学研究。

E-mail: tianguiliang@hhu.edu.cn

调中线工程通水后对北京所产生的供水效益为311.76亿元,其中经济效益为295.75亿元;刘辉等^[17]利用合成控制法研究发现,南水北调东线工程通水对京杭大运河沿线城市经济发展拉动效应明显。(3)基于调水背景,考察受水区水资源、社会经济、生态环境间的协调关系^[18,19],例如程扬等^[20]提出了水文条件变化与生态效应相结合,将社会效应也纳入受水区整体效应评估之中的新思路;Miao等^[21]基于“资源—经济—环境”系统研究发现,东线和中线受水区城市在2006—2014年用水绩效优于其他城市。

南水北调工程调水主要供给工业和生活,对受水区农业用水的影响似乎不那么直接,也未形成统一观点:(1)积极影响主要集中于调水通过替代地下水间接为农业供水。由于农业用水的90%为灌溉,而灌溉仍以地下水与地表水为主,南水北调对于缓解地下水超采具有重要作用,这间接为农业用水提供了水资源^[22,23]。正如秦欢欢等^[24]研究发现,到2028年,南水北调工程将使得华北平原缺水指数下降50.7%,地下水储量恢复1.12 m。进一步,Wang等^[25]模拟预测了2017—2050年南水北调背景下的农业用水发现,如将调水量提高到满负荷水平,将增加受水区灌溉用水量0.4%~4.67%。同时,调水沿线灌区的兴建也改善了灌溉条件,例如京杭运河扬州段沿运灌区通过多年实践,已形成经沿线闸洞引水灌溉的模式^[3]。(2)消极影响主要在于调水在时间上涵盖了灌溉期,东线工程更在空间上占用了灌溉河道,破坏了原有灌溉体系。结合实务部门经验来看,例如鲁北段小运河输水工程占用了阳谷县小运河下游,部分渠系的引水和灌溉功能丧失,引水影响面积约2133.33 hm²,灌溉影响面积达3400 hm²^[26]。再如,邓志刚等^[9]发现,调水期涵盖灌溉期,随着沿线农业生产规模的扩大,灌区影响工程已不足以解决农业用水需要。数据显示,近年来东线江苏境内受水区农田灌溉年用水量为394.6 m³·hm⁻²,低于全省平均水平的423.1 m³·hm⁻²^[27]。正如Berkoff^[28]预测,南水北调工程的实施将使灌溉用水减少6.09%。相类似地,Xu等^[29]构建基于双重差分法的准自然实验,从实证层面探讨了南水北调工程对华北平原农业生产的影响发现,调水后受水区农业用水量下降了7.3%。此外,由于降水与灌溉消耗负相关,有学者通过考察南水北调的气候效应发现,调水工程增加了降雨量,导致受水区的灌溉需求不会显著增加^[30,31]。

在研究方法上,双重差分法作为政策评估的研究手段,在国内外已得到了广泛的运用。通过构造基于政策处理的“处理组”和未经政策处理的“对照组”,同时控制住其他因素,对比政策前后的组间差异,能够识别出政策实施的具体效果^[32,33],例如秦腾等^[34]利用双重差分法探究了水权交易机制对农业节水的影响机制与具体作用路径。由于南水北调东线和中线一期工程分别于2013年和2014年建成通水,政策开始时间不统一,这就形成了一种渐进性的政策效应。通过构建渐进双重差分模型,为考察南水北调工程通水对经济、社会、生态等方面的影响提供了“准自然实验”,从而为评估南水北调工程通水对受水区农业用水的影响提供了契机。有鉴于此,本文以中国31个省(自治区、直辖市)2004—2021年的面板数据,构建渐进双重差分模型,考察南水北调工程通水对受水区农业用水的影响。本文可能的边际贡献有:(1)以水利经济学和农业经济学等理论为基础,将调水工程和受水区农业用水纳入一个统一的分析框架,拓宽“水利—农业”研究前沿,剖析南水北调工程通水对受水区农业用水的具体影响,丰富水资源优化配置等理论;(2)在理论研究和实务部门经验相矛盾的背景下设计准自然实验,构建完整逻辑,基于规模和结构双重视角,考察南水北调工程通水对于受水区农业用水的具体影响,探索其中的机制和异质性,并在南水北调后续工程高质量发展背景下提出受水区农业用水的优化路径。

1 理论分析与研究假说

1.1 南水北调工程通水对受水区农业用水规模的影响效应分析

南水北调工程通水作为外生冲击,其对受水区农业用水的影响主要通过农业用水规模和农业用水结构两条路径。作为农业生产中的必须投入要素,水资源的重要性不容忽视。从供给端看,结合厂商理论,水资源的需求曲线向右下方倾斜,供给曲线向右上方倾斜,南水北调工程通水后,受水区水资源的供给增加。但是,根据《南水北调工程供水管理条例》,引调水为两部制水价,由基本水价和计量水价构成,水价确定方式较为固定,缺乏弹性和市场竞争力。以受水区东线临清市为例,邱屯闸至大屯水库综合水价为2.24元/m³(基本水价1.09元/m³,计量水价1.15元/m³),此价格为当地自来水厂购入南水北调工程引调水的原始价格,通过管涵输水到使用端后,成本进一步上升;而当地黄河水用于农业灌溉水价为0.01~0.012元/m³,用于非农水价为0.12~0.14元/m³。总体上看,一方面,南水北调工程通水主要供给城市和工业,从自来水厂购入引调水到使用端成本的上升抑制了部分用水需求,受水区农业间接补水效应将受到冲击;另一方面,尽管南水北调工程通水增加了受水区水资源供给,但由于本地水的竞争力更高,受水区农业灌溉不会考虑引调水,导致受水区农业用水供需不相匹配。

从需求端看,南水北调中线工程对华北平原地下水起到回补作用。引调水进京后通过增加供水量对生态环境起到积极作用^[35,36],对北京市地下水位稳定恢复的贡献为40%^[31],预计华北平原未来地下水位可上升150 mm^[37];而东线工程通水对梁济运河区域地下水位的影响超过了降水的影响^[38]。但是,调水沿线多数位于半湿润区域,由于蒸发量大于降水量,土壤中的盐分向地表集聚,引发土壤盐碱化问题,降低了受水区土壤质量,同时中线工程建设为了安放管涵破坏了土壤结构,导致了水土流失和泥沙沉淀;南水北调工程的建设涉及到开山动土等工作,改变了原有的地形条件,邻近地区土壤性质发生变化,沿线气候也发生变化,土地资源贫瘠化现象产生,农田产量下降,受水区农业生产开始受到冲击^[7]。水资源和土地作为种植业层面的基本生产要素,受水区土壤质量的下降导致与之匹配的水资源需求的降低。同时,为了减少水资源污染,受水区农田被要求禁止或者少用农药和化肥,导致与之相适配的农业用水需求也随着减少。考虑到养殖业,为了保障水质,受水区很多地区养殖场被迫搬离和关停,降低了农业用水量。例如针对南水北调工程沿线非法养殖等问题,自2019年开始,河北石家庄市检察院部署开展了“护航南水北调供水安全”公益诉讼专项整治活动;山东为确保输水水质,对养殖空间进行极限压缩,要求南四湖超过60%的养殖面积退出。

此外,调水期为每年11月至次年5月,与冬灌及春灌时间相重合,对于受水区而言,加剧了灌溉负担,农业用水量得不到保障。更严重的是,东线工程利用京杭大运河及其平行的河道输水,占用了受水区主要灌溉渠道,为了确保调水期水量安全,河道中水不得用于农业灌溉,原运河也丧失了调蓄功能。据此,提出本文的研究假说:

H1:在其他条件不变的情况下,南水北调工程通水降低了受水区农业用水规模。

1.2 南水北调工程通水对受水区农业用水结构的影响效应分析

进一步考察受水区本地水的内部结构:对于地下水而言,南水北调工程的建设对地下水压采保护提出了更高的要求。例如受水区东线德州市2016—2022年累计封停地下水井4910眼,压采水量1.37亿m³,置换出来的地下水主要用于涵养水源和灌溉,但由于水

井口封停, 地表直接的引灌渠道受限, 影响到受水区农业地下水用水。对于地表水而言, 由于用水空间受到进一步的压缩, 逐渐形成工业用水、生活用水、农业用水、生态用水等相互竞争的新格局, 相较于工业和服务业, 农业用水的边际收益较低, 导致受水区农业用水量得不到保证, 粮食生产的水安全保障也开始受到冲击。据此判断, 在粮食安全框架内, 受到南水北调工程的外生冲击, 如果受水区农业用水得不到保证, 农户灌溉行为将进行适应性调整, 一个现实的体现是农户灌溉频率的降低或灌溉总用水量的减少。在受水区农业用水总量减少的背景下供水总量增加, 降低了农业用水占比, 改变了农业用水结构。据此, 提出本文的研究假说:

H2: 在其他条件不变的情况下, 南水北调工程通水降低了受水区农业用水占比。

1.3 南水北调工程通水对受水区农业用水的影响机制分析

一般认为, 受水区农业用水由供给方即当地地表水和地下水决定。因此, 在模型假设上, 需求因素决定了受水区农业用水需求规模和需求结构, 而供给因素决定了受水区农业用水规模和用水结构。但是, 以上结论的建立忽视了一个重要的前提假定, 即受水区农业用水供给小于农业用水需求, 此时受水区农业用水规模和用水结构由供给方决定。当受水区农业用水供给大于农业用水需求时, 此时受水区农业用水则由需求因素所决定。归纳而言, 受水区农业用水决定机制如下:

$$W_i = \text{Min}\{S_{ei}, D_i\} \quad (1)$$

式中: W_i 为受水区农业用水, 等于省份 i 在农业用水有效供给 S_{ei} 和农业用水需求 D_i 之间的较小值。根据前文分析, 南水北调工程通水后, 由于引调水价格较高, 导致受水区农业用水有效供给 S_{ei} 小于实际供给 S_i 。当 $S_{ei} \geq D_i$ 时, 省份 i 的农业用水等于其需求, 受水区农业用水未受到来自供给方的约束, W_i 由需求因素决定; 当 $S_{ei} < D_i$ 时, 省份 i 的农业用水等于有效供给量, 受水区农业用水受到来自供给方的约束, W_i 由供给因素决定。因此, 在省级层面收集到的统计数据是在南水北调工程通水后基于供需再次匹配后的农业用水规模和用水结构。事实上, 南水北调工程通水后, 受水区农业用水规模和农业用水占比供给减少, 农户会选择以低耗水作物替代高耗水作物。换句话说, 农业生产可能根据通水这一外生冲击进行适应性调整, 具体行为包括调整作物种植面积和种植结构, 进而降低受水区农业用水需求。在全国范围内, 粮食作物耗水量低于经济作物, 按照供求理论, 农户可以增加粮食作物种植面积(比例)或降低经济作物种植面积(比例)来减少农作物的实际需水量, 在农业用水供给减少的背景下降低用水需求, 调整用水结构, 使得农业用水供需再次匹配。据此, 提出本文的研究假说:

H3: 南水北调工程通水通过增加粮食作物种植面积和比例, 降低了受水区农业用水规模和农业用水占比。

H4: 南水北调工程通水通过减少经济作物种植面积和比例, 降低了受水区农业用水规模和农业用水占比。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 模型设定

由于南水北调东线和中线工程通水起始年份不同, 本文采用渐进双重差分法来估计南水北调工程通水对受水区农业用水的具体影响, 模型设定如下:

$$agriwater_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 STN_{it} + \beta X_{it} + \delta_i + \varphi_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中：被解释变量 $agriwater_{it}$ 为受水区省份 i 在 t 年的农业用水，包括农业用水规模和农业用水结构两个方面，核心自变量 STN_{it} 为虚拟变量，如果省份 i 在 t 年南水北调工程已建成通水，则取值为 1，否则为 0； X_{it} 为省份 i 在 t 年的控制变量，包括播种面积、一产就业、灌溉条件、农村居民用电量、农业产值、涉农固定资产和水资源禀赋； α_0 为截距项； α_1 为系数，表示南水北调工程通水后受水区省份（处理组）和非受水区省份（对照组）之间的农业用水差异； β 为控制变量系数； δ_i 为地区固定效应，用于控制省级层面影响农业用水但不随时间变动的因素； φ_t 为时间固定效应，用于控制时间趋势的影响； ε_{it} 为聚类到省级层面的随机扰动项。

2.2 变量选取

2.2.1 被解释变量

本文的核心被解释变量是 2004—2021 年各省（自治区、直辖市）的农业用水（ $agriwater_{it}$ ），从规模和结构两个维度进行考察。农业用水规模以农业用水量（亿 m^3 ）的自然对数来衡量；农业用水结构以农业用水量占总用水量的比例来测度，总用水量包括工业、农业、生活、生态及其他用水五个方面。

2.2.2 核心解释变量

核心自变量工程通水 STN_{it} 为虚拟变量，东线工程于 2013 年 11 月 15 日建成通水，调水主干线全长 1466.5 km，一期工程多年平均抽江水量为 87.7 亿 m^3 ，受水区省份为山东、江苏、安徽，在 2014 年及之后令这三省份 STN 等于 1，其余等于 0；中线工程于 2014 年 12 月 12 日建成通水，输水干线全长 1432 km，一期工程多年平均年调水量为 95 亿 m^3 ，受水区为北京、天津、河北、河南四省（直辖市），在 2015 年及之后令这四省（直辖市） STN 等于 1，其余等于 0。

2.2.3 控制变量

模型（2）中的控制变量（ X_{it} ）包括：（1）播种面积，以农作物总播种面积（千 hm^2 ）的自然对数来衡量。扩大农作物总播种面积会增加农业用水量，因此较大规模播种面积往往对应较高的农业用水需求。（2）一产就业，以第一产业就业人数（万人）的自然对数来衡量。第一产业就业人数越多，说明当地就业结构越偏向于农业，从事农业生产或在农业部门工作的人数越多，农业用水量越有可能增加，农业用水占比也可能越高。（3）灌溉条件，以有效灌溉面积除以农作物总播种面积来测度。灌溉在农业用水中占比约 90%，灌溉基础条件越好，农业用水量需求也越高。（4）农村居民用电量，以农村用电量（亿 $kW \cdot h$ ）/乡村人口数（万人）来测度。用电量是农村技术进步的重要标志，一方面，农村居民用电量越高，越有可能使用机械推动规模经营，对于农业用水需求也增加；另一方面，农村居民用电量越高，也可能是产业结构调整 and 升级导致的结果，农业产值相对较低，此时对于农业用水规模和结构的影响可能是负向的。（5）农业产值，以分省（自治区、直辖市）农业总产值（亿元）的自然对数来衡量。农业产值越高，对于农业用水的需求也越高。（6）涉农固定资产，以农林牧渔业固定资产投资（亿元）的自然对数来衡量。农林牧渔业固定资产投资越多，说明未来短期内产业结构更偏向于农业生产，对农业用水规模和结构具有正向影响。（7）水资源禀赋，以分省（自治区、直辖市）供水总量（亿 m^3 ）的自然对数来衡量。一方面，地区水资源越充裕，分配到工业、农业、生活等方面的可用水量越多；另一

方面，水资源越充裕的省（自治区、直辖市），其产业结构更可能偏向于水资源需求更高的第二产业，如果供小于求，可能会挤占农业用水空间。

2.3 数据说明

本文研究对象为31个省（自治区、直辖市），其中7个为南水北调工程受水区省（直辖市），设定为处理组；24个为非南水北调工程受水区省（自治区、直辖市），设定为对照组，样本区间为2004—2021年，构建了18年的面板数据。数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国水利统计年鉴》以及《中国农村统计年鉴》，极少数缺失数据优先通过CSMAR和Wind数据库进行补充，如仍有缺失，采取线性插值法和均值法进行补充。相关变量及描述性统计如表1所示。

表1 变量描述性统计
Table 1 Descriptive statistics of variables

变量	单位	样本量/个	均值	标准差	最小值	中位数	最大值
农业用水规模	亿 m ³ ，取自然对数	558	4.395	0.987	1.030	4.595	6.331
农业用水结构	无	558	0.611	0.181	0.069	0.620	0.952
工程通水	无	558	0.093	0.291	0	0	1
播种面积	千 hm ² ，取自然对数	558	8.103	1.190	4.484	8.479	9.620
一产就业	万人，取自然对数	558	6.291	1.131	3.219	6.554	8.085
灌溉条件	无	558	0.433	0.187	0.148	0.379	1.234
农村居民用电量	亿 kW·h/万人	558	0.166	0.440	0.003	0.053	4.087
农业产值	亿元，取自然对数	558	6.790	1.191	3.238	7.055	8.789
涉农固定资产	亿元，取自然对数	558	5.425	1.451	0.473	5.541	8.404
水资源禀赋	亿 m ³ ，取自然对数	558	4.952	0.845	3.094	5.188	6.428

3 结果分析

3.1 基准分析

表2列(1)和列(2)分别考察的是未控制和控制其他变量时南水北调工程通水对受水区农业用水规模的影响，列(3)和列(4)分别考察的是未控制和控制其他变量时南水北调工程通水对受水区农业用水结构的影响。为使实证结果更为准确，在表2列(1)~列(4)中均控制了时间和省份的固定效应。表2的列(1)和列(3)显示，当不加入控制变量，仅控制时间和省份固定效应时，南水北调工程通水对受水区农业用水规模和农业用水结构均具有负向影响，分别在10%和1%的水平上显著。当加入控制变量并且控制时间和省份的固定效应时，表2的列(2)和列(4)显示，南水北调工程通水在1%的显著水平上对农业用水规模和农业用水结构均具有负向影响，系数分别为-0.1469和-0.0641。该结果表明，无论是否加入控制变量，南水北调工程通水都显著降低了农业用水规模和农业用水占比。因此，基于规模和结构双重视角可以发现，南水北调工程通水在增加城市工业用水和生活用水供给的同时，反而吸纳了原先的部分农业用水，威胁到农业用水安全。究其原因，从供给端看，工程通水后工业企业的用水量得以增加，但在需求端，考虑到引调水的成本较高，市场竞争力不强，在受水区政府的鼓励下能够形成固定大规模用水的企业并不多，生活用水层面更愿意使用价格相对较低的本地水，虽然年度调水量不低，但在较高水价下，工业和生活用水潜在需求未能得到有效挖掘，农业用水更是无力承担，

表2 基准回归结果
Table 2 Benchmark regression results

变量	农业用水规模		农业用水结构	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>STN</i>	-0.2183* (0.1164)	-0.1469*** (0.0403)	-0.0951*** (0.0238)	-0.0641*** (0.0136)
控制变量	否	是	否	是
常数项	4.4153*** (0.0108)	-4.3600*** (1.2670)	0.6201*** (0.0022)	-0.5919 (0.5728)
时间固定效应	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
观测值/个	558	558	558	558
调整的 <i>R</i> ²	0.9857	0.9940	0.9634	0.9718

注：括号内为聚类到省份的标准误，*、***分别表示10%、1%的显著性水平，下同。

当前引调水价格下出现供需两端匹配矛盾。从需求端看，调水期和灌溉期相重合，导致引水困难增加，同时工程通水改变了沿线及受水区自然条件，引发土地质量变化，导致与之匹配的农业用水量下降。在水资源总供给规模增加的前提下农业用水量下降，也改变了农业用水结构。因此，南水北调工程通水显著降低了受水区农业用水规模和农业用水占比，本文的研究假说H1和假说H2得以验证。

3.2 渐进双重差分模型有效性检验

3.2.1 平行趋势检验

对于双重差分法而言，前提要求需要满足“平行趋势假定”，即在南水北调工程通水前，处理组和对照组省（自治区、直辖市）的变化趋势需要保持一致，否则模型无法剔除时间层面的差异，回归结果将出现偏差。据此，本文构建模型如下：

$$agriwater_{it} = \alpha + \beta_n \sum_{n \geq -10}^8 STN_{it, policy+n} + X'_{it} \gamma + \delta_i + \varphi_t + \varepsilon_{it} \tag{3}$$

式中：*STN*_{*it, policy+n*}为政策实施窗口，政策实施当年取1，其他年份取0；*X*_{*it*}[']为其他控制变量。为避免多重共线性，将南水北调工程通水前1年作为基期，即在方程不包括*n*=-1的基础上，检验各省（自治区、直辖市）在南水北调工程通水前10年到后8年的动态趋势变化。

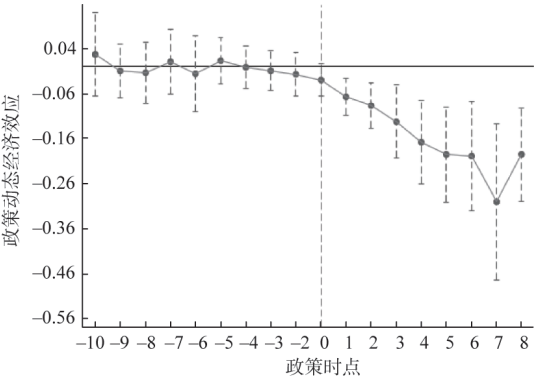


图1 平行趋势检验（农业用水规模）

Fig. 1 Parallel trend test (scale of agricultural water use)

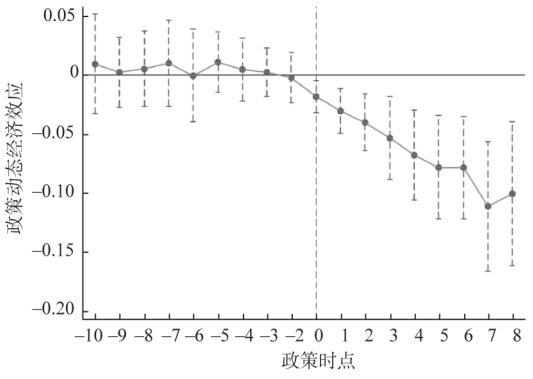


图2 平行趋势检验（农业用水结构）

Fig. 2 Parallel trend test (structure of agricultural water use)

回归结果见图1和图2, 其中横轴和纵轴分别为年份和估计系数, 黑色圆点表示南水北调工程通水第 n 年处理组的政策效应, 虚线表示90%水平的置信区间。不难发现, 在政策窗口期内, 即在南水北调工程通水前, 所有回归结果均不显著, 表明处理组和对照组的农业用水规模和结构不存在统计意义上的显著差异, 满足平行趋势假设。进一步观察图1和图2发现, 在南水北调工程通水后, 所有回归系数均显著为负, 说明相较对照组而言, 处理组农业用水规模和农业用水占比均显著降低。该结果表明, 南水北调工程通水降低了受水区农业用水规模和农业用水占比, 且影响结果在时间上具有一定的持续性。

3.2.2 安慰剂检验

为了避免其他随机因素对基准回归造成的影响, 打乱核心变量 STN , 先全部取出后进行暂存, 然后将其随机赋值给每一个样本, 形成伪处理组, 并构建出安慰剂检验变量 STN_false 。理论而言, 对于随机生成的伪处理组, 安慰剂检验变量 STN_false 不会对被解释变量受水区农业用水产生显著影响, 然后重复抽样500次进行回归, 将其他可能的偶然性因素进一步剔除, 得到系数的核密度分布如图3和图4所示。结果显示, 随机抽样估计系数的核密度分布图呈现出均值为0的正态分布, 即伪回归系数的均值接近于0, 远大于图中虚线所示的基准回归的真实系数, 同时 P 值 $>10\%$, 这说明安慰剂检验效果是显著的。据此可以判断, 南水北调工程通水对于受水区农业用水的影响并非来源于其他不可观测因素, 安慰剂检验得以通过。

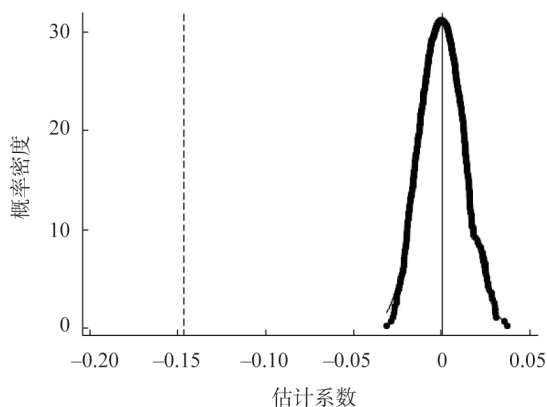


图3 安慰剂检验 (农业用水规模)

Fig. 3 Placebo test (scale of agricultural water use)

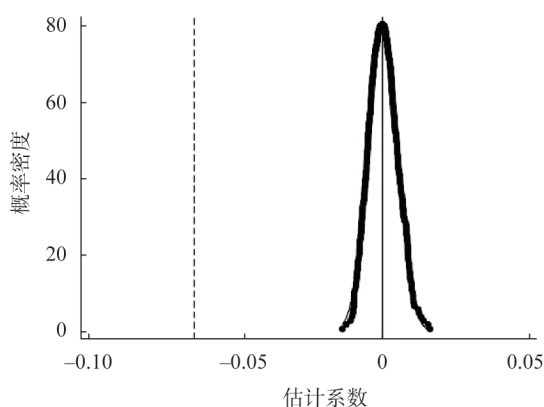


图4 安慰剂检验 (农业用水结构)

Fig. 4 Placebo test (structure of agricultural water use)

3.3 稳健性检验

3.3.1 排除同期政策

2014年3月, 习近平总书记在中央财经领导小组第五次会议上, 就保障国家水安全提出了“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路。此后为贯彻落实十六字治水方针, 国家层面上也陆续出台了相关政策。在样本考察期内, 可能影响本文估计结果的政策主要有水权改革政策和水资源费改税政策。2014年水利部印发《水利部关于开展水权试点工作的通知》, 提出在宁夏、江西、湖北、内蒙古、河南、甘肃和广东7个省(自治区)启动水权试点, 旨在以市场化手段落实最严格的水资源管理制度, 促进水资源保护和节约。为了排除该政策的影响, 本文以2014年为时间节点, 设置水权改革虚拟变量 $Right$ (是否为水权改革试点省份与年份是否为2014年及之后相乘) 并加入基准方程, 回归结果

见表3列(1)和列(2)。结果表明,控制水权改革政策后,南水北调工程通水依旧在1%的水平上负向影响受水区农业用水规模和农业用水结构,系数分别为-0.1538和-0.0669,这说明水权改革政策的实施并未对估计结果造成明显偏误。相类似地,在样本考察期内,2016年起,中国在河北开始实行水资源费改税试点,以期有效发挥税收杠杆作用,合理调节用水需求和用水行为,促进水资源的高效利用,并在2017年扩大至北京、天津、山西、内蒙古、河南、山东、四川、陕西、宁夏9个省(自治区、直辖市)。为了排除该政策的影响,本文参考田贵良等^[39]的做法,以2017年作为时间节点,以水资源费改税试点扩围后的9个省(自治区、直辖市)作为处理组,其余22个省(自治区、直辖市)作为对照组,设置水资源费改税虚拟变量*Tax*(是否为水资源费改税省份与年份是否为2017年及之后相乘),并加入模型(2)进行回归。根据表3的列(3)和列(4)显示,在控制水资源费改税政策后,南水北调工程通水对于受水区农业用水规模和农业用水结构的影响系数分别为-0.1335和-0.0589,均在1%的水平上显著。因此,无论排除水权改革政策还是水资源费改税政策后,南水北调工程通水降低农业用水规模和农业用水占比的结论是稳健的。

3.3.2 加入前定变量

尽管剔除了水权改革政策和水资源费改税政策的影响,但处理组和对照组中仍可能存在固有差异。事实上,南水北调工程的建设首先需要考虑地区水资源初始禀赋,水资源初始禀赋较差的地区更有可能通水,并且更容易获得更多的引调水规模。为此,为了排除该自选择问题,加入初始年份2004年省份人均用水量与时间趋势项的交互项作为前定变量加入基准模型,以控制地区初始水资源禀赋,回归结果在表3列(5)和列(6)。结果显示,在加入前定变量后,交互项*STN*依然在1%的水平上负向影响受水区农业用水规模和农业用水结构,系数分别为-0.1562和-0.0673,系数的方向和显著程度均未发生明显变化。这说明,尽管一些先决因素会影响南水北调工程通水的政策效果,但是在控制

表3 稳健性检验：排除同期政策和加入前定变量
Table 3 Robustness test: Excluding contemporaneous policies and incorporating prefixed variables

变量	排除水权改革政策		排除水资源费改税政策		加入前定变量	
	农业用水规模 (1)	农业用水结构 (2)	农业用水规模 (3)	农业用水结构 (4)	农业用水规模 (5)	农业用水结构 (6)
<i>STN</i>	-0.1538*** (0.0398)	-0.0669*** (0.0141)	-0.1335*** (0.0378)	-0.0589*** (0.0128)	-0.1562*** (0.0402)	-0.0673*** (0.0140)
<i>RIGHT</i>	-0.0463 (0.0287)	-0.0188 (0.0142)				
<i>TAX</i>			-0.0998** (0.0399)	-0.0386** (0.0162)		
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	-4.3203*** (1.2362)	-0.5758 (0.5546)	-4.4770*** (1.1981)	-0.6371 (0.5424)	-4.5169*** (1.2076)	-0.6449 (0.5758)
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值/个	558	558	558	558	558	558
调整的 <i>R</i> ²	0.9941	0.9722	0.9944	0.9735	0.9942	0.9724

注：“*”表示5%的显著性水平，下同。

前定变量的非线性趋势变化后，南水北调工程通水对于受水区农业用水的影响效应依然存在，前文的估计结果具有稳健性。

3.3.3 PSM-DID 检验

在南水北调工程通水前，处理组和对照组省（自治区、直辖市）的可观察的特征变量可能存在显著差异，即如果南水北调工程通水省（自治区、直辖市）和其他省（自治区、直辖市）之间存在系统性差异，将会导致渐进双重差分估计出现偏误。据此，本文采取双重差分倾向得分匹配（PSM-DID）进行稳健性检验：首先，对于每一个处理组省（自治区、直辖市），选取播种面积、一产就业、灌溉条件、农村居民用电量、农业产值、涉农资产、水资源禀赋这7个变量作为协变量，采用卡尺匹配和核匹配两种方法进行匹配，识别并匹配可观测特征最相似的对照省（自治区、直辖市）；其次，平衡性检验结果发现，除了极个别变量外，匹配后的协变量偏差均在10%以内，说明协变量的选取是有效的；最后，对匹配后的样本进行估计，结果如表4列（1）~列（4）所示。从回归系数的方向和显著程度可以发现，PSM-DID的回归结果和基准回归结果系数相一致，因此前文的估计结果是稳健的。

3.3.4 使用稳健DID估计量的检验

根据 Baker 等^[40]，渐进双重差分法先对在不同时期政策影响的处理组和对照组分别计算，再以某一权重进行加权平均。考虑到在不同年份，南水北调工程对处理组的影响可能存在差异，同时该差异可能随时间产生动态变化，导致双重差分法估计可能有偏。因此，使用稳健DID估计量进行检验，方法为CSDID估计：首先，设定初始年份为0；其次，令东线山东、江苏和安徽三省初始处理年份为2014年，令北京、天津、河北、河南四省（直辖市）初始处理年份为2015年；最后，参考 Sant' Anna 等^[41]，采用逆概率和加权最小二乘法改进后的双稳健DID进行估计，并生成平均处理效应（ATT），如表4列（5）~列（6）所示。结果表明，使用CSDID估计后，南水北调工程通水对于受水区农业用水规模和农业用水结构的影响分别为-0.1178和-0.0328，分别在10%和5%的水平上显著，因此前文的估计结果是稳健的。

表4 稳健性检验：PSM-DID和CSDID估计
Table 4 Robustness testing: PSM-DID and CSDID estimates

变量	卡尺匹配		核匹配		CSDID估计	
	农业用水规模 (1)	农业用水结构 (2)	农业用水规模 (3)	农业用水结构 (4)	农业用水规模 (5)	农业用水结构 (6)
STN	-0.1407*** (0.0443)	-0.0547*** (0.0131)	-0.1443*** (0.0407)	-0.0617*** (0.0136)		
平均处理效应					-0.1178* (0.0624)	-0.0328** (0.0147)
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	-4.2556*** (1.3238)	-0.6209 (0.5647)	-4.3406*** (1.2705)	-0.5744 (0.5736)	—	—
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值/个	539	539	557	557	558	558
调整的R ²	0.9943	0.9740	0.9941	0.9725	—	—

3.4 进一步分析

3.4.1 机制检验

在前文的理论分析中，认为南水北调工程通水能够通过农户适应性行为进而影响到受水区农业用水规模和农业用水结构。为了避免以往中介效应模型在经济学研究中验证机制的不合理性，参考江艇^[42]的做法，在基准模型上考察南水北调工程通水对于农户适应性行为的影响，中介变量为粮食（经济）作物种植面积和粮食（经济）作物种植占比，分别用粮食（经济）作物播种面积（千hm²）的自然对数和粮食（经济）作物播种面积占农作物总播种面积比例来衡量。具体考察核心变量与中介变量之间的关系，如果南水北调工程的系数方向和显著程度与预期相同，并且已有文献或证据支持中介变量能够显著影响农业用水，说明南水北调工程通水能够通过中介变量影响到受水区农业用水。机制分析结果如表5所示。根据列（1），南水北调工程系数为0.0891，不显著，而列（2）南水北调工程系数为-0.1852，在1%水平上显著，这说明南水北调工程通水作为外生冲击，农户进行适应性行为调整，降低了受水区经济作物种植面积。结合表5列（3）和列（4）来看，南水北调工程通水对于粮食作物种植比例和经济作物种植比例的影响分别为0.0419和-0.0498，均在1%的水平上显著，这说明南水北调工程通水后，减少了受水区农业用水供给，通过提升粮食作物种植比例和降低经济作物种植比例可以降低农业用水需求，进而降低受水区农业用水规模和农业用水占比。但也发现，南水北调工程通水对于受水区粮食作物种植面积影响不显著，且提升了粮食作物比例，其中的可能原因是减少了总播种面积。综合理论分析和实证结果可知，南水北调工程通水通过减少经济作物种植面积和比例，提升粮食作物种植比例，进而降低受水区农业用水规模和农业用水占比。

表5 机制检验

Table 5 Mechanism verification

变量	粮食作物面积 (1)	经济作物面积 (2)	粮食作物比例 (3)	经济作物比例 (4)
<i>STN</i>	0.0891 (0.0839)	-0.1852*** (0.0526)	0.0419*** (0.0151)	-0.0498*** (0.0163)
控制变量	是	是	是	是
常数项	5.1333** (2.3548)	6.8263*** (2.3067)	0.6723* (0.3604)	0.3261 (0.4153)
时间固定效应	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
观测值/个	558	558	558	558
调整的 <i>R</i> ²	0.9887	0.9871	0.9819	0.9373

3.4.2 异质性考察

中国幅员辽阔，地区间的经济发展水平、产业布局、人口结构等差异较大，而南水北调工程的建设也存在区域差异。因此，本文以线路为划分标准，将全国分为不同区域进行回归，尝试更加详细地了解南水北调工程通水对受水区农业用水的影响，回归结果如表6所示。可以发现，南水北调工程通水对东线和中线受水区农业用水规模和农业用水结构均存在显著的抑制作用，同时相较于东线而言，中线工程的影响更大。造成以上结果的可能原因是，一方面，产业结构升级的速度并未跟上水资源供给速度的增加，即便中线工程调水已成为沿线多个重要城市城区供水的主力水源，消纳情况较好，但是其

表6 区域异质性分析
Table 6 Regional heterogeneity analysis

变量	农业用水规模		农业用水结构	
	东线 (1)	中线 (2)	东线 (3)	中线 (4)
STN	-0.0924*** (0.0266)	-0.2265*** (0.0648)	-0.0535*** (0.0156)	-0.0827*** (0.0183)
控制变量	是	是	是	是
常数项	-1.7022 (1.0222)	-3.6253*** (1.1222)	-0.3358 (0.7484)	-0.4072 (0.6186)
时间固定效应	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
观测值/个	486	504	486	504
调整的R ²	0.9958	0.9942	0.9717	0.9737

新建管涵输水，用水成本相对更高，工业和生活用水更偏好于当地水，引调水缺乏市场竞争力，受水区农业间接补水效应受到的冲击更大，同时在地下水压采保护严格的背景下进一步挤占农业用水空间，威胁到农业用水安全。另一方面，与东线工程利用京杭大运河以及与其平行的河道输水不同，中线工程新建管涵输水，引调水价格相对更高一些，即便水质较好，调水量也更大，但仍未能覆盖中线工程建设对土壤和农业种养殖的负向影响，因此中线工程对农业用水的挤占效应更高，南水北调工程通水对于中线受水区农业用水的影响更大。

3.4.3 调水返还农业用水进一步考察

前文研究发现，南水北调工程通水降低了受水区农业用水规模和农业用水占比。但是，从工程战略和初衷的角度来看，南水北调工程通水能够优化农业、工业、生活等的用水格局，即便发现南水北调工程通水降低了受水区农业用水规模和农业用水占比，但依旧可能间接改善农业用水条件，继而为国家粮食安全提供保障。因此，本文首先在基准模型中加入工业用水（或生活用水）进行回归，继而加上南水北调和工业用水（或生活用水）的交互项，考察南水北调工程通水对于受水区农业用水可能的返还作用。根据表7列 (1) 的实证结果可以发现，工业用水系数为-0.0888，在5%的水平上显著，说明工业用水和农业用水之间呈现替代效应，而在列 (2) 加入交互项后，交互项的系数为0.1038，在1%的水平上显著，而南水北调工程系数方向和显著程度未发生变化，这说明工程通水降低了受水区农业用水规模，但调水作为外生冲击，能够缓解工业用水对农业用水的替代效应，在一定程度上起到返还农业用水的作用效果。根据表7列 (3) 可以发现，生活用水对于农业用水没有表现出明显的挤出效应，结合表7列 (4)，交互项系数为0.0943，在5%的水平上显著，说明南水北调工程通水后，能够将受水区生活用水中的一部分返还给农业用水。基于农业用水结构视角来看，根据表8的列 (1) 和列 (2) 可以发现，工业用水结构和农业用水结构之间存在替代关系，南水北调工程通水能够将受水区工业用水返还给农业。而根据表8列 (3) 和列 (4) 可以发现，生活用水结构并未挤占农业用水结构，南水北调工程通水对受水区农业用水的返还效应并未在生活用水结构层面得以体现。据此，可以归纳，尽管南水北调工程通水降低了受水区农业用水规模和农业用水占比，但依然能够返还农业用水，农业用水规模返还效应在工业用水规模和生活用水

表 7 调水返还农业用水：基于农业用水规模视角

Table 7 Water diversion and return of agricultural water: From the perspective of agricultural water use scale				
变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>STN</i>	-0.1361*** (0.0424)	-0.5098*** (0.1290)	-0.1481*** (0.0409)	-0.4690*** (0.1346)
工业用水规模	-0.0888** (0.0367)	-0.1152*** (0.0323)		
<i>STN</i> *工业用水规模		0.1038*** (0.0353)		
生活用水规模			-0.0272 (0.0525)	-0.0357 (0.0518)
<i>STN</i> *生活用水规模				0.0943** (0.0363)
控制变量	是	是	是	是
常数项	-4.5870*** (1.2299)	-3.5567*** (1.0024)	-4.2867*** (1.3259)	-4.0500*** (1.2827)
时间固定效应	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
观测值/个	558	558	558	558
调整的 R^2	0.9943	0.9952	0.9940	0.9943

表 8 调水返还农业用水：基于农业用水结构视角

Table 8 Water diversion and return of agricultural water: From the perspective of agricultural water use structure				
变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>STN</i>	-0.0403** (0.0155)	-0.1132*** (0.0272)	-0.0669*** (0.0137)	-0.0257 (0.0277)
工业用水结构	-0.7298*** (0.0756)	-0.8008*** (0.0689)		
<i>STN</i> *工业用水结构		0.3335*** (0.0765)		
生活用水结构			-0.2721 (0.2690)	-0.3093 (0.2727)
<i>STN</i> *生活用水结构				-0.2437 (0.1571)
控制变量	是	是	是	是
常数项	-0.5566 (0.3439)	-0.2691 (0.3187)	-0.3262 (0.5303)	-0.0632 (0.5772)
时间固定效应	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
观测值/个	558	558	558	558
调整的 R^2	0.9845	0.9867	0.9721	0.9728

规模上得以体现，而农业用水结构返还效应在工业用水结构上得以体现。因此，南水北调工程通水直接挤占了受水区农业用水，但也间接改善了农业用水条件，由于直接效应大于间接效应，因此表现出南水北调工程通水降低了受水区农业用水规模和农业用水占比。值得思考的是，南水北调工程对于粮食安全的重要意义并不在于其直接向农业生产供水，而是在粮食安全框架下协调好调水布局与粮食生产格局之间的关系，提高粮食生产的水安全保障程度。换句话说，推动南水北调后续工程高质量发展，通过工程调水更多地返还农业用水，为北方粮食主产区提供水安全保障，即通过“南水北调”和“北粮南运”，形成南北水资源要素和粮食生产之间的匹配格局，畅通南北经济循环，才是南水北调工程赋能农业用水安全的应有之义。

3.4.4 调水对受水区用水进一步考察

前文考察了南水北调工程通水对于受水区农业用水的具体影响。但是，涉及南水北调工程通水，绕不开对于引江水供水量的影响。以河北为例，通过公开数据显示，自从2014年中线工程通水以来，引江水总量从2015年的0.8亿m³提升至37亿m³，截至2021年3月，河北年度引江水达到10.1亿m³，其中生活和工业用水为8.13亿m³。那么，南水北调工程通水对于受水区分类用水的影响如何，即对工业、生活和生态用水具体有何影响？进一步，基于供水划分标准，南水北调工程通水对受水区地表水和地下水的影 响又是怎么样的？根据表9列(1)和列(2)的实证结果可以发现，南水北调工程通水对受水区工业用水规模和结构的影响系数分别为0.1564和0.0389，均在5%的水平上显著，这说明南水北调工程通水提升了受水区工业用水规模和占比；而结合表9列(3)和列(4)可以发现，工程通水对于受水区生活用水规模和结构的影响不显著，其中可能的原因是引调水的价格较高，相较于工业，生活用水的承担能力有限，因此南水北调工程通水对于受水区非农用水的影响主要集中在工业用水。同时，根据表9列(5)和列(6)可以发现，南水北调工程通水对受水区生态用水规模的影响系数为0.1711，对于受水区生态用水结构的影响系数为0.0571，在1%的水平上显著，其中可能的原因是在南水北调工程通水后，受水区生态用水规模增速大于总供水量增速，生态用水结构得以优化。进一步，分析南水北调工程通水对受水区地表水和地下水的影 响，根据表10列(1)和列(2)的实证结果可以发现，南水北调工程通水对于受水区地表水规模和结构的影响系数分别为

表9 南水北调工程通水对受水区分类用水的影响

Table 9 The impact of the South-to-North Water Diversion Project on the classification of water use in receiving areas						
变量	工业用水		生活用水		生态用水	
	规模 (1)	结构 (2)	规模 (3)	结构 (4)	规模 (5)	结构 (6)
<i>STN</i>	0.1564** (0.0761)	0.0389** (0.0144)	-0.0128 (0.0407)	-0.0067 (0.0055)	0.1711 (0.3815)	0.0571** (0.0213)
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	1.3699 (1.9490)	0.9213*** (0.3125)	-0.2564 (1.5947)	0.1829 (0.2047)	-24.0065** (10.2942)	-0.2351 (0.3160)
省份固定效应	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值/个	558	558	558	558	558	558
调整的R ²	0.9833	0.9571	0.9863	0.9692	0.6331	0.7931

表 10 南水北调工程通水对受水区地表水和地下水的影 响

Table 10 The impact of the South-to-North Water Diversion Project on surface water and groundwater in the receiving areas

变量	地表水		地下水	
	规模 (1)	结构 (2)	规模 (3)	结构 (4)
STN	0.1776* (0.0871)	0.0499* (0.0281)	-0.0526 (0.0821)	-0.0690** (0.0318)
控制变量	是	是	是	是
常数项	0.2890 (1.6675)	0.8662* (0.5014)	-0.2923 (3.1774)	0.2742 (0.5772)
省份固定效应	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
观测值/个	558	558	558	558
调整的 R ²	0.9939	0.9823	0.9800	0.9479

0.1776 和 0.0499，均在 10% 的水平上显著，这说明调水显著提升了受水区地表水规模和占比。而对于地下水规模的影响系数为-0.0526，对结构的影响系数为-0.0690，在 5% 的水平上显著，这相当于一个硬币的正反面，即南水北调工程通水对于受水区供水结构的影响在于地表水占比的提升和地下水占比的下降。

3.4.5 调水对受水区农业用水的动态影响

通过前文的实证分析发现，南水北调工程通水降低了受水区农业用水规模和农业用水占比。一个值得思考的问题是，如果能识别南水北调工程通水对受水区农业用水变动的影响，就能够识别出其中的动态变化机制。基于此，和前文保持一致，将受水区农业用水变动分为规模变动和结构变动两个方面，分析南水北调工程通水对受水区农业用水变动的影响，实证结果如表 11 所示。结果表明，南水北调工程通水对受水区农业用水规模变动的影响系数为-4.2375，对受水区农业用水结构变动的影响系数为-0.0107，分别在 5% 和 1% 的水平上显著，这说明南水北调工程通水后，对受水区农业用水规模变动和结构变动的影响均降低。

表 11 南水北调工程通水对受水区农业用水变动的影 响

Table 11 The impact of the South-to-North Water Diversion Project on changes in agricultural water use in receiving areas

变量	规模变动 (1)	结构变动 (2)
STN	-4.2375** (1.5668)	-0.0107*** (0.0032)
控制变量	是	是
常数项	1.0704 (50.6925)	-0.1192 (0.1219)
省份固定效应	是	是
时间固定效应	是	是
观测值/个	527	527
调整的 R ²	0.0714	0.1504

4 结论与讨论

4.1 结论

本文利用中国 31 个省（自治区、直辖市）2004—2021 年面板数据，运用渐进双重差分模型分析了南水北调工程通水对受水区农业用水的影响。主要结论如下：（1）南水北调工程通水显著降低了受水区农业用水规模和农业用水占比，其中的作用机制是经济作物种植面积和比例的减少，以及粮食作物种植比例的增加；（2）由于调水规模和输水方

式等差异,与东线相比,南水北调工程通水对于受水区农业用水规模和农业用水结构的负面影响在中线地区更为严重;(3)南水北调工程通水提升了受水区工业和生活用水供给,能够在一定程度上间接返还农业用水,受水区农业用水规模返还效应在工业用水规模和生活用水规模上得以体现,农业用水结构返还效应在工业用水结构上得以体现,但现阶段均被工程对于农业用水的直接效应所遮掩。

4.2 讨论

基于以上研究结论,本文得到如下启示:亟需重视南水北调工程通水对农业生产可能的负向影响,以粮食安全框架为依据,发挥南水北调工程对于农业用水以及农业生产的积极作用,保障国家口粮绝对安全。根据地区水资源禀赋、产业结构及经济社会发展阶段,一方面,推动引调水水价回归到合理水平,提升引调水的市场竞争力,与当地水形成相互促进但有限竞争的用水新格局;另一方面,出台激励性的用水措施,例如赋予用水企业和群众税收优惠政策等,扎实推进水量消纳,真正实现“调水返还农业用水”的战略初衷。同时,应当注意到东线和中线工程特征差异,站在全国战略全局的视角下统筹推进,因地制宜、因时制宜,分类施策,在尊重受水区农户意愿的基础上,出台引导性的政策措施,例如将调水尾水用于农业灌溉、在灌期引水灌溉发挥社会效益等,避免“一刀切”政策,保障农业用水安全和国家粮食安全。

在推动南水北调后续工程高质量发展之际,更需审慎看待工程调水对于农业用水以及农村经济社会带来的影响。需要说明的是,受限于数据的可得性,本文以受水区全省(直辖市)年度农业用水情况作为研究对象,但实际上,在这些省(直辖市),并不是所有地市和县域均为受水区。因此,在后续研究中,将进一步精确研究对象和范围,聚焦受水区县,例如开展农户层面的微观调查研究,系统考察南水北调工程通水对于受水区农户灌溉以及种养殖行为适应性调整等的影响,为推动南水北调后续工程高质量发展建言献策。

参考文献(References):

- [1] KATTEL G R, SHANG W, WANG Z, et al. China's South-to-North Water Diversion Project empowers sustainable water resources system in the north. *Sustainability*, 2019, 11(13): 1-12.
- [2] 谢哈进, 谭熙. 南水北调东、中线全面通水对农业水足迹的脱钩: 基于 76 个沿线城市的准自然实验. *生态经济*, 2023, 39(1): 137-147. [XIE H J, TAN X. Effect research of eastern and middle route in South to North Water Transfer Project on agricultural water footprint: Based on the natural experiment of 76 along cities. *Ecological Economy*, 2023, 39(1): 137-147.]
- [3] 樊旭, 徐惠亮, 周洁. 京杭运河扬州段沿运灌区用水情况分析及管理建议. *中国水利*, 2015, (2): 24-26, 32. [FAN X, XU H L, ZHOU J. Water consumption in irrigation districts along the Yangzhou Section of the Grand Canal of Beijing-Hangzhou: Analysis and managerial suggestions. *China Water Resources*, 2015, (2): 24-26, 32.]
- [4] 席海洋, 陈克恭, 鱼腾飞, 等. 南水北调西线一期工程调水新增水资源利用. *中国沙漠*, 2021, 41(4): 158-166. [XI H Y, CHEN K G, YU T F, et al. The utilization of water resources newly increased in the first phase of the west line of South-to-North Water Diversion Project. *Journal of Desert Research*, 2021, 41(4): 158-166.]
- [5] YIN Y, WANG L, WANG Z, et al. Quantifying water scarcity in Northern China within the context of climatic and societal changes and South-to-North water diversion. *Earth's Future*, 2020, 8(8): e2020EF001492, Doi: org/10.1029/2020EF001492.
- [6] ZOU J, ZHAN C, XIE Z, et al. Climatic impacts of the middle route of the South-to-North Water Transfer Project over the Haihe River Basin in North China simulated by a regional climate model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2016, 121(15): 8983-8999.

- [7] 肖挺. “南水北调”工程对第一产业影响效果评估: 合成控制法下中线工程沿线及汉水地区的分析. 南开经济研究, 2022, (2): 35-50. [XIAO T. Evaluation of the effect of Chinese South-to-North Water Transfer Project on the primary industry: Analysis of the area along the middle route and Han River Basin under the synthetic control method. Nankai Economic Studies, 2022, (2): 35-50.]
- [8] 杨富茂. “南水北调”对农业生产的损益分析: 基于湖北、河南两省 14 个村庄 1222 位农民的调查. 绿色科技, 2019, (8): 247-249, 252. [YANG F M. Profit and loss analysis of agricultural production by "South-to-North Water Transfer": Bbased on a survey of 1222 farmers in 14 villages in Hubei and Henan provinces. Journal of Green Science and Technology, 2019, (8): 247-249, 252.]
- [9] 邓志刚, 郭培震, 乔从恒. 德州市南水北调供水存在问题及对策建议. 海河水利, 2022, (1): 5-8. [DENG Z G, GUO P Z, QIAO C H. Problems and countermeasures for water supply in the South-to-North Water Diversion Project in Dezhou city. Haihe Water Resources, 2022, (1): 5-8.]
- [10] SHENG J, TANG W, WEBBER M. Can interbasin water transfer affect water consumption and pollution? Lessons from China's South-North water transfer project. Environmental Policy and Governance, 2020, 30(6): 345-358.
- [11] 尹新明. 南水北调受水区某工业新城取水水源与水资源配置分析. 陕西水利, 2023, (3): 33-35. [YIN X M. Analysis on water source and water resources allocation of an industrial new town in the water receiving area of the South to North water transfer project. Shanxi Water Resources, 2023, (3): 33-35.]
- [12] 韩雁, 张士锋, 吕爱锋. 外调水对京津冀水资源承载力影响研究. 资源科学, 2018, 40(11): 2236-2246. [HAN Y, ZHANG S F, LYU A F. Research of effect on water resources carrying capacity in Beijing-Tianjin-Hebei Region by water transfer. Resources Science, 2018, 40(11): 2236-2246.]
- [13] ZHU L, GONG H, CHEN Y, et al. Effects of water diversion project on groundwater system and land subsidence in Beijing, China. Engineering Geology, 2020, 276: 105763, Doi: org/10.1016/j.enggeo.2020.105763.
- [14] 李佳, 张荣, 毛豪林, 等. 河南省南水北调工程供水效益分析. 河南水利与南水北调, 2019, 48(12): 78-80. [LI J, ZHANG R, MAO H L, et al. Analysis of water supply benefits of the South-to-North Water Diversion Project in Henan province. Henan Water Resources and South-to-North Water Diversion, 2019, 48(12): 78-80.]
- [15] LIU J, LI M, WU M, et al. Influences of the South-to-North water diversion project and virtual water flows on regional water resources considering both water quantity and quality. Journal of Cleaner Production, 2020, 244: 118920, Doi: org/10.1016/j.jclepro.2019.118920.
- [16] 杨丽, 朱启林, 孙静, 等. 北京市南水北调中线工程供水效益评估. 人民长江, 2017, 48(10): 44-46, 78. [YANG L, ZHU Q L, SUN J, et al. Water supply benefit evaluation of middle route project of South-to-North water diversion in Beijing city. Yangtze River, 2017, 48(10): 44-46, 78.]
- [17] 刘辉, 狄乾斌. 南水北调东线“一期”工程对京杭大运河沿线城市经济发展的影响分析: 基于合成控制法的实证. 资源开发与市场, 2020, 36(11): 1185-1191. [LIU H, DI Q B. Analysis on the influence of the first phase of the South-to-North water transfer east route project on the economic development of cities along the Beijing-Hangzhou Grand Canal: Evidence based on synthetic control method. Resource Development & Market, 2020, 36(11): 1185-1191.]
- [18] GUPTA J, ZAAG P. Interbasin water transfers and integrated water resources management: Where engineering, science and politics interlock. Physics and Chemistry of the Earth, 2008, 33(1): 28-40.
- [19] 刘远书, 籍国东, 罗忠新, 等. 南水北调东线治污对山东段的环境与经济影响: 基于EKC曲线理论的实证分析. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(10): 73-81. [LIU Y S, JI G D, LUO Z X, et al. Pollution control effects of the east route of the South-to-North Water Diversion Project on the environment and economy of Shandong. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(10): 73-81.]
- [20] 程扬, 张雪花, 冯婧. 南水北调工程受水区生态环境效应研究. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(s2): 183-186. [CHENG Y, ZHANG X H, FENG J. Study on the effects of South-to-North Water Transfer Project on the eco-environment in water-receiving area. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(s2): 183-186.]
- [21] MIAO Z, SHENG J, WEBBER M, et al. Measuring water use performance in the cities along China's South-North Water Transfer Project. Applied Geography, 2018, 98: 184-200.
- [22] YAO Y, ZHENG C, ANDREWS C, et al. Integration of groundwater into China's South-North water transfer strategy. Science of the Total Environment, 2019, 658: 550-557.

- [23] 赵晶, 毕彦杰, 韩宇平, 等. 南水北调中线工程河南段社会经济效益研究. 西北大学学报: 自然科学版, 2019, 49(6): 855-866. [ZHAO J, BI Y J, HAN Y P, et al. The socio-economic effect of South-to-North water transfer project on Henan section: A dynamic computable general equilibrium model. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2019, 49(6): 855-866.]
- [24] 秦欢欢, 孙占学, 高柏. 农业节水和南水北调对华北平原可持续水管理的影响. 长江流域资源与环境, 2019, 28(7): 1716-1724. [QIN H H, SUN Z X, GAO B. Effects of agricultural water conservation and South-to-North water diversion on sustainable water management in North China Plain. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(7): 1716-1724.]
- [25] WANG Z, LIU J. Impact of China's South-North Water Transfer Project on agriculture: A multi-scale analysis of the food-land-water system. In: Purdue University. Center for Global Trade Analysis, Global Trade Analysis Project (GTAP), 2021.
- [26] 周晓坤, 王哲. 南水北调工程对阳谷县农业灌排影响分析. 山东水利, 2014, (12): 44-45. [ZHOU X K, WANG Z. Analysis of the impact of the South-to-North Water Diversion Project on agricultural irrigation and drainage in Yanggu county. Shandong Water Resources, 2014, (12): 44-45.]
- [27] 方国华, 赵文萃, 李鑫, 等. 南水北调东线江苏境内受水区节水潜力分析. 水利经济, 2022, 40(4): 1-5, 27, 91. [FANG G H, ZHAO W C, LI X, et al. Analysis on water-saving potential of water receiving areas in Jiangsu of the eastern route of the South-to-North Water Diversion Project. Journal of Economics of Water Resources, 2022, 40(4): 1-5, 27, 91.]
- [28] BERKOFF J. China: The South-North Water Transfer Project: Is it justified?. Water Policy, 2003, 5(1): 1-28.
- [29] XU H, YAO Z. The impact of the South-to-North Water Diversion Project on the usage of water-saving irrigation machinery. Review of Socio-Economic Perspectives, 2022, 7(4): 9-19.
- [30] REHANA S, MUJUMDAR P P. Regional impacts of climate change on irrigation water demands. Hydrological Processes, 2013, 27(20): 2918-2933.
- [31] LONG D, YANG W, SCANLON B R, et al. South-to-North water diversion stabilizing Beijing's groundwater levels. Nature Communications, 2020, 11(1): 3665-3665.
- [32] 张超正, 杨钢桥. 农地整治何以促进农户收入增加: 基于整治模式和地貌类型的异质分析. 自然资源学报, 2021, 36(12): 3114-3130. [ZHANG C Z, YANG G Q. How can rural land consolidation increase farmers' income: Heterogeneity analysis based on consolidation modes and geomorphic types. Journal of Natural Resources, 2021, 36(12): 3114-3130.]
- [33] 段存儒, 曾贤刚. 中国资源型城市转型对劳动力需求的影响. 自然资源学报, 2021, 36(3): 606-617. [DUAN C R, ZENG X G. The effect of transformation of resource-based cities on labor demand in China. Journal of Natural Resources, 2021, 36(3): 606-617.]
- [34] 秦腾, 佟金萍, 支彦玲. 水权交易机制对农业用水效率的影响及效应分析. 自然资源学报, 2022, 37(12): 3282-3296. [QIN T, TONG J P, ZHI Y L. Influence and effect of water rights trading mechanism on agricultural water use efficiency. Journal of Natural Resources, 2022, 37(12): 3282-3296.]
- [35] 刘昌明. 南水北调: 在节水的基础上实施缓解北方水危机. 科学对社会的影响, 2003, (3): 26-31. [LIU C M. South-to-North water diversion project: Implementing water conservation measures to alleviate the northern water crisis. Science and Society, 2003, (3): 26-31.]
- [36] 刘予, 孙颖, 殷琨. 南水北调引水进京后北京市地下水环境预测. 水文地质工程地质, 2005, (5): 93-96. [LIU Y, SUN Y, YIN K. Prediction of groundwater environment in Beijing after water entering the capital by the South-North water diversion. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005, (5): 93-96.]
- [37] YANG W, LONG D, SCANLON B R, et al. Human intervention will stabilize groundwater storage across the North China Plain. Water Resources Research, 2022, 58(2): e2021WR030884, Doi: org/10.1029/2021WR030884.
- [38] 冯忠伦, 张振成, 焦裕飞, 等. 南水北调输水对梁济运河区域地下水位的影响. 灌溉排水学报, 2016, 35(5): 97-102. [FENG Z L, ZHANG Z C, JIAO Y F, et al. Influence of delivering water of the South-to-North Water Transfer Project on the groundwater level in Liangji Canal Zone. Journal of Irrigation and Drainage, 2016, 35(5): 97-102.]
- [39] 田贵良, 赵秋雅, 吴正. 乡村振兴下水权改革的节水效应及对用水效率的影响. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(12): 193-204. [TIAN G L, ZHAO Q Y, WU Z. Water-saving effects of water right reform under the rural vitalization strategy and its impact on water efficiency. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(12): 193-204.]

- [40] BAKER A C, LARCKER D F, WANG C C Y. How much should we trust staggered difference-in-differences estimates?. *Journal of Financial Economics*, 2022, 144(2): 370-395.
- [41] SANT'ANNA P H C, ZHAO J. Doubly robust difference-in-differences estimators. *Journal of Econometrics*, 2020, 219 (1): 101-122.
- [42] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应. *中国工业经济*, 2022, (5): 100-120. [JIANG T. Mediating effects and moderating effects in causal inference. *China Industrial Economics*, 2022, (5): 100-120.]

The influence of the South-to-North Water Diversion Project on agricultural water use in the water-receiving areas

XU Zhang-xing^{1,2,3}, QIU Xiao-nan¹, TIAN Gui-liang^{1,2,3}, LI Yi-wen^{1,2,3}

(1. Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China; 2. Institute for Ecological Civilization Construction and Watershed Protection, Nanjing 210024, China; 3. Jiangsu Research Base of Yangtze Institute for Conservation and High-quality Development, Nanjing 210024, China)

Abstract: Based on the panel data of 31 provincial-level regions in China from 2004 to 2021, this paper constructs a Time-varying DID model from dual perspectives of scale and structure to examine the impact of the South-to-North Water Diversion Project (hereafter the Project) on agricultural water use in the water-receiving areas. The results show that: (1) The water supply of the project has reduced the scale and proportion of agricultural water use in the receiving areas, and the mechanism analysis of the result is the reduction of the planting area and proportion of economic crops, and the increase of the proportion of grain crops. (2) Compared with the eastern route, the negative impact of the Project on the agricultural water use in the receiving areas is more serious in the middle route areas. (3) There is an effect of "indirect return of agricultural water through water supply" of the Project, but at this stage it is neglected by the direct impact of the Project on agricultural water use in the water-receiving areas. Therefore, it is necessary to clearly understand the impact of the Project on the agricultural water use of the water-receiving areas from a strategic perspective, to strengthen the support of agricultural water use to ensure national food security, and to promote the high-quality development of follow-up projects of the Project.

Keywords: South-to-North Water Diversion Project; project's water supply; agricultural water use; Time-varying DID model