

# 井灌区农村地下水水位变动:历史趋势及其影响因素研究

曹建民 (内蒙古农业大学经济管理学院 呼和浩特 010018)

王金霞 (中国科学院农业政策研究中心 北京 101001)

**内容提要** 本文利用大规模村级调查数据,描述了近 10年来农村地下水水位的变动状况,并通过一阶差分模型量化分析了导致水位下降的影响因素。研究发现,我国很多井灌区农村地下水水位呈下降趋势,黄河和海河流域是下降最严重的地区。模型估计结果表明,降水减少是水位下降的重要气候因素;井灌区农业灌溉率和深水机井比例的增加会加速水位的下降;农村工业用水需求的增加也是加速水位下降的重要因素。

**关键词** 井灌区地下水水位 变动 影响因素 气候变化 农业用水

## 一、研究背景

自从 20世纪 70年代以来,由于农业、工业及生活用水需求的快速增长,地表水资源的开发利用在很多地区已不能满足各业用水需求的增长,地下水开发利用成为满足用水需求增长的主要手段(Wang Jinxia et al, 2007)。然而,地下水资源的长期过度开采带来了日益严重的环境问题。其中,地下水资源开发导致的地下水位的持续下降最引人关注。20世纪 60年代初华北平原山前平原区地下水埋深在 1~10米,2001年山前平原区浅层地下水埋深已达 40米(费宇宏等, 2005)。地下水水位的

成本很高。为此,政府应积极鼓励加工企业、粮食收储机构等主体发展各种类型大豆订单农业。农户可通过签订订单合同的方式,锁定大豆销售价格,加工企业、粮食收储机构再利用期货市场将各种市场风险转移和分散给大豆期货市场投机者,获得稳定的收益。农户可以根据自身的风险偏好和对期货市场的了解程度,选择不同的订单类型。

## 参 考 文 献

1. 陈永福. 中国食物供求与预测. 中国农业出版社, 2004, 266~303
2. 黄季焜等. 贸易自由化、扩大进口和中国粮食经济:大豆案例研究. 提交给美国大豆协会的报告, 2004: 15~20
3. 王东阳等. 农业风险辨识、测量评价与风险管理研究. 农业经济与科技发展研究 2006, 2007: 300~310

责任编辑 吕新业

\* 本研究得到了国家自然科学基金(编号:70733004)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号:KSCX2-YW-N-039)的资助,同时该研究也得到内蒙古农业大学博士启动基金的资助

持续下降使得一些地区出现了土壤沙化、植被减少,部分地区甚至出现了地面沉降、海水入侵等严重的地质灾害(高太忠等,2002;张永强等,2001)。

近年来,部分学者针对水位下降的原因从不同角度进行了一定分析。一些研究发现,降水量的减少是引起水位下降的重要原因(甲金生、刘昌明,2002;王贵玲等,2005);还有一些研究表明人类活动导致地下水的过度开采是水位不断下降的最重要原因(毛学森、刘昌明,2001;王贵玲等,2007)。很多研究还指出,农业灌溉发展、粮食产量增加、种植结构变化以及节水措施的采用等方面的因素都对水位的变动有一定的影响(Cao Jiamin, Wang Jinxia, 2008;文佩先,2002;许月卿,2005)。然而遗憾的是,上述很多研究都是基于定性的分析,即使有个别定量研究也只是针对某个因素或某个区域开展的,缺乏综合的有代表性的研究。为了能够较好地为农用地下水管理者提供更加科学的决策依据,很有必要在基于大规模样本的基础上开展综合的定量研究。

本文的研究目的就是在大规模调查的基础上,综合地定量分析农村地下水水位变动的趋势及影响因素,为地下水资源的科学管理提供决策依据。研究中所用的数据是中国科学院农业政策研究中心近年来开展的大规模村级水资源管理的调查。调查样本覆盖了9个省份(包括内蒙、河北、河南、辽宁、陕西、山西、湖北和湖南)的258个村,涉及到我国九大流域中的六大流域(海河、淮河、黄河、长江、松辽河及内陆河流域)。

## 二、农村地下水水位的现状及变动趋势

### (一)地下水水位的现状

地下水是一个比较复杂的系统,由于补给和排泄方式不同,地下水水位地区间存在很大差异。调查表明,2005年村年均地下水水位在0.5~140米变动。其中,水位低于28米的样本村的比例为60%,位于28~56米的样本村为25%,位于56~84米的样本村为8%,位于84米以上的村约为7%。另外,流域之间地下水水位的差异较大。黄河与海河流域的样本村的地下水水位较低,均在34米以下;而松辽河、淮河以及内陆河流域的农村地下水水位相对高一些,平均水位分别为10.8米、13.6米和16.8米。这一结果与其他人的研究结论一致,黄河和海河流域由于缺少地表水,地下水开发程度较大,因此地下水水位可能相对较深一些。当然,由于地理特征以及地下水的补给、排泄和利用程度不同,即使在同一个流域内地下水水位也有一定的差异。

### (二)近10年来地下水水位的变动状况

调查表明,在井灌区尽管不是所有的村,但大部分村的地下水水位都呈现了下降的趋势(见表1)。1995—2005年,只有少部分村(14%)的水位保持不变甚至出现了小幅回升(9%);但大部分村(77%)的水位都呈现了下降趋势。在水位下降的村中,年均下降速度为1.02米。其中,不同村的水位下降速度是不同的。20%的村水位年均下降幅度在0.25米以下,66%的村的水位年下降幅度在0.25~1.5米之间。值得注意的是,还有部分村(14%)的水位年下降幅度已经超过了国家警戒线(1.5米/年),国家急需加强对这些区域的地下水管理。

另外,虽然流域间地下水水位的变动状况有所不同,但水位下降是很多流域面临的普遍问题。根据调查样本,2005年与1995年相比,松辽河、海河和黄河流域水位下降村的比例分别达到了15%、55%和23%,即使在长江等流域,也有8%的村呈现了水位下降的趋势。另外,黄河和海河流域有高达42%和58%的村的年均地下水水位下降速度高达1.5米,地下水水位下降的状况十分严重。然而,与其他流域相比,长江和淮河流域地下水水位下降的状况相对好一些,有44%的村出现了水位上升,仅有8%的村出现了水位下降的趋势。更重要的是,这些流域的村年均水位下降速度都没有超过国家警戒线。

表1 1995—2005年不同流域地下水水位的变动 (%)

水位变化	样本村比例	不同流域样本村的比例			
		松辽河	海河	黄河	长江与淮河等
水位上升	9	0	28	28	44
水位不变	14	35	35	22	8
水位下降	77	15	55	23	8
年均下降速度					
0.25米	20	40	36	12	12
0.25~1.5米	66	12	57	22	8
1.5米	14	0	58	42	0

数据来源:中国科学院农业政策研究中心,下同

### (三)地下水水位变动影响因素的描述性统计分析

一些学者认为,气候、农业、工业以及生活用水等方面的变化可能会影响地下水水位的变动。基于调查数据,本部分将对井灌区村地下水水位变动与气候及各业(尤其是农业)需水的相关关系开展一些描述性统计分析。研究根据样本村水位上升、不变和下降3种情况,首先将样本分成水位上升村(包含不变村)和下降村两组,针对水位下降村,根据水位下降的幅度从低到高排列,平均分成3组(见表2)。统计分析主要考察水位变动的4组中,气候、农业、工业以及生活需水等方面的变化情况,最终定性的分析这些因素变动与水位变动的关系。

#### 1. 地下水水位变动与气候变化的相关关系

调研表明,近10年来,降水减少在本研究的区域是一个普遍现象,地下水水位变动可能与降水量变动有一定的相关关系。从表2可以看出,相对于水位上升的村而言,水位下降村的降水减少幅度更大。例如,水位上升村的年降水量减少了17.8毫米,而水位下降村的年降水量减少了30.35毫米。另外,当笔者将水位下降村的样本等距分为3组时发现,降水减少的幅度越大,水位下降的程度就越大。例如,当年降水量减少约17.70毫米,水位下降平均为2.24米;而当年降水量减少40.48毫米时,水位下降平均值则达到21.4米。

#### 2. 农业用水量与用水方式的变化与地下水水位变动的相关关系

作为主要的用水部门,农业用水需求的数量及用水方式的变化都可能与地下水水位的变化有一定的相关关系。在本研究中,农业用水需求的数量由灌溉率(村中灌溉耕地占总耕地面积的比重)来代表,用水方式主要包括用水水源(是否为联合灌溉)、机井类型(浅井或深井)、作物种植结构和节水技术等方面。

统计表明,灌溉率的增加可能会加速地下水位的下降。从表2中可以看到,1995—2005年在水位上升的村中,灌溉率增加了0.8%,而在水位下降的村中灌溉率有较大幅度的增加,增加了11.1%。在水位下降的村中,可以看到随着水位下降幅度的逐步增加,灌溉率增加的平均值也从8.2%上升到11.8%和13.1%,而且具有显著的相关性。

井灌区灌溉率的增加往往依靠建造更多的机井,由于深水井和浅水井抽取的地下水层不同,不同类型机井增加导致的水位下降幅度也可能不一样。调研表明,井灌区大多数村都出现了机井增加的趋势,但有的村主要增加浅水井,而有的村则主要集中于深水井建设。从表2发现,水位上升的村,深水井没有增加反而有一定程度的减少(-1.9%),但在水位下降的村,深水井比例增加的比较大,达

到了 10.9%。而且值得注意的是,在地下水水位下降幅度逐步增加的 3 个组中,深水井比例增加的平均值分别为 4.6%、8.7%和 13.1%,很明显,随着深水井比例的逐步增加,地下水水位下降幅度也逐步增加,二者存在很明显的相关性。

表 2 1995—2005 年井灌区地下水水位的变动与气候及各业用水变动的关系

项目	水位上升 (含不变)		水位下降		
	总体平均	不同下降程度(米)			
		I组: 2.42	II组: 6.28	III组: 21.43	
气候因素的变化					
降水(毫米/年)	- 17.80	- 30.35	- 17.70	- 32.41	- 40.48
农业用水					
灌溉率(%)	0.79	11.05	8.15	11.84	13.08
深水机井比例	- 1.89	10.89	4.56	8.68	13.08
作物结构:水稻面积比例(%)	- 0.57	- 0.35	- 0.01	- 1.05	00.00
小麦面积比例(%)	- 3.11	- 4.11	- 3.86	- 3.70	- 4.74
玉米面积比例(%)	7.41	3.13	4.60	2.00	2.80
节水技术采用面积(亩)	298.3	993.8	1088.0	688.2	1195.8
工业和居民生活用水:					
工业:村工业企业数量(个)	0.1	0.7	0.2	0.4	1.4
生活:居民人口(人)	108.4	65.4	84.2	47.2	64.9

另外,作物种植结构的变化也可能在一定程度上影响地下水水位的变动。水稻是耗水量大的作物,水稻种植比例的减少可以在一定程度上缓解水位下降的程度表,相对于水稻和小麦而言玉米是耗水相对少的作物,玉米种植比例的增加可能减缓水位的下将。调研发现,1995—2005 年很多样本村减少了水稻和小麦种植比例,增加了玉米种植比例。表 2 表明,在水位上升的村,水稻种植比例减少了 0.6%,而水位下降的村该比例减少了 0.4%,这可能由于样本村中水稻种植比例本身比较小,因而变化不大。在水位上升村,小麦种植比例减少了 3.1%,但在水位下降村,小麦种植比例减少了 4.1%。在水位下降幅度逐步增加的 3 个组中,小麦种植比例变动和水位变动没有明显的关系。玉米种植面积比例在水位上升村中增加的较多(7.4%),而在水位下降村中增加的较少(3.1%),这和笔者的研究预期相吻合,但在水位下降幅度逐步增加的 3 个组中,种植比例变动与水位变动也没有明显的关系。这些统计说明,在研究的样本村中,作物种植比例的调整与水位变动没有明显的规律。

本研究还考察了节水技术的采用对水位的变动的可能影响。井灌区采用了更多的节水技术,则意味着抽取较少的地下水,对缓解水位下降应该是有积极作用的。统计表明,在水位上升的村,节水技术采用面积增加了 298.3 亩,而在水位下降的村,节水技术采用面积增加了 993.8 亩,说明节水技术在水位下降地区采用的更多一些。但在水位下降幅度逐步增加的 3 个组中,节水技术采用面积增加状况与水位变动情况却没有明显的相关性。这可能与选取的样本或者衡量指标有关,也可能存在节水技术在一方面减少了输送水的损失,但另外一方面也减少了地下水的回灌,土壤的墒情可能变差,从而导致作物灌溉需水的增加的原因。

### 3. 工业与生活用水的变化与地下水水位变动的相关关系

工业用水需求增多必然会增加地下水使用的压力,最终可能导致地下水水位下降。另外,生活用水需求的增加也可能是地下水水位下降的驱动因素之一。由于数据所限,本研究中用村工业企业数量的变化来表示工业需求的变化,用村人口数量的变化来表示生活需求的变化。数据表明,2005年与1995年相比,平均来看,地下水水位上升的村工业企业个数略有增加(增加了0.1)个,而在水位下降村中,工业企业个数增加了0.7个,而且随着水位下降幅度的增加,村工业企业数量增长幅度也更大,在水位下降幅度最大的组中,工业企业个数平均增加了1.4个。说明村工业用水需求的增加可能加速地下水水位的下降。针对人口变动对水位变动的的影响,样本统计没有显示出人口增长规模与水位变动之间存在明显的相关关系。

## 三、地下水水位变动的计量经济分析

地下水循环是一个复杂的系统,仅通过直观的、单因素的趋势分析,很难分辨出不同因素对地下水水位下降的影响,更难准确地衡量出各个影响因素的具体作用强度。为此,本文在描述性统计分析的基础上,尝试运用计量经济学的方法来综合定量分析气候和各行业需水等因素对地下水水位变动的的影响。

### (一) 计量经济模型的建立

基于以上的描述性统计分析及其他学者的研究,地下水水位的变动不仅可能受气候因素的影响,而且会受到农业、工业以及居民生活等需水的影响。为此,我们建立了如下的计量经济模型来分析地下水水位变动与相关因素的关系:

$$\text{地下水水位} = F(\text{气候因素, 农业用水, 工业和生活用水, 其他因素}) \quad (1)$$

式(1)中左边是被解释变量,研究中用样本村平均地下水埋深表示地下水水位。右边是模型中的解释变量。气候因素主要包括降水,降水用样本村年降水总量表示。农业用水主要包括灌溉率、灌溉水源、机井状况、作物种植结构以及节水技术采用等方面的因素。灌溉率用灌溉面积占耕地面积比重来表示;灌溉水源用地表水灌溉比例和联合灌溉比例来表示;机井状况用深水机井比例来表示;作物种植结构用水稻、小麦和玉米的播种面积比例来表示;节水技术用地上和地下管道采用面积来表示。对于工业和生活用水的影响,研究中分别用村工业企业个数和村人口数量来表示。除了上述讨论的因素外,还可能遗漏了其他一些变量(如村的一些固定特征),由此也会产生内生性问题;如果直接利用OLS进行,可能会导致结果有偏。鉴于此,本研究建立了一个典型的两期面板数据,所以我们在对以上模型进行估计时采用了一阶差分的方法,即解释变量和被解释变量都用2005年与1995年数据的差值。差分模型估计不仅剔除了不随时间变化的一些因素的影响,而且在一定程度上可以解决内生性问题。因此,本研究利用2005年和1995年的数据直接建立了一阶差分模型(2),模型(2)的回归系数与模型(1)的系数是一致的(伍德里奇,2002)。

$$\text{地下水水位} = F(\text{气候因素, 农业用水, 工业和生活用水, 其他因素}) \quad (2)$$

### (二) 模型估计结果

我们利用差分方法对上述理论模型进行了估计。结果表明,模型中引入的气候与社会经济变量的估计参数符号与研究预期一致,而且在进行变量选择估计时,参数变异也很小。这表明我们的计量经济模型是稳健的、可靠的。以下是模型估计的几个主要结果:

第一,降水变化对地下水的水位变动有显著的影响。模型估计结果表明,年降水量的系数为-0.03,而且达到5%的显著性水平(见表4)。这个结果说明降水减少会导致地下水水位的下降。平均而言,在控制其他因素的影响下,近10年来,年均降水量每减少10毫米,地下水水位将下降0.3

米。这一结果不仅与前面的实际调查和定性分析相一致,而且也在一定程度上证明了其他学者的研究结果。

第二,井灌区农业灌溉率增加对水位变动有显著的影响。灌溉率的系数为 7.0,而且达到了 10% 的显著性水平,这说明农业灌溉率的增加是导致地下水水位下降的一个重要原因。这个研究结果与毛学森等人的研究结果是一致的,农业灌溉需求的增加会导致地下水水位的进一步下降。

另外,井灌区深水机井的增加将显著地促进地下水水位的下降(见表 4)。深水井比例的系数为 0.14,而且达到 1% 的显著性水平。这说明深水机井的增加是导致地下水水位下降的一个重要原因。平均而言,深水机井的比例每增加 1%,地下水水位将下降 0.14 米。这个研究结果与文佩先(2002)的研究结论是一致的,农村深水机井的广泛建设会加速地下水水位的下降。这个结论也暗示我们,在水位不断下降的井灌区,建设新的机井必须注意机井的布局,改变大部分农村盲目建设大量深水机井的状况。

计量模型的估计结果还表明,村工业企业变量的系数为 0.96,而且达到 1% 的显著水平。这说明村工业用水需求的增加是导致地下水埋深增加的重要因素。这暗示我们,在井灌区增加工业项目,必须考虑项目的用水需求状况和当地水资源承载力。

#### 四、结论与政策建议

本文基于大规模的村级水资源和社会经济等方面的调查,分析了我国农村地下水水位的变动及其影响因素。研究结果表明,不同区域的农村地下水水位差别很大,而且多数地区的地下水水位都呈现出下降趋势。1995—2005 年,77% 的村出现了不同程度的地下水水位下降,还有 14% 的村水位年均下降速度超过了国家警戒线(1.5 米/年),海河流域和黄河流域是地下水下降最严重的区域。描述性统计分析和计量模型的结果表明,降水减少是导致地

下水水位下降的重要因素。此外,井灌区农业灌溉率增加加速了地下水水位的下降,特别是在井灌区建设大量的深水井对水位下降有更大的影响。另外,村工业用水需求的增加也是地下水水位进一步下降的重要因素。

随着水资源短缺程度的加剧,一度被忽视的农村地下水资源的开发利用迫切需要科学的规划和管理。根据本文的研究,拟提出了如下几点政策建议:

1. 在井灌区特别是地下水严重下降地区,必须采取一定的强制措施与经济补偿手段禁止地下水的进一步开发利用。一方面,采取综合措施限制该区域地下水的进一步开发;另一方面,要积极采取各种回灌措施对地下水进行补给,加快地下水水位的恢复。

2. 充分考虑气候变化的特点和趋势及其对水位的影响,采取综合的政策措施与经济手段引导地下水资源的合理利用。在经济发展过程中,充分考虑当地水资源状况合理安排工业布局和农业

表 4 计量模型的估计结果

变量	系数	T 值
气候因素:		
降水(毫米)	-0.03 <sup>*</sup>	-1.83
农业用水		
灌溉率(%)	7.01 <sup>*</sup>	1.97
深水机井比例(%)	0.14 <sup>***</sup>	4.73
作物结构:水稻面积比例(%)		
小麦面积比例(%)	0.08	0.28
玉米面积比例(%)	0.07	0.92
节水技术采用面积地面(亩)	0.001	0.14
工业和生活用水		
村工业企业数量(个)	0.96 <sup>***</sup>	2.97
人口数量(个)	0.001	0.12
常数项	4.27 <sup>***</sup>	3.46
调整后的 R <sup>2</sup>	0.25	
样本数	168	

结构。

3. 采用综合措施应对农业用水需求的增加,加强农村机井建设的规划与管理。随着水位的下降,建设出水量更大的深水井将是农民下一步的选择。但是深井盲目增多将加速水位的下降,因此,认真勘测地下水资源,科学合理的规划、建设新的机井是保证井灌区地下水资源可持续利用的重要前提。

#### 参 考 文 献

1. Wang, Jinxia, Jikun Huang, Scott Rozelle, Qiuqiong Huang and Amelia Blanke, 2007. Agriculture and Groundwater Development in Northern China: Trends, Institutional Responses, and Policy Options, *Water Policy*, 9 (2007), No 51, 61 ~ 74
2. 费宇红,张兆吉,张凤娥,陈京生,陈宗宇,王 昭. 华北平原地下水水位动态变化影响因素分析. *河海大学学报*, 2005, 5 (33): 538 ~ 541
3. 高太忠等. 河北平原地下水开发中的问题与可持续利用. *地址灾害与环境保护*, 2002, 13 (3): 6 ~ 9
4. 张永强,刘昌明,沈彦俊. 太行山山前平原浅层地下水下降与降水、作物的关系. *生态学杂志*, 2001, 20 (6): 4 ~ 7
5. 甲金生,刘昌明. 华北平原地下水动态及其对不同开采量的响应计算. *地理学报*, 2002, 57: 201 ~ 209
6. 王贵玲,蔺文静,陈 浩. 农业节水缓解地下水水位下降效应的模拟. *水利学报*, 2005, 36: 286 ~ 290
7. 余志山,白 福,李文鹏. 黑河流域中游地区水资源演变特征及成因分析. *中国农村水利水电*, 2007 (6): 1 ~ 7
8. 王贵玲,刘志明,高业新,范 琦. 石羊河流域地下水资源及其保护战略对策研究. *干旱区资源与环境* 2007, 1 (21): 48 ~ 51
9. 毛学森,刘昌明. 太行山山前平原地下水变化趋势与农业持续发展. *水土保持研究*, 2001, 1 (8): 147 ~ 149
10. 王韶华,田 园. 三江平原地下水埋深变化及成因的初步分析. *灌溉排水学报*, 2003 (22): 60 ~ 64
11. 曹建民,王金霞. 地下水资源的演变与农民机井私有化的反应. *自然资源学报*, 2008 (6): 970 ~ 980
12. 文佩先. 太原市兰村泉域地下水水位下降的成因及防范措施. *山西水利科技*, 2002 (1): 19 ~ 22
13. 许月卿. 土地利用对地下水水位下降的影响. *地理研究*, 2005 (24): 222 ~ 228
14. 伍德里奇. 计量经济学导论现代观. 中国人民大学出版社, 2002: 393 ~ 439

责任编辑 段 艳