

The Situation of Over-Exploitation Aquifer in Hebei Province and Economic Analysis on the Cropping System Adjustment Countermeasure

Junyong Ma^{1,2}, Chunlian Zheng¹, Hongkai Dang¹, Kejiang Li², Caiyun Cao^{1,2*}

¹Dryland Farming Institute of Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Hengshui Hebei

²The Key Laboratory of Crop Drought-Resistance Research of Hebei Province, Hengshui Hebei

Email: mjdjdfi@126.com, *cycao1234@126.com

Received: Sep. 19th, 2019; accepted: Nov. 12th, 2019; published: Nov. 19th, 2019

Abstract

Focusing on the over-exploitation aquifer in Hebei province, its present situation, causes and countermeasures were discussed. The annual over-draw amount of groundwater resource was around $40 \times 10^8 \text{ m}^3 - 60 \times 10^8 \text{ m}^3$, and with the precipitation growing less in recent years, the over-exploitation tended to be more serious. The main cause of the over-exploitation was due to mismatch between the crop-growing that need too much irrigation and limited water resources. Thus shift the cropping system from high irrigation-relying to less irrigation-relying was one of the efficient countermeasures. But the adaptation of the less-irrigation cropping system would limit the water use and lead to yield and income decrease for farmers, so subsidy had to be paid and cost occurred for over-exploitation mitigation. According to the analytic result, for the adopted two main models, the winter wheat growing season fallow and summer corn season growing model had a direct cost 3.03 RMB/m³, indirect cost 4.57 RMB/m³, and total cost 8.21 RMB/m³, and saving irrigation water for 2475 m³/hm² each year, with yield reduction for 45.5%; the total rain-fed crop growing model had a direct cost 3.64 RMB/m³, indirect cost 5.56 RMB/m³, and total cost 9.2 RMB/m³, and saving irrigation water for 3300 m³/hm² each year, with yield reduction for 61.2%. Making a comparison of the two models, the first one had comparatively lower cost and less yield loss, it was better than the later one.

Keywords

Hebei Province, Over-Exploitation Aquifer, Cropping System, Economic Analysis

河北地下水超采情势及种植结构调整对策的经济分析

马俊永^{1,2}, 郑春莲¹, 党红凯¹, 李科江², 曹彩云^{1,2*}

作者简介: 马俊永(1965-), 男, 河北博野县人, 研究员, 硕士, 主要从事节水和作物营养研究。

*通讯作者。

¹河北省农林科学院旱作农业研究所, 河北 衡水

²河北省农作物抗旱研究重点试验室, 河北 衡水

Email: mjd@126.com, *cyao1234@126.com

收稿日期: 2019年9月19日; 录用日期: 2019年11月12日; 发布日期: 2019年11月19日

摘要

针对河北省地下水超采漏斗问题, 对当前地下水超采的情势、成因、对策等进行了分析。河北省常年地下水超采量40~60亿 m^3 , 近年随降雨量减少, 超采呈增加趋势。地下水超采主要原因之一是高耗水作物种植与水质量不匹配造成, 因此与水资源量相匹配的种植结构调整是治理超采的有效措施之一。但推行限水种植制度会不同程度造成粮食产量和农民收益降低, 因此需要生态补偿和产生治理成本。分析结果表明, 目前推行的两种节水种植模式中, 一季休耕一季雨养模式直接治理成本为3.03元/ m^3 , 间接成本4.57元/ m^3 , 综合成本8.21元/ m^3 , 每a节约灌溉水2475 m^3/hm^2 , 同时造成周年粮食减产45.5%; 完全雨养旱作模式直接治理成本为3.64元/ m^3 , 间接成本5.56元/ m^3 , 综合成本9.2元/ m^3 , 每a可节约灌溉水3300 m^3/hm^2 同时造成周年粮食减产61.2%。两种治理模式比较, 一季休闲一季雨养模式治理成本相对较低, 并且粮食减产少。

关键词

河北省, 地下水超采漏斗, 种植结构, 经济分析

Copyright © 2019 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 河北省地下水超采现状与超采原因

1.1. 地下水超采现状

根据2003年开展的河北省水资源调查资料, 河北省水资源总量204.7亿 m^3 , 可利用水资源量约80%。常年用水量200~220亿 m^3 , 年水资源超用量40~60亿 m^3 [1] [2]。近年, 随着全球气候变化, 河北省降雨量呈现明显减少趋势, 资料显示每10a减少7.6mm [3], 而河北平原地下水开采量呈一定增加趋势, 70年代为88.0亿 m^3 、80年代为123.5亿 m^3 、90年代为122.3亿 m^3 、2000年为128.6亿 m^3 , 2003年现状年河北平原深层地下水的开采为严重超采(TDS < 1 g/L), 产生了水位降落漏斗[4], 说明河北省的地下水超采量也呈现一定增加趋势。于2014~2016年在河北省实施的地下水超采试点中, 2013基准年全省年超采量达到59.6亿 m^3 , 并以此作为超采治理的目标[5]。近30a全省已累计超采地下水1500亿 m^3 [6], 因此河北省地下水超采治理迫在眉睫。

1.2. 主要超采原因

用水量与水资源禀赋不匹配的矛盾是河北省地下水超采的根本原因, 由于河北省地表水资源十分匮乏, 因此超用的主要是地下水, 导致了地下水超采漏斗。而工业和生活用水不断增加, 发展灌溉及高耗水作物的种植, 加剧了地下水超采漏斗的发展。

历史上河北省曾经是水资源相对比较丰富, 以致于一些低洼地区还经常出现水患。而历史上河北的黑龙港地区河道沟渠水比较多, 地下水位较高, 一直土壤盐碱较严重。为了治水1963年毛主席发出“一定要根治海河”的号召。随着山区水库建设和打井发展灌溉农业, 粮食产量不断增加, 但地下水位不断下降, 地表水逐渐萎缩

消逝,地下水持续超采,诱发了大范围的地下水超采漏斗。根据2016年水资源公报,农业用水比例占总用水量70.1%,其中灌溉用水占64.1% [7]。河北省小麦种植面积约233万 hm^2 (3500万亩),河北省小麦的ET在400~450 mm,生长季节降雨只能满足总耗水量的1/4~1/3,其余需要灌溉来满足[8]。而河北粮食生产的90%来自灌溉农业,因此大规模发展的灌溉农业是河北省地下水超采的重要原因之一。另外随着人口增加,工业和生活用水增加也加剧了地下水超采。

2. 调整种植结构治理对策的经济分析

灌溉农业在河北省用水结构的比例最大,因此调整种植结构,发展适水种植模式,建立与水资源承载力相匹配的种植制度是地下水超采治理的关键措施之一。

自2014~2016年在河北实施的地下水超采治理试点,轮作休耕发挥了比较好的作用。目前“一季休耕,一季雨养”已经发展到13.3万 hm^2 (200万亩) [9]。另外还小面积试点了封井纯雨养旱作模式。鉴于这些模式与传统的小麦玉米一年两作种植模式相比,在灌溉和产出上有较大差异,并且需要不同的生态补偿成本。因此下面以常规小麦玉米种植模式为对照,就不同模式的投入成本、节水效果和对粮食产量的影响进行系统分析,为节水种植制度和治理地下水超采提供理论借鉴。

目前河北省推广的种植制度调整治理超采模式主要有两种,一种是“一季雨养一季休耕”模式,即在常规的小麦玉米一年两作模式中,只种植一季玉米,小麦季节休闲,每 hm^2 补贴7500元;一种是完全雨养旱作模式,即小麦玉米均不灌溉(封井),作物完全靠雨养,该模式每 hm^2 补贴12,000元。下面就不同模式分别进行经济分析。

河北省小麦玉米一年两作是主要种植制度,其中一般年份小麦需要3次浇水,即造墒水、拔节水和扬花水,干旱年份多一次灌浆水,多雨年份少一次扬花或拔节水;夏玉米由于雨热同期,生长季降雨基本可满足生长需求,但一般需浇一次出苗水,以保证及时播种。由此干旱年份周年需要浇5水,多雨年份浇3水,一般年份浇4水。每次浇水灌水量825~900 m^3/hm^2 。为方便估算,每次浇水量取825 m^3/hm^2 ,多雨年份与少雨年份出现比例相当,只取一般年份进行地下水超采治理措施节水效果估算。这样一般年份浇4水,则周年总灌溉量为3300 m^3/hm^2 ,因此周年雨养可节约灌溉水3300 m^3/hm^2 ,不种小麦则节约3次灌溉水,节水2475 m^3/hm^2 。

2.1. 不同模式的节水效果估测

2.1.1. 一季雨养一季休耕

采用一季雨养一季休耕,不种小麦可每 hm^2 节约灌溉水2475 m^3 。13.3万 hm^2 则节约灌溉水3.3亿 m^3 ,即减少地下水超采3.3亿 m^3 。如果推广66.7万 hm^2 (1000万亩)则可以减少地下水开采16.5亿 m^3 。

2.1.2. 完全雨养模式

采用封井完全雨养每 hm^2 可节约灌溉水3300 m^3 。推广13.3万 hm^2 则节约灌溉水减少地下水开采4.4亿 m^3 。如果推广66.7万 hm^2 则可以减少地下水开采22亿 m^3 。可大部分解决深层地下水超采问题。

2.2. 种植制度调整治理超采的成本分析

2.2.1. 直接投入成本分析

1) 一季休耕一季雨养模式

目前深井超采区不种小麦一季玉米补贴7500元/ hm^2 ,节约灌溉水量为2475 m^3/hm^2 ,由此计算,采用一季雨养一季休耕模式,小麦可节水折合每 m^3 水投入成本为3.03元/ m^3 (7500元/ $\text{hm}^2 \div 2475 \text{m}^3/\text{hm}^2 = 3.03 \text{元}/\text{m}^3$)。

2) 完全雨养模式

按照估算小麦可亩节水2475 m^3/hm^2 ,玉米可节水825 m^3/hm^2 ,每a节约灌溉水3300 m^3/hm^2 ,完全雨养目前实施的补贴标准是12,000元/ hm^2 (800元/亩),按照这个补贴标准和节水量估算,完全雨养模式节水的投入成

本为 3.64 元/m^3 ($12,000 \text{ 元/hm}^2 \div 3300 \text{ m}^3/\text{hm}^2 = 3.64 \text{ 元/m}^3$)。

2.2.2. 考虑粮食安全国家间接投入成本分析

考虑粮食安全国家间接投入的成本，即假定推广的节水技术模式，造成的粮食减产数量需要进口来补充而支付的外汇成本。

1) 一季休耕一季雨养模式

考虑该项措施在减少超采地下水同时，也减少了粮食(小麦)的产出，按照实际产量评估，约减少小麦产量 7500 kg/hm^2 。如果按照 2018 年全年小麦进口平均价格计算，2018 年小麦平均进口价格为 2767.89 千美元/万 t，折合(按照 1 美元兑换 6.9 元汇率)1.91 元/kg [10]。按照该平均小麦价格计算，则每 a 国家需要投入 $14,325 \text{ 元/hm}^2$ ($7500 \text{ kg/hm}^2 \times 1.91 \text{ 元/kg} = 14,325 \text{ 元/hm}^2$)购买相应减少粮食产出以保障粮食安全，按照相应节约灌溉水的量来折算，则折合 5.79 元/m^3 ($14,325 \text{ 元/hm}^2 \div 2475 \text{ m}^3/\text{hm}^2 = 5.79 \text{ 元/m}^3$)。

2) 完全雨养模式

如果完全雨养旱作模式，假设还种植小麦玉米，则根据衡水的试验资料[11]，总粮食产出为 8115 kg/hm^2 (541 kg/亩)，其中小麦 1710 kg/hm^2 (114 kg/亩)，玉米 6405 kg/hm^2 (427 kg/亩)。按照目前的生产水平，即小麦按照 7500 kg/hm^2 ，玉米 9000 kg/hm^2 计算，完全雨养旱作将减少粮食产出 8385 kg/hm^2 (559 kg/亩)。其中完全雨养模式小麦将减少产出 5790 kg/hm^2 (386 kg/亩)，玉米将减少产出 2595 kg/hm^2 (173 kg/亩)。

按照 2018 年平均进口小麦价格 1.91 元/kg，小麦减少 5790 kg/hm^2 ，如果进口同样多小麦需要投入成本， $5790 \text{ kg/hm}^2 \times 1.91 \text{ 元/kg} = 11,055 \text{ 元/hm}^2$ ；2018 年进口玉米平均价格为 224.1 美元/t [12]，折合(按照 1 美元兑换 6.9 元人民币汇率折算)玉米价格 1.55 元/kg。减少的玉米产出如果进口同样数量需要成本 4022 元/hm^2 ($2595 \text{ kg/hm}^2 \times 1.55 \text{ 元/kg} = 4022 \text{ 元/hm}^2$)。完全雨养旱作小麦玉米合计需要投入 $15,077 \text{ 元/hm}^2$ ($11,055 \text{ 元/hm}^2 + 4022 \text{ 元/hm}^2 = 15,077 \text{ 元/hm}^2$)。通过单位面积投入的资金数量与单位面积节约灌溉水的数量，可以计算完全雨养模式下节约灌溉水的压采成本为 4.57 元/m^3 ($15,077 \text{ 元/hm}^2 \div 3300 \text{ m}^3/\text{hm}^2 = 4.57 \text{ 元/m}^3$)。

在全雨养模式，直接补贴投入成本和考虑粮食安全进口粮食成本两项合计完的节水成本为 8.21 元/m^3 ($3.64 \text{ 元/m}^3 + 4.57 \text{ 元/m}^3 = 8.21 \text{ 元/m}^3$)。

但是纯旱作条件下，小麦平均产量 114 kg/亩，在实际机收和投入生产情况下，按投入产出效益分析，投入大于产出，实际上是不可行的。这样纯旱作条件下小麦将减少产出 7500 kg/hm^2 ，而不是 1710 kg/hm^2 。照此计算，纯雨养情况下减少的粮食总产量应为 $7500 \text{ kg/hm}^2 + 2595 \text{ kg/hm}^2 = 10,095 \text{ kg/hm}^2$ ，其中玉米减少产出 2595 kg/hm^2 。如果减少的粮食需要进口则国家需要投入资金成本 $14,325 \text{ 元/hm}^2$ ($7500 \text{ kg/hm}^2 \times 1.91 \text{ 元/kg} = 14,325 \text{ 元/hm}^2$)，玉米 $14,325 \text{ 元/亩} + 4020 \text{ 元/hm}^2 = 18345 \text{ 元/hm}^2$ ，折合成本 $18,345 \text{ 元/hm}^2 \div 3300 \text{ m}^3/\text{hm}^2 = 5.56 \text{ 元/m}^3$ 。

2.2.3. 综合成本分析

1) 一季休耕一季雨养模式

综合考虑直接投入成本和间接投入成本，两项节水的成本合计国家需要投入成本 8.82 元/m^3 ($3.03 \text{ 元/m}^3 + 5.79 \text{ 元/m}^3 = 8.82 \text{ 元/m}^3$)。

2) 完全雨养模式

综合考虑直接投入成本和间接投入成本，完全雨养模式下，直接补贴和考虑粮食安全进口粮食成本两项合计的节水成本为 9.2 元/m^3 ($3.64 \text{ 元/m}^3 + 5.56 \text{ 元/m}^3 = 9.2 \text{ 元/m}^3$)。

2.3. 粮食安全方面分析

2.3.1. 一季雨养一季休耕

一季雨养一季休耕措施，减少小麦产量 7500 kg/hm^2 。占周年小麦玉米总产量的 45.5%。13.3 万 hm^2 (200 万

亩)减少小麦 10 亿 kg。其减少产出的程度与推广面积成比例。同时与压采程度高度相关。如果推广 66.7 万 hm^2 (1000 万亩), 则压采数量 16.5 亿 m^3 。同时减少小麦产出 50 亿 kg。按 2018 年河北省粮食总产量 370.1 亿 kg 计算[13], 减产幅度约相当河北省 2018 年粮食总产量的 13.5%。

2.3.2. 完全旱作雨养

封井雨养纯旱作, 不进行地膜覆盖情况下(考虑环境问题, 河北不适宜大面积地膜覆盖粮食种植)单产粮食 6405 kg/hm^2 , 较正常小麦玉米周年产量 16,500 kg/hm^2 约减产 10,095 kg/hm^2 , 减产 61.2%。如果推广 13.3 万 hm^2 (200 万亩), 减少粮食 13.5 亿 kg, 其中减少小麦生产 10 亿 kg, 减少玉米 3.5 亿 kg。如果推广 66.7 万 hm^2 (1000 万亩), 则减少粮食产量 67.3 亿 kg, 其中小麦产出减少 50 亿 kg, 玉米产出减少 17.3 亿 kg。按 2018 年河北省粮食总产量 370.1 亿 kg 计算, 减产幅度相当于 2018 年河北省粮食产量的 18.2%。

3. 结论与建议

1) 河北省地下水超采形势比较严峻, 在 2014 年地下水超采治理试点实施之前, 呈现一定发展趋势。其中种植高耗水作物和农业灌溉用水是主要诱因之一。调整农业种植结构, 进行适水种植是治理地下水超采的根本措施之一。

2) 目前试点的两种模式, “一季休耕一季雨养”模式直接投入成本为 3.03 元/ m^3 , 间接投入成本 4.57 元/ m^3 , 综合投入成本 8.21 元/ m^3 , 同时造成小麦玉米周年粮食减产 45.5%, 每 a 节约灌溉水 2475 m^3/hm^2 (165 $\text{m}^3/\text{亩}$), 如果推广 66.7 万 hm^2 (1000 万亩)则可以减少地下水开采 16.5 亿 m^3 ;

完全雨养旱作模式直接投入成本为 3.64 元/ m^3 , 间接投入成本 5.56 元/ m^3 , 综合投入成本 9.2 元/ m^3 。同时造成小麦玉米周年粮食减产 61.2%, 每 a 可节约灌溉水 3300 m^3/hm^2 (220 $\text{m}^3/\text{亩}$)。如果推广 66.7 万 hm^2 (1000 万亩)则可以减少地下水开采 22 亿 m^3 。

3) 两种治理超采模式比较, 一季休闲一季雨养模式治理成本相对较低, 并且粮食减产少。虽节水量较完全雨养稍低, 但节水效果明显, 大面积应用粮食安全隐忧低。完全雨养综合成本较高, 并且粮食减产幅度较大, 大面积推广宜慎重, 同时积极探索新模式。

4) 在治理河北省地下水超采时, 建议全国统筹考虑粮食生产, 尽量使压采区损失的粮食由其他水资源丰富区域增产得到一定补偿, 尽量不通过进口途径解决粮食安全问题, 使间接投入成本不发生, 进而可大大减少超采区治理成本。

基金项目

国家重点研发计划粮食丰产增效科技创新课题(2018YFD0300505)、(2016YFD0300205-04)、(2017YFD0300904)。

参考文献

- [1] 郑连生, 张颖, 崔俊辉, 穆仲义. 河北省水资源情势演变对生态环境的影响[J]. 水科学与工程, 2007(3): 18-21. ZHENG Liansheng, ZHANG Ying, CUI Junhui and MU Zhongyi. Influence of evolution of water resources situation on ecological environment in Hebei province. Water Sciences and Engineering Technology, 2007(3): 18-21. (in Chinese)
- [2] 李文体. 河北省地下水开发利用问题及对策[J]. 河北水利, 2007(1): 16-17. LI Wenti. The problems and countermeasures in the groundwater development in Hebei province. Hebei Water Resources, 2007(1): 16-17. (in Chinese)
- [3] 李春强, 杜毅光, 李宝国, 范增禄. 河北省近四十年(1965-2005)气温和降水变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 13(7): 1-7. LI Chunqiang, DU Yiguang, LI Baoguo and FAN Zenglu. An analysis on variation characteristics of temperature and precipitation in Hebei province during 1965-2005. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 13(7): 1-7. (in Chinese)
- [4] 张兆吉, 等. 华北平原地下水可持续利用调查评价[M]. 北京: 地质出版社, 2009. ZHANG Zhaoji, et al. Investigation and evaluation of sustainable utilization of the groundwater in North China Plain. Beijing:

- Geological Publishing House, 2009. (in Chinese)
- [5] 冯战洪, 张封. 关于对河北省地下水超采综合治理试点工作的几点思考[J]. 水利规划与设计, 2017(3): 17-19.
FENG Zhanhong, ZHANG Feng. Some consideration about the over-exploitation aquifer of Hebei province mitigation pilot project. Water Resources Planning and Design, 2017(3): 17-19. (in Chinese)
- [6] 马磊. 河北省地下水超采综合治理实践及启示[J]. 中国水利, 2017(7): 51-54.
MA Lei. Comprehensive management for groundwater over-exploitation in Hebei province. China Water Resources, 2017(7): 51-54. (in Chinese)
- [7] 河北省水利厅. 2016 年河北省水资源公报[EB/OL].
<http://slt.hebei.gov.cn/a/2018/03/02/2018030221906.html>, 2018-03-02.
The Hebei Department of Water Conservancy. Hebei Provincial Water Resources Bulletin 2016.
<http://slt.hebei.gov.cn/a/2018/03/02/2018030221906.html>, 2018-03-02. (in Chinese)
- [8] 王慧军, 李科江, 马俊永, 李英杰. 河北省粮食生产与水资源供需研究[J]. 农业经济与管理, 2013, 19(3): 5-11.
WANG Huijun, LI Kejiang, MA Junyong and LI Yingjie. Study on foodstuff production and the supply and demand of water resources in Hebei province. Agricultural Economics and Management, 2013, 19(3): 5-11. (in Chinese)
- [9] 何政之, 王敏瑶. 河北 200 万亩地季节性休耕,每亩补助 500 元[EB/OL]. 河北新闻网, 2018-09-03.
HE Zhengzhi, WANG Minyao. 2 million mu wheat growing season fallow in Hebei province with subsidy for 500 RMB per mu. Hebei news.net, 2018-09-03. (in Chinese)
- [10] 华经情报网. 2012-2018 年中国小麦进口量、进口金额及进口均价统计[EB/OL].
<https://www.huaon.com/story/402993>, 2019-02-13.
Huaon.com. Statistics of the amount and price of China imported wheat during 2012-2018.
<https://www.huaon.com/story/402993>, 2019-02-13. (in Chinese)
- [11] 郑春莲, 曹彩云, 党红凯, 李伟, 马俊永, 李科江. 黑龙港地区自然降水条件下粮食生产潜力研究[J]. 河北农业科学, 2012, 16(2): 15-19.
ZHENG Chunlian, CAI Caiyuan, DANG Hongkai, LI Wei, MA Junyong and LI Kejiang. Study on potential grain productivity under natural precipitation condition in Heilonggang region. Hebei Agricultural Sciences, 2012, 16(2): 15-19. (in Chinese)
- [12] 华经情报网. 2012-2018 年中国玉米进口量、进口金额及进口均价统计[EB/OL].
<https://www.huaon.com/story/402961>, 2019-02-13.
Huaon.com. Statistics of the amount and price of China imported corn during 2012-2018.
<https://www.huaon.com/story/402961>, 2019-02-13. (in Chinese)
- [13] 国家统计局. 国家统计局关于 2018 年粮食产量的公告[EB/OL].
http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201812/t20181214_1639544.html, 2018-12-14.
National Bureau of Statistics. NSO bulletin on food production in 2018.
http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201812/t20181214_1639544.html, 2018-12-14. (in Chinese)