

河北南部平原地下水位变化趋势及其对农业生态环境的影响

吴 凯, 于静洁, 谢贤群

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 简要介绍了河北南部平原石家庄市、衡水市与沧州市地下水位平均埋深、影响与对策, 建立了石家庄市地下水位平均埋深与粮食总产、降水量的回归关系。较详细地分析了地下水水环境问题及其对策, 这些水环境问题有: 地下水超采、地下水降落漏斗与地面沉降、地下水污染(农药、化肥污染、饮水型氟中毒)等, 建立了石家庄漏斗、冀枣衡漏斗和沧州漏斗中心水位埋深与降水比率、地下水累积开采量的回归关系。

关键词: 河北南部平原; 地下水位; 趋势; 影响

中图分类号 X523 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 0267(2001)06 - 0401 - 03

Changing Tendency of Groundwater Level and Its Effects on Agro - Ecological Environment in the South of Hebei Plain

WU Kai, YU Jing-jie, XIE Xian-qun

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101 China)

Abstract: Average depth, effect and countermeasures of groundwater level in Shijiazhuang City, Hengshui City and Cangzhou City of the South Hebei Plain are briefly described in this paper, in which regression relationship among average groundwater level depth and total yields of grain and precipitation in Shijiazhuang City are established. Aquatic environmental issues of groundwater and their countermeasures were minutely evaluated, including over - use of groundwater, drawdown funnel of groundwater and ground desiccation, groundwater pollution (pesticide or chemical fertilizer pollution, fluorine poisoning in drinking water) and so on, in which the regression relationships among the centre water table depth of Shijiazhuang Funnel, or Jizaoheng Funnel or Cangzhou Funnel and the precipitation rate, the accumulative exploitation of groundwater were set up, respectively.

Keywords: the South Hebei Plain; groundwater level; tendency; effects

河北南部平原包括京津以南河北省的石家庄、保定、廊坊、沧州、衡水、邢台、邯郸 7 个地市的 105 个县市区, 土地面积为 $7.94 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全省面积的 42.3%。

1 典型地市概况

1.1 石家庄市

石家庄市除辛集属于冀中低平原区外, 其他县市都属于太行山山前平原区。该市太阳总辐射为 $530178 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$, 光合有效辐射为 $249185 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$, 日照时数为 2775.2 h, 平均温度为 $13.0 \text{ }^\circ\text{C}$, $\geq 0 \text{ }^\circ\text{C}$ 积

温为 $4919.5 \text{ }^\circ\text{C}^{[1]}$, 降水量(1979—1999)为 519 mm。1999 年全市人口为 875.40×10^4 人, 耕地面积为 $59.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 粮食总产为 $512.25 \times 10^4 \text{ t}$, 分别占全省的 13.2%、8.6% 和 18.7%。

1.2 衡水市

衡水市属于冀中低平原区。该市太阳总辐射为 $516081 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$, 光合有效辐射为 $242558 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$, 日照时数为 2632.1 h, 平均温度为 $12.7 \text{ }^\circ\text{C}$, $\geq 0 \text{ }^\circ\text{C}$ 积温为 $4892.3 \text{ }^\circ\text{C}^{[1]}$, 降水量为 471 mm。1999 年全市人口为 415.03×10^4 人, 耕地面积为 $58.18 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 粮食总产为 $318.90 \times 10^4 \text{ t}$, 分别占全省的 6.3%、8.5% 和 11.6%。

1.3 沧州市

沧州市除黄骅、海兴属于环渤海低平原区外, 其他县市都属于冀中低平原区。该市太阳总辐射为

收稿日期: 2001 - 03 - 04

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(49890330)

作者简介: 吴 凯(1939—), 男, 江苏省盐城市人, 中国科学院地理科学与资源研究所研究员。

549 257 J · cm⁻², 光合有效辐射为 258 149 J · cm⁻², 日照时数为 2 969.6 h, 平均温度为 12.5 °C, ≥0 °C 积温为 4 832.4 °C^[1], 降水量为 540 mm。1999 年全市人口为 659.12 × 10⁴ 人, 耕地面积为 77.98 × 10⁴ hm², 粮食总产为 296.08 × 10⁴ t, 分别占全省的 10.0%、11.3% 和 10.8%。

2 地下水位的变化趋势

2.1 地下水位的时序变化

2.1.1 浅层地下水位的下降速率

1983—1993 年浅层地下水位的下降速率, 石家庄市为 0.83 m · a⁻¹, 衡水市为 0.43 m · a⁻¹, 沧州市仅为 0.01 m · a⁻¹(表 1)。

表 1 河北南部平原 1983 年、1993 年浅层地下水水位动态

Table 1 The near-surface groundwater level trends in 1983 and 1993 in the South Hebei Plain

地市	年份	统计县数 /个	统计井数 /眼	地下水平均埋深 /m	下降速率 /m · a ⁻¹
石家庄	1983	14	54	11.52	
	1993	13	48	19.80	0.83
衡水	1983	10	33	4.49	
	1993	11	37	8.81	0.43
沧州	1983	14	99	4.13	
	1993	15	43	4.21	0.01

2.1.2 石家庄市浅层地下水位的时序变化

据笔者分析, 石家庄市 1972—1993 年地下水位平均埋深 ($y_{石}$, m) 与 1972 年为起始年的年数 (x) 的回归方程可表达为^①:

$$y_{石} = 5.3195 + 0.6347x \quad (r = 0.960)$$

2.2 石家庄市浅层地下水位的变化规律

据分析, 若遇丰水年、偏丰水年, 石家庄市地下水位下降幅度为 0.3 m; 若遇平水年、枯水年或偏枯水年, 地下水位下降幅度在 1.0 m 左右。

该市地下水位平均埋深 ($y_{石}$, m) 与粮食总产 ($x_{粮, 石}$, 10⁸ kg)、降水量 ($x_{降, 石}$, mm) 或仅与粮食总产的回归方程可分别表达为:

$$y_{石} = -8.3763 + 0.6136x_{粮, 石} + 0.005035x_{降, 石} \quad (r = 0.952)$$

$$y_{石} = 6.7698 - 0.1703x_{粮, 石} + 0.01161x_{降, 石}^2 \quad (r = 0.949)$$

2.3 地下水位持续下降对农业的影响与对策

2.3.1 影响

(1) 机井成本和能耗成倍增长。1995—1996 年, 石家庄市深井增长率为 0.3%, 衡水市为 3.4%, 沧州市为 2.3%(表 2)。20 世纪 70 年代以来石家庄市机井成本增长 5.9 倍, 能耗增长 2.3 倍。

(2) 机井报废率居高不下。1995—1996 年报废机井增长率, 石家庄市为 75.9%, 衡水市为 67.3%, 沧州市为 35.0%。石家庄市机井报废率平均为 5%, 机具更新换代速度加快, 机井配套投资大幅度增加, 由 1993 年每眼 3 000 元增至 10 000 元, 农灌能源结构将改变, 用电量大增。

2.3.2 对策

(1) 应加速农业结构的调整, 适当减少耗水量大的小麦的播种面积。

(2) 大力推广渠道衬砌、管道输水、喷滴灌技术, 发展节水型农业。

(3) 加大科技投入, 大力发展设施农业。

(4) 有计划完善农村电网, 加大供电能力。

3 地下水水环境问题及其防治对策

3.1 地下水超采

3.1.1 现状

石家庄市浅层地下水严重超采, 平均超采量为 13.73 × 10⁸ m³, 占其可采量的 72.8%, 但深层地下水超采量不大。衡水市浅层地下水平均超采量不大, 而深层地下水超采量高达 7.41 × 10⁸ m³, 为其可采量的 3 倍。沧州市浅层地下水不超采, 而深层地下水超采量达 1.95 × 10⁸ m³, 占其可采量的 70.4%(表 3)。

3.1.2 对策

为了减少地下水超采, 必须大力推行节水型农

表 2 河北南部平原机井报废和机泵更新情况

Table 2 The abandoned motor-pumped wells and the replaced motor pumps in the South Hebei Plain

地市	深井/眼			报废机井/眼			真空井/眼			砖石井/眼		
	1995	1996	增长率/%	1995	1996	增长率/%	1995	1996	增长率/%	1995	1996	增长率/%
石家庄	7 183	7 205	0.3	6 224	10 948	75.9	0	0	0	1 316	1 242	5.6
衡水	19 703	20 372	3.4	3 246	5 429	67.3	13 855	8 246	40.5	1 299	696	46.4
沧州	17 125	17 517	2.3	2 752	3 715	35.0	85 090	74 538	12.4	5 649	4 201	25.6

① 石家庄市水利局. 关于我市平原区地下水位下降所造成的严重后果的初步分析. 1994.

表3 河北南部平原地下水平均超采量(×10⁸ m³)Table 3 The average over-use of groundwater in the South Hebei Plain (×10⁸ m³)

地市	浅层			深层		
	开采量	可采量	超采量	开采量	可采量	超采量
石家庄	32.59	18.86	13.73	1.08	0.96	0.12
衡水	4.96	4.75	0.21	9.84	2.43	7.41
沧州	4.81	5.07	-0.26	4.72	2.77	1.95

业。据预测,石家庄市若节水10%,浅层地下水下降速率将为0.96 m·a⁻¹,为允许下降速率(0.5 m·a⁻¹)的1.9倍;节水50%,其下降速率将为0.44 m·a⁻¹,略低于允许值。衡水市若节水10%,深层地下水下降速率将为1.18 m·a⁻¹,为允许值的2.4倍;节水50%,其下降速率仍将为0.63 m·a⁻¹,略高于允许值。沧州市若节水10%,地下水下降速率将为0.83 m·a⁻¹,为允许值的1.7倍;节水50%,其下降速率将为0.44 m·a⁻¹,略低于允许值。这就是说,至少节水50%,上述三市地下水位的变化才能进入良性循环(表4)。

表4 在不同节水条件下河北南部平原地下水位下降速率预测(m·a⁻¹)Table 4 The forecasts of the descending rates of groundwater level in the different (m·a⁻¹)

地市	节水50%		节水25%		节水10%	
	浅层	深层	浅层	深层	浅层	深层
石家庄	0.44	0.07	0.76	0.14	0.96	0.17
衡水	-0.56	0.63	-0.22	0.97	0.03	1.18
沧州	0.10	0.44	0.12	0.68	0.14	0.83

注:允许下降速率为0.5 m·a⁻¹。

3.2 地下水降落漏斗和地面沉降

3.2.1 漏斗中心水位埋深的时序变化

石家庄、冀枣衡、沧州漏斗的面积及中心水位埋深见表5。其1989—1995年下降速率分别为0.9^②、2.9^[2,3]、1.7 m·a⁻¹。

3.2.2 漏斗中心水位埋深的变化规律

表5 1998年河北平原地下水漏斗统计

Table 5 The groundwater funnels in the Hebei Plain in 1998

漏斗名称	漏斗性质	漏斗面积/km ²	漏斗中心水位埋深/m
冀枣衡漏斗	深层	921	76.21
沧州漏斗	深层	1 195	93.73
高蠡清漏斗	浅层	206	17.84
肃宁漏斗	浅层	306	23.74
石家庄漏斗	浅层	325	37.82
宁柏隆漏斗	浅层	1 202	34.36

②水利部. 中国水资源公报(1998). 1999. 9. ③河北省南水北调中线工程建设开发筹备处. 南水北调中线工程河北省段情况介绍.

1999. 5. ④河北省农业区划委员会办公室. 河北省市、地、县(市)水资源量成果表. 1994. 2.

石家庄漏斗

$$y_{\text{水深,石}} = 35.4803 - 0.01927x_{\text{降水,石}} + 0.03479x_{\text{地下,石}} \quad (r=0.878)$$

冀枣衡漏斗

$$y_{\text{水深,冀}} = 59.6338 - 8.9338x_{\text{降水,衡}} + 0.3322x_{\text{地下,衡}} \quad (r=0.936)$$

沧州漏斗

$$y_{\text{水深,沧}} = 77.8924 - 1.3167x_{\text{降水,沧}} + 0.2168x_{\text{地下,沧}} \quad (r=0.913)$$

3.2.3 地面沉降

河北南部平原自20世纪50年代中期开始沉降,目前已形成沧州、衡水、任丘、河间、霸州、保定一亩泉、大城、南宫、肥乡、邯郸10个沉降中心,沧州最甚。本区沉降量超过100 mm的面积达3.39×10⁴ km²,其中沉降量大于600 mm的面积约5 000 km²。沧州与大城沉降区面积为9 363 km²,沧州市中心沉降为1 680.9 mm,年均沉降为84 mm。沧县、阜城两县典型区域咸淡水界面一般下降超过10 m,最大深度超过30 m。沧县境内160 m界面咸水分布区,由1975年的6.5 km²扩展到1993年的104 km²④、[4]。

3.2.4 防治地下水降落漏斗与地面沉降发展的对策

(1) 积极推进跨流域调水工程的建设,多方开辟水源。从黄河向北送水,宜在黄河流域用水高峰期以前的冬季和早春进行。如,1994年冬开始实施的引黄济冀工程可给沧州市供水3.0×10⁸ m³,给衡水市供水1.5×10⁸ m³;2000年10月实施的引黄济津工程,给沧州大浪淀水库补水0.5×10⁸ m³。

(2) 严格限制超采地下水,开展引河补源。应实施淡水、微咸水混灌等措施,严格限制超采地下水,并利用汛期河道剩余洪水和引黄退水回灌补源。

(3) 加大力度建设节水灌溉工程,节约农业用水。1996年石家庄市节水灌溉工程面积为12.43×10⁴ hm²,占该市有效灌溉面积的23.7%;衡水市节水工程面积为11.31×10⁴ hm²,占该市有效灌溉面积的28.0%;而沧州市节水工程面积为25.46×10⁴ hm²,占该市有效灌溉面积的58.0%。

3.3 地下水污染

3.3.1 农药、化肥污染

1993—1999年石家庄市农药施用量为17 kg·hm⁻²,化肥施用量(折纯)为674 kg·hm⁻²;衡水市农药、化肥施用量分别为12 kg·hm⁻²与268 kg·hm⁻²;

沧州市农药、化肥施用量分别为 $13 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 与 $317 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。农药随农田径流的流失量一般为施药量的 5%, 化肥的有效利用率也仅为 27%—30%。可见, 农药、化肥的污染乃是地下水污染的主要原因^[5,6]。石家庄市浅层地下水硝酸盐氮检出并率为 98.4%, 总磷的检出率为 80%, 检出极值为 $0.204 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 未超标^⑤。沧州市地下水中氨氮平均为 $0.167 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 浅层地下水中超标率为 23.7%, 但硝酸盐氮平均为 $0.352 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 亚硝酸盐氮为 $0.004 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 均未超标^⑥。

防治对策:(1)加强对地下水水质的监测。在有条件的地区, 应对农药、化肥中的环境污染物质含量进行长期定位网络监测。(2)加强农药、化肥合理施用量的研究, 采取有效措施减少农药、化肥超量施用带来的负面影响。

3.3.2 饮水型氟中毒

饮水型氟中毒是长期饮用高氟水(水中氟含量大于 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)引起的一种慢性中毒性疾病, 包括氟斑牙和氟骨病。河北南部平原深层地下水普遍含氟较高, 其中沧州深层地下水中氟浓度达到 3.30—5.87

⑤ 石家庄地区水利局, 石家庄水文分站. 石家庄地区地下水水质调查评价报告. 1992. 12.

⑥ 沧州市环境监测站. 沧州市环境质量报告书(1986—1990). 1992. 3.

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。1996年石家庄市氟病区改水人数占该市人口的 3.0%, 衡水市改水人数占该市人口的 17.8%, 而沧州市改水人数竟占该市人口的 27.9%。

防治对策: 加速寻找低氟水源, 深、浅井水混用, 引黄补源。如以引黄水作为水源的沧州大浪淀水库、衡水千顷洼水库的兴建, 可在一定程度上解决当地居民的氟中毒问题。

参考文献:

- [1] 张 值. 中国设施农业论[M]. 香港: 新世纪出版社, 1992.
- [2] 吴 凯. 环渤海区域水环境问题及其防治对策[J]. 地理科学, 1997, 17(3): 231—236.
- [3] 吴 凯, 许越先. 黄淮海平原水资源开发的环境效应及其调控对策[J]. 地理学报, 1997, 52(2): 114—122.
- [4] 吴 凯, 唐登银, 谢贤群. 黄淮海平原典型区域的水问题和水利管理[J]. 地理科学进展, 2000, 19(2): 136—141.
- [5] 傅泽田, 祁力钧. 国内外农药使用情况及解决农药超量使用问题的途径[J]. 农业工程学报, 1998, 14(2): 7—12.
- [6] 汪建飞, 邢素芝. 农田土壤施用化肥的负效应及其防治对策[J]. 农业环境保护, 1998, 17(1): 40—43.

本文引用了我所成立、李丽娟等学位论文的部分成果, 特此致谢。

(上接第 400 页)

生长繁殖产生明显的抑制作用, 当 Y 达到 $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, Sm 达到 $45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 小球藻已基本停止繁殖增长。

(3) Y 对小球藻的毒性要大于 Sm 的毒性, 但总体尚属中等毒性。

参考文献:

- [1] 胡勤海, 等. 稀土元素的水生生态环境效应[J]. 环境污染与防治, 1995, 7(3): 16.
- [2] 郭伯生, 等. 农业中的稀土[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [3] 王晓蓉. 稀土元素的环境化学研究现状及发展趋势[J]. 环境化学, 1991, 10(6): 73.
- [4] 童世沪, 等. 稀土的生物效应[J]. 稀土, 1987, 4: 42.
- [5] 高达治, 等. 稀土的毒性和生态环境问题[J]. 环境科学丛刊, 1987, 8(2): 10.
- [6] 胡泗才. 硝酸稀土对几种水生生物的毒性影响[J]. 江西大学学报(自然科学版), 1987, 2: 55.

- [7] 王晓蓉, 等. 稀土元素在鱼体中的生物富集作用[J]. 环境化学, 1991, 10(4): 37.
- [8] Arvela P. Toxicity of Rare-earth[M]. Academic Press, London, 1980.
- [9] 吴人坚, 等. 植物学实验方法[M]. 上海: 上海科技出版社, 1986. 237.
- [10] 华汝成, 等. 单细胞藻类的培养与利用[M]. 北京: 农业出版社, 1987.
- [11] 王麟仁. 稀土元素对植物的生理效应综述[J]. 海南农垦科技, 1991, 3: 19.
- [12] 吴兆明, 等. 稀土元素对作物的生理过程的影响[J]. 中国稀土学报, 1984, 2(2): 75—79.
- [13] 胡勤海, 等. 稀土元素对小球藻叶绿素(a)含量及其亚显微结构的影响[J]. 中国环境科学, 1996, 16(3): 204—207.
- [14] Dwight E, et al. Some Metabolic Effects of Rare-earth Cations on *Aspergillus Niger* Cell[J]. *Mycology*, 1972, 64: 551—555.
- [15] Leonord R T, et al. Effect of Landthamin on Ion Absortion in Corn Roots[J]. *Plant Physiology*, 1975, 55: 542—546.