

三江平原农业转型中的水资源安全分析

刘振乾¹，吕宪国²，翟金良²，王世岩²

(1. 华南农业大学, 广东 广州 510642; 2. 中国科学院长春地理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 地下水位定点观测和地表、地下水水质分析显示, 三江平原地下水位的升降主要受水田灌溉水量制约, 生长期内水位显著下降。地下水资源理论上能满足目前水田耕作的需求, 但从发展趋势来看, 水资源将会成为农业用水的制约因子。“旱改水”进程中造成了显著的地表水污染。针对当地现状提出了农业规划和布局应注意的问题及水资源安全保护措施。

关键词: 三江平原; “旱改水”; 地下水; 水质; 水量

中图分类号: X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2001)04 – 0202 – 04

Safety of Water Resources During Transformation of Agriculture Type in the Sanjiang Plain

LIU Zhen-qian¹, LU Xian-guo², ZHAI Jin-liang², WANG Shi-yan²

(1. South China Agriculture University. Guangzhou 510642; 2. Changchun Institute of Geography. Changchun 130021 China)

Abstract: Groundwater level was measured and the quality of surface water and groundwater both were tested. The results from the study showed that a fluctuation of the groundwater level in Sanjiang Plain was mainly controlled by paddy’s irrigation. During growth period, groundwater level descended considerably. Although water is sufficient to the irrigation demands theoretically at present, water resources would be a critical restriction factor to agriculture development according to the tendency of the “transformation from dry farmland to paddy farmland”. In addition, local surface water pollution is aggregated by the drainage of paddy farmland. To deal with these problems, some suggestions are provided in agricultural plan and water safety protection.

Keywords: Sanjiang Plain; “transformation from dry farmland to paddy farmland”; groundwater; water quality; water quantity

水资源安全问题一直是世人瞩目的研究热点, 专家预测, 21 世纪人类环境的核心问题是水的问题^[1]。三江平原地区在“荒凉”湿地(“北大荒”)基础上开垦出大面积农田, 目前年耕地面积约 400 万 hm^2 , 成为我国重要的商品粮基地, 耕地面积还在不断增大。旱地是三江平原传统耕作的主要方式, 其主要作物是大豆 (*Glycine max*) 和春小麦 (*Trisetum aestivum*)。受农业技术发展的推动和经济因素的制约, 80 年代初期开始大面积“旱改水”, 水稻田面积 1997 年达 $3 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 左右, 而且水田的比例仍然处于迅速增长的势头。从典型的“雨养型”旱田耕作转化为地下水灌溉为主的水田经营, 必然导致农业需水量的大幅度增长, 那么, 当地的水资源是否能够满足农业转型后的水量需求, 会不会导致当地水资源的枯竭, 水

田发展的适当比例是多少等问题已经引起当地农业、水利、环境等部门和国内学术界的高度重视, 也是农业发展规划中必须考虑的问题。

1 实验区概况

实验区选在三江平原东北部的洪河农场, 海拔 50—58 m, 地势低平, 纵坡降 1/10 000 左右, 向东北微倾。地表普遍覆盖 3—17 m 厚的上更新统粘土或亚粘土层, 渗透系数 $0.0013\text{—}0.635 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$, 构成大面积稳定隔水顶板。下伏连续的砂或砾石含水水体, 平均厚度为 175 m。该含水层导水性强, 含水丰富, 单位涌水量达 $49.7\text{—}108.7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 稳定水位 3—15 m, 测压水头高在 3—9 m 之间, 属于微承压水。该区地下水的水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{—Ca、Mg}$ 型居多, 矿化度一般为 $200\text{—}500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, pH 值 5.5—7.1, 硬度 4—10, 铁离子含量高达 $4\text{—}12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最高可达 $32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。地下水的补给来源主要是冲积层潜水侧向补给或山区裂隙水^[2]。

洪河农场包括 3 个县, 总面积 $2.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (统

收稿日期: 2000 – 12 – 14

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(49890330)、中科院资源与生态环境研究重大项目(KZ951 – B1 – 201 – 02)支持, 中科院知识创新项目(KXCX2 – 302)联合资助

作者简介: 刘振乾(1965—), 男, 博士后。

计数据), 从 1993 年起开始“旱改水”, 当年水田 $0.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 1994 年为 $0.53 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 1995 年发展到 $0.87\text{—}0.93 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 1996 年水田 $1.12 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 1999 年已达 $1.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 旱田面积相应减少。受经济杠杆的制约, “旱改水”的趋势仍在加快, 目前, 本区水田面积占到总土地面积的近 70%, 旱田仅占约三分之一。

2 实验方法

2.1 井位布置

地下水观测共涉及 8 口水井, 长期连续观测 5 口, 其中 1、2、4 号井位于水田区内, 完全用于水田灌溉; 3 号井位于水田边, 供居民生活用水; 5 号井位于水田旁, 但因水田抽沼泽水灌溉而闲置(图 1)。

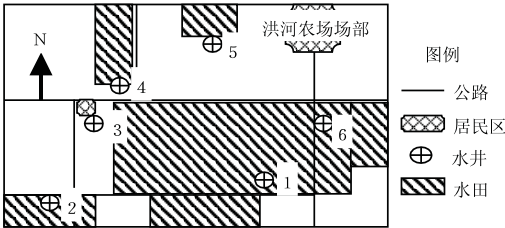


图 1 井位布置示意图

Figure 1 Sketch map showing the distribution of the wells

2.2 观测方法和内容

(1)利用特制蜂鸣器(中科院南京湖泊所研制)测量井水水位, 观测间隔为 2—4 d。同期采地下水样, 并于当天带回三江平原湿地生态实验站进行水质分析, 分析项目有 NH_4^+ 、总磷(TP)、 BOD_5 、 K^+ 、总碱度等。

(2)同农民合作, 依据抽水泵功率和抽水时间, 记

录一个耕作期内各观测井的抽水量及其时间分配, 计算单位面积水田需水量及分配。

(3)水质采样和测试按常规方法要求进行^[3]。

3 结果分析

3.1 水田需水量的时间分布

水田灌水量为水泵抽水速率与抽水时间的乘积, 根据水田灌水量和水田面积, 又可求得单位面积水田的需水量(如表 1)。

从表中记录可以看出, 新开水田单位面积耗水量大于多年耕种水田, 随着水田耕种时间的增长, 水田单位面积用水量下降, 一般 2—3 年内达到稳定。从 3 口井的平均状况来看, 单位面积水田需水量大约为 $8\,612 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。从不同年份的气候差异来分析, 1999 年干旱现象十分突出, 灌溉水量比平水年大。1999 年 4—10 月份降水量仅有 279.1 mm, 比同时期多年平均降水量少了 233.1 mm(如图 2), 如果这部分降水对水田的有效率按 80% 计, 则平水年水田需水

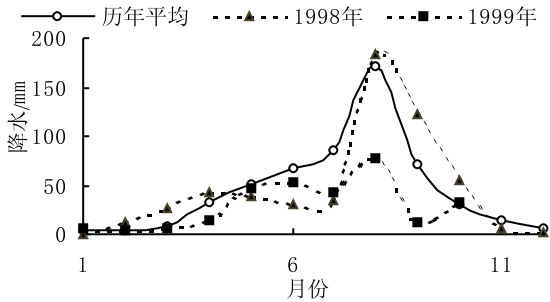


图 2 1998 年、1999 年各月降水量及多年平均

Figure 2 Monthly precipitation of 1998, 1999 and the average values between 1980—1999

表 1 水田灌溉抽水时间及水量

Table 1 Period of pumping and quantity of water for paddy irrigation

水井号		1	2	4
水泵功率/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		210	155	210
灌溉面积/ hm^2		20	2. 67	13. 33
月抽水时间/h	5	252	51	216
	6	364	54	224
	7	192	29	132
	8	40	7	24
	9	18	3	8
总抽水时间/h		866	144	604
最大连续	天数/d	18	3	11
抽水时期	起止日期	6月9日—27日	5月3日—5日	6月4日—15日
井位坐标		47°34′06″N	47°35′18″N	47°34′39″N
		133°30′34″E	133°29′49″E	133°29′12″E
水田开垦时间		第一年	第三年	五年以上
总用水量/ m^3		181 860	22 320	126 840
单位面积用水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$		9 093	8 360	8 383

量可减少约 $1\,865\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, 为 $6\,747\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

3.2 当地地下水位的季节动态

将所测井水水位统计并绘制曲线图(图 3A), 根据农场常年观测数据绘制地下水位曲线图(图 3B)。通过图 3, 可以显示实验区地下水位的季节变化特

点。对比两图可以发现, 1998 年和 1999 年实验区地下水水位变化趋势相同, 5 月初, 水位开始下降, 5 月下旬至 7 月下旬水位处于低谷期, 在灌溉高峰时有些井出现短期的干涸。7 月下旬水位回升, 9 月中下旬回升至高峰期。

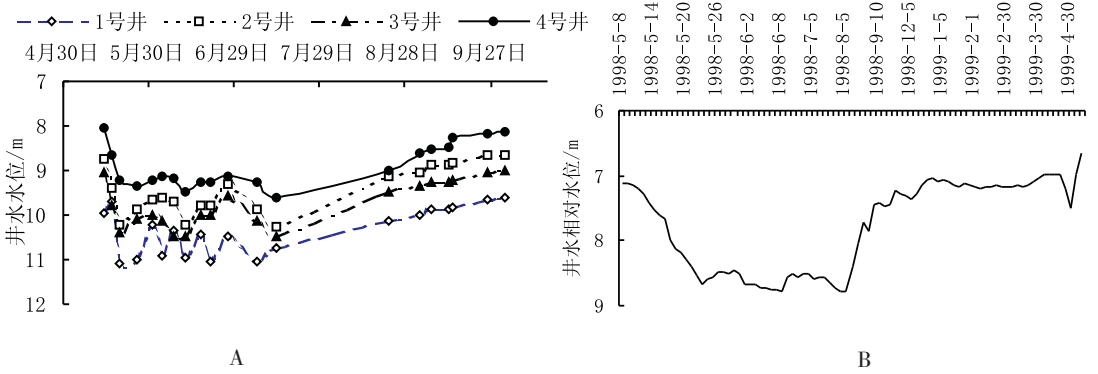


图 3 年地下水位变化曲线:1999 年(A);1998—1999 年(B)

Figure 3 Changing curves of groundwater levels for 1999(A); and during 1998 to 1999(B)

将地下水位变化曲线与降水曲线(图 2)和灌溉用水量(表 2)对比, 还可发现, 该区地下水位的高低变化与同期的降水量多少没有明显的相关性, 这可能是由于当地隔水层的作用, 隔断了地表水和地下水之间的水力联系, 大气降水对当地地下水的补给作用不明显。但是, 地下水水位的升降与当地水田灌溉用水量显著相关, 灌溉用水期水位处于低谷, 非灌溉用水期水位回升, 说明灌溉用水已成为地下水的主要输出方式。

3.3 水田耕作对水质的影响

3.3.1 地下水水质状况

根据 1999 年采集 1 号、2 号、4 号井水水样分析结果(表 2)来看, 实验区地下水水质在不同的季节略有变化, 但变化微弱, 从主要水质指标来看, 基本未受污染。其原因也与隔水层的存在密切相关。

剂和杀虫剂, 源于农田的产流水, 特别是 7、8 月份水田排放的积水中, 有毒物质含量较高, 对河流和灌渠中的动植物产生明显的药害。据当地农民介绍, 每当水田放水之后一、两天内, 总有大量死鱼漂到水面。鱼类资源逐年急剧下降。根据水文站观测资料, 三江平原主要河流及不同河流断面的各项水质指标表明, 河流的水质在不断下降, 其中 COD、BOD₅、挥发酚、汞等水质指标经常大幅度超过国家质量标准, 超标倍数最高可达 27 倍^①。

表 3 1999 年 7 月三江平原一些河流水质特征值(mg·L⁻¹)

Table 3 Water quality of some rivers in Sanjiang Plain in 1999(mg·L⁻¹)

样点及河流	BOD ₅	NH ₄ ⁺	TP	K ⁺	总碱度	重碳酸根
长林岛(挠力河)	4.7	0.14	0.07	5.22	60	36.61
东安(挠力河)	3.9	0.11	0.05	1.75	60	36.61
小佳河(小佳河)	3.7	0.11	0.08	2.09	68	41.49
宝清(挠力河)	4.4	0.13	0.11	3.55	86	52.47
长林岛(七星河)	3.0	未测	0.03	0.56	未测	未测
七星泡(七星河)	2.7	0.26	0.07	1.88	102	62.24
七星河(七星河)	4.2	未测	0.08	3.62	92	56.14
东安(乌苏里江)	3.1	未测	0.13	2.20	52	31.73
宝清(挠力河) ^①	1.1	0.12	未测	未测	45	97.00

①据参考内部资料: 1989 年中华人民共和国水文年鉴水质分册——松辽流域水质资料。

表 2 1999 年实验区地下水水质特征值(mg·L⁻¹)

Table 2 Groundwater quality of the experimental area in 1999(mg·L⁻¹)

项目	BOD ₅	NH ₄ ⁺	TP	总碱度
5—10 月均值	0.78	0.91	0.03	49

3.3.2 地表水水质状况

从 1999 年洪河农场采集的水样分析结果也反映了同样的变化问题。同当地其它水体相比, 农田排出水的铵氮含量是沼泽水的 5—10 倍, 是同期雨水含量的 10—20 倍。农田排出水的磷酸盐含量是沼泽水含量的 3—5 倍。钾的含量明显偏高。8 月份水田排水的 BOD₅ 高达 $8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。由于农田中使用了大量的除草

据研究^[12], 鱼群的年龄结构也趋向于不合理, 中低龄鱼增加, 高龄鱼减少。如大马哈鱼群体的体长和体重组成变小, 性成熟系数加大, 群体自身调节难以克服人为的过度捕捞, 致使资源严重衰退。某些种类在当地已经灭绝或者濒危。总的来说, 三江平原的水

体污染程度已经比较明显,特别是随着农药和化肥用量的逐年增加,其潜在风险应引起高度重视。

4 讨论

4.1 地下水资源供需预测

郭大本等在三江平原径流分区基础上,根据地貌特点和计算要求,每个分区划为山丘区和平原区两大单元,并分别采用分割基流法、综合补给方法和多种途径比较选定,三江平原地下水总量估算为约 100 亿 m³[5]。最近,刘兴土等经研究指出,三江平原地区的地下水总量估算为约 50 亿 m³。按照两者推算,三江平原地下水资源理论上可以满足 74.11 × 10⁴ hm² 至 148.22 × 10⁴ hm² 水田面积的灌溉用水。但是,考虑到居民生活用水和工业用水等方面的需求,水田实际开垦面积应略小于理论值。尽管目前该区水田面积还小于这个范围,按照目前水田扩大的趋势,水资源不足势必会成为制约当地农业发展的因素。另外,从地下水位的季节变化分析,水田灌溉高峰期地下水位大幅度下降,水位低谷时期较长,其原因可能与地下水的补给区较远,补给相对迟缓有关。如果水田分布过于集中,将会出现地下水漏斗现象,甚至于是否会产生地面下沉等后果,也值得进一步研究。此外,水源污染问题也已迫在眉睫。

4.2 水资源管理措施

针对目前的状况和趋势,水资源管理应成为当地

一项十分紧要的任务。建议采取以下措施来协调水稻种植与环境的关系,保护当地珍贵的水资源。

(1) 搞好农业规划,适当控制水田扩展速度及其所占比例,注意水田地区分布的均衡性。

(2) 提倡采用先进的农业耕作技术(如水稻的地膜覆盖旱作等新技术),减少灌溉用水量,并大力提倡节约用水。

(3) 可结合晒水,灌溉高峰期前提前抽水,相对减轻灌溉高峰期的抽水强度。

(4) 适当利用沼泽、河流等地表水体,减轻地下水资源的需求压力。但要注意与湿地生态环境保护相协调。

(5) 提高水资源的重复利用,减少稻田排水量,减轻营养物质的流失和地表水的非点源污染问题。

参考文献:

[1] 刘昌明. 21 世纪水文研究展望:若干前沿与重点课题[A]. 见:刘昌明. 中国地理学会水文专业委员会第六次全国水文学术会议论文集[C],北京:科学出版社,1995. 12:1—7.
[2] 长春地理所沼泽室. 三江平原沼泽[M]. 北京:科学出版社,1983.
[3] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(第三版)[M]. 北京:中国环境科学出版社,1989.
[4] 郭大本,王 清. 三江平原沼泽湿地的农业开垦对下垫面环境的影响[A]. 三江平原沼泽研究[C],北京:科学出版社,1996. 130—136.
[5] 郭大本. 三江平原地区水资源的估算和开发利用[J]. 地理科学,1986,5(1):21—25.

(上接第 198 页)
组分的径流水,经明渠汇集于较大的水塘,作为灌溉肥水储备而不直接排入附近河道,将大大降低农田化肥流失对地表水环境的影响。

显然,淹水稻田表施氮肥难以达到氮肥充分利用的目的,并对水环境带来危害,因此研究制定更科学有效的水肥管理措施是目前非常迫切的课题,对提高农业生产水平和保护农业生态环境具有重要意义。当然,稻田的水肥管理比旱地复杂、困难,如何采取合适的施肥技术,合理的耕作、灌溉和排水措施,避免过量施用氮肥,减少农业面源污染对水环境的影响,还需因地制宜地深入研究。

参考文献:

[1] 彭近新,陈惠君. 水质富营养化与防治[M]. 北京:中国环境科学

出版社,1988.
[2] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境,2000,9(1):1—6
[3] 吕 耀. 农业生态系统中氮素造成的非点源污染[J]. 农业环境保护,1998,17(1):35—39.
[4] 易 秀,等. 氮肥在土壤中的渗漏污染研究[J]. 农业环境保护,1993,12(6):50—52.
[5] 马立珊,汪祖强,张水螟,等. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究[J]. 环境科学学报,1997,17(1):39—47.
[6] 刘培斌,张瑜芳. 稻田中氮素流失的田间试验与数值模拟研究[J]. 农业环境保护,1999,18(6):241—245.
[7] 晏维金,等. 氮磷在水田湿地中的迁移转化及径流流失过程[J]. 应用生态学报,1999,(10):312—316.
[8] 庞金华. 上海农业生产中的自身污染与对策[J]. 长江流域资源与环境,1994,3(2):172—177.