

河北平原农田用水现状及灌溉方式和保证率对农田用水的影响^{*}

王道波^{1,2}, 邢素丽², 李会龙², 张广录¹

(1. 中国科学院农业资源研究中心, 河北 石家庄 050021; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 针对目前河 北南部平原地区农田用水现状, 在 ArcGIS 的支持下, 采用定量化的分析方法, 通过建立线性代数模型, 对河北南部平原各县近年来的农田用水情况进行估算和时空分析; 然后结合河北平原各县的农田用水实际, 讨论灌溉方式和灌溉保证率对农田用水的影响, 并在目前作物布局不变的基础上, 对不同县的农田节水量进行估算和分析。结果表明农田用水有增加的趋势, 灌溉保证率对农田用水影响较大; 建议对农田用水变化大、节水潜力大的地区先建立节水示范基地, 然后逐步推广到其它地区。

关键词: 农田用水; GIS; 灌溉方式; 保证率; 节水潜力

中图分类号: S274.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2005)02-0021-04

目前, 海河流域基本处于“有河皆干、有水皆污”和地下水严重超采, 甚至枯竭的严峻局面^[1]。中央政府决定: 在持续加大节水力度和污水资源化的同时, 从 2002 年开始逐步实施南水北调工程, 以水资源丰沛的长江流域为水源依托, 进行大范围的水资源优化配置, 以缓解华北平原日益尖锐的水资源供需矛盾。国务院南水北调工程建设委员会第一次全体会议上, 温家宝总理要求“把南水北调工程建设成世界一流工程”, 必须坚持“先节水后调水, 先治污后通水, 先环保后用水”的原则^[2]。

节水问题被提高到新的高度, 而河北省 2001 年农业用水占总用水量 72.7%, 平原地区农田用水量所占比重应大于该值, 所以挖掘农田节水潜力, 开展节水农业势在必行^[3]。

有关农田用水的传统估算分析, 一般根据每年的数据重新计算, 存储在二维表格中, 查询慢, 并缺乏对变化情况的快速分析, 无法及时正确地反映实际变化趋势。本文引入国际流行的地理信息系统软件 ArcGIS 来处理农田用水情况, 其优点主要表现为: (1) 历史数据管理和实时数据的动态加载; (2) 信息的空间与属性双向查询; (3) 时空统计分析; (4) 以多种方式直观地可视化表达各类信息的空间分布及动态变化过程^[4]。

1 研究区概况

本文的主要统计数据来自《河北农村统计年鉴》

等^[5], 农田用水数据参考“河北省用水定额(试行)”中主要作物灌溉定额^[6]。

研究区域为河北平原地区, 主要为石家庄、保定、邢台、邯郸的东部, 廊坊的南部, 沧州、衡水的全部地区; 涉及到太行山山前平原、黑龙港平原、沿海低平原地区。全区耕地面积 $5.56 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 约占全省总面积的 29.64%^[5]。该区域的主要河流主要有漳卫南运河、子牙河、大清河、永定河等。

该区域为河北省热量条件最好地区, 年平均气温 12°C 以上, 0°C 以上的积温为 4 800~5 200 $^\circ\text{C}$, 无霜冻期 190~205 d, 年内降水时段分配不均匀, 降水变率大, 强度大, 以夏季降水量最多, 占全省年降水总量的 65%~75%; 冬季降水量最少, 仅占全年的 2% 左右; 秋季稍多于春季, 分别占 15% 和 10% 左右。大部分地区降水在 500~600 mm。

2 河北平原农田用水现状

2.1 农田用水模型的建立

用矩阵 A, B 分别表示农作物的播种面积、灌溉定额。如果理论农田灌溉量主要由不同农作物的播种面积和其用水定额决定, 那么区域农田用水量 Y 的预测模型为: $Y = f(A, B)$ 。假设播种面积矩阵 A 、灌溉定额矩阵 B 为行向量, 则农田用水量 Y 的预测模型的实现为: $Y = A \times B^T$ 。

如果知道不同作物的品种及灌溉量, 上述模型

* 收稿日期: 2004-06-29

基金项目: 中国科学院农业资源研究中心创新方向性项目“华北平原农业节水宏观调控对策研究”资助

作者简介: 王道波(1978-), 江苏灌云人, 硕士生, 主要从事 3S 和数学模型在农业和生态环境上的应用研究

可以如下转化为:

$$Y = a_m \times (A_{mn} \times B_{mn} \times I_m) \times a_n^T$$

式中, a_m 为 m 维元素均为 1 的行向量;

a_n^T 为 a_n 的转置矩阵;

I_m 为 m 阶单位矩阵;

矩阵 A_{mn} 表示农作物的播种面积, 其中 m 表示农作物的种类, n 表示不同品种;

矩阵 B_{mn} 表示农作物的灌溉定额, m 和 n 的意义同上;

B_{mn}^T 表示的 B_{mn} 的转置矩阵。

模型 (3) 的生物学意义为: 根据矩阵乘法原理,

$A_{mn} \times B_{mn}^T$ 的第 i 行的第 j 个元素的值为^[7]: $\sum_{j=1}^n (a_{ij}$

$\times b_{ij})$, 即第 i 种农作物需水量; 可以得出: $A_{mn} \times$

B_{mn}^T 的对角线的元素值依次为不同农作物的需水

量; $A_{mn} \times B_{mn}^T \times I_m$ 将保留农作物的需水量, 其它元

素值为 0; 最后, 通过前乘 a_m , 后乘 a_n^T , 将不同农作

物的需水量叠加, 求出总的需水量

2.2 农田用水量的计算及表示

由于《河北省农村统计年鉴》的数据仅仅提供了各县部分常见作物总的种植面积, 没有具体品种的数据, 因此采用模型 $Y = A \times B^T$ 。另外需要说明的是, 河北省农田用水灌溉定额仅针对种植面积比较大的作物, 对于种植面积比较小的农作物, 划为一类, 采用各县农业综合灌溉定额为该类别作物的灌溉定额值。

将 1997~2000 年的数据代入模型 $Y = A \times B^T$, 可以得出各县的农田耗水量, 在 ArcGIS 中表示, 如图 1 所示^[8]。

2.3 农田用水量时空分析

在 ArcGIS 的支持下, 可以直接对以上的数据进行分析:

2.3.1 农田用水空间分析 在地统计中, 一般认为超过平均数加减 2 倍方差的数为离群值。而 4 年来各县平均农田用水为 $1.2 \times 10^9 \text{ m}^3$, 方差为 3×10^8 , 则大部分县的农田用水的范围为 $[6 \times 10^8, 1.8 \times 10^9] \text{ m}^3$ 。

其中平均每年农田用水量大于 $1.8 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的县有: 大名、永年、定州、河间。在 ArcGIS 中, 一般采用 SQL 查询语言, 在对话框中输入以下命令即可^[8]。

[农田用水总量 1997] > = 1.8×10^9 and
[农田用水总量 1998] > = 1.8×10^9 and ([农田用水总量 1999] > = 1.8×10^9 and [农田用水总量 2000] > = 1.8×10^9)

采用类似的方法, 可以得出: 平均每年农田用水量小于 $6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的县有: 安新、容城、孟村、海兴。

农田用水量还与其耕地面积大小相关。采用类似的分析方法可以得知, 单位耕地面积 (hm^2) 农田用水量大于 1800 m^3 的县有: 枣强县、广宗县、邯郸县; 单位耕地面积 (hm^2) 农田用水量小于 1500 m^3 的县有: 安新、东光、魏县。

单位面积用水量的顺序与用水总量的顺序不同, 这表明农田用水除了与耕地面积有关外, 和种植的作物也有关, 即作物布局对农田用水具有较大的影响。其表明: 通过合理的作物布局调整, 减少农田用水, 不失为节水用水的良策。

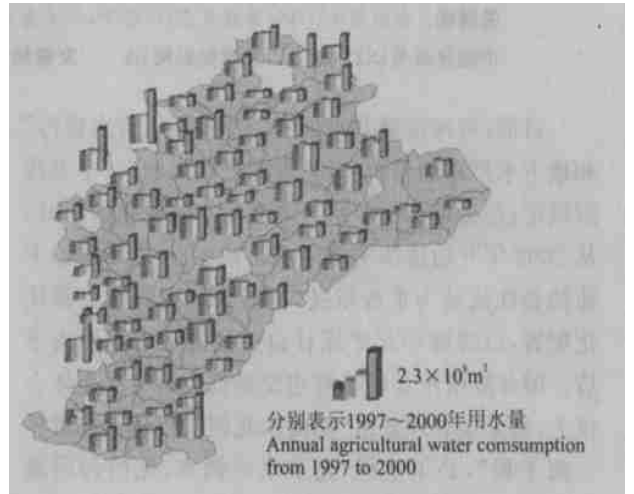


图 1 1997~2000 年农田用水量

Fig. 1 Water uses in farming in 1997~2000

2.3.2 农田用水的时间分析 在数理统计中, 一般用平方差来反映数据之间的变异情况^[9]。但考虑年度之间数据值的变化相对较大, 故采用“各年农田用水量与平均值之差的绝对值之和^[9]”为标准。按照该标准, 在 ArcGIS 的支持下, 采用等值分类的原则, 把 1997~2000 年 4 a 间, 单位耕地面积农田用水变化程度表示出来 (如图 2(a) 所示), 其中变异较大的有: 固安、永年、藁城。

从理论上讲, 年度间农田用水量变化较大的地区其节水潜力也比较大。对于图 3(a), 仅能反映近年来农田用水的变异情况, 不能客观反映近年来农田用水的比例趋势。采用扇形图来表示年度间农田用水量的比例可以解决该问题, 如图 2(b) 所示。在 ArcGIS 的支持下, 可以求出永年、栾城、藁城、固安、永清、高邑的用水有明显增加的趋势, 用水量变化较快, 其节水潜力也大。

3 灌溉方式和保证率对农田用水的影响

有关节水潜力的分析, 国内外研究往往停留在节水方法的讲述及其粗略的估算, 缺少定量的研

究^[10]。本文从河北省的灌溉定额(试行)入手,结合生产实践,科研潜力,从灌溉方式和灌溉率两个角度

考虑农业用水量的变化

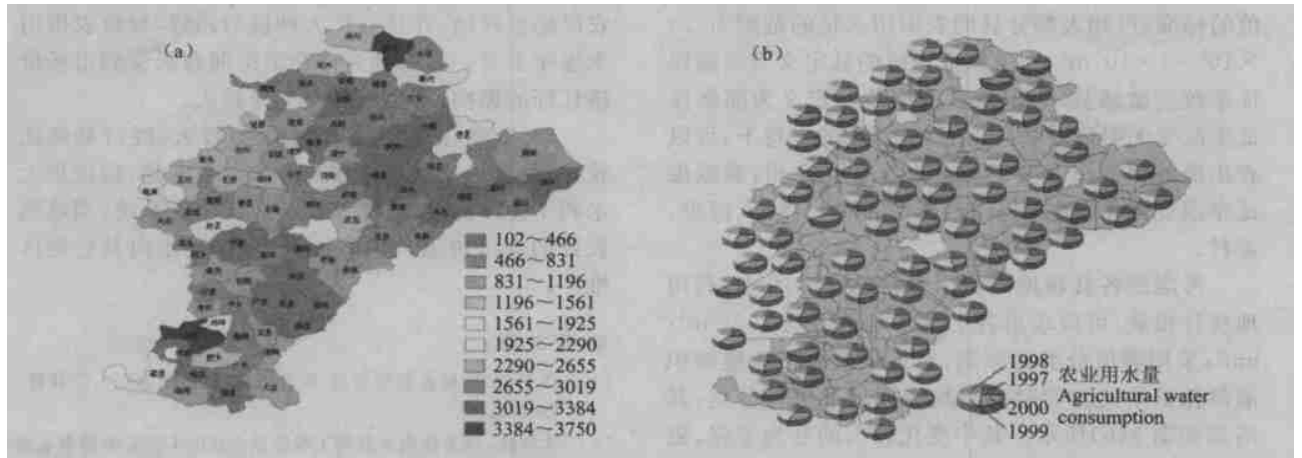


图 2 农田用水的时间分析 (m³)

Fig. 2 Temporal analysis of water uses

3.1 灌溉方式对农田用水的影响

目前,河北平原以地面灌溉为主,缺少管灌、滴灌、喷灌等措施,水资源在无形中损失相当严重。本文以灌溉率为 50% 为例,将地面灌改为管灌,对用水量的变化进行计算

采用地统计中平均数加减 2 倍方差值作为离群值的标准。可知大部分县的农田用水量的范围为 $3 \times 10^5 \sim 3 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。大于该范围值的县定义为灌溉方式改变敏感县,小于该范围值的县定义为灌溉方式改变无明显影响县。在 ArcGIS 的支持下,可以查得灌溉方式改变敏感县有大名、宁晋、定州、沧

县;灌溉方式改变无明显影响县有:广宗、新河、柏乡、高邑、博野、孟村。

考虑到各县耕地面积因素,在 ArcGIS 中,利用地统计模块,可以求出各个县平均节水约为 $11.3 \text{ m}^3 / \text{hm}^2$;采用等值分类的原则,对近年来单位耕地面积灌溉方式改变时的平均变化程度情况进行分类,其结果如图 3(a)所示。其中变化较大的县有枣强和磁县,节水量分别为 $71.5 \text{ m}^3 / \text{hm}^2$ 和 $58.3 \text{ m}^3 / \text{hm}^2$ 。

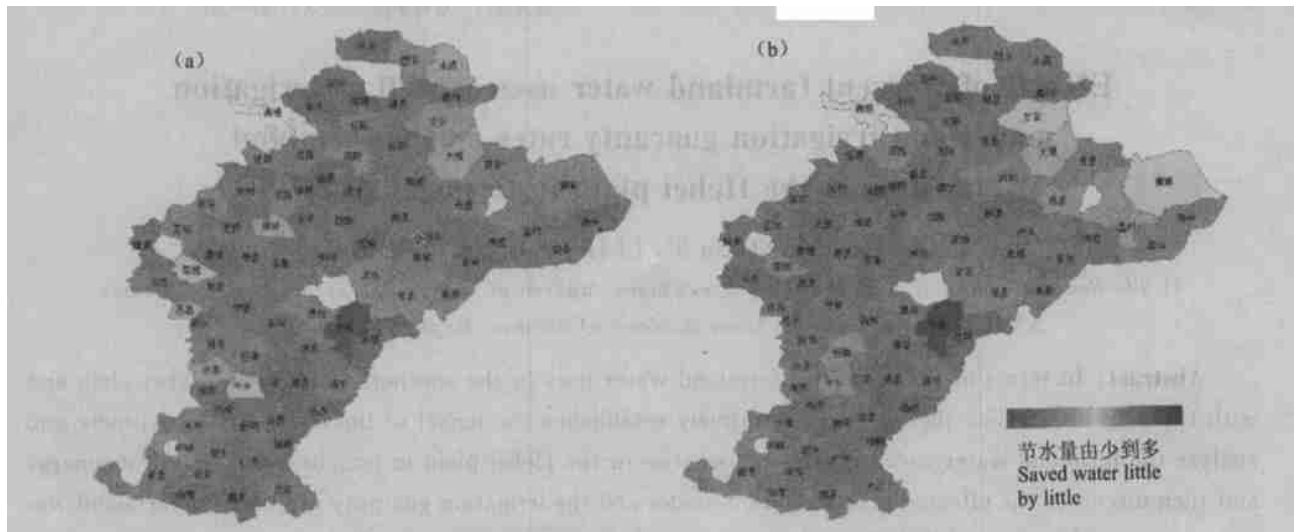


图 3 单位耕地面积节约水量 ((a)为灌溉方式改变,(b)为保证率改变)

Fig. 3 Saved water per farmland unit (the fig 3(a) stands for changes in irrigation modes and the fig 3(b) stands for the change in irrigation guaranty rate)

3.2 保证率改变对农田用水的影响

针对目前河北平原比较干旱的特点,以满足人民物质生活为目标,可以采用 50% 的保证率来灌溉

农田,而实际上该地区的灌溉保证率约为 75%。下面以目前比较普遍的地面灌为例,通过将保证率从 75% 降低到 50% 为例,分析保证率改变对农田用水

的影响。

采用地统计中平均数加减 2 倍方差值作为离群值的标准,可知大部分县的农田用水量的范围为 $2.4 \times 10^6 \sim 1 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。大于该范围值的县定义为灌溉保证率改变敏感县,小于该范围值的县定义为灌溉保证率改变无明显影响县。在 ArcGIS 的支持下,可以查出灌溉保证率改变敏感县有宁晋和定州;灌溉保证率改变无明显影响县有:新河、柏乡、高邑、博野、孟村。

考虑到各县耕地面积因素,在 ArcGIS 中,利用地统计模块,可以求出各个县平均节水约为 $72 \text{ m}^3 / \text{hm}^2$;采用等值分类的原则,对近年来单位耕地面积灌溉保证率改变时的平均变化情况进行分类,其结果如图 3(b)所示。其中变化较大的县为枣强、磁县、满城,节水量分别为 $632 \text{ m}^3 / \text{hm}^2$ 、 $490 \text{ m}^3 / \text{hm}^2$ 和 $326 \text{ m}^3 / \text{hm}^2$ 。可见灌溉保证率对农田用水的影响较大,在生产实际中应注意适当调整。

4 讨 论

1) 大部分地区 2000 年的农田用水量较前几年有增加趋势,其中永年、栾城、藁城、固安、永清、高邑等地区相对明显,主要是受到蔬菜的种植面积扩大造成的。

2) 农业用水变化较大的地区,往往交通比较发达,为主要高速公路和铁路同时过境,或为铁路的交汇口,或为高速公路的交汇口。例如栾城、高邑、赵县、藁城、鹿泉、磁县、永年、定州、青县、固安、永清、

霸州等。这些地区经济基础相对较好,种植的蔬菜等耗水量较大的经济作物易于运输出去,效益好,所以农民愿意种植,并且有扩大种植的趋势,导致农田用水逐年上升。其原理为作物的空间布局受到市场价格杠杆的影响,产生年度间变异较大。

3) 枣强、磁县等地节水潜力较大,经济基础比较好,可选择这些地区作为节水示范基地,应该加大水利工程的力度,建立节水型农田生态系统,当收到较好的经济价值与生态价值以后,逐步向其它地区推广。

参 考 文 献:

- [1] 汪恕诚. 搞好水资源管理 促进可持续发展 [N]. 人民日报. 2002-03-22.
- [2] 朱耀基. 国务院南水北调工程座谈会 [OB/OL]. 中国南水北调网. <http://www.nsb.gov.cn/zx/ldzjt/ldt/zrj.htm>.
- [3] 河北省水文水资源网. 2001 年河北省水资源公报 [OB/OL]. www.hbsw.net.
- [4] 李纪人. 地理信息系统在水利中的应用 [J]. 中国水利. 2001. 8: 67-68.
- [5] 河北省人民政府办公厅, 河北省统计局. 河北农村统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1998-2001.
- [6] 中国水资源网. 河北省农业用水灌溉定额 [OB/OL]. <http://www.shuiziyuan.mwr.gov.cn/>.
- [7] 张良云. 线性代数 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [8] Bob Booth, Andy Mitchell Release. Getting Started with ArcGIS [M]. New York: ESRI Press, 2001.
- [9] 盖钧镒. 试验统计方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 43-46.
- [10] 山 仑, 邓西平, 康绍忠. 我国半干旱地区农业用水现状及发展方向 [J]. 水利学报, 2002, (9): 27-31.

Effects of Current farmland water uses as well as irrigation modes and irrigation guaranty rates on the farmland water uses in the Hebei plain in terms of ArcGIS

WANG Dao-bo^{1,2}, XING Su-li², LI Hui-long², ZHANG Guang-lu¹

(1. The Research Central of Agriculture Resource, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 50021, China;
2. The Graduate School of Chinese Academic of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract In terms of the reality of farmland water uses in the southern part of the Hebei plain and with the help of ArcGIS, the paper quantitatively establishes the model of linear algebra to estimate and analyze the farmland water uses of different counties in the Hebei plain in temporal and spatial manners, and then discusses the effects of the irrigation modes and the irrigation guaranty rates on the farmland water uses in combination with the actual water uses of these counties; meantime, it estimates and analyze the amounts of the saved water in these counties provided that the current crop patterns remain unchanged. The results shows that the farm water uses tend to increase, the irrigation guaranty rate exerts relatively strong influence on farmland water use, and thus proposes that the water-saving demonstration bases be set up in the regions with highly fluctuated farmland water uses and high water-saving potential and then be extended to other regions.

Key words farmland; water use; GIS; irrigation modes; guaranty rate; water-saving potentials