

# 河北栾城农业水资源供需状况及优化利用研究

郭长城<sup>1,2</sup>, 刘孟雨<sup>1</sup>, 张喜英<sup>1</sup>, 陈素英<sup>1</sup>, 董宝娣<sup>1</sup>

(1. 中国科学院石家庄农业现代化研究所, 河北 石家庄 050021;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 分析了河北栾城县农业水资源的供需状况和主要农田生态系统的节水潜力, 以实现该地区水资源可持续利用和地下水资源的采补平衡为目标进行了农业水资源的优化利用研究。结果表明, 优化种植制度与后, 可减少农业供水 0.454 8 亿  $m^3$ , 使总供水量减少为 1.162 2 亿  $m^3$ , 经济和生态环境效益得到提高, 可以实现下水的采补平衡。

**关键词:** 农业水资源; 节水潜力; 线性优化

**中图分类号:** TV213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2004)02-0159-05

河北省人均水资源量只有全国平均值的 1/6, 是世界贫水地区人均水资源量的 31%, 单位面积水资源量是全国平均水平的 1/7, 是全国水资源占有量最少的省份之一。目前河北省 70% 的用水靠开采地下水, 地下水已超采 760 亿  $m^3$ , 其中一半是很难补给的深层地下水。水资源短缺严重, 地下水位下降, 河流干涸。农业用水占河北省水资源消耗总量的 75% 以上, 农业用水主要是灌溉用水, 灌溉造成了水资源的过度开发, 特别是 80 年代以来, 粮食产量迅速提高, 在追求粮食高产的情况下, 水资源的利用也在急速增加, 特别是对地下水资源的超采更是严重。目前, 一些先进的农业节水技术和现代化的管理措施得不到大面积推广, 大部分灌区灌溉水利用效率低, 灌水定额偏大, 造成水资源的大量浪费。另一方面农业节水的综合技术集成不够, 节水灌溉技术没有得到充分的推广应用。2000 年栾城县总灌溉面积 31 320  $hm^2$ , 有效灌溉面积 30 490  $hm^2$ , 占 97.3%。节水灌溉面积只有 11 180  $hm^2$ , 其中喷滴灌面积 3 940  $hm^2$ , 微灌面积 30  $hm^2$ , 低压管道灌溉面积 4 760  $hm^2$ , 其它节水灌溉面积 2 450  $hm^2$ , 97.3% 的有效灌溉面积为井灌。

## 1 农业水资源供需状况

在农村, 果园、果粮间作区均划为农业用水区, 而自产水量和可供农业利用的可靠供水量均属于农

业水资源的范畴<sup>[1-3]</sup>。在太行山前的栾城, 水资源的特点是, 地表水缺乏, 主要以开采地下水; 地农业的发展, 而且地下水位逐年下降, 灌溉增加。

### 1.1 降水条件

降水是土壤水的主要来源, 是影响作物生长的主要因素。栾城位于太行山前季风气候区, 降水年际变化和季节变化非常明显。由 20 世纪 50 年代至今, 降水呈明显降低的趋势, 年均降水量 555.7  $mm$ , 60 年代为 513.8  $mm$ , 70 年代为 488.6  $mm$ , 80 年代为 448.6  $mm$ , 90 年代降至 433.6  $mm$ , 至今今年降水量平均减少了 136  $mm$  左右, 每 10 a 下降 27  $mm$ 。图 1 反映了太行山山前栾城近 50 a 来降水条件的变化情况, 从趋势清楚地看到, 年降水量呈明显减少的趋势。

### 1.2 地下水资源条件

栾城县的工农业生产和人民生活等的用水全部来自地下水。2000 年, 水利工程全年供水 61.7 亿  $m^3$ , 其中农业供水就达到了 1.404 亿  $m^3$ , 总供水量的 87%, 全部为机电井供水, 地下向补给和降雨补给远远小于开采量, 从而使地下浅层水位大幅度下降。由 20 世纪 70 年代地下水位埋深 10 m 左右降至现在的 30 多米, 近几年降水少, 连续干旱, 地下水位年平均下降了 2 m, 2002 年地下水位近 32 m, 照此

下去, 该区的浅层地下水将面临枯竭, 高产高效农业难以维持。图 2 表示了栾城县地下水位的变化情况,

从图 2 可以清楚得知, 下降幅度逐年增大。

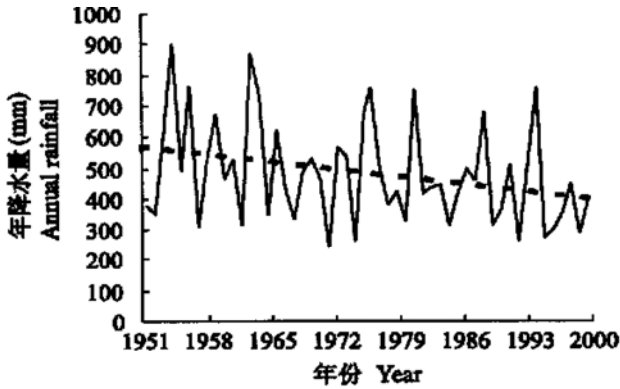


图 1 近 50 年降水量的变化

Fig. 1 Changes of rainfall in the recent fifty years

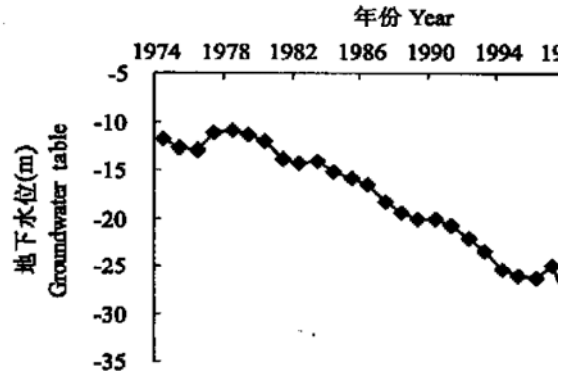
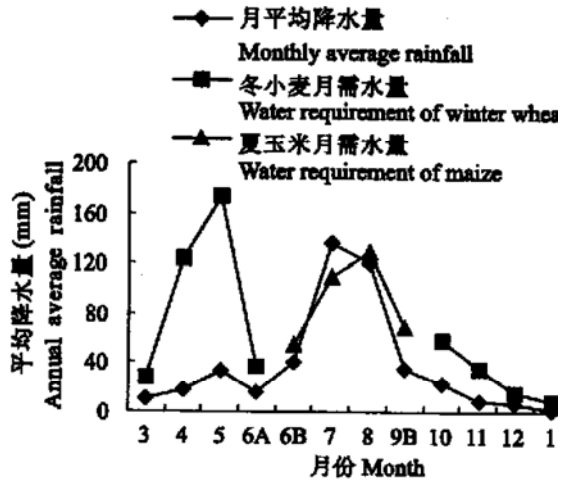


图 2 栾城县地下水位多年变化

Fig. 2 Change of groundwater in Luancheng co

### 1.3 降水与农田作物的耦合性

栾城县农田主要作物是冬小麦和夏玉米, 其年总耗水量在 850 mm 左右, 1951~ 2002 年平均年降水量为 482.6 mm, 平均相差大于 360 mm, 如果每次灌水量在 60 mm, 通常年份需要灌水 5~ 6 次。分析太行山山前平原的降水概率, 从 1951~ 2002 年的 51 a 中, 只有 3 a 年降水量超过了 800 mm, 基本不需要进行灌溉; 96% 以上的年份冬小麦和夏玉米两季的耗水量大于降水量, 需要灌溉。大约 40% 的年份降水量大于 500 mm, 是多雨年份, 补充灌溉水量在 350 mm 以下, 60% 的年份降水量不足 500 mm, 需要补充的灌溉水量在 350 mm 以上。所以, 太行山前平原农田作物的高产和稳产必须依赖于灌溉。而从实际情况看, 由于该区地表水缺乏, 主要依赖地下水满足作物生长的需要。但是, 太行山前平原栾城, 降水年内分配极不均匀, 雨热同季, 降水主要集中于 7、8、9 月份。一年之中降水的分布与主要作物的生长发育需水很不协调。图 3 是太行山山前平原冬小麦和夏玉米生育期需水量与天然降水之间的耦合情况, 冬小麦生长发育期间正是降雨较少的季节, 降雨量远远不能满足冬小麦的生长需要, 满足率还不足 30%, 降水满足最差的时期是返青- 拔节、拔节- 抽穗。在冬小麦生长期总缺水大于 300 mm。夏玉米生长期间的降雨条件较好, 缺水较少, 在正常年



A 代表上旬, B 代表中下旬

A first decade; B: second and third decade

图 3 主要作物生育期需水与降水的耦合

Fig. 3 Coupling between water requirement and rainfall in the development of main cr

## 2 农田节水潜力分析

太行山前平原栾城为暖温带半湿润气候, 自然条件较好, 地势平坦开阔, 土层深厚较好, 是主要粮食生产区。多年平均总辐射  $\text{kJ}/\text{cm}^2$ , 年平均气温为  $12.3^\circ\text{C}$ ,  $\geq 0^\circ\text{C}$  4710 $^\circ\text{C}$ 。辐射资源比较丰富, 年日照时数 h, 日照百分率为 59.1%。丰富的光热资源; 农业生产提供了良好的条件, 能满足一年两

节水潜力是现状水分的利用效率与在当地气候、光热条件、生产水平、灌溉与管理技术等条件下可能达到的最高水分利用效率之间的差值, 即生产形成单位经济产量可以节省的水资源量, 用  $m^3/kg$  表示。栾城试验站的研究结果是, 通过采取应用节水品种、覆盖、调亏灌溉和其它节水技术配套应用等措施, 冬小麦-夏玉米种植模式的粮食作物水分利用效率总体可以达到  $2.0 kg/m^3$ , 对于夏玉米可以达到  $2.2 kg/m^3$ , 小麦可以达到  $1.8 kg/m^3$ , 例如现状农田水分利用效率为  $0.75 \sim 1.1 kg/m^3$ , 农田节水潜力可以计算为  $0.41 \sim 0.83 m^3/kg$ , 冬小麦现状水分利用效率为  $0.7 \sim 0.9 kg/m^3$ , 则冬小麦生长季节的节水潜力为  $0.55 \sim 0.87 m^3/kg$ , 现状夏玉米的水分利用效率为  $0.8 \sim 1.30 kg/m^3$ , 则其节水潜力为  $0.32 \sim 0.80 m^3/kg$ 。2002 年栾城全县冬小麦夏玉米的总产量为 24.2 万  $kg$ , 这样计算可以得到全年的节水量为 9.9~20 万  $m^3$ , 考虑到社会的不断发展和经济技术等原因, 按 60% 的保证率计算, 也可以节水 5.9~12 万  $m^3$ 。

节水潜力还包括经过结构调整所节约水的能力, 或者说限量水资源在不同用水分支中优化的潜在节水能力。从图 4 栾城县 50 多年的种植结构变化情况可知, 高耗水作物冬小麦的种植比例和面积大幅度增加。这与降雨条件的恶化趋势很不相适应。栾城县提出建设“城郊型农业<sup>[41]</sup>”已经 20 多年, 但是, 由于各方面的原因没有落到实处, 至今仍为传统的粮作农业。2002 年栾城县冬小麦的种植面积占耕地的比例为 59.94%, 而该区冬小麦全生育期现状灌溉水量一般麦田为  $2400 \sim 3000 m^3/hm^2$ , 如果在满足当地粮食需求的前提下减少冬小麦 10%~20% 的种植面积(如果减少粮食作物面积 40%, 每人平均还可获得粮食 470 余  $kg$ , 基本可以满足生活食用, 调整空间特别大), 则全县减少农田总耗水量

400~800 万  $m^3$ , 至少可以减少地下水开采  $mm$ 。所以, 从优化种植结构的角度看, 节水是比较大的。

### 3 农业水资源优化利用分析

在栾城, 粮食是主要的种植作物(见表 1 的粮食作物种植比例接近 70%, 冬小麦的种植比例达到了 63%, 占了绝大部分, 经济作物和其它高效益作物占的比例很小。所以, 栾城以粮食为主导的种植结构, 而且又是以高耗水的小麦为主。耕地灌溉率虽然较高, 但节水灌溉比例小, 特别是喷灌、滴灌、低压管道等灌溉技术完全推广。综合考虑可知, 冬小麦的种植效益而且耗水量又高, 这样的农业结构和该县的发展计划相违背, 不利于农业的长远发展更不利于缓解该区农业水资源紧张的局面。调整作物种植结构是促使该县从传统农业向现代农业发展的关键所在, 具有重要意义。

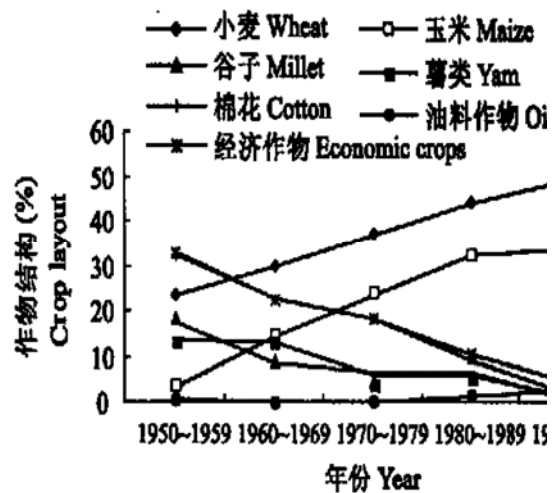


图 4 栾城县种植结构变化趋势

Fig. 4 Change of growing structure in Luancheng

表 1 2000 年栾城县作物布局

Table 1 Distribution of crops in Luancheng County in 2000

项目 Item	粮食 Food crops	小麦 Wheat	玉米 Maize	棉花 Cotton	花生 peanut	豆类 Legume	蔬菜 Vegetable	经济作物 Economic crops
种植面积 Crop area ( $hm^2$ )	37186	18333	15765	249	1210	2075	12393	4063
种植比例 Crop ratio (%)	68.79	33.92	29.17	0.46	2.23	3.83	22.93	7.52

如何使有限的水资源在不同作物中分配, 使资源得到合理利用, 是解决农业水资源供需矛盾的关键。

合理的作物布局和水资源的合理分配。以冬小麦、玉米、棉花、薯类等作物的种植比例

表 2 农业水资源优化利用模型构建

Table 2 Design of agricultural water optimization model

作物 Crops	设计变量 Variable (hm <sup>2</sup> )	净收益(元/hm <sup>2</sup> ) Pure income (yuan/hm <sup>2</sup> )
小麦 Wheat	X <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>
玉米 Maize	X <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>
大豆 Legume	X <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
花生 Peanut	X <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>
棉花 Cotton	X <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>
蔬菜 Vegetable	X <sub>6</sub>	C <sub>6</sub>
果树 Fruit tree	X <sub>7</sub>	C <sub>7</sub>

3.1 模型参数

根据要求选取以下参数: (1) 作物净收益 C<sub>i</sub>; (2) 单位面积现行灌溉定额 I<sub>i</sub>; (3) 单位面积小麦产量 Y<sub>iw</sub>; (4) 单位面积玉米产量 Y<sub>ic</sub>; (5) 耕地面积 S; (6) 播种面积 S<sub>b</sub>; (7) 农业灌溉水资源量 W<sub>i</sub>; (8) 农业

灌溉用电量 E<sub>a</sub>; (9) 作物单位面积灌溉用 (10) 小麦播种面积 X<sub>w</sub>; (11) 玉米播种面积 小麦需求量 F<sub>w</sub>; (13) 玉米需求量 F<sub>c</sub>; (14) 需求量 F。

3.2 约束条件

该函数模型的约束条件如下: (1) 农业水资源量约束:  $\sum I_i X_i \leq W_i$ ; (2) 土地资源量约束:  $\sum X_i \leq S_b$ ; (3) 作物茬口约束:  $-X_1 + X_2$  农业灌溉耗电量约束:  $\sum X_i E_i \leq E_a$ ; (5) 茬口约束: 小麦  $X_1 Y_{iw} \geq F_w$ , 玉米  $X_2 Y_{ic} \geq F_c$   $X_1 Y_{iw} + X_2 Y_{ic} \geq F$ ; (6) 作物种植面积约束  $35\% \leq X_1/S_1 \times 100\% \leq 65\%$ , 玉米  $X_2 \leq X_2/S_1 \times 100\% \leq 15\%$ , 花生  $X_4/S_1 \times 100\% \leq 15\%$ , 棉花  $X_5/S_1 \leq 30\%$ , 蔬菜  $X_6/S_1 \leq 30\%$   $X_7/S_1 \times 100\% \leq 10\%$ ; (7) 变量非负约束:

表 3 作物布局线性规划约束方程系数

Table 3 Index of equations in linear programming of crop distribution

项目 Item	小麦 Wheat	玉米 Maize	大豆 Legume	花生 Peanut	棉花 Cotton	蔬菜 Vegetable	果树 Fruit tree	系数 Lin
耕地面积约束 Tilth area (hm <sup>2</sup> )	1	1	1	1	1	1	1	≤
水资源约束 Water resource (m <sup>3</sup> )	1800	1200	1200	1200	1200	6000	4800	≤ 0
电力约束(度) Electric power	450	300	300	300	300	1500	1200	≤ 0
粮食需求约束 Foodstuff demand	小麦 Wheat (kg)	0	0	0	0	0	0	≥ 0
	玉米 Maize (kg)	0	8787	0	0	0	0	≥ 0
	总量 Total (kg)	6864	8787	0	0	0	0	≥ 1
茬口约束 Stubble	- 1	1	0	0	0	0	0	≤
作物面积 比例约束 Crop area ratio	小麦 Wheat	1	0	0	0	0	0	≤
	小麦 Wheat	1	0	0	0	0	0	≥
	玉米 Maize	0	1	0	0	0	0	≤
	玉米 Maize	0	1	0	0	0	0	≥
	大豆 Legume	0	0	1	0	0	0	≤
	花生 Peanut	0	0	0	1	0	0	≤
	棉花 Cotton	0	0	0	0	1	0	≤
	蔬菜 Vegetable	0	0	0	0	0	1	≤
果树 Fruit tree	0	0	0	0	0	0	1	≤
方程系数 Equation quotient	2819	5129	5600	6200	7000	83360	18000	

3.3 调整目标与结果分析

维持工业等其他行业用水现状, 减少农业供水 0. 454 8 亿 m<sup>3</sup>, 使总供水量减少为 1. 162 2 亿 m<sup>3</sup>, 农业总供水量减为 0. 949 2 亿 m<sup>3</sup>. 保证粮食需求、调整灌溉定额和作物种植结构, 实行节水灌溉、实现最佳经济效益 并实现水资源平衡

并缓解了该区地下水的超采局面。

4 结 语

在太行山山前的栾城, 降雨量少, 水资源匮乏, 几乎所有的用水都靠地下水, 根据目前进行培旱节水作物品种的引进以及多种节

表 4 2000 年现状作物布局投入产出

Table 4 Output and input of the current distribution

项 目 Item	小 麦 W heat	玉 米 Ma ize	大 豆 Legum e	花 生 Peanut	棉 花 Cotton	蔬 菜 Vegetable	F
单产 Yield (kg/hm <sup>2</sup> )	6864	8787	3450	3900	2025	83000	
投入 Input (yuan/hm <sup>2</sup> )	2100	5300	2900	3000	12800	36500	
净收益 Pure income (yuan/hm <sup>2</sup> )	2819	5129	5600	6200	7000	83360	

表 5 作物布局优化结果

Table 5 Optimization results of crop distribution

项 目 Item	总 计 Total	小 麦 W heat	玉 米 Ma ize	大 豆 Legum e	花 生 Peanut	棉 花 Cotton	蔬 菜 Vegetable
现 状 Status quo							
灌水量 Irrigation quantity (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	21000	3000	1800	1800	1800	1800	6000
种植面积 Crop Area (hm <sup>2</sup> )	54054	18333	15765	249	1210	2075	12393
占耕地比例 Ratio in tilth (%)	-	59.5	51	0.8	3.9	6.7	40.2
占播种比例 Ratio in planting (%)	-	33.9	29.2	0.46	2.23	3.8	22.9
目 标 Objective							
灌水量 Irrigation quantity (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	13200	1800	1200	1200	1200	1200	6000
种植面积 Crop area (hm <sup>2</sup> )	49296	13409	8308	9245	1380	4623	9245
占耕地比例 Ratio in tilth (%)	-	43.5	27	30	4.5	15	30
占播种比例 Ratio in planting (%)	-	27.2	16.9	18.8	2.8	9.4	18.8

表 6 节水增产效益比较

Table 6 Compare of incomes about water-saving and product-increasing

项 目 Item	现 状 Actuality	目 标 Objective
小麦玉米总产 Total yield of wheat and maize (kg/a)	2.6×10 <sup>8</sup>	1.65×10 <sup>8</sup>
人均小麦 Wheat yield per capita (kg)	343	251
人均玉米 Maize yield per capita (kg)	377	199
净收益(元/年) Pure income (yuan/a)	0.63×10 <sup>9</sup>	1.0×10 <sup>9</sup>
灌溉用水 Irrigation quantity (m <sup>3</sup> /a)	1.68×10 <sup>8</sup>	1.23×10 <sup>8</sup>
缓解地下水 Abirritation on groundwater (m <sup>3</sup> /a)	-	0.47×10 <sup>8</sup>

## 参 考 文 献:

- [1] 卢铁光, 杨广林, 付强, 等. 基于 AHP 方法的三江平原农业水资源供需状况评价与分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(1): 53- 55.
- [2] 任鸿遵, 于静洁, 林耀明. 华北平原农业水资源供需状况评价方法[J]. 地理研究, 1999, 18(1): 39- 44.
- [3] 王新元, 赵昌盛, 陈宏恩. 节水型农业与节水技术的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1993. 14- 26.
- [4] 曹振东. 栾城县城郊型农业发展规划[M]. 石家庄: 河北人民出版社, 1988. 118- 126, 216- 219.
- [5] 由懋正. 农业资源评价管理与利用[M]. 北京: 气象出版社, 1998. 99- 135.
- [6] 于贵瑞. 种植业系统分析与优化控制方法[M]. 北京: 北京出版社, 1991. 167- 200.
- [7] 张喜英, 袁小良. 栾城县农业气候条件简析及主要夏玉米的需水规律[A]. 王绍仁, 曾江海, 吕富保. 实验研究[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 114-

## Status and optimization of agricultural water resource utilization in Luancheng of Hebei province

GUO Chang-cheng<sup>1,2</sup>, LIU Meng-yu<sup>1</sup>, ZHANG Xi-ying<sup>1</sup>,  
CHEN Su-ying<sup>1</sup>, DONG Bao-di<sup>1</sup>

(1. Institute of Genetics and Developmental Biology, CAS, Shijiazhuang 050021, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Science Beijing 100039, China)

**Abstract:** This article analyses the status of agricultural water resource and water saving po Luancheng county, Hebei province, and studies the optimization of agricultural water resource in achieve the sustainable use of underground water in this region. The results indicates that, after