

三江平原农业需水量及适宜水稻种植面积的研究

王韶华¹, 刘文朝², 刘群昌²

(1. 北京工业大学分部, 北京 100044; 2. 中国水利水电科学研究院水利所, 北京 100044)

摘要: 三江平原水田面积已达 $95.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占总耕地面积的 28.6%。集中种植区种植比例超过 50%, 最大比例为 90%, 造成地下水位持续下降并形成集中降深。该地区内有大面积湿地分布, 地表径流减少和地下水漏斗的形成将对湿地和地区整体生态环境造成极为不利的影响。该文以农业需水量和地下水可开采模数两种计算方法, 计算了适宜水稻种植的面积。结论为: 在现有水田比例情况下, 农业需水量为 464 mm; 考虑一定的径流量, 适宜比例为 30%, 若不考虑径流, 最大种植比例为 50%~60%; 扩大水稻面积的根本措施为采用先进的种植措施, 减少水稻需水量, 其次为引用过境水, 增加可利用量。

关键词: 三江平原; 农业需水量; 地下水可开采模数; 水田适宜比例

中图分类号: S511, S274.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)04-0050-04

0 引言

三江平原农业生产受水旱灾害危害很大。20 世纪 80 年代以后开采地下水灌溉水稻, 取得显著效益^[1]。其后水稻种植面积急剧扩大, 从 1990 年的 $21.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增加到 2000 年的 $95.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 致使地下水位从开采前的不到 1 m 下降到 2000 年的 5 m 左右。局部地区开采量大于补给量, 出现超采^[2]。

该地区是中国最大的湿地集中分布地区之一, 湿地总面积 $114 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[3], 其中三江、兴凯湖和洪河自然保护区还被列入国际重要湿地名录。而灌区与湿地相间分布, 因此地下水位的持续下降可能对湿地产生的不良影响已引起广泛关注。

该地区土地肥沃, 生长期长; 水稻品质高, 已成为农业经济的重要组成部分。因此, 如何在充分利用当地水资源条件下, 合理发展水稻种植, 防止地下水超采和生态环境破坏, 支持该地区的农业可持续发展, 成为当前的重要课题。本文基于水量平衡原理, 计算农业需水量, 并应用农业需水量和地下水可开采模数两种方法计算了该地区总体水稻适宜种植比例和不同水文分区情况下的种植比例, 为该地区的水稻发展提供参考。

1 三江平原基本情况

1.1 气候及水资源

三江平原地处黑龙江省东部, 为黑龙江、松花江、乌苏里江冲积平原, 面积 $10.9 \times 10^4 \text{ km}^2$, 多年平均降水量 551 mm, 水面蒸发和陆面蒸发分别为 750~850 mm、300~500 mm; 10 积温为 2400~2700。资源丰富, 雨热同季, 适宜小麦、大豆、玉米、水稻等多种作物生长。

本区多年平均降水总量 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$, 当地水资源总量 $184 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中地表径流量 $114 \times 10^8 \text{ m}^3$, 径流深 105 mm, 地下水 $70 \times 10^8 \text{ m}^3$, 另有黑龙江、松花江、乌苏里江和大、小兴凯湖过境水超过 $2600 \times 10^8 \text{ m}^3$, 可利用量约 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[3]。

1.2 作物种植结构及作物需水量

据统计, 1998 年到 2000 年的近 3 年中, 耕地面积和播种面积分别为 $350 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 和 $327 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 左右, 主要作物为大豆、水稻、小麦、玉米, 水稻种植面积在此 3 年中达到高峰并趋于稳定。该 3 年平均播种面积比例见表 1。

表 1 三江平原各主要作物种植面积比例

Table 1 Main crops planting areas proportion in the

年份	Three-River-Plain					
	总耕地面积	总播种面积	小麦面积	玉米面积	大豆面积	水稻面积
1998	348.2	327.2	38.0	60.9	98.7	91.1
1999	350.4	327.9	41.8	63.6	77.6	94.7
2000	350.9	326.9	26.3	40.5	102.6	95.3
平均	349.8	327.3	35.4	55.0	93.0	93.7
占播种面积比例/%		100.0	10.8	16.8	28.4	28.6

根据三江平原有关作物需水量试验和实测数据, 各主要作物需水量见表 2。

表 2 三江平原主要作物需水量

Table 2 Water requirement of main crops in the

作物	Three-River-Plain			
	需水量 ^[3]	需水量 ^[4]	需水量 ^[5]	需水量 ^[6]
小麦	367	360		280
大豆	444	400		420
玉米	384	380		400
高粱	370			
谷子	365			
水稻*			641	662

注: * 在开发地下水利用条件下, 由于渗漏量可以通过开采被重复利用, 仍为该区域的水资源, 故水稻只考虑蒸散量。

1.3 地下水资源量及实际开采量

2000 年三江平原农业用水量为 $75.9 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占

收稿日期: 2003-11-21 修订日期: 2004-04-05

作者简介: 王韶华(1965-), 男, 河南省南阳人, 硕士, 副教授, 硕士研究生导师。北京市西外花园村北京工业大学分部, 100044。Email: wangshaohua@bjut.edu.cn

该地区工农业及生活等总用水量 $78.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的 97.1%。该区实际灌溉面积中, 97% 为水田面积, 69% 的水田面积是开采地下水灌溉^[2]。

经分析, 该区各分区平原地区的地下水资源条件^[3]及 2000 年开采现状见表 3。可开采量总量为 $55.9 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占地下水资源总量的 80%。实际开采量达 $47.9 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占地下水资源可开采量的 85.6%。安邦河区超采严重, 挠力河区、穆棱河区中度超采, 倭肯河基本平衡, 萝北最低。总超采量 $2.85 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表 3 2000 年地下水开采分区情况

Table 3 Exploitation of underground water in different districts in 2000

	萝北	同抚	挠力河	安邦河	倭肯河	穆棱河	合计
平原面积 / 10^4 km^2	1.04	1.53	1.63	0.40	0.50	1.29	6.38
地下水资源量 / 10^8 m^3	15.79	16.10	14.15	6.42	4.05	13.81	70.32
地下水可开采量 / 10^8 m^3	12.86	12.96	11.17	5.38	3.10	10.47	55.94
可开采比例 / %	0.81	0.81	0.79	0.84	0.77	0.76	0.80
可开采模数* / mm	123.7	84.7	68.5	134.5	62.0	81.2	87.7
总开采量 / 10^8 m^3	6.56	8.51	112.26	6.50	2.95	11.11	47.89
开采利用率 / %	51.0	65.7	109.8	120.8	95.2	106.1	85.6
实际开采模数* / mm	63.1	55.6	75.2	162.5	59.0	86.1	83.6
可开采模数与实际开采模数之差 / mm	60.6	29.1	-6.7	-28.0	3.0	-5.0	4.1
超采量 / 10^8 m^3			1.09	1.12		0.64	2.85

注: * 可开采模数、实际开采模数分别为地下水可开采量、实际开采量与面积之比。

2 水稻适宜种植比例估算

为防止地下水持续下降, 应控制稻种植面积。本文提出了用农业需水量和用地下水可开采模数两种方法估算适宜的水稻种植比例。

2.1 农业需水量计算

2.1.1 农业需水量估算基本原理

在区域水资源平衡计算时, 地下水被充分利用条件时, 计算区域内的水资源净“消耗”主要为蒸散量, 灌溉渗漏量因为可以被重复利用而仍视为该地区的水资源量。为此, 引入“农业需水量”的概念, 即一个灌区区域内在开发地下水条件下耕地、非耕地蒸散量之和^[7]。在以降水作为该地区主要水源的情况下, 将农业需水量与多年平均降水量比较, 便可分析区域水资源状况。

依据区域水量平衡原理, 在灌区满足进出区域地表水、地下水多年平衡时, 灌区农业需水量估算公式如下^[7]

$$W_{农} = W_{耕} + W_{非}$$

$$W_{耕} = Y \times (P_i \times A_i) / A_i \quad (1)$$

$$W_{非} = P_{非} \times (1 - Y)$$

式中 $W_{农}$ —— 农业需水量, mm; $W_{耕}$ —— 耕地需水

量, mm; $W_{非}$ —— 非耕地需水量, mm; P_i —— 第 i 种作物需水量, mm; A_i —— 第 i 种作物种植面积; $P_{非}$ —— 非耕地耗水量; Y —— 耕地率。

上述计算方法得出的结果在华北地区得到了很好的验证^[7]。

2.1.2 三江平原农业需水量计算

区域内种植结构差别较大, 为使估算结果具有较广泛的适用性, 将公式(1)做适当简化。

与华北平原相比, 三江平原冬季寒冷, 作物一年一熟, 冬季蒸发量很小; 耕地率小, 水稻面积比例高, 且需水量大, 旱作物又基本不灌溉。故相对于水稻需水量而言, 可将旱作物及非耕地上植物的蒸散量用旱作物需水量的平均值替代, 用以计算三江平原总体农业需水量。由此, 可将公式(1)简化为

$$W_{农} = W_{旱} \times (1 - \eta) + W_{水} \eta \quad (2)$$

式中 $W_{旱}$ —— 旱作物平均需水量, mm; $W_{水}$ —— 水稻需水量, mm; η —— 水稻种植比例。

依据表 2, 将旱作物平均需水量 388 mm、水稻平均需水量 652 mm 代入式(2), 计算出各种水稻种植比例下的灌区农业需水量如表 4。

表 4 灌区农业需水量估算

Table 4 Agricultural water consumption estimation of irrigated areas

灌区内水稻比例	$W_{农}/\text{mm}$	灌区内水稻比例 / %	$W_{农}/\text{mm}$
0.286	464	0.600	546
0.300	467	0.700	573
0.400	494	0.800	599
0.500	520	0.900	626

2.1.3 估算结果验证与初步分析

表 4 的计算结果表明, 在现有全三江平原地区水稻种植率达 28.6% 的情况下, 农业需水量为 464 mm, 比多年平均降水量 551 mm 少 87 mm, 但考虑到有 105 mm 的地面径流量, 各灌区实际总平均可用水资源总量为 446 mm, 比需水量还少 18 mm。说明在目前实际农业用水条件下, 总体上当地水资源尚不能满足要求, 缺水约 20 mm。1995~ 2000 年全区平均降水量 533 mm, 比多年平均少 18 mm, 总缺水约 40 mm, 导致地下水位持续下降。三江平原至 2000 年地下水位实际累计下降 2~ 3 m, 平均每年下降约 0.5 m 左右。

对于具体灌区, 以充分利用降水和地表水、地下水为前提, 当水稻种植比例达到 60% 时, 需水量接近降水量, 高于该比例; 若无引、提灌区外地表水补给, 势必超采地下水, 造成地下水位下降漏斗。创业、850、前锋三个农场的水稻的种植比例在 60% ~ 90% 之间, 根据 1997 ~ 2000 年降水、水稻面积、地下水降深关系分析^[2, 8], 降水量为 550~ 620 mm 时, 地下水位可保持平衡, 与表 4 的结果相吻合。

2.2 用地下水可开采模数估算水田适宜种植面积

2.2.1 地下水可开采模数对地下水位变幅影响分析

所调查的 6 个典型灌区, 涉及 6 个分区中 5 个的地下水可开采模数见表 5, 结果与表 3 一致。

表5 各典型灌区地下水可开采模数

Table 5 Underground water exploitable modulus of some typical irrigated areas

所属分区	灌区	总面积 /10 ⁴ hm ²	地下水资 源量/10 ⁸ m ³	可开采量 /10 ⁸ m ³	比例 /%	可开采 模数/mm	
1	萝北	宝泉岭	277.08	3.305	2.977	0.90	107.5
2	同抚	勤得利	141.47	0.828	0.817	0.99	57.8
3	挠力河	859	112.01	0.709	0.568	0.80	50.7
4	安邦河	江川	67.38	0.847	0.762	0.79	113.1
		锦江	45.40	0.612	0.487	0.79	107.2
6	穆棱河	七虎林	223.74	1.620	1.335	0.82	59.6
平均					0.87	89.6	

将实际开采模数与可开采模数之差除以给水度,即为地下水位变幅值。部分典型灌区1999年实际开采模数与可开采模数对比情况见表6。其中锦江灌区基本平衡,宝泉岭、七虎林、江川地下水位下降0.13~0.3 m,与实际降深情况吻合。

表6 灌区地下水超采情况与降深对比

Table 6 Contrast between underground water over-exploitation and declined depth

灌区	可开采 模数 /mm	1999年实 际开采量 /10 ⁸ m ³	实际开 采模数 /mm	实际开采模 数与可开采模 数之差/mm	估计 降深 /m	实际 降深 /m
江川	113.1	0.96	143.0	30.0	0.300	0.28
锦江	107.2	0.49	107.9	0.8	0.080	0.06
宝泉岭	107.5	3.35	121.0	13.5	0.135	0.10
七虎林	59.6	1.90	84.9	25.3	0.253	0.24

因此,可以利用表3中的地下水可开采模数值作为分析三江平原灌区水资源平衡分析的基本参数。

2.2.2 利用地下水可开采模数估算水稻种植比例

利用地下水可开采模数估算水稻种植比例的计算公式如下

$$\eta = K / [W_{水} - P + K] \quad (3)$$

式中 P ——年降水量,mm; K ——可开采模数,m; 其余符号同前。

如果考虑地表水流出量,可用 $P \times (1 - \alpha)$ (α —降雨径流系数)代替上式中的 P ; P 还可考虑为某一频率年的降水量;修正后计算公式如下

$$\eta = K / [W_{水} - P(1 - \alpha) + K] \quad (4)$$

参数 K 包含了水文地质条件的因素,故上式具有较强的通用性。现将表3中的可开采模数代入式(4),可得在降雨径流系数 α 分别为0和20% (现状年平均径流量为105 mm,占年均降水量551 mm的20%)情况下各区的水稻种植比例 η 、 η_0 ,见表7。

2.2.3 计算结果验证与分析

以降雨径流系数 α 为20%计算的水稻种植比例作为适宜的种植比例 η_0 ,与实际比例之差估计超采情况,分析结果为:总体平均不超采;6个分区中,萝北、同抚、倭肯河3个分区不超采,安邦河、挠力河、穆棱河3个分区超采,其中安邦河分区为超采严重,挠力河、穆棱河为中度超采。上述计算分析结果与表3中实际开采情况一致。

表7 三江平原各分区水稻种植计算比例

Table 7 Computed paddy area proportion in every district in the Three-River-Plain

分区	P /mm	K /mm	η /%	η_0 /%	$\eta_{实}$ /%	η_0 与 $\eta_{实}$ 之差/%
萝北	552.9	123.7	58.7	38.5	32.9	5.6
同抚	593.3	84.7	64.5	33.9	21.5	12.4
挠力河	544.5	68.5	41.8	25.1	26.8	-1.7
安邦河	509.3	134.5	50.7	36.6	44.5	-7.9
倭肯河	523.9	62.0	34.8	21.9	17.4	4.5
穆棱河	556.3	81.2	49.2	29.4	33.0	-3.6
全区平均	551.3	87.7	49.7	30.6	28.6	2.0

注: * $\eta_{实}$ 为实际水稻种植比例。

3 结论

通过上述对三江平原农业需水量和适宜种植比例的计算,可以得出以下结论:

1) 以农业需水量法和可开采模数法,均可作为确定水稻适宜比例的方法,两种方法结果相互印证,并与实际情况相吻合。考虑环境用水的需要,保持20%的地表径流是必要的。此时适宜的水稻种植比例为30%;当水稻种植比例达到50%时,地下水将达到可开采量;在达到60%时,农业需水量与年均降水量持平。因此该地区总体水田种植比例理论上最大为60%。但此时已充分利用了径流 ($\alpha = 0$)。因而仍应以维持现状径流量 ($\alpha = 20\%$) 后的水资源作为可利用水资源。

2) 可开采模数法可同时考虑到水文地质、降水、径流、水资源利用率等情况,应具有更好的适应性。由于三江平原内部各分区的降水、水文地质条件差异较大,水稻适宜种植比例也有所不同。安邦河区位于松花江下游,由于水文地质条件最好,故水稻适宜种植比例最大,位于黑龙江、松花江夹角地区的萝北区,为山前平原,其年均降水量与全区相同,而水文地质条件好,故水稻适宜种植比例也可较大;倭肯河区降水量少,水文地质条件差,水稻适宜种植比例要远小于全区平均情况。

3) 开采地下水种植水稻是地下水位下降最主要的原因。凡未超过水田适宜种植比例的地区,地下水均不超采,凡超过水田适宜种植比例的地区,地下水均超采,超采程度与超过适宜比例的程度直接相关。

4) 发展水稻的方向应从扩大面积转向发展节水灌溉。现有水田种植比例已达28.6%,占计算的适宜比例30%的95.3%,与付强^[9]的研究结果94.4%相吻合;在现有水田面积情况下,农业需水量为464 mm,与多年平均降水量551 mm的比例(84.2%)和现有地下水开采利用率85.6%基本一致。因此,在目前种植措施情况下已无空间进一步通过扩大面积发展水稻。根据公式(4),根本措施是节约用水,降低水稻需水量 $W_{水}$ 。如果有50%的水田采用需水量为500 mm的“薄-浅-湿-晒”灌溉方式,种植面积将可扩大10%。因此,三江平原农业种植发展方向应从扩大种植面积转向增加科技含量,发展节水灌溉。

[参 考 文 献]

- [1] 王韶华, 王丹, 刘祥臻. 三江平原水旱灾害分析及综合治理[J]. 北京工业大学学报, 2003, 29(4): 457- 461.
- [2] 王韶华, 田园. 三江平原地下水埋深变化及成因的初步分析[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(2): 61- 64.
- [3] 何璩. 中国三江平原[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2000, 80- 100.
- [4] 黑龙江省水利厅. 黑龙江省水旱灾害[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1998: 60.
- [5] 邓力群, 刘茂祥, 赵庆波, 等. 论三江平原雨养农业[J]. 水利科技与经济, 2001, 7(4): 185- 186.
- [6] 王俊华, 王兰法, 王长君. 寒区水田用水量的研究[A]. 中日科技合作项目三江平原农业综合实验站研究报告论文集[C], (1985~ 1993): 369.
- [7] 田园. 田园水利文集[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998, 65- 83.
- [8] 陈福生, 佟兆生, 高洪伟, 等. 浅析三江平原建三江地区创业农场地下水资源[J]. 2003, 9(1): 11- 13.
- [9] 付强, 梁川, 杨广林. 三江平原井灌水稻发展潜力探析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(1): 23- 26.

Agricultural water consumption and suitable paddy rice plant areas of the Three-River-Plain

Wang Shaohua¹, Liu Wencha², Liu Qunchang²

(1. The Branch of Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China; 2 Water Conservancy

Department of the China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract: The paddy rice areas in the Three-River-Plain has reached 0.95 million hectares, accounting for 28.6% of the total cultivated area, which resulted in the descent of the groundwater, and would make much adverse impact on the swamp and the whole environment. The suitable paddy rice planting areas were estimated based on the Agricultural Water Consumption (AWC) and Groundwater Exploitable Modulus. The primary conclusions are as follows: first, AWC is 483 mm at the present paddy field proportion. The feasible proportion should be 30% if certain runoff is taken into account, and the maximal proportion could be up to 60% if there is no runoff. Second, the essential approaches to enlarge the paddy rice areas are to adopt advanced planting method to reduce water consumption of paddy rice, and to derive water from rivers to increase usable water.

Key words: the Three-River-Plain; agricultural water consumption; groundwater exploitable modulus; feasible paddy proportion