

黄河流域灌溉农业的发展对黄河水量和水质的影响

于 涛, 何大伟, 陈静生

(北京大学环境学院, 北京 100871)

摘 要:通过对黄河流域一些主要站点近几十年来的水质、水文数据的分析研究,从灌溉农业的发展和水库修建等方面探讨了这些人类活动对黄河水量和水质的影响。分析认为,农业用水量的急剧上升是导致下游水量减少和断流的重要原因,同时也是黄河水总离子浓度上升的重要原因;水库的修建也加剧了黄河水质的“浓化趋势”。因此推行节水农业,加强对黄河流域水资源的管理是十分必要的。

关键词:黄河; 农业; 水量; 水质

中图分类号:X524 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2003)06-0664-05

Impact of Quantity and Quality of River Water by Irrigation in a Yellow River Basin

YU Tao, HE Da-wei, CHEN Jing-sheng

(College of Environmental Science, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Discharged shortage, river desiccation and deterioration of water quality in the lower reach of the Yellow River during the latest 30 years have been receiving widespread concern. This paper analyzed the data obtained from some main monitoring stations during the last decades, discussed the impacts of irrigation and reservoir construction on the quantity and quality of the Yellow River water, and pointed out that these human activities contribute a lot to the discharge shortage or river desiccation and the increasing of the total ion content of the river water. We conclude that it is an urgent action to tailor a strategy for saving water and strengthen the water management in the Yellow River Basin.

Keywords: The Yellow River; agriculture; water quantity; water quality

黄河是我国西北和华北的主要水源,它以占全国2%的径流量,向占全国15%的耕地和12%的人口供水。保护好黄河水资源,对我国西部开发具有十分重要的意义。

黄河流域地处干旱、半干旱地区,流域内1/3的面积年降雨量不足400 mm,2/3地区的年降雨量在400~800 mm之间。全流域平均年降水量为471 mm,而平均年蒸发量达1100 mm。在这种气候条件下,灌溉成为推动农业发展的关键因素。新中国建立后黄河流域灌溉事业的迅速发展,无疑地对农业的发展起到了强有力的推动作用。

但从农业可持续发展的角度考虑,当前十分有必要认真研究黄河流域灌溉农业发展与水资源保护之间的关系。针对近年来黄河下游径流量急剧减少,乃至频频发生“断流”(零流量)的事实,有较多学者研究了农业发展对黄河径流量减少的关系^[1~3]。关于农业发展与黄河水质变化的关系,只有少数学者(如陈静生)开展了研究^[3,4]。本文拟简要但全面地分析黄河流域农业发展对黄河水量和水质的影响。

1 黄河流域灌溉农业发展对黄河水量的影响

依河长和流域面积,黄河是我国的第二大河;但按径流量,黄河在全国大河中却排名第七,且径流在地区上分布很不均匀^[5]。据黄河最下游的利津水文站(位于山东省境内)自1919年至1995年的数据,黄河径流量的多年均值为580.2亿m³,是长江的1/16,是珠江的1/7。以花园口站(黄河下游控制站点,位于

收稿日期: 2002-12-19

基金项目: 国家自然科学基金委员会与水利部黄河水利委员会联合基金资助项目(E09-50239010)

作者简介: 于 涛(1968—),男,在读博士,主要从事河流水化学研究。

E-mail: yutao0325@sina.com

河南省郑州附近)为基点计算,黄河 55.6% 的水量来自兰州站以上占 29.6% 的流域面积地区。相比之下,兰州至河口镇区间的流域面积虽占黄河流域面积的 22.3%,但来水量却很少。这一段黄河处于干旱和半干旱地区,无大的支流注入(见表 1)。

表 1 黄河水量自上游向下游的变化

Table 1 The discharge variance of the Yellow River from upper to lower reach

区间或站名	控制面积		平均年径流量		年径流深 /mm
	km ²	占全河 /%	亿 m ³	占全河 /%	
源头—兰州	222 551	29.6	322.6	55.6	145
兰州—河口镇	163 415	21.7	— 10.0	— 1.7	
河口—龙门	111 586	14.8	72.5	12.5	65.1
龙门—三门峡	190 869	25.4	113.3	19.5	59.4
三门峡—花园口	41 616	5.5	60.8	10.5	146.1
花园口	730 036	97.1	559.2	96.4	76.7
花园口—黄河河口	22 407	3.0	21.0	3.6	93.7
黄河河口	752 443	100	580.2	100	77.1

根据黄河 1919—1975 年 56 a 系列。

黄河流域的农业灌溉活动可以追述到 2000 年前(郑肇经,1984)。在新中国成立的 1949 年以前,黄河中上游灌溉土地的面积仅 65 万 hm²,用于灌溉的水量不到 74 亿 m³,约占年径流量的 1/8。1949 年以后,黄河流域的农田灌溉面积和灌溉用水量剧增;1997 年在黄河流域的 1130 万 hm² 的农田中,有 750 万 hm² (66%) 引用黄河水灌溉;在 1988—1992 年期间,黄河流域 91% 的地表水和 61% 的地下水被用于农业灌溉^[6]。

近 30 多年来,由于中上游地区灌溉农业迅猛发展,使黄河下游的水量急剧减少。图 1 展示了黄河下游控制站点花园口站 1950—2000 年间实测径流量的变化曲线;表 2 列举了花园口站以下几个水文站在 1950—1970 年期间与 1971—1995 年期间的径流量数据。从这些图表中不难清晰地看出黄河下游近 30 a 来水量急剧减少的趋势。

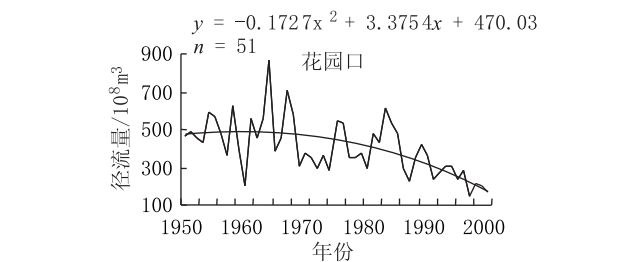


图 1 黄河下游控制性站点花园口站 1950—2000 年期
间实测径流量变化曲线

Figure 1 The variance of observed discharge at Huanyuankou Station in the lower reach of the Yellow River during 1950—2000

表 2 黄河下游主要站点 1950—1970 年与 1971—1995 年
期间径流量比较

Table 2 Comparison of the discharge at main lower reach stations during 1950—1970 and 1971—1995

站名	1950—1970 期间径流量	1971—1995 期间径流量	减少幅度
	/亿 m ³	/亿 m ³	/%
高村	480.44	340.39	29.2
孙口	481.68	324.45	32.6
艾山	491.95	316.62	35.6
涿口	488.40	292.02	40.2
利津	484.26	267.00	44.9

几乎所有研究者一致认为,黄河下游径流量急剧减少与中上游地区灌溉农业的过度发展有关。图 2 展示了 20 世纪 50 年代以来黄河流域灌溉面积和灌溉水量的增长情况。图 3 展示了 20 世纪 20 年代至 80 年代期间黄河花园口站实测径流量变化与以上地区灌溉用水量变化的关系。

王玲等(1998)指出,黄河的水量主要消耗于以下几方面:农业灌溉和城市用水、水库水面蒸发及渗漏损失、梯田拦蓄地表径流增加了田间蒸发作用、造林种草增加植物的蒸腾作用等。据他计算,农业灌溉对减水量的贡献占总减水量的 80% ~ 90%。而在农业用水中,约有 50% 在输水过程中损失,25% 左右耗于作物的棵间蒸发,25% 耗于作物生长所必需的蒸腾作用^[7]。

2 黄河流域灌溉农业的发展对黄河水质的影响

黄河水化学的基本特征为:河水离子总量的年均值在 362 ~ 535 mg · L⁻¹ 之间,比长江高 1 倍以上,比珠江高 2 倍以上;河水的化学类型为碳酸盐型钙镁组水(表 3)。

Gert Knutsson(1994)指出,研究一个较大区域的水质变化趋势至少要有连续 15 a 以上的监测资料,这样才有可能从天然水质的正常自然波动中区分出人类活动对水质变化的影响。我们曾对 1960—1984 年期间黄河上、中游连续或累计监测时间大于 15 a 的 44 个监测站的数据进行整理,发现其中有 30 个站点(约占 70%)河水中各离子的含量及离子总量在此段时期内有缓慢但显著的增长趋势(陈静生等,2000)。大部分站点各主要离子含量上升幅度的比例接近河水组成的比例。由于河水离子总量增长前后均尚未达到咸水界限(1 g · L⁻¹),且在离子总量增高的同时各离子间的比例关系无明显变化。我们称这样的水质变

表 3 黄河主要离子含量与我国其他大河比较($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

Table 3 The contents of main ions in the Yellow River and contrast with other major rivers($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)									
河名	站名	离子总量	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$	Cl^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	水化学类型 ¹⁾
黄河	涇口	437.47	43.09	19.46	59.94	48.83	73.16	188.36	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na,Ca}}$
长江	大通	169.94	29.90	6.23	4.92	4.05	11.06	113.18	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$
珠江	高要	181.30	29.10	5.04	11.45	4.00	9.31	122.70	$\text{C}_{\text{I}}^{\text{Ca}}$
松花江	佳木斯	152.2	16.31	4.72	18.92	8.15	11.82	89.83	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na,Ca}}$

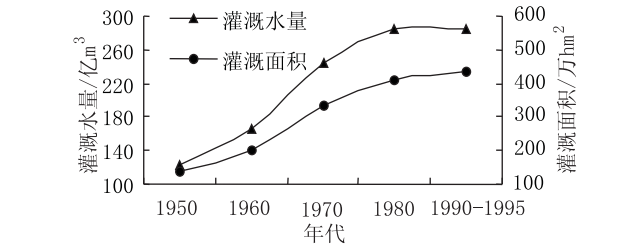


图 2 20 世纪 50 年代年以来黄河流域灌溉面积和灌溉水量的增长情况

Figur 2 Enhancement of irrigated areas and utilized water quantities in the Yellow River Basin since 1950s

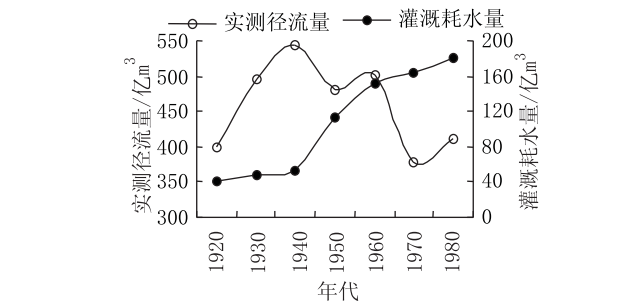


图 3 花园口站以上 20 世纪 20 年代至 80 年代期间灌溉水量和实测径流量变化情况

Figure 3 The variance of irrigation water quantity and observed discharge of Huayuankou Station and the upper during 1920s - 1980s

化趋势为“水质浓化”(陈静生等,2000)。

这里给出的我们依据 40 a 长系列(1960—2000 年)水质资料绘制的黄河上游代表性站点石嘴山站和下游控制站点涇口站 1960—2000 年期间河水各主要离子总量的年变化曲线(图 4 和图 5)。

黄河水质浓化的趋势与新疆塔里木河的水质变化的大趋势有类同之处。韩清(1980)、魏忠义(1994)、李新等(1999)研究塔里木河的水质变化问题后发现,与农垦前的 20 世纪 50 年代相比,20 世纪 70 年代塔里木河河水矿化度(即本文中的离子总量)增加了 5~8 倍。他们指出,塔里木河的水质变化趋势与农垦后塔里木河径流量减少、农田灌溉退水进入河流有关,也与兴建水库引起的水面蒸发有关^[8~10]。

宁夏灌区和河套灌区是黄河上的两个最大的灌

区。黄河流经这两个灌区前后的距离长达 500~600 km,其间无大的支流汇入。由于地处干旱区域,这两个灌区的灌溉强度高达 70% 以上,是黄河灌溉水的最大用户。这两个灌区的土壤不少是季节性盐渍土壤。灌溉水进入农田后必然要淋洗土壤中的盐分,使这些盐分通过灌区排水沟网,随农田回水进入黄河。从表 4 所列的数据中可以看出,黄河在进入宁夏灌区前的青铜峡站时河水的离子总量为 $431 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,钠含量为 $40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。由于接收了来自农田的高盐度排水,当其流经宁夏灌区后至石嘴山站时河水的离子总量增至 $478 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,钠含量增至 $48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。由此向下,黄河流经河套灌区前后,展现出同样的情况(表 4)。黄河抵达河套灌区前,河水的离子总量为 $444 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,钠含量为 $47 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。黄河流经河套灌区后,至头道拐站,河水离子总量增至 $557 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,钠含量增至 $79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。这些数据充分说明了农灌区排水对黄河水质浓化过程的影响。

3 黄河流域水库修建对河流水质的影响

在讨论黄河流域农业发展对河流水量和水质影响的问题时,必然要涉及到评价水库修建在这一过程中的作用。新中国建立后在黄河流域修建了众多的大、中、小型水库,水库库容逐年增加,到 1993 年,水库库容已经增加到 586.5 亿 m^3 ^[11],超过了黄河流域多年平均水资源量。在黄河中上游干旱和半干旱地区修建水库不可避免地造成河水蒸发损耗的增加,从而使库区及水库下游河水各主要离子的浓度升高。这里给出几组代表性数据予以说明。图 6 和图 7 分别给出汾河流域(河津站以上)1950—1990 年各年代水库年均蒸发量数据和山西省汾河(河津站以上)各年代水库蒸发量占同期天然径流量的百分比(据黄河水沙研究基金会,1993,黄河水沙变化研究论文集)。由此二图可以看出,由于水库建设,20 世纪 50 年代至 80 年代,通过蒸发而损失的水量逐年增加。汾河流域水库库容不超过黄河全流域水库库容的 3.5%,且其干旱程度在全流域居于中等,但其水库蒸发量却高达 0.3

表 4 黄河中上游宁夏灌区和河套灌区农田排水对黄河水离子总量与钠含量的影响

Table 4 The impacts of irrigation drainage on the total ions and sodium contents in the Yellow River water in the Ningxia and Hetao irrigation areas

灌区	相对位置	站点	离子总量(均值) /mg · L ⁻¹	钠含量(均值) /mg · L ⁻¹	统计年限	样品量
宁夏灌区	灌区以上的黄河干流	青铜峡	431	40	1982—1990	105
	灌区排水沟	望洪堡	927	160	1980—1984, 1989	66
	灌区排水沟	贺家庙	1 058	177	1980—1984, 1989	64
	灌区排水沟	通伏堡	1 364	291	1980—1984, 1989	66
	灌区排水沟	熊家庄	2 109	509	1980—1984, 1989	66
	灌区排水沟	达家梁子	1 821	460	1980—1984, 1986—1989	95
	灌区以下的黄河干流	石嘴山	478	48	1980—1990	132
河套灌区	灌区引水口	巴彦高勒	444	47	1980, 1983, 1984	28
	灌区排水沟	沙盖补隆	1 173	266	1980, 1989, 1990	24
	灌区排水沟	西山嘴	2 057	569	1980, 1985—1990	47
	灌区以下的黄河干流	头道拐	557	79	1980—1990	126

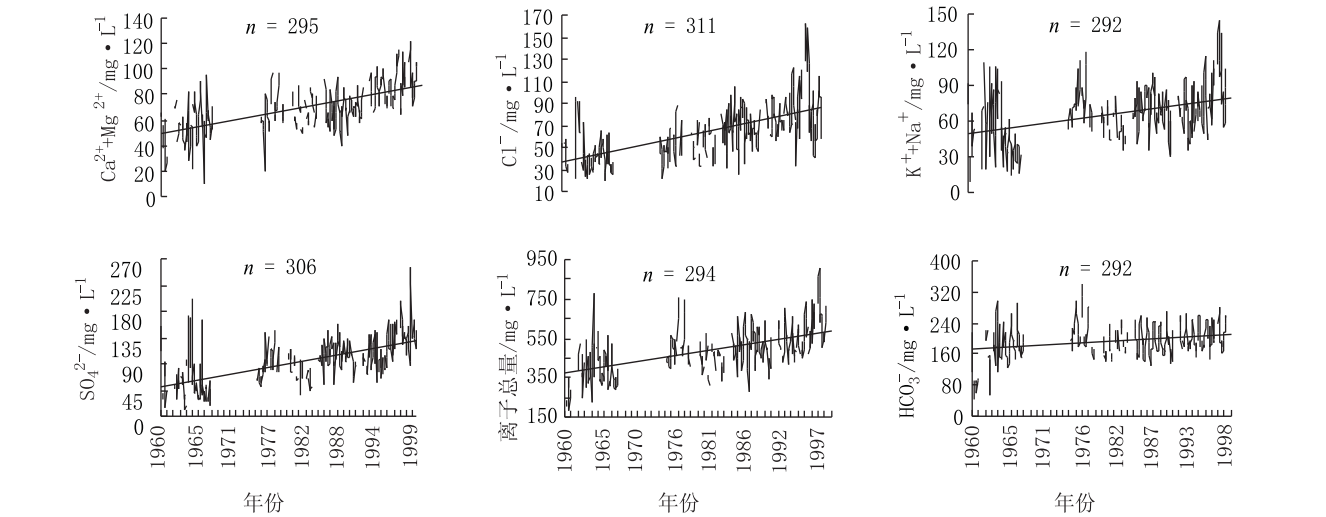


图 4 黄河上游石嘴山站 1960—2000 年水质变化曲线(根据水利部水文年鉴资料)

Figure 4 The variation of the water quality of the Shizuishan Station in upper Yellow River (1960—2000)

(data from the Yearbook of the Ministry of Water Conservancy)

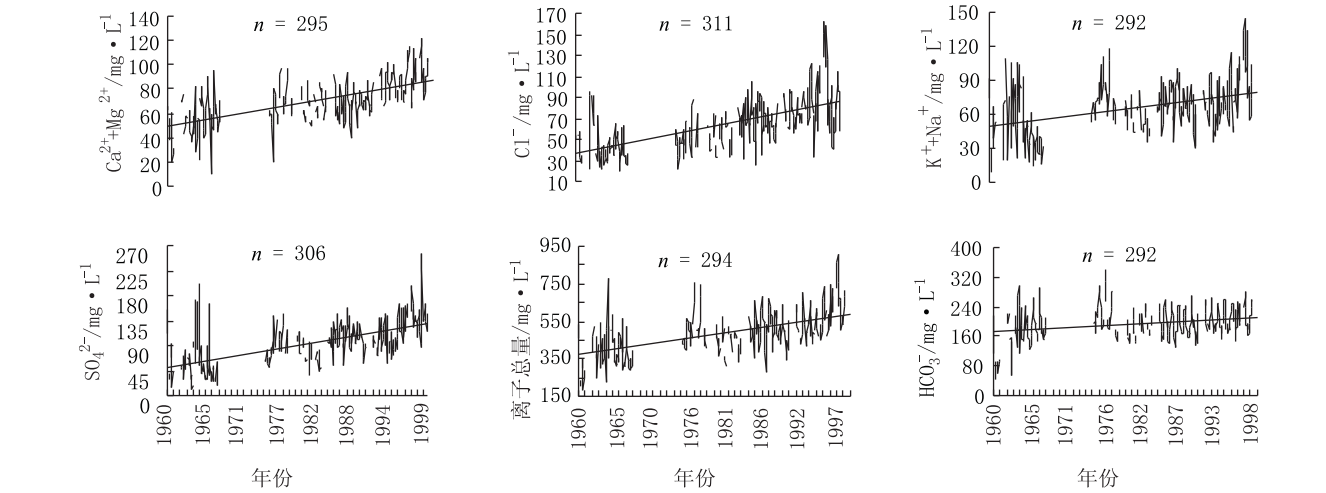


图 5 黄河代表性控制站点冻口站 1960—2000 年水质变化曲线(根据水利部水文年鉴资料)

Figure 5 The variation of the water quality of the controlling station Likou in the Lower Yellow River (1960—2000) (data from the Yearbook of the Ministry of Water Conservancy)

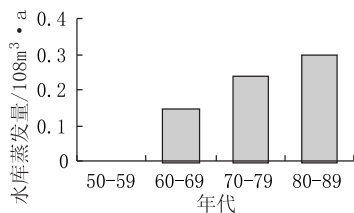


图 6 山西省汾河流域(河津站以上)各年代水库的年均蒸发量

Figure 6 The evaporation amounts of the reservoir water in Fenhe River Basin (Jinhe Station and the upper) in different years, Shanxi Province

亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ [11], 足见水库蒸发损耗水量之大。

水库水量蒸发对河水离子总量增大的影响不可低估。图 8 列举下游山东境内黄河支流大汶河上游两个水库(光明水库和东周水库)的离子总量增加的情

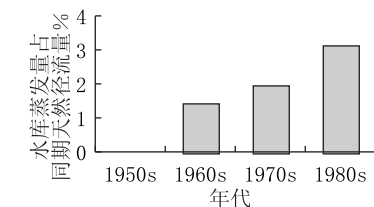
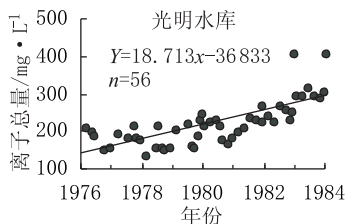


图 7 山西省汾河(河津站以上)各年代水库蒸发量占同期天然径流量的百分比

Figure 7 The percentage of the evaporation of the reservoir water to the discharge of the same period in Fenhe River Basin (Jinhe Station and upper) in different years, Shanxi Province

况, 在短短 8 a 间, 水库水的离子总量增加了 1 倍多, 足见水库的蒸发作用明显地促进了水质的浓化过程。

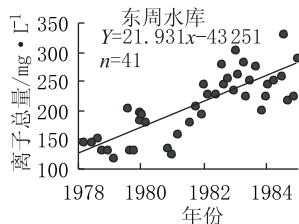


图 8 黄河下游山东省境内支流大汶河流域两个水库离子总量变化图

Figure 8 The variance of total ion contents in the two reservoirs on the tributary Dawen River of the lower Yellow River, Shandong Province

4 结论

由于大规模的农业开发和灌溉用水量的急剧增加, 黄河流域下游近 30 a 来水量不断减少, 同时河水总离子浓度有不断升高的趋势, 而离子间的比例基本保持不变; 这种“水质浓化”趋势不仅是因为黄河径流量的减少, 也是农田灌溉回水的结果, 同时由于蒸发耗水作用, 流域内兴建的水库也加强了黄河的“水质浓化”趋势。因此, 保护黄河, 推行节水农业, 科学地开发、利用黄河水资源, 加强黄河流域水资源的管理已是一项刻不容缓的任务。

参考文献:

- [1] 黄河断流成因分析及对策研究组. 黄河下游断流及其对策研究[J]. 人民黄河, 1997, 19(10): 2-5.
- [2] 程进毫, 王维美, 等. 黄河断流问题分析[J]. 水利学报, 1998, 5: 75-79.
- [3] 陈静生, 李荷碧, 等. 近 30 年来黄河水质变化趋势及原因分析

[J]. 环境化学, 2000, 19(2): 97-102.

- [4] 陈静生, 夏星辉, 等. 长江、黄河、松花江 60—80 年代水质变化趋势与社会经济发展的关系[J]. 环境科学学报, 1999, 19(5): 500-505.
- [5] 谢家泽, 陈志恺. 中国水资源[J]. 地理学报, 1990, 45(2): 210-219.
- [6] 水利部黄河水利委员会. 水利部水文年鉴黄河流域水化学资料. 郑州: 黄河水利出版社, 1919—1997, 1960—2000.
- [7] 王玲, 孙东坡, 等. 黄河流域降雨和天然径流的变化[A]. 黄河水沙变化对河流系统的影响[C]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998. 13-14, 29.
- [8] 韩清. 塔里木河流域农垦后水质变化及其控制途径[J]. 地理学报, 1980, 35(3): 219-231.
- [9] 魏忠义. 塔里木盆地地表水化学特征及在人类活动影响下的变化[J]. 干旱区资源与环境, 1994, 8(2): 23-29.
- [10] 李新, 等. 中国干旱区水量转化特征及其对环境的影响分析[J]. 干旱区地理, 1999, 22(2): 1-7.
- [11] 《中国水利年鉴》编辑委员会. 中国水利年鉴[M]. 北京: 中国水利出版社, 1994.