

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.01.020

气候变化和农业发展对石羊河流域地下水水位的影响*

王利书¹ 悦琳琳² 唐泽军¹ 张昕¹

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 绿友机械集团股份有限公司, 北京 100012)

摘要: 通过回归分析等方法研究了石羊河流域气候变化和农业生产发展对地下水水位的影响。研究结果认为从长期看流域内降水量、蒸发量对地下水的影响不大,武威地区降水量和蒸发量对地下水水位的影响系数在0.004以内,民勤地区降水量和蒸发量的影响系数在0.001以内,影响较小;而径流量与粮食产量的变化是地下水水位下降的主要原因,武威和民勤地区径流量对地下水水位的影响系数分别为1.381和6.008;并使用最小二乘回归模型确定了地下水水位用径流量和总产量表达的关系式,经验证,模型有较高的模拟精度,预测将来武威地下水水位平均每年将下降0.945 m,民勤地下水水位将下降0.919 m。

关键词: 石羊河流域 地下水水位 农业生产 气候变化

中图分类号: S273.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)01-0121-08

引言

地下水资源对生活生产、经济发展以及生态环境等方面都起着重要的作用。石羊河流域是我国内陆河流域之一,由于地质、地理、环境等综合因素,流域水资源量非常匮乏,再加上水资源配置不合理、长期超量开采地下水等原因,地下水水位下降严重,生态环境受到严重威胁。近几十年来,随着地表水的日益短缺、经济社会的发展和人口的增加,地下水已成为当地人民赖以生存的水资源^[1-3]。水资源供需矛盾也日益突出,尤其在流域的中下游地区,对地下水的无节制开采已造成当地地表生态环境的严重恶化,引起了广泛关注^[4-6]。

在干旱条件下,气候与人类活动导致流域地下水循环条件发生明显变化,地下水位的波动将直接影响该区的生态环境,其负面效应威胁着流域水资源的可持续利用和生态环境安全^[7-9]。地下水资源开发利用的不合理将造成地下水水位急剧下降并最终形成降落漏斗,引起地面沉降、海水入侵等问题^[10-12]。地下水埋深是地下水环境要素的重要指标,能较好地反映地下水的情况,为了合理利用地下水,需对地下水埋深及其影响因素有较好的认识。作物耕作模式、灌溉制度、环境和土地利用类型等因素都会对地下水水位产生影响^[13-14],许多学者对此进行了研究^[15-19]。明确了对地下水影响最大的因

素后,应采取相应措施确保地下水的恢复和持续利用^[20-23]。

本文主要研究石羊河流域气候和农业生产两个因素的变化对地下水水位产生的影响,以获得合适的农业生产用水量,使地下水水位和农业生产达到最佳平衡。

1 石羊河流域背景

1.1 自然地理与农业发展情况

石羊河流域属于干旱半干旱气候,多年平均降水量较少,仅南部祁连山区较为湿润,年降水量200~800 mm,中部和北部平原区年降水量仅为100~250 mm,并多集中在6~9月份,流域年蒸发量为2000~3000 mm。流域内有8条出山径流,出山地表径流量为 $15.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。石羊河流域的地下水开采含水层主要为浅层地下水,地下水资源主要集中在流域中部走廊平原区的南北两个盆地之间。石羊河流域水系和灌区分布图如图1所示。

石羊河流域耕地面积371168.52 hm²,农田灌溉面积299988.17 hm²,50年来粮食总产量呈递增趋势。农业以高耗水的粮食作物为主,主要作物有小麦、玉米、马铃薯等,经济作物主要有啤酒大麦、甜菜、油菜、瓜菜、果树、葡萄等。种植方式主要为大田种植,部分地区有区域化种植覆膜玉米和覆膜马铃薯,及日光温室瓜果蔬菜和温室双孢菇等。多年

收稿日期:2013-01-23 修回日期:2013-03-04

* 国家自然科学基金重点项目(91125017)和水利部公益性行业科研专项资助项目(201301016-02)

作者简介:王利书,博士生,主要从事区域水循环研究,E-mail:fc8232@126.com

通讯作者:唐泽军,教授,博士生导师,主要从事水土保持与荒漠化防治工程、水文与水资源研究,E-mail:tangzejun@sina.com

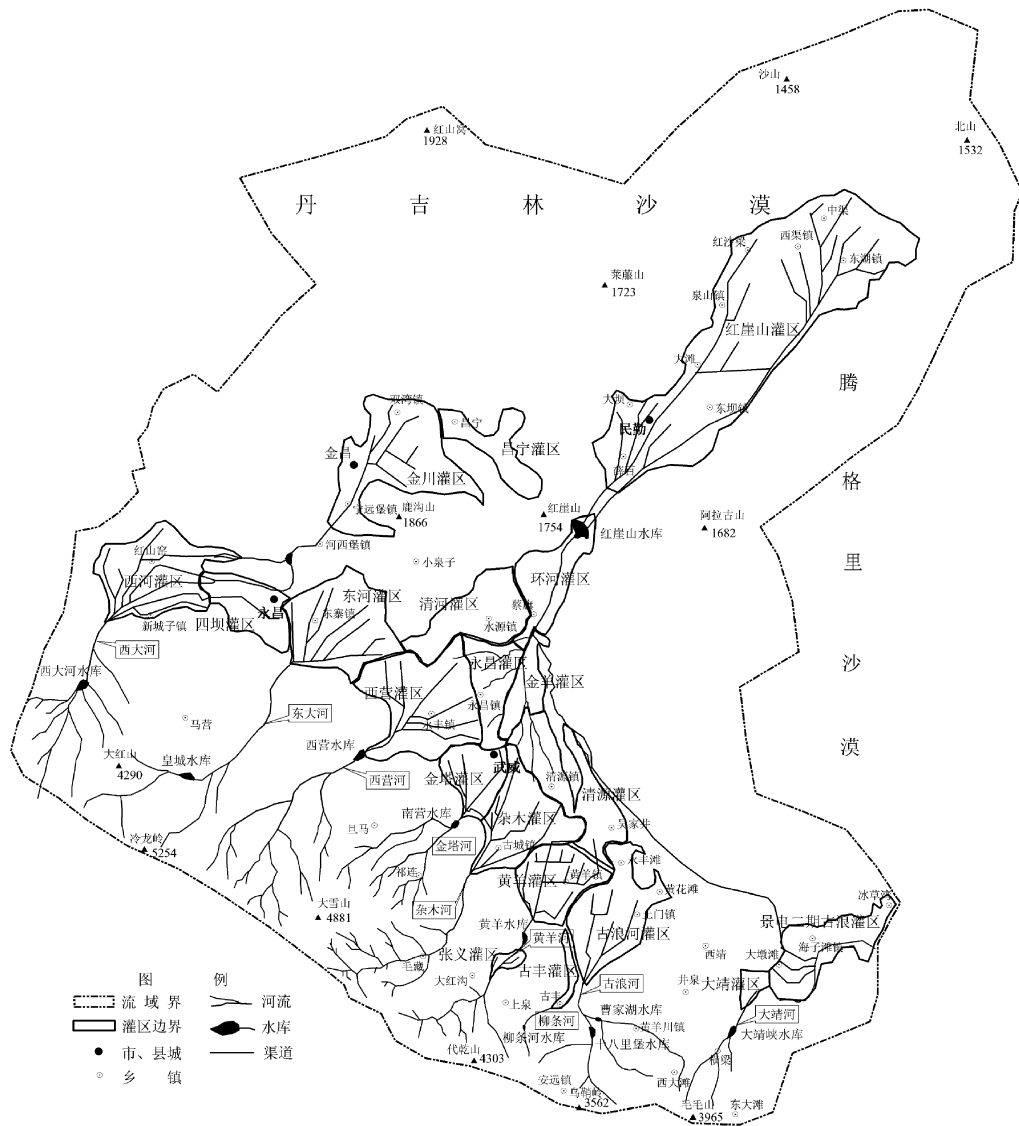


图1 石羊河流域水系和灌区分布图

Fig.1 River system and irrigation district distribution in Shiyang River Basin

来主要以畦灌、沟灌、小块灌等常规灌溉方式为主,兼有喷灌、滴灌等节水灌溉。

随着社会经济的发展,需水量不断增加,但上游来水量逐年减少,为确保工农业生产的稳步发展,地下水资源被超量开采,导致地下水位持续下降,带来一系列的生态问题。

1.2 水文地质条件

石羊河流域面积为 $4.16 \times 10^4 \text{ km}^2$,起源于祁连山脉的冷龙岭冰川。祁连山脉位于流域的南部,主要山峰冷龙岭的海拔高度达到 4 832 m,许多高于 4 500 m 的现代冰川分布其上,占据的面积大约为 64.8 km^2 。石羊河流域具有边缘凹陷性质,是祁连山褶皱带与阿拉善古台块之间的一个中生界构造地区。在各个地质构造时期,祁连山区都显示了不同程度的活动性,沉积了较为完整的地层系统,并形成了复杂的构造轮廓。尤其是晚近地质时期的造山

运动,使祁连山褶皱带急剧抬升,造成了现代的冷龙岭等山脉。在南部上升活动过程的同时,北部阿拉善地台相对稳定。因而中间地带在构造应力作用下,凹陷沉降,新生代以来尤为剧烈,接受了巨厚松散的第四系沉积物,形成现代的盆地平原。武威盆地位于祁连山脚部的洼地,包括第四纪的冲积和洪积沉积物,海拔高度为 1 400 ~ 2 500 m,盆地含有厚度很大的松散第四纪沉积物,非常有利于地下水储藏。

石羊河流域 2000 年地下水位埋深如图 2 所示。山前河流出山以后,首先进入山前平原的洪积群带,河床及其下面的地层均为大空隙的砾卵石层,透水性能极强,河水大量渗漏补给和转化为地下水,此处的地下水位埋深在 10 ~ 100 m 之间。当河流流至细土平原地带时,由于整个地势的降低及地下含水层透水性能的减弱,地下水位抬高,河床切穿了地下含

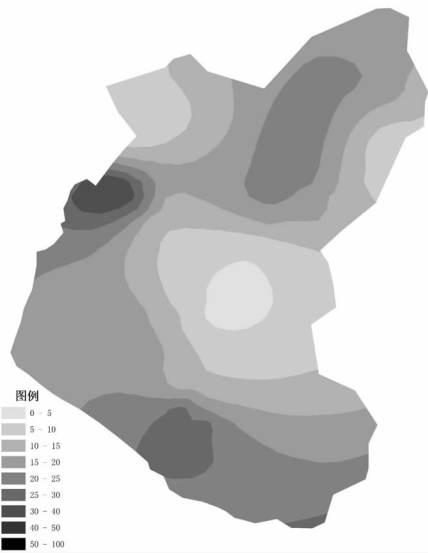


图 2 石羊河流域地下水位埋深图

Fig. 2 Groundwater depth of Shiyang River Basin

水层,造成河水位低于地下水位,使河、渠水在洪积扇上、中部大量渗漏转化为地下径流的地下水,在洪积扇前缘和细土平原的沟槽中以泉水形式溢出地

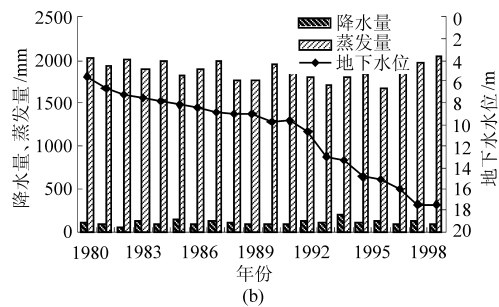
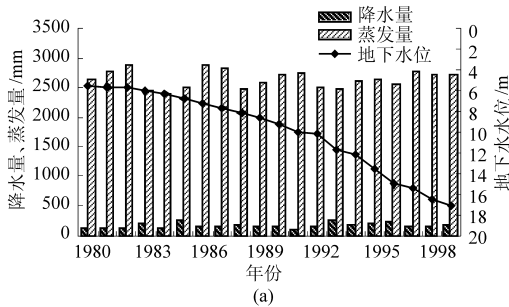


图 3 1980~1999 年武威、民勤降水量、蒸发量及地下水位变化

Fig. 3 Changes of precipitation, evaporation and groundwater level of Wuwei and Minqin in 1980~1999

(a) 武威 (b) 民勤

从图中可以看到,武威和民勤蒸发量与降水量多年来虽有较大的年际变化,但长期变化比较平稳,增加和减少的趋势不明显,而武威和民勤地区的地下水位均在逐年下降,从长期来讲,蒸发量和降水量的变化对武威、民勤地区的地下水位的变化影响很小或者基本没有影响。

1950~1999 年武威地区内的 5 条河流的径流量都有下降趋势,杂木河近 50 年的多年平均径流量为 $2.435 \times 10^8 \text{ m}^3$,期间 20 世纪 50 年代和 60 年代突变显著,年均径流量从 50 年代的 $3.199 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减为 60 年代的 $2.203 \times 10^8 \text{ m}^3$,减幅达 31.1%。自 1961 年以后年均径流量平均每年下降 $3 \times 10^5 \text{ m}^3$,年际波动变化较小。西营河在 1950~2001 年期间的多年平均径流量为 $3.623 \times 10^8 \text{ m}^3$,年径流量在整个研究期内持续下降;金塔河 50 年代的年均径流量为 $1.834 \times 10^8 \text{ m}^3$,50 年代之后径流减少,1961 年至

表,转化成地表水,成为石羊河的主要补给来源,地下水位埋深在 0~10 m 之间。流域尾间民勤盆地的地下水位埋深在 10~20 m 之间。地表水与地下水的转化过程一般可重复 2~3 次,每一次转化都是由山前平原上部的河上渗漏开始,到洪积扇前缘泉水溢出带地下水再露出地表,又转化成河水为止。

2 气候因素变化对地下水水位的影响

降水和气温是最基本的两个气候因素。降水入渗是地下水的重要补给量,地表水与地下水的相互转换也是影响地下储水量的重要因素。所以分析降水量、径流量的变化及其与地下水的关系有重要意义。

2.1 气象数据变化分析

选用 1950~2002 年石羊河流域武威、民勤的降水量和河流径流量等数据进行研究。武威地区的主要河流有杂木河、西营河、金塔河、黄羊河和古浪河,5 条河流汇成石羊河干流流入红崖山水库后进入民勤。降水量、蒸发量与地下水位的对比如图 3 所示。

2000 年期间的多年年均径流量为 $1.344 \times 10^8 \text{ m}^3$;黄羊河多年平均径流量 $1.375 \times 10^8 \text{ m}^3$,每 10 年平均下降 $1.0 \times 10^7 \text{ m}^3$;古浪河的年均径流量很小,为 $7.46 \times 10^7 \text{ m}^3$,且近 50 年来总体上呈减小趋势。红崖山水库上游年径流量多年平均为 $2.852 \times 10^8 \text{ m}^3$,与前 5 条河相比,红崖山水库近 50 年来下降趋势特别明显,年均径流量从 20 世纪 50、60 年代的 $4.705 \times 10^8 \text{ m}^3$ 下降至 90 年代的 $1.048 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。自 1977 年以后表现出比之前更显著的下陷趋势。各河流年径流量的变化如图 4 所示。

武威、民勤的主要河流径流量与地下水位的关系分别如图 5 和图 6 所示,从图中可以看出,武威盆地的地下水位逐年下降,主要河流径流量总体也呈下降趋势;红崖山水库年径流量下降趋势明显,与地下水位的下陷趋势非常吻合,说明径流量是影响地下水位变化的重要因素之一。

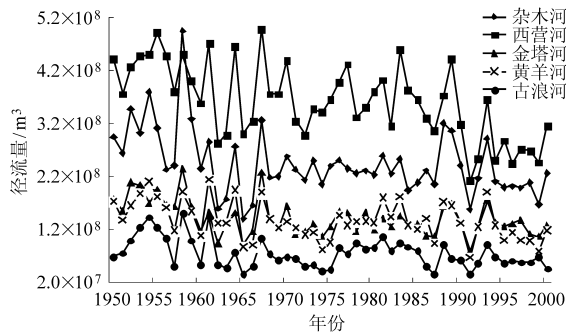


图4 5条河径流量与红崖山水库入库流量变化

Fig. 4 Changes of runoff of five rivers and inflow of Hongyashan Reservoir

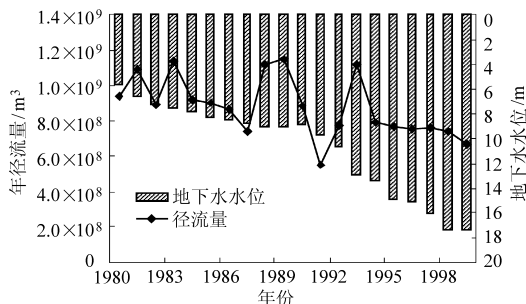
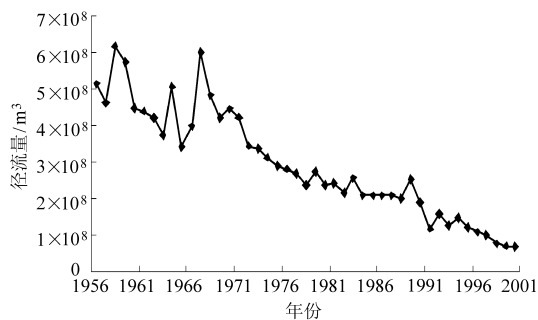


图5 武威5条河年径流量与地下水水位对比

Fig. 5 Annual runoff of five rivers vs

groundwater level in Wuwei

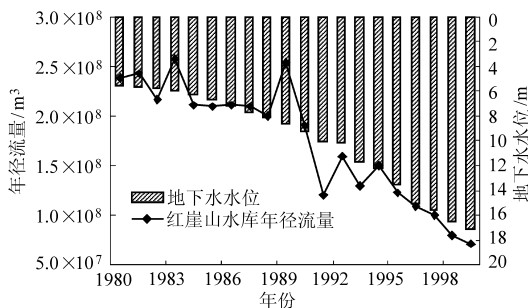


图6 红崖山水库上游年径流量与地下水水位对比

Fig. 6 Annual runoff of Hongyashan Reservoir upstream vs groundwater level

表2 民勤地下水水位动态最小二乘回归模型系数

Tab. 2 Least squares regression model coefficients of groundwater level dynamics in Minqin

| 模型 | 非标准化系数 <i>B</i> | 标准误差 | 标准化回归系数 β | <i>t</i> | <i>p</i> |
|-----|-----------------|-------|-----------------|----------|----------|
| 常数 | 19.167 | 7.792 | | 2.460 | 0.026 |
| 降水量 | 0.001 | 0.012 | 0.072 | 0.728 | 0.477 |
| 蒸发量 | 0 | 0.003 | 0.004 | 0.042 | 0.967 |
| 径流量 | -6.008 | 0.579 | -0.925 | -10.371 | 0.000 1 |

武威地区回归模型为

$$L = 23.922 - 1.381R + 0.003P - 0.004E$$

民勤地区回归模型为

$$L = 19.167 - 6.008R + 0.001P$$

式中 *L*——地下水水位 *R*——径流量

P——降水量 *E*——蒸发量

从得到的模型看,径流量 *R* 的回归系数较大,它与地下水水位 *L* 呈负相关;说明径流量减少会引起地下水水位的加深,回归系数表示径流量改变一个单位,相应会引起地下水水位的变化量。以武威为例,径流量每减少 1 亿 m^3 ,会引起地下水水位下降 1.381 m。降水量 *P* 的回归系数较小,说明降水量的变化会引起地下水水位的微小变化。以民勤为例,1980~1999 年降水量多年平均值 106.885 mm,最大降水量为 144.8 mm,最小降水量为 52 mm,最大降水量比多年均值大 37.915 mm,根据回归模型,最大降水量时会引起地下水水位变化 0.034 1 m。蒸发量 *E* 的系数同样较小,民勤地区为 0,说明从长期来看,蒸发量的变化对地下水水位变化没有影响。

2.2 气象因素对地下水水位的影响

为分析气象因素与地下水水位之间的数量关系,对武威和民勤 1980~1999 年的降水量、蒸发量、径流量、地下水水位数据建立以地下水水位动态的单因变量最小二乘回归模型。模型建立过程如表 1 和表 2 所示。

表1 武威地下水水位动态最小二乘回归模型系数

Tab. 1 Least squares regression model coefficients of groundwater level dynamics in Wuwei

| 模型 | 非标准化系数 <i>B</i> | 标准误差 | 标准化回归系数 β | <i>t</i> | <i>p</i> |
|-----|-----------------|--------|-----------------|----------|----------|
| 常数 | 23.922 | 20.055 | | 1.193 | 0.250 |
| 降水量 | 0.003 | 0.022 | 0.417 | 1.696 | 0.109 |
| 蒸发量 | -0.004 | 0.009 | -0.117 | -0.456 | 0.654 |
| 径流量 | -1.381 | 0.416 | -0.630 | -3.324 | 0.004 |

3 农业生产发展对地下水水位的影响

3.1 粮食作物产量数据分析

选用 1950~2002 年石羊河流域武威、民勤的粮食作物种植面积、单产和总产等数据进行研究。武威 50 年间粮食作物种植面积、单产和总产的变化如图 7 所示。

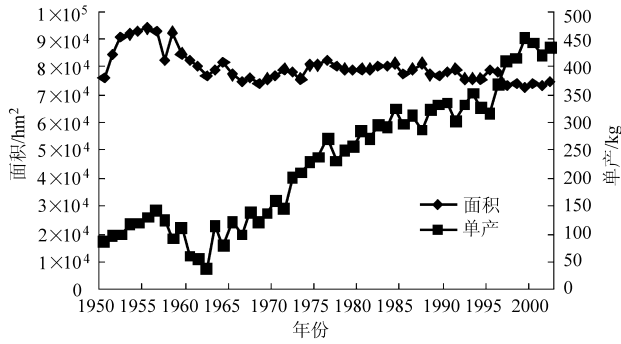


图 7 武威各年粮食种植面积、单产、总产图

Fig. 7 Grain planting, yield, total production each year from 1950 to 2002 in Wuwei

武威 1950 年粮食种植面积 76 140.38 hm², 2002 年为 76 667.05 hm², 其中 74 050.37 hm²靠开采地下水灌溉, 大部分农田灌溉方式为漫灌, 少数农田为喷灌和滴管。50 年代耕地面积曾增加至 93 333.80 hm², 后又降回至 76 667.05 hm²左右, 多年变化较小。粮食作物单产由 1950 年的 86.5 kg 增长至 2002 年的 444 kg, 总产由 0.99 亿 kg 增长

至 4.93 亿 kg。单产在 1995 ~ 1999 年的增长幅度比较大, 在 1985、1991、1995 和 2001 年有较大的降幅, 而耕地面积变化平稳, 波动较小。这 4 个年份产量出现降幅的原因可能是因为政府调低了粮食价格。

民勤 50 年间粮食作物种植面积、单产和总产的变化如图 8 所示。

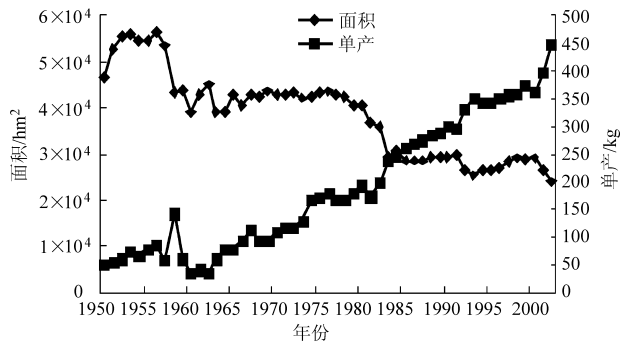


图 8 民勤各年粮食种植面积、单产、总产图

Fig. 8 Grain planting, yield, total production each year from 1950 to 2000 in Minqin

民勤 1950 年粮食种植面积 46 860.23 hm², 2000 年为 29 020.15 hm², 减少了 50%, 地下水为主要灌溉水源, 节水灌溉措施较少, 大部分灌溉方式为漫灌。20 世纪 50 年代耕地面积有所增加, 60 年代开始逐步减少。粮食作物单产由 1950 年的 50.5 kg 增长至 2000 年的 360 kg, 总产由 0.36 亿 kg 增长至 1.57 亿 kg。

70 年代以前石羊河流域以利用地表水为主, 由于农业的急速扩展, 流域开始大规模地开发利用地下水, 以弥补水资源供需缺口, 总体开采量远大于补给量, 地下水长期处于负均衡状态, 从而导致流域内地下水处于区域性持续下降状态, 其中民勤县超采尤为严重。地下水水位的下降和粮食的增产关系如图 9 和图 10 所示。

民勤自 1978 年以来, 耕地面积有较大的变化, 有两次较大的降幅。1980 ~ 1983 年耕地面积从 40 666.87 hm²减少到 29 433.48 hm², 1992 ~ 1993 年耕地面积从 29 750.15 hm²减少到 25 470.13 hm²。主要原因是盲目拓荒、过度施用化肥等造成土地沙化、盐渍化, 可用耕地减少。由于粮食单产保持稳定的上升趋势, 总产量受到耕地面积减少的影响较小, 趋势稳定。

3.2 农业生产对地下水水位影响

石羊河流域目前的用水方案, 重点在于解决保证农业灌溉基本用水前提下的供水问题。20 世纪

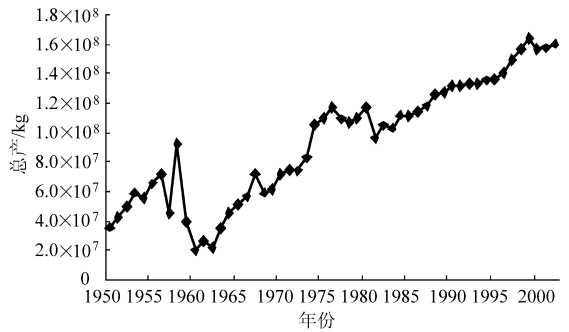


图 9 武威粮食总产量与地下水水位变化曲线

Fig. 9 Change curves of total grain production and groundwater level in Wuwei

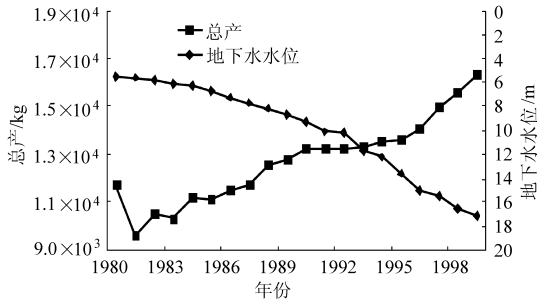


图 10 民勤粮食总产量与地下水水位变化曲线

Fig. 10 Change curves of total grain production and groundwater level in Minqin

位不断下降,粮食总产量持续增加。具体来说,武威地下水水位多年保持平缓下降趋势,从 1980 年的 5.58 m 下降至 1999 年的 17.16 m,在 1990~1992 年间有所回升,相应 1991 年的粮食产量有较大减产,极有可能是地下水取水量减少导致灌溉水量不足而造成的。民勤的地下水水位变化和粮食产量变化都很平缓,水位埋深从 1980 年的 5.49 m 下降至 1999 年的 17.16 m。

以粮食作物单产为自变量,地下水水位为因变量,对数据进行回归分析。根据散点图,建立对数或指数曲线模型。对数或指数回归分析统计量及回归模型见表 3。粮食产量与地下水水位的变化关系非常密切,相关系数都达到了极显著水平。武威、民勤的作物单产与地下水水位变化的拟合关系如图 11 和图 12 所示。

表 3 各地区回归分析相关系数与回归模型

Tab. 3 Regression analysis coefficients and models in Wuwei and Minqin

| 地区 | 相关系数 | 回归模型 | 显著性 |
|----|---------|-----------------------------|-----|
| 武威 | 0.876 0 | $y = 24.183 \ln x - 146.02$ | 极显著 |
| 民勤 | 0.954 9 | $y = 1.580 8e^{0.003x}$ | 极显著 |

注: x 为粮食作物单产, y 为地下水水位。

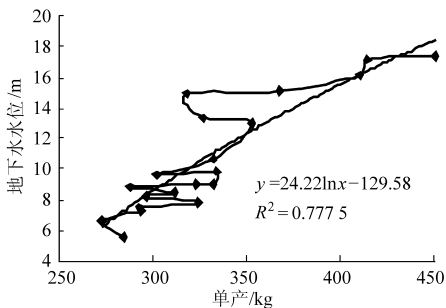


图 11 武威粮食单产与地下水水位相关关系曲线

Fig. 11 Correlation between grain yields and groundwater level in Wuwei

从粮食单产与地下水水位相关关系图中可以看到,作物产量与地下水水位有密切的关系,作物产量持续增加会引起地下水水位的持续下降。这样的发

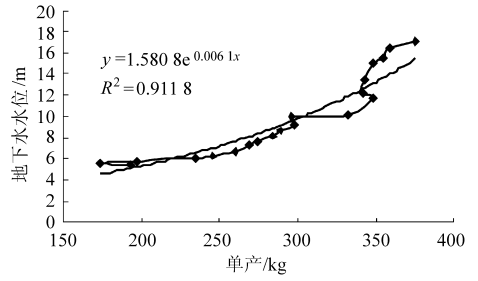


图 12 民勤粮食单产与地下水水位相关关系曲线

Fig. 12 Correlation between grain yields and groundwater level in Minqin

展是不可持续的,因此须限制农业生产用水量。

石羊河流域地下水水位持续下降的主要原因是地表径流减少引起的地下水补给量减少和为提高作物产量大量开采地下水,所以用径流量与作物产量表达出地下水水位对将来的研究有重要的作用。使用最小二乘回归模型,确定出地下水水位与径流量、作物总产量的关系如下:

武威 $L = -11.032 + 3.355C - 0.457R$

民勤 $L = -0.236 + 5.998C - 2.915R$

式中 C ——作物总产量

根据模型,用径流量与总产量计算 1980~1999 年武威和民勤地区的地下水水位,与实测值的比较如图 13 和图 14 所示,可见,所确定的表达式有较高的模拟精度。

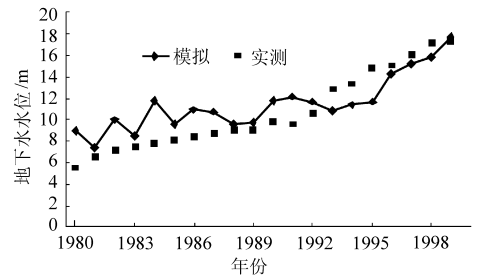


图 13 武威地下水水位模拟值与实测值比较

Fig. 13 Comparison of simulated and measured values of groundwater level in Wuwei

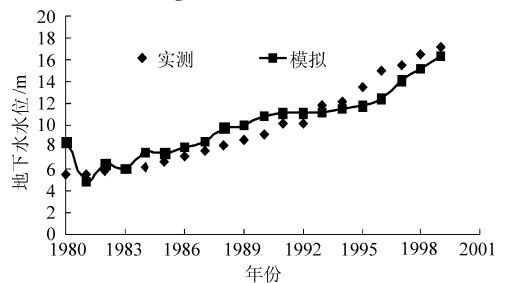


图 14 民勤地下水水位模拟值与实测值比较

Fig. 14 Comparison of simulated and measured values of groundwater level in Minqin

根据模型,用武威和民勤 1995~1999 年径流量和总产量变化的平均值预测将来武威地下水水位平均每年将下降 0.945 m,民勤地下水水位将下降

0.919 m。根据流域面积及给水度数据,计算可得武威盆地每年至少减少地下水开采量 6.582 亿 m^3 ,合适的农业生产用水量为 5.16 亿 m^3 ,民勤盆地每年至少减少地下水开采量 2.352 亿 m^3 ,合适的农业生产用水量为 3.96 亿 m^3 ,才能保证地下水位稳定。

4 结束语

石羊河流域近 20 年来降水量、蒸发量虽年际变化较大但整体没有明显的变化趋势,径流量减少的

趋势比较明显,流域气象因素中降水量、蒸发量的变化对地下水位影响较小,径流量的变化对地下水位影响较大。流域近 50 年来作物总产量明显增加,并有逐年递增趋势,流域作物产量与地下水位关系密切,作物产量持续增加会引起地下水水位的持续下降。可通过分析典型年里作物产量/径流量与地下水位的关系,进而确定出一般年份地下水位用径流量和作物产量表达的关系式,预测地下水位变化,为地下水管理提供建议。

参 考 文 献

- Cui Y, Shao J. The role of groundwater in arid/semiarid ecosystems, Northwest China[J]. *Ground Water*, 2005, 43(4): 471~477.
- 王琪,史基安,张中宁,等. 石羊河流域环境现状及其演化趋势分析[J]. *中国沙漠*, 2003, 23(1): 46~52.
Wang Qi, Shi Ji'an, Zhang Zhongning, et al. Current situation of the environment in Shiyang River Basin and its evolutionary trends[J]. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(1): 46~52. (in Chinese)
- 王杰. 近二十年石羊河流域生态环境质量变化研究[D]. 兰州:兰州大学, 2009.
Wang Jie. Study on eco-environment changes of Shiyang River basin in recent two decades [J]. Lanzhou: Lanzhou University, 2009. (in Chinese)
- Fan Z L, Ma Y J, Ji F. Change of oasis and ecology balance related to utilization of water resources in Talimu River Basin[J]. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(1): 22~26.
- Horton J L. Physiological response to groundwater depth varies among species and with river flow regulation [J]. *Ecological Applying*, 2001, 11(4): 1 046~1 059.
- Kang S Z, Su X L, Tong L, et al. The impact of human activities on the water-land environment of the Shiyang River basin, an arid region in Northwest China[J]. *Hydrological Science Journal*, 2004, 49(3): 413~426.
- 张文化,魏晓妹,李彦刚. 气候变化与人类活动对石羊河流域地下水动态变化的影响[J]. *水土保持研究*, 2009, 16(1): 183~187.
Zhang Wenhua, Wei Xiaomei, Li Yan'gang. Groundwater dynamic evolution under climatic change and human activities in Shiyang River basin [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2009, 16(1): 183~187. (in Chinese)
- Yang Yongchun, Jacquie Burgess, Chen Fahu, et al. Study of the impact of human activity on ecological environment and the counter-action of environment changes on mankind in Minqin Basin of Gansu-based on a social investigation in 1999~2000[J]. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 2002, 38(5): 87~94.
- 孙艳伟. 石羊河流域地下水系统脆弱性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2007.
Sun Yanwei. Study on the groundwater vulnerability of Shiyang River Basin [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2007. (in Chinese)
- 魏晓妹,康绍忠,马岚,等. 石羊河流域绿洲农业发展对水资源转化的影响及其生态环境效应[J]. *灌溉排水学报*, 2006, 25(4): 28~32.
Wei Xiaomei, Kang Shaozhong, Ma Lan, et al. Impact of oasis agricultural development on the transformation of water resources and its eco-environmental effect in the Shiyang River Basin [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2006, 25(4): 28~32. (in Chinese)
- 任建民,仵彦卿,贡力. 人类活动对内陆河石羊河流域水资源转化的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2007, 21(8): 7~11.
Ren Jianmin, Wu Yanqing, Gong Li. Influence of human activity on water resource transformation in Shiyang River Region [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(8): 7~11. (in Chinese)
- 白研丽. 基于 NDVI 的民勤绿洲植被演变及与地下水的关系研究[D]. 北京:中国农业大学, 2011.
Bai Yanli. Change of vegetation based on NDVI and its relationship to groundwater in Minqin Oasis, Gansu Province [D]. Beijing: China Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- Mutsa Masiyandima, Isobel Van der Stoep, Tendayi Mwanasawani, et al. Groundwater management strategies and their implications on irrigated agriculture: the case of Dendron aquifer in Northern Province, South Africa [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2002, 27(11~12): 935~940.
- Martin L Collin, Abraham J Melloul. Combined land-use and environmental factors for sustainable groundwater management[J]. *Urban Water*, 2001(3): 229~237.
- Sun H, Cornish P S. Estimating shallow groundwater recharge in the headwaters of the Liverpool Plains using SWAT [J]. *Hydrological Processes*, 2005, 19(3): 795~807.
- Ayars J E, Christen E W, Hornbuckle J W. Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated

- agriculture [J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 86(1~2): 128~139.
- 17 王宝鉴,宋连春,张强,等. 石羊河流域水资源对气候变暖的响应及对生态环境的影响[J]. *地球科学进展*,2007,22(7): 730~737.
Wang Baojian, Song Lianchun, Zhang Qiang, et al. The response of water resource to climate change and its impact on ecological environment in Shiyang River Basin [J]. *Aances in Earth Science*, 2007, 22(7): 730~737. (in Chinese)
- 18 黄玉霞,王宝鉴,张强,等. 气候变化和人类活动对石羊河流域水资源影响评价[J]. *高原气象*,2008,27(4):866~872.
Huang Yuxia, Wang Baojian, Zhang Qiang, et al. The impact and assessment of climate change and human activities on the water resources of Shiyang River Basin [J]. *Plateau Meteorology*, 2008, 27(4): 866~872. (in Chinese)
- 19 张光辉,费宇红,严明疆,等. 灌溉农田节水增产对地下水开采量影响研究[J]. *水科学进展*,2009,20(3):350~355.
Zhang Guanghui, Fei Yuhong, Yan Mingjiang, et al. Impact of irrigating farmland increase production with water save on groundwater exploitation in the plain of Hutuo River Basin[J]. *Advances in Water Science*, 2009, 20(3): 350~355. (in Chinese)
- 20 Fathali Firoozi, John Merrifield. A dynamic model of ground water restoration with accelerator constraint [J]. *Applied Mathematical Modelling*, 1995, 3: 173~182.
- 21 Recio B, Ibanez J, Rubio F, et al. A decision support system for analyzing the impact of water restriction policies [J]. *Decision Support Systems*, 2005, 39(3): 385~402.
- 22 马全林,孙坤,王继和. 石羊河流域的生态环境问题、引发原因与治理对策[J]. *安全与环境学报*,2004,4(5):64~68.
Ma Quanlin, Sun Kun, Wang Jihe. Environment problem with Shiyang River Basin, its root-causes and rehabilitation measures [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2004, 4(5): 64~68. (in Chinese)
- 23 畅建霞,王义民,黄廷林,等. 石羊河流域水资源开发利用存在的问题及调控对策[J]. *干旱区资源与环境*,2006,20(1): 73~77.
Chang Jianxia, Wang Yimin, Huang Yanlin, et al. Water resources utilization problems and regulating approaches in the Shiyang River drainage basin [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(1): 73~77. (in Chinese)

Influence of Climate Change and Agricultural Development on Groundwater Level in Shiyang River Basin

Wang Lishu¹ Yue Linlin² Tang Zejun¹ Zhang Xin¹

(1. *College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China*
2. *Beijing Greenman Turf & Garden Machinery Co., Ltd., Beijing 100012, China*)

Abstract: Shiyang River Basin is located in the east of Hexi Corridor in the Gansu Province. It is one of the most serious water shortage and ecological vulnerable regions. Finding out the relationship between groundwater and natural conditions and human activities has important practical significance to research and solve the water resource utilization and ecological problems. Regression analysis method was used to study the influence of the basin climate change and agricultural production and development to the groundwater level in Shiyang River Basin. The results indicate that rainfall and evaporation have a small impact on groundwater in the long run. The influence coefficient of rainfall and evaporation on the groundwater level in Wuwei region was below 0.004, meanwhile the influence coefficient was below 0.001 in Minqin region. However, runoff and change of grain yield are the primary causes of decline in groundwater level. The coefficients of runoff impact on the groundwater level in Wuwei and Minqi region were 1.381 and 6.008. At last, through the least squares regression model, an equation was determined, which describes the relationship between groundwater level and runoff, total output. The model has higher simulation accuracy after verification. Wuwei average groundwater level forecast to fall 0.945 m per year, while 0.919 m per year in Minqin in the future.

Key words: Shiyang River Basin Groundwater level Agricultural production Climate change