

江淮流域地下水位变化规律 及预报模型与耕作层排渍模型研究*

张佳华 毛 飞 金之庆

(中国气象科学研究院 北京 100081) (江苏省农业科学研究院 南京 210014)

摘 要 研究分析了江淮流域地下水位年内和年际变化规律以及地下水位与初始土壤湿度、初始地下水位、温度、日照、参考作物蒸散量、蒸发和降水的关系。并用逐步回归方法建立了地下水位预报模型;用相关分析法求出给水度,并建立耕作层排渍模型。

关键词 地下水位 地下水位预报模型 耕作层排渍模型 江淮流域

A study on the variation and forecasting models of groundwater level and draining waterlogging in cultivated soil layers in the Jianghuai Valley. ZHANG Jia-Hua, MAO Fei (Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China), JIN Zhi-Qing (Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China), *CJEA*, 2005, 13(3): 91~94

Abstract The annual and interannual variances of groundwater level and the relationships among the groundwater level and the initial soil moisture, the initial groundwater level, temperature, sunshine, reference crop evapotranspiration, evaporation, precipitation in the Jianghuai Valley were analyzed. The forecasting models of groundwater level were built with step regression method, the degrees of providing water were calculated with relative analyses method and the draining waterlogging model in cultivated soil layers was built.

Key words Groundwater level, Forecasting model of groundwater level, Draining waterlogging model in cultivated soil layers, Jianghuai Valley

(Received May 3, 2004; revised June 30, 2004)

1 研究区域概况与研究方法

研究区江淮流域位于湿润、半湿润气候区,年降水量 800~1400mm,年均土壤湿度较高,0~100cm 土层土壤相对湿度 >85% 的持续天数较长,遇到连阴雨天气或大雨天其土壤相对湿度甚至超过 100%,发生渍害,不利于作物生长^[1],且渍害持续时间越长则对作物危害越重^[2]。影响渍害发生和持续时间的主要因素是降水和地下水位,地下水对土壤耕作层水分补充作用十分明显,地下水埋深越浅,水分补给量越大。地下水位处于耕作层以上时,作物处于受渍状态,此时若遇持续降水则加重渍害发生和延长渍害持续时间,应适时进行排渍。因此研究江淮流域易涝区地下水位动态变化规律,建立适合当地地下水位升降预报模型和地下水浅埋时农田排渍模型意义重大。本研究利用土壤水文数据库资料,分析了江淮流域宿县、滨海、大丰、如皋和阜阳 5 站地下水位年内和年际变化规律以及地下水位升降与初始土壤湿度、初始地下水位、温度、日照、参考作物蒸散量、蒸发和降水的关系,用逐步回归方法建立地下水位升降预报模型,并用相关分析法建立江淮地区地下水埋深与地下水消退深度和水面蒸发强度比值的线性回归方程,结合土壤水文模型计算得到当地给水度,进一步建立耕作层排渍模型。研究中所用逐日降水量、蒸发量、平均气温、最高气温、最低气温、日照、水汽压和风速来自气象站地面观测资料;土壤湿度和地下水位资料来自已建成的土壤湿度数据库;土壤水文常数来自农业气象站农业气象报表;可能蒸散量计算采用 FAO Penman-Monteith 公式^[3]。

2 结果与分析

2.1 地下水动态变化的影响因素

地下水动态变化的影响因素有自然因素和人为因素两大类,自然因素包括气象、水文、地质、土壤和生物等方面,人为因素主要是渠灌区渗漏和井灌区对地下水的大量开采。本研究主要探讨自然因素中的气象、水文和土壤以及人为因素中的地下水开采对地下水水位的影响。降水是影响地下水水位的主要因素之一,

* 国家科技攻关项目(2001BA509B13)、国家自然科学基金项目(303708142)和教育部留学回国基金项目资助

收稿日期:2004-05-03 改回日期:2004-06-30

雨季到来则降水下渗补给量增加,地下水位随之升高,反之旱季来临则降水下渗补给量减少,地下水位随之下降。一般降水量越大,地下水位上升越多。温度、日照影响潜水蒸发,而潜水蒸发是影响地下水位的主要因素之一,潜水蒸发随温度升高和日照时间加长而增加。水面蒸发是气象因素对潜水蒸发影响的综合反映,而参考作物蒸散量则综合反映气象因素和下垫面对潜水蒸发的影响。地下水埋深一定时潜水蒸发强度将随地下水位以上土壤吸水力的增大而增加。初始土壤湿度越小,地下水对上层土壤水分补给量越大,地下水位下降越多。初始土壤湿度对地下水位的影响还表现在土壤对降水的容纳能力,初始土壤湿度越小,容纳降水能力越大,降水对地下水补给量越小。初始地下水位直接影响潜水蒸发强度,随地下水位降低,地下水沿土壤剖面向地表运动的路程加长,蒸发力相同时输水能力和潜水蒸发强度均降低,地下水位变幅减少。因大量开采地下水进行农田灌溉,江淮流域部分地区区域性地下水位持续下降。

2.2 地下水位变化规律

地下水位和农业生产关系密切,地下水位埋深过浅,土壤孔隙充满重力水,土壤缺乏空气,不利于旱作根系发育、微生物活动和养分释放。地下水位埋深过深,地下水对耕作层的补给量减少,其抗旱能力较差。分析区域性地下水位变化规律有利于农业生产趋利弊害。地下水位受一系列自然因素和人为因素影响,表现出周期性和随机性变化。地下水位年内周期性变化规律表现为各种气象要素随季节呈有规律的周期变化。气象要素中降水对地下水位影响最大,人工开采对地下水位影响则具有一定随机性。图 1 表明滨海(位

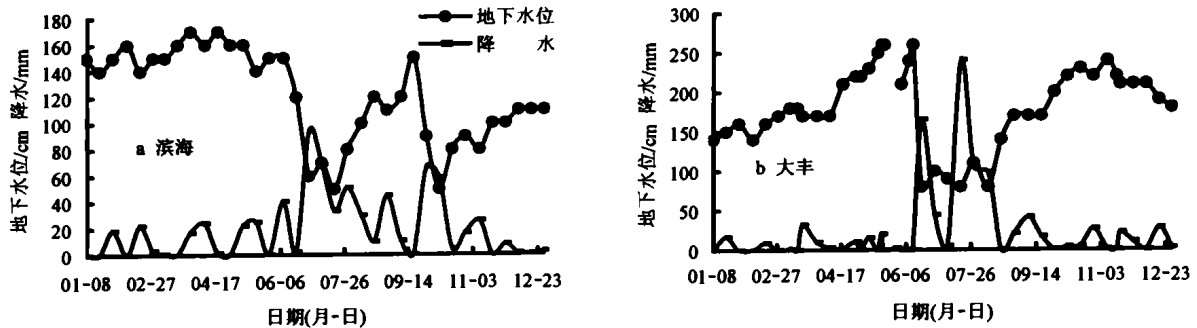


图 1 江淮流域滨海(1981年,a)与大丰(1986年,b)地下水位年内变化

Fig. 1 The annual variance of groundwater level in Binhai(1981, a)and Dafeng(1986, b)in Jianghuai river basin

于江苏省东北部)1~6月上旬地下水位变化较小,约为 1.5m,自 6 月中旬随雨季到来,地下水位迅速升高,7 月中旬上升至最高点 0.5m,之后地下水位迅速下降,9 月中旬下降至 1.5m,自 9 月下旬地下水位再次迅速升高,10 月上旬出现次高点,之后地下水位缓慢回落,呈双峰型;大丰(位于江苏省中东部)1~6 月份地下水位缓慢回落,6 月上旬达全年最低 2.6m,自 6 月上旬随雨季到来,地下水位迅速升高,7 月份上升至最高点 0.8m,之后地下水位再次缓慢下降,11 月上旬达全年次低点,之后地下水位再次缓慢上升,呈单峰型;如皋(图略)(位于江苏省东南部)1~5 月份下旬地下水位缓慢回落,5 月下旬达全年最低 1.7m,自 6 月上旬随雨季到来,地下水位缓慢升高,9 月份上升至最高点 0.4m,之后地下水位再次缓慢下降,呈单峰型。以上 3 个地区地下水位年变化规律均基本与降水同步。图 2 表明宿县(位于安徽省北部)地下水开采前 1~3 月份地下水位变化较小,约为 1.9m 左右,自 4 月上旬因降水增多地下水位迅速升高,4 月下旬上升至 0.6m,之后快速下降,5 月底 6 月初降水增加,地下水位再次上升,之后再次快速回落,7 月份随雨季来临,地下水位急剧上升至接近地表处,8 月初达全年最高值 0.3m,之后因降水减少和蒸发地下水位持续下降至年底达全年最低值

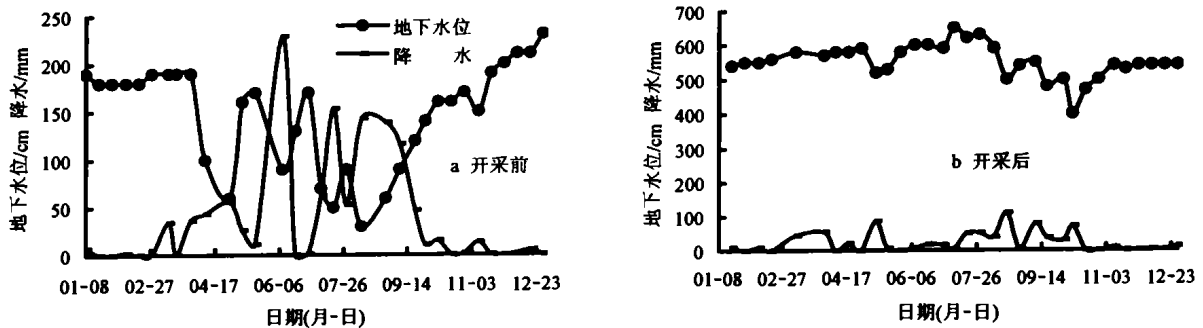


图 2 宿县开采前(1963年,a)与开采后(1992年,b)地下水位年内变化

Fig. 2 The annual variance of groundwater level before exploitation(1963, a)and after exploitation(1992, b) in Suxian

2.3m,呈 3 峰型。地下水开采后地下水位发生明显变化,1~3 月份地下水位持续缓慢下降,3 月底为 5.9m,5 月份因降水增加,地下水位稍有回升,之后继续缓慢下降,7 月初达全年最低值 6.5m。之后地下水位开始回升,10 月初达全年最高值 4.0m,之后地下水位继续缓慢下降,呈双峰型。开采前和开采后地下水位年变化规律基本与降水同步。地下水位年际变化主要受气候条件和人为因素影响。图 3 表明 1980 年宿县平均地下水位为 1.28m,之后因地下水开采,尽管有些年份降水量大于多年平均值,但地下水位仍呈下降趋势,至 1992 年降至 5.51m。

2.3 地下水位预报模型

本研究用阜阳站 1980~1992 年实测地下水位、土壤湿度、土壤水文常数和气象资料,统计得到 286 个地下水位变化量(地下水位上升为负值,下降为正值)和同期平均温度、平均日照、参考作物蒸散量、蒸发、降水、初始地下水位、0~30cm 和 0~50cm 初始土壤湿度 8 个影响因子量,计算地下水位变化量与各影响因子相关系数分别为 0.01135、0.40579、-0.00724、0.09296、-0.80171、-0.32047、0.17345 和 0.18107,除参考作物蒸散量和蒸发外,其他 6 因子相关系数均通过了置信度为 0.01 的相关系数检验。其中降水量相关系数量大,为 -0.80171。因地下水位变化量受温度、日照、参考作物蒸散量、蒸发、降水量、初始地下水位和初始土壤湿度等因子综合影响,用逐步回归分析法建立地下水位变化量与影响因子多元回归方程见表 1, F 检验水平分别取 $F_1 = F_2 = 0.0$ 和 $F_1 = F_2 = 3.92$,引入因子分别为 8 个和 3 个,2 方程复相关系数均 > 0.88, F 检验值远大于临界值,平均绝对误差均 < 10cm,最大绝对误差均 < 40cm。

表 1 地下水位与影响因子回归分析 *

Tab.1 Regression analyses of groundwater level and influencing factors

序号 No.	回归方程 Regression equation	F 检验水平 F test level	F 值 F value	平均绝对误差/cm Mean absolute error
1	$Y = 1.5816 - 0.0714X_1 + 0.1015X_2 + 0.2149X_3 + 0.1126X_4 - 0.1936X_5 + 0.5067X_6 - 0.6145X_7 - 0.1103X_8$	0.00	132.3163	9.6059
2	$Y = 18.2702 + 0.4114X_6 - 0.6248X_7 - 0.1199X_8$	3.92	351.4553	9.7399

序号 No.	复相关系数 Complex relative coefficient		偏相关系数 Partial relative coefficient							
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8		
1	0.8903	-0.0237	0.0468	0.1018	0.0141	-0.0424	0.1518	-0.8108	-0.2920	
2	0.8882					0.5737	-0.8736	-0.3628		

* 式中 Y 为地下水位变化量(cm), X_1 为 0~30cm 初始土壤湿度(mm), X_2 为 0~50cm 初始土壤湿度(mm), X_3 为平均温度(°C), X_4 为平均日照(h), X_5 为累计参考作物蒸散量(mm), X_6 为累计蒸发(mm), X_7 为累计降水量(mm), X_8 为初始地下水位(cm), 样本量为 286 个。

初始地下水位和初始土壤湿度等因子综合影响,用逐步回归分析法建立地下水位变化量与影响因子多元回归方程见表 1, F 检验水平分别取 $F_1 = F_2 = 0.0$ 和 $F_1 = F_2 = 3.92$,引入因子分别为 8 个和 3 个,2 方程复相关系数均 > 0.88, F 检验值远大于临界值,平均绝对误差均 < 10cm,最大绝对误差均 < 40cm。

2.4 耕作层排渍量预报模型

本研究通过建立地下水位变化量预报模型和确定给水度构建耕作层排渍量预报模型。给水度指从 $1m^3$ 含水层中所能排出的重力水体积,其值等于排出水的体积与含水层总体积之比,为无量纲值,确定给水度的方法有抽水试验法、相关分析法和水文学法,本研究用相关分析法确定宿县和阜阳 2 地区给水度。宿县和阜阳 2 地区地下水以垂直运动为主,选取无降水或日降水量 < 2mm 时段,若该时段地下水位下降,则可认为是由于地下水蒸发所致。其单位时间地下水消退深度(Δh ,cm)计算式为:

$$\Delta h = \frac{E_g}{\mu_w} \tag{1}$$

式中, E_g 为潜水蒸发强度, μ_w 为给水度。地下水消退深度或潜水蒸发强度主要受气象和地下水埋藏条件影响,前者可用水面蒸发强度(E ,mm)代表,后者可用地下水位(h ,cm)代表,建立 $\frac{\Delta h}{E}$ 与 h 的线性相关关系:

$$\frac{\Delta h}{E} = a + b \times h \tag{2}$$

用最小二乘法得宿县 a 和 b 值分别为 18.4710 和 -0.06418,样本量 68,相关系数 -0.638。同理得阜阳 a 和 b 值分别为 13.5849 和 -0.05956,样本量 53,相关系数 -0.6659。当 h 为 0 时式(2)可简化为:

$$\frac{\Delta h}{E} = a \tag{3}$$

又据式(1)可得:

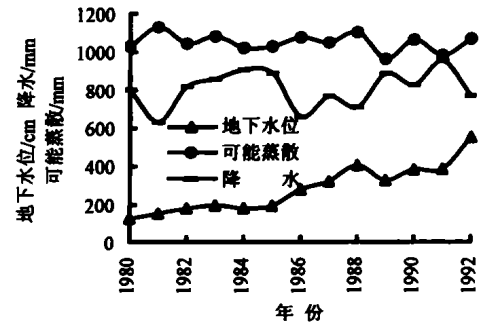


图 3 宿县地下水位年际变化

Fig.3 The interannual variance of groundwater level in Suixian

和 0~50cm 初始土壤湿度 8 个影响因子量,计算地下水位变化量与各影响因子相关系数分别为 0.01135、0.40579、-0.00724、0.09296、-0.80171、-0.32047、0.17345 和 0.18107,除参考作物蒸散量和蒸发外,其他 6 因子相关系数均通过了置信度为 0.01 的相关系数检验。其中降水量相关系数量大,为 -0.80171。因地下水位变化量受温度、日照、参考作物蒸散量、蒸发、降水量、初始地下水位和初始土壤湿度等因子综合影响,用逐步回归分析法建立地下水位变化量与影响因子多元回归方程见表 1, F 检验水平分别取 $F_1 = F_2 = 0.0$ 和 $F_1 = F_2 = 3.92$,引入因子分别为 8 个和 3 个,2 方程复相关系数均 > 0.88, F 检验值远大于临界值,平均绝对误差均 < 10cm,最大绝对误差均 < 40cm。

$$a = \frac{\Delta h}{E} = \frac{E_g}{\mu_w E} \quad (4)$$

h 为 0 时 $E_g = E$, 则:

$$a = \frac{E_g}{\mu_w E} = \frac{1}{\mu_w} \quad (5)$$

给水度计算式为:

$$\mu_w = \frac{1}{a} \quad (6)$$

根据式(6)求得宿县和阜阳给水度分别为 0.054 和 0.074。根据地下水位变化量预报模型, 预报未来某天地下水位将上升至耕作层以上时, 可用下式计算排渍量:

$$M_r = (H - h_1) \mu_w \quad (7)$$

式中, M_r 为排渍量(mm), H 为耕作层厚度(mm), h_1 为预报时段末地下水位(mm)。

3 小 结

滨海地下水位年变化呈双峰型, 峰值出现在 7 月中旬和 10 月上旬; 如皋和大丰地下水位呈单峰型, 峰值分别出现在 9 月份和 7 月份。开采前宿县地下水位变化呈 3 峰型, 峰值分别在 4 月、5 月底~6 月初和 7~8 月份, 开采后地下水位呈双峰型, 峰值分别在 5 月和 10 月份。4 个站地下水位年变化规律与降水基本同步。因人工开采影响, 宿县 1980 年平均地下水位 1.28m, 至 1992 年降至 5.51m, 呈下降趋势。在分析地下水位升降与初始土壤湿度、初始地下水位、温度、日照、参考作物蒸散量、蒸发和降水等影响因子的关系基础上, 用多元逐步回归法建立地下水位变化量预报模型; 用相关分析法导出计算给水度公式, 并进一步建立耕作层排渍量预报模型。该思路和方法适用于江淮流域和其他易受渍害危害地区。

参 考 文 献

- 1 朱建强, 张文英, 潘传柏等. 几种作物对涝渍胁迫的敏感性试验研究. 灌溉排水, 2000, 19(3): 42~46
- 2 周苏政, 王晨阳, 张重义等. 土壤渍水对冬小麦根系生长及营养代谢的影响. 作物学报, 2001, 27(5): 673~679
- 3 毛 飞, 张光智, 徐祥德. 参考作物蒸散量的多种计算方法及其结果的比较. 应用气象学报, 2000, 11(增刊): 128~136