

河南省近 20 年土壤湿度的时空变化特征分析

李树岩, 陈怀亮, 方文松, 赵国强

(河南省气象科学研究所, 河南 郑州 450003)

摘要: 利用自然正交函数(EOF)分解、相关分析、趋势倾向率分析等方法,对河南省近 20a 土壤湿度的时空变化特征进行了分析。通过建立土壤湿度同温度、降水的多元回归方程,来量化土壤湿度同温度、降水的关系。分析表明:土壤湿度的空间分布有比较明显的差异,总体上由南向东北和西北两个方向逐渐降低;土壤湿度的年际变化有不太显著的下降趋势;年内不同季节土壤湿度有不同的变化趋势,其中春季土壤湿度小,夏季开始升高,进入秋冬逐步保持在较高水平。土壤湿度与降水成显著的正相关,同温度成显著的负相关。各季节影响土壤湿度变化的主要因子为:春季受温度回升影响而降低;夏季随降水增多而增大;秋季继续缓慢上升,主要由降水的缓慢累积所造成;冬季由于温度低,土壤湿度变化不大。

关键词: 土壤湿度;20 年时空变化;河南省

中图分类号: S 162.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007) 06-0010-06

土壤湿度(土壤水分)是对气候变化较敏感的环境因子之一,也是水循环的一个主要环节,可作为地表水文过程的一个综合指标^[1],是地表水文过程信息的重要载体。它体现了地表水文过程一降水和蒸发的综合效应,同时也受到地表径流、壤中流和土壤下渗的综合影响。其时空变化对作物的生长发育有重要影响。近几十年来,在全球气候变暖的大背景下,河南省气候及生态环境发生了明显变化,主要表现在气温升高,降水、大气水汽含量、地表径流量、水资源总量减少,以及各种生态环境问题相继出现等^[2,3]。因此,研究土壤湿度变化与气候因子之间的关系,以及对植物生长发育的影响,有着重要意义。同时也为研究干旱和进行气候评估提供一个客观定量的综合指标。本文利用河南省 26 个气象基本站 1984~2004 年逐旬农田土壤湿度及其它相关气象资料,分析了土壤湿度时空分布规律及其变化趋势和季节变化特点,建立了土壤水分与温度、降水的相关关系。对于指导农业灌溉、生产提供科学依据。

1 资料来源及处理方法

本文使用的气象和土壤湿度资料均来源于河南省 26 个农业气象基本站 1984~2004 年共 21a 的资料,基本为农田固定地段观测数据。

原始土壤湿度资料用土壤重量含水率表示,深度 50cm,每 10cm 一层,每旬测定一次。在进行统

计分析前,首先将每层含水量转换成土壤相对湿度,即重量含水率占田间持水量的百分比。并计算 5 层平均值,作为最终的该旬土壤湿度。

本文利用自然正交函数(EOF)分析法对河南省土壤水分进行了时空分布特征的分析。EOF 分析方法是一种分析矩阵数据中的结构特征和提取主要数据特征量的方法。时间序列变化趋势采用倾向率法,各要素的倾向率主要用一元线性回归方程拟合求得;此外,用相关分析法确定不同季节影响土壤水分的主要影响因子,并利用多元回归方程建立土壤湿度和温度、降水的定量关系。

2 河南省土壤湿度时空变化特征分析

2.1 多年平均土壤湿度的时空变化特征

从土壤湿度多年平均分布情况来看,豫西偏北、豫北、豫东部分地区较低,一般平均在 55%~70%之间,豫西南、豫南部分地区较高,平均在 80%以上,豫中广大地区略高,但变化差异不是很大(图 1)。从年际变化来看,全省土壤水分呈微弱下降趋势,20 世纪 80 年代中后期至 90 年代变化较平缓,2000 年以后波动稍大(图 2)。

2.2 不同季节土壤湿度分布特征

图 3 为河南省旬平均土壤湿度年变化图,可以看出,1、2 月份土壤含水量保持在一个较高水平,从 3 月份即春季开始逐步下降,到 5 月份下降到一个比较低的水平,之后随着降水的增多土壤湿度开始

上升。到 10 月以后又保持在一个较高水平。这主要是由于春季气温回升,植株生长发育加快,土壤蒸发和植物蒸腾都逐渐增加,而同期降水量较少,造成土壤湿度不断减少。进入夏季后,虽然温度很高,但

降水量大幅增加,不断补充土壤水分,所以土壤含水量逐步提高。进入秋季后,降水逐步减少,由于夏季降水的积累,土壤湿度仍保持较高的水平。冬季温度低、蒸发小,土壤湿度比较稳定。

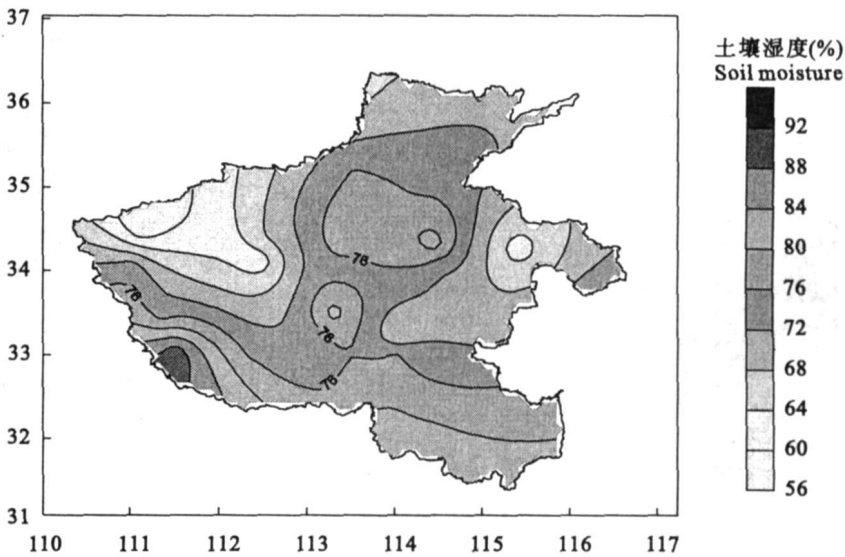


图 1 河南省多年平均土壤湿度空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of mean soil moisture in recent years

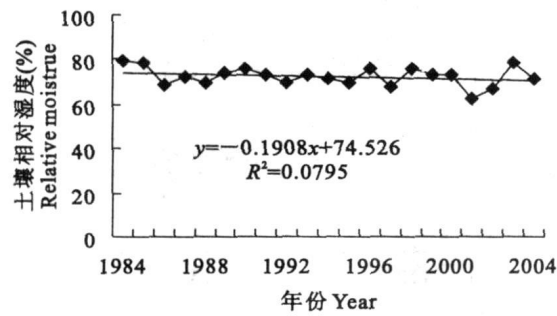


图 2 河南省土壤湿度年际变化特征

Fig. 2 Interannual variability character of soil moisture

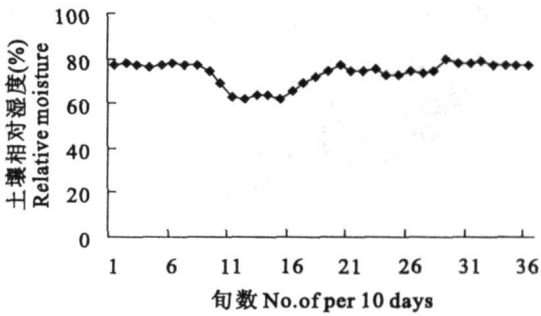


图 3 河南省旬平均土壤湿度变化特征

Fig. 3 Variability character of soil moisture per 10 days

利用 4、7、10、1 月份的平均土壤湿度来分别代表春、夏、秋、冬四个季节的土壤湿度进行四季的土壤湿度空间分布分析。如图 4(a~d) 所示,不同季节土壤湿度的空间分布具有一致性,由南向东北和西北两个方向逐渐降低,豫中、豫南及南阳西南部在全省为湿度较高地区,全年具有较高的土壤含水量,豫西北包括三门峡、洛阳西北部地区全年土壤湿度较低,其次豫东的周口、商丘部分地区土壤含水量也相对偏少。

对全省不同季节土壤湿度进行比较,发现春季土壤湿度整体比较低,这是由于春季升温快,而降水不足,土壤水分缺失比较快。豫西北、豫北、豫东部分地区平均土壤湿度在 60% 左右,个别地区最低值在 50% 以下。夏季、秋季整体偏高,全省绝大部分

地区土壤湿度都在 60% 以上,个别地区超过 90%。冬季土壤湿度比夏、秋季低,但比春季高,主要原因是冬季温度低,土壤失墒慢。

2.3 EOF 方法对土壤水分的时空变化分析

EOF 分析法是将大量资料信息进行浓缩,用几个模态同时对要素场的时空变化规律进行分析^[9]。Lorenz 在 20 世纪 50 年代首次将其引入气象和气候研究中。目前,很多学者采用 EOF 分解方法,对温度场、降水场,大气环流等大尺度的气候变化做了广泛的探讨,应用到许多研究中^[9~12]。(EOF) 分解得到的各个模态(或称为主分量、特征向量等),在空间上是正交的,且收敛快,前几个模态就可以很好地解释原始序列的大部分方差,故一般仅取前几个模态分析即可。

2.3.1 EOF 方法分析土壤含水量的空间分布特征

河南省上年 12 月~下年 2 月份为冬季,土壤蒸发和降水都比较少,土壤湿度变化不大。而 3~11 月份为作物生长和积极生长季节,此期的土壤水分状况对农业影响甚大,因此取 3~11 月份平均土壤相

对湿度资料,利用 EOF 正交函数,分析其变化规律。通过 EOF 分解,由表 1 可以看出,前三个模态的累积方差达到 60.1%,可以代表大多数的分布场情况。

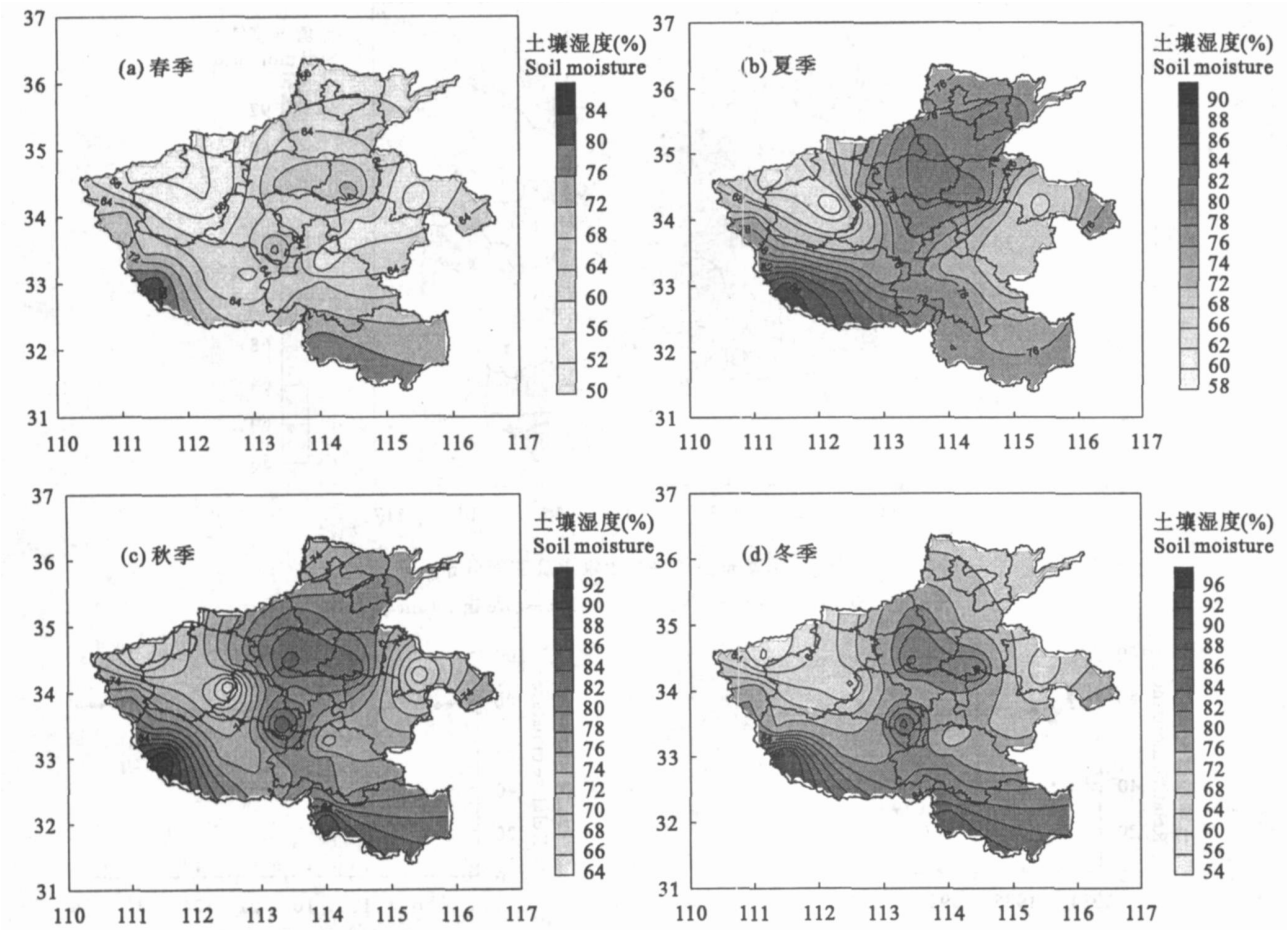


图 4 河南省不同季节土壤湿度分布

Fig. 4 Distribution of soil moisture in different seasons

表 1 土壤湿度场各模态方差贡献及累积方差(%)

Table 1 Contribution and accumulation variance of each modal in soil moisture field

项 目Item	模态一 Model 1	模态二 Model 2	模态三 Model 3	模态四 Model 4	模态五 Model 5
方差贡献 Accumulation variance	38.7	11.0	10.4	7.9	6.7
累积方差 Contribution variance	38.7	49.7	60.1	68.0	74.7

河南省 26 个代表站 1984~2004 年逐年土壤湿度场 EOF 分解的第一模态,解释了总方差的 38.7%,是最主要的分布型,除卢氏一个站点外,均为正值。表明河南省土壤湿度空间变化具有较好的一致性,即土壤湿度同时增加或同时减少,其中豫西北、豫西南及豫中部分地区的振幅较大,豫东北、豫西及豫南部分地区振幅相对较小(图 5a)。

河南省 26 个代表站 1984~2004 年逐年土壤湿度场 EOF 分解的第二模态、第三模态分别占总方差

的 11%和 10.4%,结果有正有负,说明在这两种模态下,全省土壤湿度的变化趋势不一致,由第二模态分布图(图 5b)可知,有近 10%的年份,土壤含水量北部增加,南部减少或反相位的变化。由第三模态分布图(图 5c)可知,有 11%的年份,土壤含水量变化情况为东南~西北走向的呈“(一)一(+)一(一)”的带状分布。

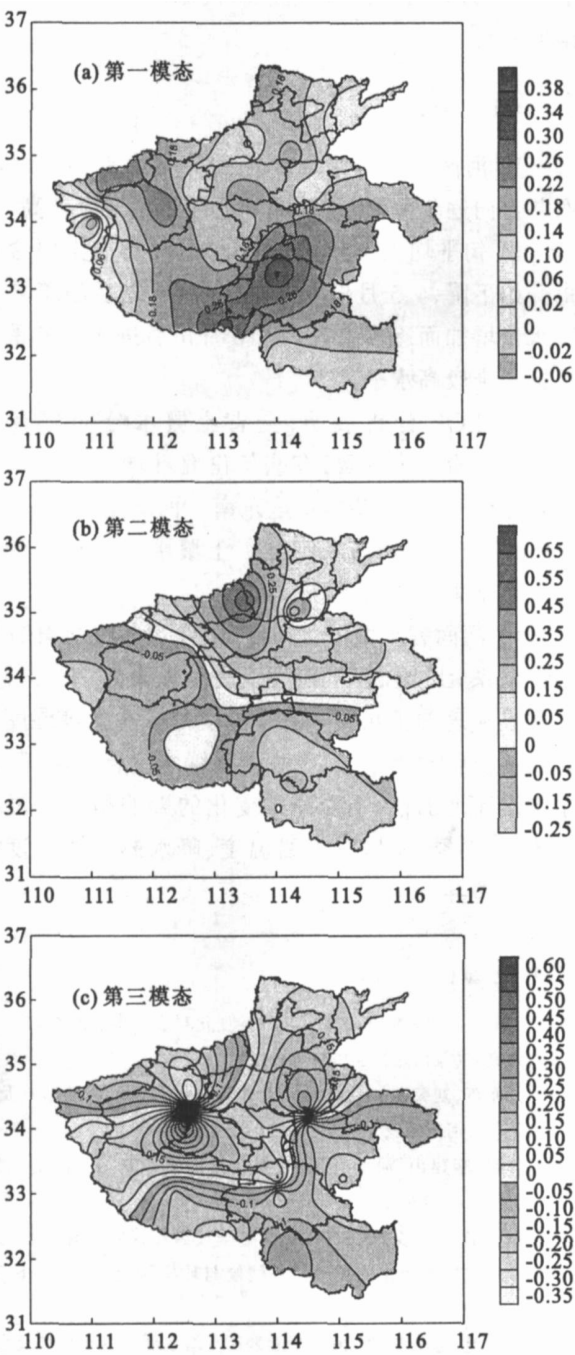


图 5 河南省土壤湿度场前三个模态
Fig. 5 Distribution of the first 3 models in soil moisture field

2.3.2 EOF 方法分析土壤湿度的年际变化特征
土壤湿度场 EOF 分解的第一模态,均为正值,占总体方差的 38.7%,拟合函数为: $y = -1.1387x + 340.31$ (y 为第一模态对应的时间系数值, x 为年代序号,1984 为 1,1985 为 2,依次类推),可以看出时间序列呈不太明显的下降趋势(图 6a)。土壤湿度场 EOF 分解的第二模态,除 2003 年为负值外,其它都为正值,占总体方差的 11.0%,拟合函数为: $y = -0.7356x + 23.629$,时间序列也呈不太明显的下

降趋势(图 6b)。土壤湿度场 EOF 分解的第三模态均为正值,占总体方差的 10.4%,采用三次函数拟合为: $y = -0.034x^3 + 1.1283x^2 - 9.5816x + 49.75$,时间序列表现为‘下降—上升—下降’的趋势(图 6c)。

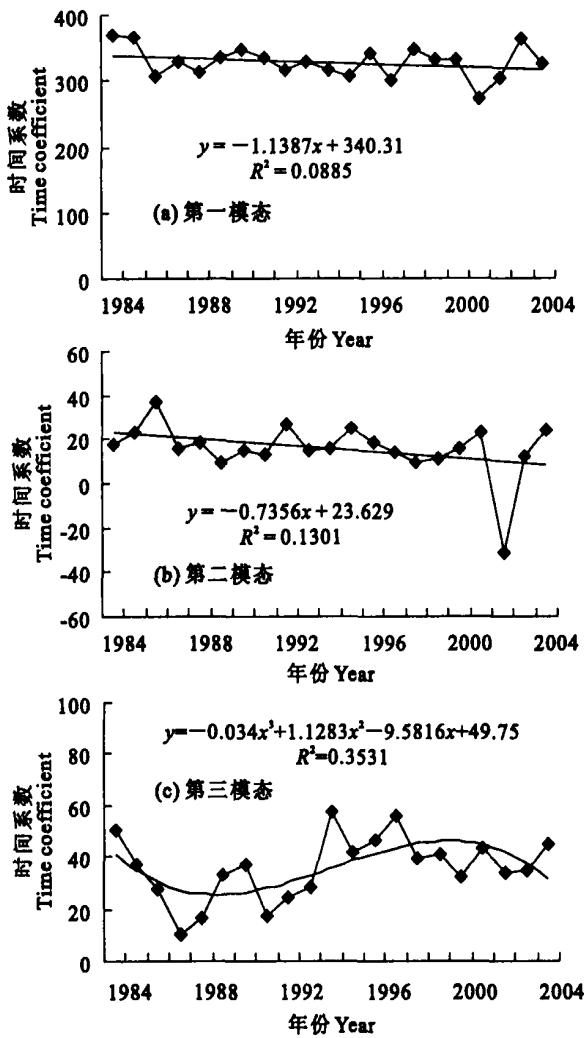


图 6 各模态对应的时间系数

Fig. 6 The time coefficient of each model

3 河南省土壤湿度同温度、降水的相关性分析

3.1 土壤湿度同温度、降水的相关分析

通过 756 个旬土壤湿度数据与对应的温度、降水资料进行相关分析(表 2),可以看出:土壤湿度同温度、降水的变化都有密切的联系,相关系数都通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。其中土壤湿度同温度呈负相关,表明温度升高会加大土壤蒸发、作物蒸腾,降低土壤含水量;土壤湿度同降水量呈正相关,降水增加能提高土壤含水量。

表 2 土壤湿度与温度、降水量的相关分析
Table 2 The correlation analysis bet ween soil moisture and te mperature and rainfall

项目Item	温度Te mperature	降水Rainfall
相关系数Coefficient	-0.313**	0.304**

注：* * 表示通过信度为 0.01 的显著性检验，下同。

3.2 不同季节土壤湿度同温度、降水的相关分析

土壤湿度在一年之内的变化，与温度和降水有着密切的关系。通过建立土壤湿度同温度、降水的关系方程，可以找到不同季节影响土壤湿度变化的主要限制因子(表 3)。不同季节土壤湿度同温度、降水的相关系数都通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验，并且每个季节与温度都成显著负相关，与降水成显著的正相关，但不同季节，相关系数的大小有明显差异。春季，土壤湿度与温度的负相关系数为 -0.643，而与降水的正相关系数为 0.315，说明温度是影响春季土壤湿度变化的主要限制型因子。这是因为春季气温回升快，地面蒸发增强，加之春季降水少，从而使土壤湿度降低。夏季，土壤湿度与降水的正相关系数为 0.654，与温度的负相关系数为 -0.240，说明降水是影响夏季土壤湿度变化的主要限制型因子，河南省降水主要集中在夏季，降水量的大幅增加，提高了土壤湿度。秋季由于降水的缓慢累积，土壤湿度变化受降水(相关系数 0.448)因素影响稍大于受温度(相关系数 -0.312)的影响。冬季，土壤湿度与温度、降水的相关系数没有明显差异。

表 3 不同季节土壤湿度与温度、降水的相关性
Table 3 The correlation analysis bet ween soil moisture and te mperature , rainfall in different seasons

季节Season	温度Te mperature	降水Rainfall
春季Spring	-0.643**	0.315**
夏季Summer	-0.240**	0.654**
秋季Autumn	-0.312**	0.448**
冬季Winter	-0.232**	0.268**

3.3 土壤湿度同温度、降水变化的多元回归分析

利用 756 个旬土壤湿度、温度、降水数据建立土壤湿度与温度、降水间的多元回归方程：

$$Y=78.0450375-0.623143T+0.21995424R$$
$$F=219.59412^{**}$$

式中，Y 为土壤湿度；T 为温度；R 为降水。

可以看出，土壤湿度与气温和降水两个因素的相关关系非常显著，回归方程通过了 $F_{0.01}$ 的显著性检验。从方程中还可以看出，温度的回归系数为负

值，降水为正值，很清楚地反映出温度和降水对土壤湿度的影响。

4 结 论

1) 河南省土壤水分的空间分布由南向东北和西北方向逐步降低，豫中部分地区土壤湿度较高。

2) 旬平均土壤湿度的变化规律：春季土壤含水量开始下降，4、5 月份土壤湿度较低，之后随着夏季降水量增加而逐步上升，到 10 月份后进入秋冬季节保持一个较高水平。

3) EOF 分析表明，全省土壤水分变化有近 40% 的年份较为一致，有些年份北部增加南部减少或反相位变化，有些年份呈东南~西北走向的“(一) —(+) —(一)”的带状变化。土壤水分的年际变化呈一个不太明显的下降趋势。

4) 河南省土壤湿度同温度、降水的变化有着密切的联系，土壤湿度同温度变化呈显著的负相关，同降水呈显著的正相关。春季温度是影响土壤湿度变化的主要限制因子；夏季主要受降水变化影响，随降水增多而增加；秋季受降水变化的影响稍大于温度的影响；冬季，土壤湿度受温度、降水影响的程度没有明显差异。

参 考 文 献：

[1] 王馥堂,赵宗慈,王石立,等.气候变化对农业生态的影响[M].北京:气象出版社,2003.6—11.

[2] 刘军臣,刘荣花,王良启.河南气候变化对水资源的影响及对策[J].河南气象,2000,(4):23—24.

[3] 陈辉,李建山.河南省近 50 年气候冷暖诊断[J].河南气象,2000,(4):18—20.

[4] 康丽华,陈文,魏科.我国冬季气温年代际变化及其与大气环流异常变化的关系[J].气候与环境研究,2006,11(3):330—339.

[5] 赵秀兰,延晓冬.近 20 年华北地区土壤水储量变化趋势及水分管理与调配对策[J].气候与环境研究,2006,11(3):371—379.

[6] 孔凡忠,刘继敏,吴雷柱,等.西南历年逐旬土壤自然干旱程度序列模型[J].气象科技,2006,34(3):371—379.

[7] 王毅荣,姚玉璧.甘肃黄土高原土壤水分演变特征[J].土壤通报,2005,36(6):850—855.

[8] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[J].北京:科学出版社,2000.

[9] 陈怀亮,刘伟昌,余卫东,等.河南省春季气候变化及对小麦产量构成要素的影响[J].河南气象,2006,(1):47—51.

[10] 陈怀亮,张雪芬,邹春辉,等.河南省小麦青枯发生规律的 EOF 分析[J].气象科技,2005,12:332—336.

[11] 高留喜,刘秦玉.山东春季降水的时空变化特征分析[J].高原气象,2006,24(5):811—815.

[12] 南庆红,杨舵,杨青.应用 EOF 方法分析新疆降水变化特征[J].中国沙漠,2002,23(5):554—558.

Analysis on the temporal and spatial feature of soil moisture
variation of He'nan Province in recent 20 years

LI Shu yan , CHEN Huai liang , FANG Wen song , ZHAO Guo qiang
(He 'nan Institute of Meteorology , Zhengzhou , He 'nan 450003, China)

Abstract : In terms of EOF , correlation and tendency analysis methods , the temporal and spatial feature of soil moisture of He 'nan Province in recent 20 years were analyzed . By establishing multiple regression equations between soil moisture and temperature and precipitation , the relation between soil moisture and the two factors was quantized . The results reveal that , the spatial distribution of soil moisture has obvious diversity . It decrease gradually from south to northeast and northwest in general . The annual variability of soil moisture has an unobvious down tendency , while there are different variable tendencies among different seasons in a year . The soil moisture in spring was small , but there is an increasing tendency in summer . Also it keeps a high level in autumn and winter . The soil moisture has a negative correlation with temperature significantly , and a significant positive correlation with precipitation . In seasons the major factors that influence the variability of soil moisture are : In spring the soil moisture decreased due to temperature ups wing ; In summer it increased with the increasing amount of precipitation ; Because of rainfall cumulated tardily , soil moisture raised slowly in autumn . In winter the variety of soil moisture was not obviously mainly because the temperature was low .

Key words : soil moisture ; 20 years temporal and spatial variation ; He 'nan province

(上接第 9 页)

Application and establishment of climatic suitability dynamic
model of winter wheat in Hebei Province

WEI Rui jiang ^{1,2} , ZHANG Wen zong ^{1,2} , KANG Xi yan ^{1,2} , DONG Zhan qiang ³
(1. Hebei Meteorological Institute , Shijiazhuang , Hebei 050021, China ;
2. Hebei Eco-Environmental Monitoring Laboratory , Shijiazhuang , Hebei 050021, China ;
3. Handan Meteorological Office , Handan , Hebei 056001, China)

Abstract : The temperature attribute , sunlight attribute , precipitation attribute model and climatic suitability model of winter wheat are set up by using Fuzzy mathematics theory and referring to former study , and the temperature attribute , sunlight attribute , precipitation attribute and climatic suitability of different growing periods have been calculated separately with the model and related data during 1960~2005 of Hebei Province . The results show that temperature attribute and sunlight attribute are relatively big , and precipitation attribute is small in Hebei Province . So light and heat resources can meet the demands of winter wheat growing , and precipitation becomes the limited factor . Climatic suitability of winter wheat has decreasing trend , and the decade decreasing rate is 0.012 . Among climatic suitability of the tillering stage , turning green date and jointing stage during winter wheat growth have a great change range , which is in accord with the climate character of Hebei Province .

Key words : winter wheat ; climatic suitability ; dynamic model ; establishment ; application