

# 基于 Hopfield 神经网络的中国近 40 年 气候要素时空变化分析

张 翀 李 晶 任志远

(陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 利用 1961~2000 年中国大部分省区(香港、澳门、台湾、海南地区数据暂缺) 194 个气象站点逐日降水量、气温和相对湿度数据, 通过克里格插值、Hopfield 神经网络聚类以及方差分析, 对中国气候变化的时空特征进行分析。分析结果表明: 中国以增温为主导趋势, 其次是多雨趋势; 东部地区出现变干趋势, 而西部地区在逐渐增湿; 对 3 种要素进行聚类分析, 并利用方差分析检验差异性是否显著, 最后分析了聚类结果变化趋势, 结果与插值分析一致, 说明克里格插值结果的可信性。表明在全球增温的驱动下, 中国气候变化格局处于调整状态, 湿润地区干旱化, 干旱地区变得湿润。

关键词: 气候变化; 克里格插值; Hopfield 神经网络; 方差分析; 中国

中图分类号: P407 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2011)02-0211-07

中国的气候变化趋势与全球气候变化总趋势基本一致<sup>[1,2]</sup>。中国受气候变化不利影响主要体现在农牧业、森林与自然生态系统、水资源和海岸带等。气候变化对社会经济等其他领域也产生深远影响, 给国民经济带来巨大损失, 掌握某一区域的气候变化趋势对人类生产活动、采取相应的措施保障生态系统有一定的指导作用<sup>[3]</sup>。

研究者采用不同的方法<sup>[3~6]</sup>研究气候变化问题。本文借鉴上述方法, 选用 3 种气候要素, 采用 Hopfield 神经网络, 对近 40 a 中国气候变化趋势进行了分析, 并对分析结果进行方差分析检验, 确保分析的精确性, 从而细化气候变化趋势类型, 更深入地掌握气候变化的规律, 对人类的生产生活以及未来气候变化所采取的措施提供一定的借鉴意义。

## 1 数据来源及研究方法

本文的气象数据来源于国家气象局气象中心资料室, 根据气候变化的定义, 选取的具体数据为全国大部分省区(香港、澳门、台湾、海南地区数据暂缺) 194 个站点的 1961~2000 年的逐日降水、气温、相对湿度数据, 站点较少, 所以只对中国内陆进行分析。原始数据存在一定的缺测数据, 对缺测数据较多的站点进行了剔除, 剔除后可利用站点数为

188 个, 然后将其粗粒化为年数据。

### 1.1 变化倾向率

运用线性趋势线分析气象要素的变化趋势, 即利用气象要素的时间序列<sup>[7]</sup>, 以时间为自变量, 要素为因变最, 建立一元回归方程。设  $y$  为某一气象变量,  $t$  为时间(年份或序号), 建立  $y$  与  $t$  间的一元线性回归方程:

$$y(t) = b_0 + b_1 t \quad (1)$$

其趋势变化率为:

$$d[dy(t)/dt] = b_1 \quad (2)$$

把  $b_1 \times 10$  称为变化倾向率, 单位为 mm/10 a。趋势方程中系数  $b_1$  值可由最小二乘法计算得到<sup>[8]</sup>:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (3)$$

$b_1$  值的符号反映上升或下降的变化趋势,  $b_1 < 0$  表示在计算时段内呈下降趋势,  $b_1 > 0$  表示呈上升趋势,  $b_1$  值绝对值的大小可以度量其演变趋势上升、下降的程度。

### 1.2 空间克里格插值

空间克里格插值(Kriging)是以空间自相关性为基础, 利用原始数据和半方差函数的结构性, 对区域化变量的未知采样点进行无偏估值的插值方法, 是地统计学的主要内容<sup>[9]</sup>。

收稿日期: 2010-02-15; 修订日期: 2010-05-08

基金项目: 教育部人文社会科学重点研究基地项目(2009JJD770025)、中央高校基本科研业务费专项资金资助。

作者简介: 张 翀(1986-), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要从事资源环境遥感与 GIS 的相关研究。E-mail: zhangch3348@126.com

通讯作者: 李 晶, 副教授, 博士, 研究方向为城乡国土资源评价与 GIS。E-mail: lijing@snnu.edu.cn

本文先将中国(香港、澳门、台湾、海南地区数据暂缺)188个台站的离散数据点按照经纬度导入成shp文件,然后分别按照降水、气温和相对湿度倾向率进行内插,得到中国近40a降水、气温和相对湿度倾向率的栅格数据层;采用同样的方法对40a来各年代、各要素的倾向率进行内插,得到年代降水、气温和相对湿度倾向率的栅格数据层。

### 1.3 Hopfield神经网络聚类

Hopfield神经网络是一种具有动态自反馈的非线性映射,是一个强有力的动力学系统,用于聚类时需要构造一个能量函数(所有样本到各自聚类中心的距离和),并且使用模糊数来标识一个样本属于某一类的程度,通过对能量函数的训练,对模糊数进行修正,使得能量函数逐渐减小,模糊数逐渐确定,最后能量函数值达到最小,模糊数完全确定,即某一样本属于某一类,则该类的模糊数变为1,而其他模糊数变为0<sup>[10]</sup>(图1)。

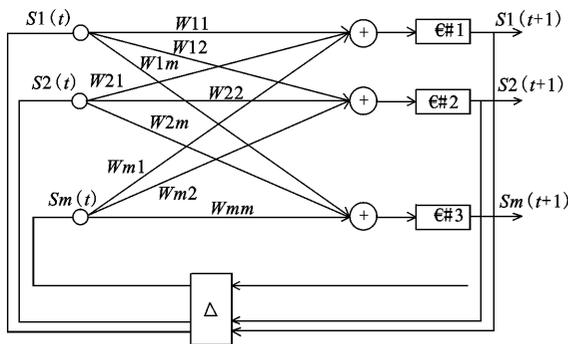


图1 Hopfield神经网络结构  
Fig.1 Hopfield neural network structure

### 1.4 方差分析

单因子方差分析是比较总体中个体之间差异度的方法<sup>[11]</sup>,具体计算方法见表1。

表1 单因素方差分析  
Table 1 The analysis of one-way ANOVA

来源	平方和	自由度	均方和	F 值
因素影响	$S_A$	$r-1$	$S_A/(r-1)$	$[S_A/(r-1)]/ [S_e/(n-1)]$
误差	$S_e$	$n-r$	$S_e/(n-1)$	
总和	$S_T$	$n-1$		

注:R 为水平;n 为所有样本数。

其中

$$S_T = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2, S_A = \sum_{i=1}^r n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2,$$

$$S_e = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

由此方法计算出的F值所对性的Sig(显著性水平)小于0.05,则表明该因子总体差异是显著的,但不一定两两均值之间都有差异,因此,为进一步揭示组中各均值对之间的差异特征,需要对其进行多重比较。常见的多重比较法,主要包括Deng的多重比较法、Fisher的最小显著差异检验(LSD)、Tukey的HSD检验、Scheffe的S检验方法、Student-Newman-keuls检验(SNK)和Duncan的新的多范围检验法,这些方法的区别在于它们分析均值的方法及控制错误的方式不同<sup>[12~16]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 近40a气候总体变化

利用ArcGIS对年平均降水、温度和相对湿度倾向率进行插值,依据降水、温度和相对湿度倾向率的正负组合将气候变化类型划分为8类(表2),得到近40a年气候变化类型图和近40a不同年代气候变化类型图(图2、3)。

图2中,40a来全国平均气温倾向率为3.2591℃/10a,平均降水倾向率为11.3936mm/10a,平均相对湿度倾向率为-0.2102%/10a。除四川盆地东部、青海与西藏中部交界处及境内天山、昆仑山中部山区呈现出变冷的趋势外,全国大部分地区都呈现增温趋势。全国范围内,尤以呈现暖湿多雨趋势的面积最为广大,包括内蒙古中部地区、新疆大部分地区、青藏高原东西部地区以及江西、湖南南部地区,其次是暖干多雨趋势和暖干少雨趋势。

### 2.2 近40a气候的年代变化

从图3来看,① 20世纪60年代全国平均降水的倾向率为-21.0749mm/10a,气温的倾向率为-4.3456℃/10a,相对湿度倾向率0.6211%/10a。冷干少雨型、暖干少雨型和冷湿多雨型趋势处于主导地位,这说明60年代中国(不含香港、澳门、台湾、海南地区)气候变化主要呈现出少雨降温干旱和多雨升温湿润势均力敌的趋势。② 70年代的气候变化趋势较60年代有很大变化,平均降水倾向率为-61.3699mm/10a,气温倾向率为5.3498℃/10a,相对湿度倾向率为-1.8274%/10a。少雨型趋势严重,分布很广泛,几乎全国都有所分布。③ 80年代全国平均降水的倾向率为-37.8208mm/10a,气温倾向率为4.5406℃/10a。

表 2 气候变化类型划分标准

Table 2 The classification of climatic variation types

类型名称	冷干少雨	冷湿少雨	暖干少雨	暖湿少雨	冷干多雨	冷湿多雨	暖干多雨	暖湿多雨
降水倾向率	<0	<0	<0	<0	≥0	≥0	≥0	≥0
气温倾向率	<0	<0	≥0	≥0	<0	<0	≥0	≥0
相对湿度倾向率	<0	≥0	<0	≥0	<0	≥0	<0	≥0

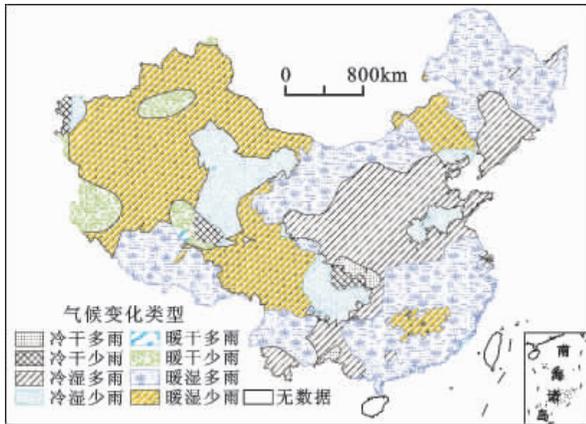


图 2 1961~2000 年中国(香港、澳门、台湾、海南地区数据暂缺)年气候变化类型

Fig. 2 The types of annual climatic variation in China from 1961 to 2000 (Hongkong, Macau, Taiwan and Hainan excluding)

a 相对湿度倾向率为  $-1.5724\%/10\text{ a}$ 。在此期间,气候变化类型分别从东北和东南方向到西北地区呈现出逐层分布,按照此顺序主要变化类型依次是暖干少雨型-暖湿多雨型-暖湿少雨型-冷湿多雨型,可见全国以增温为主。<sup>④</sup> 90 年代全国平均降水倾向率为  $-9.4115\text{ mm}/10\text{ a}$ ,气温倾向率为  $7.4510^\circ\text{C}/10\text{ a}$ ,相对湿度倾向率为  $-0.7164\%/10\text{ a}$ 。气候变化类型呈东北-西南向和东西向的层状分布,东北-西南向依次是冷干少雨-暖干少雨-暖干多雨,东西向依次是暖干少雨-暖干多雨-暖湿多雨-暖湿少雨-暖湿多雨-暖干多雨-暖干少雨,基本上呈对称分布,从此可以看出,全国仍以增温为主导趋势,其次是变干趋势。总之,全国以增温为主导趋势,其次是多雨趋势,东部地区出现变干趋势,而西部地区在逐渐增温。

### 2.3 近 40 a 气候变化的聚类分析

依据全年和年代降水、温度及相对湿度倾向率作为聚类指标,利用 Hopfield 神经网络进行聚类分析,得到 188 个气象站点的聚类结果,为了与插值结果进行比照,分类数选择为 8(图 4)。

图 4 中可以看出,类型 1 主要分布于秦岭淮河、青藏高原一线的北部;类型 2 主要集中分布于

东 3 省和内蒙古大部分地区;类型 3 主要分布在新疆、青海、四川、河南以及山东;类型 4 主要分布于中国西南地区、两湖平原以及华北平原南部;类型 5 主要分布于四川盆地西南和江南丘陵地区;类型 6 主要分布于黑龙江、内蒙古中北部以及河北北部地区;类型 7 主要分布于陕西、宁夏、山西和甘肃南部地区;类型 8 主要分布于东南沿海地区,包括浙江、福建与广东。

根据 Hopfield 神经网络聚类结果,通过基本的统计分析,统计每一类型的站点个数及每一类型的年降水倾向率、年温度倾向率和年相对湿度倾向率的平均值(表 3)。每一类型所包括的气象站点的个数比较接近,第 1 类的站点数最多,为 38 个,第 5 类和第 8 类的站点数最少,都是 15 个,但从分布趋势来看,聚类数越少分布越集中。

在 Markway 软件中做单因素方差分析,分别检验年降水量变化、年温度变化和年相对湿度变化在 8 种类型水平下的均值是否存在差异性。从单因素方差分析结果(表略),可以看出在 3 种气候要素 F 值的相互比较下,年气温变化的 F 值最大,可见年温度变化在 8 种类型水平下的均值的差异性最大,处于主导地位。并且年降水量变化的 F 检验值(59.628)、年温度变化的 F 检验值(118.839)和年相对湿度变化的 F 检验值(57.659)所对应的 sig 值均小于 0.01,反映出 8 种类型的年降水量变化、年温度变化和年相对湿度变化间都存在极显著的差异,说明分类具有一定的科学性。

通过单因素方差分析的检验能说明在 3 种气候要素中这 8 种类型的均值是完全不同的,但不能说明 8 种类型两两完全不同,这就用到方差分析中的多重比较。本文采用 LSD(Least Significant Difference)法检验成对均值差异是否显著(表 4)。从 3 种气候变化的多重分析来看,8 种类别两两之间的 sig 值都小于 0.05,8 种类别两两之间存在显著性差异;其中 8 种类别两两之间的 sig 值小于 0.01 的所占比例较大,说明整体上存在很大差异。这说明以降水、气温和相对湿度对中国内陆的气候

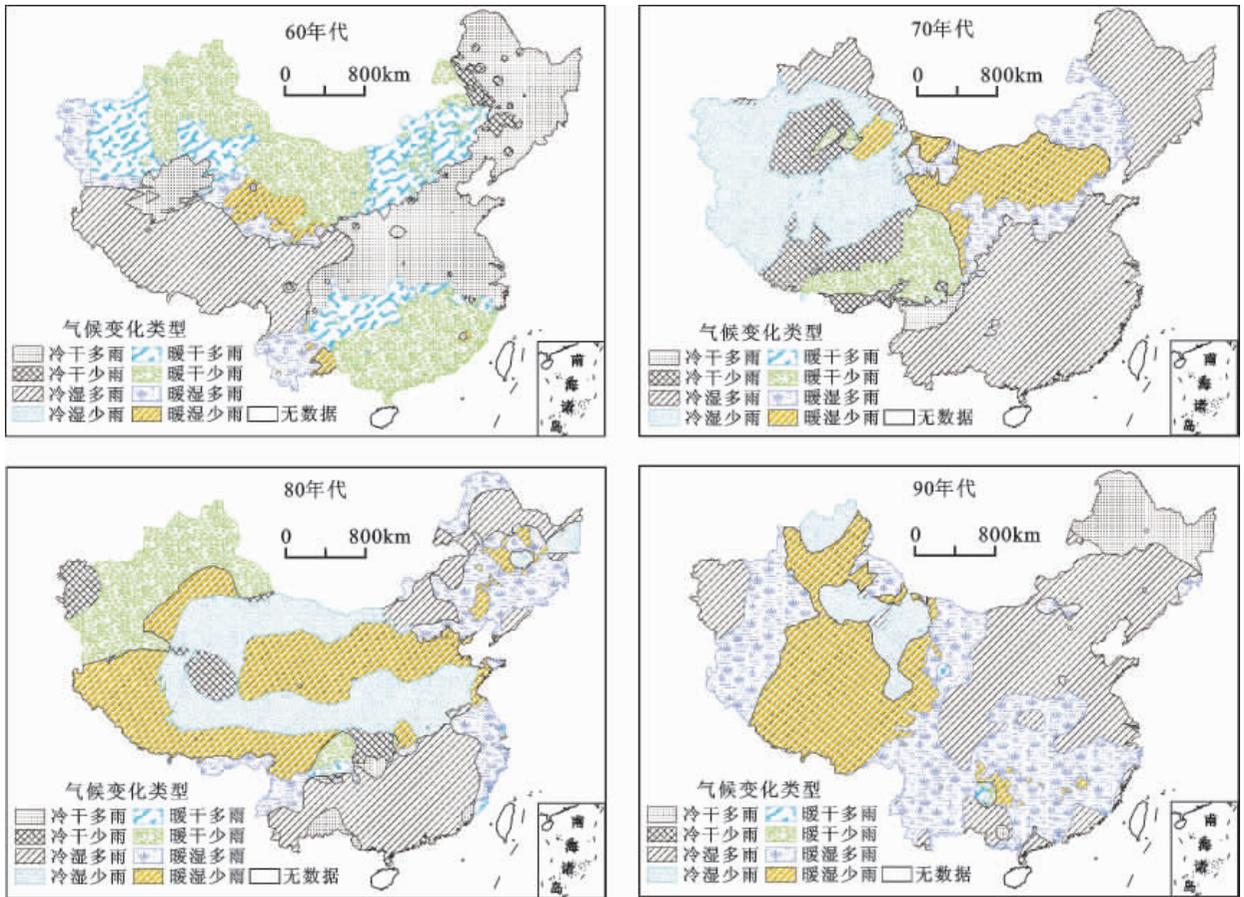


图3 1961~2000年中国年代气候变化类型图(香港、澳门、台湾、海南地区数据暂缺)

Fig.3 The types of climate decade change in China

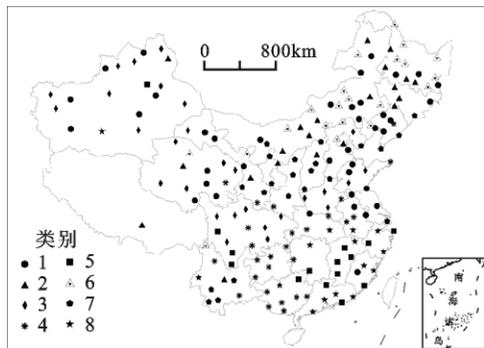


图4 基于Hopfield神经网络的气候变化类型聚类

Fig.4 The clustering results of climatic change using Hopfield neural networks

特征空间变化进行分析具有较强的科学性。

最后 将聚类得到的8种类型以及总体平均值按照年代及全年作出3种气候要素倾向率变化图(图5)。其中总体的统计值可以看做是平均水平。据降水变化趋势图看出,类型1、2、6和7变化趋势基本一致 20世纪60~90年代,先增后减;类型4、5和8变化趋势基本一致 60~90年代,先减后增;类型3变化很平缓。前两者关于总体平均趋势线对称,但后者更远离总体平均趋势线,所以相互抵消后,降水应该在增加。从气温变化趋势图可以看出,除20世纪60年代的8个类型倾向率都小于0,其他时间段的各个类型都大于0,而且变化趋势基

表3 基于Hopfield神经网络的气候变化聚类结果综合统计

Table 3 The statistics of climatic change using Hopfield clustering

类型	1	2	3	4	5	6	7	8
站点个数	38	21	28	27	15	21	23	15
全年降水增量平均值	3.1613	5.3986	-0.628	-15.0904	64.8623	6.3681	-21.9249	66.3234
全年增温平均值	2.9962	5.0199	1.3027	1.0503	0.6631	4.8193	3.4328	2.4338
全年增湿平均值	-0.0046	-0.8877	0.8786	-0.2108	0.3942	0.0764	-0.7985	-0.6803

表 4 年降水、气温与相对湿度的多重方差比较

Table 4 Multiple variance analysis for annual precipitation, temperature and relative humidity variation

(I) 分类	(J) 分类		1	2	3	4	5	6	7	8
1	降水	Sig	--	0.0404	0.0266	0.0002	0	0.0061	0	0
	气温	Sig	--	0	0	0	0	0	0.0041	0.0013
	相对湿度	Sig	--	0	0	0.0208	0.0001	0.0313	0	0
2	降水	Sig	0.0404	--	0.0177	0.0009	0	0.0096	0	0
	气温	Sig	0	--	0	0	0	0.0421	0	0
	相对湿度	Sig	0	--	0	0	0	0	0.0069	0.0261
3	降水	Sig	0.0266	0.0377	--	0.0125	0	0.0461	0	0
	气温	Sig	0	0	--	0.0054	0.0268	0	0	0.0001
	相对湿度	Sig	0	0	--	0	0.0052	0	0	0
4	降水	Sig	0.0002	0.0009	0.0125	--	0	0.0003	0.0459	0
	气温	Sig	0	0	0.0454	--	0.0091	0	0	0
	相对湿度	Sig	0.0208	0	0	--	0	0.0098	0	0.0005
5	降水	Sig	0	0	0	0	--	0	0	0.008
	气温	Sig	0	0	0.0268	0.0491	--	0	0	0
	相对湿度	Sig	0.0001	0	0.0052	0	--	0.0049	0	0
6	降水	Sig	0.0061	0.0296	0.0361	0.0003	0	--	0	0
	气温	Sig	0	0.0021	0	0	0	--	0	0
	相对湿度	Sig	0.0013	0	0	0.0098	0.0049	--	0	0
7	降水	Sig	0	0	0	0.0059	0	0	--	0
	气温	Sig	0.0041	0	0	0	0	0	--	0
	相对湿度	Sig	0	0.0469	0	0	0	0	--	0.0277
8	降水	Sig	0	0	0	0	0.048	0	0	--
	气温	Sig	0.0013	0	0.0001	0	0	0	0	--
	相对湿度	Sig	0	0.0161	0	0.0005	0	0	0.0037	--

本一致,其中类型 1、2、6 和 7 均高于总体平均水平,类型 3~5 和 8 均低于总体平均水平,并且类型 2、6 和 3、4 离总体平均水平较远,这说明从 60 年代以后,气温在不断上升,但是类型 2 和 6 气温上升的更显著,相反类型 3 和 4 气温上升较为缓和。从相对湿度趋势变化图可以看出,各个类型变化趋势也基本一致,相对湿度总体平均都处于 0 值以下且接近 0,并且各个年代的 8 种类型基本上都均匀分布于总体平均趋势线的上下;20 世纪 60~90 年代,相对湿度倾向率可以近似看做具有波动变化,即表现为周期性,周期大概为 10 a 左右。这说明相对湿度变化不明显,处于干湿交替状态。因此,通过方差分析和 Hopfield 神经网络聚类的得到的分析结果基本上与克里格插值的分析一致,从而验证了中国内陆气候空间变化分析的可信性。

### 3 结 论

1) 本文所用站点只有 188 个,数量较少,所以

除选用降水、气温这两个气候要素外,选用了相对湿度以填补站点数较少所带来的不足,并且可以说多雨趋势地区湿度不一定在上升,少雨趋势的地区湿度不一定下降。

2) 采用 ArcGIS 中的空间克里格内插法对 3 种气象要素的整体倾向率及年代倾向率进行插值,并将对应时段的插值图层倾向率进行正负组合,得到年际和年代气候变化类型图,经过分析得出全国以增温为主导趋势,其次是多雨趋势,东部地区出现变干趋势,而西部地区在逐渐增湿。

3) 为验证空间克里格插值结果的可信性,对全年和各年代降水、温度及相对湿度倾向率采用了 Hopfield 神经网络聚类分析,并利用方差分析检验各个类型间关于 3 种气候要素的差异性是否显著,最后按照聚类结果对各年代的降水、气温和相对湿度趋势变化进行分析,结果与插值分析一致。其中各个气象要素的变化也不一定是自然变化的一种反映,人类活动的影响越来越大,各要素不免与大

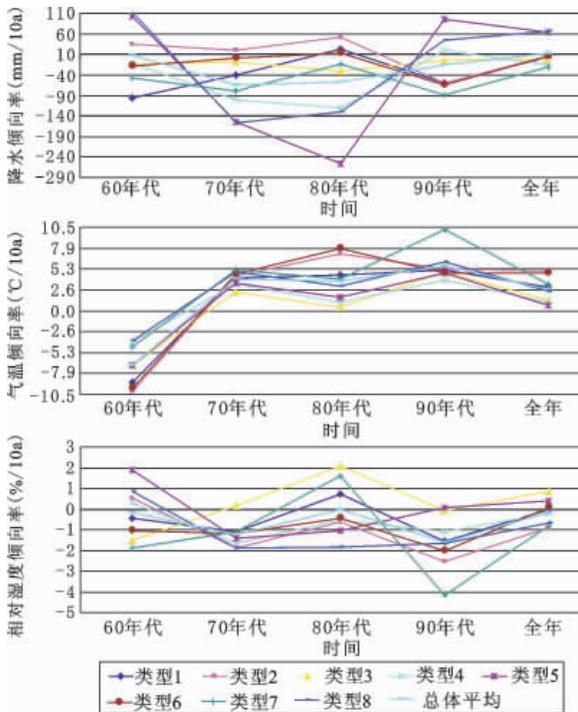


图5 8种类型及总体的年代和全年降水、气温和相对湿度变化趋势

Fig. 5 Decadal and annual precipitation, temperature and relative humidity variation trends of the 8 types

趋势有一定偏差,所以今后还需在人类活动对气候要素的影响上进行探究,得到更精确的结果。

## 参考文献:

- [1] 秦大河,王绍武,董光荣. 中国西部环境特征及其演变[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [2] 秦大河,丁一汇. 中国西部环境变化的预测[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [3] 李爽,王羊,李双成. 中国近30年气候要素时空变化特征[J]. 地理研究, 2009, 28(6): 1593~1605.
- [4] 马学款,普布次仁,唐叔乙. 神经网络在西藏中短期温度预报中的应用[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 491~495.
- [5] 金龙,林熙,金健. 模块化模糊神经网络的数值预报产品释用预报研究[J]. 气象学报, 2003, 61(1): 78~84.
- [6] Cannon A J. Nonlinear analog predictor analysis: A coupled neural network/analog model for climate downscaling [J]. Neural Networks, 2007, 20: 444~453.
- [7] 汪青春,秦宁生. 青海高原近40 a降水变化特征及其对生态环境的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 153~158.
- [8] 刘来林. 湖北省通山县近五十年气候变化特征[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(2): 171~174.
- [9] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社, 2007.
- [10] 黄晖. 马克威软件与当代数据分析[M]. 北京:中国统计出版社, 2006.
- [11] 罗亚,徐建华,岳文泽. 植被指数在城市绿地信息提取中的比较研究[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(3): 213~219.
- [12] 岳文泽. 基于遥感影像的城市景观格局及其热环境效应研究[M]. 北京:科学出版社, 2008.
- [13] 阎洪. 薄板光顺样条插值与中国气候空间模拟[J]. 地理科学, 2004, 24(2): 163~169.
- [14] 赵昕奕,张惠远,万军. 青藏高原气候变化对气候带的影响[J]. 地理科学, 2002, 22(2): 190~195.
- [15] 杨建平,丁永建. 亚洲季风与中国干湿、农牧气候界线之关系[J]. 地理科学, 2005, 25(4): 441~447.
- [16] 吴正方,靳英华. 东北地区植被分布全球气候变化区域响应[J]. 地理科学, 2003, 23(5): 565~570.

## Based Space-time Elements of Climate Change in China on Hopfield Neural Network in Recent 40 Years

ZHANG Chong ,LI Jing ,REN Zhi-yuan

(*College of Tourism and Environment ,Shaanxi Normal University Xi'an ,Shaanxi 710062 ,China*)

**Abstract:** Using the daily precipitation , temperature and relative humidity data of 194 meteorological stations from 1961 to 2000 in China ( not including Hong Kong , Macao , Taiwan and Hainan ) , based on the Spatial Kriging interpolation method in ArcGIS , and through the cluster of Hopfield neural networks as well as analysis of variance , the spatial and temporal characteristics of climate change in China. The results show that a dominant trend of warming occurs in China , followed by the wet trend , drying trend occurs in the eastern region , while the western region is gradually humidifying. Judging from the decadal results , we got that there was an equal trend between the trend of dry cooling and wet humid heat from 1960 to 1969 ; dry-type distribution from 1970 to 1979 was very broad , almost throughout the country ; climate change types presented a layered distribution from 1980 to 1989 , and according to the main types , warming trend was in the leading position ; from 1990 to 2000 , warming trend still dominated , followed by drying trend. We conducted clustering analysis using Hopfield neural network method , and test whether differences among the three kinds of climatic factors are significant using analysis of variance. In the final , according to the clustering results , we have analyzed the trend of precipitation , temperature and relative humidity change , results in line with interpolation show the space Kriging credibility. The results show that , driven by global warming , patterns of climate change in China is in a state of adjustment , and humid regions become arid , whereas arid regions humid.

**Key words:** climate change ; Kriging interpolation ; Hopfield neural network ; analysis of variance ; China