第 38 卷 第 4 期 气 象 科 学 Vol. 38, No.4
2018 年 8 月 Journal of the Meteorological Sciences Aug., 2018

官雨洁,王伟,刘寿东,等.基于 CART 算法的夏季高温预测模型构建与应用.气象科学,2018,38(4):539-544.
GUAN Yujie, WANG Wei, LIU Shoudong. Building and application of summer high temperature prediction model based on CART algorithm. Journal of the Meteorological Sciences, 2018, 38(4): 539-544.

基于 CART 算法的夏季高温预测模型构建与应用

官雨洁[1] 王伟[2] 刘寿东[1]
(1 南京信息工程大学 气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心/大气环境中心,南京 210044; 2 南京信息工程大学 大气科学学院,南京 210044)

摘要 以夏季高温有效积温的多年平均值作为判断夏季高温炎热程度的标准,借助 CART 算法探究东亚夏季风指数,夏季印缅槽,夏季北大西洋涛动(NAO),赤道太平洋海温等多项气候因子与高温的关系,得到高温预测规则集,建立高温的预测模型。研究中选取 1955—2012 年福建漳州夏季的日最高气温等站点气温资料,通过计算 58 a 的夏季高温有效积温数值来判定夏季的炎热程度。将同一时期的多项气候因子数据作为输入变量输入,算法会随机选出其中 46 a 的数据得到 10 条分类规则集,建立的预测模型准确率达到 91.49%。用剩下的 12 a 数据进行检验,准确率达到 91.67%。研究结果较好地验证了高温预测模型的可行性和有效性,为灾害性天气模型的研究提供了新思路。

关键词 CART; 高温有效积温; 夏季高温; 预测模型
分类号: P457.3 **doi:** 10.3969/2017jms.0070 **文献标识码:** A

Building and application of summer high temperature prediction model based on CART algorithm

GUAN Yujie[1] WANG Wei[2] LIU Shoudong[1]
(1 *Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education/ International Joint Laboratory on Climate and Environment Change/ Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters/ Yale-NUIST Center on Atmospheric Environment, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing* 210044, *China*;
2 *School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing* 210044, *China*)

Abstract The average value of effective accumulated high temperature in summer for many years was considered as a standard to judge the extent of a hot summer. The CART algorithm was employed to explore the relationship between the high temperature and the climatic factors such as East Asian summer monsoon index, summer India-Myanmar trough, summer North Atlantic Oscillation (NAO) and equatorial Pacific sea temperature, and the high-temperature prediction rule set was obtained to build a high-temperature prediction model. The study selected the daily maximum temperature data in summer among 1955—2012 in Zhangzhou of Fujian Province. The extent of a hot summer was determined through the effective accumulated temperature of high temperature in summer for 58 years. A number of climatic factors in the same period were input as the input variables, and 46a data were randomly selected to get 10 classification rule sets. The accuracy of the built predication model reached 91.49%. The remaining 12a data were used for test, with an accuracy up to 91.67%. Generally speaking, the results of this paper have verified the feasibility and validity of the high temperature prediction model, which provides a new

收稿日期(Received):2017-06-24; **修改稿日期**(Revised):2017-09-05; **网络出版日期**(Published on-line):2018-09-04
网络出版地址: http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1243.p.20180904.0853.002.html
基金项目: 教育部长江学者和创新团队发展计划项目(PCSIRT);江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)
通信作者(Corresponding author):刘寿东(LIU Shoudong). 605854811@qq.com

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

idea for the research of the catastrophic weather model.

Key words CART; High temperature effective accumulated temperature; Summer high temperature; Prediction model

引 言

近年来,全球气候不断变暖,城市化进程逐渐加深,各种气象灾害开始频繁发生,其中高温是夏季常见的气象灾害之一。研究指出[1-5],高温不仅影响社会经济的发展,而且影响人们的日常生活和生命安全。近年来越发严重和频繁的夏季高温状况引起了人们的极大关注。因此,研究夏季高温的影响因子以及对其进行准确的预测,对减少灾害带来的损失具有重要的实际意义。

目前国内外对夏季高温的影响因素展开了许多研究,发现高温事件的发生是多因子多系统综合作用的结果。Brabson, et al[5] 研究英格兰极端温度的演变情况发现,无论寒冷的冬季和炎热的夏季,极端气温发生都与低层大气环流的改变有关; 林建等[6] 和尹洁等[7] 研究发现夏季高温同西太平洋副热带高压异常有一定的关系; 任广成等[8] 研究了我国冬季气温与副热带高压强度和西伸脊点的关系,发现分别存在着很好的正、负相关关系; 孙建奇等[9] 指出,我国极端高温事件的年代际变化与东亚上空大气环流型变异是一致的,并强调了低层暖平流的作用。

中国气象局规定日最高气温达到或超过 35 ℃时称为高温。此外,对于高温的炎热程度没有具体的等级标准,有些学者采用日最高气温第 95 或第 90 百分位数来作为分界[10-11],但由于气候的地域差异和人们对当地气候的长期适应性[12],定义炎热程度的标准不仅要依靠气温度数,还应根据高温对人体产生的影响或危害程度来制定。故本文根据高温预警发布的原则以及高温天气对人体和作物的影响及危害,利用高温有效积温来区分高温天气的炎热程度。高温有效积温(EAHT) 为每日最高气温与35 ℃的差值之和,其值越大,表示高温事件的炎热程度越重,对人体健康的危害也越重; 反之亦然。在此基础上,可计算年、月高温的累积高温有效积温,以表征相应的统计时段的炎热程度[13]。

在建立高温预测模型的研究中,不仅仅要依据理想的高温指标,使用有效的预测模型方法也是极为重要的。目前广泛使用的建模思路主要有 3 种[14]:第一种是统计型。使用大量的相关观测数据,寻找各个气象要素或气候因子与高温之间的关系,选择显著的影响因子建立关系模型,通过预测因子变化来预测高温。第二种是理论分析型。主要通过学科的基本原理,利用数值模式得到温度的预测值再对高温进行预测[15]。第三种是基于数据挖掘方法上的模型建立。通过大量相关数据运用数据挖掘方法建立基于气候因子的高温预测模型,计算得出预测结果。第一种考虑因素较全,但是利用传统的统计方法对大量的数据进行统计分析,过程过于繁琐而且仅仅利用气象站点的观测数据很难达到理想的准确度[16]; 第二种虽然能从一个较为本质的层面上反映高温天气现象,但参数不易获取,某种程度上是不完善的。因此本文采用的是第三种方法,利用数据挖掘方法建立高温预测模型。数据挖掘方法能处理大规模数据并建立模型,相比于传统的统计分析法,能有效又快速地从大量相关数据中提取有效信息,在操作上也较为简单,合理设置参数后准确性能达到一个较高的基准[17]。气象预测模型中常用的数据挖掘方法有神经网络、支持向量机和决策树算法等方法[14]。其中决策树算法因计算简单、处理速度快、易于理解等优点而被广泛采用,在处理气象问题上有着很好的应用前景。

决策树的典型算法有 ID3,C4.5,CART 等。本研究使用分类回归树算法(CART) ,研究夏季西太平洋副热带高压北界、夏季西太平洋副热带高压强度指数、夏季西太平洋副热带高压面积指数、东亚夏季风指数、夏季 NAO、登陆台风、Niño3、Niño4、Niño3.4 和 Niño1+2 等多项气候因子与夏季高温的关系,建立基于气候因子的高温预测模型。以此为提高灾害的预警能力和灾害预测的准确性提供一定的理论依据。

1 资料与方法

1.1 资料

气象站点资料选取的是来自福建漳州 1955—2012 年夏季(如无特殊说明,本文下面的研究均以夏季 6、7 和 8 月为研究时段) 的日最高气温,日平均气温,剔除了原有资料中的缺测数据,对于极个别月份有缺测值的,由多年平均值代替(缺测值很少对结果影响很小) 。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

选取国家气候中心编纂的 1955—2012 年西太平洋副热带高压面积指数、强度指数、西伸脊点、脊线位置、北界位置和印缅槽等环流指数数据; 以及在NOAA 网站上获取的 1955—2012 年 Niño1 + 2，Niño3，Niño4 和 Niño3. 4 区月平均海表面温度资料等其他气候因子数据。

1.2　研究方法

使用夏季的高温有效积温(EAHT) 来判定高温天气的炎热程度，其中把夏季高温有效积温的多年平均值(-71.04 ℃ · d) 作为是否炎热的分界。此积温综合考虑了气候环境和人体生理的关系，能较好的表明高温的炎热程度。

决策树算法是数据挖掘中重要的分类方法，目的是从归档的数据库中得到决策步骤，发现规则，模式和知识[18]。根节点，分支以及叶节点是决策树的必要组成部分。其中，每个内部节点表示在一个属性上的检测，每个分支代表一个检测的输出，每个树的叶节点代表一个类或者类分布。本文选用的分类与回归树算法(Classification and Regression Tree，CART) 是由 Bremanetal.在 1984 年提出的一种经典的决策树算法[19]。该算法是用于对离散或连续依赖变量进行分类的非参数的统计学方法，其基本原理是通过对由测试变量和目标变量构成的训练数据集的循环分析而形成二叉树形式的决策树结构[20]。

CART 中的变量分类准则有基尼不纯度标准和目标二分准则。高温与否作为二元分类问题是多元分类问题的一种特例。给定一个节点 t，估计类概率 $p(j|t)$ 表示该节点属于类 $j(j=1,2,3,\cdots,J)$ 的可能性。给定节点 t 的不纯度判断公式是:

$$i(t)=\Phi\left[p(1/t),\cdots\cdots,p(J/t)\right] \quad , \quad (1)$$

其中: Φ 为不纯度函数，构造决策树子节点时要寻求最优分割，使得每个子节点的不纯度达到最低。不纯度函数一般表示为:

$$i(t)=\phi(p_1,p_1,\cdots\cdots,p_1)=-\sum_{j=1}^{J}p_j\log p_j \ , \quad (2)$$

采用基尼多样性指数后，函数形式如下:

$$i(t)=\left[\sum_{j=1}^{J}p(j\mid t)\right]^2-\sum_{j=1}^{J}p^2(j\mid t) \ , \quad (3)$$

本文讨论的是二元分类问题，指数简化为:

$$i(t)=2p(1|t)\,p(2|t) \quad , \quad (4)$$

在节点 t 处根据概率 $p(i|t)$ 将随机选择的对象分配给类 i，对象实际属于类 j 的估计概率是 $p(j|t)$。此规则下误分类的估计概率就是基尼指数(选择最佳测试变量的准则) 。

$$\text{Gini Index}=\sum_{i\neq j}^{J}p(i\mid t)\,p(j\mid t) \quad 。 \quad (4)$$

在预测高温的分类决策树构造过程中，根据计算节点的基尼系数选取最佳分割阈值和最佳测试变量划分节点，递归调用直至满足结束规则生成最优决策树。

2　夏季高温的时间特征和影响因子分析

在利用 CART 算法构建决策树时，需要对分析的数据集进行预处理分析操作，即需要确定目标变量和输入变量。选取福建漳州地区的温度数据进行分析，通过夏季高温有效积温来了解温度变化趋势，确定目标变量; 通过对夏季高温的影响因子进行分析，分别确定它们对高温变化趋势的影响，确定输入变量。

2.1　夏季高温的时间分布特征

如图 1，可以看到福建漳州在 1955—2012 年夏季高温有效积温整体呈现上升趋势，并且在 2000 年后每年夏季高温有效积温均大于其多年平均值，出现较为炎热的天气。

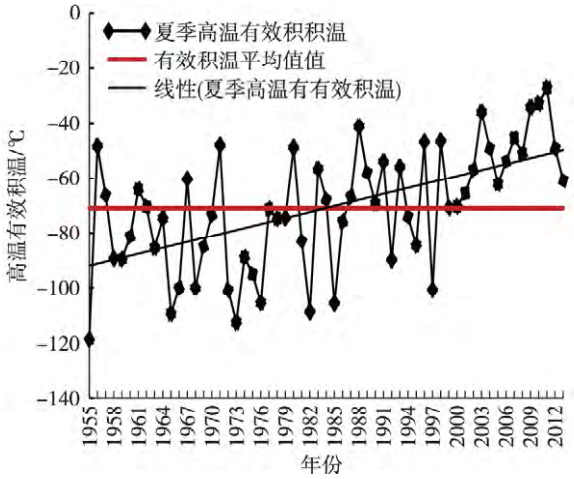

图 1　福建漳州夏季高温有效积温变化趋势

Fig.1　The change trend of effective accumulated temperature in summer in Zhangzhou，Fujian

为了研究气候因素对这种积温变化趋势的影响，本文用是否达到夏季高温有效积温的多年平均值(-71.04 ℃ · d) 作为构建模型时的目标变量。就是将夏季高温有效积温的多年平均值(-71.04 ℃ · d) 作为判断夏季是否炎热的指标，使高温预测更具有合理性。

2.2　夏季高温指数与不同因子的相关性分析

先前有众多国内外学者[21-23]研究发现高温与夏季西太平洋副热带高压面积，强度指数，西伸脊

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

点，Niño 区海温，登陆台风等等因子存在显著的相关性。本文利用 1955—2012 年福建漳州的夏季高温有效积温和同一时期的各个因子的数据进行相关性分析，结果如下：

表 1 1955—2012 年夏季气候因子与夏季高温有效积温的相关系数集

Table 1 Summer climatic factors and the summer high temperature effective accumulated temperature correlation coefficient set in 1955—2012

气候因子	相关系数
Niño3	-0.023
夏季 NAO	-0.331*
Niño4	0.079
Niño3.4	-0.037
夏季西太平洋副热带高压强度指数	0.417**
夏季西太平洋副热带高压面积指数	0.413**
夏季西太平洋副热带高压西伸脊点	-0.372**
Niño1+2	-0.026
登陆台风	0.102
东亚夏季风指数	-0.383**
夏季印缅槽	0.399**

注：** 为相关系数通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验；* 为相关系数通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验.

从表中可以看出，Niño3，Niño3.4，夏季 NAO，夏季西太平洋副热带高压西伸脊点，Niño1+2，东亚夏季风指数与夏季高温有效积温呈负相关；Niño4，夏季西太平洋副热带高压强度指数，夏季西太平洋副热带高压面积指数，登陆台风，夏季印缅槽与夏季高温有效积温呈正相关。其中夏季西太平洋副热带高压强度指数，夏季西太平洋副热带高压面积指数，夏季西太平洋副热带高压西伸脊点，东亚夏季风指数，夏季印缅槽与夏季高温有效积温的相关系数值通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验，夏季 NAO 与夏季高温有效积温的相关系数值通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。表明这些因子与夏季高温存在显著的相关性，其他因子与夏季高温存在一定的相关性。用 CART 算法构建决策树时，以上气候因子可作为输入变量。基于气候因子来构建高温预测模型时，利用构建的决策树确定影响高温的气候因子以及它们之间的关系，即可得到预测规则集。

3 基于 CART 算法的高温预测模型的构建与应用

3.1 基于 CART 决策树算法的模型构建

本文利用数据挖掘方法中的 CART 决策树算法，找出多项气候因子并通过多项相关的气候因子寻找其与夏季高温有效积温的关系。由于气候因子的预测数据是通过海气耦合模式预测获得的，将预测的各项因子作为输入变量输入，所建立的高温预测模型即可对夏季高温做出预测。

建立基于分类回归树算法（CART）的高温预测模型的过程大致如下：首先获取输入变量数据（多项气候因子数据），并进行预处理（目标变量及输入变量的选择）；其次利用气温数据，计算表征夏季炎热程度的指数以及判定夏季是否炎热；接着随机选取部分数据作为训练集，将处理好的气候因子数据作为输入变量、夏季是否高温作为目标变量，利用数据挖掘软件选择 CART 算法建立模型，得到预测规则集；最后选取剩下的数据作为测试集验证模型的准确性。

3.2 高温预测模型的应用

以福建漳州为例，利用数据挖掘软件（IBM SPSS Modeler）选择 CART 算法构建高温的预测模型。利用 CART 对 1955—2000 年夏季多项气候因子计算得到决策树（图 2），自学习准确率达91.49%（表 2）。从根节点到子节点的每一条路径代表一条高温预测规则。叶子节点内数据分别代表是否高温、样本总量和误分类样本数。以“0（1/0）”为例来说：括号外 0 代表非高温（1 代表高温），括号内左侧 1 代表样本总量，括号内右侧 0 代表误分类的高温样本数，其差值，也就是 1-0=1 代表正确分类的非高温的样本数。为了进一步验证可靠性，选取 2001—2010 年的气候因子数据代入模型进行验证，准确率达到 91.67%。

表 2 高温预测模型的结果表

Table 2 High temperature prediction model results table

	测试数据	准确率/%	检验数据	准确率/%
正确	43	91.49	11	91.67
错误	4	8.51	1	8.33
总数	47	100	12	100

从模型的验证结果来看，准确率达到 91.67%。说明利用数据挖掘方法建立的高温预测模型具有较好的准确性，同时也验证了本文方法的有效性，对高温或其他气候的预测具有一定的参考价值。

4 结论

夏季高温的发生与气候演变有关，也与大尺度天气系统，城市热岛效应等等因素存在联系[24]，是

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

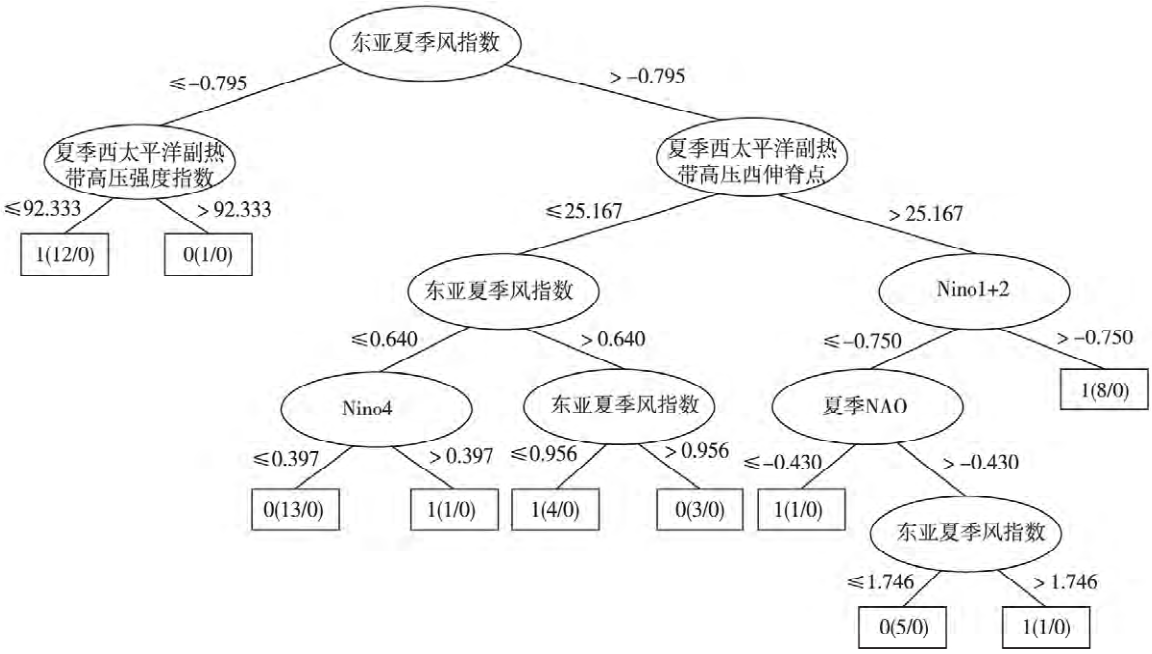

图 2　通过 CART 算法产生的高温预测决策树

Fig.2　The high temperature forecasting decision tree produced by CART algorithm

一个富有挑战性的气象问题。本文结合了可能导致高温灾害发生的多项相关因子，利用数据挖掘中的 CART 算法建立了高温的气候预测模型，并以福建漳州为例进行研究，得到以下结论:

(1) 福建漳州夏季高温有效积温年际变化整体上呈上升趋势，尤其 2000 年以后呈现出明显的上升趋势，表现了此地区夏季的炎热程度在不断加深。

(2) 夏季 NAO，夏季西太平洋副热带高压强度指数，夏季西太平洋副热带高压面积指数，夏季西太平洋副热带高压西伸脊点，东亚夏季风指数，夏季印缅槽与夏季高温之间有显著的相关性。

(3) 随机选取福建漳州 1955—2012 年中 46 a 的资料，建立分类决策树得到的规则集，分类准确率到达 91.49%。剩余数据进行检验，准确率为 91.67%，表明模型有较好的可靠性。

本文借助数据挖掘方法建立的预测模型可能还缺乏对天气相关理论的研究，但将气象资料与数据挖掘方法相结合，从气象历史数据集中发现潜在的信息，不仅使数据挖掘方法得到更广泛的应用，也使气象领域得到了新的发展。

参　考　文　献

[1] Easterling D R, Evans J L, Groisman P Y, et al. Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review. Bull. Am. Meteor. Soc., 2000, 81(3): 417-425.

[2] Changnon S A, Pielke R A Jr, Changnon D, et al. Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes. Bull. Am. Meteor. Soc., 2000, 81(3): 437-442.

[3] Thomas R, Karl T R, Philip D, et al. A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. Bull. Am. Meteor. Soc., 1993, 74(6): 1007-1024.

[4] Gruza G, Rankova E, Razuvaev V, et al. Indicators of climate change for the Russian federation. Climatic Change, 1999, 42(1): 219-242.

[5] Brabson B B, Palutikof J P. The evolution of extreme temperatures in the central England temperature record. Geophys. Res. Lett., 2002, 29(24): 2163.

[6] 林建，毕宝贵，何金海. 2003 年 7 月西太平洋副热带高压变异及中国南方高温形成机理研究. 大气科学，2005，29(4): 594-599.
LIN Jian, BI Baogui, HE Jinhai. Physical mechanism responsible for western Pacific subtropical high variation and hot wave in southern china in July 2003. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2005, 29(4): 594-599.

[7] 尹洁，张传江，张超美. 江西 2003 年夏季罕见高温气候诊断分析. 南京气象学院学报，2005，28(6): 855-861.
YIN Jie, ZHANG Chuanjiang, ZHANG Chaomei. Climatic diagnostic analysis of the exceptional high temperature in summer 2003 in Jiangxi province. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 2005, 28(6): 855-861.

[8] 任广成，吴小林，沈爱华. 冬季西太平洋副热带高压异常变化对我国气温的影响及其与前期北太平洋海温的关系. 气象与环境科学，2007，30(3): 10-13.
REN Guangcheng, WU Xiaolin, SHEN Aihua. Abnormal variation of western Pacific subtropical high in winter affecting atmospheric temperature in our country and the relation to northern Pacific Sea

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

temperature in prophase. Meteorological and Environmental Sciences (in Chinese), 2007, 30(3): 10-13.

[9] 孙建奇，王会军，袁薇. 我国极端高温事件的年代际变化及其与大气环流的联系. 气候与环境研究，2011，16(2): 199-208.
SUN Jianqi, WANG Huijun, YUAN Wei. Decadal variability of the extreme hot event in China and its association with atmospheric circulations. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 2011, 16(2): 199-208.

[10] DING Ting, QIAN Weihong H, YAN Zhongwei. Changes in hot days and heat waves in China during 1961—2007. Int. J. Climatol., 2010, 30(10): 1452-1462.

[11] 贺山峰，戴尔阜，葛全胜，等. 中国高温致灾危险性时空格局预估. 自然灾害学报，2010，19(2): 91-97.
HE Shanfeng, DAI Erfu, GE Quansheng, et al. Pre-estimation of spatiotemporal pattern of extreme heat hazard in China. Journal of Natural Disasters (in Chinese), 2010, 19(2): 91-97.

[12] 叶殿秀，尹继福，陈正洪，等. 1961—2010年我国夏季高温热浪的时空变化特征. 气候变化研究进展，2013，9(1): 15-20.
YE Dianxiu, YIN Jifu, CHEN Zhenghong, et al. Spatiotemporal change characteristics of summer heatwaves in China in 1961—2010. Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis (in Chinese), 2013, 9(1): 15-20.

[13] 陈敏，耿福海，马雷鸣，等. 近138 a上海地区高温热浪事件分析. 高原气象，2013，32(2): 597-607. doi: 10.7522/j.issn.1000-0534.2012.00058.
CHEN Min, GENG Fuhai, MA Leiming, et al. Analyses on the heat wave events in Shanghai in recent 138 years. Plateau Meteorology (in Chinese), 2013, 32(2): 597-607. doi: 10.7522/j.issn.1000-0534.2012.00058.

[14] 史达伟，耿焕同，吉辰，等. 基于C4.5决策树算法的道路结冰预报模型构建及应用. 气象科学，2015，35(2): 204-209.
SHI Dawei, GENG Huantong, JI Chen, et al. Construction and Application of road icing forecast model based on C4.5 decision tree algorithm. Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 2015, 35(2): 204-209.

[15] 高学杰，赵宗慈. 利用OSU/NCC模式进行我国汛期季度和年度短期气候预测的试验. 应用气象学报，2000，11(2): 180-188.
GAO Xuejie, ZHAO Zongci. The experiment of extraseasonal prediction in china by OSU/NCC gcm for flood season. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 2000, 11(2): 180-188.

[16] 王伟，薛丰昌，史达伟，等. 基于CART算法的夏季干旱预测模型研究及应用. 气象科学，2016，36(5): 661-666. doi: 10.3969/2015jms.0067.
WANG Wei, XUE Fengchang, SHI Dawei, et al. Research on summer drought prediction model based on CART algorithm. Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 2016, 36(5): 661-666. doi: 10.3969/2015jms.0067.

[17] ZHANG Wei, GAO Si, CHEN Bin, et al. The application of decision tree to intensity change classification of tropical cyclones in western North Pacific. Geophys. Res. Lett., 2013, 40(9): 1883-1887.

[18] Friedl M A, Brodley C E. Decision tree classification of land cover from remotely sensed data. Remote Sens. Environ., 1997, 61(3): 399-409.

[19] 赵萍，傅云飞，郑刘根，等. 基于分类回归树分析的遥感影像土地利用/覆被分类研究. 遥感学报，2005，9(6): 708-716.
ZHAO Ping, FU Yunfei, ZHENG Liugen, et al. Cart-based land use/cover classification of remote sensing images. Journal of Remote Sensing (in Chinese), 2005, 9(6): 708-716.

[20] 齐乐，岳彩荣. 基于CART决策树方法的遥感影像分类. 林业调查规划，2011，36(2): 62-66. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2011.02.016.
QI Le, YUE Cairong. Remote sensing image classification based on CART decision tree method. Forest Inventory and Planning (in Chinese), 2011, 36(2): 62-66. doi: 10.3969/j.Issn.1671-3168.2011.02.016.

[21] 丁华君，周玲丽，查贲，等. 2003年夏季江南异常高温天气分析. 浙江大学学报(理学版)，2007，34(1): 100-105，120.
DING Huajun, ZHOU Lingli, ZHA Ben, et al. An analysis on the abnormal high temperature weather in the south Yangtze valley during summer 2003. Journal of Zhejiang University (Science Edition) (in Chinese), 2007, 34(1): 100-105, 120.

[22] TAN Jiangguo, ZHENG Youfei, TANG Xu, et al. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. Int. J. Biometeor., 2010, 54(1): 75-84.

[23] 史军，丁一汇，崔林丽. 华东极端高温气候特征及成因分析. 大气科学，2009，33(2): 347-358.
SHI Jun, DING Yihui, CUI Linli. Climatic characteristics of extreme maximum temperature in East China and its causes. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2009, 33(2): 347-358.

[24] 扈海波，熊亚军. 城市极端高温灾害研究综述. 气象科技进展，2015，5(1): 18-22. doi: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.01.002.
HU Haibo, XIONG Yajun. A research summary of extreme heat wave. Advances in Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2015, 5(1): 18-22. doi: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.01.002.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net