

# 基于 CAST 客观分类的华北平原干热风区划研究

邬定荣, 刘建栋, 刘玲, 姜朝阳

中国气象科学研究院, 北京 100081

**摘要** 干热风是影响华北平原冬小麦生长发育及产量形成的重大农业气象灾害之一, 本文利用华北平原 48 个站点 1961—2008 年逐日气象资料, 分析了近 50 年来各站点的干热风(高温低湿型/雨后青枯型)日数。在此基础上, 运用近年来提出的一种新型分区区划方法, 即统计检验聚类方法(CAST), 对高温低湿型和雨后青枯型 2 种类型的干热风日数构成的要素场分别进行了分区。结果表明: 从地理空间而言, 高温低湿型和雨后青枯型干热风日数总体上呈现中部高南北低的趋势; 从时间发生特征而言, 除南部个别区域有增加趋势外, 高温低湿型干热风日数呈明显的递减趋势, 雨后青枯型干热风日数虽然总体也呈下降趋势, 但局部呈上升趋势的站点数量多于高温低湿型。CAST 分区结果表明, 高温低湿型干热风可分为 5 个区, 雨后青枯型干热风可分为 4 个区。这些分区均合理地反映了以荷载中心为代表的干热风日数随时间和空间的变化, 比传统按等值线分区的方法更具优势。干热风的时空分布特征和利用 CAST 进行的分区为进一步建立干热风监测预警模式奠定了一定的理论和应用基础, 并可为当地农业生产决策提供一定的实际指导。

**关键词** 干热风; 统计检验聚类; 华北平原; 高温低湿型; 雨后青枯型

中图分类号 P49

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.19.001

## Regionalization Study on Dry-hot Windy Days in North China Plain Using CAST Model

WU Dingrong, LIU Jiandong, LIU Ling, JIANG Chaoyang

Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

**Abstract** Dry-hot wind day is one of the main argometeorological disasters which impact the development and yield of winter wheat in the North China Plain (NCP). Using daily meteorological data of 48 weather stations from the year of 1961 to 2008 in the NCP, the dry-hot windy days, that include two types, type one is high temperature and low humidity and type two is immature death after rain, are analyzed. Then by using dry-hot windy days and Cluster Analysis of Statistic Test (CAST), which is a newly developed regionalization method, the dry-hot windy days regionalization is carried out in the NCP. Results show that spatially speaking, both types of dry-hot windy days all present higher in the middle and lower in the south and north; temporally speaking, type one is slightly decrease in the last nearly fifty years, except the individual stations in the south part of the plain. Although type two of dry-hot windy days is also generally decrease in the past, however, the exceptional stations are higher than type one. Results of CAST indicate that for the type one, five regions are divided and for the type two, four regions are divided. Those regionalization results are reasonably reflecting the spatial and temporal changes of dry-hot windy days in those load centers, and CAST is more powerful than conventional regionalization methods. The results could provide the scientific and practical base for developing the monitor and forecast system of dry-hot wind days, and is also able to provide realistic instructions for the decision making on the agricultural managements of the local farmers.

**Keywords** dry-hot windy day; CAST; NCP; high temperature and low humidity; immature death after rain

收稿日期: 2012-05-28; 修回日期: 2012-06-28

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD32B02); 中国气象科学研究院基本科研业务费重点项目(2009Z002)

作者简介: 邬定荣, 副研究员, 研究方向为农业气象资源模拟, 电子信箱: wudr@cams.cma.gov.cn; 刘建栋(通信作者), 研究员, 研究方向为生态模型, 电子信箱: liujd2001@263.net

## 0 引言

干热风是影响中国华北平原冬小麦生长发育及产量形成的重大农业气象灾害之一,常发生于小麦开花和灌浆期,危害严重的年份可使小麦减产高达 10%—20%<sup>[1]</sup>。准确及时的干热风监测预警信息可以为抵御灾害赢得宝贵时间,最大程度地降低灾害造成的经济损失,而基于灾害时空分布特征对灾害进行的区划,是开发建立农业气象灾害监测预警模型的重要前提。因此,对华北平原干热风进行的区划,是目前农业气象灾害研究领域的一项重要研究课题。

建国以来,中国农业气象工作者对于热风的分布特征和区划进行过大量研究。20 世纪 70 年代末至 80 年初,中国曾组织全国研究力量对干热风进行了较为系统的协作研究,得出了适用于各地的干热风指标,在此基础上完成了全国的干热风气候区划<sup>[2]</sup>。此后,处于干热风易发区的省市纷纷系统开展了各自的干热风区划研究,如河北、山东、安徽、山西、陕西和新疆等。林美英<sup>[3]</sup>以干热风年日数和年平均过程为指标,将山东省小麦干热风分成重区、次重区、轻发区和无灾区 4 个分区。根据干热风发生的日数和过程数及轻重年发生次数,杨珍林<sup>[4]</sup>将陕西干热风分为最重区、次重区和轻区等 3 个区。张伯忍<sup>[5]</sup>采用陕西类似方法,将安徽干热风分为次重区、轻区和次轻区 3 个分区。以干热风日数及频率为主要指标,干热风过程次数及年型机遇为辅助指标,简慰民和申明华<sup>[6]</sup>将新疆干热风分为重干热风区、次重干热风区、轻干热风区和无干热风区 4 个分区。在河北,郑剑非和张增福<sup>[7]</sup>根据廊坊干热风发生的严重程度,先划分出重干热风、次重干热风和轻干热风 3 个区一级分区,再在考虑土壤与地下水的基础上划分 4 个二级亚区。基于类似河北干热风分区思想,山西省农业科学院农业气象研究室<sup>[8]</sup>根据干热风的时间分布和地区分布,以及不同地区出现不同类型的干热风天气的频率,将山西干热风划分为重、较重、一般和轻 4 个区,同时考虑地形影响及水地、旱地分布和土壤差异分 10 个二级亚区。

上述干热风的分区研究加深了对干热风发生规律、程度和范围的认识,有助于针对不同的分区制定不同的防御措施,在农业生产上取得了显著实际成效,也为随后区域大范围内干热风监测预警模式的建立提供重要的理论支持和科学依据。但上述研究采用的大都是传统分区方法,即指标多数是区域干热风年日数和年平均过程,它是一种静态的气候特征地理分类,而且这种区划所确定的边界往往带有较多的人为主观因素<sup>[9]</sup>。分区得到的结果多是按干热风日数和过程数划分等值线,或再根据地形及地下水进行调整,未能深入挖掘干热风日数和过程数在空间上的分布格局,也未能体现在时间上的波动特性。

针对传统区划方法的不足,么枕生<sup>[10-11]</sup>提出了统计检验聚类方法(Cluster Analysis of Statistic Test, CAST),克服了以上缺陷,弥补了传统聚类分析中没有显著性检验的缺陷,实现了客观分区。因此,本文拟在对华北平原干热风的总体分

布情况进行较为系统的研究基础上,首次利用统计检验聚类 CAST 方法对其进行客观分区,以期最大程度地揭示出华北平原干热风随时间和空间分布内在格局,为区域大范围内干热风监测预警模式的建立提供重要的理论支持和科学依据。

## 1 资料和方法

本文以华北平原为研究区域,中国气象局国家气象信息中心提供了研究所需的相关区域内北京、石家庄、郑州、济南等 48 个主要台站 1961—2008 年逐日降水量以及 14:00 的气温、湿度和风速资料。干热风主要分为高温低湿型和雨后青枯型两种。高温低湿型发生时温度突升,空气湿度骤降,并伴有较大风速。雨后青枯型的主要特征是雨后猛晴,温度骤升,湿度骤降,引发小麦青枯早熟,导致减产。研究中这两种类型的干热风灾害指标都严格执行中国气象局颁发的小麦干热风灾害等级标准<sup>[12]</sup>:

高温低湿型:最高温度 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ ,14:00 相对湿度 $\leq 30\%$ ,14:00 时 2m 风速 $\geq 3.0\text{m/s}$ 。

雨后青枯型:在一次 $<5\text{mm}$ 的降水过程之后,3 天内(含)14:00 温度 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ ,且风速 $\geq 3.0\text{m/s}$ 。

依据干热风指标统计了上述站点和年份内 5—6 月两种类型干热风发生的日数,采用数据分析和绘图软件 Origin 软件对各站点干热风时间变化特征进行了较为全面的趋势分析,并采用地理信息系统软件 ArcGIS 对干热风的区域分布进行了空间系统分析。

CAST 分区是么枕生提出的统计检验聚类方法,它虽然改变了传统的聚类分析中缺少显著性检验的缺陷,但是在进行区划时聚类中心站的选择缺少完全客观的标准,因此还需要与别的方法配合使用。本文采用 CAST 和 REOF 相结合的办法来确定中心站,在此基础上对高温低湿型和雨后青枯型干热风日数构成的要素进行分区。这种分区及确定中心站方法的有效性已经在气候分区和生产潜力区划中得到了广泛的验证和应用<sup>[13-14]</sup>。

## 2 研究结果

### 2.1 干热风日数

计算出各站点年均干热风日数,按其站点所在的经纬度,在 ArcGIS 中以反距离权重法进行插值,得到华北平原的年均干热风日数,如图 1 所示。可以看出,华北平原各站点的年均高温低湿型干热风日数变化在 0.2—4.1d,平均值为 1.54d,且有较强的区域规律,呈中部高南北两侧低的趋势。高温低湿型干热风日数在平原中部偏北处最高,每年均在 3.0d 以上,平原南部最少,几乎很少发生。南宫、惠民、黄骅、德州一带是干热风高发区域。安徽北部六安、合肥及江苏中北部大部的年均干热风日数都较低,多年平均值在 0.4d 以内。

雨后青枯型干热风日数变化在 0.04—0.67d,平均值为 0.3d。区域分布与高温低湿型的类似,总体上也呈中部高南北

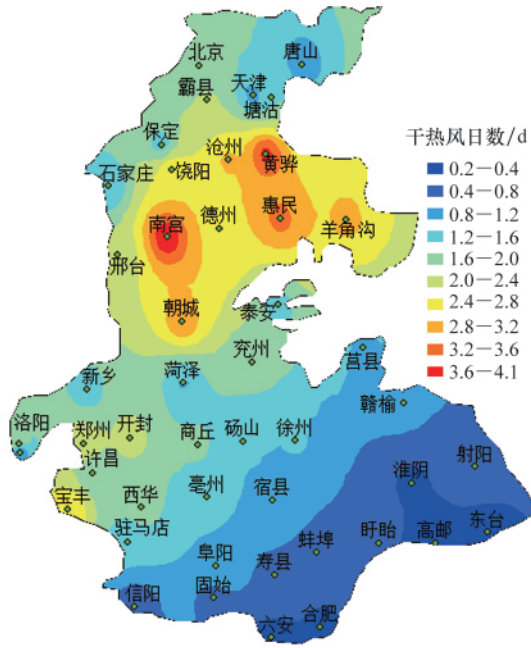


图1 高温低湿型干热风日数  
Fig. 1 Number of dry-hot-wind days with high temperature and low humidity

侧低的趋势,如图2所示。雨后青枯型干热风日数在平原中部偏北处最高,每年约0.5d以上,南宫、惠民、黄骅、德州一带同样也是雨后青枯型干热风的高发区域。平原南北两端最少,发生日数接近于零,基本不会发生。

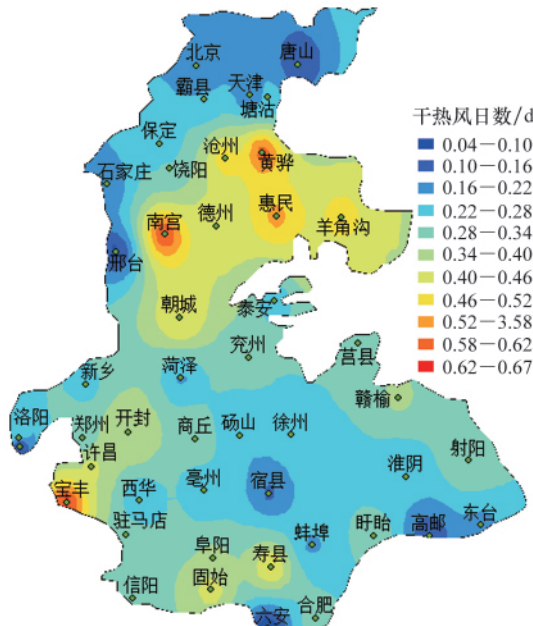


图2 雨后青枯型干热风日数  
Fig. 2 Number of dry-hot-wind days with immature death after rain

## 2.2 高温低湿型干热风 CAST 分区

对高温低湿型干热风日数组成的要素场分别作 REOF 展开,选取5个模态中绝对值最大的站点为聚类中心点,以这些中心点为核心进行聚类,并得到聚类结果。在此基础上,对个别区内站点较少或地理上不连续的站点实施调整,根据实际情况调整为其其他相邻区域,如此最终将华北地区干热风划分为5个具有不同变化特征的区域,并利用地理信息系统软件 ArcGIS 进行空间表达(图3)。为了验证分区结果的合理性,同时计算了各站点干热风的变异系数和直线回归系数,利用 ArcGIS 插值到整个区域并绘图(图4)。

图3是高温低湿型干热风的 CAST 区划结果。其中的分区1位于华北平原的中部和西部,主要是干热风的高发区,同时也是干热风日数渐趋减少的主要区域(图4(a))。该区的荷载中心是德州,荷载值为0.890。分区2位于平原西南部,主要是西南干热风少发区,荷载中心是亳州,荷载值是0.762。分区3主要位于江苏北部,同属干热风少发区,荷载中心是淮阴,荷载值为0.779。分区4是平原北部和东北部,包括黄骅、惠民等高发区和唐山等轻发区,这个区域的特点是干热风日数变异较大(图4(b)),多年呈微弱下降趋势(图4(a))。分区4的荷载中心是塘沽,荷载值为0.781。分区5位于平原最南端,这个区的特点是干热风极少发生,变异较大,但多年呈微弱增加趋势,其荷载中心为合肥,荷载值为0.766。

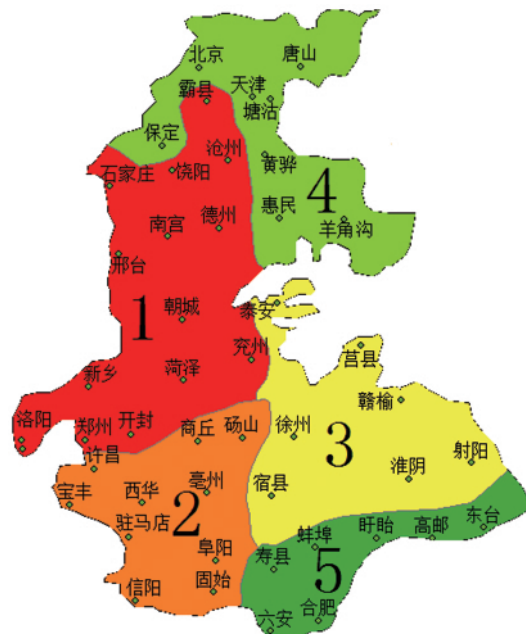


图3 高温低湿型干热风的 CAST 区划  
Fig. 3 Regionalization result of dry-hot-wind days with high temperature and low humidity using CAST

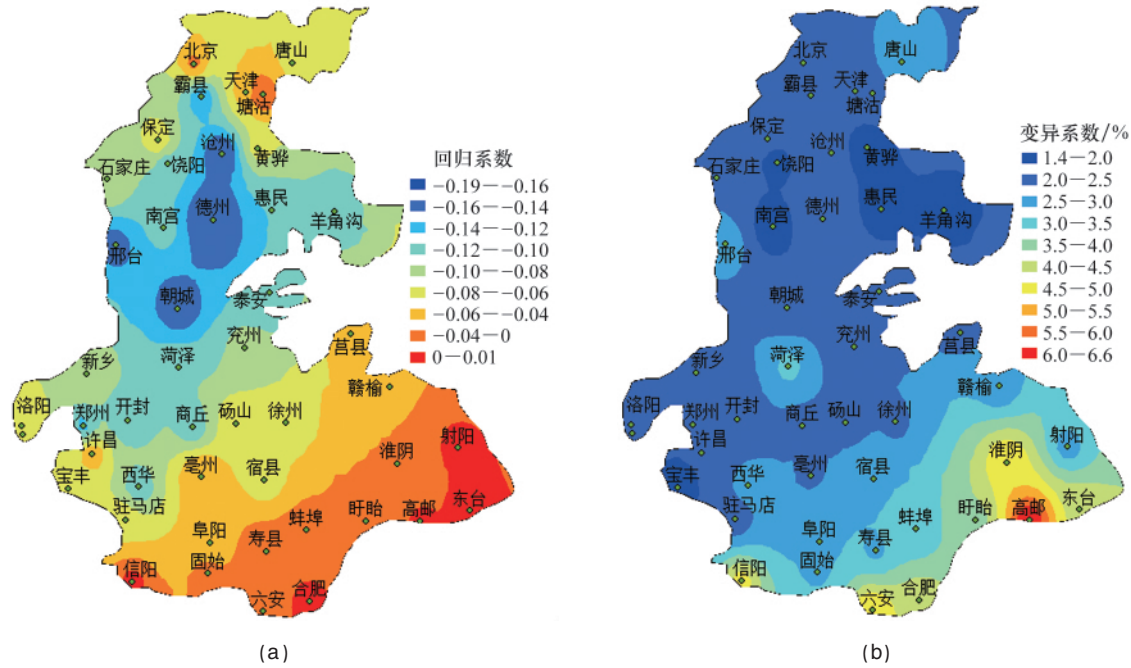


图 4 高温低湿型干热风的回归系数 (a) 和变异系数 (b)

Fig. 4 Regression coefficients (a) and linear variation coefficients (b) of dry-hot-wind days with high temperature and low humidity

2.3 雨后青枯型干热风 CAST 分区

与对高温低湿型干热风日数的计算过程相同,对雨后青枯型干热风日数组成的要素场进行了 REOF 展开, 选取 5 个模态中绝对值最大的站点为聚类中心点, 以这些中心点为核心进行聚类, 得到聚类结果, 并根据实际情况调整为 4 个具有不同变化特征的区域 (图 5)。同样也计算了各站点干热风的变异系数和直线回归系数, 利用 ArcGIS 插值到整个区域并绘图 (图 6)。

图 5 是雨后青枯型干热风的 CAST 区划结果。分区 1 位于平原中南部, 是雨后青枯型干热风的少发区, 变异系数也属中低水平, 但多年呈略微增加的趋势。其荷载中心是亳州, 荷载值是 0.814。分区 2 位于平原北部, 是干热风的高发区 (图 5), 即南宫、黄骅、惠民一带。此区干热风的变异系数总体较低 (图 6(a)), 多年呈减少趋势 (图 6(b)), 其中呈增加趋势的站点如保定、南宫等是由分区后不连续的站点调整而来。分区 2 的荷载中心为沧州, 荷载值为 0.725。分区 3 位于平原最

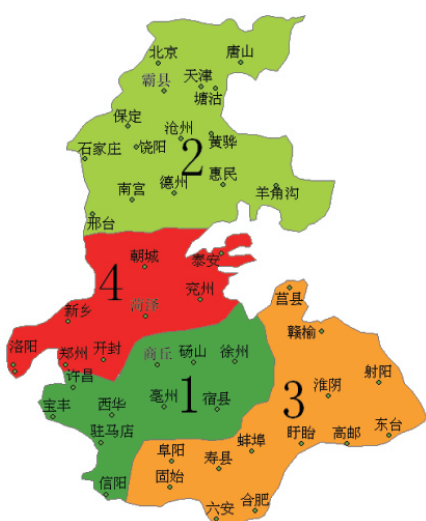


图 5 雨后青枯型干热风的 CAST 区划

Fig. 5 Regionalization result of dry-hot-wind days with immature death after rain using CAST

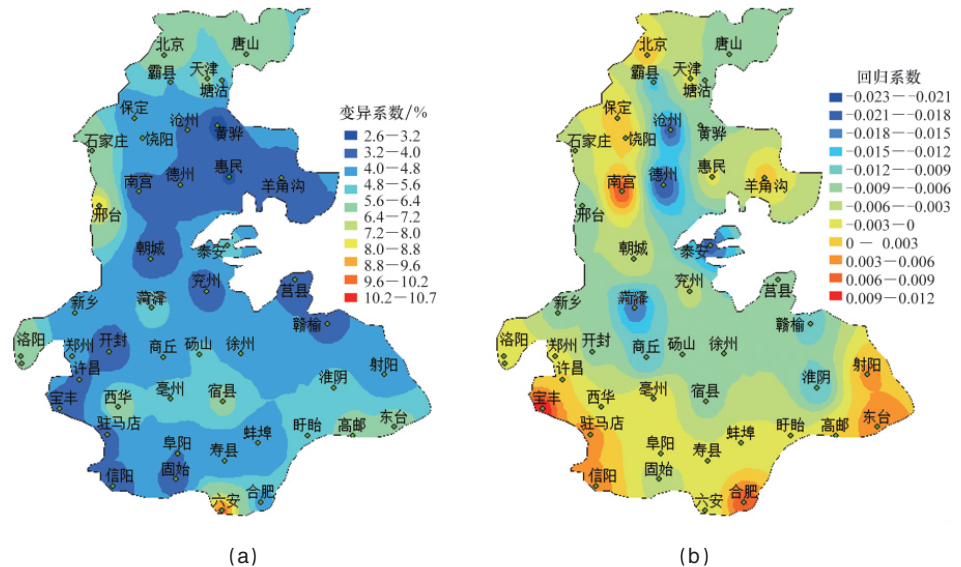


图 6 雨后青枯型干热风的变异系数 (a) 和回归系数 (b)

Fig. 6 Variation coefficients (a) and linear regression coefficients (b) of dry-hot-wind days with immature death after rain

南端,以及江苏北部,是干热风的少发区,多年呈略微增加的趋势。分区4位于平原中段,是干热风中等发生程度的区域,其变异系数和多年趋势也处于中间水平。分区4的荷载中心是兖州,荷载值是0.645。

图1和图2可以看作是传统区划方法对高温低湿型干热风和雨后青枯型干热风分区的结果。图3和图5是利用新型CAST方法的分区结果。比较图1和图3,以及图2和图5,可以看出差异均较大。这主要是传统分区方法和CAST区划方法不同所致。传统分区方法的特点是高值区低值区一目了然,清楚直观,但未挖掘出产量数据的内在规律。CAST分区结果则更多体现了干热风日数的内在客观规律,如日数的增减趋势,以及变异系数和增减趋势等。总体看,CAST正确地反应了冬小麦干热风日数的区域分布规律,比按等值线分区的传统方法更能反应干热风日数随时间和空间变化的内在趋势。

### 3 讨论和结论

本文根据中国气象局制定的干热风行业标准,利用北京、济南等48个气象站点1961—2008年的历史气象数据,逐站点统计高温低湿型干热风和雨后青枯型干热风的日数,并对这两种类型干热风日数构成的要素场进行CAST统计聚类分区,得到结论如下。

(1) 华北平原高温低湿型干热风日数变化为0.2—4.1d,平均值为1.54d,雨后青枯型干热风日数变化在0.04—0.67d,平均值为0.3d。空间分布上,两种类型的干热风日数都是中部高南北两侧低;从时间变化上,除个别站点外,高温低湿型干热风日数呈明显减少趋势。雨后青枯型干热风日数总体也呈下降趋势,但呈上升趋势的站点数略多于高温低湿型。

(2) 根据CAST分区的结果,将华北平原高温低湿型干热风分了5个区,雨后青枯型干热风分为4个区。各分区均具有不同的、以荷载中心为代表的干热风日数及年际变化特征。因此,这种分区较为合理地反映了以荷载中心为代表的干热风日数数值大小,以及随时间和空间变化的趋势,具有传统按等值线分区方法不可比拟的优势。

(3) 研究中发现,这种方法目前仍存在一个较小的局限性,即由于在统计聚类过程中,需要对时间序列的方差为分母,如果方差为0,则计算溢出,因此不能处理方差为0的时间序列。遇到这类数据时,需要在尽量减少对聚类结果影响的前提下,对原始数据进行一定的处理。

#### 参考文献 (References)

- [1] 小麦干热风科研协作组. 北方小麦干热风气候区划 [J]. 气象, 1981(5): 11-15.  
The Cooperated Research Group on Dry-Hot-Wind in Wheat. *Meteorological Monthly*, 1981(5): 11-15.
- [2] 北方十三省(市)小麦干热风科研协作组. 小麦干热风伤害机理的研究 [J]. 作物学报, 1984, 10(2): 105-112.  
The Cooperated Research Group on Dry-Hot-Wind Injury in Wheat in

- Thirteen Provinces and Municipalities in North China. *Acta Agronomica Sinica*, 1984, 10(2): 105-112.
- [3] 林美英. 山东省小麦干热风气候区划[J]. 山东气象, 1982(1): 18-22.  
Lin Meiyang. *Journal of Shandong Meteorology*, 1982(1): 18-22.
- [4] 杨珍林. 陕西省小麦干热风指标及区划[J]. 陕西气象, 1982(4): 7-9.  
Yang Zhenlin. *Journal of Shaanxi Meteorology*, 1982(4): 7-9.
- [5] 张伯忍. 安徽省小麦干热风气候分析及区划的研究[J]. 安徽农业科学, 1986(1): 48-55.  
Zhang Boren. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 1986(1): 48-55.
- [6] 简慰民, 申明华. 新疆干热风区划[J]. 新疆农业科学, 1981(3): 21-24.  
Jian Weimin, Shen Minghua. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 1981(3): 21-24.
- [7] 郑剑非, 张增福. 廊坊地区干热风指标的确定及其区划[J]. 气象, 1979(9): 28-30.  
Zheng Jianfei, Zhang Zengfu. *Meteorological Monthly*, 1979(9): 28-30.
- [8] 山西省农业科学院农业气象研究室. 山西省小麦干热风的农业气候分析及区划[J]. 中国农业气象, 1980(4): 76-80.  
Agrometeorological Research Laboratory, Shanxi Academy of Agricultural Sciences. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1980(4): 76-80.
- [9] 刘晶森, 申红艳, 丁裕国, 等. 京津冀地区冬小麦气候生产潜力的一种动态区划[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(6): 1-5.  
Liu Jingmiao, Shen Hongyan, Ding Yuguo, et al. *Journal of Meteorology and Environment*, 2010, 26(6): 1-5.
- [10] 么枕生. 用于数值分类的聚类分析[J]. 海洋与湖沼通报, 1994(2): 1-12.  
Yan Zhensheng. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1994(2): 1-12.
- [11] 么枕生. 聚类统计检验用于气候分类[M]//气候学研究: 气候理论与应用. 北京: 气象出版社, 1997: 85-94.  
Yao Zhensheng. Cluster analysis with statistic test used for climate classification [M]// *Climatology Research: Climate Theory and Application*. Beijing: Meteorology Press, 1997: 85-94.
- [12] 中国气象局政策法规司. 气象行业标准汇编 [M]. 北京: 气象出版社, 2007: 547-555.  
Department of Policy and Regulations, Chinese Meteorological Administration. Assembly of meteorological industry-standard [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 547-555.
- [13] 丁裕国, 梁建茵, 刘吉峰. EOF/PCA 诊断气象变量场问题的新探讨[J]. 大气科学, 2005, 29(2): 307-313.  
Ding Yuguo, Liang Jianyin, Liu Jifeng. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2005, 29(2): 307-313.
- [14] 刘吉峰, 李世杰, 丁裕国, 等. 近几十年我国极端气温变化特征分区方法探讨[J]. 山地学报, 2006, 24(3): 291-297.  
Liu Jifeng, Li Shijie, Ding Yuguo, et al. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(3): 291-297.

(责任编辑 朱宇)

#### 《科技导报》“卷首语”栏目征稿

“卷首语”栏目每期邀请一位中国科学院院士和中国工程院院士就重大科技现象、事件,以及学科发展趋势、科学研究热点和前沿问题等,撰文发表个人的见解、意见和评论。本栏目欢迎院士投稿,每篇文章约2000字,同时请提供作者学术简历、工作照和签名电子文档。投稿邮箱:kjdbbjb@cast.org.cn。