

DOI: 10.5846/stxb201708281553

李森, 韩丽娟, 郭安红, 李茂松, 王纯枝, 李祎君. 1961—2015 年黄淮海地区冬小麦干热风灾害时空分布特征. 生态学报, 2018, 38(19): - .  
Li S, Han L J, Guo A H, Li M S, Wang C Z, Li Y J. Spatial-temporal characteristics of dry-hot wind for winter wheat in Huang-Huai-Hai region from 1961 to 2015. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(19): - .

# 1961—2015 年黄淮海地区冬小麦干热风灾害时空分布特征

李 森<sup>1</sup>, 韩丽娟<sup>1,\*</sup>, 郭安红<sup>1</sup>, 李茂松<sup>2</sup>, 王纯枝<sup>1</sup>, 李祎君<sup>1</sup>

1 国家气象中心, 北京 100081

2 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081

**摘要:**干热风是影响北方小麦后期生长和产量形成的重大气象灾害之一, 在黄淮海地区主要有高温低湿型和雨后青枯型两种类型。利用黄淮海冬麦主产区 65 个站点 1961—2015 年的逐日气象数据和冬小麦生育期资料, 综合分析了过去 55 a 该地区干热风日数和干热风过程的总体时空分布与变化特征。结果表明: (1) 年平均干热风日数、过程次数高值区位于河北中南部、河南北部、山东北部和西部等地, 其中河北中南部为黄淮海地区的干热风重发区。(2) 干热风多年平均初日和最早初日的空间分布均呈从南向北、从内陆到沿海逐渐推后的特征; 随着小麦灌浆成熟进程, 干热风发生日数呈逐渐增多趋势, 灌浆中后期干热风日数多、程度重, 是干热风危害的集中期和防御关键期。(3) 黄淮海地区干热风日数、过程次数总体均呈减少趋势, 其中重干热风日数、重过程次数减少趋势更为明显; 从地区差异来看, 冀东南、鲁西北、豫东北等地减少趋势更为明显。但在气候变暖背景下, 极端天气气候事件频发, 部分年份仍存在发生较重干热风的可能, 如 2001 年区域平均干热风日数达 8.1 d, 成为 1961—2015 年干热风日数最多的年份, 因此对干热风的防御仍需引起足够的重视。

**关键词:**黄淮海地区; 冬小麦; 干热风; 时空特征

## Spatial-temporal characteristics of dry-hot wind for winter wheat in Huang-Huai-Hai region from 1961 to 2015

LI Sen<sup>1</sup>, HAN Lijuan<sup>1,\*</sup>, GUO Anhong<sup>1</sup>, LI Maosong<sup>2</sup>, WANG Chunzhi<sup>1</sup>, LI Yijun<sup>1</sup>

1 National Meteorological Center, Beijing 100081, China

2 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

**Abstract:** Dry-hot wind is one of the major meteorological hazards in Huang-Huai-Hai region, which commonly occurs at the filling stage of winter wheat and can severely influence the wheat growth and yield. There are two types of dry-hot wind in Huang-Huai-Hai region: 1) high temperature with low humidity and 2) wilting heat after rain. By using daily meteorological data (daily maximum temperature, relative humidity at 14:00, wind speed at 14:00, and daily precipitation) and winter wheat growth data of 65 stations in Huang-Huai-Hai region from 1961 to 2015, the spatial-temporal characteristics of dry-hot wind in the past 55 years was analyzed. The results showed that both the dry-hot wind days and process times were higher in central-south Hebei province, north Henan province, and west and north Shandong province in Huang-Huai-Hai region; among these areas, central-south Hebei province was the most severely affected area. It was found that both the average first occurrence day and the earliest first occurrence day of dry-hot wind was gradually delayed from south to north and from inland to coast. Dry-hot wind days increased gradually with the grain filling process of

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(201506019);国家重点研发计划(2017YFD0300101)

收稿日期:2017-08-28; 网络出版日期:2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaojua7801@sina.com

winter wheat; thus, the mid and late phases of grain filling were identified as the critical resistance stages to dry-hot wind. Both the annual average days and process times of dry-hot wind showed decreasing trend from 1961 to 2015 in Huang-Huai-Hai region, especially the severe dry-hot wind days and severe process times decreased more obviously. Among of which, the decreasing trend was more obviously in southeast Hebei province, northwest Shandong province and northeast Henan province. It should be noted that extreme climate events occur frequently under the background of climate warming, and extreme dry-hot wind events may occur in some regions under certain conditions. For example, the average number of dry-hot wind days in Huang-Huai-Hai region was 8.1d in 2001, which was the maximum record from 1961 to 2015 in this region. It should be taken into account for the prevention of dry-hot wind in wheat planting.

**Key Words:** Huang-Huai-Hai region; winter wheat; dry-hot wind; spatial-temporal characteristics

干热风是我国北方小麦扬花灌浆期间出现的一种高温、低湿并伴有一定风力的灾害性天气,主要分为高温低湿型、雨后青枯型、旱风型 3 种类型<sup>[1]</sup>。高温低湿型在小麦扬花灌浆过程中都可能发生,多发生在开花后 20d 左右至蜡熟期,气温突升,空气湿度骤降,并伴有较大风速。雨后青枯型发生在小麦成熟前 10d 内,其特征是雨后猛晴,气温骤升,湿度剧降,造成小麦热枯逼熟。旱风型主要发生在新疆和西北黄土高原的多风地区,干旱年份出现较多,风速大、湿度低,并与一定高温配合,使叶片失水卷缩甚至撕裂破碎。干热风发生时,小麦叶片叶绿素含量和光合速率下降,受精结实率降低,灌浆速度下降、灌浆期缩短,从而导致减产,危害轻的年份减产 10% 以下,严重年份减产 10%—20% 甚至更多<sup>[2]</sup>。黄淮海地区是我国冬小麦主产区,也是干热风危害最重、影响范围最广的区域,该地区干热风主要有高温低湿和雨后青枯两种类型<sup>[1]</sup>。近 10a (2006—2015 年),该区域冬小麦种植面积占全国冬小麦面积的 71%,产量则占全国的 80%<sup>[3]</sup>,该区域小麦产量的多少直接影响全国粮食总产水平,分析干热风灾害发生规律与时空演变特征,对冬小麦安全生产、防灾减损和提质增效具有重要意义。

我国有关干热风的研究开始于 20 世纪 50 年代后期,20 世纪 80 年代初,北方 13 省(市)小麦干热风科研协作组针对干热风伤害机理、气象指标、气候区划、预报方法、防御技术等进行了联合攻关,为后来开展相关研究奠定了基础<sup>[1,4-9]</sup>。其后人们针对省级或地市级尺度的干热风发生演变规律、风险区划、预测防御等开展了较多研究<sup>[10-26]</sup>,针对省级以上尺度的研究相对较少<sup>[27-30]</sup>,多数研究表明黄淮海地区干热风发生频率总体呈减少趋势。干热风影响定量评估技术仍处于探索阶段,刘静<sup>[31]</sup>建立了干热风灾损评估模型,用于评估宁夏引黄灌区春小麦干热风影响;朱玉洁<sup>[32]</sup>探讨了基于作物模型的干热风灾损提取方法;赵俊芳<sup>[33]</sup>对黄淮海地区冬小麦干热风灾损分离提取方法进行了探讨;李颖<sup>[34]</sup>对基于遥感的大面积干热风灾害监测评估进行了尝试,这些研究对干热风灾害的科学防御提供了技术支撑。

作为一种农业气象灾害,干热风与小麦生育期紧密关联,其影响也并非单一类型干热风作用的结果,已有研究通常只考虑单一类型干热风<sup>[11-23,29-30]</sup>,或将高温低湿型和青枯型分开分析<sup>[25-27]</sup>,难以全面评价干热风总体特征,研究时段也多以自然旬月划定<sup>[11-19]</sup>,虽然能反映其发生规律,但与小麦实际发育期吻合度有所欠缺,可能造成统计样本缺失,或部分扬花灌浆期以外的干扰样本影响分析结果。本文基于公认的干热风灾害指标,以及气象和冬小麦生育期观测资料,对黄淮海冬小麦主产区高温低湿和雨后青枯两种类型干热风的总体发生规律进行研究,以期更好地揭示黄淮海地区干热风灾害的时空演变特征,为区域大范围干热风监测预警及防御提供参考。

## 1 资料与方法

研究区域为黄淮海冬小麦主产区,包括河北中南部、北京、天津、山东,以及河南、安徽和江苏 3 省淮河以北地区,基于区域内 65 个农业气象观测站的资料进行干热风时空特征分析(图 1)。所用气象资料为 1961—2015 年共 55a 的逐日最高气温、14:00 相对湿度、14:00 风速、降水量数据,作物资料为 1981—2015 年的冬小

麦发育期数据,以上资料均来自国家气象信息中心。

通常采用日最高气温、14:00 相对湿度和 14:00 风速组合确定干热风日,用不同等级干热风日的天数组合确定干热风过程。高温低湿型干热风日指标为,轻度:日最高气温 $\geq 32^{\circ}\text{C}$ 、14:00 相对湿度 $\leq 30\%$ 、14:00 风速 $\geq 2\text{ m/s}$ ;重度:日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 、14:00 相对湿度 $\leq 25\%$ 、14:00 风速 $\geq 3\text{ m/s}$ <sup>[1]</sup>。雨后青枯型干热风日指标为,小麦成熟前 10 d 内,有 1 次小到中雨,雨后猛晴,3d 内有 1d 日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 、14:00 相对湿度 $\leq 40\%$ 、14:00 风速 $\geq 3\text{ m/s}$ <sup>[1]</sup>。根据小麦千粒重降低标准<sup>[1]</sup>,将青枯型干热风日记为重干热风日,进行干热风日数和过程的综合分析。干热风过程的判定方法见表 1<sup>[1-2]</sup>。

干热风危害发生在小麦生育后期,籽粒形成期至成熟前的 30 d 内,主要受害时期是灌浆中后期<sup>[1]</sup>,本研究分析时段为成熟前的 30 d,而不局限于自然旬月时间。1961—1980 年无发育期资料,分析时用 1981—2015 年发育期计算各站平均发育日期,以发育期常年值确定干热风分析时段。

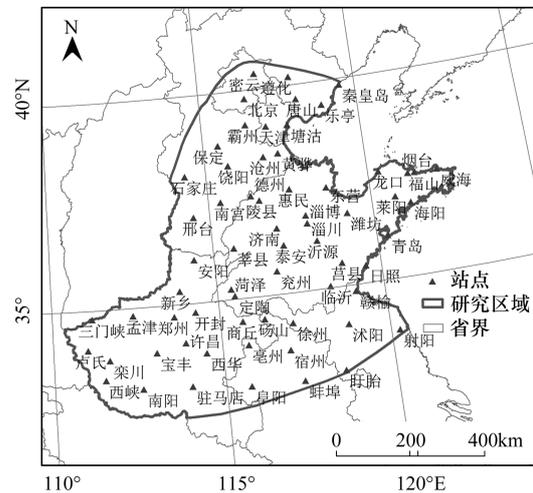


图 1 研究区域与代表站点分布

Fig.1 Study area and the distribution of meteorological stations

表 1 干热风过程等级指标

Table 1 Index of dry-hot wind process

等级 Grade	指标 Index
轻 Light	除重干热风过程所包括的轻干热风日外,连续出现 $\geq 2$ d 轻干热风日;或 1 轻 1 重连续 2 d 干热风日;或出现 1 d 重干热风日
重 Severe	在 1 次干热风天气过程中出现 $\geq 2$ d 重干热风日,或 1 个重日加 2 个及以上轻日

利用 Excel、VB.net 程序进行数据处理与计算,其中干热风日数和干热风过程变化的气候倾向率采用线性回归方法确定<sup>[35-36]</sup>,空间分布图利用 Arc Map 反距离权重插值模块制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 干热风日时空特征

#### 2.1.1 干热风日数空间分布

干热风年平均日数是反映干热风强度和危害轻重的基本特征值,与小麦灌浆速率下降关系密切,通常干热风日数愈多,危害愈重<sup>[1]</sup>。从图 2 可以看出,河北大部、山东中北部、河南北部年平均干热风日数在 3 d 以上,其中河北中南部的石家庄、保定、沧州西部、衡水、邢台等地区年平均干热风日数达 5.0—6.5 d,是黄淮海冬麦区出现干热风最多的地区。从轻、重干热风日数分布来看,京津冀、山东北部、河南东北部平均轻干热风日数为 2.0—3.6 d,河北中南部、鲁西北重干热风日数则有 2.0—3.1 d。

图 3、图 4 分别为黄淮海地区干热风年平均日数频率与保证率空间分布。黄淮海地区大部年平均出现 1—4 d 干热风的频率最高,其中河南大部、苏皖北部、山东中西部大部和半岛北部频率超过 50%;河北中南部出现 1—4 d 的频率为 40%—50%,有 30%—40%的年份出现 5—8 d 干热风,另有 10%—20%的年份可能出现 9 d 以上的干热风天气,为干热风天气多发区(图 3)。京津冀、山东中部和北部、河南中部和北部年干热风日数 80%保证率的日数为 1—4 d,在河北中南部的保定、石家庄东部、沧州西部、衡水西部、邢台等地有 50%保证率出现 5—8 d 干热风(图 4)。

#### 2.1.2 干热风时间分布

了解干热风发生初日与集中出现时期,对于提前做好干热风防御具有重要意义。根据各站点 1961—

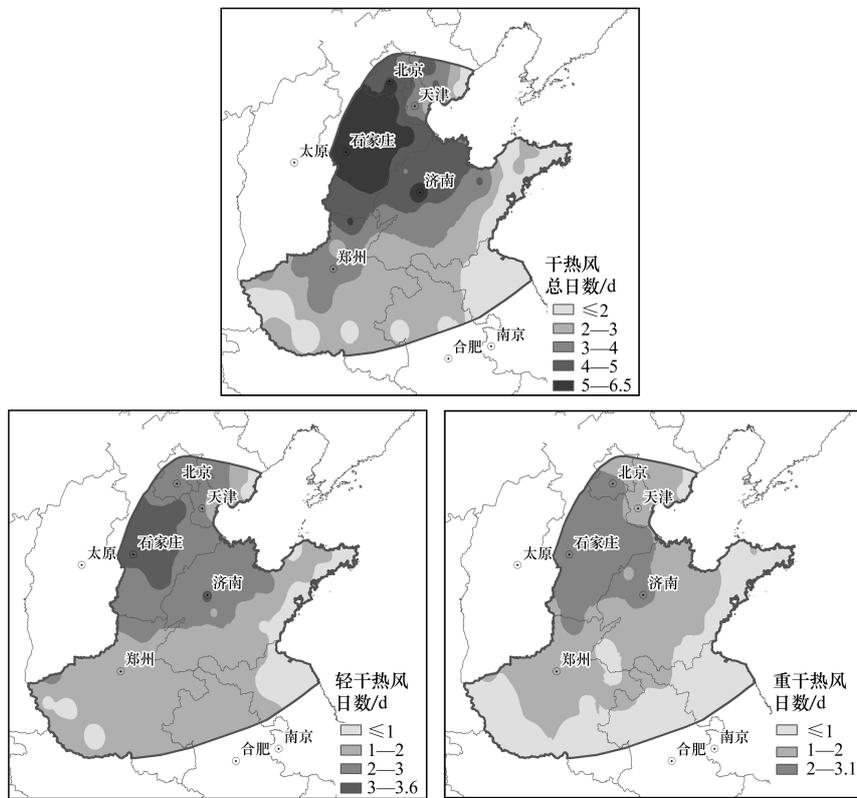


图 2 年平均干热风日数分布 (1961—2015)

Fig.2 Distribution of yearly average dry-hot wind days (1961—2015)

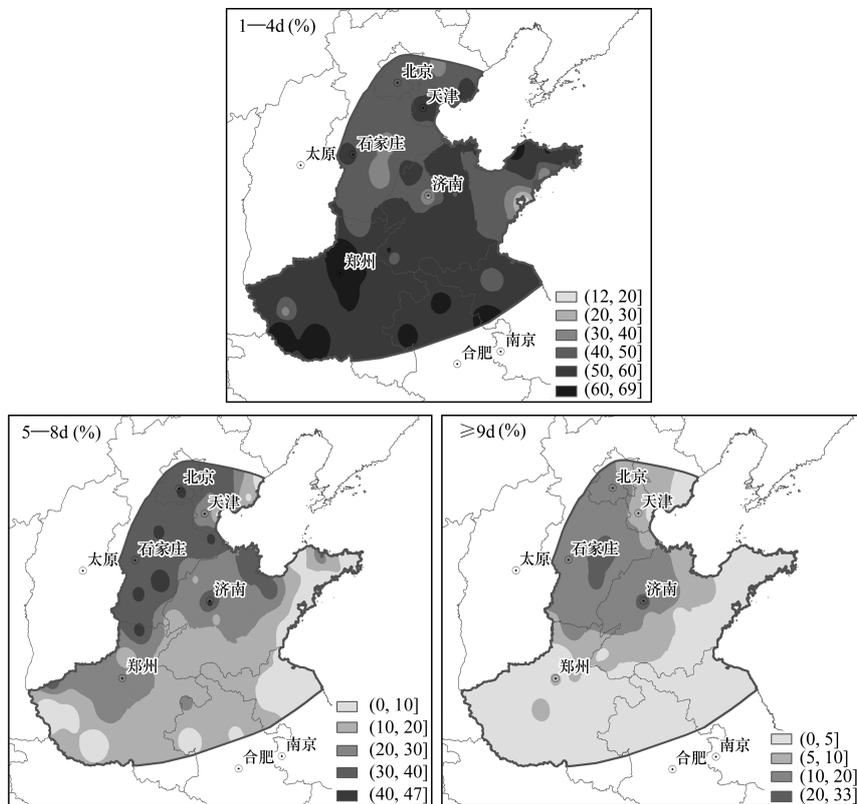


图 3 年干热风日数频率分布 (1961—2015)

Fig.3 Distribution of different day level occurrence frequency of dry-hot wind (1961—2015)

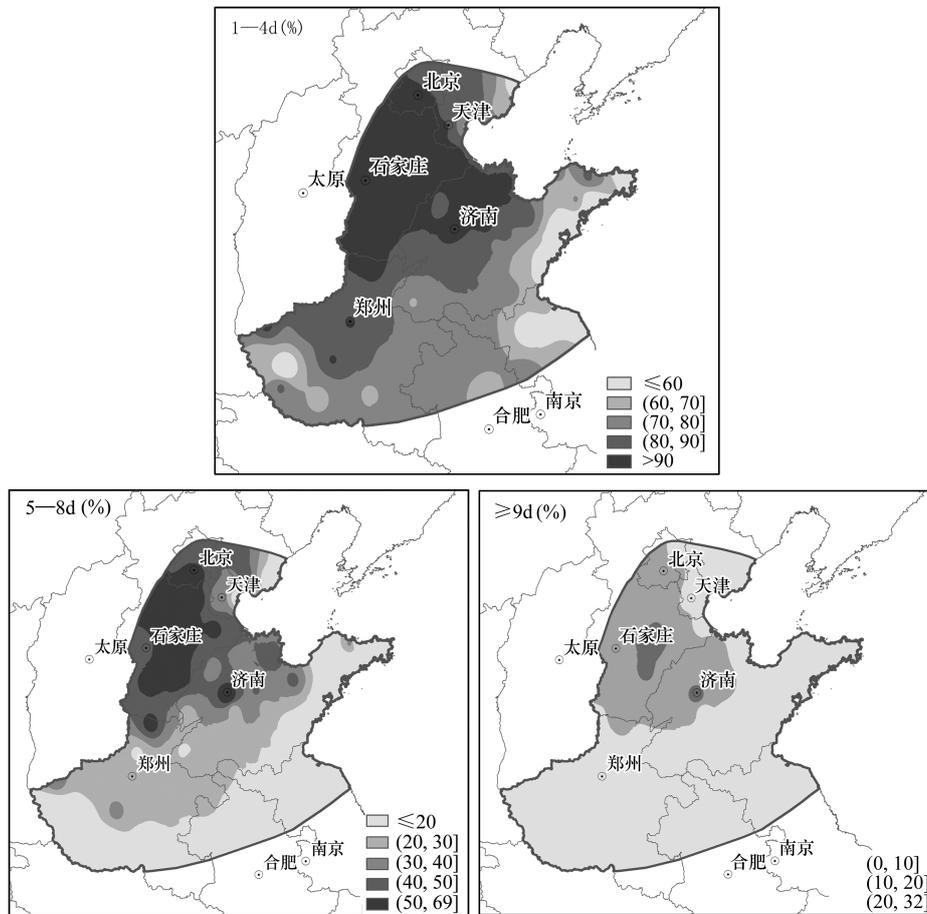


图 4 年干热风日数保证率分布 (1961—2015)

Fig.4 Distribution of different day level occurrence guarantee rate of dry-hot wind (1961—2015)

2015 逐年干热风发生初日,统计计算干热风平均初日、最早初日并绘制空间分布图。受到冬小麦进入灌浆期的早晚、内陆沿海差异、地形地势等因素的影响,干热风平均初日总体从南向北、从西向东逐渐推迟,豫西、豫南出现最早(5 月 16 日—20 日),山东半岛东部和冀东北最晚(5 月 31 日—6 月 4 日),其他地区一般在 5 月 21 日—30 日(图 5)。干热风最早初日空间分布特征与平均初日较为相似,豫西、豫南最早(4 月下旬),山东半岛东部和冀东北最晚(5 月 16 日以后),其他地区一般在 5 月 1 日—15 日(图 6)。

统计 1961—2015 年冬小麦成熟前 30 d 内逐候(生育进程 5 d)干热风出现的日数及比例(表 2),可以看出随着时间推移,干热风轻日数、重日数和总日数比例均呈逐候增多趋势,第 4—6 候干热风轻日、重日和总日数发生比例分别为 73.5%、93.1%和 81.1%,尤其重干热风日,有 86.9%出现在成熟前 10 d 内(第 5—6 候)。干热风日数随时间变化的特征,与春末夏初北方雨季来临前多晴少雨、气温迅速回升的天气背景密切相关,也说明灌浆中后期是干热风危害集中期和防御关键期,成熟前 10 d 内尤其注意防范雨后青枯型干热风引起的早衰逼熟。

表 2 干热风日数逐候分配比例(1961—2015) (%)

Table 2 Ratio of dry-hot wind days of each pentad (1961—2015) (%)

等级 Grade	第 1 候 1 <sup>st</sup> pentad	第 2 候 2 <sup>nd</sup> pentad	第 3 候 3 <sup>rd</sup> pentad	第 4 候 4 <sup>th</sup> pentad	第 5 候 5 <sup>th</sup> pentad	第 6 候 6 <sup>th</sup> pentad
轻日 Light dry-hot wind days	5.5	8.5	12.5	17.9	24.4	31.2
重日 Severe dry-hot wind days	1.1	1.9	4.0	6.2	36.6	50.3
轻日+重日 Total dry-hot wind days	3.8	5.9	9.2	13.3	29.2	38.6

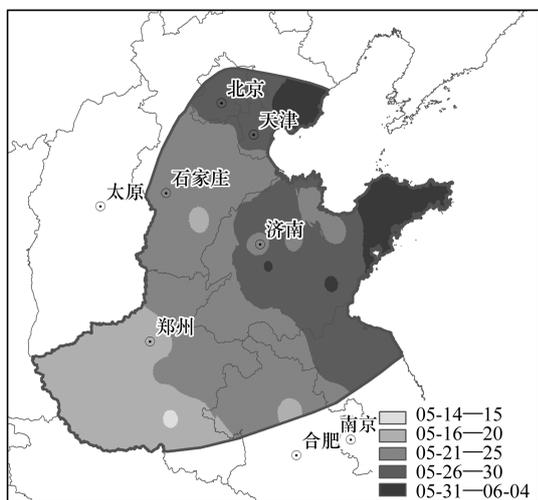


图 5 干热风平均初日分布 (1961—2015)

Fig.5 Distribution of average first occurrence day of dry-hot wind (1961—2015)

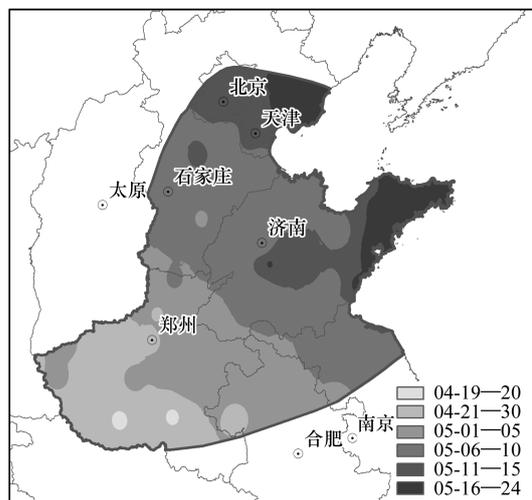


图 6 干热风最早初日分布 (1961—2015)

Fig.6 Distribution of the earliest first occurrence day of dry-hot wind (1961—2015)

### 2.1.3 干热风日数时空变化

将一年内所有站点的轻、重干热风日数及干热风总日数分别累计并求其平均值,绘制时间序列图(图 7)。可以看出,1961—2015 年期间,黄淮海地区干热风日数总体呈减少趋势,其中重干热风日数下降趋势更明显,轻干热风则无明显变化趋势。从年代际对比来看,20 世纪 60 年代平均干热风日数最多,影响最重,90 年代平均日数最少,影响最轻,其中有 4 a 区域平均干热风日数超过 6 d,分别是 1962 年(6.2 d)、1965 年(6.8 d)、1967 年(6.1 d)、2001 年(8.1 d),2001 年为 1961—2015 年干热风日数最多的年份。

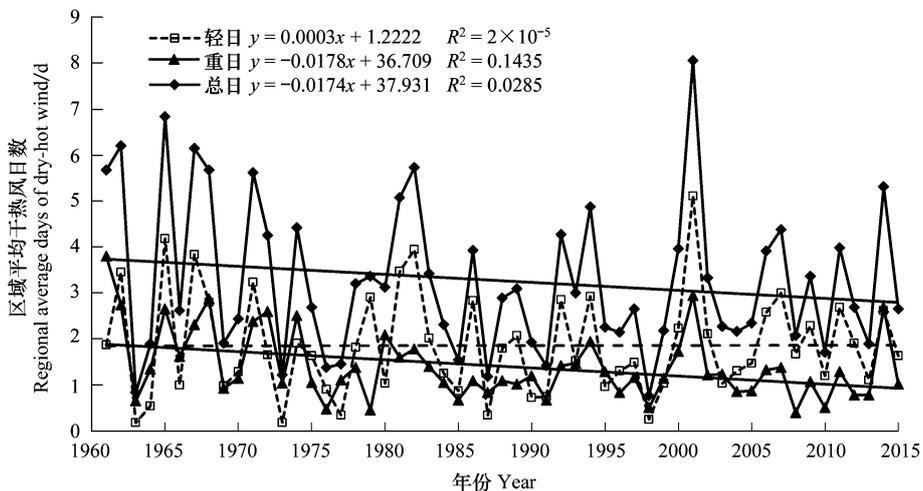


图 7 黄淮海地区年平均干热风日数变化趋势 (1961—2015)

Fig.7 Trend of yearly average days of dry-hot wind in Huang-Huai-Hai region (1961—2015)

取各站点 1961—2015 年逐年干热风日数,分站点计算其气候倾向率并绘制成图,用以表征各地干热风日数的增减趋势(图 8)。黄淮海冬麦区大部干热风日数呈减少趋势,其中山东西部和北部、河北东南部、河南东北部等地减少趋势更为明显;豫西南、京津和冀东北等地呈增加趋势,其中天津增加趋势较为明显。干热风日数的时空变化特征说明该地区干热风威胁总体在减轻,其中在多发区、危害集中区减轻趋势更为明显。

### 2.2 干热风过程时空特征

#### 2.2.1 过程次数空间分布

干热风年平均过程次数也是干热风强度和危害程度的重要特征值,是干热风日数、过程极端最高气温、最低相对湿度,以及持续危害高温的综合体现。通常一个地区年干热风过程次数越多,过程强度越强,对小麦造成的危害也越重。干热风年平均过程次数的空间分布趋势(图 9),与日数分布总体是一致的,京津冀大部、山东北部、豫北部分地区年平均干热风过程次数超过 1.5 次,其中河北中部年均过程次数为 2.0—2.4 次,为干热风过程次数最多的地区,豫西南和豫东南、苏皖北部、鲁东南和半岛地区年平均过程次数少于 1 次。

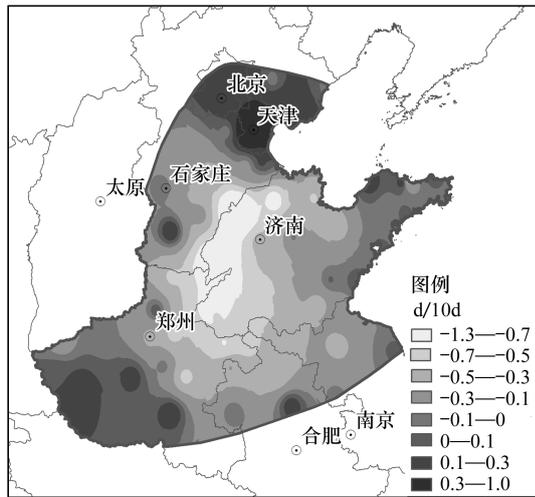


图 8 干热风日数气候倾向率分布 (1961—2015)

Fig.8 Distribution of climate trend rate of dry-hot wind days (1961—2015)

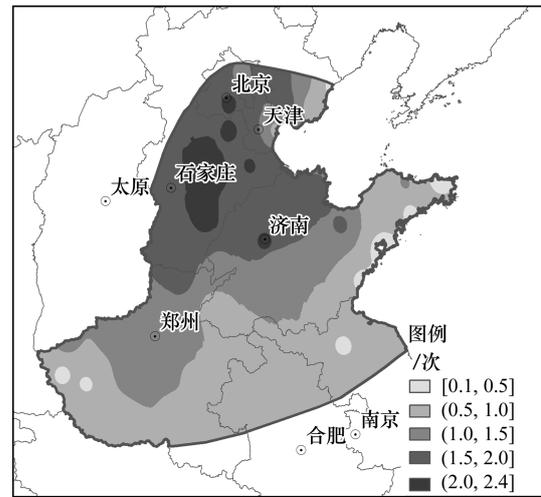


图 9 年平均干热风过程次数分布 (1961—2015)

Fig.9 Distribution of yearly average dry-hot wind process times (1961—2015)

#### 2.2.2 干热风过程时空变化

从黄淮海地区年平均干热风过程次数时间序列图可以看出(图 10),1961—2015 年期间,黄淮海地区干热风过程次数总体呈减少趋势,其中重过程次数下降趋势明显,轻过程次数的下降趋势不显著。干热风年平均过程次数与年平均日数变化趋势的一致性,表明干热风过程次数与日数之间有极为密切的相关性和同步

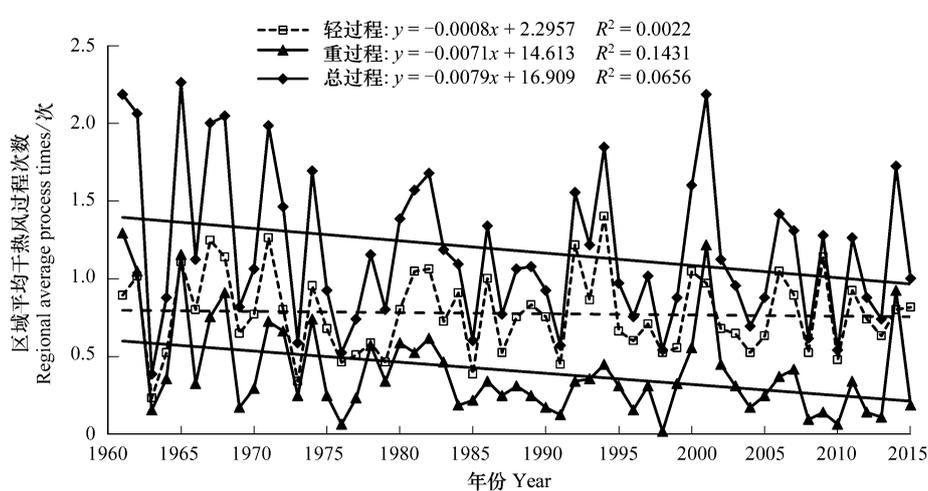


图 10 黄淮海地区年平均干热风过程次数变化趋势 (1961—2015)

Fig.10 Trend of yearly average dry-hot wind process times in Huang-Huai-Hai region (1961—2015)

性,日数越多,过程次数越多。干热风过程次数变化趋势的空间分布与日数变化趋势的空间分布也较为一致,大部地区呈减少趋势,其中鲁西北、冀东南、豫东北等地减少趋势更为明显,京津、豫西南等地则呈弱增多趋势(图 11)。

### 2.2.3 干热风过程持续日数

干热风过程强弱还反映在过程持续日数上,持续日数越多,过程越强。一般来说,持续 2d 的干热风可使局部麦田受害,持续 3—4 d 可使 1/3—1/2 的地块受害,持续 5—9 d 小麦基本都会受害,处于乳熟—蜡熟的小麦就该收获了,若持续 10d 以上不论处在哪个灌浆阶段都能普遍干枯提前收获<sup>[7]</sup>。统计 1961—2015 年不同持续日数的过程占干热风过程总数的比例,结果表明干热风过程持续日数集中在 1—4 d,共占过程总数的 95.3%,持续 5 d 以上的过程所占比例不足 5%。其中,单个重干热风日构成的轻过程所占比例最高,为 37.5%;其次为持续 2 d 的过程,占 36.9%;持续 3d、4d 的过程分别占 15%、5.9%。干热风过程持续日数最高值出现在 1992 年的河北饶阳,共持续 9 d。

## 3 结论与讨论

1961—2015 年,就空间平均分布而言,河北中南部、河南北部、山东北部和西部等地年平均干热风日数、干热风过程均为黄淮海冬麦区高值区,其中地处太行山东部的河北中南部由于强烈的下沉增温和焚风效应,以及干旱、盐碱土壤等综合影响,形成黄淮海地区的干热风重发区。

从时间分布来看,受小麦生育进程、内陆沿海差异、地形地势等因素影响,干热风平均初日和最早初日总体从南向北、从西向东逐渐推迟。在春末夏初北方雨季到来前多晴少雨、气温迅速回升的天气背景下,随着小麦灌浆进程,干热风发生日数呈逐渐增多趋势,灌浆中后期干热风日数多、程度重,是干热风危害的集中期和防御关键期。

从多年变化趋势来看,黄淮海地区干热风日数、过程次数总体均呈减少趋势,其中重干热风日数、重过程次数减少趋势更为明显;从地区差异来看,冀东南、鲁西北、豫东北干热风日数和过程次数减少趋势更为明显,表明黄淮海冬麦区干热风威胁总体在减轻。温、湿、风要素满足指标的空间格局是干热风随时间和空间分布的基础,在黄淮海地区冬小麦生长后期,温、湿、风要素达到干热风标准的日数均呈减少趋势<sup>[29]</sup>,这对当地小麦高产、稳产有利。而在干热风 3 个致灾因子中,“热”是主导因子,“干”居第二位,“风”则起辅助作用<sup>[29,37]</sup>,其中温度条件相对容易达标<sup>[27]</sup>,而在气候变暖背景下,极端天气气候事件频发,部分年份仍存在发生较重干热风的可能。如 2001 年区域平均干热风日数达 8.1 d,成为 1961—2015 年干热风日数最多的年份,因此对干热风的防御仍不能掉以轻心。

本文研究区域针对黄淮海冬小麦主产区,所指的干热风不是气象上泛指的热干风天气,而是指小麦灌浆成熟期间发生的干热风。由于各地冬小麦发育期存在差异,本研究对干热风分析时段的选取与冬小麦发育期相吻合,可以较好地反映不同地区干热风发生的客观规律,避免了整个区域按相同时段分析带来的偏差。

干热风对小麦灌浆和产量的影响,与干热风出现的时段、强度、频率,以及田间小气候和小麦抗干热风能力密切相关。现有干热风指标主要是基于 20 世纪 80 年代初的研究成果,随着小麦品种更替与改良、耕作栽培技术进步,特别是灌溉条件的改善和“一喷三防”技术的推广,黄淮海地区冬小麦抗干热风能力大大提高,

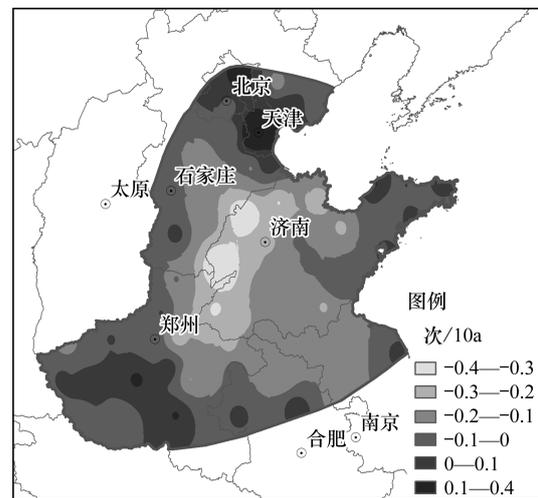


图 11 干热风过程次数气候倾向率分布 (1961—2015)

Fig.11 Distribution of climate trend rate of dry-hot wind process times (1961—2015)

有时虽出现较大范围干热风天气,但对产量并未造成大的影响。此外,干热风危害是高温低湿瞬时强度和持续时间综合作用的结果,随着气象自动观测技术的普及,现有观测手段已能满足逐时甚至分钟观测的需求,为研究高温低湿的累积效应提供了基础。因此,有必要结合当今农业生产条件、气象自动观测技术和气候资源特点对干热风指标做适当修订,特别是考虑土壤墒情、田间小气候以及小麦生理参数等的综合影响,以使监测评价结果与当今农业生产实际更相适应。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 北方小麦干热风科研协作组. 小麦干热风. 北京: 气象出版社, 1988.
- [ 2 ] 霍治国, 姜燕, 李世奎, 柏秦凤. 小麦干热风灾害等级. 北京: 气象出版社, 2007.
- [ 3 ] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料. 北京: 中国农业出版社, 2001-2015.
- [ 4 ] 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. 作物学报, 1984, 10(2): 105-112.
- [ 5 ] 北方小麦干热风科研协作组. 干热风对小麦灌浆速度的影响. 气象, 1983, 9(5): 22-24.
- [ 6 ] 小麦干热风科研协作组. 北方小麦干热风气候区划. 气象, 1981, 7(5): 11-15.
- [ 7 ] 全国干热风协作组. 我国北方小麦干热风区划的几个技术问题. 陕西气象, 1980, (7): 5-9, 4-4.
- [ 8 ] 北方小麦干热风科研协作组. 小麦干热风气象指标的研究. 中国农业科学, 1983, 16(4): 68-75.
- [ 9 ] 北方小麦干热风科研协作组. 中国北方小麦干热风. 中国农业气象, 1988, 9(1): 57-59.
- [ 10 ] 鲁小荣, 周立伟, 蒋慧琴. 昌吉州干热风的分布特征及防御规划. 现代农业科技, 2012, (19): 247-247, 250-250.
- [ 11 ] 时风云, 徐文国, 吴建河, 刘平, 王建英, 钟天华, 王春玲, 毛桂萍. 濮阳近 40 年干热风特征和成因分析及防御. 中国农学通报, 2009, 25(3): 251-254.
- [ 12 ] 张伯忍. 安徽省小麦干热风气候分析及区划的研究. 安徽农业科学, 1986, (1): 48-55.
- [ 13 ] 陈怀亮, 邹春辉, 付祥建, 关文雅. 河南省小麦干热风发生规律分析. 自然资源学报, 2001, 16(1): 59-64.
- [ 14 ] 成林, 张志红, 常军. 近 47 年来河南省冬小麦干热风灾害的变化分析. 中国农业气象, 2011, 32(3): 456-460, 465-465.
- [ 15 ] 喇永昌, 李丽平, 张磊. 宁夏灌区春小麦干热风灾害的时空特征. 麦类作物学报, 2016, 36(4): 516-522.
- [ 16 ] 王春乙, 潘亚茹, 季贵树. 石家庄地区干热风年型指标分析及统计预测模型. 气象学报, 1991, 49(1): 104-107.
- [ 17 ] 屈振江, 郑小华, 李星敏. 陕西省冬小麦干热风分布特征及预测研究. 中国农学通报, 2013, 29(18): 50-56.
- [ 18 ] 张翠英, 樊景豪, 张斌. 鲁西南干热风发生规律及统计预测模型. 干旱气象, 2016, 34(1): 207-211.
- [ 19 ] 丁霞, 马晓群, 郝莹. 安徽省沿淮淮北干热风特征及其对冬小麦的影响. 安徽农业科学, 2005, 33(6): 977-978.
- [ 20 ] 王明涛, 马焕香, 翟贵明, 吴炫. 山东省滨州市干热风气候特征及对小麦千粒重的影响分析. 安徽农业科学, 2010, 38(23): 12898-12900, 12920-12920.
- [ 21 ] 史印山, 尤凤春, 魏瑞江, 郝立生, 杨海龙. 河北省干热风对小麦千粒重影响分析. 气象科技, 2007, 35(5): 699-702.
- [ 22 ] 张杰, 林雪仪, 杨丽娜, 刘瑾. 河南省干热风天气对小麦产量的影响评价. 第 31 届中国气象学会年会 S5 干旱灾害风险评估与防控. 北京: 中国气象学会, 2014.
- [ 23 ] 陈继珍, 王咏青, 张杰. 河南省小麦干热风气候特征及其对小麦产量的影响. 安徽农业科学, 2012, 40(12): 7152-7154.
- [ 24 ] 李红忠, 朱新玉, 史本林, 胡云川, 张怡, 赵爽. 黄淮海平原典型农区冬小麦干热风灾害的变化分析——以商丘为例. 地理研究, 2015, 34(3): 466-474.
- [ 25 ] 于培彦, 杨桂清. 小麦干热风中长期预报模型的研究. 宁夏农学院学报, 1991, 12(4): 23-31.
- [ 26 ] 戚尚恩, 杨大明, 孙有丰, 李德, 孙义. 淮北地区小麦干热风发生规律及防御对策. 安徽农业科学, 2012, 40(1): 401-404.
- [ 27 ] 邹定荣, 刘建栋, 刘玲, 姜朝阳, 许吟隆. 近 50 年华北平原干热风时空分布特征. 自然灾害学报, 2012, 21(5): 167-172.
- [ 28 ] 杨霏云, 朱玉洁, 刘伟昌. 华北冬麦区干热风发生规律及风险区划. 自然灾害学报, 2013, 22(3): 112-121.
- [ 29 ] 钱锦霞, 郭建平. 黄淮海地区冬小麦干热风发生趋势探讨. 麦类作物学报, 2012, 32(5): 996-1000.
- [ 30 ] 赵俊芳, 赵艳霞, 郭建平, 房世波. 过去 50 年黄淮海地区冬小麦干热风发生的时空演变规律. 中国农业科学, 2012, 45(14): 2815-2825.
- [ 31 ] 刘静, 马力文, 张晓煜, 刘玉兰, 武万里, 孙银川. 春小麦干热风灾害监测指标与损失评估模型方法探讨——以宁夏引黄灌区为例. 应用气象学报, 2004, 15(2): 217-225.
- [ 32 ] 朱玉洁, 杨霏云, 刘伟昌, 姜燕. 利用作物模型提取小麦干热风灾损方法探讨. 气象与环境科学, 2013, 36(2): 10-14.
- [ 33 ] 赵俊芳, 赵艳霞, 郭建平, 穆佳. 基于干热风危害指数的黄淮海地区冬小麦干热风灾损评估. 生态学报, 2015, 35(16): 5287-5293.
- [ 34 ] 李颖, 韦原原, 刘荣花, 方文松, 成林. 河南麦区一次高温低湿型干热风灾害的遥感监测. 中国农业气象, 2014, 35(5): 593-599.
- [ 35 ] 赵慧颖, 田宝星, 宫丽娟, 曲辉辉, 季生太, 李秀芬, 张兴林. 近 308 年来大兴安岭北部森林植被气候生产潜力及其对气候变化的响应. 生态学报, 2017, 37(6): 1900-1911.
- [ 36 ] 贺伟, 布仁仓, 熊在平, 胡远满. 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势. 生态学报, 2013, 33(2): 519-531.
- [ 37 ] 杨晓光, 李茂松, 霍治国. 农业气象灾害及其减灾技术. 北京: 化学工业出版社, 2010.