

华北地区冬小麦干旱受灾率多尺度分析*

吴东丽^{1,2}, 王春乙², 薛红喜¹, 张雪芬¹

(1. 中国气象局气象探测中心, 北京 100081; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要:以华北区域内56个气象站历年逐日降水量资料、冬小麦发育期资料以及产量资料为数据支撑,研究华北地区冬小麦干旱等级指标,并在此基础上分析不同等级干旱受灾范围变化的周期性振荡特征。首先,分析冬小麦干旱指标距平与相对气象产量间的关系,然后,制作指标距平与相对气象产量相关性大小的分布格局图,进而,根据冬小麦干旱指标负距平与减产率间的关系,确定了冬小麦干旱等级指标,最后,基于灾损不同等级干旱受灾率进行小波分析。

关键词:冬小麦干旱指标距平; 相对气象产量; 干旱受灾率; 小波分析; 华北地区

中图分类号: S423 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)01-0087-07

华北平原是我国重要的小麦生产基地,种植面积和产量均占全国总量的1/2左右,其小麦丰欠直接影响着我国小麦的进出口计划、粮食期货、全国小麦市场价格及相关农业措施的制定等。然而该区由于受季风的影响,气象灾害频繁发生,最严重的农业气象灾害是干旱。近年来,随着全球气候变暖,本区干旱发生的频率和危害程度呈上升的趋势,所以干旱成为限制华北地区冬小麦高产稳产最主要的农业气象灾害^[1],正是由于这种严重性,干旱问题历来受到政府部门和学术界的高度重视^[2]。因此,如何利用有效的干旱指标,来揭示冬小麦干旱的本质和内在的规律性,从而达到对冬小麦干旱的有效预防和控制,显得十分必要。关于干旱指数的研究国内外有很多有益的工作^[3-6],以气候降水量为基础的农业干旱指数,由于其资料容易获取且简单明了、直观性好,目前在农业干旱研究中得到了广泛应用^[7-9],但是该类指标仅单纯以降水量划定,没有考虑作物发育期状况和播种前土壤含水量情况,建立科学、合理的干旱指标是研究农业干旱的前提。另外,冬小麦干旱具有时空的多尺度特性,在时间上具有渐变性和突变性,传统的统计学方法无法揭示其在时间上的多尺度特性。本文以改进以上两个不足的冬小麦干旱指数^[10]为基础,确定了冬小麦干

旱等级指标,并进一步尝试从考虑抗灾和不考虑抗灾两种角度,用小波诊断技术提取华北地区不同等级干旱受灾范围变化的特征时间尺度及其周期性振荡特征,对认识不同等级干旱发生的规律、抗旱及制定防灾、减灾措施,都具有重要的指导意义。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

遵循行政区划,华北地区(32°~42°N, 111°~123°E)包括北京和天津两市及河北、山东、河南三省,总面积53.56万km²^[11]。季风是影响华北地区气候的重要因素,该区属于暖温带半湿润、湿润气候,其气候特征因地区不同而有所差异,季节差异明显,年平均气温在1.5~14℃之间,年最低气温出现在1月份,最低可达-35℃,最高气温出现在7月份,最高可达38℃,全年≥10℃积温4000~4800℃,由北向南、由高地向低地逐渐增加。日照时数为2100~3100h,无霜期由西北向东南递增,为150~220d^[12]。降水时空分布不均匀,全年降雨量600~900mm,由东南向西北减少,降水季节分配不均匀,降水量与作物需水量不匹配,其中6-9月集中了全年降雨量的

* 收稿日期: 2010-06-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(30771248); 国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2006BAD04B09)

作者简介: 吴东丽(1977-), 女, 山西曲沃人, 副研究员, 主要从事农业与生态气象、灾害风险评估、数量生态学等研究。

E-mail: wudongli666@126.com

通讯作者: 王春乙(1960-), 男, 汉族, 辽宁人, 研究员, 主要从事农业气象灾害风险评估、气候变化对农作物的影响研究。

E-mail: wcy@cms1924.org

65%~85%，而3-6月的降水仅占全年降水的20%~30%，远远不能满足作物生长的需水要求^[11]。由于华北地区人口密度大，人均水资源占有量只有全国平均量的1/6，耕地亩均水资源只是全国平均值的1/10，因此是我国水资源匮乏地区之一^[13]。大部分地区以两年三熟或一年两熟的种植制度为主，其中冬小麦生育期降水严重不足，平原地区需要大量抽取地下水灌溉^[14]。

1.2 数据来源

降水资料取自华北地区5省(市)56个气象站1961-2006年历年逐日降水资料(图1)，冬小麦发育期资料取自相对应的农业气象观测站，冬小麦产量资料来自1962-2006年统计年鉴。

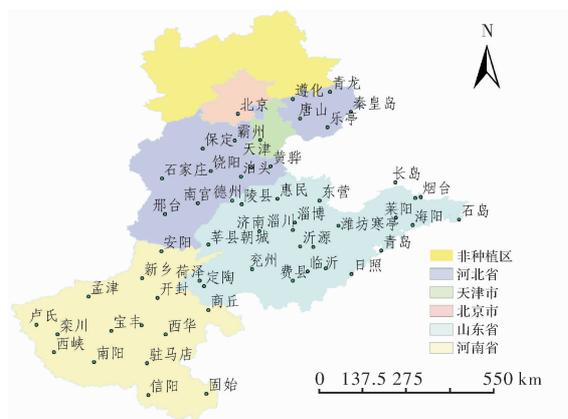


图1 华北地区56个气象站

1.3 计算方法

1.3.1 冬小麦干旱指数

用冬小麦干旱指数(Z_i)^[10]表征华北地区冬小麦发生干旱的程度，该指数将冬小麦不同发育阶段的水分产量反应系数应用到降水距平百分率干旱指数中，同时量化了冬小麦播种前期底墒：

$$Z_i = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{C_0 + C_1 + C_2 \cdots + C_i} R_i, \quad (1)$$

式中： C_0 为播种前期的水分产量反应系数， C_1, C_2, \dots, C_i 分别代表作物不同发育阶段的水分产量反应系数； R_0 为播种前期的降水量， R_1, \dots, R_i 分别代表不同发育阶段的降水量。

1.3.2 相对气象产量计算方法

根据前人研究^[2]，农作物产量可分解为3个组成部分，即趋势产量、气象产量和随机“噪声”，可用下式表示：

$$Y = Y_t + Y_w + \varepsilon, \quad (2)$$

式中： Y 为作物单产； Y_t 为趋势产量，主要反映农业生产技术水平的提高对产量的贡献，具有渐进

性和相对稳定性； Y_w 为气象产量，主要受气象因子年际变化的影响，具有短期波动性； ε 为随机“噪声”，受其它非定常因素影响，一般忽略不计，故上式可以简化为：

$$Y = Y_t + Y_w. \quad (3)$$

采用三次多项式模拟趋势产量，根据式(3)，求出历年趋势产量，则气象产量：

$$Y_w = Y - Y_t. \quad (4)$$

相对气象产量：

$$Y_r = \frac{Y_w}{Y_t} \times 100\%, \quad (5)$$

Y_r 为负值时表示减产率。

利用三次多项式计算华北地区各县(市)冬小麦历年趋势产量，将实际产量和趋势产量代入公式(3)~(5)，得到冬小麦历年相对气象产量。

1.3.3 小波分析方法

小波变换是将一个一维信号在时间和频率两个方向上展开，提取有价值的信息，可以将小波变换结果绘制成二维图像。小波分析计算方法如下^[15]：

以 $f(t)$ 表示随时间变化的可测函数， $\Psi(t)$ 表示时间域的小波函数， $\Psi(\omega)$ 表示频率域的小波函数。如果 $\Psi(t)$ 和 $\Psi(\omega)$ 分别满足下述条件

$$\int_R \Psi(t) dt = 0, \quad (6)$$

$$\int_{R^*} [|\Psi(\omega)|^2 / |\omega|] d\omega < \infty, \quad (7)$$

式中： R 定义为整个实数轴； R^* 定义为非零实数全体。对任意的一对实数(a, b)，其中实数 a 必须为非零实数，称下面的函数

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (8)$$

为由小波母函数 $\psi(t)$ 生成的依赖于参数 a, b 的连续小波函数，简称小波。

对于任意随时间变化的可测函数 $f(t)$ ，其小波变换的连续形式为：

$$\omega_f(a,b) = |a|^{-1/2} \int_R f(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (9)$$

小波变换的离散形式为：

$$\omega_f(a,b) = |a|^{-1/2} \Delta t \sum_{i=1}^n f(i\Delta t) \psi\left(\frac{i\Delta t - b}{a}\right), \quad (10)$$

式中： Δt 为样本的时间间隔； n 为样本量。

本文取小波母函数 $\psi(t)$ 为：

$$\psi(t) = (1-t^2) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}, \quad -\infty < t < \infty. \quad (11)$$

1.3.4 数据插值

文中用反距离权重法进行空间插值。

2 结果

2.1 华北地区冬小麦干旱指标距平和相对气象产量相关性

选取华北地区 56 个站点 1962 - 2006 年的冬小麦实际产量资料, 经统计处理得到各站逐年的相对气象产量, 并同时利用 56 个站点 45 年冬小麦干旱指标距平, 以这两个 45×56 的冬小麦干旱指标距平矩阵和相对气象产量数据矩阵为基础, 分别统计每个站点冬小麦干旱指标距平与相对气象产量之间的相关关系, 结果表明, 有 77% 的站点冬小麦干旱指标距平与相对气象产量之间存在正相关关系, 相关系数在 0.3 以上, 通过 0.05 的显著性水平检验的站点占有所有站点的 21.43%, 表明利用冬小麦干旱指标评估华北地区冬小麦干旱是适用和可行的。

图 2 所示为华北地区冬小麦干旱指标距平与相对气象产量相关性的空间分布格局, 根据相关系数的大小将其划分为 3 个等级: 低值区 (≤ 0.027), 中值区 (0.028 ~ 0.22), 高值区 (≥ 0.23)。低值区在河南省分布连片性好, 主要分布在河南南部, 在京、鲁、冀三省(市)有零星分布。北京、石家庄、安阳、德州等地的相关性较小, 其原因可能是这些区域农业生产水平较高, 抗旱能力强, 产量受干旱影响的波动较小, 而信阳、固始等河南南部的区域性相关性较小, 其原因可能是这些区域年降水量较充沛, 干旱不是影响该区域产量的主要因素, 而春季渍害才是影响该区域产量的主要因素; 中值区连片性好, 分布在河北大部、豫中北部、鲁西南; 高值区在山东省分布面积最大, 主要分布在鲁中东部、河北的渤海湾地区和河南西部丘陵地带。分析相关性的空间分布格局可知, 相关性较小的地方, 区域冬小麦产量受干旱的影响较小, 而相关性大的地方, 区域冬小麦产量受干旱的影响较大, 影响的因素不仅取决于冬小麦的自然属性,

即品种的抗旱水平, 而且也取决于干旱的社会属性, 即当地的农业经济发展水平和减灾抗灾能力。

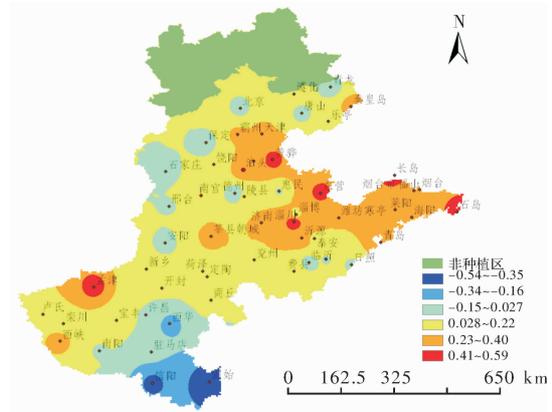


图 2 冬小麦干旱指标距平与相对气象产量相关性的空间分布

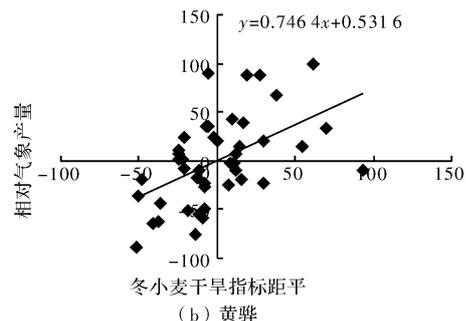
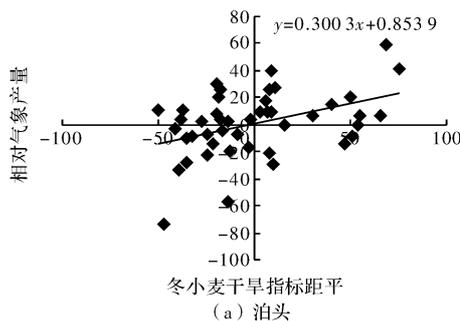
2.2 冬小麦干旱等级指标的确定

2.2.1 华北地区冬小麦干旱指标距平和相对气象产量回归

选择冬小麦干旱指标距平与相对气象产量相关系数较大的 10 个站点确定干旱等级指标, 这 10 个站点分别为泊头、黄骅、孟津、东营、长岛、莘县、淄川、沂源、海阳、石岛, 相关系数分别为 0.423^{**}、0.517^{**}、0.522^{**}、0.466^{**}、0.529^{**}、0.325^{*}、0.601^{**}、0.368^{**}、0.335^{*}、0.485^{**} (* * 表示极显著相关)。利用这 10 个站点 45 年冬小麦干旱指标距平百分率和相对气象产量的全部数据序列进行回归分析, 建立回归方程 (图 3), 据此方程确定早年冬小麦指标距平与减产率之间的关系。

2.2.2 冬小麦干旱指标负距平和对应的减产百分率

根据图 3 所示的回归方程, 可以求出与不同冬小麦干旱指标距平相对应的减产百分率 (表 1)。从表 1 可见, 冬小麦干旱指标负距平的绝对值愈大, 减产幅度就愈大, 而且对于同一个冬小麦干旱指标负距平等级, 不同地点的减产幅度基本上变化不大, 因此, 用冬小麦干旱指标距平作为干旱指标是可行的。



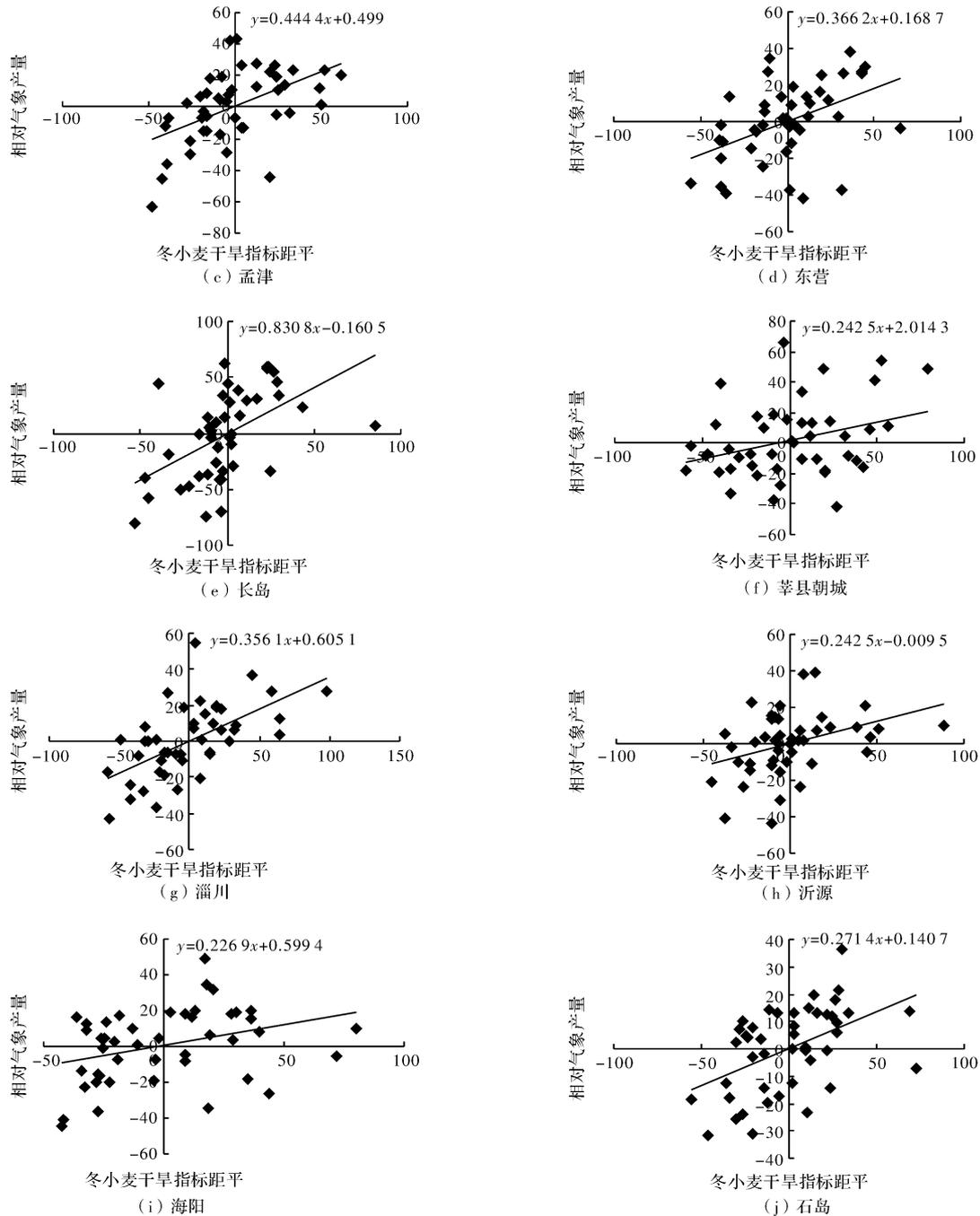


图3 冬小麦干旱指标距平和相对气象产量的回归方程

表 1

冬小麦干旱指标负距平和对应的减产百分率

%

冬小麦干旱指标负距平	减产										平均
	泊头	黄骅	孟津	东营	长岛	莘县	淄川	沂源	海阳	石岛	
10	2.1	6.9	3.9	3.5	8.5	0.4	3.0	2.4	1.7	2.6	3.5
20	5.2	14.4	8.4	7.2	16.8	2.8	6.5	4.9	3.9	5.3	7.5
30	8.2	21.9	12.8	10.8	25.1	5.3	10.1	7.3	6.2	8.0	11.6
40	11.2	29.3	17.3	14.5	33.4	7.7	13.6	9.7	8.5	10.7	15.6
50	14.2	36.8	21.7	18.1	41.7	10.1	17.2	12.1	10.7	13.4	19.6
60	17.2	44.3	26.2	21.8	50.0	12.5	20.8	14.6	13.0	16.1	23.6
70	20.2	51.7	30.6	25.5	58.3	15.0	24.3	17.0	15.3	18.9	27.7
80	23.2	59.2	35.1	29.1	66.6	17.4	27.9	19.4	17.6	21.6	31.7
90	26.2	66.6	39.5	32.8	74.9	19.8	31.4	21.8	19.8	24.3	35.7
100	29.2	74.1	43.9	36.5	83.2	22.2	35.0	24.3	22.1	27.0	39.8

农业上划分干旱类型的标准, 通常是以减产百分率来确定的。一般以减产 10% 以下为轻旱, 10% ~ 20% 为中旱, > 20% 为重旱^[2]。根据表 1, 干旱等级指标如表 2 所示。

表 2 干旱等级指标划分 %

干旱类型	减产	冬小麦干旱指标负距平
轻旱	5 ~ 10	15 ~ 25
中旱	10 ~ 20	25 ~ 50
重旱	> 20	> 50

2.3 华北地区冬小麦基于指标干旱受灾率分析

根据确定的冬小麦干旱指标可知, 指标负距平 > 15% 表示在不考虑人为抗灾条件下, 干旱发生的可能性。将每一年基于干旱指标发生干旱的站点数与总站点数的比值, 定义为不考虑抗灾能力的干旱受灾率, 因为降水减少是干旱发生的首要条件, 灌溉可以降低产量损失, 但是并不能否定干旱的存在, 所以以冬小麦干旱指标表征的干旱受灾率, 是指在不采取人为抗灾措施下华北地区冬小麦干旱的受灾范围大小。

图 4 所示为华北地区基于指标冬小麦干旱受灾率序列变化趋势, 图中实线为趋势线, 从趋势线的走向可知近 45 年来干旱发生范围在华北地区呈增加的趋势。图 5 所示为基于指标干旱发生范围的小波分析, 在低频区以 20 ~ 25 年周年振荡为主, 发生了两次突变, 突变点在 1981 年附近和 1995 年附近。在中频区, 以 10 ~ 12 年周期振荡, 发生了多次突变。

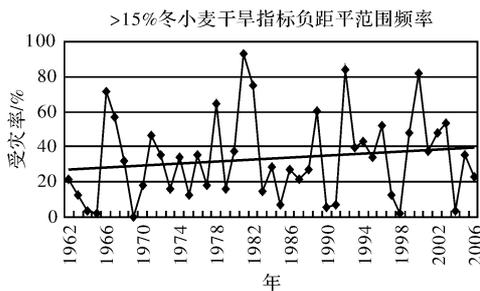


图 4 1962 - 2006 年基于指标干旱受灾率

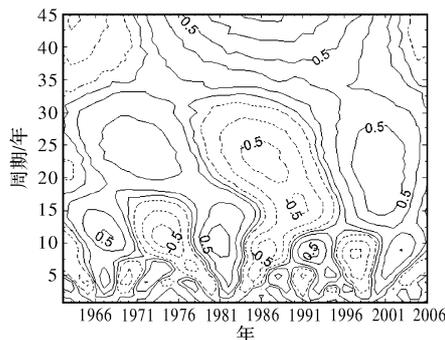


图 5 1962 - 2006 年基于指标干旱受灾率小波分析

2.4 华北地区冬小麦基于灾损不同等级干旱受灾率分析

据上文分析, 减产 5% ~ 10% 为轻旱, 10% ~ 20% 为中旱, > 20% 为重旱。将每一年发生轻旱的站点数与总站点数的比值定义为轻旱的受灾率, 同理, 可以得到 45 年中旱、重旱的受灾率。用小波分析法对轻旱受灾率、中旱受灾率和重旱受灾率的主要周期进行分析, 结果见图 6 ~ 图 8。小波系数为正, 表示处于旱灾频发期, 反之处于少灾期。等值线越密集, 振荡信号越强, 或者说振幅也就越大, 年际(年代际)振幅越大。分析发现, 各等级旱灾受灾率都存在几个不同尺度的周期, 长周期中又包含短周期, 这表明干旱受灾范围的变化是由不同周期振荡的叠加而成的, 不同等级干旱的显著周期及其年代变化既有相同点, 又有差异。

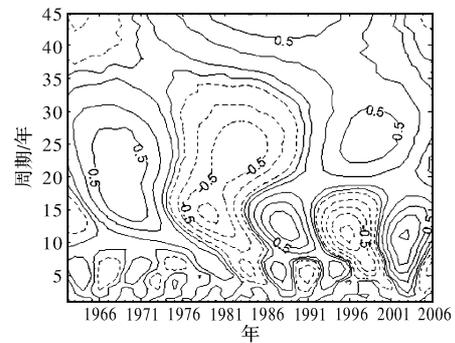


图 6 1962 - 2006 年轻旱受灾率小波分析

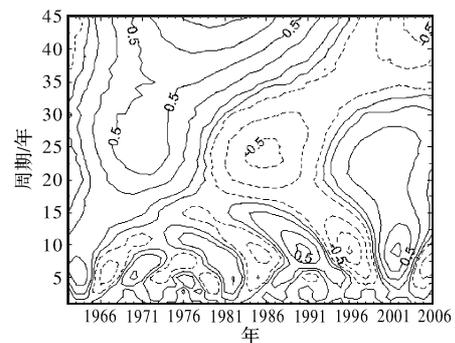


图 7 1962 - 2006 年中旱受灾率小波分析

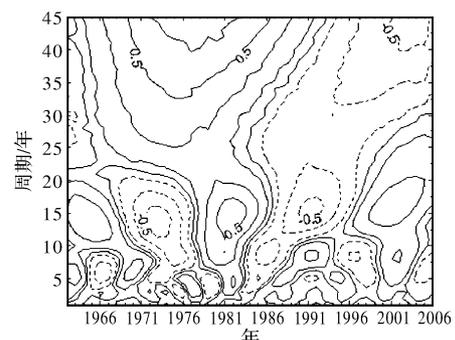


图 8 1962 - 2006 年重旱受灾率小波分析

图 6 所示为轻旱发生范围小波分析，在低频区以 23~26 年周期振荡为主，发生了两次突变，突变点在 1976 年附近和 1990 年附近，1976 年之前和 1990 年之后处于轻旱灾害频发期，1976-1990 年处于轻旱灾害少发期。在中频区，在 1984 年之后震荡强烈，以 10~12 年周期震荡，发生了 2 次突变，突变点在 1992 年附近和 1999 年附近，在 1992-1999 年处于轻旱灾害少发期。图 7 为中旱发生范围小波分析，在低频区以 22~25 年周期振荡为主，发生了两次突变，突变点在 1978 年附近和 1992 年附近。1988 年之后存在 8~10 年的周期振荡，发生了两次突变，突变点在 1992 年附近和 1999 年附近，1988-1992 年处于中旱多发期，1992-1999 年处于中旱少发期，1999 年之后处于中旱多发期。图 8 为重旱发生范围小波分析，在 1969-1996 年主要存在 12~15 年的周期振荡，在 1969 年振荡不明显主要发生了 3 次突变，突变点在 1977 年附近、1986 年附近和 1996 年附近。

图 9 所示为华北地区冬小麦实际轻旱受灾率长序列变化趋势，图中实线为趋势线。由图可见轻旱发生范围在 1980 年代之前振动幅度较小，1980 年代之后振动幅度加大，从趋势线的走向可知轻旱发生范围在华北地区呈微弱的增加趋势。图 10 所示为中旱受灾率变化趋势，在 1980 年之前中旱发生范围年际间振动幅度要大于轻旱发生范围，从趋势线的走向可知中旱受灾范围在华北地区呈减少趋势。图 11 所示为重旱受灾率长序列变化趋势，由图可见重旱发生范围在 1970 年代后期和 1980 年代前期较大，其后呈减小的趋势，在 2000 年左右又有微弱增大，从趋势线的走向可知重旱发生范围在华北地区呈减少的趋势。

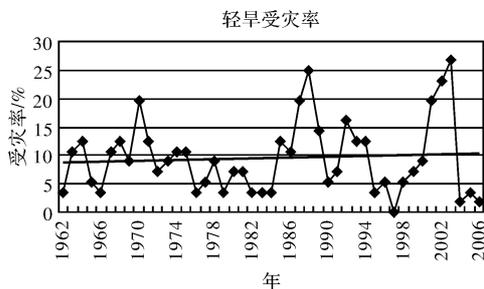


图 9 1962-2006 年轻旱受灾率

图 12 所示为减产 >5% 干旱受灾率长序列变化趋势，从趋势线的走向可知干旱发生范围在华北地区呈减少的趋势。图 13 所示为减产 >5% 干旱受灾率小波分析，由图可见，在 1992 年之后，存在 10 年左右的周期，突变点在 1999 年附近。对比分析图 13 和图 6、图 7，它们反映的中频 10 年左右

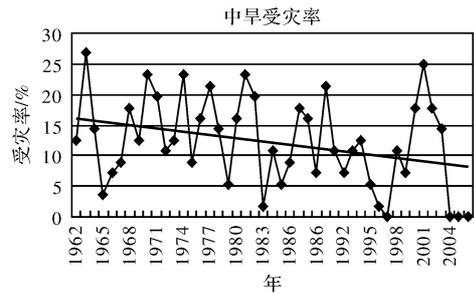


图 10 1962-2006 年中旱受灾率图

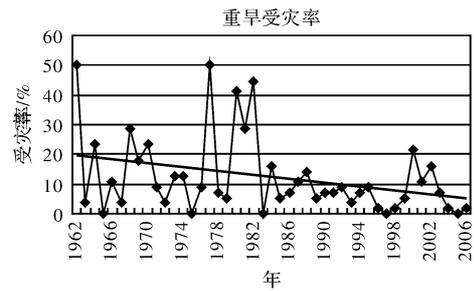


图 11 1962-2006 年重旱受灾率

周期变化趋势较相似，1992-1999 年为干旱少发期，1999 年之后为干旱多发期。对比分析还可以看出，干旱受灾率与中旱受灾率的周期分布非常相似，说明华北地区冬小麦干旱发生范围主要是受中旱发生范围频率的影响。

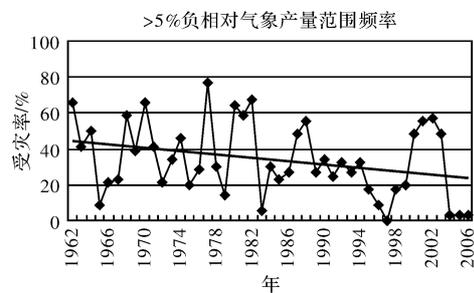


图 12 1962-2006 年干旱受灾率

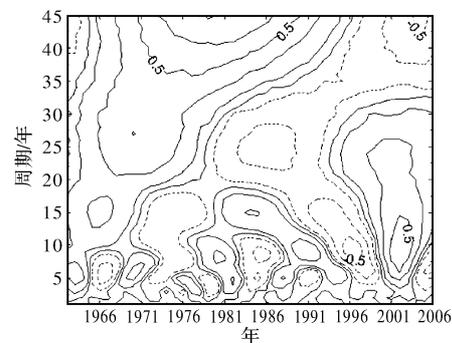


图 13 1962-2006 年干旱受灾率小波分析

3 结论与讨论

在华北地区 77% 的站点冬小麦干旱指标距平

与相对气象产量之间存在正相关关系, 且 21.43% 的站点通过 0.05 的显著性水平检验, 表明利用冬小麦干旱指标评估华北地区冬小麦干旱是适用和可行。相关系数较高的区域具有冬小麦产量受干旱影响波动较大的特点, 而相关系数较低的区域产量受干旱影响小, 相关系数分布格局图较直观地指示了区域的冬小麦产量受干旱影响的大小, 相关性小的区域是农业生产实际中多方面因素共同作用的结果, 例如北京、石家庄、德州等区域相关小, 分析其原因可能是农业生产水平较高, 抗旱能力强, 产量受干旱影响小, 而信阳、固始等地相关性小的原因是, 这些区域年降水量较充沛, 干旱不是影响该区域产量的主要因素, 春季渍害是影响该区域产量的主要因素。根据相关系数划分的不同等级区域的农业生产特点, 制定具有区域特点的农业种植模式。

根据冬小麦干旱指标距平百分率和相对气象产量的回归方程, 建立了华北地区冬小麦旱年指标距平与减产率之间的关系, 确定了冬小麦干旱等级指标: 轻旱对应的冬小麦干旱指标负距平为 15~25, 中旱为 25~50, 重旱为 >50。文中两种角度对比分析发现, 理论上即不考虑人为抗灾条件下, 近 45 年来华北地区冬小麦干旱发生范围在华北地区呈增加趋势, 同时根据前人研究结果^[16-20]华北地区降水量具有减少的总体趋势, 这也说明如果不考虑抗灾、减灾、规避措施, 在华北地区干旱呈增加的趋势是客观事实。但是通过文中对冬小麦基于灾损不同等级干旱受灾率的分析, 结果表明, 在实际农业生产中, 除了轻旱受灾范围频率呈微弱的增加外, 中旱、重旱和减产率 >5% 的干旱受灾范围都呈下降的趋势, 这指示了在当前农业生产水平下, 冬小麦因遭遇干旱而减产呈下降的趋势。以上不考虑抗灾和考虑抗灾两种角度的分析结果呈相反的趋势, 说明了在目前的大田农业生产中, 即使发生了干旱, 但由于采取了灌溉措施、选用抗旱品种以及综合管理水平等抗旱减灾措施, 冬小麦也可能因遭遇干旱而没有减产, 但是这并不能否定干旱的发生, 因为采取各种抗旱减灾措施后, 增加了生产成本, 投入与产出的关系发生了变化, 因此最佳的单位投入产出比例是下一步干旱研究的重点, 另外冬小麦的自然属性和社会属性也是下阶段冬小麦干旱的重要研究内容。

参考文献:

- [1] 刘荣花, 朱自玺, 方文松, 等. 华北平原冬小麦干旱灾损风险区划[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1068-1072.
- [2] 朱自玺, 刘荣花, 方文松, 等. 华北地区冬小麦干旱评估研究[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 145-150.
- [3] Tsakiris G, Pangalou D, Vangelis H. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI) [J]. Water Resour Manage, 2007, 21: 821-833.
- [4] Tsakiris G, Vangelis H. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration [J]. European Water, 2005 (9/10): 3-11.
- [5] 王燕, 王润元, 张凯, 等. 干旱气候灾害及甘肃省干旱气候灾害研究综述[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 117-121.
- [6] 贾慧聪, 王静爱, 岳耀杰, 等. 冬小麦旱灾风险评价的指标体系构建及应用[J]. 灾害学, 2009, 24(4): 20-25.
- [7] 方文松, 刘荣花, 马志红, 等. 河南省冬小麦干旱评估指标初探[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(3): 12-14.
- [8] 王劲松, 郭江勇, 周跃武, 等. 干旱指标研究的进展与展望[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 60-65.
- [9] 邹波, 刘式达. 中国降水异常的特征分析[J]. 气象学报, 2003, 61(4): 474-479.
- [10] 吴东丽, 王春乙, 张雪芬, 等. 华北冬小麦作物气候干旱指数研究[J]. 科技导报, 2009, 27(7): 32-36.
- [11] 赵济, 陈传康. 中国地理[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [12] 杨彦武, 于强, 王靖. 近 40 年华北及华东局部主要气候资源要素的时空变异性[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 45-50.
- [13] 马京津, 于波, 高晓清, 等. 大尺度环流变化对华北地区夏季水汽输送的影响[J]. 高原气象, 2008, 27(3): 517-523.
- [14] 莫兴国, 林忠辉, 刘苏霞. 黄淮海地区冬小麦生产力时空变化及其驱动机制分析[J]. 自然资源学报, 2006, 21(3): 449-456.
- [15] 高素华, 刘玲. 三江源湿地与气候变化[M]. 北京: 气象出版社, 2008.
- [16] 杨修群, 谢倩, 朱益民, 等. 华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型[J]. 地球物理学报, 2005, 48(4): 789-797.
- [17] 杨绚, 李栋梁. 中国干旱气候分区及其降水量变化特征[J]. 干旱气象, 2008, 26(2): 17-24.
- [18] 张利平, 朱存稳, 夏军. 华北地区降水变化的多时间尺度分析[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 548-552.
- [19] 张庆云, 卫捷, 陶诗言. 近 50 年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(3): 307-318.
- [20] 朱业玉, 程炳岩, 王记芳. 河南旱涝灾害的演变特征分析[J]. 灾害学, 2006, 21(3): 93-97.

(下转第 98 页)

- [8] 王劲松, 黄玉霞, 冯建英, 等. 径流量 Z 指数与 Palmer 指数对河西干旱的监测[J]. 应用气象学报, 2009, 20(4): 471-477.
- [9] 彭贵芬, 刘瑜, 张一平. 云南干旱的气候特征及变化趋势研究[J]. 灾害学, 2009, 24(4): 40-44.
- [10] 袁文平, 周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 982-991.
- [11] 樊高峰, 苗长明, 毛裕定. 干旱指标及其在浙江省干旱监测分析中的应用[J]. 气象, 2006, 32(2): 70-74.
- [12] 王燕, 王润元, 张凯, 等. 干旱气候灾害及甘肃省干旱气候灾害研究综述[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 117-121.
- [13] 马晓群, 姚筠, 许莹. 安徽省农作物干旱损失动态评估模型及其试用[J]. 灾害学, 2010, 25(1): 13-17.
- [14] 温克刚, 翟武全. 中国气象灾害大典安徽卷[M]. 北京: 气象出版社, 2007.

Analysis of the Spatial-temporal Characteristics of Drought in Anhui Province in Recent 50 Years

Xie Wusan and Tian Hong

(Anhui Climate Center, Hefei 230031, China)

Abstract: By using daily precipitation and temperature data from 78 stations of Anhui province during 1961 ~ 2009, the drought process is calculated by CI index, then the drought days for stations each year are figured out and the spatial-temporal characteristics of drought over Anhui province in recent 50 years is analyzed by trend analysis, EOF, power spectrum analysis, wavelet analysis, moving T-test and so on. The results show that the original and corrected thresholds of CI index which are corrected by the cumulative frequency are basically the same. The distribution of the average drought days during 1971 ~ 2000 is latitudinal and drought frequency descends from north to south. The trend of drought days descends in HuaiBei and the east of Jianghuai, and ascends in the other area, but the both have not pass the 0.05 significance test. The cumulative percent variance of the EOF first three modes reaches 75%, the first mode are plus in all province and the distribution is latitudinal, the zero line transversely makes off north and south parts in the second mode and three parts in the third mode. The main period of drought days is 12 ~ 13 years and the secondary is around 2 ~ 3 years. In recent 50 years, the drought days experience three circulations on 12 ~ 13 years scale, and the drought days mutate around 1968.

Key words: drought days; spatial-temporal characteristics; drought index; Anhui province

(上接第 93 页)

Multi-scale Analysis of Drought of Winter Wheat in North China

Wu Dongli^{1,2}, Wang Chunyi², Xue Hongxi¹ and Zhang Xuefen¹

(Meteorological Observation Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;

2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The north China region is one of the most important agricultural regions in China. Based on winter wheat growth and yield data and daily precipitation data obtained from 56 stations in north China, the level of drought indicators and periodic variation characteristics of the disaster area with different levels of drought are analyzed. Firstly, the correlations between anomaly of winter wheat drought indices and relative meteorological yield are analyzed. Secondly, the distribution map of the degree of correlation is worked out. Then, according to the relationships between negative anomaly of drought indices of winter wheat and the rate of output reduction, drought grade standards of winter wheat are defined. Finally, different rates of drought disaster loss are studied by wavelet analysis.

Key words: anomaly of winter wheat drought indices; relative meteorological yield; disaster rate of drought; wavelet analysis; north China