

尤新媛,胡正华,张雪松,等. 基于作物水分亏缺指数的江苏省冬小麦生长季干旱时空特征[J]. 江苏农业科学,2019,47(2):243-249.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.02.060

基于作物水分亏缺指数的江苏省冬小麦生长季干旱时空特征

尤新媛^{1,2}, 胡正华^{1,2}, 张雪松², 申双和^{1,2}, 番聪聪², 黄进², 李琪², 张琪²

(1. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏南京 210044;

2. 南京信息工程大学应用气象学院/江苏省农业气象重点实验室, 江苏南京 210044)

摘要:近年来,江苏地区季节性干旱频发,很大程度上制约了冬小麦产量的增长。研究作物生长季干旱发生的时空规律,对于采取有效防灾减灾措施具有重要意义。基于江苏省1981—2010年14个气象站点的逐日气象资料、冬小麦生育期及产量资料,利用作物水分亏缺指数(CWDI),分析近30年江苏省冬小麦生长季干旱的时空变化规律。结果表明,CWDI值在冬小麦各生育期均表现为江苏北部高于南部,2个地区的CWDI多年均值在年代间变化趋势大体一致,20世纪90年代是剧烈波动期。从各等级干旱发生站次数的年代变化来看,30年里冬小麦拔节至抽穗期的干旱发生站次数为持续增加趋势,其他3个生育阶段呈现先增后减的单峰变化,峰值均出现在20世纪90年代,说明30年里旱情总体在加重,最严重的时期是20世纪90年代,21世纪初有所缓和。干旱发生概率的空间分布规律基本一致,总体为由苏南向苏北逐渐增大。在冬小麦各生育阶段,苏北的赣榆区、徐州市、宿迁市是干旱频率的高值区,干旱频率随着干旱等级的升高而降低。江苏省冬小麦生长中后期干旱灾害发生的可能性较大,徐州市更是干旱灾害的高发区,须加强对干旱灾害的预警和预防。

关键词:冬小麦;干旱;作物水分亏缺指数;时空特征

中图分类号: S423 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)02-0243-07

干旱是由于水分长期收支或供求不平衡而形成的持续水

分短缺现象^[1]。其特点是发生频繁、周期较长、影响较大,给农业生产造成了严重的经济损失^[2]。随着全球气候变暖,降水量与蒸散量的不平衡,水资源日趋短缺,干旱已成为严重影响人类生存与发展的自然灾害^[3-4]。在全球气候变化的背景下,中纬度地区气候暖干化受到了众多专家学者的重视^[5],江苏省地处中纬度的海陆过渡带和气候过渡带,属东亚季风气候区,降水量分布不均匀,旱涝灾害频繁,这些会对农作物的种植产生严重影响。小麦是我国最主要的粮食作物之一,江苏省是南方麦区的重点种植区域,区域内的降水量南北差

收稿日期:2017-09-18

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(重大项目)(编号:GYHY201506001-6);江苏省“六大人才高峰”项目(编号:2014-NY-015)。

作者简介:尤新媛(1993—),女,江苏盐城人,硕士研究生,主要从事农业气象灾害风险评估的研究。E-mail:793134083@qq.com。

通信作者:胡正华,博士,教授,主要从事农业应对气候变化的研究。E-mail:zhhu@nuist.edu.cn。

curse thesis[M]. London:Taylor and Francis Group,1993.

[4] Sachs J Warner A. Natural resource abundance and economic growth [R]. NBER Working Paper,1995.

[5] Papyrakis E Gerlagh R. Resource abundance and economic growth in the United States [J]. European Economic Review,2007,51(4):1011-1039.

[6] 邵帅. 煤炭资源开发对中国煤炭城市经济增长的影响——基于资源诅咒学说的经验研究[J]. 财经研究,2010(3):90-92.

[7] 许广月. 耕地资源与经济增长关系:基于中国省级面板数据的实证分析[J]. 中国农村经济,2009(10):21-23.

[8] 张菲菲,刘刚,沈镭. 中国区域经济与资源丰度相关性研究[J]. 中国人口·资源与环境,2007(4):19-20.

[9] 胡援成,肖德勇. 经济发展门槛与自然资源诅咒——基于我国省际层面的面板数据实证研究[J]. 管理世界,2007(4):15-18.

[10] 丁菊红,王永钦,邓可斌. 中国经济发展存在“资源之咒”吗[J]. 世界经济,2007(9):38-39.

[11] 方颖,纪衍,赵扬. 中国是否存在“资源诅咒”[J]. 世界

经济,2011(4):144-146.

[12] 刘宗飞,姚顺波,刘越. 基于空间面板模型的森林“资源诅咒”研究[J]. 资源科学,2015(2):379-380.

[13] 刘红梅,李国军,王克强. 中国农业虚拟水“资源诅咒”效应检验:基于省际面板数据的实证研究[J]. 管理世界,2009(9):69-70.

[14] Gylfason T. Resources, agriculture, and economic growth in transition economies [J]. Kyklos,2000,53(4):543-547.

[15] 李婧,谭清美,白俊红. 中国区域创新生产的空间计量分析——基于静态与动态空间面板模型的实证研究[J]. 管理世界,2010(7):43-55.

[16] 胡友,祁春节. 基于空间计量的水果价格形成及传导研究——以苹果、柑橘和香蕉为例[J]. 农业现代化研究,2013(6):739-740.

[17] 杨莉莉,邵帅,曹建华. 资源产业依赖对中国省域经济增长的影响及其传导机制研究——基于空间面板模型的实证考察[J]. 财经研究,2014(3):5-6.

异大,由南向北递减,一年中旱涝交替发生,自20世纪60年代以来,干旱强度逐年增强,干旱频率逐年增高,对冬小麦的生产影响越来越大^[6]。

干旱的发生十分复杂,发展速度慢,影响因子多,各因子之间关系复杂,因此在对其进行预测预警时,须要选定一个干旱指标,再对干旱的气候特征及其发生规律进行下一步的研究。干旱指标是表示干旱程度的特征量,将旱情以数值的方式呈现,便于直观了解和分析旱情,是干旱监测的基础与核心^[7]。前人利用不同的干旱指标开展了一系列的工作^[8-17],作物水分亏缺指数(CWDI)是作物需水量与实际供水量之差占作物需水量的比值,将土壤、作物、气象3个方面因素综合考虑,来反映作物的水分亏缺状况和干旱情况,对监测不同区域的农业干旱具有较好的适用性^[18]。薛昌颖等采用水分亏缺指数,分析了黄淮海地区近40年夏玉米生长季干旱的时空变化规律^[19]。王连喜等计算冬小麦生育期各旬需水量(ET_i)以及作物水分亏缺指数,并根据农业干旱等级计算出研究区干旱频率,分析陕西省冬小麦各生育期内干旱指数时空分布特征^[20]。董朝阳等选取作物水分亏缺指数为农业干旱指标,基于验证后的农业生产系统模型(APSIM),明确了各生育阶段不同等级干旱对春玉米产量的影响^[21]。李雅善等利用作物水分亏缺指数结合农业干旱等级,对葡萄不同生育阶段不同程度干旱发生频率进行了统计和分析,研究了云南省葡萄产区的干旱时空分布特征^[22]。黄晚华等在修正水分亏缺指数计算方法的同时,分析了干旱频率的时空特征以及典型站点水分亏缺指数的年代际变化特征^[23]。

目前,我国对于北方地区的干旱研究较多,而对南方地区的干旱研究相对较少。在农业干旱指标的研究中,前人多使用标准化降水指数(SPI)、帕尔默干旱指数(PDSI)、综合干旱指数(ID)等,本研究使用CWDI综合考虑土壤水分、作物及气候条件,较真实地反映区域内作物缺水情况和农业干旱情况。本研究以江苏省为研究区,选取江苏省14个气象站1981—2010年的气象资料,计算作物水分亏缺指数,分析江苏省冬小麦各个生长季干旱时空变化特征,以期对农业水管理,冬小麦种植区划及减灾避灾等提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

江苏省位于我国大陆东部沿海中心,介于 $116^{\circ}18' \sim 121^{\circ}57'E$, $30^{\circ}46' \sim 35^{\circ}07'N$ 之间。属暖温带—亚热带气候,冬温夏热,四季分明,年平均气温 $14 \sim 15^{\circ}C$,年平均降水量 $800 \sim 1\,100\,mm$,气候特点从南到北差异明显。按照地理位置分布,越靠南的地区,暖湿程度越高;越靠北的地区,冷干程度越高。受海陆分布、大气环流、季风降水的共同影响,江苏省已成为我国典型的旱涝灾害频发区^[24]。

1.2 资料来源

气象资料选取江苏省1981—2010年近30年14个站点气象要素数据,逐日气象数据包括降水、日照时数、平均温度、最高温度、最低温度、平均风速、水汽压,各站点位置见图1。10个农气站冬小麦生育期资料,冬小麦生育期数据主要包括播种期、出苗期、拔节期、抽穗期、成熟期。冬小麦试验地点分别是在徐州市($34.38^{\circ}N$, $117.15^{\circ}E$)、赣榆区($34.83^{\circ}N$,

$119.12^{\circ}E$)、盱眙县($32.98^{\circ}N$, $118.52^{\circ}E$)、射阳县($33.77^{\circ}N$, $120.25^{\circ}E$)、东台市($32.87^{\circ}N$, $120.32^{\circ}E$)、南通市($32.02^{\circ}N$, $120.85^{\circ}E$)、启东市($32.07^{\circ}N$, $121.6^{\circ}E$)、常州市($31.77^{\circ}N$, $119.93^{\circ}E$)、溧阳市($31.43^{\circ}N$, $119.48^{\circ}E$)、吴中区($31.07^{\circ}N$, $120.43^{\circ}E$)等农气站,以上不同气象站的冬小麦播种时间分别为10月27日、10月7日、11月2日、10月26日、11月3日、11月11日、11月12日、11月5日、11月3日、11月12日。冬小麦产量资料来源于中国种植业数据库(<http://www.moa.gov.cn>)。干旱灾情资料来源于《中国气象灾害大典》和《中国气象灾害年鉴》^[25]。

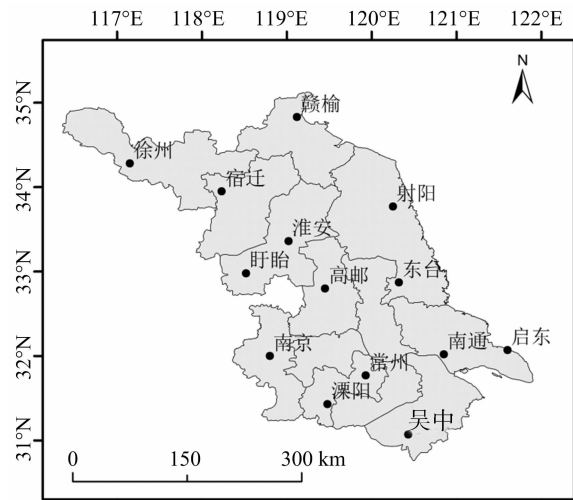


图1 不同气象站点分布

1.3 数据处理

1.3.1 作物水分亏缺指数的计算 根据CWDI的定义和计算方法^[20],考虑到水分亏缺的累积效应以及对后期作物生长发育的影响,从某生育阶段开始的那天算起,向作物生长前期推50 d,每10 d(旬)为1个单位计算CWDI,则该生育阶段某1 d的CWDI的表达式为:

$$CWDI = a \times CWDI_i + b \times CWDI_{i-1} + c \times CWDI_{i-2} + d \times CWDI_{i-3} + e \times CWDI_{i-4} \quad (1)$$

式中: $CWDI_i$ 、 $CWDI_{i-1}$ 、 $CWDI_{i-2}$ 、 $CWDI_{i-3}$ 、 $CWDI_{i-4}$ 分别为过去第1天至过去第10天、过去第11天至过去第20天、过去第21天至过去第30天、过去第31天至过去第40天、过去第41天至过去第50天的水分亏缺指数; a 、 b 、 c 、 d 、 e 分别为各对应的水分亏缺指数对累计水分亏缺指数的影响权重系数,其值一般分别为0.30、0.25、0.20、0.15和0.10^[26]。

CWDI的基本表达式为:

$$CWDI_i = \begin{cases} \frac{ET_i - P_i}{ET_i} \times 100\% & ET_i \geq P_i \\ 0 & ET_i < P_i \end{cases} \quad (2)$$

式中: $CWDI_i$ 为第*i*个时间单位的水分亏缺指数(%); P_i 为第*i*个时间单位的累积降水量(mm); ET_i 为第*i*个时间单位的作物需水量(mm)。当 $ET_i \geq P_i$ 时,发生水分亏缺;当 $ET_i < P_i$ 时,可看作水分不亏缺,即 $CWDI_i = 0$ 。

公式(2)中, ET_i 为作物需水量,由参考作物蒸散量 ET_0 与作物系数 K_c 相乘后得到,即:

$$ET_i = K_c \times ET_0 \quad (3)$$

式中: K_c 为相应时段的作物系数,依据FAO-56(FAO为联合

国粮食及农业组织)推荐冬小麦标准作物系数,并结合前人的研究^[27]对作物系数进行了修正(表 1)。

表 1 冬小麦各月份的作物系数 K_c 值

月份	K_c
10	0.71
11	0.94
12	0.89
1	0.80
2	0.92
3	1.06
4	1.41
5	1.30
6	0.63

公式(3)中, ET_0 为参考作物蒸散量,采用 1998 年 FAO 推荐的 FAO Penman - Monteith 公式^[17](简称 FAO P - M 模型)计算:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (4)$$

式中: R_n 为作物表面上的净辐射($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$); G 为土壤热通量($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$); T 为 2 m 高处日平均气温($^{\circ}\text{C}$); u_2 为 2 m 高处的风速(m/s); e_s 为饱和水汽压(kPa); e_a 为实际水汽压(kPa); $e_s - e_a$ 为饱和水汽压差(kPa); Δ 为饱和水汽压曲线的倾率; γ 为湿度计常数($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$)

1.3.2 农业干旱等级划分 根据《农业干旱等级分级》^[28]及其他文献结果^[27],结合江苏省冬小麦生长实际情况,选取典型站点,北部选取赣榆区、徐州市;南部选取吕泗港镇。利用降水距平指数,筛选出少雨年,在此基础上再利用减产率筛选出歉年和平年;将这些年份的减产率和 CWDI 指数作回归分析,建立关系式,根据减产率的干旱划分等级,反推 CWDI 干旱等级划分,再根据实际情况订正,确定适合该区的冬小麦干旱分级标准(表 2)。

表 2 作物水分亏缺指数表征的农业干旱等级

干旱指标	江苏南部	江苏北部
无旱	$\text{CWDI} < 40$	$\text{CWDI} \geq 45$
轻旱	$40 \leq \text{CWDI} < 50$	$45 \leq \text{CWDI} < 55$
中旱	$50 \leq \text{CWDI} < 60$	$55 \leq \text{CWDI} < 65$
重旱	$\text{CWDI} \geq 60$	$\text{CWDI} \geq 65$

1.3.3 减产率 冬小麦的实际产量可以分为趋势产量、气象产量和随机产量(忽略)。本研究利用直线滑动平均法分离趋势产量,进一步得到减产率,公式如下:

$$y' = \frac{y - y_t}{y_t} \times 100\% \quad (5)$$

式中: y' 为小麦减产率(%); y 为实际产量; y_t 为趋势产量。丰年时, $y' > 5.0\%$;平年时, $-5.0\% \leq y' \leq 5.0\%$;歉年时, $y' < -5.0\%$ 。依据冬小麦减产率 $5\% \leq y' < 10\%$ 、 $10\% \leq y' \leq 20\%$ 、 $y' > 20\%$,分别确定冬小麦轻、中、重等级干旱。

1.3.4 干旱频率 该站点某一时段内干旱发生的年次数与统计总年数之比。计算公式如下:

$$f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i \quad (6)$$

式中: N 为统计资料的总年数; N_i 为 n 年中冬小麦某生育阶段出现某一旱级的次数; n 表示年份。

1.3.5 干旱站次数 用于反映干旱发生的范围。该站点在一段时间内达到干旱等级被计为发生干旱 1 站次^[19]。本研究以年代为时间尺度,计算区域内冬小麦生育阶段干旱发生站次数,来反映江苏省冬小麦生长季干旱发生范围及次数的年代际变化。

2 结果与分析

2.1 江苏省分区

江苏省各站点 CWDI 多年均值分别是徐州市为 49%,赣榆区为 47%,宿迁市为 44%,射阳县为 40%,盱眙县为 37%,淮安市为 42%,东台市为 35%,常州市为 31%,溧阳市为 27%,吴中区为 31%,南通市为 31%,吕泗港镇为 27%,南京市为 33%,高邮市为 36%。由北向南递减,并且苏北地区的数值远高于苏南地区。基于江苏省 CWDI 指数,在 ArcGIS 中利用自然断点法将江苏省分为南部和北部(图 2)。南部为高邮市、南京市、东台市、常州市、溧阳市、南通市、启东市、吕泗港镇 8 个站;北部为射阳市、盱眙县、淮安市、宿迁市、赣榆区、徐州市这 6 个站。南部 CWDI 最大为 50%,最小为 17%,多年均值为 31%;北部 CWDI 最小为 27%,最大为 63%,多年均值为 44%。

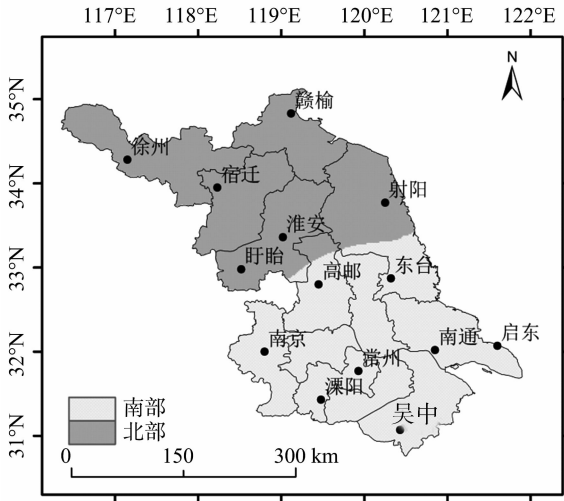


图2 江苏省各站点分区

2.2 江苏省冬小麦生长季 CWDI 年际变化

从图 3 可以看出,播种至出苗期,江苏北部 CWDI 在 8% (1985 年)~62% (1997 年)之间,平均为 32%;南部 CWDI 在 7% (2008 年)~51% (1991 年)之间,平均为 27%。出苗期至拔节期,北部 CWDI 在 19% (2000 年)~66% (2010 年)之间,平均为 43%,南部 CWDI 在 12% (2000 年)~53% (2010 年)之间,平均为 33%。拔节期至抽穗期,北部 CWDI 在 16% (1997 年)~64% (1999 年)之间,平均为 41%,南部 CWDI 在 9% (2002 年)~46% (2007 年)之间,平均为 25%。抽穗期至成熟期,北部 CWDI 在 13% (1997 年)~67% (1999 年)之间,平均为 46%,南部 CWDI 在 14% (1986 年)~56% (2010 年)之间,平均为 32%。

冬小麦各生育期的 CWDI 平均值均表现为江苏北部高于

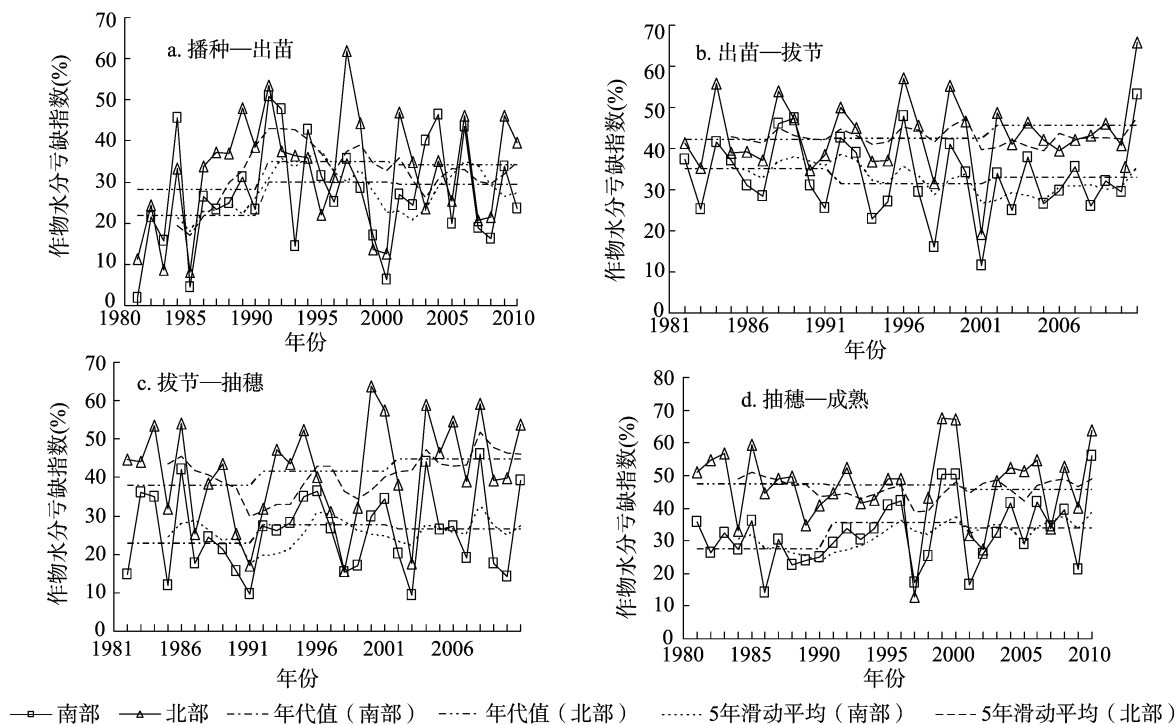


图3 冬小麦不同生育阶段水分亏缺指数年际变化

南部。江苏南部的 CWDI 多年均值以出苗期至拔节期的最大 (33%), 之后依次为抽穗期至成熟期 (32%)、播种期至出苗期 (27%)、拔节期至抽穗期 (25%); 江苏北部的 CWDI 多年均值以抽穗期至成熟期的最大 (46%), 依次为出苗期至拔节期 (43%), 拔节期至抽穗期 (41%), 播种期至出苗期 (32%)。南北 2 个地区 CWDI 多年均值的年代间变化趋势大体一致, 20 世纪 90 年代是剧烈波动期。

根据 5 年滑动平均趋势线, 出苗期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗期至成熟期的 CWDI 值随时间的变化趋势比较平缓, 无明显的峰值和谷值。播种期至出苗期 CWDI 值的时间变化趋势出现了相对较明显的峰谷值, 南部的峰谷值分别在 1995、2002 年; 北部的峰谷值分别在 1991、2003 年。

2.3 冬小麦生长季干旱站次数

各生育期全部等级干旱发生站次数的年代变化见图 4。近 30 年来, 抽穗期至成熟期的干旱发生站次数最多, 说明在抽穗期至成熟期干旱发生的范围最广, 之后依次是出苗期至拔节期、拔节期至抽穗期、播种期至出苗期。年代际变化上, 仅拔节期至抽穗期为持续略有增加的趋势, 其他 3 个生育期呈现先增后减的“单峰”趋势, 峰值均出现在 1991—2000 年。从 1981—1990 年至 1991—2000 年, 3 个生育期分别增加了 24、7、18 站次; 从 1991—2000 年至 2001—2010 年, 3 个生育期分别减少了 11、16、3 站次。

冬小麦各生育期不同等级干旱发生站次数的年代际变化情况见图 5。从各干旱等级发生的站次数来看, 干旱等级发生站次数由多到少的排序分别为轻旱 > 中旱 > 重旱。轻旱的年代际变化 4 个生育期均呈现低—高一低的波动变化, 但出苗期至拔节期的整体趋势是减少, 播种期至出苗期、拔节期至抽穗期、抽穗期至成熟期均为增加趋势。中旱的年代际变化播种期至出苗期、出苗期至拔节期的趋势是增加; 拔节期至抽

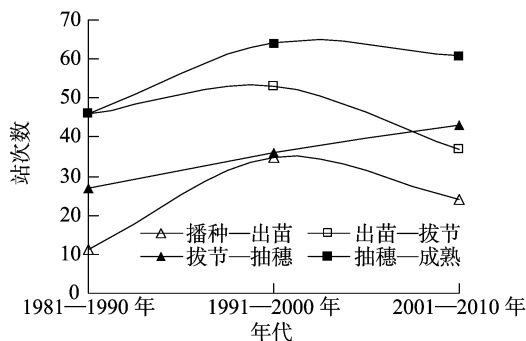


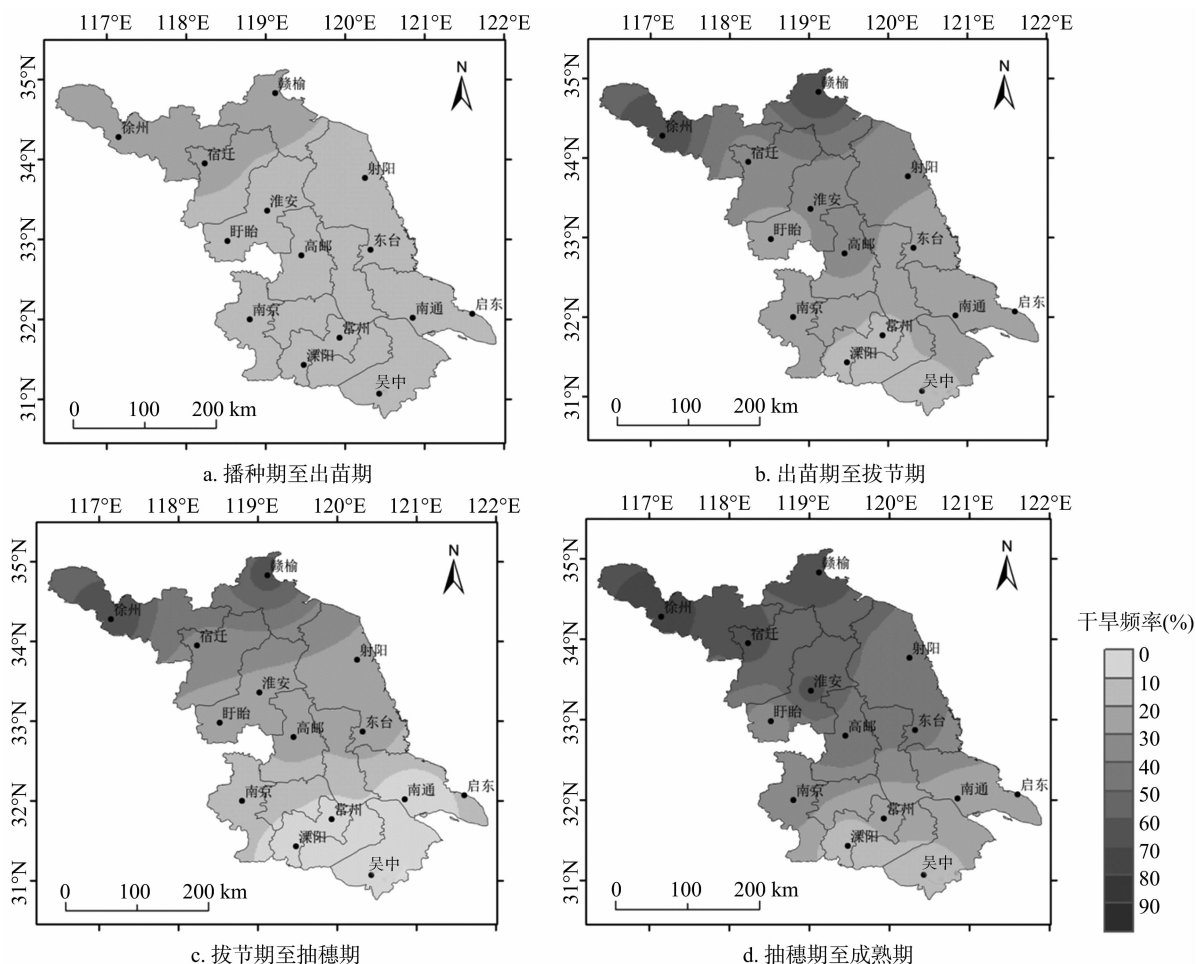
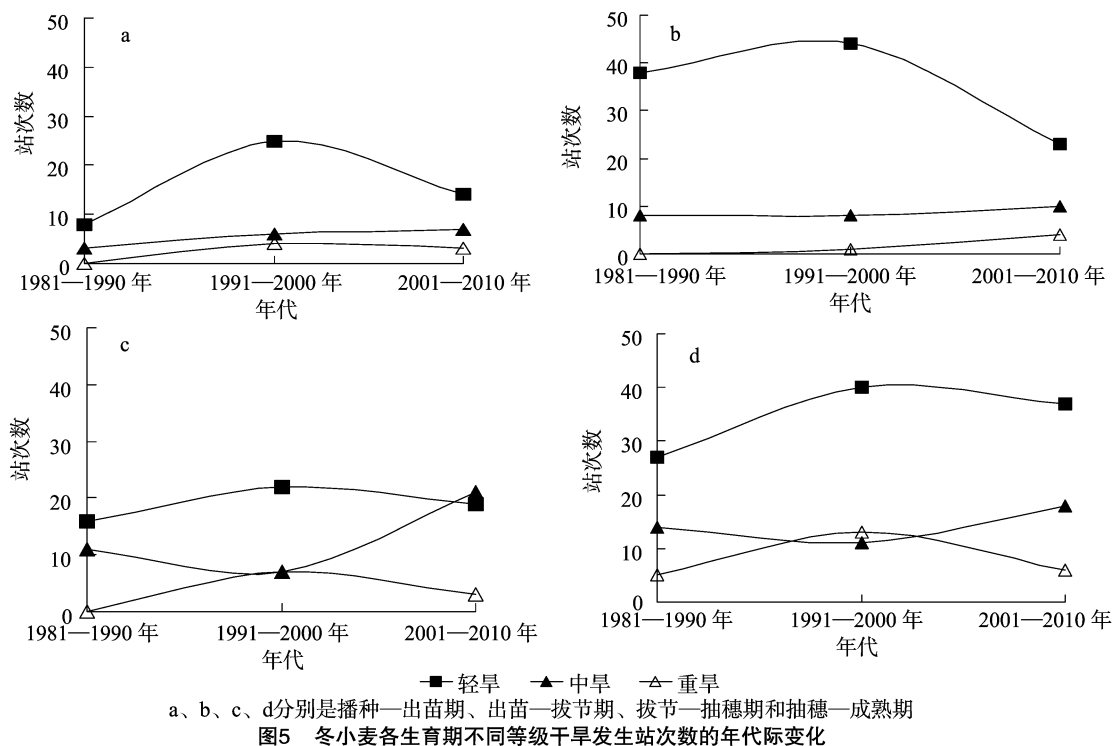
图4 冬小麦各生育阶段干旱发生站次数的年代际变化

穗期、抽穗期至成熟期呈现高一低—高的波动变化, 但总趋势是增加。重旱的年代际变化出苗期至拔节期为稳定增加趋势; 播种期至出苗期、拔节期至抽穗期、抽穗期至成熟期呈现低—高一低的波动变化, 总体呈增加趋势。

2.4 江苏省冬小麦干旱频率空间分布

2.4.1 各生育期干旱频率 从图 6 可以看出, 4 个生育期干旱发生概率的空间分布规律比较一致, 总体为由南向北逐渐增大的趋势。抽穗期至成熟期发生干旱的频率最大, 最大值达 80%, 北部大部分区域的干旱频率在 50% 以上, 南部大部分区域在 30% 以上。出苗期至拔节期次之, 最高达 70%, 徐州市、赣榆区一带在 50% 以上, 除盱眙县以外的剩余区域均在 40% 以上; 南部的高邮市、南京市一带达到 30% 以上, 其余区域在 30% 以下。拔节期至抽穗期的干旱发生概率又进一步降低; 播种期至出苗期发生干旱的概率最低。江苏省干旱发生概率空间分布由南向北递增, 不同生育期干旱发生概率分别为抽穗期至成熟期 > 出苗期至拔节期 > 拔节期至抽穗期 > 播种期至出苗期。

2.4.2 不同干旱等级发生频率的空间分布 冬小麦生长季



江苏省不同等级干旱发生频率的空间分布见图7。干旱发生频率随着等级的升高而降低,空间分布上北部高南部低。同一生育期各旱级干旱频率的空间分布均以轻旱最为明显。轻

旱频率呈北高南低分布,高值区在徐州市、赣榆区、高邮市、东台市一带;中旱、重旱等级干旱频率主要集中在徐州市及赣榆区地区。

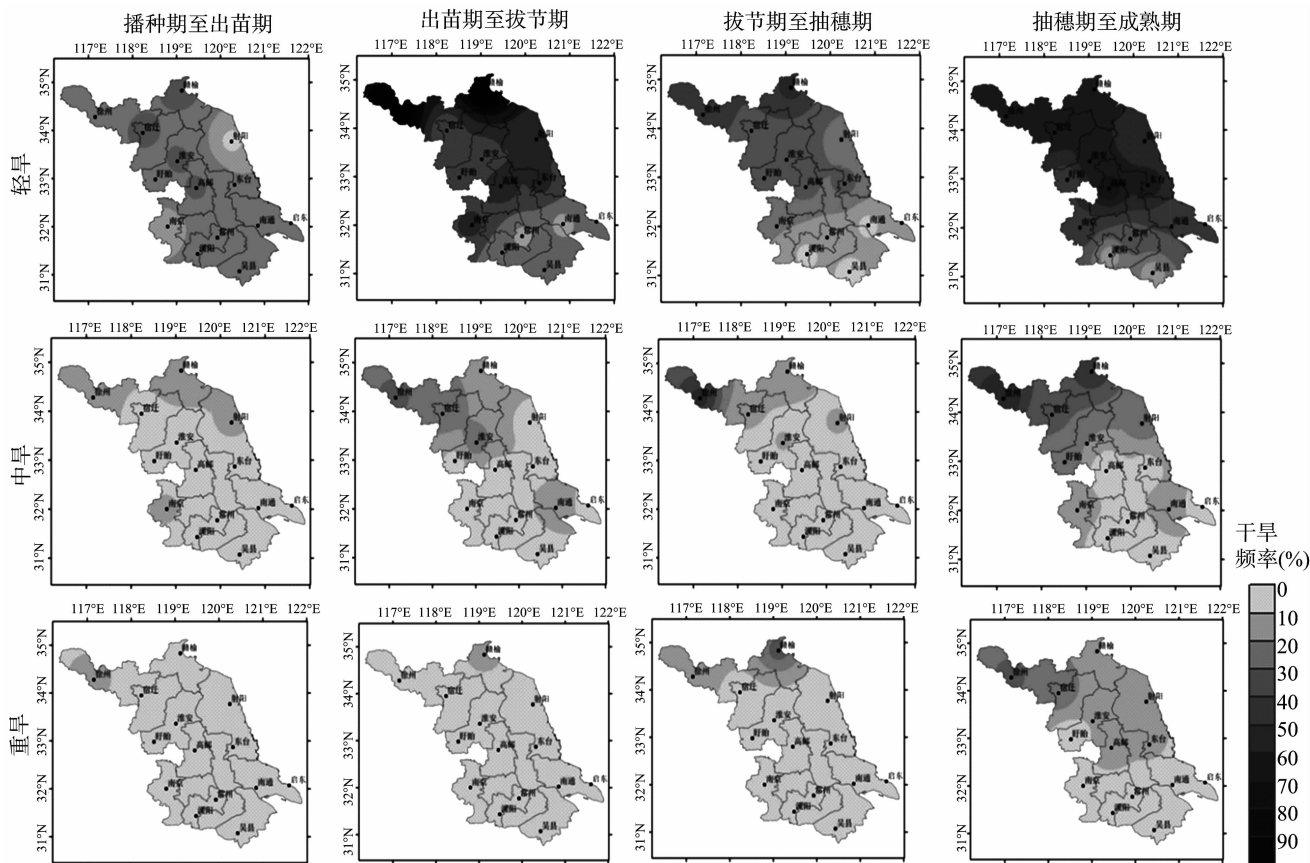


图7 江苏省冬小麦不同生育期不同等级干旱发生概率的空间分布

江苏北部的徐州市、赣榆区、宿迁市随着生育阶段更替干旱频率变化最明显,尤其是轻旱等级。在轻旱等级上,干旱频率分别为出苗期至拔节期>抽穗期至成熟期>拔节期至抽穗期>播种期至出苗期,在中旱等级上,干旱频率分别为抽穗期至成熟期>拔节期至抽穗期>出苗期至拔节期>播种期至出苗期。从不同生育阶段各等级干旱发生频率的空间分布来看,在出苗期至拔节期阶段,江苏北部以及中南部地区的轻旱发生频率均在20%以上,而中旱、重旱以上干旱在抽穗期至成熟阶段发生的概率最大,主要分布在江苏北部的徐州市、赣榆区2地。

3 讨论与结论

3.1 冬小麦生长季干旱年际变化

年代际变化上,仅拔节期至抽穗期为持续略有增加的趋势,其他3个生育期呈现先增后减的“单峰”趋势,峰值均出现在1991—2000年。说明冬小麦在拔节期至抽穗期干旱发生的范围逐年扩大,而其他3个生育期的干旱范围是在20世纪80年代、20世纪90年代期间扩大,并在20世纪90年代达到最大,之后又逐渐缩小。

1995、1997、1999、2001、2003、2010年这6年是旱情较严重的年份,与中国气象灾害大典^[25]中的记录吻合,如1995年

6月至11月,淮北大部分地区持续干旱少雨,降水量只有常年的40%,淮南地区降水持续偏少,气温偏高,蒸发量大,出现不同程度的旱情,特别是秋播开始全省几乎滴雨未落,直接影响正常播种,播种后出苗时间延长,前后期的累积影响,致使旱情日趋严重。1997年8月21日至10月31日,江苏省受西风带高压脊控制,降水持续减少,大部分地区降水累积量在50 mm以下,同时日照充足、蒸发量大,土壤失墒严重,以致北部地区、南部丘陵区旱情严重。2010年9月23日开始,江苏省发生60年来最严重旱灾,江苏省淮北地区累计面平均雨量仅为4 mm,比常年同期偏少94%,为1950年以来最小值。至12月10日,淮北地区连续无有效降雨天数超过70 d,部分地区已超过90 d。淮河11月以来仅有少量来水,近期一度断流,旱情持续蔓延,主要农作物小麦生长形势严峻,部分地区出苗率不到50%。

3.2 冬小麦生长季干旱空间分布

本研究利用CWDI这一农业干旱指标分析江苏省冬小麦各生育阶段干旱的时空演变特征。抽穗期至成熟期发生干旱的频率最高,程度最重,其次分别是出苗期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗期至成熟期,说明江苏地区以冬旱和夏旱为主,这与灾害大典江苏卷^[25]中的记载相符:冬旱平均5年2遇,夏旱平均4年1遇,春旱、秋旱平均10年1~2遇。但包云轩等利用气象干旱复合指数(CI)指数研究江苏省干旱时

空分布认为,冬季发生干旱频率最高,夏季发生干旱频率最低^[11];张旭晖等利用水分亏盈量与标准蒸散之比作为干旱指标,研究江苏省农业干旱发生的规律,他们发现江苏北部冬旱最严重,南部秋旱最严重^[29]。结果产生差异的原因可能是所选取的干旱指标不同,但上述研究对江苏省发生程度最重、频率最高的是冬旱的看法是一致的。

冬小麦不同生育期干旱的走势基本一致,干旱频率均呈现由南向北递增的变化趋势,徐州市旱情最为严重。这与前人研究结果一致,张旭晖等认为,江苏省干旱发生的概率和程度由南向北加重,淮北为江苏省旱灾发生最多的地区^[29]。

(1)从 CWDI 值来看南北差异大。南部 CWDI 最大为 50%,最小为 17%,多年均值为 31%;北部 CWDI 最大为 27%,最小为 63%,多年均值为 44%。(2)从时间尺度来看,南部、北部 2 个地区的 CWDI 多年均值在年代间变化趋势大体一致,20 世纪 90 年代是剧烈波动期。1997、1999、2001、2003、2010 年是冬小麦干旱发生较严重的年份。干旱的范围先增后减,20 世纪 90 年代干旱范围最大。(3)从空间分布来看,各阶段干旱的空间分布走势基本一致,均呈现为由南向北递增的变化趋势,江苏北部的徐州市、赣榆区、宿迁市一带是干旱频率的高值区;并且发现各阶段干旱发生频率随着干旱等级的升高而降低。(4)从生育阶段变化来看,抽穗期至成熟期的干旱发生站次数最多,干旱发生范围最广,其次依次是出苗期至拔节期、拔节期至抽穗期、播种期至出苗期。同时抽穗期至成熟期的干旱频率最高,干旱程度最重,其次依次是出苗期至拔节期、拔节期至抽穗期、播种期至出苗期。(5)从干旱等级来看,江苏省以轻旱为主。轻旱发生的范围最广,不同干旱等级发生站次数由多到少的排序分别为轻旱>中旱>重旱。轻旱发生的频率最高,干旱频率随着干旱等级的升高而降低。

参考文献:

- [1] Palmer W C. Meteorological drought [R]. U. S. Department of Commerce Weather Bureau Research Paper, 1965.
- [2] 张存杰,王 胜,宋艳玲,等. 我国北方地区冬小麦干旱灾害风险评估[J]. 干旱气象,2014,32(6):883-893.
- [3] Sheffield J, Wood E F. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations[J]. Climate Dynamics, 2008, 31(1):79-105.
- [4] Dai A G. Erratum: drought under global warming: a review[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change, 2011, 2(1):45-65.
- [5] Nakicenovic N, Swart R J. Special report on emissions scenarios (SRES) - a special report of working group III of the intergovernmental panels on climate change [J]. Betascript Publishing, 2000, 559:612.
- [6] 包云轩,孟翠丽,申双和,等. 江苏省典型干旱过程特征[J]. 生态学报,2011,31(22):6853-6865.
- [7] 李 芬,于文金,张建新,等. 干旱灾害评估研究进展[J]. 地理科学进展,2011,30(7):891-898.
- [8] 王劲松,李忆平,任余龙,等. 多种干旱监测指标在黄河流域应用的比较[J]. 自然资源学报,2013,28(8):1337-1349.
- [9] 张玉静,王春乙,张继权. 基于 SPEI 指数的华北冬麦区干旱时空分布特征分析[J]. 生态学报,2015,35(21):7097-7107.
- [10] 陈昱潼,畅建霞,黄生志,等. 基于 PDSI 的渭河流域干旱变化特征[J]. 自然灾害学报,2014,23(5):29-37.
- [11] 包云轩,孟翠丽,申双和,等. 基于 CI 指数的江苏省近 50 年干旱的时空分布规律[J]. 地理学报,2011,66(5):599-608.
- [12] Richard R J. A review of twentieth-century drought indices used in the United States [J]. Bull Amer Meteor Soc, 2002, 83:1149-1165.
- [13] 王素萍,张存杰,李耀辉,等. 基于标准化降水指数的 1960—2011 年中国不同时间尺度干旱特征[J]. 中国沙漠,2014,34(3):827-834.
- [14] 李 艳,薛昌颖,杨晓光,等. 基于 APSIM 模型的灌溉降低冬小麦产量风险研究[J]. 农业工程学报,2009,25(10):35-44.
- [15] 张建平,赵艳霞,王春乙,等. 基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术[J]. 生态学报,2013,33(6):1762-1769.
- [16] 贾慧聪,王静爱,潘东华,等. 基于 EPIC 模型的黄淮海夏玉米旱灾风险评价[J]. 地理学报,2011,66(5):643-652.
- [17] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements [R]: FAO Irrigation and Drainage Paper, 1998:56.
- [18] 刘丙军,邵东国,沈新平. 作物需水时空尺度特征研究进展[J]. 农业工程学报,2007,23(5):258-264.
- [19] 薛昌颖,马志红,胡程达. 近 40 年黄淮海地区夏玉米生长季干旱时空特征分析[J]. 自然灾害学报,2016,25(2):1-14.
- [20] 王连喜,胡海玲,李 琪,等. 基于水分亏缺指数的陕西冬小麦干旱特征分析[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(5):237-244.
- [21] 董朝阳,刘志娟,杨晓光. 北方地区不同等级干旱对春玉米产量影响[J]. 农业工程学报,2015,31(11):157-164.
- [22] 李雅善,王 波,杨云源,等. 基于作物水分亏缺指数的云南葡萄干旱状况时空差异分析[J]. 北方园艺,2016(12):11-15.
- [23] 黄晚华,杨晓光,曲辉辉,等. 基于作物水分亏缺指数的春玉米季节性干旱时空特征分析[J]. 农业工程学报,2009,25(8):28-34.
- [24] 叶正伟. 江苏旱涝灾害对农业经济的影响及承灾系统分析[J]. 江苏农业科学,2006,34(4):5-7.
- [25] 温克刚,卞光辉. 中国气象灾害大典:江苏卷[M]. 北京:气象出版社,2008:156-158.
- [26] 许 莹,马晓群,田晓飞,等. 安徽省冬小麦和一季稻分时段水分敏感性研究[J]. 中国农学通报,2011,27(24):33-39.
- [27] 隋 月,黄晚华,杨晓光,等. 气候变化背景下中国南方地区季节性干旱特征与适应 II. 基于作物水分亏缺指数的越冬粮油作物干旱时空特征[J]. 应用生态学报,2012,23(9):2467-2476.
- [28] 农业干旱等级:GB/T 32136—2015[S].
- [29] 张旭晖,居为民. 江苏省近 40 年农业干旱发生规律[J]. 灾害学,2000,15(3):43.