

基于CI指数的江苏省近50年干旱的时空分布规律

包云轩^{1,2}, 孟翠丽^{1,2}, 申双和^{1,2}, 邱新法¹, 高 苹³, 刘 聪³

(1. 江苏省农业气象重点实验室, 南京信息工程大学, 南京 210044;

2. 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044;

3. 江苏省气象局, 南京 210008)

摘要:根据江苏省54个气象台站1960-2009年实测气象资料,利用气象干旱复合指数(composite index, CI)对江苏省近50年的干旱特征进行了时空分析。通过计算各站历年逐日的CI指数值,统计近50年各站点出现的干旱过程,分析江苏省各地区干旱发生的频率、范围和强度,揭示了江苏省干旱发生的时空分布规律。研究结果表明:(1)江苏省全年和四季干旱发生频率都是北高南低,四季中,冬旱发生频率最高,夏旱发生频率最低,秋旱南北差异不显著。(2)冬季江苏省干旱大范围发生的年份最多,夏季最少;近50年来,全年和四季干旱覆盖范围的线性变化趋势不明显。(3)这50年中,江苏省逐年干旱持续日数和干旱强度虽然存在着明显的年际波动,但线性变化趋势不明显。(4)江苏省各等级干旱日数总体上呈现冬季多夏季少、北部多南部少的规律。

关键词:江苏省;气象干旱;复合指数(CI);GIS;时空变化规律

1 引言

近年来,中纬度地区气候暖干化是全球气候变化最显著的特征^[1],它带来的主要问题之一是全球范围的干旱问题日趋严重,因此,对干旱的研究成为目前世界气象学界探讨的热点。江苏省位于长江和淮河的下游,东临黄海,北接山东,西连安徽,东南与上海、浙江接壤,是我国长江三角洲经济区的重要组成部分。地形以平原为主,主要有苏南平原、江淮平原、黄淮平原和东部滨海平原,低山丘陵集中在北部和西南部,约占全省总面积的14.3%。在气候上,江苏属于东亚季风区,又属亚热带和暖温带的过渡区。一般说来,淮河(苏北灌溉总渠)以南的广大地区属北亚热带湿润季风气候区,淮河(苏北灌溉总渠)以北的地区为南温带半湿润季风气候区。在太阳辐射、海陆分布、大气环流和江苏特定的地理位置、地貌特征的综合作用下,江苏气候的特点是季风显著,四季分明,雨量集中,雨热同季,冬冷夏热,春温多变,秋高气爽。全省年平均气温为13~16℃,春季升温西部快于东部,秋季降温中南部慢于北部。全年实际日照时数平均为2000~2600 h,日照百分率为48%~59%。江苏省年降水量为724~1210 mm,由于受季风气候影响,降水季节分配不均匀,夏季多,冬季少,且地区差异明显,东部多于西部,南部多于北部。全省年蒸发量为900~1050 mm,因受海洋潮湿气流影响,蒸发量明显自东向西递增。受海陆分布、大气环流、季风降水的共同影响,江苏是我国典型的旱涝灾害频发区^[2]。

对江苏省近百年旱涝变化的研究表明,全省近年来干旱发生频率愈来愈高^[3]。虽然从多年农业生产来看,一般都是旱丰涝欠^[4],但不容质疑的是,旱灾不仅给江苏省的农田灌溉带来了巨大压力,而且也严重影响到工农生产的正常进行和人民的日常生活。

收稿日期: 2010-07-05; 修订日期: 2011-01-18

基金项目: 江苏省科技支撑计划(BE2009680); 江苏高校优势学科建设工程 [Foundation: A Project Funded by Science & Technology Pillar Program in Jiangsu Province, No.BE2009680; The Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions]

作者简介: 包云轩(1963-),男,江苏人,教授,博士,博士生导师。主要研究方向为气象与防灾减灾、应用气象、遥感与地理信息系统。E-mail: baoyx@nuist.edu.cn

干旱是一个缓慢的累积过程,某月的旱涝程度不仅与当月降水量有关,而且与前期降水和蒸散的累积效应、前期和当月的土壤水分变化、当前的热量收支状态等因素有关^[5]。一般把干旱分为气象干旱、水文干旱、农业干旱和社会经济干旱,其中气象干旱是其他各类干旱发生的主要原因^[6],探明了气象干旱的发生规律、成因和灾变机制,才能进一步研究其它类型的干旱,继而有效监测和预警各类干旱。而要研究和了解不同区域干旱的发生规律,干旱指标是干旱监测、预警、评估中的关键参数。前人已对气象干旱指标作了大量的研究,提出了很多气象干旱指标,如降水距平百分率、相对湿润度指数、Z指数、SPI指数、帕默尔旱情指数等^[7-11],并利用这些干旱指标对各地干旱的时空变化规律进行了研究^[12-15],为我们在理论上的借鉴和实践上的参考奠定了基础。本文从研究气象干旱的角度出发,根据江苏省54个气象台站1960-2009年实测气象资料,应用复合气象干旱指数(CI),分析计算了江苏省近50年来干旱发生的频率、覆盖范围、干旱过程的持续日数、干旱强度;并应用ArcGIS 9.3地理信息系统软件对不同发生强度、不同覆盖区域的干旱多年平均日数进行了空间分析,旨在寻找江苏省干旱监测、预警的可靠指标,以期指导全省防旱抗旱,减轻旱灾损失。

2 资料与方法

2.1 资料

选用1960-2009年江苏省54个地面气象观测台站的逐日降水、日平均气温、日最高气温、日最低气温、日照时数、风速、相对湿度等气象要素的实测资料。对个别台站的缺测资料进行了插补处理,经过订正处理后的54个台站的各要素资料具有较好的连续性。

2.2 方法

2.2.1 复合气象干旱指数的计算方法 本文采用《气象标准汇编》GB/T 20481-2006中推荐使用的复合气象干旱指数(CI)来统计分析近50年来江苏省干旱的时空变化特征^[16]。CI指数是利用近30d(相当于月尺度)和近90d(相当于季尺度)标准化降水指数,以及近30d相对湿润度指数进行复合而得到的,它既反映了短时间尺度(月)和长时间尺度(季)的降水量气候异常情况,又反映了短时间尺度(影响农作物生长)的水分亏欠情况。CI指数越小,即负值越大,表明干旱越严重。该指标适用于实时气象干旱监测和历史气象干旱的评估。复合气象干旱指数CI的计算公式为:

$$CI=0.4Z_{30}+0.4Z_{90}+0.8M_{30} \tag{1}$$

式中:Z₃₀、Z₉₀分别为近30d和近90d的标准化降水指数SPI值,M₃₀为近30d的相对湿润度指数。其中标准化降水指数SPI、相对湿润度指数M的计算方法依照文献[16],相对湿润度指数中的潜在蒸散量ET₀采用FAO推荐的彭曼—蒙泰斯(Penman-Monteith)蒸散公式^[17]计算。

利用(1)式计算出逐日的复合气象干旱指数CI,根据气象干旱等级(表1)对CI值划分后进行干旱分析评估。

2.2.2 气象干旱过程的确定 当复合气象干旱指数CI连续10d为2级以上,则确定为发生1次干旱过程。干旱过程的开始日为第1天CI指数达轻旱以上等级的日期。在干旱发生期内,当CI连续10d为无旱等级时干旱解除,同时干旱过程结束,结束日期为最后1次CI指数达无旱等级的日期。干旱过程开始到结束期间的时间为干旱持续时间。干旱过程内各日的CI指数为轻旱以上的干旱等级之和,表示干旱过程的强度,其值越小(绝对值越大)干旱过程越强^[16]。

当某一时段内至少出现1次干旱过程,并且累积干旱持续时间超过所评价时段的1/4时,则认为该时段发生干旱,其干旱强度由时段内CI值为轻旱以上的干旱等级之和确定^[16]。

表 1 基于复合指数的气象干旱等级
Tab. 1 Meteorological drought grades based on composite index

气象干旱等级	气象干旱类型	CI
1	无旱	>-0.6
2	轻旱	-0.6~-1.2
3	中旱	-1.2~-1.8
4	重旱	-1.8~-2.4
5	特旱	<-2.4

2.2.3 干旱发生频率计算 本研究统计了近50年来历年及历年各季干旱事件的发生情况,利用下式计算了干旱发生频率(p):

$$p = \frac{n}{N} \times 100\% \tag{2}$$

式中: n 为实际有干旱发生的年数, N 为资料年代序列数,1960-2009年共有50年数据,所以 N 取50。

3 结果分析

3.1 干旱发生的频率

对江苏省近50年内实测旱情记录和由CI计算分级得到的干旱发生特征进行分析后发现:江苏历年干旱发生频次呈现北高南低的分布规律。年干旱发生频率最大值出现在丰县、沛县,达90%以上,在当地也有十年九旱之说;淮北地区干旱发生频率普遍较高,均在60%以上;江淮北部地区在40%~60%之间;苏北沿海为30%~40%;沿江地区为20%~40%;苏南大部在12%~20%(图1a)。

江苏省春季干旱发生频率分布与年频率分布相似,也呈现出明显的北高南低特征。春旱发生频率最大值仍出现在丰县、沛县,达80%以上;淮北地区春旱频率在40%以上,江淮北部在30%~40%之间;沿江和苏北沿海为20%~30%;苏南大部为10%~20%(图1b)。

夏旱发生的频率较春旱大幅度减小,最大频率区依然是徐州地区的丰县、沛县,介于40%~48%之间,淮北及江淮北部地区,夏旱发生呈明显的东少西多的特征,东部大部分地区在10%~20%之间,西部绝大多数地区在20%~40%之间,这可能与离海远近有关,靠海越近,空气中含水量越多,干旱机率越低。沿江、苏北沿海及苏南大部夏旱发生的频率均在10%~20%之间,这与夏季这些地区的降水比其他地区多有关(图1c)。

秋旱发生频率较夏旱高,但南北差异较春季小,秋旱频率最大值出现在邳州、丰县、沛县,达60%以上。除这三个县(市)外的淮北大部分地区秋旱发生频率均在40%~50%之间;江淮北部、苏北沿海、沿江地区秋旱发生频率在30%~40%之间;秋旱的低频区出现在苏南的金坛、常熟、宜兴、无锡等市县,均在26%~30%之间;沿江、苏南秋旱的发生频率较春旱、夏旱高,这与该地区春雨多、初夏梅雨期雨量大(通常占全年总雨量的40%以上)而秋季相对少雨有关(图1d)。

江苏冬旱发生频率较其它任何季节都高(图1e),北多南少的冬旱分布规律极为显著。冬旱发生频率达到80%以上的站点均集中在淮北地区北部,江淮北部、苏北沿海大部分地区冬旱发生频率在70%~80%之间,沿江地区为40%~50%;苏南地区在32%~40%。

3.2 干旱覆盖范围

这50年中,江苏省年总干旱发生面积达90%以上的年份有22年,分别为1963、1965、1970、1971、1973、1976、1978、1979、1981、1982、1984、1986、1988、1991、1992、1995、1997、1999、2000、2001、2002、2008年(图2a)。四季中春季干旱覆盖范围达90%以上的年份有4年,分别为1984、2000、2001、2008年(图2b);夏季有1年,为1978年(图3c);秋季有6年,为1979、1988、1991、1992、1997、2002年(图2d);冬季有13年,为1963、1965、1970、1971、1973、1976、1981、1982、1986、1988、1991、1995、1999年(图2e);可见:冬季大范围干旱的年份最多,且主要集中在20世纪的70-80年代,夏季大范围干旱最少。

江苏省出现季节连旱且覆盖范围达90%以上的年份相对较少,秋冬连旱且覆盖范围达90%以上的年份有2年,为1988、1991年(图2d,图2e);冬春连旱、且覆盖范围达90%以上的年份有1年,为1999-2000年(图2e、图2b)。从计算结果和图2a还可发现:这50年中,江苏省历年干旱发生面积占土地覆盖总面积的百分比(即干旱面积覆盖率)变化于6.3%~100%之

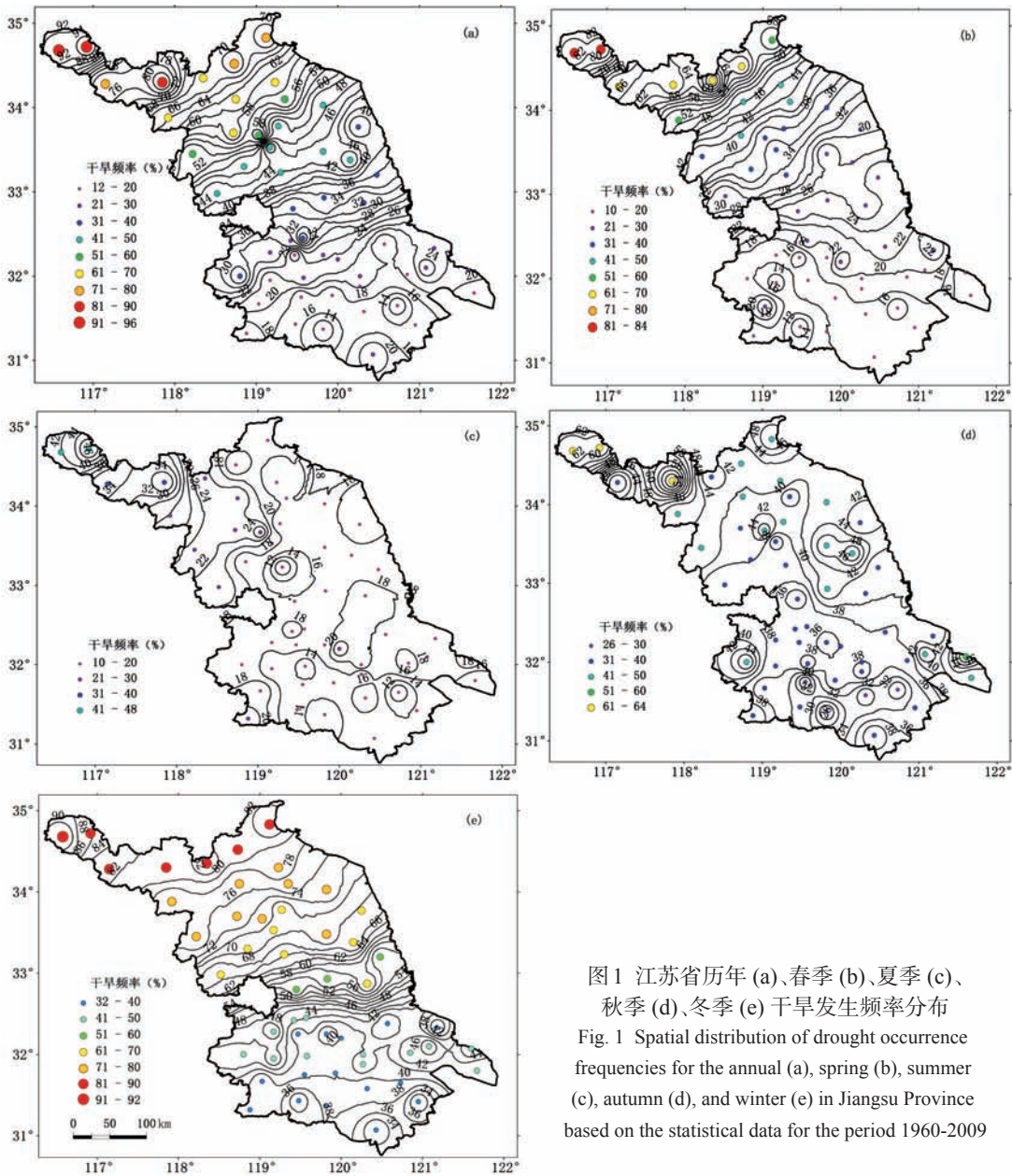


图1 江苏省历年(a)、春季(b)、夏季(c)、秋季(d)、冬季(e)干旱发生频率分布
Fig. 1 Spatial distribution of drought occurrence frequencies for the annual (a), spring (b), summer (c), autumn (d), and winter (e) in Jiangsu Province based on the statistical data for the period 1960-2009

间,年际差异大,干旱面积覆盖率达100%的年份有为1965年;最低的年份为1993年,只有6.3%。这50年中,江苏省年际干旱面积覆盖率起伏变化明显,且从1992年以来,大覆盖率的干旱事件发生越来越频繁。

春季干旱覆盖面积比较大的时期分别在20世纪的60年代、70年代后期至80年代前期、21世纪初以来,覆盖面积达95%以上的年份有2年,为1984、2000年;最小的年份为1990、1999年,不到5%。春旱覆盖面积有明显的准10年周期性变化,且近10年来再次进入覆盖率相对较大的时期(图2b)。

夏季干旱覆盖面积总体而言比其它季节都小(图2c),50年中只有1961、1966、1967、1978、1981、1997、2005年覆盖面积超过了总面积的50%,其它年份都在30%以下。自2006以来,全省没有出现过明显的夏旱。

秋旱的发生面积明显要比春旱、夏旱大,覆盖面达50%以上的年份有19年,超过80%的年份有8年,发生面积相对较小的时期在20世纪80年代前期。秋旱发生面积的年际变化不存在明显的周期,本世纪初以来,2002年的秋旱覆盖面积最大,达90%以上(图2d)。

冬旱在江苏省发生范围最广,50年中有一半以上年份(27年)的覆盖率在50%以上(图2e);这27年中,又有一半以上年份(17年)的覆盖率在80%以上。

但从设定置信度水平为 $\alpha = 0.01$ 和 $\alpha = 0.05$ 的F显著性检验发现:江苏省历年及四季干旱覆盖面积的线性变化趋势均不显著。

3.3 干旱持续日数和干旱强度

为了反映江苏省历年干旱发生日数、各干旱过程持续天数及干旱强度的变化特征,本研究根据所求各站逐日CI值,确定了历年各站各次干旱过程及其强度变化,考虑时空连续性、背景一致性等因素,统计了全省历年干旱发生的次数、各次干旱过程持续的天数和总日数,绘制了各干旱过程全省平均的强度变化曲线。在此基础上,分析了50年来江苏省历年平均的干旱持续日数和干旱强度变化特征。

近50年来江苏省历年平均干旱持续日数呈波动式变化(图3a),年干旱持续日数最多的达179d,出现在1978年,最少的只有22d,出现在1972年。计算各年代平均的年平均旱日数后发现:20世纪60年代为95d,70年代为79d,80年代为91d,90年代为77d,21世纪前10年为84d,存在着准10年周期的年代际干旱平均持续天数的起伏变化。

在对这50年中逐年各站所有旱日的CI值求和后,得到了历年各站的干旱强度值;再对逐年全省各发生干旱的台站的CI值求平均后,则得到了江苏省历年平均干旱强度变化曲线(图3b)。从中可以看出:近50年来江苏省逐年平均干旱强度呈波动式变化,最大值出现在1978年,为-205.81;次大值出现在1973年,为-197.21。

综合图3(a)、图3(b)可以计算得到历年干旱发生期内的日旱强(图3c),虽然1978年的CI年绝对值比1973年大,但1973年的日旱强为-1.61/d,达中旱程度;1978年约为-1.15/d,只达轻旱程度;而从早期持续天数来看,1973年早期长为123天,1978年为179天,后者的累积效应明显比前者大。1991、2000年的CI年绝对值不是很大,属居中值,分别为-114.01、-110.43,但这2年的日旱强分别达到了-1.40/d、-1.35/d,为中旱程度。由此可见:干旱持续日数和日旱强都对干旱发生程度有着极其重要的影响。

对江苏省历年平均干旱持续日数和平均干旱强度进行置信度水平 $\alpha = 0.01$ 和 $\alpha = 0.05$ 的F显著性检验发现:这两者的线性变化趋势均不显著。

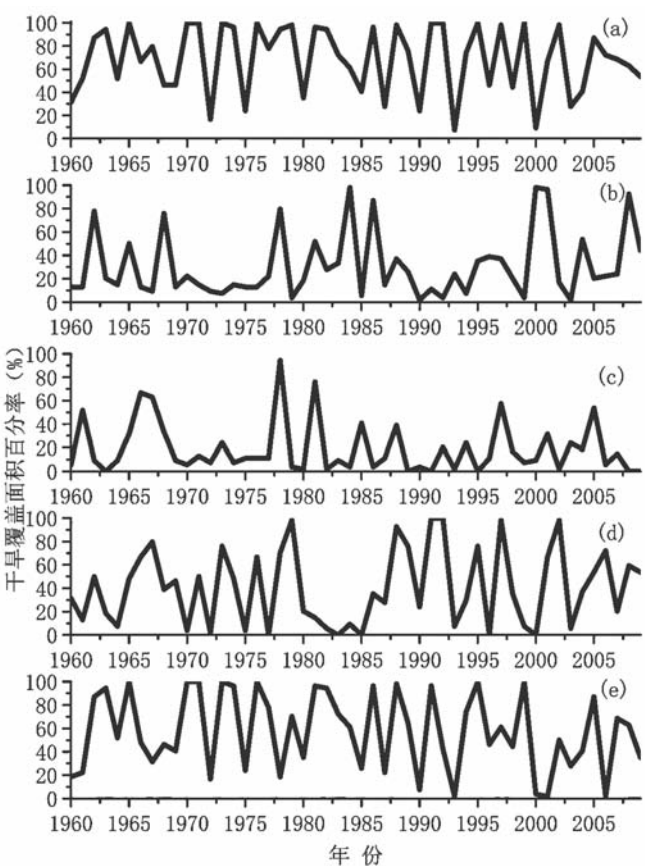


图2 江苏省历年(a)、春季(b)、夏季(c)、秋季(d)、冬季(e)干旱覆盖面积百分率

Fig. 2 Annual percentages of the drought covered area for the annual (a), spring (b), summer (c), autumn (d), and winter (e) in Jiangsu Province

3.4 不同等级的干旱

本研究采用逐日各站CI值及不同级别的CI干旱指标,统计了1960-2009年江苏省历年及历年各季不同等级干旱出现的天数,研究发现:

江苏省轻旱、中旱的年平均日数都呈北多南少的规律,从淮北→江淮北部、苏北沿海→沿江→苏南轻、中旱日数依次递减。轻旱日数最多,约占全年总日数的11.2%~35.6%。中旱其次,约占全年总日数的3.8%~13.6%。

重特旱日数的相对多值区主要出现在江苏的北部地区,淮北和苏北沿海的北部地区(图4),重特旱日数达9~11d,江淮北部、苏北沿海的南部地区为7~9d,沿江、苏南地区重特旱日数在3~7d;与前述轻旱、中旱日数分布规律不一致的是江苏的重旱在丰县、沛县、邳州出现了最小值中心,重特旱发生日数仅1~3d,这可能与当地土壤理化特性、下垫面蒸发力等有关。

分析历年四季江苏省不同等级的干旱发生情况后发现:春季轻、中旱平均日数分布也呈北多南少的规律,多年平均的春季轻旱发生天数全省各地区变化于7~39d,约占春季总日数的7.0%~43.0%;中旱日数为2~10d,占春季总日数的2.0%~11.1%;重特旱日数全省为0~4d(图5a),虽然总体来说呈北多南少的规律,但在淮北的丰县、沛县、邳州出现了三个低值中心,与年分布类似;最大值出现在连云港市,约3~4d,江淮北部、苏北沿海为1~3d,沿江、苏南仅0~1d,重特旱发生几率比较小。

夏季轻、中旱发生规律虽与全年和春季相似,但发生日数明显减少,轻旱从南到北为8~20d,约占夏季总日数的6.6%~16.4%;中旱为2~6d,约占夏季总日数的1.6%~4.9%;重特旱发生日数全省均在0~1d之间(图5b),即夏季很少发生重特旱。全省夏季各级干旱发生的日数均较其他各

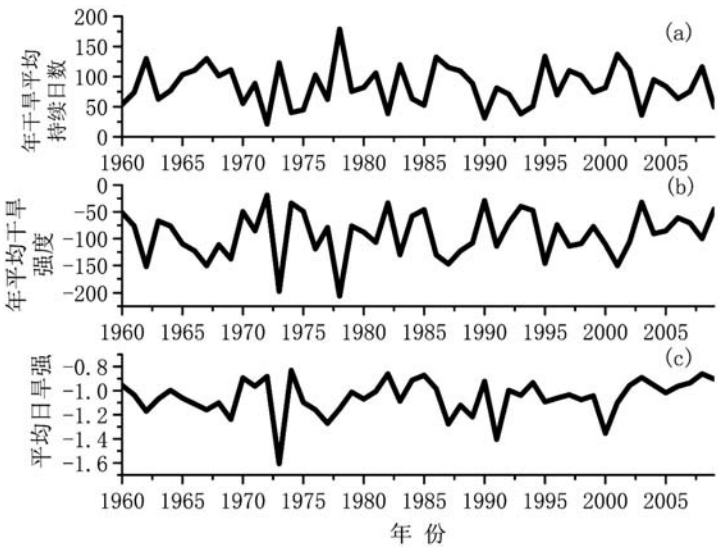


图3 1960-2009年江苏省平均干旱持续日数(a)、平均干旱强度(b)和早期平均日旱强(c)变化曲线

Fig. 3 Curve of the annual average drought duration (a), the annual average drought severity (b), and the daily average drought severity (c) during the drought that occurred in Jiangsu Province from 1960 to 2009

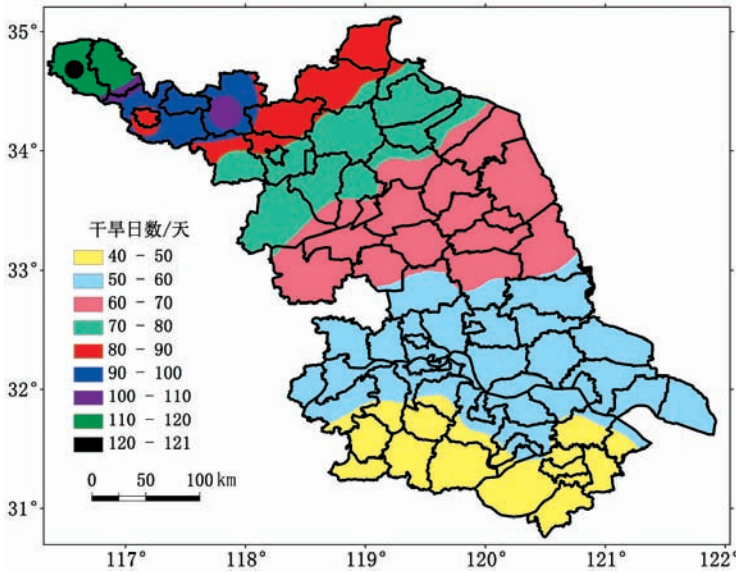


图4 1960-2009年江苏省重特旱日数的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of the heavy and severe drought days in Jiangsu Province from 1960 to 2009

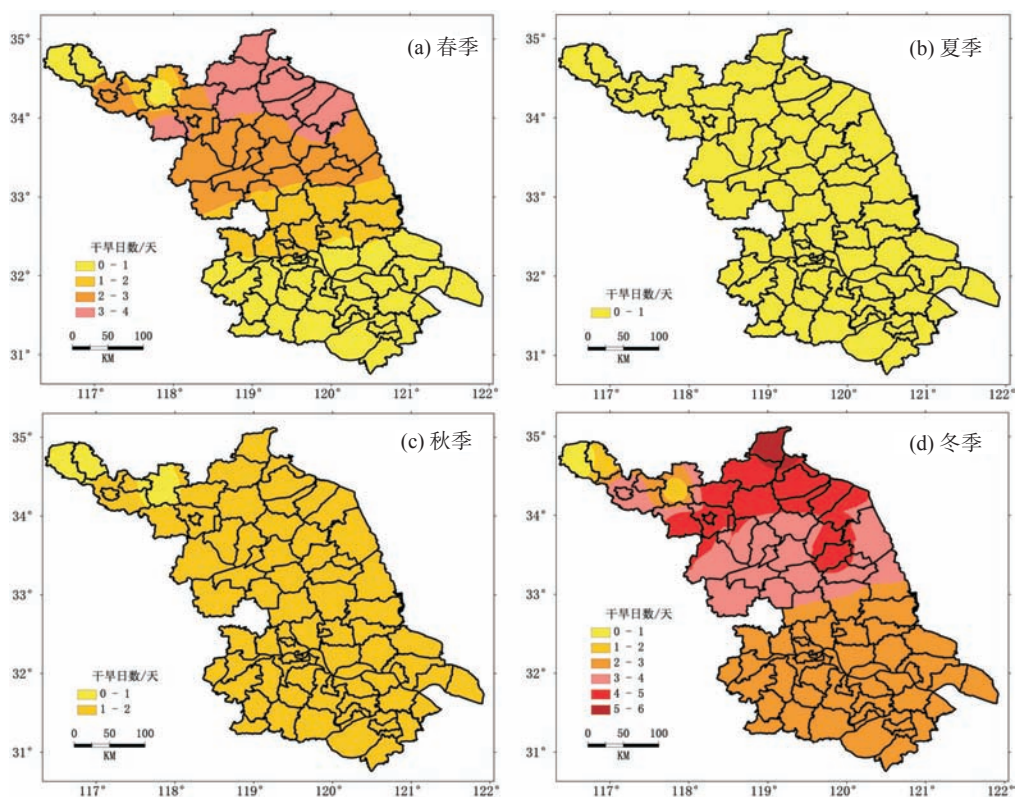


图5 江苏省各季节不同等级干旱的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of different drought grades during different seasons in Jiangsu Province

季明显减少,且南北差异小,说明夏旱对江苏省威胁不大,这与本省夏季是降水集中季有关。

秋季各级干旱平均日数较春季、夏季多,其中轻旱日数北多南少,为13~28d,约占秋季总日数的14.0%~30.7%;中旱日数为4~10d,约占总轻旱日数的4.0%~10.9%;重特旱日数除丰县、沛县、邳州为0~1d外,其它地区均为1~2d,无明显差异(图5c)。总体来讲,全省秋季重特旱发生的几率都很小。

冬季各级干旱发生日数都是最多的,且呈明显的北多南少规律,其中轻旱发生日数12~36d,占冬季总日数的9.9%~30.0%;中旱日数为6~19d,占冬季总日数的5.0%~15.8%;重特旱日数的最大值出现在赣榆,最小值中心在丰县(对应轻旱、中旱的最大值中心),淮北大部分地区重特旱日数为4~5d,江淮北部为3~4d,沿江、苏南为2~3d(图5d)。冬季各级干旱日数较其他季节要明显的多,说明冬旱对江苏影响最严重。

4 江苏干旱成因分析

在分析了解江苏省气象干旱时空变化规律的基础上,进一步探讨旱灾成因对于干旱监测预警和防旱抗旱、减轻旱灾损失有着十分重要的理论和实践意义。以下从大气背景及自然地理条件两个方面来剖析旱灾的成因。

4.1 大气背景

邹旭凯等的表明^[18]:全国干旱面积在近50年没有发生显著的变化,但有明显的年代际变化存在。在江苏省,干旱覆盖范围变化趋势也不显著,干旱主要发生在20世纪60年代、70年代后期、80年代后期和90年代中后期至21世纪初,有着显著的年代际变化。从空间格局

上来看,江苏省位于北半球中纬度的东亚西太平洋沿岸地区,跨亚热带与暖温带两大气候带,受蒙古高压、阿留申低压、印度低压、西太平洋副热带高压等大气活动中心影响,属湿润性季风气候。这种季风气候的主要特征是夏季盛行东南风,炎热多雨,易涝难旱;冬季盛行西北风,寒冷干燥,少雨易旱。而从年内变化来看,决定干旱发生与否、发生频次、持续天数、严重程度的降水、蒸发等关键气象要素明显地受到了年内大型降水天气过程的出现与否、降水季节分配、降水总日数多少、降水量大小的影响。所以从降水角度来讲,夏季少旱、冬季多旱的最主要原因是大气背景。

4.2 自然地理条件

江苏平原面积占全省总面积的68%,其余为低山丘陵和江河湖泊。苏南以丘陵为主,地形起伏,有利于大气对流运动的产生;而湖泊众多、水网密集给水汽供应带来良好的条件,因此,这一地区降水容易形成和维持,致旱几率较低。苏北大部为平原地带,东部临海。江淮之间的苏中地区水系发达,虽地形平坦,不利于对流产生,但水汽供应条件较好,不易致旱,气候湿润度仅次于苏南;东部沿海地区,离海百里之内降水条件良好,旱情较轻,百里之处与西部河网密集带之间的三泰地区是一过渡带,相对较早。淮河以北,水系发达程度不如江苏的其他地区,地形起伏不如苏南地区,特别是地处西北的徐州是江苏省旱情最严重的地区,连云港地区由于东面依海,水汽供应条件比西部徐州地区好一些,故旱情略比徐州轻一些。

江苏省的土壤类型主要分为3种,砂土、壤土及砂壤土。其蓄水能力由强到弱依次为壤土、砂壤土、砂土。江苏省东部的沿海地区主要以砂土为主,砂土吸水能力强,地表水很容易渗入地下减少了可供蒸发的地表水,在一定程度上影响了降水的形成,这就解释了虽然该地区濒临大海但大旱频发的原因。淮北地区以蓄水能力较强的砂壤土为主,但因地表水系不发达,地下水位较低,导致可供蒸发的地表水少于淮河以南的其他地区,故最易致旱。中部和南部地区以壤土为主,蓄水能力特强,加上河网密集、空气湿度大,旱情较轻。

季节性植被的覆盖率在一定程度上也对地表蒸散、降水分布、旱情轻重起了一定的作用。由于江苏省地跨两种气候带,所以导致以淮河为界的南北两大地区植被的覆盖出现季节性差异。淮北地区的秋、冬、春三季植被覆盖率明显小于淮河以南地区,且两侧离淮河越远,差异越大。越向南,植被覆盖率越高;越向北,覆盖率越低。覆盖率越高,旱情就越轻。

由此可见,自然地理条件对江苏省的旱灾空间分布起了重要的作用。在影响旱区分布和旱情轻重的一系列自然地理条件中,作用最明显的因素是地形、水系和离海远近。

5 结论与讨论

通过各站历年逐日CI值的计算,揭示了江苏省近50年来干旱发生频率、覆盖范围、持续天数和强度的变化规律;研究得到以下结论:

(1) 江苏省全年和各季干旱发生频率均呈现北高南低的空间分布规律;在四季中,冬季干旱发生频率最高;夏季频率最低,秋旱南北差异最不显著;历年及各季干旱发生频率最高的地区都在淮北地区西北部的丰县、沛县。

(2) 50年中,冬季江苏省干旱大范围发生的年份最多,夏季最少。全年和四季干旱的覆盖范围没有明显的线性变化趋势。

(3) 近50年来,江苏省逐年平均干旱持续日数和干旱强度虽然存在着明显的年际波动,但线性变化趋势均不明显。

(4) 在季节变化上,江苏省冬季各等级干旱发生的日数最多,夏季最少;冬季、春季各级干旱南北差异显著,夏季、秋季南北差异不显著。在空间分布上,全年和各季的轻旱、中旱和重特旱的日数基本上都呈北多南少的规律,且随纬度降低,各级干旱日数依次递减。在国内外干旱研究中,常见的气象干旱指数可以分为三类:(1) 降水指数,如降水距平百分率、SPI指

数、Z指数等。这类指数计算简单易行,但只考虑了降水单一要素对干旱的贡献,没有考虑有效蒸散、热量收支等因素在干旱形成中的作用^[19-20]。(2)多要素气象干旱指数,如根据气温、降水、蒸发的相关性构造的干旱指数。这类指数同时考虑了降水、气温、蒸发等要素的累积效应,但这类指数一般都有适用范围,不具有普适性^[21]。(3)复合气象干旱指数,如PDSI、CI等。这类指数一般包含2个以上要素,考虑了水分或热量平衡过程,能反映干旱的成因、程度及开始、结束和持续时间,具有物理意义明确、涉及资料容易获得和参数计算简便等优点^[22-23]。考虑到江苏省气象资料有较高的空间分辨率(54个站均匀分布于全省各地)和较长的时间序列(各站有50年逐日数据),特选择CI指数作为干旱指标,通过研究江苏省历年及四季干旱的发生频率、覆盖范围、持续天数和强度的变化规律,希望能较全面地揭示江苏省气象干旱的时空分布规律。

参考文献(References)

- [1] IPCC. Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panels on Climate Change. Cambridge Press, 2000.
- [2] Ye Zhengwei. Influence of drought and flood on agricultural economy and analysis of disaster-bearing system in Jiangsu Province. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2006, (4): 5-7. [叶正伟. 江苏旱涝灾害对农业经济的影响及承灾系统分析. 江苏农业科学, 2006, (4): 5-7.]
- [3] Huang Ronghui, Guo Qiyun, Sun Anmin. Atlas of Distribution of Meteorological Disasters in China. Beijing: China Ocean Press, 1997. [黄荣辉, 郭其蕴, 孙安民. 中国气象灾害分布图集. 北京: 海洋出版社, 1997.]
- [4] Wang Shaowu. Diagnostic studies on the climate change and variability for the period of 1880-1990. Acta Meteorologica Sinica, 1994, 52(3): 261-273. [王绍武. 近百年气候变化与几率的研究. 气象学报, 1994, 52(3): 261-273.]
- [5] Sun Weiguo, Cheng Bingyan. Multiple time scale analysis of drought and flood variations in Henan during the last 50 years. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2000, 23(2): 251-255. [孙卫国, 程炳岩. 河南省近50年来旱涝变化的多时间尺度分析. 南京气象学院学报, 2000, 23(2): 251-255.]
- [6] Wang Jinsong, Guo Jiangyong, Zhou Yuewu. Progress and prospect on drought indices research. Arid Land Geography, 2007, 30(1): 61-67. [王劲松, 郭江勇, 周跃武. 干旱指标研究的进展与展望. 干旱区地理, 2007, 30(1): 61-67.]
- [7] Wei Jie, Ma Guozhu. Comparison of Palmer drought severity index, percentage of precipitation anomaly and surface humid index. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(suppl.): 117-124. [卫捷, 马国柱. Palmer干旱指数、地表湿润指数与降水距平的比较. 地理学报, 2003, 58(增刊): 117-124.]
- [8] Zhang Cunjie, Bao Ling, Liu Dexiang. Research on drought and flood indices in the northwest China. Plateau Meteorology, 1998, 17(4): 381-389. [张存杰, 宝灵, 刘德祥. 西北地区旱涝指标的研究. 高原气象, 1998, 17(4): 381-389.]
- [9] Zhu Yeyu, Wang Jifang, Wu Peng. Application research on precipitation Z index in Henan drought-flood monitoring. Meteorological and Environmental Sciences, 2006, (4): 20-22. [朱业玉, 王记芳, 武鹏. 降水Z指数在河南旱涝监测中的应用. 气象与环境科学, 2006, (4): 20-22.]
- [10] Wang Jinsong, Guo Jiangyong, Qing Jizu. Application of a kind of K drought index in the spring drought analysis in Northwest China. Journal of Natural Resources, 2007, 22(5): 709-717. [王劲松, 郭江勇, 倾继祖. 一种K干旱指数在西北地区春旱分析中的应用. 自然资源学报, 2007, 22(5): 709-717.]
- [11] Wu Hongbao. Study on drought index over the southeastern China in summer. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2000, 11(2): 137. [吴洪宝. 我国东南部夏季干旱指数研究. 应用气象学报, 2000, 11(2): 137.]
- [12] Zhang Qiang. Research on determination of drought index in North China and its application. Journal of Catastrophology, 1998, 13(4): 34-38. [张强. 华北地区干旱指数的确定及其应用. 灾害学, 1998, 13(4): 34-38.]
- [13] Shao Xiaomei, Liu Jinsong, Xu Yueqing. Determination of drought-flood index and its temporal and spatial distribution in Hebei Province. Journal of Natural Disasters, 2001, 10(4): 133-136. [邵晓梅, 刘劲松, 许月卿. 河北省旱涝指标的确定及其时空分布特征研究. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 133-136.]
- [14] Wei Fengying, Cao Hongxing. Regional characteristics of drought anomalies in north China. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1998, 9(2): 205-211. [魏凤英, 曹鸿兴. 华北干旱异常的地域特征. 应用气象学报, 1998, 9(2): 205-211.]
- [15] Yao Yubi, Dong Anxiang, Wang Yirong et al. Compare research of the regional arid characteristic base on Palmer drought severity index in spring over China. Arid Land Geography, 2007, 30(1): 22-29. [姚玉璧, 董安祥, 王毅荣等. 基于帕默尔干旱指数的中国春季区域干旱特征比较研究. 干旱区地理, 2007, 30(1): 22-29.]
- [16] Department of Policies, Laws and Regulations of China Meteorological Administration. Assembling for meteorological standards//Zhang Qiang, Zou Xukai, Xiao Fenjing et al. Degree of Meteorological Drought. Beijing: China

- Meteorological Press, 2008: 33-54. [中国气象局政策法规司. 气象标准汇编//张强, 邹旭恺, 肖风劲 等. 气象干旱等级. 北京: 气象出版社, 2008: 33-53.]
- [17] Yin Y H, Wu S H, Zheng D et al. Radiation calibration of FAO56 Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China. *Agric. Water Manage.*, 2008, 95: 77-84.
- [18] Zou Xukai, Zhang Qiang. Preliminary studies on variations in droughts over China during past 50 years. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2008, 19(6): 679-687. [邹旭凯, 张强. 近半个世纪我国干旱变化的初步研究. *应用气象学报*, 2008, 19(6): 679-687.]
- [19] Wang Zhiwei, Zhai Panmao. Climate change in drought over northern China during 1950-2000. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(9): 61-68. [王志伟, 翟盘茂. 中国北方近50年干旱变化特征. *地理学报*, 2003, 58(9): 61-68.]
- [20] Yuan Wenping, Zhou Guangsheng. Comparison between standardized precipitation index and Z-index in China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(4): 523-529. [袁文平, 周广胜. 标准化降水指数与Z指数在我国应用的比较分析. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 523-529.]
- [21] He Xiaoxia, Wu Hongbao, Chen Xiaolan. Ensemble canonical correlation forecasting of summer drought index over southeastern China. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2008, 31(1): 10-17. [贺晓霞, 吴洪宝, 陈小兰. 我国东南夏季干旱指数的ECC预测方法. *南京气象学院学报*, 2008, 31(1): 10-17.]
- [22] Wei Jie, Tao Shiyan, Zhang Qingyun. Analysis of drought in northern China based on the palmer severity drought index. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(suppl.): 91-99. [卫捷, 陶诗言, 张庆云. Palmer干旱指数在华北干旱分析中的应用. *地理学报*, 2003, 58(增刊): 91-99.]
- [23] Zhang Yong, Chen Fahu, Gou Xiaohua et al. The temporal and spatial distribution of seasonal dry-wet changes over the northwestern China: Based on PDSI. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(11): 1142-1152. [张永, 陈发虎, 勾晓华 等. 中国西北地区季节间干湿变化的时空分布: 基于PDSI数据. *地理学报*, 2007, 62(11): 1142-1152.]

Temporal and Spatial Patterns of Droughts for Recent 50 Years in Jiangsu Based on Meteorological Drought Composite Index

BAO Yunxuan^{1,2}, MENG Cuili^{1,2}, SHEN Shuanghe^{1,2}, QIU Xinfa¹, GAO Ping³, LIU Cong³

(1. *Jiangsu Key Lab of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;*

2. *College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;*

3. *Meteorological Bureau in Jiangsu Province, Nanjing 210008, China)*

Abstract: In this paper, the observed meteorological data of 54 meteorological stations from 1960 to 2009 in Jiangsu Province of China were collected and a composite index (CI) of meteorological drought was used to analyze the temporal and spatial characteristics of droughts in the province. Based on the daily CI values of each station in the 50 years, the drought processes of each station were confirmed one by one and the occurrence frequencies, scopes and severities of the meteorological droughts were computed and analyzed to reveal the temporal and spatial occurrence pattern of the meteorological droughts in different parts of Jiangsu Province. The results were showed as follows. (1) The annual and seasonal occurrence frequencies of the meteorological drought in the province decreased from north to south. In all the seasons, the occurrence frequency of the winter droughts was the highest. (2) The years of drought occurrence in a large scope (more than 90% of the total area of the province) were most in winter and least in summer. (3) In the 50 years, there was a notable inter-annual wave of the annual average lasting days and the annual average occurrence severities of meteorological droughts in the whole province but their linear changing tendencies were not obvious. (4) The drought lasting days of different grades in Jiangsu reduced from north to south in general. The drought lasting days of different grades were most in winter and least in summer.

Key words: Jiangsu; meteorological drought; composite index; GIS; temporal and spatial pattern