

江苏省苏北地区季节性干旱特征及 动态风险评估研究

龚艳冰^{1,2}, 胡娜¹, 刘高峰¹, 吴敏¹

(1. 河海大学 水利信息统计与管理研究所, 江苏 常州 213022;
2. 江苏省“世界水谷”与水生态文明协同创新中心, 江苏 南京 211100)

摘要: 利用江苏省统计年鉴提供的气象资料,通过标准化降水指数(SPI)计算苏北地区近 25 a(1989—2013 年)的季节干旱指标,分析江苏省苏北地区五市的季节性干旱时空特征和发生规律,并对其进行动态干旱风险评估。基于危险性、脆弱性、暴露性和防灾减灾能力这四个影响因子构建相应干旱风险评估指标体系,选取适合苏北五市的气象、水文、地理、社会经济方面相关二级指标,组合运用熵权法和 CRITIC 法确定各指标综合权重,通过加权综合评价法对苏北五市进行动态旱灾风险评估。结果表明:苏北地区干旱时间特征存在明显的季节性差异,发生干旱多为轻旱和中旱,且多发生于春夏秋三季,盐城市冬季发生中旱和重旱相对较频繁;干旱强度变化趋势和干旱频率趋势大体一致,五市发生春旱的频数和强度总体都呈增加趋势,而秋季情况略有好转。近年来,苏北地区五市的旱灾风险具有一定的稳定性,风险排名依次为:淮安>连云港>宿迁>徐州>盐城,其中,防灾减灾能力对于干旱风险的动态变化体现出较强相关性。

关键词: 季节性干旱;干旱成因;指标体系;风险评估;苏北五市
中图分类号: P468 **文献标志码:** A

Research on seasonal drought characteristics and its dynamic drought risk assessment of five cities in northern Jiangsu Province

GONG Yan-bing^{1,2}, HU Na¹, LIU Gao-feng¹, WU Min¹

(1. Institute of Hydraulic Information Statistic and Management, Hohai University, Changzhou, Jiangsu 213022, China;

2. Jiangsu Provincial Collaborative Innovation Center of World Water Valley and Water Ecological Civilization, Nanjing, Jiangsu 211100, China)

Abstract: According to the meteorological data provided by Jiangsu statistical yearbook, through the standardized precipitation index (SPI), this paper calculated the seasonal drought indexes of five cities in northern Jiangsu Province in recent 25 years (1989—2013) in order to analyze the spatial-temporal characteristics and occurrence regularity of drought, and to assess dynamic drought risk. Based on four risk factors including dangerousness risk, exposure risk, vulnerability risk and disaster prevention and mitigation capacity, the paper selected ten suitable indexes covering meteorological, hydrological, geographical, social and economic aspects to build a corresponding drought risk evaluation index system. After a combination use of entropy method and the CRITIC method to determine the weight of each index, weighted dynamic risk evaluation method was used to calculate the drought risk score of every city from 2008 to 2013. The results showed that drought in northern Jiangsu Province possessed obvious seasonal differences. Light drought and medium drought usually occurred in the spring, summer and autumn, while heavy drought and excessive drought occurred most often in autumn and winter in Yancheng city. The tendency of drought intensity was generally consistent with the tendency of drought frequency. Drought frequencies and intensities in the five cities were generally increased in spring, while the situation slightly turned better in autumn. In recent years, drought risks of the five cities had a certain kind of stability and their risks rankings from high to low were: Huaian > Lianyungang > Suqian > Xuzhou > Yancheng. In addition, there was a strong agreement between the disaster prevention and mitigation capacity, and the dynamic changes of

drought risk.

Keywords: seasonal drought; index system; risk assessment; five cities in northern Jiangsu Province

作为我国主要农业气象灾害之一,干旱灾害具有发生频繁和影响面积广的特点。近年来由于全球气候变暖导致极端气候事件频发,干旱的发生频率和强度也明显增加^[1]。江苏省地处中纬度的海陆相过渡带和气候过渡带,兼受西风带、副热带和低纬东风带天气系统的影响,属典型的东亚季风气候区,降水量的年际和年内分布不均匀,易导致旱涝灾害频繁发生。尤其是近年来,随着社会经济发展,水资源短缺现象日趋严重,在全球变暖的背景下,江苏省作为最不缺水的“水乡”,经常出现大部分地区季节性干旱灾害现象。由于受区域分布和南北差异的影响,处在苏北地区(如图 1 所示)的徐州、连云港、宿迁、淮安、盐城五市是全省旱灾发生最多的地区,经常发生季节性干旱灾害。例如,2010 年 9 月中旬,江苏省淮北大部分地区降水偏少。11 月中旬至 12 月底,旱情进一步发展,以淮北、江淮之间的东北部地区受灾最为严重。2011 年 1 月至 6 月上旬,长江、淮河中上游来水总体偏少,江苏苏北地区出现 60 年来最严重的旱灾,淮河下游断流、洪泽湖的水位处于历史最低水位,6 月底江苏全境普降豪雨,苏北持续近半年的旱情才基本解除;2012 年 5 月中旬,苏北地区雨水偏少,尤其是近两个月没有有效降雨,徐州市遭遇 60 年不遇的干旱,旱情一直持续到 6 月底;2013 年 6 月下旬以后,江苏淮河以南地区遭大范围、持续高温天气,多地高温日数、高温极值均创 1961 年以来历史记录,徐州、连云港、宿迁 3 市 12 个县(市、区)475.1 万人受灾,农作物受灾面积 356.9 千 hm²,其中绝收 34.3 千 hm²,直接经济损失 9.7 亿元,8 月下旬,受台风“尤特”和“谭美”登陆影响,高温天气逐渐减弱,加之旱区全力抗旱,苏北地区旱情才基本结束。由此可见,苏北地区旱情形势异常严峻,迫切需要开展该地区季节性干旱发生规律研究,提高干旱风险评估水平,增强干旱防御能力。

目前,国内外学者对于干旱问题的研究主要采用 McKee 等人^[2]在评价美国科罗拉多州干旱灾情时提出的基于降水量累计概率的标准化降水指数(SPI)。SPI 指数不涉及具体的干旱机理,计算简单、资料获取容易,可对不同时间尺度的干旱进行监测,已经广泛应用于国内外各种干旱灾害的分析^[3-7]。而干旱灾害风险的研究主要有两种方式:一种是基于各种量化的历史干旱数据,通过综合运用多种数学模型研究目标区域的干旱演变特征,确定其干旱

风险^[8];第二种是根据干旱灾害致灾机理,分析干旱风险的各种影响因子,通过建立干旱风险模型计算出干旱风险指数大小^[9-13]。但是,目前干旱灾害风险研究缺少比较全面、动态的从区域社会、经济、环境等多角度出发的研究,特别是针对江苏省苏北地区五市的干旱风险评价研究还比较少。此外,目前建立风险评价指标体系时大多选用一种评价方法来确定各指标的权重系数,具有较大的主观选择性。基于以上原因,本文选取 SPI 指数作为干旱指标,以季节(SPI = 3)为时间评价尺度,从气象干旱角度描述苏北地区五市季节性干旱情况,通过比较分析五市的季节性干旱频率和干旱强度指标,研究其季节性干旱特点及趋势。同时,从致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力四个干旱影响因子选取反映苏北五市干旱风险的合适指标,建立苏北地区干旱风险指标体系,采用熵权法和 CRITIC 法这两种客观赋权法计算各指标权重,对苏北五市的干旱风险进行评价,为苏北地区干旱风险研究提供基础,以利于政府部门更好地应对干旱、开展防灾减灾工作,为干旱风险控制提供理论依据。

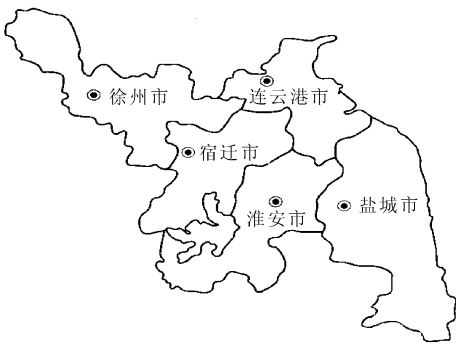


图 1 江苏省苏北地区五市行政示意图
Fig.1 Municipal administrative map of the five cities
in northern Jiangsu Province

1 研究方法与数据来源

为了方便分析和比较,按气象通用的季节划分,即春季(第 1 季)为 3—5 月、夏季(第 2 季)为 6—8 月、秋季(第 3 季)为 9—11 月、冬季(第 4 季)为 1 月、2 月及 12 月。采用干旱发生频率、干旱强度指标和回归方程方法反映变化趋势,分析苏北地区五市的季节性干旱发生特征和规律。

1) 干旱频率(P_{ij})。 P_{ij} 是用来评价某市在一定时间尺度上发生干旱的频繁程度,即该市各季发生

各等级干旱的季节数占该季总数的百分比^[14],计算公式为:

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{m_j}, (i = 0, 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3, 4) \quad (1)$$

其中, P_{ij} 为第 j 季发生干旱等级为 i 的频率; n_{ij} 表示第 j 季发生干旱等级为 i 的次数, 干旱等级对应相应干旱类型, m_j 表示研究时间范围内第 j 季的季节总数。

2) 干旱强度 (S_j)。 S_j 是用来评价第 j 季的干旱严重程度, S_j 值越大, 则表示干旱越严重。各季节发生干旱的强度可通过干旱等级 L 的值反映, 分别用 0、1、2、3 和 4 代表无旱、轻旱、中旱、重旱和特旱。某区域多年的四季平均干旱强度可由下式得到, 即

$$S_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=0}^4 n_j L_{ij} \quad (j = 1, 2, 3, 4) \quad (2)$$

其中, n_j 表示研究时间范围内第 j 季发生干旱次数; L_{ij} 表示第 j 季发生干旱 i 时的干旱等级值。

3) 干旱变化趋势率。利用干旱频率、干旱强度值变化过程拟合直线斜率的 10 倍表示其变化倾向率。建立指标的回归方程:

$$\hat{x}_i = a + b \times t_i, (i = 1, 2, \cdots, n) \quad (3)$$

其中, a 为回归常数; b 为回归系数, 以 b 的 10 倍作为变化倾向率^[15]。在本文中, 将各市 25 年间的数据等分为 5 组, 建立时间序列分别计算出每组的干旱频率及干旱强度, 再利用 Slope 函数拟合计算各市四季的干旱变化趋势率。

本文数据来源于江苏省统计年鉴及中国经济与社会发展统计数据库提供的苏北地区五市 1989—2013 年气象、水文、地理、社会经济等方面数据资料。由于宿迁市 1996 年前隶属淮安市, 所以宿迁市 1997 年前使用淮安市的气象数据展开研究。本文数据及相关指标的选取遵循了评价指标设计原则中的系统性、代表性、可获性及动态性原则, 符合可信度要求。

2 基于 SPI 指数的苏北地区季节性干旱规律研究

2.1 干旱发生频率

利用相关 SPI 指数计算软件及 SPSS 软件, 计算出苏北五市 1989—2013 年间各季的 SPI 指数值, 进一步计算五市的季节性干旱频率, 如表 1 所示。

表 1 苏北地区五市不同干旱等级发生频率统计

Table 1 Drought frequency statistics of different hierarchies for the five cities in northern Jiangsu Province

地区 Area		干旱类型 Drought type				
		无旱 No drought	轻旱 Light drought	中旱 Moderate drought	重旱 Severe drought	特旱 Special drought
徐州 Xuzhou	春季 Spring	80	8	4	0	8
	夏季 Summer	72	8	16	4	0
	秋季 Autumn	64	16	8	12	0
	冬季 Winter	72	16	4	0	8
连云港 Lianyungang	春季 Spring	76	12	4	4	4
	夏季 Summer	76	12	4	4	4
	秋季 Autumn	56	32	4	8	0
	冬季 Winter	76	8	8	8	0
宿迁 Suqian	春季 Spring	72	16	8	0	4
	夏季 Summer	64	20	12	4	0
	秋季 Autumn	76	16	4	0	16
	冬季 Winter	84	8	0	0	8
盐城 Yancheng	春季 Spring	76	12	8	0	4
	夏季 Summer	72	16	4	4	4
	秋季 Autumn	72	16	8	0	4
	冬季 Winter	72	16	0	12	0
淮安 Huai'an	春季 Spring	76	8	8	4	4
	夏季 Summer	60	28	8	4	0
	秋季 Autumn	72	12	12	0	4
	冬季 Winter	76	12	4	4	4

总体上,苏北地区五市四季发生不同等级干旱频率相近,且多为轻旱和中旱。徐州和连云港二市发生秋旱的频率比较高,宿迁市和淮安市则易发生夏旱,盐城市全年干旱发生频率较为稳定。从全年尺度上看,易造成较大损失的重旱及特旱灾害多数出现在秋冬二季,且徐州市和宿迁市发生严重干旱相对较为频繁。

2.2 干旱发生强度

根据公式(2)计算苏北五市 1989—2013 年的干旱强度,结果如图 2 所示。从历年平均数据来看,苏

北五市春、夏、秋三季的干旱强度以轻旱和中旱为主,冬季主要为中旱和重旱,这与冬季降雨量较少有密切关系。徐州市春冬两季的干旱强度均达到中旱强度,其中春旱强度为五市之最;连云港市除秋旱强度较低,其余三季均达中旱水平,年平均干旱强度也处于五市中的前两位,干旱强度总体较高;宿迁市是五市中年平均干旱强度最高的城市,主要由于该市冬旱强度较大,曾于 1995 年和 1999 年发生两次特旱,造成巨大经济损失;盐城市是五市干旱强度相对最低的城市,淮安市春冬两季的干旱强度都相对较高。

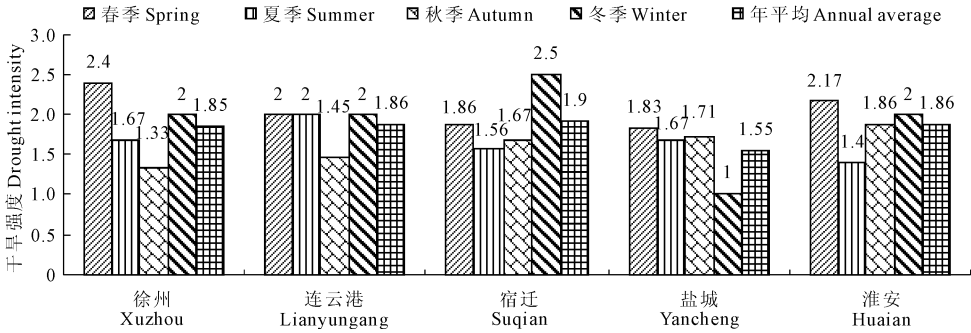


图 2 1989—2013 年苏北地区五市各季平均干旱强度统计

Fig.2 Drought intensity seasonal statistics for the five cities in northern Jiangsu Province from 1989 to 2013

2.3 季节性干旱趋势

由于干旱频率和干旱强度可反映区域的干旱程度,所以这两个指标的变化趋势有一定研究价值,并且通过计算苏北五市四季干旱频率和干旱强度的趋势变化率可分析其季节性干旱的变化趋势。经计

算,徐州市与盐城市,宿迁市和淮安市的干旱趋势变化总体一致,连云港市四季旱情总体维持现状,改变浮动较小,限于篇幅本文仅以徐州和淮安二市为例,结果如表 2 和表 3 所示。

表 2 徐州季尺度干旱频率和干旱强度各年代比较

Table 2 Comparison between seasonal drought frequency and intensity during different years in Xuzhou

年代 Year	春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn		冬季 Winter	
	P	S	P	S	P	S	P	S
1989—1993	0	0	0.2	1	0.4	2	0	0
1994—1998	0.2	1	0	0	0.6	1	0.6	2
1999—2003	0.4	4	0.4	2	0.4	0	0.2	4
2004—2008	0.4	1.5	0	0	0.2	1	0.2	1
2009—2013	0	0	0.8	1.75	0.2	1	0.4	1.5
趋势率/10a ⁻¹ Trend rate	0.2	0.5	1.2	1.5	-0.8	-2	0.4	2
变化 Change	略增加 IS	略加重 WS	增加 IN	加重 WN	略减少 DE	减轻 LN	略增加 IS	加重 WN

注:描述干旱频率与干旱强度变化时,IS 表示略增加(Increase Slightly),DS 表示略减少(Decrease Slightly),IN 表示增加(Increase),DE 表示减少(Decrease);WS 表示略加重(Worsen Slightly),LS 表示略减轻(Lighten Slightly),WN 表示加重(Worsen),LN 表示减轻(Lighten);P 表示频率 Frequency, S 表示强度 Intensity。下表同 The same as below。

结果表明,徐州市和淮安市各季干旱变化趋势程度略有不同。在干旱频率方面,此二市均有春旱和夏旱频率增加、秋旱频率减少的趋势。冬旱发生频率趋势略有不同,徐州市频率增加,淮安市频率减

少。在干旱强度方面,二市趋势一致,夏旱强度增加、秋旱强度减少。各市干旱频率与干旱强度的变化趋势大体上基本呈现一致,但也有例外情况,如盐城市夏旱及淮安市春旱的趋势特征就不符合此规律。

表 3 淮安季尺度干旱频率和干旱强度各年代比较

Table 3 Comparison between seasonal drought frequency and intensity during different years in Huaian

年代 Year	春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumnn		冬季 Winter	
	P	S	P	S	P	S	P	S
1989—1993	0.2	2	0.4	1	0.2	1	0.2	1
1994—1998	0	0	0.4	1.5	0.4	3	0.4	2.5
1999—2003	0.4	3.5	0.4	2	0.4	1.5	0.2	3
2004—2008	0.6	1.33	0.2	1	0.2	2	0.2	2
2009—2013	0	0	0.6	1.33	0.2	1	0.2	1
趋势率/10a ⁻¹ Trend rate	-0.2	-2.67	0.2	0.16	-0.2	-1	-0.2	-0.5
变化 Change	略增加 IS	减轻 LN	略增加 IS	略加重 WS	略减少 DS	减轻 LN	略减少 DS	略减轻 LS

干旱频率与干旱强度的变化趋势,可用于初步分析各市的干旱危险性并对评估四季发生干旱风险具有一定指导作用。通过分析,徐州市秋季旱情有所减弱,其余三季加重,连云港市各季旱情基本维持现状,宿迁市未来可能多发生较轻程度春旱,较严重夏旱,但秋冬两季旱情都有所好转,盐城市春夏冬三季旱情都有加重趋势,秋季会有所减缓,淮安市夏季旱情将会略微加重,春秋冬三季有不同程度的减轻。

3 苏北地区干旱风险动态评价研究

3.1 干旱风险评价指标体系

基于现有研究和干旱风险理论,根据自然和社

会经济数据,按照系统性、代表性、可获性及动态性原则从致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力四个方面分别选取合适指标,建立动态风险评价模型,以系统地表达干旱风险动态变化。根据苏北各市的实际情况,干旱致灾因子危险性选取了干旱频率和干旱强度这两个集合干旱主要物理特征的指标;孕灾环境脆弱性选择降水量、温度和水资源总量三个指标;承灾体暴露性选取农业从业人员人口密度及农业产值密度指标;干旱防灾减灾能力则选择农民人均纯收入、地区受教育水平和灌溉指数三个指标^[16],建立的江苏省苏北地区风险评价指标体系如图 3 所示。

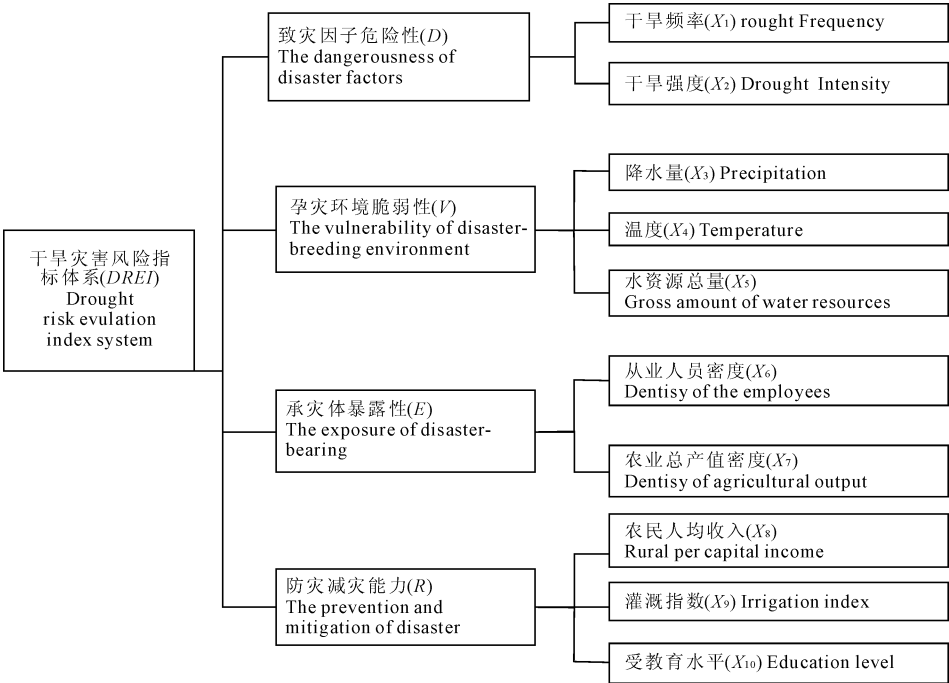


图 3 干旱灾害风险指标体系

Fig.3 Drought risk evaluation index system

3.2 数据预处理

由于本研究选取的 10 个旱灾风险评价指标属于不同类型,具有不同的量纲,需对其进行标准化。指标有“正指标”和“逆指标”之分,正指标有降水量、水资源状况、农民人均纯收入、教育水平和灌溉指数,数值皆越大越好;逆指标有干旱频率、干旱强度、温度、从业人员密度和农业总产值密度,数值皆越小越好。正指标和逆指标的标准化处理的公式如下:

正指标:
$$K_i = \frac{Y_i - \text{Min}(Y_i)}{\text{Max}(Y_i) - \text{Min}(Y_i)} \tag{4}$$

逆指标:
$$K_i = \frac{\text{Max}(Y_i) - Y_i}{\text{Max}(Y_i) - \text{Min}(Y_i)} \tag{5}$$

其中, K_i 为标准化后的数据; Y_i 为各城市第 i 指标实际值。

3.3 指标的组合同权重

由于评价指标权重的确定对于旱风险评价具有直接的影响,本文采用熵权法和 CRITIC 法这两种客观赋权法计算各指标权重,并计算组合平均权重,最后根据加权综合评价法建立干旱风险评价模型。熵权法是根据指标变异性的 大小来确定客观权重^[17], CRITIC 法是通过指标的对比强度和冲突性确定各指标的客观权重^[18],通过组合这两种客观权重可得综合权重值。组合权重可以结合这两种方法的优点,充分挖掘各个指标间的权重关系。运用 MATLAB 软件分别计算出熵权法及 CRITIC 法的各指标权重值,并计算两种方法的组合平均权重,结果如表 4 所示。

表 4 基于组合同权重法计算各指标权重
Table 4 Index weight based on the combination weighting method

年份 Year	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
2008	0.07	0.14	0.11	0.12	0.11	0.09	0.07	0.10	0.09	0.09
2009	0.16	0.16	0.07	0.09	0.10	0.09	0.09	0.10	0.05	0.07
2010	0.08	0.08	0.11	0.16	0.07	0.09	0.09	0.13	0.08	0.11
2011	0.08	0.09	0.12	0.14	0.08	0.09	0.10	0.13	0.08	0.08
2012	0.12	0.07	0.10	0.14	0.08	0.10	0.09	0.12	0.08	0.10
2013	0.16	0.12	0.09	0.10	0.10	0.08	0.07	0.11	0.07	0.11

3.4 干旱风险评价

基于各指标组合同权重,利用加权综合评价法计算

苏北五市 2008—2013 年干旱风险得分,并对其风险进行排名(排名值越大,风险越大),结果如表 5 所示。

表 5 苏北地区五市 2008—2013 年间干旱风险排名
Table 5 Drought risk rankings between five cities in northern Jiangsu Province from 2008 to 2013

年份 Year	D	V	E	R	$DREI$	D	V	E	R	$DREI$
	徐州 Xuzhou					连云港 Lianyungang				
2008	1	5	2	2	2	2	3	1	4	5
2009	1	4	2	2	2	1	2	1	4	4
2010	1	5	2	2	2	2	4	1	4	5
2011	3	1	2	2	2	3	3	1	4	4
2012	1	5	2	2	2	2	1	1	4	4
2013	1	4	2	2	2	3	1	1	4	4
宿迁 Suqian						盐城 Yancheng				
2008	3	1	1	3	3	3	4	3	1	1
2009	1	3	1	3	3	1	1	2	1	1
2010	2	3	1	3	3	2	2	3	1	1
2011	2	2	1	3	3	1	4	3	1	1
2012	3	3	1	3	3	3	4	3	1	1
2013	2	3	1	3	3	3	2	3	1	1
淮安 Huaian						注:D 危险性 Dangerousness; V 脆弱性 Vulnerability; E 暴露性 Exposure; R 防减灾能力 Prevention and mitigation of disaster; DREI 干旱灾害风险指标 Drought risk evulation index				
2008	2	2	1	5	4					
2009	2	5	1	5	5					
2010	2	1	1	5	4					
2011	3	5	1	5	5					
2012	3	2	1	5	5					
2013	2	5	1	5	5					

通过分析可知,2008—2013年间苏北五市的干旱风险排名状况比较稳定,风险由高到低基本是淮安>连云港>宿迁>徐州>盐城。其中,徐州和盐城二市一直处于较低干旱灾害风险水平,淮安市和连云港市发生干旱灾害风险较大,一直在第四、第五位间交替。此外,通过分析四个干旱风险影响因子(H、V、E、R)的年间波动变化情况及其与DREI的相应变化关系可知,防灾减灾能力与干旱风险的相关关系较为显著,两者排名保持一致;危险性与暴露性因子的波动变化较为明显,各自排名不断交替,这一规律也符合自然社会经济的现实情况;危险性与暴露性因子的二级指标多为气候、环境指标,受不可控因素影响较大,而暴露性及防灾减灾能力因子的二级指标主要是人文、经济指标,相对可控,波动较小。

从时间动态性和DREI波动情况可知,苏北地区五市的干旱风险具有一定的稳定性,除个别年份,如在2008年及2010年连云港市和淮安市干旱风险值有部分变化,其余年份五市的干旱风险状况都很稳定,相关部门进行干旱风险评估时可考虑风险的这种特性。

4 结 论

全球气候变暖的环境背景导致气候异常现象频发,致使江苏省苏北地区的地形气候和水土资源不利组合态势更为严峻,加之经济社会快速发展的压力和人类不合理的生产活动等原因,该地区已成为旱灾发生最频繁的地区。本文利用SPI指数分析苏北地区五市近25a的季节性干旱特征和发生规律,同时基于危险性、脆弱性、暴露性和防灾减灾能力四个影响因子构建干旱灾害动态风险评估指标体系,对苏北各市干旱灾害进行风险评估,得出以下结论:

1) 苏北地区干旱特征存在明显的季节性差异,各市表现不尽相同。尽管五市发生干旱的总体频率较为相近,主要为轻旱和中旱,但徐州市和连云港市相对多发生秋旱,宿迁和淮安多发生夏旱。此外,对于较易造成重大经济损失的重旱及特旱,徐州和宿迁二市多发生在秋季,而盐城市多发生在冬季。干旱强度变化趋势和干旱频率大体上呈一致趋势,这表明如果干旱频率增加,五市即有干旱强度随之加重的潜在危险,易造成大灾大害的严重后果,需引起有关部门的重视。

2) 根据干旱风险评估指标体系,对苏北地区五市2008—2013年的干旱风险进行动态排名,五市的干旱风险排序依次为:淮安>连云港>宿迁>徐州

>盐城。此外,根据多年动态排名状况显示,苏北地区五市的干旱风险具有一定的稳定性。明确苏北地区五市的干旱风险情况,根据干旱风险与防灾减灾能力强相关性,结合各地干旱的形成机制及特点,政府部门即可因地制宜提前制定应对各等级干旱的防灾减灾政策,以最大限度降低各季节干旱造成的经济损失。

参 考 文 献:

- [1] 周 扬,李 宁,吉中会.基于SPI指数的1981—2010年内蒙古地区干旱时空分布特征[J].自然资源学报,2013,28(10):1694-1706.
- [2] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]//The 8th conference on applied climatology, American Meteorological Society, 1993.
- [3] 洪兴骏,郭生练,周研来.标准化降水指数SPI分布函数的适用性研究[J].水资源研究,2013,2(1):33-41.
- [4] Milan Gocic, Slavisa Trajkovic. Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia[J]. Journal of Hydrology, 2014,510(3):110-123.
- [5] 周 磊,武建军,吕爱峰,等.华北不同地表覆盖类型区干旱演变特征[J].地理研究,2012,31(4):597-607.
- [6] 罗艳青,邹 滨,邱永红.华东地区干旱灾害时空演化特征研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(10):58-64.
- [7] 那音太.基于SPI指数的近50a内蒙古地区干旱特征分析[J].干旱区资源与环境,2015,29(5):161-166.
- [8] 肖名忠,张 强,陈晓宏.基于多变量概率分析的珠江流域干旱特征研究[J].地理学报,2012,67(1):83-92.
- [9] 杨志勇,刘 琳,曹永强.农业干旱灾害风险评估及预测预警研究进展[J].水利经济,2011,29(2):12-17.
- [10] 王晓红,乔云峰,沈荣开.灌区干旱风险评估模型研究[J].水科学进展,2004,15(1):77-81.
- [11] Downing T E, Bakker K. Drought discourse and vulnerability[C]//Wilhite D A. Drought: A Global Assessment, Natural Hazards and Disasters Series. London, 2000.
- [12] Shahid S, Behrawan H. Drought risk assessment in the west part of Bangladesh[J]. Natural Hazard, 2008,46(3):391-413.
- [13] 盛巧玲,徐 刚,王新才.基于GIS的重庆市伏旱风险性分析[J].四川师范大学学报(自然科学版),2010,33(3):388-392.
- [14] 詹 存,梁 川,赵 璐.川中丘陵区季节性干旱时空分布特征及成因分析[J].农业工程学报,2013,29(21):82-91.
- [15] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007.
- [16] 张 强,韩兰英,张立阳,等.论气候变暖背景下干旱和干旱灾害风险特征与管理策略[J].地球科学进展,2014,29(1):80-91.
- [17] 马红娟,史西专,刘万里.基于熵权法和多层次分析法的水环境模糊综合评价研究[J].数学的实践与认识,2015,45(6):154-164.
- [18] 张 玉,魏华波.基于CRITIC的多属性决策组合赋权方法[J].统计与决策,2012,16(8):75-77.