

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2016.03.010

徐州地区 2009—2013 年旱情及其对农业的影响

刘金涛^{1,2}, 张钟鸣¹, 陈 静¹, 刘秋怡¹, 吴鹏飞¹

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 利用降水数据, 采用 Mann-Kendall 检验和 SPI 指数方法从不同时间尺度分析徐州地区干旱发展趋势, 结合实地调研结果, 给出近年干旱形成的原因。降水趋势分析表明, 徐州地区 1951—2013 年降水量呈逐年减少趋势, 其中春、秋和冬季更显著。年尺度的 SPI 指数结果显示, 徐州地区干旱有显著增强趋势。从季度尺度 SPI 指数分析来看, 春、秋和冬季干旱程度整体有增强趋势, 夏季相反但并不明显。计算了 2009—2013 年徐州地区的逐月 SPI 指数, 发现除 2011 年各月主要呈现为中旱外, 其余年份各月则以轻旱为主。自然降水过程通常不能满足小麦生长需水量, 需要灌溉补偿。部分县乡存在农田水利设施薄弱、缺乏合理灌溉措施等问题, 这也是加重其农业干旱的重要原因之一。

关键词: 标准化降水指数(SPI); Mann-Kendall 检验; 干旱; 实地调研; 农业旱情成因分析; 徐州地区
中图分类号: TU443 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2016)03-0246-06

Drought severity in Xuzhou City during period from 2009 to 2013 and its influence on agriculture

LIU Jintao^{1,2}, ZHANG Zhongming¹, CHEN Jing¹, LIU Qiuyi¹, WU Pengfei¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on precipitation data and field investigation, we used the Mann-Kendall test and the standard precipitation index (SPI) method to analyze the trends of drought in Xuzhou City at different temporal scales and tried to determine the reasons for the drought disasters in recent years. The precipitation trend analysis showed that the precipitation over Xuzhou City gradually decreased during the period from 1951 to 2013, especially in the spring, autumn, and winter. The annual SPI analysis showed that the drought severity had significantly increased over the study area. Through analysis of the seasonal SPI, we found that the drought severity showed an increasing trend on the whole in the spring, autumn, and winter, while the situation was opposite in the summer and the trend was not significant. The monthly SPI over the period from 2009 to 2013 in Xuzhou City was calculated, and the results showed that there was a moderate drought in the year 2011 and mild droughts in other years. The water demand of wheat growth cannot be satisfied by natural rainfall alone; it requires compensation from irrigation water. Some counties and townships are facing problems such as insufficient farmland water infrastructure and inefficient irrigation techniques, which are among the main factors aggravating the agricultural drought in the city.

Key words: standard precipitation index (SPI); Mann-Kendall test; drought; field investigation; cause analysis of agricultural drought; Xuzhou City

近年来,在全球气候变化以及经济社会迅猛发展的背景下,干旱灾害有扩展的趋势,一些地区因干旱缺

收稿日期: 2015-10-27

基金项目: 国家自然科学基金(41271040); 国家重点实验室自主科研项目(20145028012); 江苏省自然科学基金(BK2010516)

作者简介: 刘金涛(1977—),男,河北唐山人,教授,博士,主要从事流域水文模拟研究。E-mail: jltiu@hhu.edu.cn

水等造成的损失也愈加严重。徐州地区位于黄淮海平原东南部,其所处的苏北地区较为缺水^[1-2],正常年缺水量在 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右,干旱年则高达 $29 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[3]。据报道,2009—2013 年,徐州地区多次出现农业旱情且不断加重,小麦受旱面积达 33.3 万 hm^2 ^[4]。目前,已有研究分别关注了徐州地区近年来的降水量和土壤墒情等水文气象因素,试图揭示干旱发生原因及影响因素^[1,4]。应该看到,干旱是复杂的自然和社会问题,通常由降水减少等气象条件引发,然而其致灾程度不仅取决于水文气象等自然条件,还受灌溉、引水等御灾设施建设状况及其他社会因素的综合影响^[5-6]。

本文采用地面代表站实测资料,利用 Mann-Kendall 检验法以及不同时间尺度的标准化降水指数 (SPI)^[7] 分析徐州地区干旱发展趋势,结合作物需水和实地调研资料对徐州地区 2009—2013 年的农业旱情成因进行研究,以期为当地防旱减灾提供科学依据。

1 研究资料与研究方法

1.1 研究资料

a. 地面站数据。选用沛城闸站等 7 个代表雨量站、徐州等 3 个气象站点的数据。其中,收集了各雨量站 1961—2013 年的逐日、逐月降水数据,1961—2013 年徐州、邳州、睢宁站气象资料以及徐州 1951—2013 年面降水数据。

b. 实地调研数据。为分析致灾原因,笔者于 2011 年 5—12 月先后 3 次前往徐州地区的铜山县汉王镇、邳州市房亭河流域及睢宁县等地区的 40 余个村镇进行实地调研,发放调研问卷 300 份,并对当地农田水利设施、农业生产及作物产量进行了调查。徐州地区雨量站点及实地调研点分布如图 1 所示。

1.2 研究方法

1.2.1 SPI 指数

SPI 指数是标准化的干旱指数,其采用 Γ 函数来描述降水量的分布概率^[8-9],并用标准化降水累积频率分布来划分干旱等级,具体的计算方法及干旱等级划分标准在相关文献中有详细的说明^[10-12],在此不再赘述。基于 SPI 指数的干旱频率 (F) 是评价某区域在一定年份内发生干旱的频繁程度,可用式(1)表示:

$$F = \frac{m}{M} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m ——发生干旱的总年数; M ——降水资料的系列长度。

1.2.2 Mann-Kendall 检验法

Mann-Kendall 趋势检验^[13](以下简称 MK 检验)是一种非参数检验方法,目前被广泛用于水文趋势检验研究。MK 检验的统计量 S 及显著性指标 Z 的计算公式如下:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: x_j, x_k ——样本数据(本文中为降水数据和 SPI 指数序列); n ——序列长度。对于 Z ,大于 0 时是上升趋势,小于 0 时是下降趋势。给定显著性水平 α ,若 Z 的绝对值大于 $Z_{\alpha/2}$ (临界值),则认为时间序列有明显变化趋势。研究中, Z 的绝对值大于或等于 1.64 和 1.96 时,分别表示通过了信度 90% 和 95% 的显著性检验^[12]。

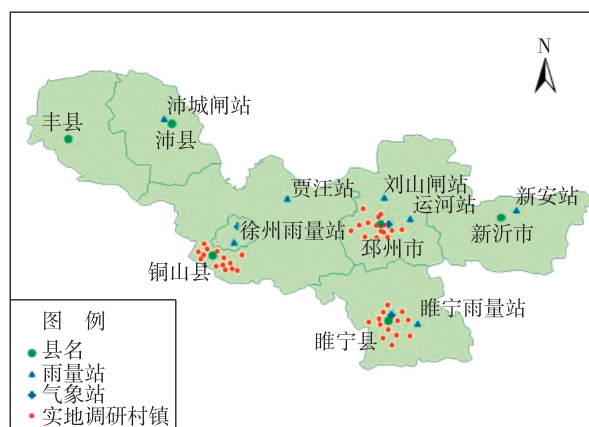


图 1 徐州地区雨量站点及实地调研点分布

Fig. 1 Distributions of rain gauge stations and field investigation sites in Xuzhou City

2 结果分析

2.1 徐州地区历史干旱特征分析

2.1.1 多年平均降水趋势分析

依据 MK 检验法,分析了徐州地区 63 年(1951—2013 年)的面降水量整体趋势($Z = -1.21$),降水量总体呈下降趋势。在进一步的研究中,笔者选取了 5 个代表站(1961—2013 年)的降水数据,分别统计全年和各季的降水变化趋势,结果见表 1。

从表 1 可以看出,徐州地区各代表站全年降水量变化趋势 Z 值均为负值,其中新安站较为显著。这说明各站年降水量均呈下降趋势,与面降水统计结果一致。在季节尺度上,各站春、秋和冬季降水量均呈下降趋势,夏季降水量为局部上升趋势,然而趋势均不显著。

2.1.2 年尺度干旱特征分析

利用 1951—2013 年的面降水数据计算了 SPI 指数(见图 2),经统计得出徐州地区发生干旱(轻旱及以上)的频率为 33.3%。经 MK 检验,得到 Z 值为 -1.65 ,可见徐州地区 SPI 指数总体呈显著下降趋势(置信度达 90%),表明这 60 年来干旱有显著增强趋势。总体上说,2009—2013 年的 SPI 指数一直呈波动下降趋势,这表明 2009—2013 年处于一个相对干旱的周期。

2.1.3 季节尺度干旱特征分析

由于年尺度的 SPI 指数不能反映年内降雨不均导致的干旱程度,因此笔者计算了 1961—2013 年徐州地区逐月降水数据季节尺度的 SPI 指数(图 3),并采用 MK 检验对季节尺度 SPI 序列进行趋势和显著性分析。

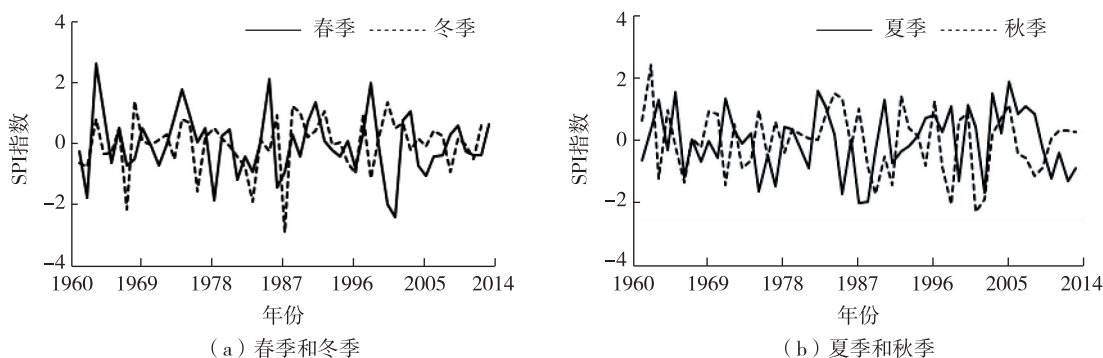


图 3 徐州市 1961—2013 年季节 SPI 指数变化

Fig. 3 Changes of seasonal SPI during period from 1961 to 2013 in Xuzhou City

由图 3(a)可知:1961 年以来共发生了 14 场不同程度的春旱,其中特旱 1 a,重旱 3 a,中旱 2 a 和轻旱 8 a,干旱频率为 26.4%,经 MK 检验得出 Z 值为 -0.30 ,表明整体呈下降趋势(不显著);总共出现了 12 次冬旱,特旱、重旱、中旱和轻旱分别出现了 2 次、1 次、2 次和 7 次,干旱频率为 22.6%,略小于春季,MK 法的 Z 值为 -1.20 ,表明 SPI 指数整体呈降低趋势。从图 3(b)可以看出:夏季共出现了 16 次干旱,频率为 30.2%,其中以轻旱和中旱为主,无特旱年,计算得出 Z 值为 0.33 ,其 SPI 指数整体呈上升趋势,但并不显著;秋季共出现了 17 次干旱,发生频率为 32.1%,其中特旱 1 a,重旱 3 a,中旱 5 a,轻旱 8 a, Z 值为 -0.84 ,表明 SPI 指数呈降低趋势。对于 2009—2013 年,除 2012 年冬季外,徐州地区春季和冬季 SPI 指数整体均呈持续下降趋势。此外,2010、2012 和 2013 年夏季也发生了不同程度的干旱。

表 1 1961—2013 年代表站降水趋势(Z 值)的年季变化

Table 1 Changing trends of annual and seasonal precipitation (Z) at representative stations from 1961 to 2013

时间	Z				
	睢宁 雨量站	徐州 雨量站	贾汪 站	沛城闸 站	新安 站
全年	-0.33	-0.16	-0.60	-0.76	-1.60
春季(3—5 月)	-0.43	-0.30	-0.40	0.36	-0.28
夏季(6—8 月)	0.16	0.28	0.15	-1.29	-0.49
秋季(9—11 月)	-0.26	-0.72	0.72	-1.09	-1.67
冬季(12—2 月)	-0.51	-1.36	-0.94	-0.66	0.83

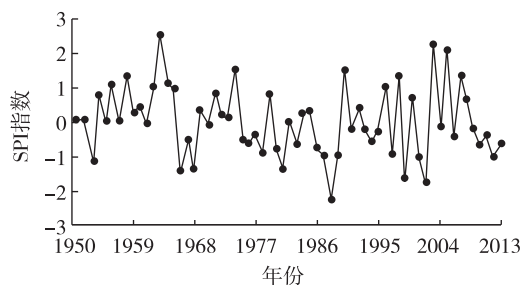


图 2 徐州地区 1951—2013 年际 SPI 指数变化

Fig. 2 Changes of annual SPI during period from 1951 to 2013 in Xuzhou City

2.2 2009—2013 年干旱过程分析

图4是2009年1月至2013年12月的逐月SPI指数和月降水量随时间变化,以及月降水量与同期多年平均月降水(1961—2013年)的对比。可以看到,这期间SPI指数波动较大。2009年初徐州市月降水量极低,1—4月降水量仅有71.2mm且均低于同期平均月降水量(113.8mm),SPI指数显示1月和4月出现了轻旱,9—10月因降水量仅43.7mm,远低于同期降水量(120.3mm),导致轻旱再次出现。2010年1—9月,SPI指数随着降水量变化而起伏,其中1月、3月、7月降水量较少,出现轻旱,而10—12月降水量比历史同期减少近90%,导致11月出现了重旱。2011年旱情持续发展,3—4月降水量仅15.2mm,旱情进一步加重。进入2012年后,旱情并未显著缓解,在小麦关键的生育期(5—6月)出现重旱。2013年同期(6月)降水较历史同期偏少近80%,导致重旱再次出现。

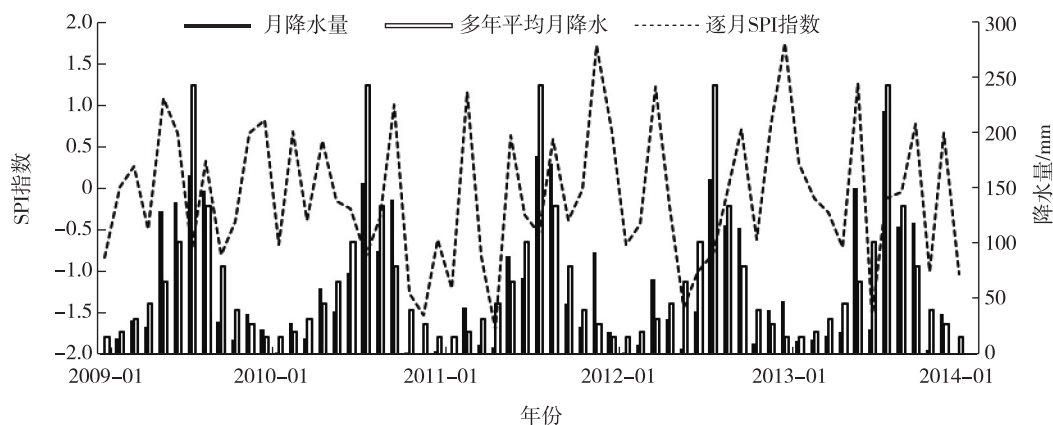


图4 徐州市多年平均月降水量与2009—2013年逐月SPI指数及降水量随时间变化

Fig. 4 Average monthly precipitation, and changes of monthly SPI and precipitation over time during period from 2009 to 2013 in Xuzhou City

值得注意的是,根据季节尺度和月尺度SPI指数计算的干旱等级,2009—2013年期间SPI指数虽然持续降低,但干旱始终以轻旱为主,少部分月份出现重旱。显然,这与新闻报道和实地调研得出的结果略有不符。主要原因在于,SPI指数是表征某时段降水量出现概率多少的指标,它只考虑了降水单一要素对干旱的贡献。因此,还应综合考虑农业生产中作物需水、灌溉措施等人为因素,以合理分析徐州地区旱情的成因。

2.3 2009—2013 年干旱对农业影响的分析

前面已经采用MK检验和SPI指数分析得出了徐州地区2009—2013年的干旱趋势变化,但并未结合农业生产的实际。以徐州地区主要农作物小麦为例,探讨其生育期需水、自然降水与灌溉管理等人为因素之间的关系,揭示影响旱情发展的综合因素。表2给出了该地区小麦生育期需水量(多年平均值)、多年平均降水量(1961—2013年)以及近年同期实际降水量等^[14-15]。

表2 徐州地区小麦需水量及实际降水量

Table 2 Water demands of wheat growth and actual precipitation in Xuzhou City

生育阶段	起讫日期	生育期需水量 /mm	小麦各生育期降水量/mm					
			多年平均	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年
播种—分蘖	10月上旬—10月下旬	56.4	40.8	13.7	2.3	24.4	9.4	4.4
分蘖—越冬	11月上旬—12月上旬	25.0	27.9	36.6	0.1	92.8	40.6	36.5
越冬—返青	12月上旬—3月上旬	35.0	52.6	38.7	33.2	62.2	58.4	25.4
返青—拔节	3月上旬—4月上旬	41.7	32.1	30.3	15.1	8.5	67.4	16.7
拔节—抽穗	4月上旬—5月上旬	90.4	46.9	25.0	59.7	6.7	32.2	20.5
抽穗—成熟	5月上旬—6月上旬	182.2	169.7	267.7	112.4	158.2	43.8	173.0
全生育期	11月上旬—6月中旬	431.0	369.9	412.0	222.8	352.8	251.8	276.5

从表2可以看出,小麦各生育期的需水量多大于同期多年平均降水量,而2009—2013年的小麦全生育期内降水量均无法满足小麦全生育期需水,其中2010—2013年多个生育阶段的降水量远低于历史平均水平,以播种—分蘖、返青—拔节、拔节—抽穗以及抽穗—成熟阶段尤为严重。考虑到自然降水并非全部转化为作物可利用的水量,因此实际缺水情况将更加严重。可见,徐州地区的小麦生产需要大量灌溉水的补偿。为此,2011年5—12月通过直接走访农户及问卷调查的形式(见图1),进一步调查了徐州铜山县、睢宁县和邳州市部分乡镇的农业生产情况,发现:(a)徐州部分地区的农田水利基础设施薄弱,其中灌溉设施的缺乏尤为严重,灌溉渠道等设施大多已废弃不用;(b)部分地区的农业灌溉技术相对落后,灌溉方式主要为电机抽水、直接引河水大面积灌溉等,缺乏合理有效的灌溉措施;(c)随着城市化的进展,农村劳力流失、农业设施与管理相对滞后问题突显,农业生产抵御干旱能力有所下降。笔者发现以上问题进一步加重了干旱对当地农业生产的影响。以铜山县汉王镇为例,2011年降水量接近多年平均水平,但问卷调查显示当地产量减少近50%。实地考察发现,当地灌溉条件较差,如灌溉渠道多已废弃、无任何有效灌溉措施等,可见人为因素进一步加重了当地旱情;类似原因,睢宁县庆安镇等地年单位面积产量减少近30%。

3 结 语

本文采用理论分析(干旱指数法)与实地调研相结合的方法,综合考虑了自然因素和人为因素,以期更加全面揭示农业旱情成因。研究中,利用SPI指数和MK检验对徐州地区1951—2013年历史降水数据进行了不同尺度的分析,结合40余个村镇近300份问卷调查的结果,可以得出以下结论:

a. 通过MK检验法计算徐州市1951—2013年的地面站降水数据,得出徐州地区年降水量正在逐渐减少;进而选取5个代表雨量站,对1961—2013年各季度降水数据进行MK分析,得出徐州大部分地区春季、秋季和冬季降水量呈现逐年减少趋势。

b. 根据年尺度SPI指数分析,徐州地区干旱有进一步增强的趋势,且较为显著;根据季节SPI分析,1961年以来春、秋和冬季SPI指数整体呈下降趋势,2009—2013年期间徐州春、冬季SPI指数均呈持续下降趋势,表明干旱逐步增强;从2009—2013年月尺度SPI指数变化来看,SPI指数随降水量变化而大幅度波动,2009—2010年秋季各干旱月份均为轻旱,2010年末至2011年初各干旱月份主要以中旱为主,2011年下半年至2013年各月干旱则主要以轻旱为主。

c. 通过对比徐州主要农作物(小麦)需水量和其同期降水量,发现自然降水过程通常不足以维持作物的正常需水,需要灌溉以补偿部分缺水量。通过进一步针对农业生产情况的调研,发现研究区部分乡镇农田水利基础设施薄弱。此外,调查还发现徐州市城市化进展较快,对周边农业产生了冲击,导致农村劳力流失、农业设施与管理滞后,造成抵御干旱能力下降。因此,人为因素也是造成徐州地区近年农业干旱致灾的重要原因之一。

参考文献:

- [1] 罗俐雅,冯德程,许明家. 近三年徐州市土壤墒情时空变化分析[J]. 水文, 2012, 32(2): 84-87. (LUO Liya, FENG Dezeng, XU Mingjia. Temporal and spatial variation of soil moisture in Xuzhou City in last three years[J]. Journal of China Hydrology, 2012, 32(2): 84-87. (in Chinese))
- [2] 赵林,武建军,吕爱锋,等. 黄淮海平原及其附近地区干旱时空动态格局分析:基于标准化降雨指数[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 468-476. (ZHAO Lin, WU Jianjun, LYU Aifeng, et al. Spatial and temporal analysis of drought over the Huang-Huai-Hai Plain and its surroundings based on the standardized precipitation index[J]. Resources Science, 2011, 33(3): 468-476. (in Chinese))
- [3] 徐州水利网. 徐州市“十一五”水利发展规划[EB/OL]. [2006-09-15]. <http://www.xzsl.gov.cn/ReadNews.asp?NewsID=10311>.
- [4] 张百战,吕翔,孙建印,等. 徐州市2010年秋冬连旱成因分析与探讨[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(31): 19195-19197. (ZHANG Baizhan, LYU Xiang, SUN Jianyin, et al. Analysis and discussion on the causes of consecutive drought in autumn and winter in Xuzhou in 2010[J]. Journal of Anhui Agri, 2011, 39(31): 19195-19197. (in Chinese))
- [5] 符淙斌,温刚. 中国北方干旱化的几个问题[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(1): 22-29. (FU Congbin, WEN Gang. Several issues on aridification in the northern China[J]. Climatic and Environmental Research, 2002, 7(1): 22-29. (in Chinese))

- [6] 彭世彰,吴佳,姚俊琪. 南方季节性干旱成因及抗旱对策[J]. 中国农村水利水电, 2012(3): 149-151. (PENG Shizhang, WU Jia, YAO Junqi. The causes and countermeasures of seasonal drought in South China [J]. China Rural Water and Hydropower, 2012(3): 149-151. (in Chinese))
- [7] HAYES M J, SVOBODA M D, WILHITE D A, et al. Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index [J]. Bulletin of American Meteorological Society, 1999, 80: 429-438.
- [8] 慈晖,张强,白云岗,等. 标准化降水指数与有效干旱指数在新疆干旱监测中的应用[J]. 水资源保护, 2015, 31(2): 7-14. (CI Hui, ZHANG Qiang, BAI Yungang, et al. Application of standardized precipitation index and effective drought index in drought monitoring in Xinjiang [J]. Water Resources Protection, 2015, 31(2): 7-14. (in Chinese))
- [9] 张弘,王文卓,李琼芳,等. 不同干旱指数在唐山地区旱情评价中的应用[J]. 水资源保护, 2013, 29(6): 64-69. (ZHANG Hong, WANG Wenzuo, LI Qiongfang, et al. Drought evaluation of Tangshan region using multiple drought indices [J]. Water Resources Protection, 2013, 29(6): 64-69. (in Chinese))
- [10] ELSA E M, ANA A P, LUT'S S P, et al. Analysis of SPI drought class transitions using loglinear models [J]. Journal of Hydrology, 2006, 331: 349-359
- [11] GIBBS W J, MAHER J V. Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48 [M]. Melbourne: Commonwealth of Australia, 1967.
- [12] 易知之,梁忠民,赵卫民,等. 模糊综合法在区域干旱评价中的应用[J]. 人民黄河, 2012, 34(6): 68-70. (YI Zhizhi, LIANG Zhongmin, ZHAO Weimin, et al. Application of fuzzy comprehensive method in regional drought assessment [J]. Yellow River, 2012, 34(6): 68-70. (in Chinese))
- [13] HULME M, MARSH R, JONES P D. Global change in a humidity index between 1931-60 and 1961-90 [J]. Clim Res, 1992, 2: 1-22.
- [14] 刘可晶,王文,朱烨,等. 淮河流域过去 60 年干旱趋势特征及其与极端降水的联系[J]. 水利学报, 2012, 43(10): 1179-1187. (LIU Kejing, WANG Wen, ZHU Ye, et al. Trend of drought and its relationship with extreme precipitation in Huaihe River basin over the last 60 years [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(10): 1179-1187. (in Chinese))
- [15] 刘昌明,孙仁华. 黄淮海平原农田水量平衡的计算[C]//左大康. 中国科学院“六五”黄淮海平原科技攻关文集: 黄淮海平原治理和开发. 第一集. 北京: 科学出版社, 1985: 91-104.

· 简讯 ·

河海大学在 2015 年度教育部重点实验室评估中获得佳绩

近日,教育部发布了 2015 年度地学领域教育部重点实验室评估结果,河海大学“浅水湖泊综合治理与资源开发”教育部重点实验室获评优秀,“海岸灾害及防护”教育部重点实验室获评良好。

依托环境学院建设的“浅水湖泊综合治理与资源开发”教育部重点实验室在本评估期内瞄准国际学术前沿,聚焦“水生态环境安全与资源可持续利用”国家战略需求,开展了大量创新性基础研究和应用基础研究,取得了系列高水平研究成果。2010—2014 年实验室共主持 973 项目 1 项、国家自然科学基金委创新群体项目 1 项、国家杰青 1 项、重点项目 3 项、优青 2 项;发表 SCI 论文 275 篇,授权发明专利 135 件;获得省部级及以上科技奖励 26 项;新增中国工程院院士 1 人、长江学者 1 人、何梁何利基金奖励 1 人、教育部创新团队 1 支、江苏省高校科技创新团队 3 支。

教育部重点实验室评估每五年进行一次,分初评、现场考察和综合评议三个阶段,评估结果综合体现实验室研究水平与贡献、研究团队建设、学科发展与人才培养、开放交流与运行管理等情况。2015 年教育部对地学领域有 50 个实验室进行了评估,有 7 个实验室评估结果为优秀,38 个实验室评估结果为良好。教育部根据评估结果优先推荐优秀类教育部重点实验室参与国家重点实验室建设。

(本刊编辑部供稿)