

范嘉智,谭诗琪,罗 宇,等. 湖南省最适干旱指数研究及近 50 年干旱演变分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(15):291-295,306.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.15.067

湖南省最适干旱指数研究及近 50 年干旱演变分析

范嘉智¹,谭诗琪²,罗 宇¹,夏德奇¹

(1. 中国气象局气象干部培训学院湖南分院,湖南长沙 410125; 2. 湖南省气象服务中心,湖南长沙 410007)

摘要:作为干旱的评价标准,干旱指数在旱情监测、预警中发挥着基础性作用,但至今尚没有适用于大尺度范围的干旱指数,因此在特定区域内研究最适干旱指数有重要的科学意义。基于长期观测资料、土壤数据库及历史干旱记载,对比分析标准化降水指数(SPI)、标准化降水及蒸散指数(SPEI)、Palmer 干旱指数(PDSI)、自矫正 Palmer 干旱指数(scPDSI)在湖南省的适用性。结果表明,scPDSI 对于干旱事实描述准确率最高,这一指数在较长时间尺度上表现稳定,响应敏感,但在旱度标准的适配性上仍有提升空间。基于该指数分析湖南省 1960—2011 年干旱演变趋势后发现,湖南省内大部分地区处于干旱缓解趋势,湘西中部、湘南永州地区及湘东北地区处于变干趋势,尤以长沙地区较为严重,应加强旱情监测和预警,应对未来可能出现的严重旱灾。

关键词:干旱指数;湖南省;区域适用性;干旱演变;时间序列分析

中图分类号: S165+.25 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)15-0291-05

干旱是因生态系统水分收支不平衡导致的持续性水分亏缺现象,因其发生范围广、影响人数多、造成损失大,被列为自然灾害之首^[1-3]。旱灾影响形式较洪涝灾害缓慢,但其灾害涉及面广,故后续和潜在危害较大^[4]。相关研究表明,干旱不仅发生于降水较少的地区,近年在我国雨量充沛的地区,也连续发生了严重的干旱事件^[5],对经济、社会造成了巨大的危害^[6-7]。

湖南省属于亚热带季风气候区,雨水充沛、空气湿润,年平均降水量约 1 400 mm,但年际变化大,季节性分布不均,其中 70.3% 的降水分布在 3—8 月,6 月下旬以后,雨季结束进入盛夏晴热少雨季节,容易发生干旱^[4]。湖南干旱的影响因素有大气环流及地形地质,常年 6 月以后因稳定而持久的副热带高压影响,天气晴热少雨,蒸发强烈,易形成干旱^[8];湖南复杂的地形地质导致夏季、秋季各地降水不均,易导致插花性干旱产生,特别是湘西、湘西南的石灰岩地质区较薄的土层不利于蓄水保水,干旱频率较高^[9]。

旱灾在降水较少地区已表现为常态化特征,但由于灾害意识和抗旱能力较为健全,干旱的危害并不显著,相对而言,湖南水资源较丰富,社会对防旱抗旱的意识并不强,且湖南作为我国历史悠久的农业大省,全省农作物播种面积达 800 万 hm^2 ,有林地面积 988.16 万 hm^2 ^[10],水稻种植面积及产量均居全国首位^[11],生产生活依赖水资源,因而旱灾危害较大,已成为影响湖南发展、社会安定的重要因素,限制了湖南农业强省的建设^[8,12]。

干旱指数作为衡量干旱的工具,在干旱监测、预测、评价中发挥重要作用^[13]。干旱指数可分为单因子指数和多因子指数,单因子指数如标准化降水指数(SPI)^[14],这类指数的优

势在于只考虑降水而不涉及干旱机制,计算简单,在多种时空尺度下均能有效反映旱涝状况,但因其考虑因子单一,在描述干旱的准确性上尚存差异,且这样的差异性在不同时间、不同地区难以估计^[15-17]。多因子指数如帕莫尔干旱指数(PDSI)^[18]和标准化降水及蒸散指数(SPEI)^[19],前者依据土壤水分平衡原理,表征一段时间内的实际水分供应持续地少于当地气候适宜水分供应的水分亏缺;后者在 SPI 的基础上引入了潜在蒸散,能够反映全球变暖背景下干旱的发生、发展^[20]。这一类指标优势在于涉及相关的机制,对旱涝状况反映较为准确,但其计算相对复杂、对资料要求高的特点限制了这一类指标的利用及推广。

全球性的干旱指数分析使用的降水^[21]和气温^[22]资料往往来自周边观测站点的拟合计算或估值,并非人工观测所得,且分辨率粗糙,计算所得的干旱指数无法反映中小尺度上的干旱状况分布及发展规律。而目前几乎没有针对湖南省的干旱指数适用性研究,多数研究仅基于单个指数^[23-25]。

由于干旱的机制异常复杂,影响因子较多,并且目前的研究还不能准确解释干旱的形成机制,至今仍未有完全机理性的干旱模型。所以目前应用的干旱指数模型种类较多且均有显著的地域性特征。故有必要对各干旱指数在湖南省的监测效果进行检验,找出最为适用的干旱指数,并基于该指数分析湖南省历史干旱变化趋势,为预测未来旱情演变趋势提供可靠的依据。本研究选取 SPI、SPEI、PDSI、scPDSI 4 种广泛使用的干旱指数,通过与历史干旱事实的对比筛选最适宜湖南地区干旱评价的指数,以提高干旱监测准确性,并为环境保护、农业生产、政策制定等提供科学依据。

1 资料来源和方法

1.1 资料来源

气象资料来源于国家气象信息中心提供的中国地面气候资料日值数据集,该数据集包括 1951—2011 年全国 752 个基本、基准地面气象观测站及自动站日值观测资料,本研究从中

收稿日期:2018-03-20

基金项目:湖南省气象局 2018 年短平快课题(编号:XQKJ18B70)。

作者简介:范嘉智(1992—),男,安徽马鞍山人,硕士,助理工程师,主要从事农业气象研究。E-mail: fjt2419@hotmail.com。

选取湖南省内 25 个观测站资料进行分析。土壤有效持水量数据来源于国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学数据中心”基于世界土壤数据库 (HWSD) 的中国土壤数据集 (v1.1)^[26]。历史干旱资料来源于《中国气象灾害大典 (湖南卷)》^[4]。

1.2 方法

统计分析及作图均在 R 语言中进行,计算分别运用了由 Cszang 所编写的 pdsi 包 (<http://github.com/cszang/pdsi>) 和由 Begueria 等所编写的 SPEI 包^[27]。

1.2.1 干旱指数简介 Palmer 干旱指数 (the palmerdrought severity index, PDSI): 由 Palmer 于 1965 年提出,依据土壤水分平衡原理,表征在一段时间内,该地实际水分供应持续地少于当地气候适宜水分供应的水分亏缺^[18]。该指数物理意义明晰,基于月值资料,经标准化处理,一般在 -6 (干) 和 +6 (湿) 之间变化,可以针对不同时空尺度下的土壤水分状况进行评价比较。

自校正 Palmer 干旱指数 (the self - calibrating

palmerdrought severity index, scPDSI): Wells 等于 2004 年对 Palmer 干旱指数进行了较大程度的改善,建立了自校正 Palmer 干旱指数,使得持续因子和气候权重因子根据站点的气候特征自动修正,提高了 Palmer 干旱指数在不同空间尺度下的可比性^[28-29]。

标准化降水指数 (the standardized precipitation index, SPI): 由 McKee 等于 1993 年提出^[30],基于该地多年月降水资料,计算降水的累积概率密度函数,并进行标准化处理消除降水的时空分布差异^[15,31],以降水量出现的概率多少表征当地干旱状况^[24]。

标准化降水及蒸散指数 (the standardized precipitation evapotranspiration index, SPEI): 由 Vicente - Serrano 等基于 SPI 指数与潜在蒸散发的概念构建,采用降水与蒸散之差代替 SPI 指数中的单一降水异常指标,考虑了水分平衡异常^[19];并采用了合适的单变量概率分布函数将降水量数据转换为正态分布,融合了 SPI 指数和 PDSI 指数的优点^[32]。

表 1 干旱指数旱度分级标准

等级	类型	PDSI, scPDSI 旱度	SPEI 旱度	SPI 旱度
1	无旱	> -1.0	> 0	> -0.5
2	轻旱	> -2.0 ~ -1.0	> -0.5 ~ 0	> -1.0 ~ -0.5
3	中旱	> -3.0 ~ -2.0	> -1.0 ~ -0.5	> -1.5 ~ -1.0
4	重旱	> -4.0 ~ -3.0	> -2.0 ~ -1.0	> -2.0 ~ -1.5
5	特旱	≤ -4.0	≤ -2.0	≤ -2.0

1.2.2 数据处理及分析方法 研究选取 1960 年、1963 年和 1985 年 3 个特大干旱年中遭受干旱较严重的 9 月份数据,分别对比 4 种干旱指数在湖南省内各区域的表现与历史旱灾情况记载的一致性;并选取湖南省内较易遭受干旱的芷江站,分析不同干旱指数在 50 年尺度下的演变情况。结合干旱历史记载,筛选 4 种干旱指数中对湖南受旱情况描述最为准确的指数,并以该指数为参照,使用 M - K 检验法计算湖南各观测站 1960—2011 年 scPDSI 变化趋势,利用 ArcGIS 进行插值,分析湖南省 50 年干旱时空特征。

2 结果与分析

2.1 干旱指数与历史干旱事件对比分析

根据《中国气象灾害大典 (湖南卷)》记载,在 1951—2000 年的 50 年间,湖南省共出现特大旱灾年 4 次,分别是 1956 年、1960 年、1963 年和 1985 年^[4]。常年 6 月下旬后,因气候影响,湖南进入晴热缺水季节^[8],而此时正处于水稻等作物需水时候,旱灾易生^[33]。因 1956 年观测资料不全,故选取旱灾在全省大部发展旺盛的 1960 年、1963 年及 1985 年的 9 月份数据,根据历史资料总结湖南省各地受旱情况 (表 2),分析 SPI、SPEI、PDSI、scPDSI 4 种干旱指数对各地干旱的描述准确性。

根据历史干旱事实与同期干旱指数图 (图 1) 对比,1960 年在湘西、湘中南、湘西南重旱区,4 种干旱指数均能有效反映受灾情况,但对于湘北受旱情况的描述有所差异。根据资料记载,岳阳、常德当年夏秋季节发生严重干旱,而 4 种干旱指数中, SPEI 反映出 2 地旱情较轻; SPI 反映出 2 地均为无旱; PDSI 反映出 2 地均为轻旱; 只有 scPDSI 反映出 2 地 9 月

均为中旱等级,与干旱事实较接近。1960 年 9 月湘南永州和郴州地区,经过夏旱至秋天已无旱灾发生,4 种指数均能有效反映郴州地区干旱状况,但 SPI 和 SPEI 在永州地区表现为轻旱及中旱,与事实不符。

在 1963 年特大干旱背景下,仅有 SPEI 准确反映了湘南、湘中、湘北的严重干旱情况, SPI 在常德、PDSI 在永州、scPDSI 在长沙对旱情的描述均有明显偏差 (图 2)。4 种指数均反映出了郴州、衡阳、邵阳、娄底、怀化、岳阳各地的受旱情况,对于湘西州秋季旱情缓解的情况仅有 SPI 较为准确。

1985 年特大旱情主要出现在春、夏 2 季,秋季部分地区旱情已经缓解,尤其是湘西南地区,史料并未记载当地有旱情出现 (图 3)。对于湘南地区永州市 1985 年 9 月旱灾已缓解的事实,4 种指数中 PDSI、SPI 均能准确反映, scPDSI 也表明旱情由重减轻的情况。而对于石门、岳阳、常德、芷江、邵阳等旱情较重的站点, SPEI 和 scPDSI 反映的准确率高于 PDSI 和 SPI。

根据干旱指数对事实描述情况,采用准确率这一定性指标进行描述。湖南省干旱指数与史料记载干旱事实对比结果 (表 3) 表明, scPDSI 的准确率均远高于其他 3 种指数。根据历史同期干旱指数与干旱事实对比的结果, 4 种指数在湖南省适用性以 scPDSI 最优, SPEI 次之, SPI 和 PDSI 最次。

2.2 芷江站 1952—2000 年干旱指数时间序列分析

根据历史旱灾记载,湖南省各地均可发生干旱,而因土壤质地差异,湘西南的石灰岩地质区土层薄,不利于蓄水保水,较易发生干旱,因此选择湘西南的芷江站 1952—2000 年观测数据作 4 种干旱指数时间序列分析。结果 (图 4) 显示, 4 种干旱指数均具有波动性,存在年际连续干旱现象,且季节性干

表 2 特大旱灾年湖南各地受旱记载

年份	地区	受旱程度	史料记载
1960	湘北	严重	常德大旱,全市成灾面积 21.9 万 hm ² 岳阳夏秋连旱,成灾面积 10 万 hm ² ,绝收 0.45 万 hm ² ,粮食减产 12.79 万 t
	湘中	较重	长沙夏秋无雨,中晚稻减产
		较重	株洲夏秋连旱 61 d,农作物减产
		较重	湘潭夏秋连旱,0.86 万 hm ² 农田受旱,0.2 万 hm ² 失收
		较重	娄底夏秋干旱
	湘中南	严重	衡阳市夏秋干旱,水库、山塘露底,46.5% 的小河断流,受旱面积 17.6 万 hm ² ,减产面积达 15.8 万 hm ²
	湘南	无旱	永州春夏干旱,秋季以后无旱灾发生 郴州夏季干旱,8 月以后无旱灾发生
	湘西南	严重	邵阳市受旱 14.2 万 hm ² ,成灾面积 9.8 万 hm ² ,粮食减产 16.21 万 t
	湘西	严重	怀化市的沅陵特大干旱,通道受旱面积占水田总面积 33.8% 湘西州夏秋连旱,稻田受灾,粮食大量减产
			张家界桑植县 0.044 万 hm ² 晚稻和 0.18 万 hm ² 迟熟中稻受旱
1963	湘北	严重	常德夏秋连续大旱,成灾面积 4.8 万 hm ² 岳阳市夏秋连旱,12.7 万 hm ² 农作物受灾,0.86 万 hm ² 绝收,粮食减产 10.25 万 t
	湘中	严重	娄底市夏秋干旱,农作物受旱超过 7.1 万 hm ² 长沙夏秋干旱,7.7 万 hm ² 农田受灾 株洲干旱程度历年少见,田土龟裂,塘库干涸,溪水断流,晚稻大面积失收乃至绝收 湘潭市夏秋少雨大旱,近 0.6 万 hm ² 绝收
			衡阳市受旱面积 22.6 万 hm ² ,塘库干涸,溪水断流,减产粮食 38.34 万 t
			永州市早期大于 200 d,水库干涸 92.6%,山塘干涸 70%,稻田成灾 12 万 hm ² ,减产粮食 16.7 万 t
			郴州市夏秋冬连旱,8 月降水比同期偏少 86%,旱情百年罕见,受旱面积占耕地面积 64%,粮食减产 17.2 万 t
	湘中南	严重	邵阳市春夏秋连旱,山塘减低,水井干涸,受旱面积 16 万 hm ² ,减产粮食 22 万 t
	湘南	严重	怀化市各县均遭受严重干旱,降水量大幅减少,作物枯萎、农田失收 湘西州各县遭受不同程度夏旱,秋季旱情减轻
	湘西南	严重	
	湘西	较重	
1985	湘北	严重	常德市夏秋干旱,成灾面积 11.9 万 hm ² 岳阳市夏秋旱,12.1 万 hm ² 农作物受旱,严重减产 6.4 万 hm ² ,水库干涸,溪河断流
	湘中	严重	娄底市经济作物大面积受旱,柑橘减产 72%,晚稻无水插秧,1 万 hm ² 受旱
	湘南	无旱	永州市春夏干旱,至 9 月已缓解
	湘西南	严重	邵阳市春夏秋 3 季皆旱,38.99 万人饮水困难,柑橘落果率达 95% ~ 98%,受旱农田 22.7 万 hm ² ,减产粮食 24.33 万 t
	湘西	严重	怀化市春夏秋连旱,多县降水量为 1950 年以来最少,大量水库、山塘干涸,2 270 条溪河断流,受旱农田 19 万 hm ² ,失收 1.6 万 hm ² ,粮食减产 17.94 万 t 湘西州夏秋干旱,水库、山塘干涸,粮食失收 0.27 万 hm ² ,损失产量 0.3 万 t

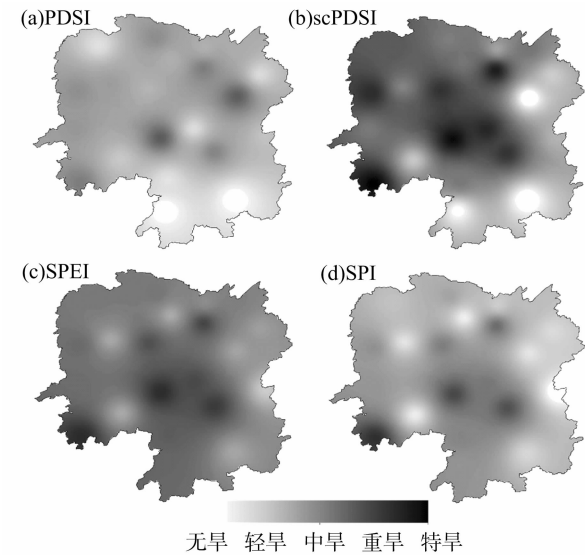


图1 1960年9月湖南干旱指数监测结果

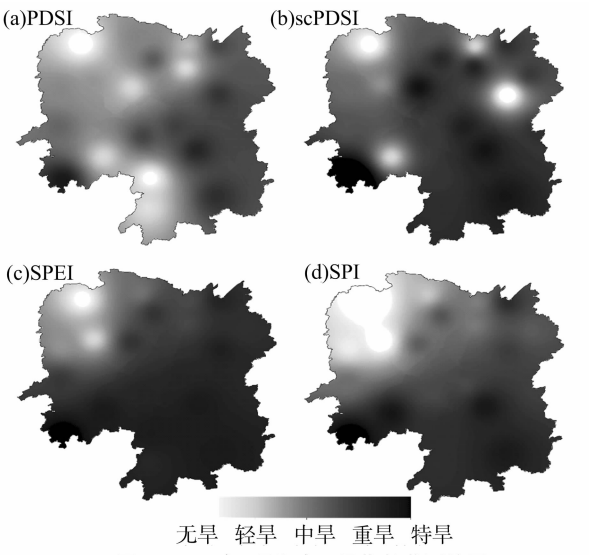


图2 1963年9月湖南干旱指数监测结果

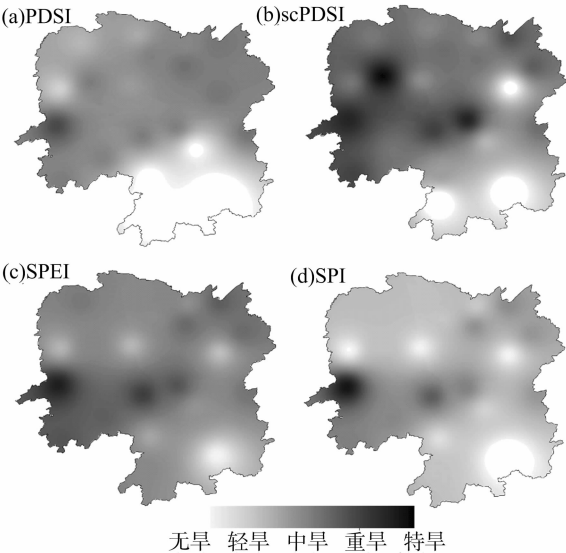


图3 1985年9月湖南干旱指数监测结果

旱频繁,几乎每年固定季节都有干旱发生,4 种指数中 scPDSI 在波动幅度上明显小于其他 3 种指数,在较长的时间尺度上表现大致稳定。

4 种干旱指数在重大干旱的描述上较为一致,对于季节性、插花性干旱的描述,通过与历史记载对比,scPDSI 与 SPEI 2 种指数相对准确。根据干旱记载,1957 年、1959 年、1961 年、1971 年、1972 年、1978 年、1981 年、1984 年、1986 年、1988 年、1990 年、1991 年、1992 年、1998 年均为大旱年份,芷江站时间序列图显示其中 10 个年份,4 种干旱指数均表现出明显低谷,而 1971 年、1981 年和 1992 年 scPDSI、PDSI 表现优于 SPEI 和 SPI,1991 年和 1998 年 4 种指数均没能准确描述旱情。相对而言,scPDSI 指数在芷江站对旱情的描述准确性优于其他 3 种干旱指数,特别是在 1980—1989 年的 10 年间表现得尤为明显,10 年中出现了 1 年属特大旱年,4 年属大旱年,其他 5 年属轻旱年,没有基本无旱年存在,而这段时间也处于 scPDSI 指数低谷期,大部分时间该指数都位于受旱标准以下。

2.3 湖南省 1960—2011 年干旱时空特征分析

根据湖南省 50 年干旱时空特征分析(图 5)发现,湖南各地干湿变化趋势存在明显差异,大部分地区处于较弱的变湿趋势,湘北及湘中变湿趋势明显,对当地气候环境及农业生产是一大利好;省内存在变干趋势的地区多集中在省区边界,湘南永州地区有较弱的变干趋势,干旱易生的湘西中部也处于加重趋势,湘中东部变干趋势十分明显,可能与长沙、株洲地区快速发展的城市化建设有关,需要增加抗旱意识以应对未来可能出现的严重旱灾。

3 结论与讨论

湖南省气候较为湿润,各地防旱抗旱的意识不强,而生产生活依赖水资源,所以旱灾对湖南社会经济的影响巨大^[8]。最早在公元前 980 年已有关于湖南旱灾的历史记录,从 15 世纪到 20 世纪的 600 年间,旱灾年的概率达到 72.5%。建国以后,对于旱灾的监测日趋完善,据资料统计,1951—2000 年湖南省每年干旱受灾面积及成灾面积占全省耕地面积的 12.5%

表 3 特大旱灾年干旱指数描述旱灾准确性统计

年份	地区	干旱指数描述事实准确性			
		SPI	SPEI	PDSI	scPDSI
1960	衡阳	准确	准确	准确	准确
	邵阳	准确	准确	准确	准确
	常德	不准确	不准确	较准确	准确
	岳阳	不准确	较准确	较准确	准确
	怀化	不准确	不准确	较准确	较准确
	湘西州	较准确	准确	较准确	准确
	张家界	不准确	较准确	不准确	准确
	长沙	不准确	不准确	准确	不准确
	娄底	较准确	准确	不准确	准确
	永州	不准确	不准确	准确	较准确
1963	郴州	准确	准确	准确	准确
	衡阳	准确	准确	较准确	准确
	邵阳	较准确	准确	较准确	准确
	娄底	较准确	准确	较准确	准确
	长沙	准确	准确	准确	不准确
	怀化	较准确	较准确	准确	准确
	湘西州	准确	较准确	较准确	较准确
	常德	不准确	准确	较准确	准确
	岳阳	准确	准确	较准确	准确
1985	娄底	不准确	较准确	不准确	准确
	邵阳	不准确	准确	不准确	准确
	怀化	不准确	较准确	不准确	准确
	永州	准确	不准确	准确	较准确
	湘西州	不准确	不准确	不准确	准确
	常德	不准确	较准确	不准确	准确
	岳阳	较准确	准确	较准确	准确
统计 准确率(%)		35.7	53.6	32.1	78.6

和 6.7%,干旱对湖南省农业生产、人民生活乃至经济发展造成了巨大的影响。只有加深了解、提高防旱抗旱能力,才能最大限度降低干旱造成的损失,最适于干旱指数的研究有助于监测、预测旱情,为防旱抗旱提供科学依据。

经过对比 4 种干旱指数在湖南地区的适用性,发现 scPDSI 历史干旱事实的描述准确率远高于其他 3 种指数,通过应用多因子干旱指数 scPDSI 可以提高旱情监测及预警的准确性,这一结果与杨庆等的研究结论^[31]一致。相对其他 3 种干旱指数,scPDSI 的大幅度波动少,指数表现整体上较为稳定,小波动较多,对于干旱的响应敏感,能体现出在严重干旱后的缓解趋势,但对于部分时空尺度下干旱情况的反映也有偏差,对于湘东长沙地区的描述准确性有待加强。目前 scPDSI 与 PDSI 使用统一旱度分级标准,这一点对 scPDSI 的描述准确性有所影响,因 scPDSI 能够相对站点气候特征自行修正指数,应开发出适用于 scPDSI 的自矫正旱度标准,这一方面仍需进一步研究。

湖南省内各地 1960—2011 年干旱趋势存在明显差异,湘西、湘南永州地区及湘东长沙、株洲地区处于变干趋势,尤其是长沙、株洲地区变干趋势明显,这一点可能与气候变暖及城市化有关^[34-35],未来有发生严重旱灾的可能。基于 scPDSI 计算所得近 50 年湖南省干旱时空变化趋势可以为各级地方

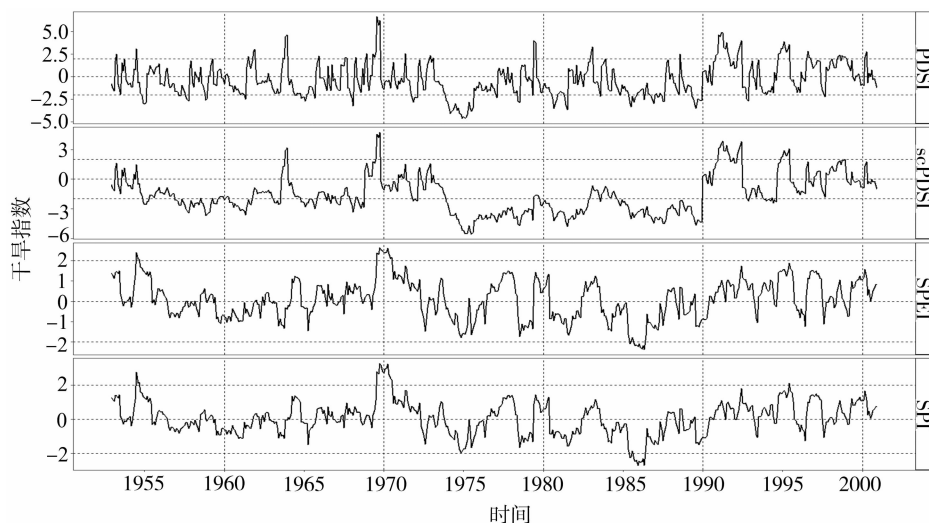


图4 芷江站干旱指数近50年时间序列

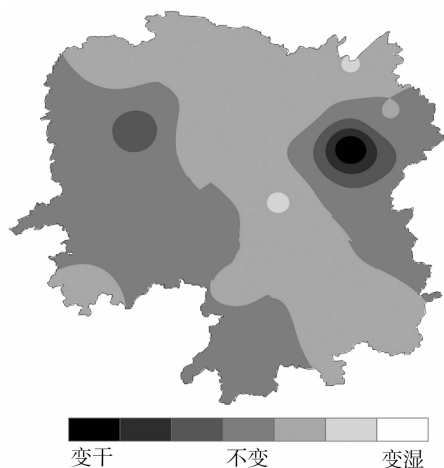


图5 湖南省1960—2011年干旱变化趋势

政府对旱情趋势的判断提供理论依据,从而为防灾减灾风险管理、农业生产合理布局、相关政策的制定提供帮助。

参考文献:

- [1] 王文,李亮,蔡晓军. CI 指数及 SPEI 指数在长江中下游地区的适用性分析[J]. 热带气象学报,2015,31(3):403-416.
- [2] He B, Lü A F, Wu J J, et al. Drought hazard assessment and spatial characteristics analysis in China [J]. Journal of Geographical Sciences, 2011, 21(2):235-249.
- [3] Wilhite D A. Drought as a natural hazard: concepts and definitions [M]//Drought: a global assessment. London: Routledge, 2000, 1: 3-18.
- [4] 温克刚,曾庆华. 中国气象灾害大典(湖南卷)[M]. 北京:气象出版社,2006:128-211.
- [5] 吴贤云,丁一汇,王琪,等. 近40年长江中游地区旱涝特点分析[J]. 应用气象学报,2006,17(1):19-28.
- [6] 王素萍,段海霞,冯建英. 2011年春季全国干旱状况及其影响与成因[J]. 干旱气象,2011,29(2):261-268.
- [7] 王素萍,段海霞,冯建英. 2009/2010年冬季全国干旱状况及其影响与成因[J]. 干旱气象,2010,28(1):107-112.
- [8] 左利芳,仇财兴. 湖南干旱特征及其对经济的影响[J]. 经济地理,2000,20(2):36-39.

- [9] 陈元贞. 试论湖南的干旱[J]. 热带地理,1990(1):55-62.
- [10] 朱玉林,李明杰,侯茂章,等. 湖南农业生态系统能值结构功能效率分析[J]. 中国农学通报,2012,28(20):270-277.
- [11] 青先国,艾治勇. 湖南水稻种植区域化布局研究[J]. 农业现代化研究,2007,28(6):704-708.
- [12] 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.
- [13] 王文,许志丽,蔡晓军,等. 基于 PDSI 的长江中下游地区干旱分布特征[J]. 高原气象,2016,35(3):693-707.
- [14] McKee T B N, Doesken N J, Kleist J. Drought monitoring with multiple time scales [C]//Proceedings of the 9th conference on applied climatology. Dallas, TX: American Meteorological Society, 1995:233-236.
- [15] 袁文平,周广胜. 标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报,2004,28(4):523-529.
- [16] 王春林,陈慧华,唐力生,等. 基于前期降水指数的气象干旱指标及其应用[J]. 气候变化研究进展,2012,8(3):157-163.
- [17] 孙智辉,雷延鹏,曹雪梅,等. 气象干旱精细化监测指数在陕西黄土高原的研究与应用[J]. 高原气象,2011,30(1):142-149.
- [18] Palmer W C. Meteorological drought [M]. Washington DC: US Department of Commerce, Weather Bureau, 1965.
- [19] Vicente-Serrano S M, Beguería S, López-Moreno J I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index [J]. Journal of Climate, 2010, 23(7):1696-1718.
- [20] 王东,张勃,安美玲,等. 基于 SPEI 的西南地区近 53 年干旱时空特征分析[J]. 自然资源学报,2014,29(6):1003-1016.
- [21] Dai A G, Fung I Y, Del Genio A D. Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988 [J]. Journal of Climate, 1997, 10(11):2943-2962.
- [22] Jones P D, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001 [J]. Journal of Climate, 2003, 16(2):206-223.
- [23] 张剑明,廖玉芳,彭嘉栋,等. 湖南气象干旱日数的时空变化特征[J]. 中国农业气象,2013,34(6):621-628.
- [24] 黄晚华,杨晓光,李茂松,等. 基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58 年演变特征[J]. 农业工程学报,2010,26(7):

(下转第 306 页)

力能够减少对外源肥料的需求。

河北省夏玉米氮肥农学效率为 9.6 kg/kg,与杨小梅等统计的 2000 年全国平均水平 9.5 kg/kg^[19]和张福锁等报道的 2001—2005 年全国平均水平 9.8 kg/kg^[5]比较接近,略高于河南省平均的 8.6 kg/kg^[20],但低于于飞等总结的近 10 年全国平均 11.1 kg/kg^[21]。河北省磷、钾肥农学效率分别为 17.4、9.3 kg/kg,高于 2001—2005 年全国平均水平 7.5、5.7 kg/kg^[5]和河南省平均水平 10.6、7.8 kg/kg^[21],说明磷肥对河北省夏玉米生产具有较明显的增产效应。河北省夏玉米氮肥偏生产力为 45.6 kg/kg,低于张福锁等报道的 2001—2005 年全国玉米平均氮肥偏生产力 51.6 kg/kg^[5]和于飞等总结的近 10 年全国玉米氮肥偏生产力 54.5 kg/kg^[21],但高于王旭总结的 2005—2008 年黄淮海区域夏玉米平均氮肥偏生产力 40.3 kg/kg^[16]。河北省夏玉米磷肥偏生产力为 125.0 kg/kg,明显高于 2001—2005 年全国平均水平 72.4 kg/kg^[5]和黄淮海区域平均水平 115 kg/kg^[17]。而钾肥偏生产力为 81.4 kg/kg,高于全国平均水平 64.7 kg/kg,但与黄淮海平均水平 140 kg/kg^[17]相比有明显差距。总体来看,河北省夏玉米氮、磷、钾肥农学利用率接近或略高于同期全国水平,但氮肥偏生产力明显低于周边省份和全国平均水平,磷、钾肥偏生产力则高于全国平均水平。化肥对河北省夏玉米增产起着重要的作用,提高农田基础生产能力和夏玉米栽培管理水平、合理平衡施肥以提高养分效率是河北省夏玉米实现产量、效率同步提升的关键。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴(2015)[M]. 北京: 中国统计出版社,2015.
- [2] Stewart W M,谢 玲. 肥料对作物产量的贡献[J]. 中国农资, 2003(3):31-33.
- [3] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国化肥区划[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社,1986:115-281.
- [4] 石元亮,王玲莉,刘世彬,等. 中国化学肥料发展及其对农业的作用[J]. 土壤学报,2008,45(5):852-864.
- [5] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]//Proceedings of the 8th conference on applied climatology. Anaheim: American Meteorological Society,1993:179-183.
- [6] 单 燕,李水利,李 茹,等. 陕西省玉米土壤肥力与施肥效应评估[J]. 土壤学报,2015,52(6):1430-1437.
- [7] 王 寅,冯国忠,焉 莉,等. 吉林省玉米施肥效果与肥料利用效率现状研究[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(6):1441-1448.
- [8] 刘 芬,同延安,王小英,等. 渭北旱塬春玉米施肥效果及肥料利用效率研究[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(1):48-55.
- [9] 王伟妮,鲁剑巍,李银水,等. 当前生产条件下不同作物施肥效果和肥料贡献率研究[J]. 中国农业科学,2010,43(19):3997-4007.
- [10] 张文婧,王昌全,袁大刚,等. 四川省主要作物施肥现状、问题与对策[J]. 土壤通报,2014,45(3):697-703.
- [11] 陈新平,张福锁. 通过“3414”试验建立测土配方施肥技术指标体系[J]. 中国农技推广,2006,22(4):36-39.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2005.
- [13] Cassman K G, Peng S, Olk D C, et al. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems[J]. Field Crops Research,1998,56(1/2):7-39.
- [14] 彭少兵,黄见良,钟旭华,等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学,2002,35(9):1095-1103.
- [15] 宇万太,赵 鑫,张 璐,等. 长期施肥对作物产量的贡献[J]. 生态学杂志,2007,26(12):2040-2044.
- [16] 王 旭. 我国主要农业生态区粮食作物化肥增产效应与养分利用效率研究[D]. 保定:河北农业大学,2010.
- [17] 吴良泉. 基于“大配方,小调整”的中国三大粮食作物区域配肥技术研究[D]. 北京:中国农业大学,2014.
- [18] 闫 湘. 我国化肥利用现状与养分资源高效利用研究[D]. 北京:中国农业科学院,2008.
- [19] 杨小梅,刘树伟,秦艳梅,等. 中国玉米化学氮肥利用率的时空变异特征[J]. 中国生态农业学报,2013,21(10):1184-1192.
- [20] 易玉林. 河南玉米氮磷钾肥料应用效果及推荐用量研究[J]. 河南科学,2012,30(5):580-583.
- [21] 于 飞,施卫明. 近 10 年中国大陆主要粮食作物氮肥利用率分析[J]. 土壤学报,2015,52(6):1311-1324.
- [22] 杨 庆,李明星,郑子彦,等. 7 种气象干旱指数的中国区域适应性[J]. 中国科学:地球科学,2017,47(3):337-353.
- [23] 熊光洁,张博凯,李崇银,等. 基于 SPEI 的中国西南地区 1961—2012 年干旱变化特征分析[J]. 气候变化研究进展,2013,9(3):192-198.
- [24] 谷洪波,刘芷好. 湖南农业干旱灾害的时空分布、社会经济影响及形成机理探究[J]. 山西农业大学学报(社会科学版),2015,14(11):1081-1085.
- [25] 廖玉芳,彭嘉栋,郭 庆. 湖南气候对全球气候变化的响应[J]. 大气科学学报,2014,37(1):75-81.
- [26] 郭丽香,章新平,吴华武,等. 城市化对湖南长沙气温的影响[J]. 干旱气象,2012(3):380-386.
- [27] Begueria S, Vicente-Serrano S M, Reig F, et al. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring[J]. International Journal of Climatology,2014,34(10):3001-3023.
- [28] Wells N, Goddard S, Hayes M J. A self-calibrating Palmer drought severity index[J]. Journal of Climate,2004,17(12):2335-2351.
- [29] Dai A G. Drought under global warming: a review[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change,2011,2:45-65.

(上接第 295 页)

50-59.

- [25] 罗伯良,李易芝. 2013 年夏季湖南严重高温干旱及其大气环流异常[J]. 干旱气象,2014,32(4):593-598.
- [26] Fischer G, Nachtergaele F, Prieler S. Global agro-ecological zones assessment for agriculture (GAEZ 2008)[J]. IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy,2008:10.
- [27] Begueria S, Vicente-Serrano S M, Reig F, et al. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring[J]. International Journal of Climatology,2014,34(10):3001-3023.
- [28] Wells N, Goddard S, Hayes M J. A self-calibrating Palmer drought severity index[J]. Journal of Climate,2004,17(12):2335-2351.
- [29] Dai A G. Drought under global warming: a review[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change,2011,2:45-65.

- [30] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]//Proceedings of the 8th conference on applied climatology. Anaheim: American Meteorological Society,1993:179-183.
- [31] 杨 庆,李明星,郑子彦,等. 7 种气象干旱指数的中国区域适应性[J]. 中国科学:地球科学,2017,47(3):337-353.
- [32] 熊光洁,张博凯,李崇银,等. 基于 SPEI 的中国西南地区 1961—2012 年干旱变化特征分析[J]. 气候变化研究进展,2013,9(3):192-198.
- [33] 谷洪波,刘芷好. 湖南农业干旱灾害的时空分布、社会经济影响及形成机理探究[J]. 山西农业大学学报(社会科学版),2015,14(11):1081-1085.
- [34] 廖玉芳,彭嘉栋,郭 庆. 湖南气候对全球气候变化的响应[J]. 大气科学学报,2014,37(1):75-81.
- [35] 郭丽香,章新平,吴华武,等. 城市化对湖南长沙气温的影响[J]. 干旱气象,2012(3):380-386.