

基于综合气象干旱指数 (CI) 的干旱时空动态格局分析

——以甘肃省黄土高原区为例

张调风¹, 张勃^{1*}, 王小敏¹, 贾建英², 尹海霞¹, 何旭强¹

1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 西北区域气候中心, 甘肃 兰州 730020

摘要: 借助 ArcGIS 9.3 和 SPSS 数据软件平台, 根据甘肃省黄土高原区 33 个气象站 1962—2010 实测气象资料, 利用综合气象干旱指数(CI)对甘肃省黄土高原区近 50 年的干旱特征进行了时空分析。首先计算了各站历年逐日的 CI 指数, 统计近 50 年各站点出现的干旱过程、各时段的干旱事件, 在此基础上分析了甘肃省黄土高原区历年各地区干旱发生的覆盖范围、频率和不同等级干旱发生的多年平均天数, 揭示了甘肃省黄土高原区干旱发生的时空差异和动态格局。分析结果表明, (1)甘肃省黄土高原区有大范围干旱发生的年份, 夏季和秋季较多分别有 13、8 a, 冬季最少, 只有 3 a。(2)从空间尺度来看, 甘肃省黄土高原区中兰州-榆中-靖远一带和庆阳北部属于高值区, 而岷县、渭源一带属于低值区; 106°E 以西“临洮-通渭-天水”一带和庆阳东南部是干旱变幅最大的地方。(3)从季节尺度来看, 夏季干旱频率和持续日数最多, 春季、秋季次之, 冬季最少。

关键词: 气象干旱; 综合气象干旱指数(CI); 时空格局; 黄土高原

中图分类号: P462.6

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2012) 01-0013-08

随着全球气候的变暖, 近年来干旱在全球和区域尺度上发生的频率和强度日趋严重, 且干旱面积不断扩大, 因此研究干旱化问题是研究全球变化的热点之一^[1-3]。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^[4]。大量研究表明中国北方是干旱发生频率最高的地区^[5-6], 但长江中下游地区发生近 60 年来最严重冬春干旱、西南地区遭受几次异常严重的夏秋连旱, 表明干旱蔓延的方向开始变化, 影响范围不断增加。这引起了学者的反思, 如何应对不断严峻的干旱形势, 减少干旱给人类带来的损失, 做好干旱管理的科学性和前瞻性呢?

干旱指数是监测、预警、评估干旱的关键参数。20 世纪以来, 施雅风院士^[7]等人提出的西北气候可能由暖干向暖湿转型这一推断后, 许多学者应用相应的干旱指数对西北干旱气候变化做了大量的研究。张存杰^[8]等通过调整 Z 指数的旱涝等级界限值, 确定了西北地区大气干旱指数, 王劲松等^[9]针对西北气候的特点, 研发了 K 指数, 郭锐等^[10]通过改进植被状况指数, 并应用于西北干旱监测中, 杨小利^[11]改进 Z 指数对西北地区的干旱监测做了研究, 杨小利^[12]建立了黄土高原西北部的帕默尔旱度模式, 张永^[13]、黄小燕^[14]、瞿禄新^[15]等研究了西北地区气

候干湿变化。前人研究应用的指数主要通过气象学方法研究降水量的统计分布规律, 反映干旱的强度, 或通过研究干旱机理, 反映干旱涉及各个物理过程。综合气象干旱指数 CI 鉴于两类指标的优点, 既考虑了水分或热量平衡过程, 又能反映干旱的成因、程度及开始、结束和持续时间, 主要计算干旱频率和持续日数, 涉及资料易获取, 物理机制明确, 便于深入探讨干旱发生的规律。

甘肃黄土高原区(图 1)东连陕西黄土高原, 西达乌鞘岭, 其位于黄土高原的最西端, 是黄土高原的重要组成部分。是西北地区和黄土高原的交集, 以陇山为界分为陇西黄土高原和陇东黄土高原, 地貌类型复杂, 水分供给主要依靠大气降水,

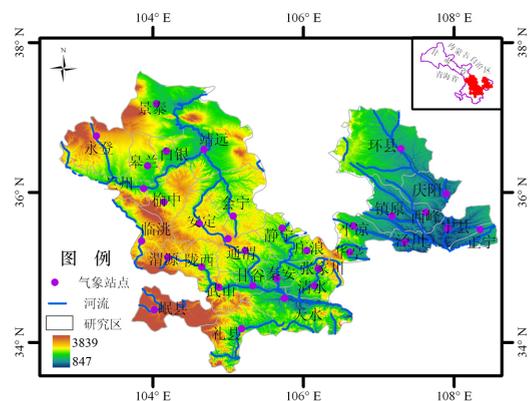


图 1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

基金项目: 国家自然科学基金项目(40961038); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200806021-07); 生态经济学甘肃省级重点学科(5001-063)

作者简介: 张调风(1986 年生), 女, 硕士研究生, 研究方向为农业气象遥感与 GIS 的应用。E-mail: ztfnwnu@163.com

*通信作者: 张勃; E-mail: zhangbo@nwnu.edu.cn

收稿日期: 2011-10-31

该区年平均降水量约为 250~550 mm, 降水时空分布极其不均, 年际变率大。属于温和半湿润气候区向温和半干旱、温和干旱气候区的过渡带, 既是气候变化敏感区, 又是生态环境脆弱带, 还是黄河中上游水土保持的重点区域。根据中国气候区的划分, 将研究区划分为 3 个子区域, 陇南、陇中、陇东地区分属东部季风区的亚热带、暖温带和温带。尤其是近 50 年, 受全球气候变暖的影响, 降水明显减少, 暖干化过程加剧, 根据王兴梅^[16]、姚玉璧^[17]、蒲金涌^[18]等人研究该区极端降水和地表湿润状况结果推断, 干旱有增加现象。目前, 对该区干旱发生规律的探讨尚不足, 基于 CI 指数对此区干旱研究是片空白。鉴于此本文引入综合气象干旱指数 (CI), 根据甘肃省黄土高原区 33 个气象站 1962—2010 年实测气象资料, 分析计算了近 50 年来该区域干旱发生的频率、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格局分析, 为开展干旱预报、预警业务, 指导抗旱减灾都有很大意义。目前, 虽然 CI 指数已经用于每天的全国范围干旱监测, 但由于干旱发生特点的区域性很强, 因此, 将 CI 指数用于监测本地区的干旱发生的范围和频率, 有利于其相应参数在本地的改进及修正, 为干旱监测提供更符合实际的指标, 同时为定量研究干旱发生的时间提供更为合理的综合指数奠定基础。

1 资料与方法

1.1 资料

选用 1962—2010 年甘肃省黄土高原区地面气象观测站的逐日降水、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。在使用前对各个站点进行了严格的质量控制, 删除资料序列长度过短或缺测等站点, 最终选取了该区 33 个站点, 经过订正处理后的 33 个台站的各要素资料具有较好的连续性。

1.2 方法

1.2.1 综合气象干旱指数计算方法

干旱指标参考《气象标准汇编》(GB/T 20481—2006) 中推荐使用的综合气象干旱指数 (CI), 它是利用近 30 d (相当于月尺度) 和近 90 d (相当于季尺度) 标准化降水指数, 以及近 30 d 相对湿润度指数进行复合而得到的, 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。该指标适用于实时气象干旱监测和历史气象干旱的评估^[19]。综合气象干旱指数 CI 的计算公式为:

$$CI = aZ_{30} + bZ_{90} + cM_{30} \quad (1)$$

式中: Z_{30} 、 Z_{90} 分别为近 30 d 和近 90 d 的标准化降水指数 SPI 值; M_{30} 为近 30 d 的相对湿润度指数; a 平均取 0.4; b 平均取 0.4; c 平均取 0.8。SPI、相对湿润度指数 M 的计算方法依照文献^[19], 相对湿润度指数中的潜在蒸散量 ET_0 采用 FAO 推荐的彭曼—蒙特斯(Penman-Monteith)蒸散公式^[20]计算。

利用 (1) 式滚动计算出逐日的综合气象干旱指数 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。

表 1 综合气象干旱等级划分

Tab 1 The meteorological drought grades based on meteorological drought composite index

等级	类型	CI
1	无旱	$-0.6 < CI$
2	轻旱	$-1.2 < CI \leq -0.6$
3	中旱	$-1.8 < CI \leq -1.2$
4	重旱	$-2.4 < CI \leq -1.8$
5	特旱	$CI \leq -2.4$

干旱过程是指当综合气象干旱指数 CI 连续 10 d 为轻旱以上等级, 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, 当 CI 连续 10 d 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。干旱过程内所有天的 CI 指数为轻旱以上的干旱等级之和, 表示干旱过程强度, 其值越小干旱过程越强^[19]。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事件, 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^[19]。本文分别以年和季节作为研究时段, 季节定义为: 1、2 月和上年的 12 月为冬季, 3—5 月为春季, 6—8 月为夏季, 9—11 月为秋季。

1.2.3 干旱发生频率和覆盖范围计算

利用公式 (2) 计算干旱发生频率:

$$P = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (2)$$

式中: n 为实际有干旱事件发生的年数, N 为资料年代序列数, 1961—2010 年共 50 a 数据, 但由于 CI 指数的计算是向后滚动的, 带入资料计算所得的 CI 值是从 1962 年开始, 所以 N 取 49。

干旱覆盖范围=每年有干旱事件发生的站点数量/总站点数^[21]。本文总站点数为 33。

2 结果与分析

2.1 干旱覆盖范围的年际变化趋势

图 2 可以看出, 甘肃省黄土高原区年干旱覆盖

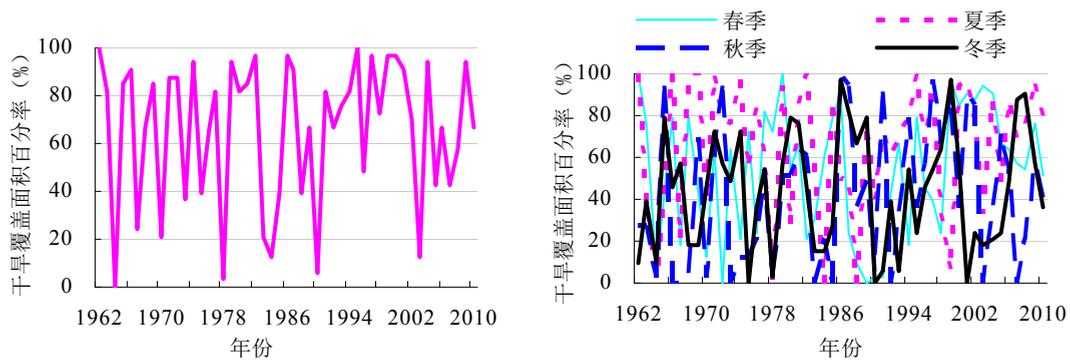


图2 1962—2010年历年(a)及四季(b)干旱覆盖面积

Fig.2 Annual percentages of the drought covered area for the annual and season in 1962—2010

范围呈波动变化趋势，这50年中，呈17峰17谷的波动，20世纪60年代、70年代覆盖范围较广，80年代有所降低，21世纪又有所增加，该区域近50年气候趋于暖干化^[7]。年总干旱发生面积达90%以上的年份有14年，干旱最严重（图2a）。进一步分析可知，覆盖面积呈现出11 a左右的年代际周期变化，同时也可观察到25 a左右的周期，但需更长时间序列数据的验证。

就四季(图2b)而言，季节连旱的情况较明显。21世纪初以来，春旱覆盖面积达95%以上的年份有3年，为2001、2003、2004年；最小的年份为1972、1989年，无干旱事件发生。1962、1979年是该区域春旱发生范围最广的年份，达到100%。4 a时间尺度上的振荡最为明显。夏季，50年中有一半以上年份的覆盖率在50%以上，1962、1966、1968、1969、1982、1995年伏旱发生范围最广，达到100%；说明夏季是各地干旱的多发季节。3 a左右的明显周期贯穿于整个时间序列。秋旱的发生面积明显要比春旱、夏旱小，覆盖面积达50%以上的年份有22年，发生面积相对较小的时期在20世纪60年代前期，本世纪初以来，2001年秋旱覆盖面积最大，达90%以上。11 a左右的振荡为第一主周期，其次是4 a左右的周期。冬旱覆盖面积总体而言比其它季节都小，50年中只有11 a覆盖面积超过了总面积的70%，18个年份的覆盖面积在30%以下。其中4 a左右的周期振荡明显的呈现在冬季的干旱中。研究结果与甘肃省（1961—2009年）干旱灾情资料的统计结果较吻合。

经以上分析可知并结合太阳活动周期可知，年干旱覆盖面积范围主周期是11 a，春季的主周期是4 a，夏季是3 a，秋季是11 a，冬季是4 a。这也许受太阳黑子11 a准周期影响，同时也和东亚季风强度变化的11 a主要周期一致^[22]。同时，4 a左右的周期主要受东亚季风3~4 a和6.5 a及9~15 a左右的年际变化周期变化影响^[23]。

2.2 干旱发生频率和日数的空间分布

2.2.1 干旱发生的频率分析

由图3可以看出，甘肃省黄土高原区年和四季干旱频率都较高，最大值基本达到最小值的2倍，说明的空间差异较大。兰州、靖远一带和庆阳北部地区的变幅较小，临洮-渭源-天水一带、庆阳东南部变幅较大。总体趋势为夏季>春季>秋季>冬季，春、夏、秋季和全年的分布格局大体一致，呈现出北高南低的分布规律，而冬季相反。

夏季和全年频率的分布相似，最大频率区域在乌鞘岭以东的皋兰、景泰一带和庆阳北部，大于75%，中部地区的频率也较高，集中在50%~60%之间，不同的是，夏季的低值区分布较集中，只出现在临洮、渭源一带，主要因为这些地区靠近甘南草原，夏季这些地区的降水总量比其它地区少。春季和秋季干旱频率的分布特征相似，高值区转移到白银区、靖远县一带，分布范围较夏季有所减小，但干旱发生的频率仍然很高，而春季正是冬小麦和玉米生长的关键时期，这样高频率的干旱将对农业中造成很大的损失，因此研究本区干旱发生的特征和规律可以为其做好防范工作。冬旱发生频率较其它任何季节都低，全区冬旱分布规律极为显著。冬旱发生频率达到50%以上的站点均集中在武山、秦安一带。

2.2.2 不同强度干旱发生的日数分析

由图4所示，总体上兰州、靖远一带和庆阳西北部干旱持续天数较多，渭源、临洮、岷县一带相对较少，与海拔高度空间特征呈正相位变化。年干旱可以从图4(a、b、c)看出，各强度干旱发生的日数较多，轻旱发生的次数最多，中旱和重特旱相对较少，持续最短的时间接近一个月，重特旱日数达28~60 d，干旱比较严重。

由图4(d、e、f)和图4(j、k、l)可见春旱和秋旱持续天数空间分布相似，全研究区大部分地区轻旱发生的次数在10 d以上，春季研究区西北

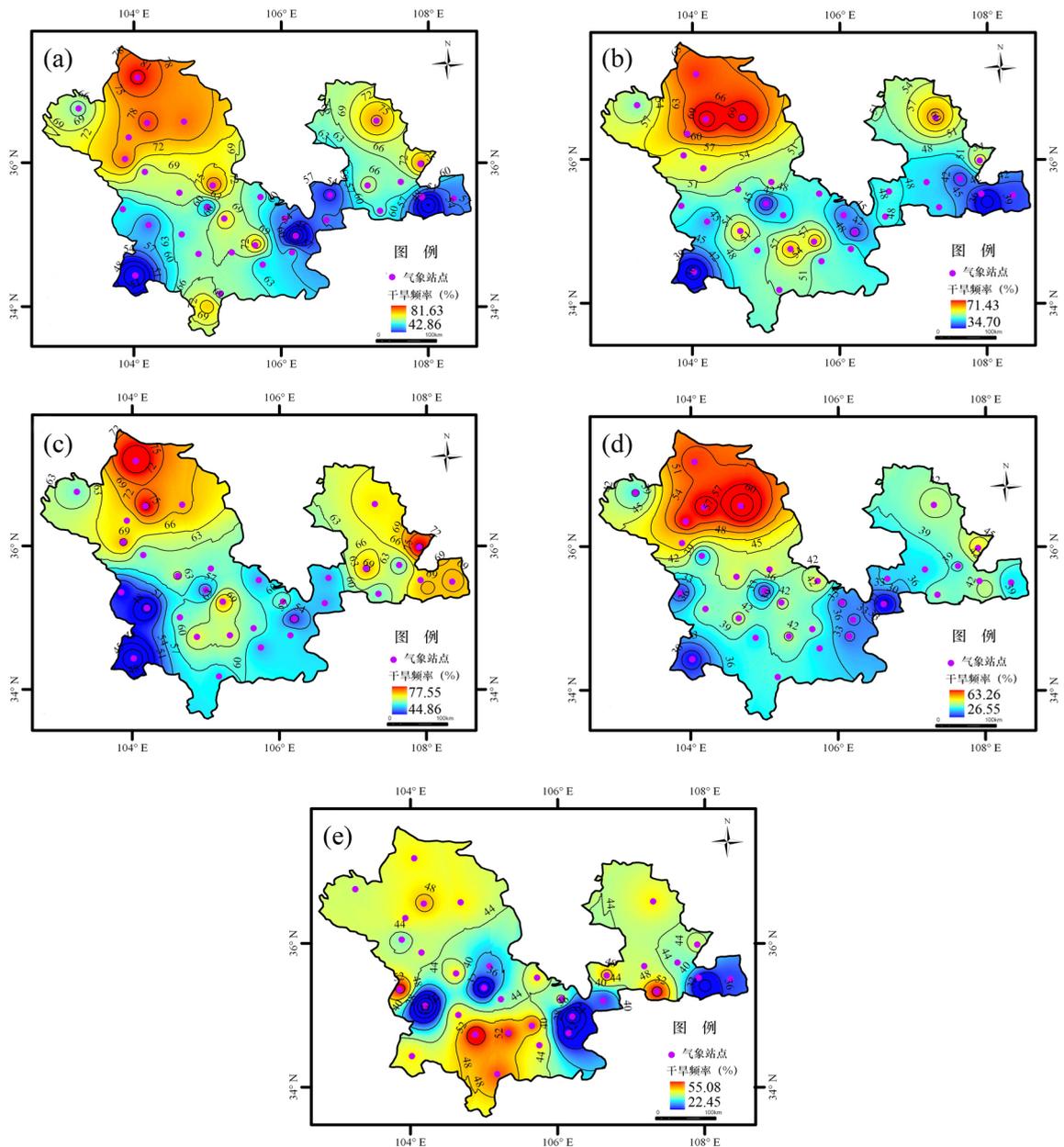


图3 1962—2010年历年(a)、春季(b)、夏季(c)、秋季(d)、冬季(e)干旱发生频率分布

Fig.3 Spatial distribution of drought occurrence frequencies for the annual(a), spring(b), summer(c), autumn(d), and winter(e) in 1962—2010

部、礼县-武山-陇西一线和平凉附近地区易发生中旱,多年平均在9~18 d;秋季中旱天数基本在4~16 d,天水附近地区、庆阳东南部较小;春季重特旱的最高值出现在景泰、靖远一带,而秋季的最高值出现在甘谷、秦安一带,这可能与农作物的种植结构有关。夏旱分布情况如图4(g、h、i)所示,夏季重特旱持续天数最多,在岷县有一个低值中心,多年平均发生天数都为10 d,可能夏季由于气温高、蒸发量大,各级干旱日数较其他季节明显的多,全研究区都易发生一定程度的重特旱。冬旱分布情况如图4(m、n、o)所示,重特旱分布全区较为一致且基本<7 d,是重旱发生率最小的季节。

3 引起干旱可能原因讨论

通过分析干旱频率和干旱日数空间分布特征,得到一些事实:甘肃黄土高原地区干旱发生程度呈北高南低的规律较明显,这与甘肃省降水量的增多区与减少区基本一致^[24]。甘肃省黄土高原位于青藏高原边坡地带,水汽主要来源青藏高原南侧的西南气流,青藏高原的热力异常和阻挡作用使得气流难以到达中部和东部^[25]。干旱高值中心在陇中的兰州和靖远一带和庆阳北部,岷县、渭源一带属于低值区。根据前人的研究^[26],106°E以西“临洮-通渭-天水”一带和庆阳地区东南部是干旱变幅最大的地方,这些地方是西北地区四季气候异常的最敏感区域,这种敏感变化受区域气候要素变率影响较大。这可能是因为黄土高原中部的六盘山阻挡东南季

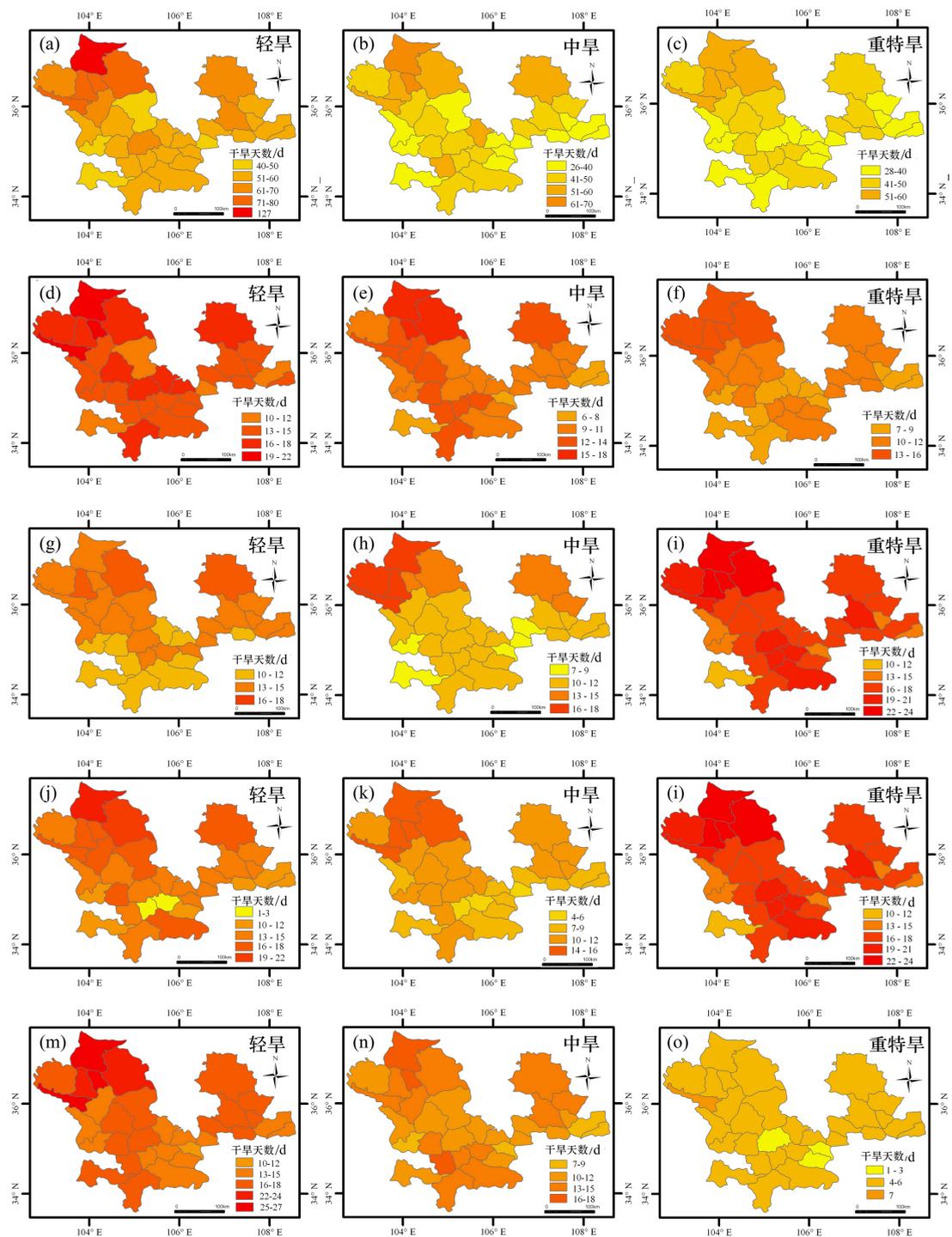


图4 历年和各季节不同等级干旱空间分布特征

Fig.4 The spatial distribution of different grade drought in different year and season from 1962 to 2010

风影响所致。除此而外，黄土高原区是气候的过渡带，易受西风带系统、高原系统和东亚季风系统的共同影响，在同一尺度天气系统控制之下^[27]，次区域也有区别，吴爱敏等^[28]研究发现在 700 hPa 上兰州-榆中附近有长驻小高压，更容易使这一带干旱加剧。社会经济因素和农业种植结构也是干旱影响因素之一，兰州、白银一带近 50 年城市化建设和工业发展迅速，工业用水和城市用水相应增长，人

口分布相对集中，产生“热岛效应”也增加干旱发生的概率。

分析频率和干旱日数季节变化发现夏季是干旱发生频率和持续日数最高，春、秋季次之，冬季最少。春季，在对流层中上层，乌拉尔山至新疆北部为高压脊控制，我国东部为东亚大槽控制，黄土高原上空盛行西北气流，难以形成有效降水，导致春季容易出现干旱^[25]。由于东亚夏季风对我国降水

的影响主要位于 100°E 以东的地区^[31], 黄土高原位于季风的边缘区, 东亚夏季风和西南季风的强弱和进退, 对黄土高原的夏季和秋季降水分布也有显著有效。如果夏季风系统中西太平洋副热带高压位置偏低或强度偏弱, 导致来自热带的暖湿空气无法到达黄土高原, 进而夏季或秋季的降水也减少, 容易引起黄土高原伏旱和秋旱的发生。

除此而外, 地形、土壤土质、季节性植被覆盖率等自然地理条件对旱灾空间分布也起了重要的作用^[30]。

本文只是用 CI 指数研究该地区的干旱的发生的规律有一定的缺陷, 只是从气象干旱角度研究, 未考虑水文、农业、社会经济因素, 干旱发展的跳跃现象和长期积累的干旱与近期发展的干旱无法识别, 通过计算 CI 统计的发生干旱年份相比实际发生干旱的年份出现遗漏现象, 可能与 CI 的权重系数有关。在计算 ET 时, 部分参数设定参考前人的经验值。因此, 进一步工作就是努力设置适合本区域的参数, 并修正 CI 系数的权值, 与多时相的遥感数据和相应的作物模型结合, 为解除其他类型的干旱做好服务工作。另外, 同时, 本文只是应用气象观测资料对干旱发生的频率和持续日数、覆盖范围进行了初步的研究, 需要进一步加强与实际干旱情况的对比研究, 以及多种干旱模型之间的对比研究。

4 结论

通过各站历年逐日 CI 值的计算, 揭示了甘肃省黄土高原区近 50 年来干旱发生频率、覆盖范围和不同等级干旱持续日数; 研究得到以下结论:

(1) 甘肃省黄土高原区 1961—2010 年期间有大范围干旱发生的年份夏季和秋季较多分别有 13、8 a, 冬季最少只有 3 a。年干旱覆盖面积范围主周期是 11 a, 春季的主周期是 4 a, 夏季是 3 a, 秋季是 11 a, 冬季是 4 a。20 世纪 60 年代、70 年代覆盖范围较广, 80 年代有所降低, 21 世纪又有所增加, 气候变化暖干化趋势增强, 这可能分别受太阳黑子和 ENSO 周期的影响, 而 ENSO 通过影响东亚季风年代际周期来影响干旱。

(2) 空间变化上, 主要受青藏高原的热力异常和阻挡作用, 甘肃省黄土高原区的干旱程度大体呈现北高南低的空间分布特征。同时可能受到六盘山和气候要素变率影响, 106°E 以西“临洮-通渭-天水”一带和庆阳东南部是干旱变幅最大的地方。社会经济因素和农业种植结构也是干旱影响因子之一。

(3) 季节变化上, 夏季干旱发生频率最高; 春季次之, 冬季频率最低; 历年及春、夏、秋季干旱发生频率高值区主要集中在乌鞘岭以东一带和陇

东地区的西北部, 不同的是夏季的低值区较集中在临洮-渭源一带, 因为这些地区靠近甘南草原, 夏季降水比其他地区少。对这三季的干旱对陆地生态系统的影响最大, 探索干旱发生的规律可以为其做好防范工作。冬季频率较高的地区主要集中在武山-秦安一带。春、夏、秋、冬四季各等级干旱南北差异也较显著, 夏季由于气温高、蒸发量大, 各级干旱日数较其他季节明显的多, 低值区的岷县多年平均发生的天数都为 10 d, 春旱和秋旱持续天数相似, 基本都在 5~20 d 之内, 可能由于农作物种植结构的不同, 春季重特旱最高值出现在景泰-靖远一带, 而秋季最高值出现在甘谷-秦安一带。冬季是重旱发生最轻的季节。

(4) 水利设施和农业结构对干旱发生也有影响, 陇东地区水利灌溉设施不足, 难以发挥应有的抗旱作用, 优化农业种植结构, 夏收与秋收作物的种植比例协调, 并及时灌溉是减轻干旱灾害最有效的措施。

参考文献:

- [1] IPCC. Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panels on Climate Change. Cambridge Press, 2000.
- [2] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report other Inter governmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge University Press, 881.
- [3] 卫捷, 马国柱. Palmer 干旱指数、地表湿润指数与降水距平的比较[J]. 地理学报, 2003, 58(增刊): 117-124.
WEI Jie, MA Guozhu. Comparison of Palmer drought severity index, percentage of precipitation anomaly and surface humid index[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(suppl.): 117-124.
- [4] 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[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(2): 251-255.
SUN Weiguo, CHENG Bingyan. Multiple time scale analysis of drought and flood variations in He nan during the last 50 years[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2000, 23(2): 251-255.
- [5] 马柱国, 符淙斌, 任小波, 等. 中国北方年极端温度的变化趋势与区域增暖的联系[J]. 地理学报, 2003, 58(增刊): 12-20.
MA Zhuguo, FU Congbin, REN Xiao bo, et al. Trend of Annual Extreme Temperature and Its Relationship to Regional Warming in Northern China[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(suppl.): 12-20.
- [6] 王志伟, 瞿盘茂. 中国北方近 50 年干旱变化特征[J]. 地理学报, 2003, 53(增刊): 61-68.
WANG Zhiwei, QU Panmao. Climate change in drought over northern china during 1950-2000[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 53(suppl.): 61-68.
- [7] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转变的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.
SHI Yafeng, SHEN Yongping, LI Dongliang, et al. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm-wet in Northwest China. Quaternary Sciences, 2003, 23(2): 152-164.
- [8] 张存杰, 宝灵, 刘德祥. 西北地区旱涝指标的研究[J]. 高原气象, 1998, 17(4): 381-389.

- ZHANG Cunjie, BAO Ling, LIU Dexiang. Research on drought and flood indices in the northwest China[J]. Plateau Meteorology, 1998, 17(4): 381-389.
- [9] 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[J]. 自然资源学报, 2007, 22(5): 709-717.
WANG Jinsong, GUO Jiangyong, QING Jizu. Application of a kind of K drought index in the spring drought analysis in Northwest China[J]. Journal of Natural Resources. 2007, 22(5): 709-717.
- [10] 郭妮, 管晓丹. 植被状况指数的改进及在西北干旱监测中的应用[J]. 地球科学进展, 2007, 22(11): 1160-1168.
GUO Ni, GUAN Xiaodan. An Improvement of the Vegetation Condition Index with Application to the Drought Monitoring in Northwest China[J]. ADVANCES IN EARTHSCIENCE, 2007, 22(11): 1160-1168.
- [11] 杨小利. 西北地区气象干旱监测指数的研究和应用[J]. 气象, 2007, 33(8): 90-96.
YANG Xiaoli. Research and Application of Meteorological Drought Monitoring Indexes in Northwest China[J]. METEOROLOGICAL MONTHLY, 2007, 33(8): 90-96.
- [12] 杨小利, 刘庚山, 杨兴国, 等. 甘肃黄土高原帕尔默旱度模式的修订[J]. 干旱气象, 2005, 23(2): 8-12.
YANG Xiaoli, LIU Gengshan, YANG Xing guo, et al. The modification of palmer drought severity model for gan su loess plateau[J]. Arid Meteorology, 2005, 23(2): 8-12.
- [13] 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[J]. 地理学报, 2007, 62(11): 1142-1152.
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[J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(11): 1142-1152.
- [14] 黄小燕, 张明军, 贾文雄, 等. 中国西北地区地表干湿变化及影响因素[J]. 水科学进展, 2011, 22(2): 151-159.
HUANG Xiaoyan, ZHANG Mingjun, JIA Wenxiong, et al. Variations of surface humidity and its influential factors in northwest China[J]. ADVANCES WATER SCIENCE, 2011, 22(2): 151-159.
- [15] 瞿禄新, 冯起. 基于 SPI 的西北地区气候干湿变化[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5): 847-857.
QU Luxin, FENG Qi. Dryness /Wetness Climate variation Based on Standardized Precipitation Index in Nortwest China [J]. Journal of Natural Resources. 2011, 26(5): 847-857.
- [16] 王兴梅, 张勃, 戴声佩, 等. 甘肃省黄土高原区夏季极端降水的时空变化[J]. 中国沙漠, 2011, 31(1), 223-229.
WANG Xinmei, ZHANG Bo, DAI Shengpei, et al. Spatial and temporal characteristics of summer extreme precipitation in Loess Plateau of Gansu province[J]. Journal of desert research, 2011, 31(1), 223-229.
- [17] 姚玉璧, 王润元, 杨金虎, 等. 黄土高原陆地表层最大可能蒸散发量的变化特征[J]. 生态环境学报, 2011, 20, (8-9): 1189-1195.
YAO Yubi, WANG Runyuan, YANG Jinhua, et al. Chang of terrestrial surface potential evapotranspiration in Loess Plateau[J]. Ecology and Enviromental Sciences, 2011, 20, (8-9): 1189-1195.
- [18] 蒲金涌, 姚小英, 马鹏里. 甘肃黄土高原地表湿润状况时空变化特征[J]. 干旱区地理, 2010, 33(4): 588-592.
PU Jinyong, YAO Xiaoying, MA Pengli, et al. Characteristics of temporal and spatial distribution of surface humid conditions over Loess Plateau of Gansu[J]. Arid Land Geography, 2010, 33(4): 588-592.
- [19] 中国气象局政策法规司. 气象标准汇编[G]//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.
Department of Policies, Law sand Regulations of China Meteorologica-Administration. Assembling for meteorological standards[G] // Zhang Qiang, ZOU Xukai, XIAO Fenjing, et al. Degree of Meteorological Drought. Beijing: China Meteorological Press, 2008: 33-54.
- [20] 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.
- [21] 李树岩, 刘荣花, 师丽魁, 等. 基于 CI 指数的河南省近 40a 干旱特征分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 97-102.
LI Shuyan, LIU Ronghua, SHI Likui, et al. Analysis on Drought Characteristic of Henan in Resent 40 Years Based on Meteorological Drought Composite Index[J]. Journal of Arid Meteorology, 2009, 27(2): 97-102.
- [22] 郭其蕴. 东亚冬季风的变化与中国气温变化异常的关系[J]. 应用气象学报, 1994, 5(2): 218-279.
GUO Qiyun. Relationship between the variations of East Asian winter monsoon and temperature anomalies in China[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1994, 5(2): 218-279. [
- [23] 高辉. 东亚冬季风指数及其对东亚大气环流异常的表征[J]. 气象学报, 2007, 65(2): 271-225.
GAO Hui. Comparison of Four East Asian Winter Monsoon Indices[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2007, 65(2): 271-225.
- [24] 邓振镛, 张宇飞, 刘德祥, 等. 干旱气候变化对甘肃省干旱灾害的影响及防旱减灾技术的研究[J]. 干旱区农业研究, 2007, 25(4): 94-99.
DENG Zhen yong, ZHANG Yu fei, Liu Dexiang, et al. Study on influence of arid climate change to drought disaster in Gansu and technique of preventing drought and reducing disaster[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(4): 94-99.
- [25] 郭江勇, 李耀辉, 王文, 等. 甘肃黄土高原春旱的气候特征及预测方法[J]. 中国沙漠, 2004, 24(2), 211-217.
GUO Jiangyong, LI Yaohui, Wang Wen, et al. Climatic characteristics and forecasting method of spring drought in Loess Plateau of Gansu province[J]. Journal of desert research. 2004, 24(2), 211-217.
- [26] 李耀辉, 李栋梁, 赵庆云. 中国西北春季降水与太平洋秋季海温的异常特征及其相关分析[J]. 高原气象, 2000, 19(1): 100-110.
LI Yaohui, LI Dongliang, ZHAO Qingyun. A Study on spring rainfall anomaly in northwest china and pacific SSTA features in autumn and correlations[J]. Plateau Meteorology, 2000, 19(1): 100-110.
- [27] ZHANG J Y, DONG W J, FU C B, et al. The influence of vegetation cover on summer precipitation in China: a Statistical Analysis of NDVI and Climate Data[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2003, 20(6): 1002-1006.
- [28] 吴爱敏. 西北地区伏期干旱特征及影响因子分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 572-578.
WU Aimin. Analysis on Characters and influencing factors of hot season drought (jul to aug) in northwest china[J]. Journal of desert research. 2008, 28(3), 572-578.
- [29] 王宝鉴, 李栋梁, 黄玉霞, 等. 东亚夏季风异常与西北东部汛期降水的关系分析[J]. 冰川冻土, 2004, 26(5): 563-568.
WANG Baojian, LI Dongliang, HUANG Yuxia, et al. Relation between Abnormity of East Asian Summer Monsoon and Summer Precipitation in East Part of Northwest China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(5): 563-568.
- [30] 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.
BAO Yunxuan, MENG Cuili, SHEN Shaunghe, et al. Temporal and spatial patterns of drought for recent 50 yeas in Jiangsu based on meteorological drought composite index[J]. Acta Geographica Sinica. 2011, 66(5): 599-608.

Temporal and spatial analysis of drought for recent 50 years in Loess Plateau of Gansu province based on meteorological drought composite index

ZHANG Tiaofeng¹, ZHANG Bo¹, WANG Xiaomin¹, JIA Jianying², YIN Haixia¹, HE Xuqiang¹

1. School of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. Northwest Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China

Abstract: Drought, one of the most severe hazards resulting in significant economic losses in agriculture and industry, is a natural phenomenon caused by the imbalance between import and demand for moisture. In the context of global climate change, the drought intensity, frequency, and its spatial patterns have been changing. In this paper, based on ArcGIS9.3 and SPSS software platform, the observed meteorological data of 33 meteorological stations from 1962 to 2010 in Loess Plateau of Gansu province of China were collected and a composite index (CI) of meteorological drought was used to analyze the temporal and spatial characteristics of drought in the area. Firstly, the historical day-to-day CI was calculated, and on the basis of the statistics on drought events in each station and each stage in recent 50 years, coverage area of drought in each station, the occurrence frequency and scope were computed and analyzed to reveal the temporal and spatial occurrence pattern of the meteorological droughts in different parts of Loess Plateau of Gansu province. The results were showed as follows. (1) The large area drought in whole Loess Plateau of Gansu province occurred mostly in summer and autumn but least in winter during the period of 1962 to 2010. (2) In view from space scale, The highest zone in Loess Plateau of Gansu province is in Lanzhou-Jingyuan region and the northern part of Qingyang region. but the lower zone is Minxian-Weiyuan region. Meanwhile, in Lintao-Tongwei-Tianshui region and the south-eastern part of Qingyang region, the change range is the largest. (3) In summer, The annual and seasonal occurrence frequencies of the meteorological drought and lasting days of different grades in Loess Plateau of Gansu province was most, in winter, it is least.

Key words: meteorological drought; composite index (CI); spatial and temporal patterns; Loess Plateau