文章编号:1000-7601(2016)04-0281-06 **doi**:10.7606/j.issn.1000-7601.2016.04.42

山西南部季节性干旱特征及综合防御技术

梁哲军[1],王玉香[1],董　鹏[1],刘步春[2],张冬梅[1],刘　园[2],
杨印斌[1],高　磊[1],南雪琴[1],齐宏立[1]

(1.山西省农业科学院棉花研究所, 山西 运城 044000;
2.中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘　要:采用标准化降水指数(SPI)为干旱指标,计算了山西省运城市 49 年(1958—2007 年)各月干旱指数,并在此基础上分析了山西南部地区季节性干旱特征。研究表明,干旱强度与干旱频率在不同年代际表现特征不同。与运城地区 49 年同期均值相比,进入 20 世纪 90 年代后,春旱发生频率、干旱强度分别提高了 29.0%、5.1%;夏旱发生频率提高 41.9%,干旱强度下降了 7.4%;秋旱发生频率下降了 23.8%,干旱强度提高了 7.7%;冬旱发生频率下降了 26.6%,干旱强度下降了 37.5%。干旱的季节性特征为春旱和夏旱有加重趋势,秋旱和冬旱有减弱趋势。春旱(3—5 月)和伏旱(7—8 月)作为可预见性干旱,可采用土壤墒情监测、干旱预警、制定系统性抗旱措施等综合防御技术。对于不可预见类型干旱,可采用建立抗旱水源、储备抗旱机械等策略。

关键词:季节性干旱;标准化降水指数;干旱强度;综合防御技术;山西南部

中图分类号:S162　　**文献标志码**:A

Characteristics of seasonal drought and integrated drought-preventing techniques in South Shanxi

LIANG Zhe-jun[1], WANG Yu-xiang[1], DONG Peng[1], LIU Bu-chun[2], ZHANG Dong-mei[1],
LIU Yuan[2], YANG Yin-bin[1], GAO Lei[1], NAN Xue-qin[1], QI Hong-li[1]

(1. *Cotton Research Institute*, *Shanxi Academy of Agricultural Sciences*, *Yuncheng Shanxi* 044000, *China*;
2. *Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture*, *CAAS*, *Beijing*, 100081, *China*)

Abstract: The standardized precipitation index (SPI) was used to calculate monthly drought indices in the recent 49 yrs (from 1958—2007) with precipitation date from meteorological station in Yuncheng district Shanxi Province. Annual and seasonal drought frequency and intensity in southern Shanxi were analyzed with the SPI. The results showed that the drought frequency and drought intensity characteristics varied annually. Drought frequency showed an increasing trend, but drought intensity showed decreasing trends after 1990s. Drought in spring and summer was frequent, but it was not common in autumn and winter. Spring (March to May) and midsummer (July ~ August) drought can be relieved with integrated drought-preventing techniques, due to its predictability.

Keywords: seasonal drought; standardized precipitation index (SPI); drought intensity; integrated drought - preventing techniques

干旱直接影响农业生产与粮食安全,其发生规律及抗旱减灾措施成为重点研究的内容[1-3]。山西省运城市位于山西省西南部,属典型暖温带大陆性气候。该地区多年平均降水量为 539.5 mm,平均气温 13.1℃,全年日照时数为 2 276.5 h,大于 0℃积温平均在 4 600℃ ~ 5 400℃,无霜期 188 ~ 238 d[4]。春季降雨稀少、夏季炎热、秋季多雨、冬季干燥为其主要气候特征[5]。前人研究表明,运城地区春旱主要影响春播作物的播种、出苗以及冬小麦的生长发育[6-7],夏旱中伏旱对玉米抽雄开花影响较大[8]。

干旱根据成因及影响因素可分为 4 种类型:气象干旱、农业干旱、水文干旱及社会经济干旱,相应干旱指标包括气象干旱指标、农业干旱指标、水文干旱指标与社会经济干旱指标[9-10]。标准化降水指

收稿日期:2015-09-10
基金项目:山西省科技攻关计划(20150311002 - 6);公益性行业(农业)科研专项(201203031);科技基础性工作专项(2007FY120100)
作者简介:梁哲军(1973—),男,山西临猗人,博士,副研究员,研究方向为抗旱节水及农业资源高效利用。E-mail:sxlzj@126.com。

数(*SPI*),是表示某时段降水量出现概率,适合于月以上尺度的干旱监测与评估,可以对不同地区不同时段的干旱特征进行比较[11]。曹小虎[12]运用 Mann－Kendall 趋势检验和线性回归并结合 SDSM 模型分析了运城地区 1961—2010 年气候,研究表明,1990 年以后年平均气温升高,降水量呈下降趋势,1991—2010 年变化趋势平缓。周晋红等[13]运用 3 种常用气象干旱指标(P_a、M、Z 指数)对山西省 1961—2008 年降水资料分析认为,山西各年代际、年、季干旱变化显著,1977 年后山西进入持续干旱期。前人研究大多集中在分析运城地区气候变化特征,本文采用标准化降水指数作为干旱分析指标,以月为时间评价尺度,对运城地区干旱发生的时空特征进行分析,并与农业生产相结合,在此基础上选择相应的季节性干旱防御措施,旨在为山西南部地区抗旱减灾提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域背景

本文研究范围是山西省运城地区(E110°15′～112°04′;N34°35′～N35°49′),属温带大陆性季风气候。气象数据来源于运城市气象局 1958—2007 年逐月降水资料数据。

1.2 标准化降水指数及其计算方法

标准化降水指数(Standardized precipitation index,SPI)通过计算给定时间内降雨量的累积概率,在多尺度上进行比较计算,能够用同一干旱指标反映不同时间尺度的干旱情况,近年来在国际上得到广泛应用[14]。*SPI* 由公式(1)计算得出:

$$SPI = S\frac{t-(c_2t+c_1)t+c_0}{[(d_3t+d_2)t+d_1]t+1.0} \quad (1)$$

其中,$t=\sqrt{\ln\frac{1}{G(x)^2}}$,$G(x)$ 是与 Γ 函数相关的降水概率分布,x 表示降水样本值,S 表示概率密度正负系数,当 $G(x)>0.5$ 时,$G(x)=1-G(x)$,$S=1$;当 $G(x)\leqslant 0.5$ 时,$S=-1$。$G(x)$ 由公式(2)的 Γ 分布函数概率密度积分公式得到:

$$G(x)=\int_0^x g(x)\mathrm{d}x=\frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}}\Gamma(\hat{\alpha})}\int_0^x x^{\hat{\alpha}-1}\mathrm{e}^{-x/\hat{\beta}}\mathrm{d}x \quad (2)$$

式中,α、β 是 Γ 分布函数的形状和尺度参数;c_0、c_1、c_2 和 d_1、d_2、d_3 是 Γ 分布函数转换为正态累积频率简化近似求解公式的计算参数,其具体计算方法及取值可见参考文献[12]、[13]。

采用运城市气象站 1958—2007 年日降雨量数据计算出月降雨量参数,分别进行 1、3、12 个月尺度的 SPI 运算(结果分别记为月、季、年 SPI)。根据气象上季节划分,春季为 3—5 月,夏季为 6—8 月,秋季为 9—11 月,冬季为 12 月—2 月。

干旱等级划分参看国家气象等级[15]划分标准:

$-1.0<\mathrm{SPI}\leqslant -0.5$ 轻旱;$-1.5<\mathrm{SPI}\leqslant -1.0$ 中旱;$-2.0<\mathrm{SPI}\leqslant -1.5$ 重旱;$\mathrm{SPI}\leqslant -2.0$ 特旱。

1.3 干旱频率

干旱频率表示某站有资料年份内干旱发生频繁程度。式中:N 代表某站气象资料总年数;n 代表发生干旱年数。

$$P=(n/N)\times 100\% \quad (3)$$

1.4 干旱强度

干旱强度表示干旱严重程度,单站点某时间段内干旱强度可由 SPI 绝对值($\mathrm{SPI}\leqslant -0.5$)表示,$|\mathrm{SPI}|$越大,表示干旱越严重[19]。

$$S_k=|SPI| \quad (4)$$

$0.5<S_K\leqslant 1$ 轻旱;$1<S_K\leqslant 1.5$ 中旱;$S_K>1.5$ 重旱。

2 结果与分析

2.1 年尺度干旱发生特征

2.1.1 年尺度干旱频率 根据公式(1)～(3)计算出运城地区 1958—2007 年 SPI 的年际干旱频率(图 1)。干旱(轻旱以上)发生频率为 20.4%,中旱发生频率为 6.1%,特大干旱发生频率为 4.1%。以 10 年为一个周期进行分析,1958—1970 年干旱(轻旱以上)发生频率为 30.8%;1971—1980 年干旱发生频率为 10%;1981—1990 年干旱发生频率为 10%;1991—2000 年干旱发生频率为 50%;2000—2007 年干旱发生频率为 50%。从本文数据分析来看,运城地区进入 20 世纪 90 年代后,干旱发生频率呈上升趋势。

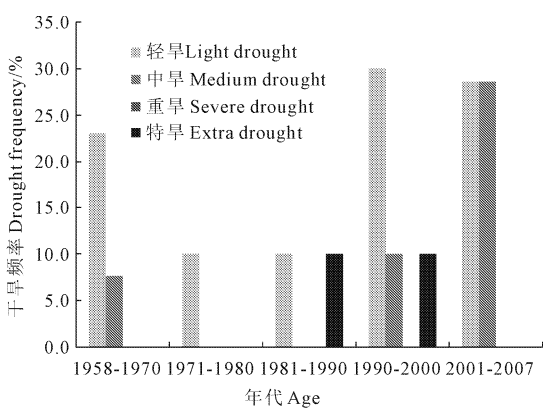

图 1 山西南部年际尺度干旱频率

Fig.1 Annual drought frequency in southern Shanxi

2.1.2　年尺度干旱强度　根据公式 1～公式 3 计算出运城地区干旱发生强度,近 49 年干旱强度在 0.51～2.32 之间,干旱平均强度为 1.06。从图 2 中可以看出,运城地区干旱主要是轻度干旱。干旱发生最轻年份为 1995 年,干旱强度仅为 0.51,最重为 1997 年,干旱强度为 2.32。以 10 年为周期进行分析,1958—1970 年干旱平均强度为 0.57,干旱强度最大为 1960 年的 1.4;1971—1980 年,仅 1979 年发生干旱,强度为 0.57;1981—1990 年,仅 1986 年发生干旱,强度为 2.1;1991—2000 年干旱强度平均为 1.04,最高为 1997 年的 2.3。进入 21 世纪后,2001—2008 年干旱平均强度为 0.97,最大为 2001 年 1.04。从以上分析看,运城地区干旱强度呈现先升后降的趋势。

2.2　季节性干旱特征

(1) 春旱。运城地区春旱年际间发生频率在 7.7%～42.9%,年际间发生强度在 0.8～1.8 之间波动,20 世纪 70 年代后发生频率呈上升趋势(图 3)。春旱强度最高为 2001 年,达到特旱强度,也是运城地区 49 年来春旱强度最大一年。在春旱的 3 个月中,3 月份干旱频率与干旱强度最高,49 年平均分别达到 37.8%与 1.2,其次为 4、5 月。1958—1970 年,轻、中、重、特旱在 3 月份各发生 1 次,4、5 月份干旱主要集中在轻旱与中旱(图 3);1971—1980 年,3 月份中旱频率达到 30%,4、5 月份干旱主要为轻旱;1981—2000 年,春旱频率与强度均呈减弱趋势;2001—2007 年春旱频率与强度均呈上升趋势,3 月份轻旱频率达到 42.9%,3、4 月份特旱频率均达到 14.3%。

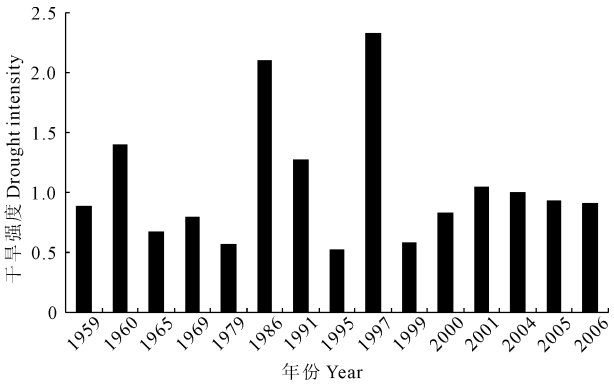

图 2　山西南部年尺度干旱强度

Fig.2　Annual drought intensity in the south of Shanxi

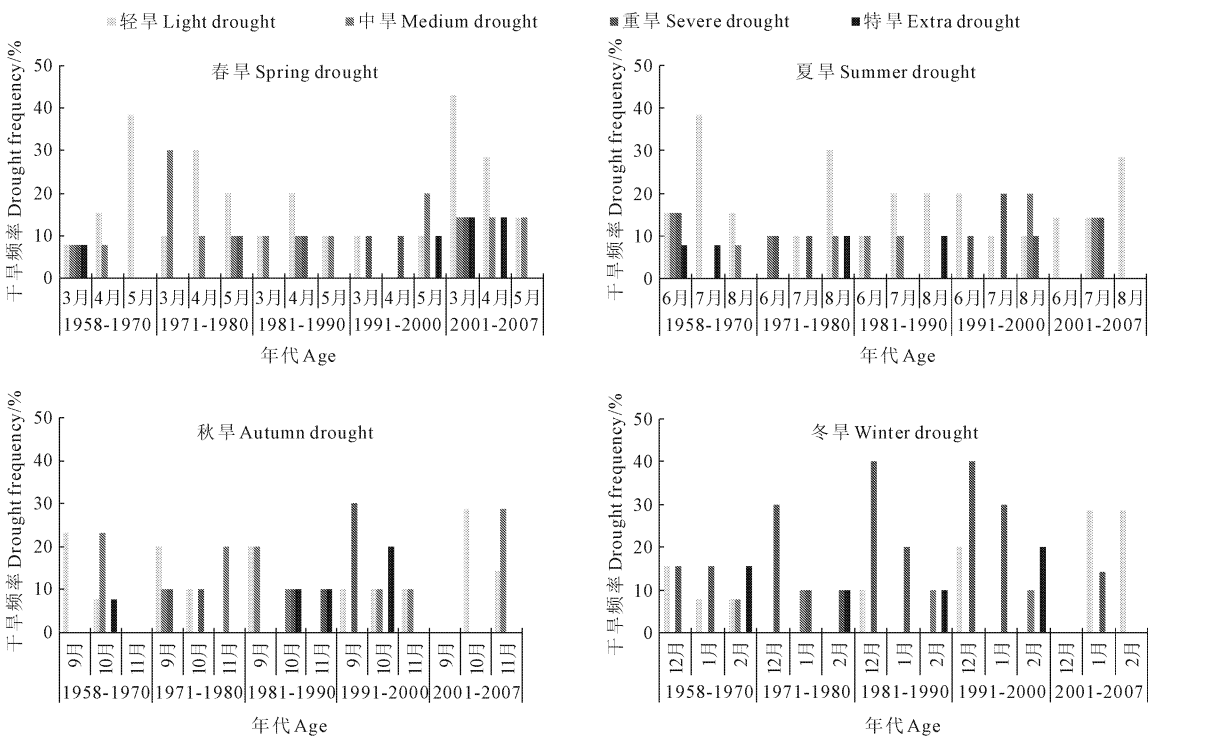

图 3　山西南部不同年际间季节性干旱频率、强度比较

Fig.3　Comparison of annual variations of seasonal drought frequency and intensity in southern Shanxi

(2) 夏旱。夏旱年际间发生频率在 20.0%～50.0%之间波动,平均发生频率为 32.7%。运城地区夏旱发生频率呈先降后升趋势,进入 20 世纪 90 年代后,夏旱发生频率提高到两年一次。夏旱强度在 0.9～1.3 之间变化,最高值为 1997 年的 2.3。夏旱中 8 月份 49 年干旱频率平均达到 34.3%,7 份月 49 年干旱频率平均达到 33.8%,最低为 6 月份(28.6%)。49 年平均干旱强度最高为 7 月份(1.1),

其次为8月份的1.0,6月份最低。

从图3可看出,夏旱在年际间表现差异较大。1958—1970年,6月份干旱频率与强度均高于7、8月份。1971—1980年,8月份轻旱发生频率为30%,中旱与特旱频率达到10%,高于6、7月份。1981—1990年、1990—2000年夏旱频率与强度均呈减弱趋势。进入21世纪后,夏旱频率与强度均呈加强趋势,尤其7月份干旱比较突出。

(3) 秋旱。秋旱年际间发生频率在20.0%~40.0%之间变化,干旱强度在0.7~1.5之间变化。秋旱49年发生强度最高一年1998年,S_k 达到2.4。秋旱中10月份干旱频率49年平均为29.4%,干旱频率为1.2%,高于其它两个月份。

秋旱在年际间表现差异较大(图3)。1958—1970年,10月份平均干旱频率与强度分别达到38.5%与1.2,其次为9月份,而11月份基本没有干旱发生。1971—1980年,9月份干旱强于10、11月份。1981—1990年,10月份中、重、特旱发生频率均达到10%,其次为11、9月份。1991—2000年,10月份干旱强于9、11月份。2001—2007年,11月份轻旱频率为14.3%,中旱频率达到28.6%,强于10月份干旱,而9月份没有干旱发生。

(4) 冬旱。冬旱年际间发生频率在0~46.2%之间变化,2001—2007年没有发生冬旱。冬旱发生强度在0.6~1.6之间变化,最高值为1999年,S_k 达到2.7。冬春连旱主要对北方小麦生长影响较大,发生冬春连旱的年份主要有1982、1984、1986年。

冬旱中12月份49年平均干旱频率达到32.2%,高于其它两个月。2月份49年平均干旱强度达到1.6,高于1、12月份。

对年际间冬旱逐月干旱情况进行比较表明,1958—1970年,2月份干旱最强,其次为12月份。1971—2000年,12月份干旱表现最强。2001—2007年,1月份干旱呈增强趋势,其次为2月份,而12月份没有干旱发生。

从以上分析来看,2000年以后运城地区春旱和夏旱呈增加趋势,秋旱和冬旱略有降低趋势,尤其春旱频率和强度均有所增加。季节性干旱还表现为两季连旱频率增加,1958—1970年两季连旱发生频率为15.4%;1971—1980年发生频率为10%;1981—1990年发生频率为30%;最严重为1986年,4季连旱;1991—2000年发生频率为20%;2000—2007年发生频率为42.8%,如2001年春夏连旱、2004年夏秋连旱,2005年春夏连旱。

3 季节性干旱危害及应对措施

3.1 春旱危害及应对措施

3.1.1 *危害* 春旱对北方农作物主要影响冬小麦。早春(3月—4月中旬)时冬小麦处于越冬、返青和拔节期,作物根系浅,不能充分利用土壤深层储水。春旱与上年冬旱相连,容易造成小麦越冬期死亡。进入4月中旬后,温度回升,蒸发量加大,此时冬小麦处于开花灌浆的关键时期(冬小麦需水临界期),而且此时干旱经常与高温胁迫相伴,容易造成小麦减产[17]。研究表明,春旱可导致冬小麦分蘖减少,千粒重降低,并且春旱程度与冬小麦产量呈指数相关[18]。

3.1.2 *应对措施* 根据冬小麦麦田发生干旱等级采取相应的抗御措施。(1) 对于中旱及以上麦田及时进行补灌,减少干旱对作物生长的影响。(2) 对于轻旱及以下麦田,可采用覆盖保墒、早春顶凌耙耱、镇压提墒、喷施抗旱剂、有限灌溉等措施[19-20]。

3.2 夏旱危害及应对措施

3.2.1 *危害* 夏旱包括6—8月期间的干旱,此阶段夏玉米处于播种、出苗、拔节、孕穗、抽雄吐丝等阶段。进入7月中旬后,夏玉米处于抽雄吐丝时期前后,达到水分需求临界期,而且此阶段干旱经常与高温相伴,容易造成玉米花粉败育或雌雄穗花期间隔时间(ASI)过长而造成授粉困难,导致减产[21-22]。

3.2.2 *应对措施* (1) 对于中旱及以上田块,及时补灌增加相对湿度,改善田间小气候,尤其是玉米13叶期(大喇叭口期)前后,灌溉与追施氮肥同步进行;(2) 播前小麦秸秆还田覆盖,秸秆覆盖措施可以减少土壤表层无效蒸发,促进雨水下渗,提高表层土壤(0~10 cm)水分含量[23-24];(3) 采用硬茬免耕直播或改平播为垄沟集雨种植模式[25-26];(4) 播种时选用抗旱品种,如鲁单50、群单105、农大108、掖单13、掖单4号、郑单2号等[27];(5) 调整播期,经多年试验表明,运城地区6月10—15日播种,可以使夏玉米开花吐丝期避开伏旱高温;(6) 拔节期前进行抗旱锻炼;(7) 开花前多次喷施抗旱剂及叶面肥[28];(8) 中耕除草,切断土壤毛细管,减少水分蒸发;(9) 授粉不良田块进行人工辅助授粉[29]。

3.3 秋旱危害及应对措施

3.3.1 *危害* 秋旱主要影响冬小麦的播种、出苗。秋旱影响冬小麦出苗和苗期根系发育,冬前分蘖减少,与冬小麦产量关系密切[30-31]。在正常年份,运城地区秋季降雨较多,可以满足小麦播种的需要。

3.3.2 *应对措施* (1) 选用耐旱小麦品种,如晋麦

47、陕旱 8675、郑旱 1 号[32]、运旱 22－33 等运旱系列小麦品种。

(2) 深耕、深松蓄水、起垄覆盖沟播[33]、深施有机肥[34]、秸秆还田保墒。在传统旱作农业中,“秋雨春用,春旱秋抗”作为一抗旱战略思想,目前在旱地农业中仍广泛使用[35]。冬小麦季深耕结合秸秆还田可打破犁底层,增强土壤蓄水保墒能力[36]。

(3) 抢墒播种[37],足墒灌溉[38]。在秋季降雨不足的情况下,小麦采用抢墒播种和播后足墒灌溉可以保证小麦出苗和提高小麦抗旱能力。

3.4　冬旱危害及应对措施

3.4.1　*危害*　处于越冬期小麦对水分需求量较小,正常年份可满足小麦越冬需要。在冬旱和秋冬连旱发生情况下,受旱较重麦田容易发生冻害,造成死苗[39]。在目前生产上大面积秸秆还田后,耕层虚而不实,会增加冬旱的影响。

3.4.2　*应对措施*　(1) 中旱及以上麦田及时补灌。(2) 中耕断根、镇压踏实,减少土壤无效水分蒸发。(3) 顶凌耙雪,碎土保墒[40]。

4　结论与讨论

4.1　标准化降水指数应用与印证

应用标准化降水指数(SPI)对山西南部区域近 49 年季节性干旱特征变化分析结果表明:(1)年尺度干旱强度与干旱频率在不同年代表现特征不同,进入上世纪 90 年代后,干旱频率呈增加趋势,干旱强度呈减弱趋势。(2)季节性干旱中,春旱和夏旱有加重趋势,秋旱和冬旱有减弱趋势。(3)春旱中 3、4 月份,夏旱中 7、8 月份干旱频率与强度均高于其它月份。李闯[4]对运城地区干旱情况分析后认为 3—5 月、6—8 月为易旱季节。裴秀苗等[6]使用线性回归分析法对运城地区近 40 年气候特征进行分析后认为 1971—2010 年 3、4、7 月份降雨量减少,容易形成春旱、伏旱。钱锦霞等[20]研究认为运城地区秋旱和冬旱略有降低趋势,春旱频率和强度均有所增加。以上研究与本研究结果相同,也印证了 SPI 指数在山西南部干旱情况分析中具有实用性。

4.2　干旱分类应对与综合抗御技术

根据以上分析结果对运城地区季节性干旱特征进行比较,归纳为两类:一类是发生频率较高的可预见干旱,如春旱中 3、4 月份干旱,夏旱中 7、8 月份干旱,秋旱中 11 月份干旱,冬旱中 1 月份干旱。第二类是不可预见干旱。在对不同类型季节性干旱进行比较分类的基础上分别采取“防、抗、补”的综合抗旱策略。

对于可预见干旱,主要采取“以防为主”的策略,加强土壤墒情监测和干旱预警[42],制定系统性的周年作物生产抗旱技术体系和应对不同类型干旱的技术措施。

对于不可预见类型干旱,采用“以抗为主,以补为辅”的策略。即采用应急抗旱措施:(1)在干旱未发生时建立应急抗旱水源,集雨窖、池塘、利用低洼地蓄集雨水等小型集雨工程,抗旱时可就近使用,提高抗旱时效[43－44];(2)储备灌溉提水机械,抗旱应急设备可采用喷灌、微喷等节水灌溉设施,提高灌溉效率,扩大抗旱面积[45];(3)建立区域应急抗旱服务组织,并进行统一调度管理;(4)对于特大干旱,抗旱措施不明显时可补种其他短季节作物。山仑[46]提出以 5 年为周期,采取以丰补歉的方式,在其他年份作物高产补回损失。

致谢:感谢中国农业大学农学与生物技术学院明博博士在数据分析上提供帮助;感谢中国农业大学农学与生物技术学院王璞教授及其主持的“主要农作物抗御季节性干旱技术研究与示范”项目组成员提供帮助。

参 考 文 献:

[1] 康　蕾,张红旗.我国五大粮食主产区农业干旱态势综合研究[J].中国生态农业学报,2014,22(8):928-937.

[2] 郭淑敏,马　帅,陈印军.我国粮食主产区粮食生产态势与发展对策研究[J].农业现代化研究,2006,27(1):1-6.

[3] 许　朗,欧真真.淮河流域农业干旱对粮食产量的影响分析[J].水利经济,2011,29(5):56-59,74.

[4] 裴秀苗.运城市农业气候特点分析[J].山西气象,2002,(3):17-20,31.

[5] 裴秀苗,周运丽,许　云,等.近 40 年运城市气候变化特征分析[J].干旱地区农业研究,2012,35(5):223-237.

[6] 钱锦霞,溪玉香.山西省冬小麦主要发育期特征及其对气候变暖的响应[J].中国农学通报,2008,24(11):438-443.

[7] 刘慧敏,李卫婷.干旱对运城冬小麦的影响[J].山西气象,2003,(3):15-16.

[8] 王　硖,李　霞.气象因素对运城夏玉米生产的影响[J].现代农业科技,2009,(11):201-201,203.

[9] 袁文平,周广胜.干旱指标的理论分析与研究展望[J].地球科学进展,2004,19(6):982-989.

[10] 姚玉璧,张存杰,邓振镛,等.气象、农业干旱指标综述[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):185-189,211.

[11] 王　允,刘普幸,曹立国,等.基于 SPI 的近 53 a 宁夏干旱时空演变特征研究[J].水土保持通报,2014,34(1):296-302.

[12] 曹小虎.运城市过去 50 a 和未来气候变化趋势研究[J].人民黄河,2014,36(11):13-15.

[13] 周晋红,李丽平,秦爱民.山西气象干旱指标的确定及干旱气候变化研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(3):240-247,264.

[14] 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 58a 演变特征[J].农业工程学报,2010,26(7):

50-59.
[15] 中国气象局.GB/T 20481－2006.气象干旱等级[S].北京:中国标准出版社,2006.
[16] 程玉琴,张少文,徐玉强.赤峰地区夏季干旱强度预测方法研究[J].气象,2010,36(1):49-53.
[17] 钱锦霞,王振华.山西省春旱趋势及对农业的影响[J].自然灾害学报,2008,17(4):105-110.
[18] 钱锦霞,卫丽萍.山西南部春旱特征分析[J].科技情报开发与经济,2007,17(1):180-181.
[19] 王华兰,赵同应,魏宗记,等.黄土高原旱地农业防春旱措施研究初报[J].中国农业气象,1999,20(4):26-29.
[20] 贺德先,周继泽,王晨阳,等.河南省麦田春旱的原因及对策[J].河南职业技术示范学院学报,1992,20(4):22-28.
[21] 张建军,盛绍学,王晓东.安徽省夏玉米生长季节干旱时空特征分析[J].干旱气象,2014,32(2):163-168.
[22] 姚永明,陈玉琪,张啟祥,等.淮北夏玉米生育期气候资源特点和增产栽培技术[J].中国农业气象,2009,30(Z2):205-209.
[23] 陈素英,张喜英,刘孟雨.玉米秸秆覆盖麦田下的土壤温度和土壤水分动态规律[J].中国农业气象,2002,23(4):34-37.
[24] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等.免耕秸秆覆盖对旱作农田土壤水分的影响[J].水土保持学报,2005,19(5):94-96,116.
[25] 王 昕,贾志宽,韩清芳,等.半干旱区秸秆覆盖量对土壤水分保蓄及作物水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):196-202.
[26] 姜凯喜,刘建洲,钟晓玲,等.旱地双沟覆膜集雨蓄水效果试验研究[J].中国农学通报,2004,20(5):155-155.
[27] 孙 琦,张世煌,郝转芳,等.不同年代玉米品种苗期耐旱性的比较分析[J].作物学报,2012,38(2):315-321.
[28] 祁 宦.夏玉米干旱综合防御技术试验分析[J].气象,2004,30(6):52-55.
[29] 陈立娟,王瑞华.伏旱对玉米生长的影响及防御对策[J].安徽农学通报,2015,21(7):57-58.
[30] 王位泰.干旱与冬小麦和玉米产量关系的分析[J].中国农业气象,2002,23(3):27-30.
[31] 郭海英,赵建萍,黄 斌,等.冬小麦生产年土壤水分变化及其对农业生产影响分析[J].干旱地区农业研究,2008,26(1):246-248,252.
[32] 科学技术部.农业抗旱减灾实用技术手册(小麦篇)[M].北京:科学技术出版社,2009:30-46.
[33] 王同花,李援农.起垄覆膜沟播对冬小麦土壤水分利用效率及土壤温度的影响[J].中国农村水利水电,2011,(1):46-49.
[34] 刘庆建,高志强,赵红梅,等.旱地小麦休闲期深翻覆盖配套不同播种方式对幼苗抗旱性的影响[J].山西农业科学,2012,40(9):946-949.
[35] 王豫生.青海省旱地农业区“秋雨春用”的研究[J].干旱地区农业研究,1984,2(4):22-27.
[36] 苏艺华,李杏桔,庞其贞.农机深松保墒小麦抗旱增产应用技术与推广的研究[J].中国农机化学报,2013,34(1):161-164.
[37] 李友军,段变芳,闫兴斌,等.旱地小麦抗旱播种方式研究[J].干旱地区农业研究,1997,15(1):21-26.
[38] 刘庚山,安顺清,吕厚荃,等.华北地区不同底墒对冬小麦生长发育及产量影响的研究[J].应用气象学报,2000,11(增刊):170-177.
[39] 徐玉花,吴俊祥,范志军,等.秋冬至初春连旱对冬小麦产量的影响[J].安徽农业科学,2010,38(14):7420-7422.
[40] 王祝荣,聂新富.顶凌破雪碎土保墒技术[J].新疆农机化,1998,(1):19-19.
[41] 张秉祥.河北省冬小麦干旱预测技术研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(2):231-235,246.
[42] 勾芒芒,李 兴,程满金,等.北方半干旱区集雨补灌技术与灌溉制度研究[J].中国农村水利水电,2010,(6):95-98.
[43] 李玉中,王春乙,程延年.农业防旱抗旱减灾工程技术与应用[J].中国工程科学,2012,14(9):85-88,95.
[44] 姜凯喜,刘建洲,钟晓玲.旱地双沟覆膜集雨蓄水效果试验研究[J].中国农学通报,2004,20(5):155-158.
[45] 山 仑.科学应对农业干旱[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):1-5.

(上接第280页)

[19] 温克刚,庞天荷.中国气象灾害大典(河南卷)[M].北京:气象出版社,2008.
[20] 温克刚,刘庆桐.中国气象灾害大典(山西卷)[M].北京:气象出版社,2008.
[21] 温克刚,王建国,孙典卿.中国气象灾害大典(山东卷)[M].北京:气象出版社,2008.
[22] 房世波.分离趋势产量和气候产量的方法探讨[J].自然灾害学报,2011,20(6):13-18.
[23] 霍治国,刘荣花,姜 燕,等.QX/T 81－2007.小麦干旱灾害等级[S].北京:气象出版社,2007.
[24] Li X K, Huang S X, Zhou J M, et al. Study on POPs emissions prediction based on GM(1,1) model[J]. Fuzzy Information and Engineering, 2009,62:1639-1644.
[25] Jone L J. Inverting the Hodrick－Prescott Filter[J]. Computational Economics, 2002,20:117-138.
[26] 肖俊夫,刘战东,段爱旺,等.中国主要农作物分生育期 Jensen 模型研究[J].节水灌溉,2008,(7):1-3,8.
[27] 吴东丽,王春乙,薛红喜,等.华北地区冬小麦干旱风险区划[J].生态学报,2011,31(3):0760-0769.
[28] 吴荣军,史继清,关福来,等.干旱综合风险指标的构建及风险区划—以河北省冬麦区为例[J].自然灾害学报,2013,22(1):145-152.
[29] 刘荣花,朱自玺,方文松,等.华北平原冬小麦干旱区划初探[J].自然灾害学报,2003,12(1):140-144.
[30] 刘荣花,王友贺,朱自玺,等.河南省冬小麦气候干旱风险评估[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):1-4.
[31] 王素艳,霍治国,李世奎,等.北方冬小麦干旱灾损风险区划[J].作物学报,2005,31(3):267-274.
[32] 张文宗,赵春雷,康西言,等.河北省冬小麦旱灾风险评估和区划方法研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(2):10-15.