

文章编号: 2096-1618(2016)03-0317-06

水稻干旱监测评估模型研究及在川中丘陵区的应用

刘琰琰¹, 张玉芳^{2,3}, 王明田⁴, 周雪惠⁵

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 四川省农业气象中心, 四川 成都 610072; 3. 南方丘区节水农业研究四川省重点实验室, 四川 成都 610066; 4. 四川省气象台, 四川 成都 610072; 5. 遂宁市气象局, 四川 遂宁 629000)

摘要:干旱是影响四川省水稻生产最突出的气象灾害,川中丘陵区为四川省常年干旱发生较重区域。为分析评价川中丘陵区水稻干旱的时空分布特征和发生规律,结合水稻干旱评估模型,利用四川省川中丘陵区水稻种植33个市县气象台站53年逐日气象资料及10个农业气象观测站近33年水稻生育期资料,采用新的水稻干旱评估指标计算川中丘陵区水稻干旱发生频率的时空变化特征,并选取不同区域典型站点分析需水关键期水稻干旱评估指数的年代际变化特征。结果表明:川中丘陵区水稻全生育期干旱频率在60.5%~94.3%,孕穗期发生中旱以上频率高达50.3%,重旱一般出现在水稻的分蘖-拔节期达25%;水稻从孕穗-抽穗期(7月下旬)川中丘陵区的北部及南部大部地方干旱发生频率<60%,川中丘陵区的中部部分区域干旱频率>70%;孕穗-抽穗期各代表站的水稻干旱评估指数(I)值变化:20世纪60年代末期,70年代中期,80年代初期,90年代初期到00年代初期干旱较重,近几年干旱有变轻的趋势。

关键词:农业气象;干旱评估;川中丘陵区;水稻;指数;频率

中图分类号:P49

文献标志码:A

0 引言

“川中丘陵区”是指介于龙泉山与华蓥山之间的四川盆地中部地区,共33个市县,幅员面积约5.33万平方公里,为四川农业的主体区域,该区丘陵广布,间有少量低山平坝,蓄引水条件差,极不耐旱,坡地数日无雨即显旱象,稍长时间不下雨就成旱灾,干旱对其生产影响巨大,致害后果严重^[1]。水稻为该区域的主要种植作物,且分布广泛,区内农业气象灾害严重,降水量季节分布不均,春旱、夏旱及高温伏旱频繁^[2]。以干旱影响较重的2007年为例,遇上春夏连旱,许多地区、尤其是资阳、内江、遂宁等川中丘区水稻栽插严重受阻,部分地方实际栽插面积不到计划面积的10%,为四川省带来巨大经济损失和许多社会矛盾。水稻属沼泽植物,对水分要求高,抗旱能力低,深入研究水稻需水临界期干旱监测评估模型,并应用于川中丘陵区水稻旱情评估的研究极为少见^[3]。利用该模型能摸清川中丘陵区水稻干旱特征及其发生规律,并运用在日常业务服务中,监测水稻需水临界期干旱发生状况,对合理利用有限的水资源进行灌溉或指导防旱抗旱,

减灾增效具有现实意义。

1 材料与方法

1.1 数据来源

整理川中丘陵区33个区县气象台站从1960~2012年逐日平均温度、最高气温、最低气温、降水量等资料,同时参考川中丘陵区10个农业气象观测站(图1)的观测报表获取生育期资料。

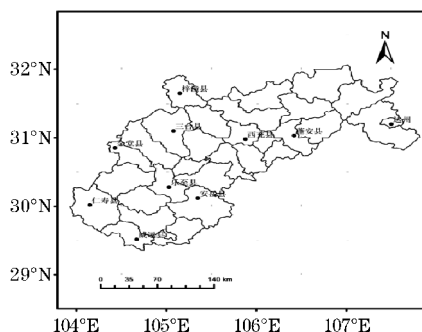


图1 川中丘陵区10个农业气象观测站

1.2 川中丘陵区界定

川中丘陵区是四川盆地中丘陵分布最集中的地区,地势东南低西北高,由南向北地形由浅丘、中丘、深

收稿日期:2016-00-00

基金项目:四川省科技支撑计划资助项目(2015NZ0035);四川省气象局重点课题资助项目(川气课题-2012-开发-06);中国气象局西南区域重大科研业务资助项目(2014-8);高原大气与环境四川省重点实验室开放课题资助项目(PAEKL-2014-C5);中国气象局成都高原气象研究所高原气象开放基金资助项目(LPM2013002)

丘向低山逐渐过渡,是以农业为主导产业的地区^[3]。该区以水稻种植为主,2014 年川中丘陵区水稻种植面积为559.42千公顷,占耕地面积的46.7 %^[4]。根据四川省水稻种植区形成的历史和现状,按照水稻自然生态要求,川中丘陵水稻种植区域主要包括内江、南充地区的大部分县,巴中的巴州区及平昌县,德阳市的中江县,共计 33 县市^[5]。

表1 川中丘陵区水稻发育时段划分

生育阶段	全生育期	播种-移栽	移栽-分蘖	分蘖-拔节	拔节-孕穗	孕穗-抽穗	抽穗-成熟
生育日期	3月中旬 ~9月上旬	3月中旬 ~5月上旬	5月中旬 ~5月下旬	6月上旬 ~6月中旬	6月下旬 ~7月中旬	7月下旬	8月上旬 ~9月上旬
	3.11~9.10	3.11~5.10	5.11~5.31	6.1~6.20	6.21~7.20	7.21~7.31	8.1~9.10

1.4 水稻干旱指标选取

计算川中丘陵区 1960 ~ 2012 年 53 年 33 个区县水稻干旱评估指数,同时根据四川省已有资料和田间试验结果计算得出研究区内水稻不同生育期作物系数(K_c)值^[6](表2)。

水稻干旱评估模型(I)^[7-9]表达式为

$$I = \frac{[P_{10}(1 - C) - W_{10}] + [P(1 - C) - W]}{W}$$

其中 $W = K_c ET_0$

式中: P_{10} 为前 10 日累积降水量; W_{10} 为前 10 日累积作物需水量; P 为固定时段的累计降水量; W 为固定时段累计作物需水量; K_c 为作物系数,数值根据文献中资料和田间试验结果确定^[10-11]; ET_0 为参考作物蒸散量,采用 Penman-Monteith 公式^[12-13]计算; C 为固定区域的径流系数,水稻生育期主要集中在 3 ~ 9 月,该段时间正是四川省的汛期,降水量较多,所以径流量也大。

径流系数 $C=0.47k$,其中 $k=M/95.6$

0.47 为重庆忠县径流系数^[14-15]。

式中, M 为某站点 15 年内最大日降水量的平均值,95.6为参考站点 15 年最大日降水量的平均值。

表2 川中丘陵区水稻多年平均各月作物系数 K_c 值

月份	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
K_c 值	1.20	0.75	0.95	1.40	1.50	1.30	1.20

四川省各地地下水普遍埋藏较深,除平原低洼地带、丘陵冲槽底部等地区在耕作期地下水埋深<1 m,

1.3 川中丘陵区水稻生育期划分

按照农业气象观测规范,统计川中丘陵区农业气象观测站观测报表的生育期资料,得出该区水稻播种-成熟期全生育阶段及播种-移栽期、移栽-分蘖期、分蘖-拔节期、拔节-孕穗期、孕穗-抽穗期、抽穗-成熟期的时间段(表1)。

一般都>1 m,因此在文中不考虑地下水补给量。

1.5 干旱等级划分

根据干旱标准结合《中国气象灾害大典》(四川卷),参考区域典型年份水稻需水临界期的干旱监测评估数值,并进行对比分析,将水稻干旱等级划分为以下 5 个级别^[16],见表 3。

表3 川中丘陵区水稻干旱等级划分

干旱等级	水稻干旱监测评估指数 I	干旱程度
0	$I \geq -0.4$	无旱
1	$-0.8 \leq I < -0.4$	轻旱
2	$-1.2 \leq I < -0.8$	中旱
3	$-1.6 \leq I < -1.2$	重旱
4	$I < -1.6$	特旱

1.6 水稻不同等级干旱发生频率计算

依据干旱分级标准,计算水稻不同生育期、不同等级干旱发生频率^[17]:

$$F_i = n/N \times 100 \%$$

式中 n 为不同生育期出现不同等级干旱的年数, N 为统计总年数。

2 研究成果与分析

2.1 研究结果

2.1.1 水稻各生育阶段干旱发生频率变化特征

表4 川中丘陵区平均值及代表站点各生育期干旱频率/%

干旱等级	代表站点	移栽-分蘖	分蘖-拔节	拔节-孕穗	孕穗-抽穗	抽穗-成熟
轻旱以上	梓潼	87.8	91.8	91.8	63.3	53.1
	三台	95.9	91.8	93.9	73.5	57.1
	盐亭	95.9	91.8	95.9	65.3	67.3
	中江县	93.9	93.9	98.0	77.6	63.3
	仁寿县	93.9	89.8	91.8	67.3	67.3
	巴州区	87.8	83.7	87.8	55.1	71.4
	平昌县	59.2	73.5	73.5	63.3	61.2
	阆中县	87.8	89.8	89.8	57.1	69.4
	西充县	91.8	85.7	87.8	71.4	75.5
	南部县	77.6	83.7	85.7	53.1	69.4
	仪陇县	69.4	75.5	79.6	49.0	71.4
	蓬安县	77.6	75.5	81.6	53.1	73.5
	营山县	57.1	71.4	79.6	61.2	77.6
	高坪区	83.7	75.5	89.8	63.3	83.7
	射洪县	93.9	91.8	95.9	61.2	67.3
	蓬溪县	93.9	85.7	93.9	81.6	79.6
	简阳市	95.9	95.9	87.8	65.3	63.3
	遂宁市市中区	87.8	89.8	93.9	75.5	77.6
	乐至县	83.7	85.7	79.6	63.3	63.3
	雁江区	87.8	89.8	85.7	67.3	46.9
	安岳县	83.7	87.8	85.7	59.2	71.4
	威远县	98.0	87.8	79.6	55.1	51.0
	资中县	89.8	79.6	79.6	49.0	57.1
	川中丘陵区	86.4	86.1	87.8	60.5	64.1
中旱以上	川中丘陵区	42.3	66.4	49.1	50.3	32.5
重旱	川中丘陵区	0.30	25.2	1.50	15.2	2.40

表4 为所有代表站点在水稻各生育期发生干旱的频率(即轻旱以上),可以看出,川中丘陵区水稻移栽至成熟期发生干旱频率在地域及生育时段上的差异性较大,干旱频率范围在46.9 % ~ 98.0 %。从生育时段来看,从移栽-分蘖期干旱频率在57.1 % ~ 98.0 %,除个别站点,该时段内干旱出现频率较高,大多数站点干旱频率在80 % 以上;分蘖-拔节、拔节-孕穗期干旱频率分别在71.4 % ~ 95.9 % 及73.5 % ~ 98.0 %,从整体上看仍属于水稻干旱频率高发阶段;从孕穗-成熟期干旱频率明显低于移栽-孕穗期,在46.9 % ~ 83.7 %,其中水稻需水临界期,即孕穗期的干旱发生频率在49.0 % ~ 81.6 %。

从整个川中丘陵区发生不同等级干旱频率上看,水稻移栽-成熟发生干旱频率在60.5 % ~ 87.8 %。水稻移栽-分蘖期、抽穗-成熟期发生中旱以上干旱的频率低于其他生育时段,且中旱以上频率约占对应时段总的干旱频率的一半;其次是拔节-孕穗期,中旱以上干旱发生频率为49.1 % ,占总干旱频率约56 % ;分蘖-拔节、孕穗

-抽穗期间中旱以上发生频率略高于其他阶段,且中旱以上频率占总干旱频率比率较高,在80 % 左右。重旱一般出现在水稻的分蘖-拔节期达25 % (即4年一遇),孕穗期重旱频率达15.2 %。

结合表1 各个水稻生育期的时间段看,川中丘陵区干旱多发生于5月中旬~7月中旬期间内,即以初夏旱和早期伏旱为主,其次干旱多发时段为7月下旬~9月上旬。中旱主要发生于6月上旬~6月下旬,其次为6月下旬~7月下旬。重旱集中发生于6月上旬~6月中旬的时段内,其次为7月下旬,发生频率明显高于其他时段。综合干旱发生的范围及强度来看,6月上旬~7月下旬期间是水稻干旱发生频繁且较为严重的时段,实际农业生产中,要加强农田水利灌溉,以保证水稻增产丰收。

2.1.2 水稻孕穗-抽穗期、抽穗-成熟期生育阶段干旱频率空间分布特征

选取干旱对水稻产量影响最大的两个生育期,即孕穗-抽穗期、抽穗-成熟期进行分析。

水稻从孕穗-抽穗期(7月下旬)干旱频率分布如图2所示,川中丘陵区的北部及南部大部地方干旱发生频率<60%,川中丘陵区的中部部分区域干旱频率>70%,主要集中在三台县、中江县、西充县、射洪县的部分区域及蓬溪县全部,其余大部都在60%~70%。

灌浆乳熟期受旱,破坏有机物质向穗部转运,灌浆受阻,秕粒增加,千粒重下降,谷草比下降,产量显著减低,这也是缺水最敏感的时期之一。水稻从抽穗-成熟期(8月上旬~9月上旬)干旱频率分布如图3所示,川中丘陵区北部的梓潼县、南部的威远及资中干旱发生频率<60%,干旱频率发生70%~80%的区域主要集中在川中丘陵区的北部及中部部分区域,包括南充的大部、遂宁部分区域及巴中的巴州区,其余大部干旱发生频率在60%~70%。

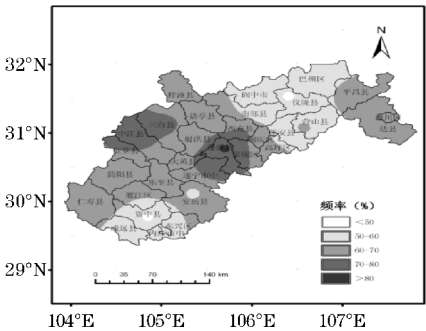


图2 川中丘陵区水稻孕穗-抽穗期干旱频率分布

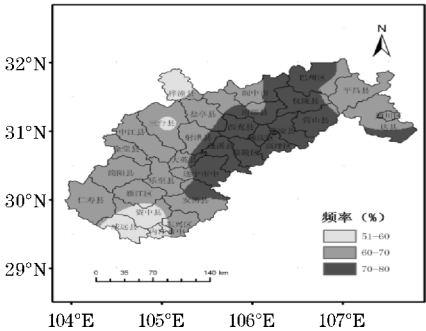
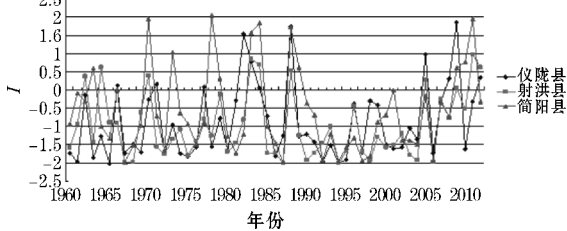


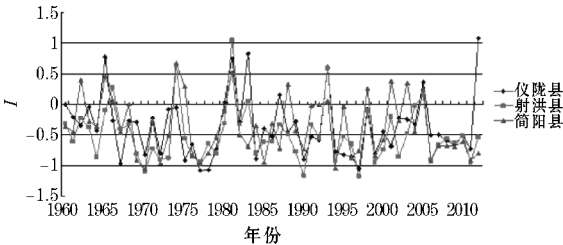
图3 川中丘陵区水稻抽穗-成熟期干旱频率分布

2.1.3 水稻孕穗-抽穗期、抽穗-成熟期生育阶段干旱年际变化趋势

在川中丘陵区域选取,北部(仪陇县)、中部(射洪县)、南部(简阳县)3个代表站点,用以分析干旱对水稻产量形成影响较大的两个生育期,即孕穗-抽穗期及抽穗-成熟期的水稻干旱评估指数 I 从1960~2012年的年际变化,分析结果见图4。



(a) 孕穗-抽穗期



(b) 抽穗-成熟期

图4 川中丘陵区代表站水稻干旱评估指数年际变化

从孕穗-抽穗期各代表站的水稻干旱评估指数 I 值变化趋势可以看出,在20世纪60年代初~80年代中期 I 值波动明显,且大部集中在-2~0.4波动,即无旱年份比例较低,其中仪陇干旱强度高于射洪,简阳干旱强度相对其余两站点较轻;在20世纪80年代初~90年代初期 I 值波动幅度较大,干旱有明显减轻的趋势,即 I 值有50%以上>-0.4;90年代初~2006年 I 值处于相对低值区, I 值主要集中在-2~-0.4,有90%以上年份 I 值<-0.8,即干旱等级达到中旱以上,干旱程度较重,2006年开始, I 值呈现明显上升趋势, I 值大都>-0.4,发生无旱年份较多。

抽穗-成熟期各代表站的水稻干旱评估指数 I 值变化表明,其值主要集中在-1~0.5,即为无旱、轻旱和重旱3个等级,发生干旱程度明显轻于水稻在孕穗到抽穗时期,其中在20世纪60年代~70年代初期 I 值下降明显,即干旱有显著加重趋势,1974年干旱减轻,从1975年~70年代末期 I 值大都集中在-1.2~0.4,即发生轻旱和中旱年份较多,从90年代开始到00年代中期, I 值波动明显,2006年开始, I 值波动平缓,干旱发生程度大都为轻旱和中旱,有明显加重态势。

3 结论与讨论

研究利用川中丘陵区水稻种植33个县市气象台站1960~2012年逐日气象资料及10个农业气象观测站33年的水稻生育期资料,采用创新的水稻干旱评估模型计算水稻33个县干旱发生频率及时间空间分布状况,结果如下:(1)川中丘陵区全生育期干旱频率在60.5%~94.3%,其中水稻需水临界期即孕穗期干旱发生频率在49.0%~81.6%;发生中旱以上干旱的频率较低,其中孕穗期中旱以上干旱发生频率达50.3%;重旱一般出现在水稻的分蘖-拔节期达25%(即4年一遇),孕穗期重旱频率达15.2%。(2)空间分布来看:水稻从孕穗-抽穗期(7月下旬)川中丘陵区的北部及南部大部地方干旱发生频率<60%,川中丘陵区的中部部分区域干旱频率>70%,主要集中在三

台县、中江县、西充县、射洪县的部分区域及蓬溪县全部,其余大部都在60%~70%。(3)时间分布来看:孕穗-抽穗期各代表站的水稻干旱评估指数 I 值变化:在20世纪60年代初~80年代中期 I 值波动明显,即无旱年份比例较低,在20世纪80年代初~90年代初期 I 值波动幅度较大,干旱有明显减轻的趋势;20世纪90年代初期~2006年干旱程度较重,2006年开始,干旱程度有所减轻。

研究创新的水稻干旱评估模型与前人所建立的有关模型相比,有以下优越性:(1)分析川中丘陵区水稻干旱,考虑前期降水的滞后影响,同时考虑稻田径流量,建立了模型。(2)根据干旱标准结合《中国气象灾害大典》(四川卷),确定川中丘陵区水稻干旱指标分级标准。

参考文献:

- [1] 陈淑全,罗富顺,熊志强,等.四川气候[M].成都:四川科学技术出版社,1997:139-142.
- [2] 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):82-90.
- [3] 许信旺,孙满英,方宇媛,等.安徽省气候变化对水稻生产的影响及应对[J].农业环境科学学报,2011,30(9):1755-1763.
- [4] 四川省统计局.四川统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2014:331-365.
- [5] 甘书龙,付绶宁,唐洪潜,等.四川省农业资源与区划[M].成都:四川省社会科学院出版社,1986:90-92.
- [6] 刘钰,Pereira L S.对FAO推荐的作物系数计算方法的验证[J].农业工程学报,2000,16(5):26-30.
- [7] 罗伯良,黄晚华,帅细强,等.湖南省水稻生产干旱灾害风险区划中国农业气象[J].中国农业气象,2011,32(3):461-465.
- [8] 张旭辉,黄毓华.江苏省水稻移栽期的干旱指数研究及应用[J].中国农业气象,2000,21(3):19-22.
- [9] 朱海涛,刘寿东,汪扩军,等.湖南晚稻干旱评估[J].气象科技,2010,38(1):120-124.
- [10] 刘钰,Pereira S.对FAO推荐的作物系数计算方法的验证[J].农业工程学报,2000,16(5):26-30.
- [11] Allen R G, Luis S P, Rase D, et al. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirement [R]. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 1998.
- [12] 张丹,张广涛,王丽学.彭曼-蒙特斯公式在参考作物需水量中的应用研究[J].安徽农业科学,2006,34(18):4513-4514.
- [13] Karl T R. Some spatial characteristics of drought duration in the United States [J]. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1983, 22:1356-1366.
- [14] 朱海涛,刘寿东,汪扩军,等.湖南晚稻干旱评估[J].气象科技,2010,38(1):120-124.
- [15] 郑畅,倪九派,魏朝富.基于DEM和SCS模型的四川盆地丘陵区局地径流研究[J].水土保持学报,2008,22(5):73-77.
- [16] 温克刚,詹兆渝.中国气象灾害大典(四川卷)[M].北京:气象出版社,2006:241-306.
- [17] 张玉芳,王锐婷,陈东东,等.利用水分盈亏指数评估四川盆地玉米生育期干旱状况[J].中国农业气象,2011,32(4):615-620.

Rice Drought Monitoring and Assessment Model and its Application in the Hilly Area of Central Sichuan Basin

LIU Yan-yan¹, ZHANG Yu-fang^{2,3}, WANG Ming-tian⁴, ZHOU Xue-hui⁵

(1. College of Atmospheric Sciences, Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Agro-meteorological Center of Sichuan Province, Chengdu 610072, China; 3. Sichuan Key Laboratory for Water-saving Agriculture in the South Hill Area, Chengdu 610066, China; 4. Sichuan Meteorological Observatory, Chengdu 610072, China; 5. Suining Meteorological Administration, Suining 629000, China)

Abstract: Drought is one of the most severe meteorological disasters and causes great loss of rice production in Sichuan province, especially in the hilly area of central Sichuan basin. In this paper a rice drought assessment model was used to analyze the temporal and spatial distribution and the frequency of rice drought. The daily meteorological data at 33 mete-

orological stations during the recent 53 years (1960–2012) and the rice phonological records at 10 agro-meteorological observation stations during the recent 33 years (1980–2012) were used to analyze the temporal and spatial distribution characteristics of rice drought occurrences in the hilly area of central basin in terms of an innovative rice drought assessment index. Further, we chose typical stations from each rice growing regions to analyze the inter-annual and inter-decadal variations of rice drought assessment index during the critical period of water requirement. The results showed that the drought frequency was around 60.5 %–94.3 % through the whole rice growth period in the hilly area of central basin. The values of rice drought frequency varied with rice growth stages. The rice drought was more severe at booting stage, and its frequency over moderate drought was 50.3%. Severe drought occurred during tillering and jointing stages, and its frequency was 25%. During the booting and heading stages (late July), the drought frequency was less than 60% in the north and south of the hilly central basin, and it was higher than 70% in the middle of the hilly central basin. The changes of rice drought assessment index during the booting and heading stages at the typical stations showed that the rice drought was severe in the late 1960s, mid-1970s, early 1980s, early 1990s and early 2000s. And rice drought tended to be less severe in recent years.

Key words: agrometeorology; drought assessment; hilly area of Central Sichuan Basin; rice; index; frequency