

逐日降水量模拟在甘蔗气候风险分析中的应用

刘 武,莫家尧,莫 钧

(广西壮族自治区来宾市气象局,广西 来宾 546100)

摘 要: 利用随机天气发生器(WeaGETS)模拟来宾市 200 年的逐日降水序列,将模拟结果与 50 年的实测资料对比,利用模拟序列分析降水对来宾甘蔗生产的影响。结果表明:模拟年均降水总量相对误差在 0.7%~13.5%之间;模拟月降水量与实际相关性明显;日最大降水量及其变化趋势可信;模拟的各量级降水日数与实测相差 0.2~14.3 d;中雨以下比大雨以上的逐日降水机率的模拟效果好。总之,模拟降水与实测相近,可以用于气候统计分析。80%保证率下的甘蔗苗期、分蘖期、伸长期和成熟期降水量分别只占需水量的 51.0%、52.7%、72.8%和 38.5%。各生育期无旱机率 21.0%~40.0%,轻旱机率 9.5%~29.5%,中旱机率 10.5%~26.5%,重旱机率 7.5%~22.5%,特旱机率 6.0%~29.5%。来宾甘蔗干旱旱机率较大,最主要为春、秋旱,主要影响生育期为苗期、分蘖期和成熟期。

关键词: 天气发生器;降水;模拟降水;甘蔗;干旱风险;气候分析

中图分类号: S162.5 **文献标志码:** A

Application of daily precipitation simulation in the climatic risk analysis of sugarcane

Liu Wu, MO Jia-yao, MO Jun

(1. Laibin Meteorological Bureau of Guangxi Province, Laibin, Guangxi 546100, China)

Abstract: Using the random weather generator (WeaGETS) to simulate the daily precipitation sequences in the past 200 years in Laibin, the simulated results compared with the measured data in last 50 years. Application of the simulated sequence analyzed the effect of precipitation to the sugarcane production in Laibin. The results showed that: The relative error of the simulated annual average precipitation was between 0.7% 13.5%. The simulated monthly rainfall was obvious correlation with the actuality. The daily maximal precipitation and its change trend were trust. The difference between simulated each level rainy days with the real measured ones was 0.2~14.3 days. The simulated effect of daily precipitation probability for below moderate rain was better than the above heavy rain. In short, the simulated precipitation was close to the measured one. So it can be used in the climatic statistical analysis. Under the assurance ratio 80%, the rainfall in each stage of seeding, tillering, jointing and maturation of sugarcane was accounted 51.0%, 52.7%, 72.8% and 38.5% of the stage crop water requirements, respectively. In each growth stage, the no drought probability was 21.0%~40.0%, the light drought probability was 9.5%~29.5%, the moderate drought probability was 10.5%~26.5%, the severe drought probability was 7.5%~22.5% and the super drought probability was 6.0%~29.5%. So in Laibin the drought probability was comparatively large. The most important drought was in Spring and Autumn and major impacted the growth stages of seedling, tillering and maturity.

Keywords: weather generator; precipitation; simulated rainfall; sugarcane; drought risk; climatic analysis

气候条件对甘蔗产量有很大的影响,其中降水是重要的因子之一^[1-2]。降水通过影响农田水分平衡以及机械作用影响作物的生长,降水不足且缺少灌溉时可导致作物萎蔫甚至死亡,过大过多的降水也会使作物受渍害。甘蔗是广西最重要的经济作物之一,但广西 90%以上的甘蔗种植在无灌溉条件的丘陵旱地上,而且甘蔗生长需水量大,加上广西甘蔗种植区本身气候偏旱、土壤保水能力差等原因,每年均出现不同程度的旱害,因此干旱成为影响广西甘蔗产量提高的主要限制因素之一。而随着气候变

化,未来干旱的趋势目前难以预计^[3-6]。因此评估广西降水气候对甘蔗生产的影响有重要的意义。目前针对水稻、小麦等作物的干旱研究较多,对甘蔗干旱的研究较少^[7-11]。来宾是广西乃至全国的甘蔗种植大市,其地理位置处于桂中干旱片区,研究来宾蔗区降水气候风险,对广西甘蔗种植有重要意义。

天气发生器是气候影响评价研究的重要工具,目前已被广泛应用于作物、水文、土壤侵蚀等模拟模型,并进行气候条件的影响评价。天气发生器已成为全球气候变化、极端气候事件发生及气候影响风险评估等研究的重要工具^[12]。在国外天气发生器研究始于 20 世纪 70 年代,国内较晚才见有相应文章发表,近年付强、王斌、刘永和^[12-19]等研究取得了一定的成果,并应用于干旱、农业气候区划等领

域。本文利用该模型模拟来宾 200 年的逐日降水量,以进行来宾甘蔗生产的降水气候风险分析。

1 材料和方法

利用天气发生器 WeaGETS,采用非平滑、二阶马尔科夫链和 GAMMA 分布,并经过低频校正模拟生成来宾 200 年的逐日降水序列。将模拟生成的逐日降水数据与来宾国家基本气象站 1963—2012 年实际观测数据进行比较分析。然后利用模拟的降水数据,统计 200 年发生频率计算保证率,采用气候统计学方法进行甘蔗生产的降水量气候适宜性与风险分析。为了与甘蔗发育期内需水量相对应,经过与来宾市国家农业气象站资料(表 1)对比,发育期采用谭宏伟等的统计结果^[20]。

表 1 来宾国家农业气象站 2008—2012 年甘蔗发育期(M-d)

Table 1 The sugarcane growth periods during 2008—2012 from the national agricultural climate station of Laibin						
发育期 Growth period	2008	2009	2010	2011	2012	平均 Average
出苗(发株)期 Emergency date	04-08	03-26	03-03	04-18	04-10	03-31
茎伸长期 Elongation date	06-16	06-12	06-14	06-22	06-06	06-14

2 结果分析

2.1 模拟值与历史值比较

2.1.1 平均总降水量比较 将模拟值与实际值进行比较(表 2)发现,两者的平均值、方差和变异系数

相差不大。两者的方差相近且都较大,有 61.5%模拟的方差大于实际方差。两者的变异系数相近,69.2%的模拟变异系数小于实际变异系数。相对误差除 10 月以外,其它各月均小于 10%,其中 6—9 月最为接近。

表 2 来宾站降水模拟值的多年平均、方差及变异系数与实测值比较

Table 2 Comparison of the simulated and measured precipitation' average, variance and variation coefficient in Laibin Station							
月份 Month	平均值/mm Average precipitation		方差 Variance precipitation		变异系数 Variation coefficient		平均值相对误差/% Relative error
	模拟 Simulateded	实测 Measured	模拟 Simulateded	实测 Measured	模拟 Simulateded	实测 Measured	
年总量 Total	1388.5	1349.5	79109.2	76925.9	0.20	0.21	2.9
1 月 JAN	48.7	45.6	1366.4	1279.8	0.76	0.79	6.9
2 月 FEB	52.1	49.5	1355.9	1384.7	0.71	0.75	5.2
3 月 MAR	73.4	68.3	2169.6	2144.1	0.63	0.68	7.4
4 月 APR	124.5	121.4	3829.8	3997.9	0.50	0.52	2.6
5 月 MAY	220.9	215.1	5189.2	5941.1	0.33	0.36	2.7
6 月 JUN	249.3	250.9	17134.7	19045.9	0.53	0.55	-0.7
7 月 JUL	211.8	209.0	21092.1	19764.3	0.69	0.67	1.4
8 月 AUG	176.5	173.2	10244.0	8640.6	0.57	0.54	1.9
9 月 SEP	75.3	74.3	2594.1	2253.7	0.68	0.64	1.3
10 月 OCT	91.0	80.2	5333.2	4684.7	0.80	0.85	13.5
11 月 NOV	32.8	31.6	1449.4	1169.5	1.16	1.08	3.7
12 月 DEC	32.4	30.5	796.2	821.2	0.87	0.94	6.2

从年降水量保证率曲线(图 1)比较可知,模拟的年降水量保证率曲线与实际接近,头尾好于中间,

二者降水保证率的最大差值为 11%,出现在年降水量为 1 300 mm 时。模拟的年降水量范围 672.7~

2 165.0 mm, 实测年降水量范围 821.2 ~ 2 057 mm, 模拟值在高值端比实值稍高, 在低值端比实值低, 模拟值范围略有扩大, 从方差对比, 也可见模拟值比实测值的方差大 2.8%。比较结果显示, 模拟与实测的平均总降水量没有很大的差异, 模拟的总降水具有一定可信度。

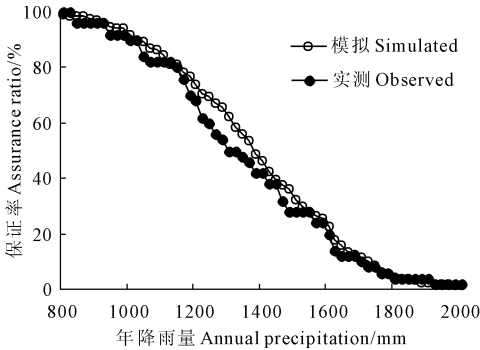


图 1 模拟与实测来宾年降水保证率

Fig.1 The simulated and the measured annual precipitation with assurance ratio in Laibin

2.1.2 月降水及极端降水比较 选择甘蔗茎伸长期内的 7 和 9 月进行降水量特征对比分析, 从降水量保证率实际值与模拟值对比(图 2)可见, 模拟来宾在一定保证率条件下 7 和 9 月的降水量分别为 60 ~ 490 mm 和 50 ~ 200 mm, 模拟值与实际值接近, 模拟月降水量保证率与实际相关性明显。对于日最大降水值, 模拟值比实测值略大(图 3)。尽管由于天气发生器的随机特点使得出现的日期没有完全吻合, 但基本趋势是可信的。对于日降水量大于 200 mm 的日序, 实测的 50 年中出现 3 次, 均出现在 6 ~ 7 月, 模拟的 200 年中出现 9 次, 其中 8 次出现在 6 ~ 8 月, 1 次 11 月。对于日降水量大于 150 mm 的日序, 实测的 50 年中出现 9 次, 模拟的 200 年中出现 37 次。对于日降水大于 100 mm 的日序, 实测的 50 年中出现 26 次, 模拟的 200 年中出现 160 次。最大

降水日大部分集中在 6 ~ 8 月。

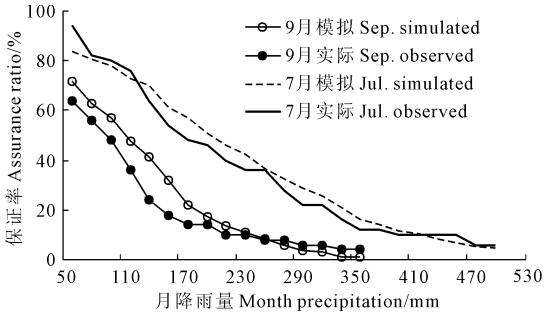


图 2 模拟与实测来宾 7、9 月降水保证率

Fig.2 The simulated and measured monthly precipitation in JUL, SEP with assurance ratio in Laibin

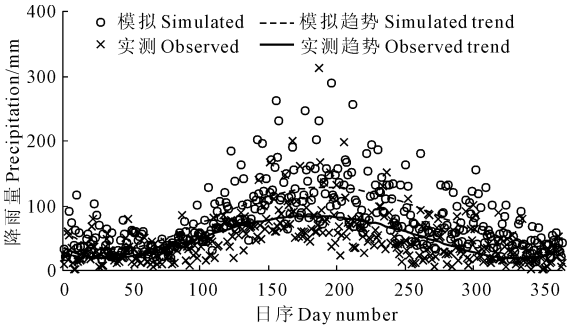


图 3 模拟与实测来宾日最大降水量

Fig.3 The simulated and measured daily maximal precipitation in Laibin

2.1.3 不同等级降水的日数及出现机率比较 将模拟与实测不同等级降水出现的日数比较(表 3)发现, 0.1 mm 以上降水的日数相差较大, 为 14.3 d, 5 ~ 50 mm 以上降水的日数相差相对较小, 分别为 2.5、1.5、0.4 d 和 0.2 d, 100 mm 以上降水日数相差 0.3 d, 绝对误差小, 但相对误差较大。模拟值和实测值的方差及变异系数较为接近。说明该天气发生器能够较好地反映一年中不同等级的降水情况。

表 3 来宾站实测和模拟不同等级降水年雨日数比较

Table 3 Comparison of simulated and measured yearly rainy days with different grade in Laibin Station

降水等级 Precipitation grades	平均年雨日/d Average yearly rain days		方差 Variance precipitation		变异系数 Variation coefficient		平均值 绝对误差 Absolute Error
	模拟 Simulateded	实测 Measured	模拟 Simulateded	实测 Measured	模拟 Simulateded	实测 Measured	
≥0.1mm	126.0	140.3	202.7	227.5	0.113	0.108	- 14.3
≥5mm	58.8	56.3	74.5	80.4	0.147	0.159	2.5
≥10mm	37.9	36.4	52.2	48.6	0.191	0.191	1.5
≥25mm	15.5	15.1	24.6	17.2	0.319	0.274	0.4
≥50mm	5.0	4.8	6.5	4.6	0.507	0.448	0.2
≥100mm	0.8	0.5	1.0	0.6	1.272	1.466	0.3

模拟的一年中各日不同等级的降水机率与实测相比(图 4)较接近,变化趋势相同,即春、夏季出现降水的机率相对秋冬季大,峰值分别出现在 90、180

天左右,即 3、7 月;出现中雨($\geq 10\text{ mm}$)、大雨($\geq 25\text{ mm}$)、暴雨($\geq 50\text{ mm}$)以上降水的机率曲线呈单峰型,峰值在 160 d 左右,即 5—6 月。

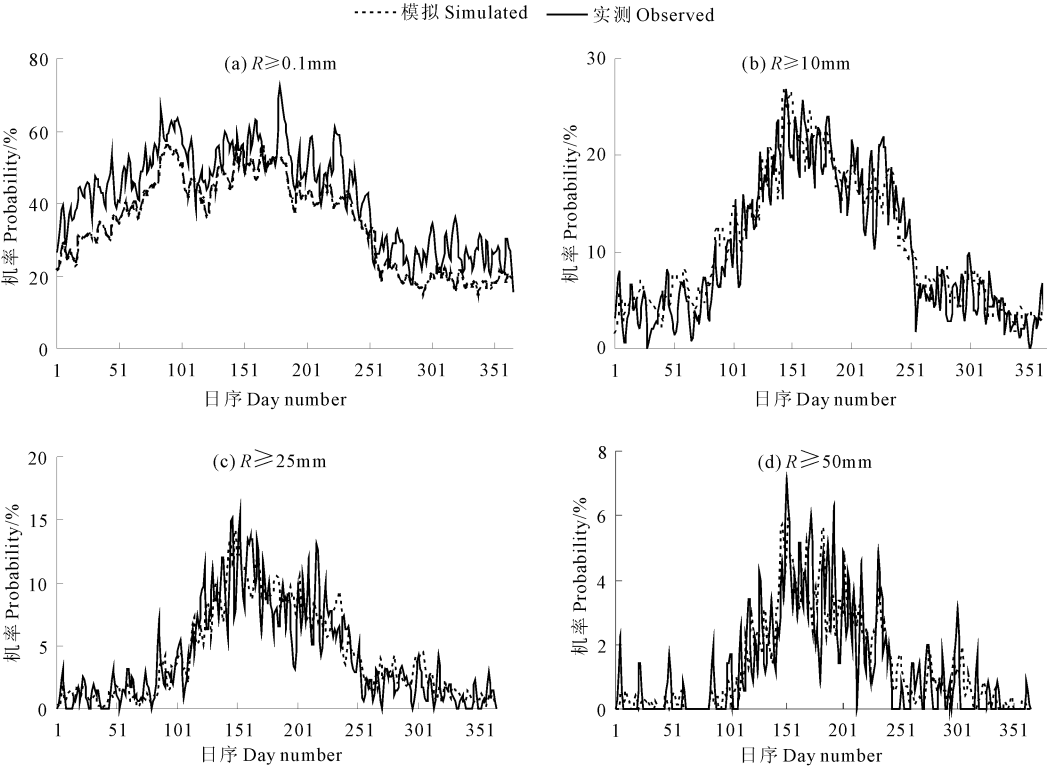


图 4 模拟与实测不同等级降水出现机率

Fig.4 Simulated and measured rain probability with different grade

注: R 为日降水量;机率采用 5 日平滑处理。
Note: R was the daily precipitation. The probability was treated by 5 days smoothing.

2.2 模拟降水对甘蔗生产的影响

2.2.1 降水量满足程度分析 降水保证率可以表示某一阶段降水大于某一数值的可靠程度。计算方法为利用长期的气候资料统计在长时期内大于某一数值的累积频率来表示,即:保证率 = 累积频率/统计年数,往往统计年数越长可靠性越高。

从来宾蔗区各生育期降水保证率曲线(图 5)可以看出:苗期 180 mm、成熟期 250 mm、分蘖期 330 mm 和伸长期 930 mm 以上降水保证率低至 10% 以下;50% 保证率的苗期、分蘖期、伸长期和成熟期的降水量对应分别为 100、210、720 mm 和 130 mm,随着保证率提高到 80%,各生育期的降水量分别减少至 60、160、580 mm 和 70 mm,分别占甘蔗需水量^[21]的 51.6%、52.7%、72.8%和 38.5%;苗期(26 d)和成熟期(81 d)平均日降水最少,分蘖期(31 d)和伸长期(121 d)平均日降水次之。

2.2.2 生育期缺水干旱风险分析 作物缺水率^[20]能够定量描述水分供给量,反映降水量对作物需水的满足程度,但需要准确的作物生育阶段需水量。

根据前人对甘蔗需水规律^[20]的研究:苗期(4 月 5 日~4 月 30 日)约 116.2 mm;分蘖期(5 月 1 日~5 月 31 日)约 303.8 mm;伸长期(6 月 1 日~9 月 30 日)约 796.6 mm,成熟期(10 月 1 日~12 月 20 日)约 182 mm。采用《干旱评估标准》^[21]确定干旱等级(见表 4)。作物缺水率的计算表达式如下:

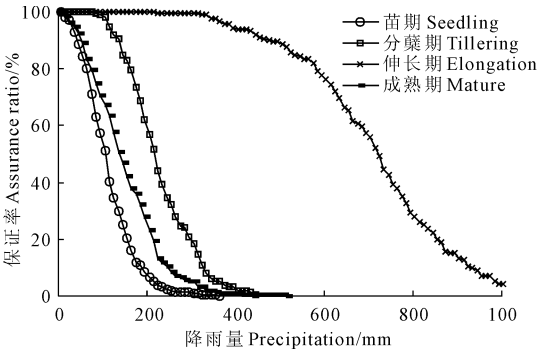


图 5 来宾甘蔗各生育期降水保证率

Fig.5 The precipitation with assurance ratio in each growth stage of sugarcane in Laibin

$$D\omega = \frac{W - W_r}{W_r} \times 100\%$$

式中, $D\omega$ 为缺水率; W 为发育期内降水量; W_r 发育期需水量。

由表 5 可见, 来宾甘蔗各生育期无旱机率 21.0% ~ 40.0%, 轻旱机率 9.5% ~ 29.5%, 中旱机率 10.5% ~ 26.5%, 重旱机率 7.5% ~ 22.5%, 特旱

机率 6.0% ~ 29.5%。苗期轻旱以下机率 55.5%, 中旱以上机率 44.5%。分蘖期轻旱以下机率 32.5%, 中旱以上机率 67.5%。伸长期轻旱以下机率 67.5%, 中旱以上机率 32.5%。成熟期轻旱以下机率 44.5%, 中旱以上机率 55.5%, 其中特旱较明显。总体而言, 来宾甘蔗平均中旱以上机率约 50%, 可见甘蔗干旱风险机率较大。

表 4 干旱等级划分
Table 4 Drought classification grades

干旱等级 Drought grade	无旱 No drought	轻旱 Light drought	中旱 Middle drought	重旱 Severe drought	特旱 Extreme drought
缺水率/% Water deficiency ratio	$D\omega \geq -5$	$-5 > D\omega \geq -20$	$-20 > D\omega \geq -35$	$-35 > D\omega \geq -50$	$D\omega < -50$

表 5 各发育期各等级干旱发生机率/%
Table 5 The different grade drought occurred probability in each growth stage

生育期 Growth stage	无旱 No drought	轻旱 Light drought	中旱 Middle drought	重旱 Severe drought	特旱 Extreme drought
苗期 Seedling	40.0	15.5	10.5	14.0	20.0
分蘖期 Tillering	21.0	11.5	26.5	22.5	18.5
伸长期 Elongation	38.0	29.5	19.0	7.5	6.0
成熟期 Maturity	35.0	9.5	14.5	11.5	29.5

3 结论与讨论

1) WeaGETS 随机天气发生器生成的年、月降水与实际值接近, 降水变化趋势相符, 其模拟的平均值具有科学性。模拟的极端降水级别、发生机率和发生时间与实测相近。使用该随机天气发生器能够近似的模拟逐日降水, 增加降水序列的长度, 增强统计量的可靠性, 能够更好地进行气候影响综合分析。在机率大的普通量级的降水事件中应用该降水模拟器模拟效果较好, 若模拟极端降水等机率小的降水事件, 使用该模拟器需要酌情而定。

2) 来宾甘蔗生长期间降水量两头少中间多, 符合甘蔗生长需水特点。自然降水满足甘蔗需水的保证率较低, 自然降水不能够满足甘蔗生长需水。缺水最突出的生长期为成熟期。甘蔗成熟期大部处在非汛期, 降水较少, 在甘蔗逐渐成熟的过程中, 成熟期前期(10 ~ 11 月上旬)甘蔗仍然有明显长高, 需水量依然很大, 而 9 月降水量陡减, 与成熟期前期需水量较大的特点不适, 所以此段时间最易发生干旱甚至特重干旱, 一般称为秋旱。秋旱较常见也较严重。

3) 来宾甘蔗缺水较突出的为苗期和分蘖期, 这两个生育期处在来宾非汛期至入汛期, 降水相对也少。苗期需水量小, 4 月份来宾为非汛期至汛期的

过渡期, 降水年际差异明显, 汛期来得早的年份蔗苗不受旱或受轻旱, 汛期来得晚的年份蔗苗受旱明显。5 月份甘蔗分蘖需水量较出苗明显增大, 即使 5 月份降水较 4 月以前有所增多, 但仍不能满足甘蔗分蘖需水。此时干旱一般称为春旱, 春旱较秋旱少见, 对来宾甘蔗出苗分蘖影响较轻。

4) 缺水较轻的为伸长期, 伸长期处于来宾主汛期, 降水较多, 期间雨量一般占年雨量的大半以上, 雨水较充足, 所以, 一般此段时间甘蔗受旱不明显, 只有遇到旱年甘蔗伸长期才会受到明显干旱影响。此时干旱一般称为夏旱, 较少见, 夏旱若发生多为旱年, 对甘蔗生长影响最严重。

5) 建议历史曾发生干旱灾害的蔗区, 根据甘蔗干旱机率, 考虑配备人工灌溉设施。但需指出, 干旱机率是理论统计数据, 可作为科学规划使用, 不代表若干年内必有若干次干旱发生。干旱机率计算的重要因子之一为作物需水量, 作物需水量的确定由试验或经验方法计算获得, 需要验证, 它在一定范围内影响干旱机率统计。另外, 作物生育期起始点的选择也对干旱机率有一定影响。

6) 水分为影响土壤湿度的主要因子, 但是, 作物干旱除了受水分影响, 还受气温、品种等其它因子影响, 因此只考虑降水量因子进行作物气候风险分

析有一定局限性,但是利用灌溉来减低干旱风险,相对控制气温、改良品种等是最可行的方法。

参 考 文 献:

[1] 谭宗琨,吴全衍.影响广西原料蔗产量的主要气象因子及产量预报研究[J].广西农业科学,1994,1(3):108-111.

[2] 陈如凯,张木清,陆裔波.干旱胁迫对甘蔗生理影响的研究[J].甘蔗,1995,2(1):1-6.

[3] 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.

[4] 赵海燕,张 强,高 歌,等.中国 1951-2007 年农业干旱的特征分析[J].自然灾害学报,2010,19(4):201-206.

[5] 郭 锐,智协飞.中国南方旱涝时空分布特征分析[J].气象科学,2009,29(5):598-605.

[6] 邹旭恺,任国玉,张 强.基于综合气象干旱指数的中国干旱变化趋势研究[J].气候与环境研究,2010,15(4):371-378.

[7] 张淑杰,张玉书,纪瑞鹏,等.东北地区玉米干旱时空特征分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):231-236.

[8] 刘 静,王连喜,马力文,等.中国西北旱作小麦干旱灾害损失评估方法研究[J].中国农业科学,2004,37(2):201-207.

[9] 王 越,江志红,张 强,等.用 Palmer 湿润指数作西北地区东部冬小麦旱涝评估[J].应用气象学报,2008,19(3):342-349.

[10] 李美荣,李星敏,李艳莉,等.基于连阴雨灾害指数的陕西省苹果生长风险分析[J].干旱气象,2011,29(1):106-109.

[11] 吴哲红,詹沛刚,陈贞宏,等.3 种干旱指数对贵州省安顺市历史罕见干旱的评估分析[J].干旱气象,2012,30(3):315-322.

[12] 廖要明,张 强,陈德亮.中国天气发生器的降水模拟[J].地理学报,2004,59(5):698-703.

[13] 王 斌,付 强,王 敏,等.几种模拟逐日降水的分布函数比较分析[J].数学的实践与认识,2011,41(9):128-133.

[14] 杨金华,付 强,王 斌,等.基于降水随机模拟的作物受旱概率率分析[J].水利科技与经济,2012,18(11):75-77.

[15] 王 斌,付 强,王忠波,等.基于降水随机模拟的旱作区农业旱情等级划分方法[J].中国农村水利水电,2011,(3):167-170.

[16] 王 斌,付 强,张金萍,等.逐日降水的随机模拟模型及其在黑龙江省的应用[J].农机化研究,2011,33(9):65-69.

[17] Geng F, Penning de Vries F W T, Supit I. A simple method for generating daily rainfall data[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1986,36:363-376.

[18] Lee Teang Shui, Aminul Haque. Stochastic rainfall model for irrigation projects[J]. Pertanika J Sci & Technol, 2004,12(1):137-147.

[19] 刘永和,张万昌,朱时良,等.基于广义线性模型和 NCEP 资料的降水随机发生器[J].大气科学,2010,34(3):599-610.

[20] 谭宏伟,周柳强,谢如林,等.蔗区降雨分布与甘蔗需水及加肥灌溉效应[J].西南农业学报,2008,21(5):1381-1384.

[21] 干旱评估标准(试行)[S].北京:国家防汛抗旱总指挥部,2006.

(上接第 265 页)

[10] Madejon E, Mora A P, Felipe E, et al. Soil amendments reduce trace element solubility in a contaminated soil and allow regrowth of natural vegetation[J]. Environ Poll, 2006,139:40-52.

[11] 胡振琪.土地复垦与生态重建[M].北京:中国矿业大学出版社,2008.

[12] 张 锂,韩国才,陈 慧,等.黄土高原煤矿区煤矸石中重金属对土壤污染的研究[J].煤炭学报,2008,33(10):1141-1146.

[13] 李海霞,胡振琪,李 宁,等.淮南某废弃矿区污染场的土壤重金属污染风险评价[J].煤炭学报,2008,33(4):423-426.

[14] 王 莹,董霁红.徐州矿区充填复垦地重金属污染的潜在生态风险评价[J].煤炭学报,2009,34(5):650-655.

[15] 董霁红,于 敏,程 伟,等.矿区复垦土壤种植小麦的重金属安全性[J].农业工程学报,2010,26(12):280-286.

[16] 马成玲,周健民,王火焰,等.农田土壤重金属污染评价方法研究—以长江三角洲典型县级市常熟市为例[J].生态与农村环境学报,2006,22(1):48-53.

[17] 雷 鸣,曾 敏,郑袁明,等.湖南采矿区和冶炼区水稻土重金属污染及其潜在风险评价[J].环境科学学报,2008,28(6):1212-1220.