

基于水分亏缺率的贵州地区烟草干旱指标

朱晓萌¹,张泽中²,袁义杰²,慎东方³,商崇菊³,李彦彬²

(1. 贵州省水利工程建设质量与安全中心,贵州 贵阳 550002; 2. 华北水利水电大学水利学院,河南 郑州 450046;
3. 贵州省水利科学研究院,贵州 贵阳 550002)

摘要:为建立贵州地区烟草干旱灾害的监测与评估指标,以贵州烟草不同生育期水分亏缺率与减产率二者建立线性回归方程,结合农业干旱等级划分标准,得到烟草不同生育期干旱指标。结果表明:全生育期水分亏缺率为 $\leq 15\%$ 、 $(15\%, 35\%]$ 、 $(35\%, 55\%]$ 、 $>55\%$ 时,分别发生轻、中、重、严重干旱,对应的减产率分别为 $\leq 10\%$ 、 $(10\%, 20\%]$ 、 $(20\%, 30\%]$ 、 $>30\%$;旺长期水分亏缺率为 $\leq 35\%$ 、 $(35\%, 70\%]$ 、 $>70\%$ 时,分别发生轻、中、重旱,对应的减产率分别为 $\leq 10\%$ 、 $(10\%, 20\%]$ 、 $(20\%, 30\%]$;成熟期水分亏缺率为 $\leq 35\%$ 、 $(35\%, 75\%]$ 、 $>75\%$ 时,分别发生轻、中、重旱,对应的减产率为 $\leq 10\%$ 、 $(10\%, 20\%]$ 、 $(20\%, 30\%]$ 。

关键词:干旱指标;烟草;水分亏缺率;减产率;贵州

中图分类号:S421;S166 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2021)05-0034-07

Drought index of tobacco based on water deficit rate in Guizhou region//ZHU Xiaomeng¹, ZHANG Zhezhong², YUAN Yijie², SHEN Dongfang³, SHANG Chongju³, LI Yanbin²(1. Guizhou Quality and Safety Centre of Water Conservancy Engineering Construction, Guiyang 550002, China; 2. School of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China; 3. Guizhou Provincial Water Conservation Science and Research Institute, Guiyang 550002, China)

Abstract: In order to construct monitoring and evaluation indexes of tobacco drought disaster in Guizhou region, a linear regression equation was established for the water deficit rate and yield reduction rate of Guizhou tobacco during different growth periods. According to the classification criteria of agricultural drought grade, the drought indexes of tobacco during different growth periods were obtained. The results indicate that when the ranges of the water deficit rate in the whole period were $\leq 15\%$, $(15\%, 35\%]$, $(35\%, 55\%]$ and $>55\%$, light drought, moderate drought, severe drought and extreme drought occurred, and the corresponding reduction rates were $\leq 10\%$, $(10\%, 20\%]$, $(20\%, 30\%]$ and $>30\%$, respectively. When the ranges of the water deficit rate in the flourishing period were $\leq 35\%$, $(35\%, 70\%]$ and $>70\%$, light drought, moderate drought and severe drought occurred, and the corresponding reduction rates were $\leq 10\%$, $(10\%, 20\%]$ and $(20\%, 30\%]$, respectively. When the ranges of the water deficit rate in the maturing period were $\leq 35\%$, $(35\%, 75\%]$ and $>75\%$, light drought, moderate drought and severe drought occurred, and the corresponding reduction rate were $\leq 10\%$, $(10\%, 20\%]$ and $(20\%, 30\%]$, respectively.

Key words: drought index; tobacco; water deficit rate; yield reduction rate; Guizhou

贵州省是全国第二大优质烟叶生产基地,烟草产业是贵州的传统优势产业,在地方经济建设中占有重要地位。同时,贵州省地处云贵高原,是我国西南喀斯特地区的腹心地带,喀斯特面积达10.9万km²,占贵州省土地总面积的61.92%。贵州省的生态环境较为脆弱,干旱状况比较严重,每年均会发生旱情,并且平均每十年会发生一次特大干旱^[1]。贵州省有着“八山一水一分田”之说,山多水少,并且水资源在时空上分布并不均匀,水旱灾害发生频繁。随着贵州省社会经济不断发展和人口数量持续增加,农业受旱情况和因旱造成粮食减产现象越来越严重^[2]。

鉴于贵州近些年来干旱影响面积、干旱等级和干旱发生频率不断增加,许多相关专家与学者从不同的方面对其进行了系统的研究分析,研究主要集

基金项目:国家自然科学基金(51779093);贵州省科技厅项目(KT202001,KT201705)
作者简介:朱晓萌(1988—),女,工程师,主要从事水利工程质量监督与管理。E-mail:zhuxiaomeng@126.com
通信作者:张泽中(1978—),男,副教授,博士,主要从事现代节水灌溉与区域水资源高效利用研究。E-mail:15038352532@126.com

中对对贵州气象干旱指标^[3,4]、不同时间尺度下干旱时空特征分析^[5-7]、干旱预警研究^[8],而对贵州农业干旱的研究较少。王备等^[9]利用黔西南州 1961—2010 年月降水和气温资料,通过对该区域越冬作物生长期内相对湿润度指数的变化趋势以及气象干旱发生频次的研究,得到黔西南州气象干旱的发生次数增多,强度增大,11 月处于越冬作物的播种期和幼苗生长期,作物耐旱水平低的结论。张帅等^[10]从气象因素出发,将玉米的受灾强度、干旱指标以及农业抗灾能力因子三者相结合,建立线性方程,并综合分析出降水距平百分率与降水潜在蒸散差指标能快速、准确地反映出干旱强度与受灾程度。宋艳玲等^[11]利用 2010—2011 年贵州省县级水稻产量资料,分析干旱对水稻单产的影响,结果表明当累计干旱天数少于 40 天时,干旱对水稻产量尚不构成影响;当累计干旱天数超过 86 天时,干旱会造成水稻减产。

烟草生长期内,贵州烟区正好是雨热同步时期,同时也是该地区旱涝灾害频繁发生时期,尤其是生育后期,易发生伏旱,造成烟草生长水分胁迫。然而对贵州烟草生育期内干旱指标的研究几乎没有,而且以往的研究很少考虑到贵州地形坡度大、土地瘠薄等因素。作物水分亏缺率是最常用的作物干旱诊断指标之一^[12],它综合考虑了气象、作物、土壤等因素的影响,能较好地反映出降水量和作物需水量之间关系。鉴于此,本文拟从有效降水量和作物需水量入手,综合作物减产情况,构建基于作物缺水率的干旱评价指标,以期对贵州烟草干旱灾害监测及灾损评估提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

选取贵州省 4 个典型县、市(区)的气象(最高温度、最低温度、平均水汽压、风速、日照时数、相对湿度)以及产量资料,气象资料来源于中国气象网(www.date.cma.cn),产量资料来源于《贵州省统计年鉴》。选取资料的时间序列为 1955—2005 年,主要原因是 2005 年之后,贵州省烟草公司为了落实国家工业反哺农业的政策,在贵州烟区开展烟水配套工程建设,使数以万公顷的烟田得以灌溉。灌溉可以减少灾害损失,并不能杜绝干旱的存在,但会使干旱对烟草产量的影响结果被掩盖,增加了干旱分析的难度。

1.2 研究方法

1.2.1 烟草产量分解

烟草产量的形成受各种各样自然和环境因素的相互制约。通常情况下,从影响产量形成的各个因素的性质和时间尺度的角度来将烟草的产量分解为

气象产量、趋势产量和随机产量 3 个组成部分。其烟草实际产量的分解采用如下公式^[13]:

$$y = y_t + y_w + \varepsilon \tag{1}$$

式中: y 为烟草的实际产量; y_t 为烟草的趋势产量; y_w 为烟草的气象产量; ε 为烟草的随机产量,该部分影响很小,可忽略不计,单位均为 kg/hm^2 。

趋势产量的模拟采用 Origin2017 软件中分析板块的多项式拟合。

本文采用相对气象产量来表示实际产量相对于趋势产量的偏离程度,相对气象产量是由逐年的烟草实际产量与其趋势产量的差值除以趋势产量而计算得出,其相应的计算公式为

$$Y_w = \frac{y - y_t}{y_t} \times 100\% \tag{2}$$

式中: Y_w 为烟草相对气象产量。相对气象产量可为负值或正值,负值表示烟草产量减少,气象条件不适宜于烟草生长;正值表示烟草产量增加,气象条件适宜于烟草生长。

1.2.2 烟草生育阶段需水量

烟草在生育阶段内的逐旬需水量经过累积,可以计算得到烟草生育阶段需水量。运用 FAO 推荐的作物系数法可计算逐旬需水量,理论需水量可以看作是标准条件下的旬蒸散量,计算公式如下^[15]:

$$ET_c = K \times ET_0 \tag{3}$$

式中: ET_c 为逐旬作物需水量,mm; ET_0 为逐旬参照作物蒸散量,mm,反映出不同地区和时期大气蒸发能力对于植物需水量所造成的影响,与气象因素有关; K 为逐旬作物系数,反映出土壤蒸发和作物蒸腾的综合影响,它与作物生长状况、作物类型、土壤蒸发、气候条件等多种因素有关。 K 的取值如表 1 所示。

表 1 烟草旬作物系数

生育期	旬序列	作物系数
伸根期	1	0.75
	2	0.85
	3	0.95
旺长期	4	1.10
	5	1.25
	6	1.30
成熟期	7	1.10
	8	0.95
	9	0.90
	10	0.85
	11	0.80
	12	0.75

参考刘国顺等^[14]研究成果,采用作物系数法计算作物需水量 ET_c 。根据贵州省灌溉试验站提供的主要种植结构以及当地农业气象站提供的试验结果等资料,确定不同作物逐时段的作物系数。有研究

表明,彭曼-蒙蒂斯公式在我国西南地区有较好的适用性。本文 ET_0 的计算采用此公式^[15-16] :

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (4)$$

式中: ET_0 为参考作物蒸散量,mm/d; G 为土壤热通量,MJ/($m^2 \cdot d$); R_n 为冠层表面净辐射,MJ/($m^2 \cdot d$); T 为平均气温, $^{\circ}C$; e_s 为饱和水气压,kPa; e_a 为实际水汽压,kPa; Δ 为饱和水汽压-气温关系曲线在 T 处的切线斜率,kPa/ $^{\circ}C$; U_2 为近地面 2 m 高处风速,m/s; γ 为湿度计常数,kPa/ $^{\circ}C$ 。

1.2.3 烟草生育阶段有效降水量

有效降水量是指在总降水量中扣除地表径流和渗漏至作物根系吸水层的水分,可以保存在作物根系层中用来满足作物蒸发蒸腾所需要的那部分雨量。

单次降水有效降水量 P 计算公式^[17]为

$$P = \alpha_{j,i} P_{j,i} \quad (5)$$

式中: $P_{j,i}$ 为生育阶段 i ($i=1,2,3$,分别表示还苗—团棵期(伸根期)、团棵—现蕾期(旺长期)、现蕾—采收结束(成熟期))内第 j 次降水的降水总量,mm; $\alpha_{j,i}$ 为有效利用系数。考虑到贵州地区地形坡度大、土地瘠薄以及独特的喀斯特地貌等因素, $\alpha_{j,i}$ 的取值如下:当 $P_{j,i} \leq 5$ mm 时, $\alpha_{j,i}=0$;当 5 mm $< P_{j,i} \leq 50$ mm 时, $\alpha_{j,i}=0.85$;当 $P_{j,i} > 50$ mm 时, $\alpha_{j,i}=0.75$ ^[18]。

生育阶段 i 内多次降水的有效降水量累加 P_i 计算公式为

$$P_i = \sum_{j=1}^n P_{j,i} \quad (6)$$

式中: n 为降水次数。

1.2.4 烟草生育阶段水分盈亏指数计算

烟草生育阶段水分盈亏指数是基于作物水分亏缺指数而构建,从而可表征出水分盈亏程度,其中以有效降水量为供水指标,以生育阶段潜在蒸散量为需水指标^[19] :

$$I_i = \frac{P_i - ET_i}{ET_i} \quad (7)$$

式中: I_i 为水分盈亏指数; ET_i 为生育阶段 i 的需水量,mm。当 $I_i = 0$ 时,表示水分收支平衡;当 $I_i > 0$ 时,表示生育阶段 i 水分盈余;当 $I_i < 0$ 时,表示水分亏缺,水分亏缺率可用其绝对值表示^[20-21]。

2 结果与分析

2.1 烟草相对气象产量求解

2.1.1 趋势产量模拟

为了比较 3 次多项式、4 次多项式和 5 次多项

式 3 种方法的拟合效果,分别用湄潭县相对气象产量和烟草全生育期的水分盈亏指数进行相关分析。

从表 2 可以看出,湄潭县烟草相对气象产量和全生育期水分盈亏指数的相关关系十分显著,因此,用水分盈亏指数来反映气象条件对产量的影响,用作判断烟草干旱的标准是可行的。但 3 种方法的模拟效果有些差异,其中以 5 次多项式模拟效果最好。因此,在进行产量趋势项模拟时,均采用 5 次多项式。

表 2 3 种模拟方法所得相对气象产量和烟草全生育期水分盈亏指数的关系

模拟方法	Pearson 相关系数	显著水平
3 次多项式	0.644	0.001
4 次多项式	0.643	0.001
5 次多项式	0.688	0.001

以 5 次多项式模拟各站点的趋势产量,图 1 显示了对湄潭县历年烟草实际产量的趋势产量模拟。

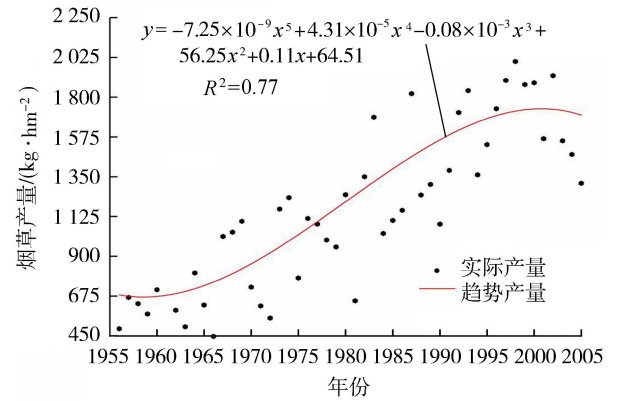


图 1 1956—2005 年贵州湄潭历年烟草实际产量与趋势产量

2.1.2 相对气象产量获取

得到烟草趋势产量后,用式(2)计算,可得到烟草相对气象产量,图 2 给出了湄潭县烟草的相对气象产量,相对气象产量为负时即为减产率。

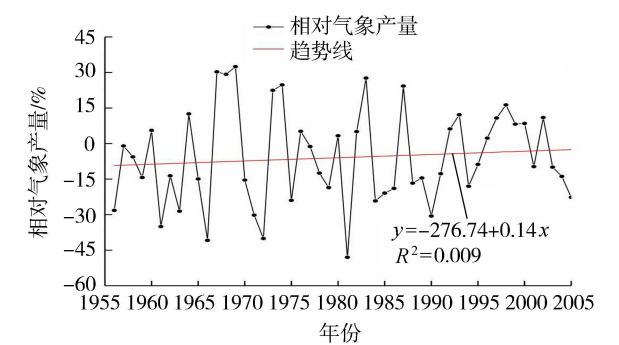


图 2 1956—2005 年贵州湄潭县历年烟草相对气象产量

从图 2 可以看出,相对气象产量为负的年份较多,说明湄潭县烟草大多数年份存在减产现象,其中减产率超过 30% 的有 5 a。从变化趋势线可以看出,

涪潭县烟草相对气象产量有增加趋势,递增速率为1.40%/10 a,即减产率有下降趋势,表明气候条件向有利于烟草生产方向转变。

由于影响相对气象产量的各种气象因子的时间序列具有正态分布特征,即极端气象条件通常表现为致灾因子发生的概率较小,一般气象条件发生的概率较多,故相对气象产量序列也应具有正态分布的属性。图3给出了涪潭县相对气象产量的正态分布概率图,图形呈线性,说明数据来自正态分布。

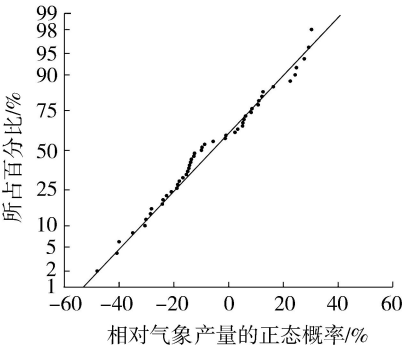


图3 涪潭县烟草相对气象产量的正态概率

2.2 烟草不同生育水分盈亏指数

2.2.1 烟草不同生育水分盈亏指数变化趋势

选取涪潭县 1956—2005 年烟草全生育期(5—8月)气象资料,采用式(2)~(7)计算不同生育期水分盈亏指数如图4所示。

由图4可知,涪潭县烟草伸根期内水分盈亏指数在大多数年间为正值,说明在该生育期内发生水分亏缺的概率很小,不易发生干旱事件,仅有1986

年发生严重水分亏缺,在该生育期水分盈亏指数趋势没有明显变化;在旺长期水分盈亏指数在大多数年间为负值,说明在该生育期易发生干旱事件,该生育期缺水率超过50%的有4 a,易发生极端干旱事件,水分盈亏指数呈显著递增趋势,通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验,递增速率为10.40%/10 a,说明在该时期极端干旱事件有减少趋势;在成熟期水分盈亏指数在大多数年间为负值,说明在该生育期极易发生干旱事件,该生育期缺水率超过50%的有9 a,是极端干旱事件多发时段,水分盈亏指数呈递增趋势,通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验,递增速率为6.90%/10 a,说明在该时期极端干旱事件有减少趋势;在全生育期水分盈亏指数在大多数年间为负值,涪潭县烟草在全生育期以干旱为主,水分盈亏指数呈递增趋势,说明受气候变化影响,干旱事件有减少趋势。

2.2.2 水分盈亏指数与烟草相对气象产量关系

分析烟草水分盈亏指数和相对气象产量之间的相关关系。结果如表3所示。

表3 不同生育阶段水分盈亏指数和相对气象产量的相关分析

生育期	相关系数			
	涪潭	威宁	兴仁	思南
伸根期	0.011	-0.072	0.016	-0.013
旺长期	0.568 **	0.666 *	0.357 *	0.527 **
成熟期	0.485 *	0.362 *	0.585 **	0.518 **
全生育期	0.643 **	0.657 **	0.653 **	0.648 **

注: * 显著水平, ** 极显著水平。

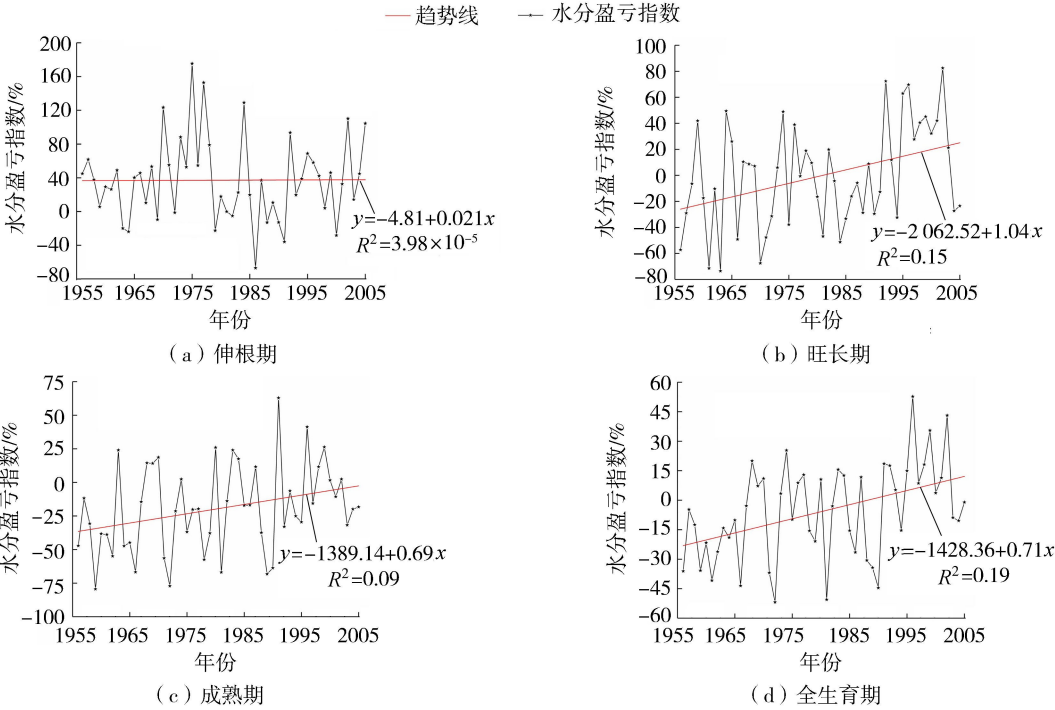


图4 涪潭县烟草生长期内水分盈亏指数变化规律

可以看出,烟草在不同生育阶段的水分盈亏指数和产量的相关性是不同的。其中,降水在旺长期对烟草产量的影响最大,这个时期的水分盈亏指数和产量的相关关系最为密切,相关系数均达到了极显著水平。其次,成熟期的水分盈亏指数也同产量具有显著的相关性。同时,在4个典型区中,水分盈亏指数在伸根期阶段和产量的相关性均不显著,这是由于在烟草移栽的时候,多数站点均有补充灌溉,保证烟苗成活。

2.3 烟草旺长期干旱指标

贵州地区烟草团棵—现蕾期(旺长期),通常为5月中下旬至6月中下旬。通过水分盈亏指数与相对气象产量的分析得出,旺长期的水分盈亏指数和相对气象产量具有显著的相关性。因此将旺长期水分盈亏指数与对应的相对气象产量时间序列数据进行回归分析,构建它们两者之间的回归方程,量化干旱年份内水分亏缺率和减产率之间的相互关系。经过统计分析,贵州省湄潭和威宁两站点的水分盈亏指数和相对气象产量的关系如图5所示。

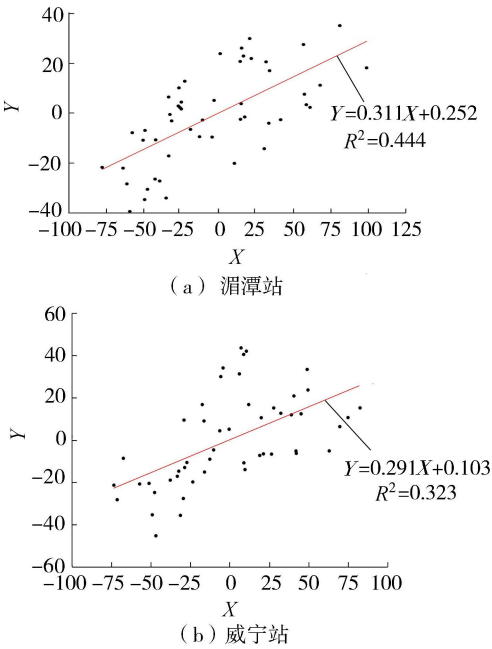


图5 烟草旺长期水分盈亏指数和相对气象产量

用同样的方法,对其他站点进行类似分析,建立类似的一元线性回归方程,不同站点此期水分亏缺率(水分盈亏指数负值的绝对值)同减产率(相对气象产量负值的绝对值)的关系如表4所示。

通常情况下以减产率来划分农业干旱等级,当减产为≤10%时为轻旱,(10%,20%]时为中旱,(20%,30%]时为重旱,大于30%时为严重干旱^[22-23]。根据表4,得到以烟草旺长期水分亏缺率为指标的干旱等级标准如表5所示。

表4 烟草旺长期不同水分亏缺率所对应的减产率

站点	不同水分亏缺率时的减产率/%									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
湄潭	3.36	6.47	9.59	12.70	15.81	18.92	22.03	25.15	28.26	31.37
威宁	3.01	5.92	8.83	11.74	14.65	17.55	20.46	23.37	26.28	29.19
兴仁	1.58	4.09	6.6	9.11	11.62	14.13	16.64	19.15	21.66	24.17
思南	4.15	6.88	9.61	12.34	15.07	17.8	20.53	23.26	25.99	28.72
平均	3.03	5.84	8.66	11.47	14.29	17.10	19.92	22.73	25.55	28.36

表5 不同干旱等级对应的烟草旺长期水分亏缺率

干旱等级	旺长期水分亏缺率/%	减产率/%
轻旱	≤35	≤10
中旱	(35,70]	(10,20]
重旱	>70	(20,30]

2.4 烟草成熟期干旱指标

贵州地区烟草现蕾—采收结束(成熟期),通常为6月中下旬至8月中下旬。经过统计分析,贵州省湄潭和威宁两站点的水分盈亏指数和相对气象产量的关系如图6所示。

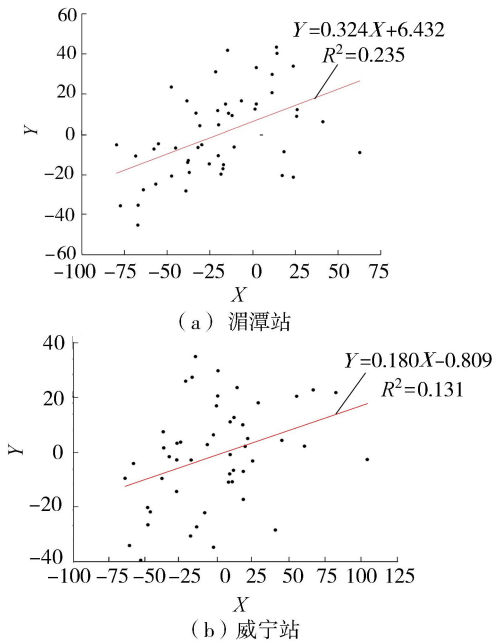


图6 烟草成熟期水分盈亏指数和相对气象产量

用同样的方法,对其他站点进行类似分析,建立相对应的一元线性回归方程,不同站点该期水分亏缺率和减产率的关系如表6所示。

表6 烟草成熟期不同水分亏缺率所对应的减产率

站点	不同水分亏缺率时的减产率/%									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
湄潭	9.67	12.91	16.15	19.39	22.63	25.87	29.11	32.35	35.59	38.83
威宁	0.99	2.79	4.59	6.39	8.19	9.99	11.79	13.59	15.39	17.19
兴仁	0.25	2.93	5.61	8.29	10.97	13.65	16.33	19.01	21.69	24.37
思南	3.67	5.92	8.17	10.42	12.67	14.92	17.17	19.42	21.67	23.92
平均	3.65	6.14	8.63	11.12	13.62	16.11	18.60	21.09	23.59	26.08

因此,用烟草在成熟期的水分亏缺率来评估烟草产量损失的线性回归方程如下:

$$Y = 0.249X + 1.154 \quad (8)$$
式中: X 为成熟期的烟草水分亏缺率, $\%$; Y 为烟草减产率, $\%$ 。

根据表 6 并结合减产率划分的农业干旱等级,可以得到以烟草成熟期水分亏缺率为指标的旱情等级标准,结果如表 7 所示。

表 7 不同干旱等级对应的成熟期水分亏缺率		
干旱等级	成熟期水分亏缺率/ $\%$	减产率/ $\%$
轻旱	≤ 35	≤ 10
中旱	$(35, 75]$	$(10, 20]$
重旱	> 75	$(20, 30]$

2.5 烟草全生育期干旱指标

贵州地区烟草全生育期,通常为 4 月中下旬至 9 月上旬。经过统计分析,贵州省湄潭和威宁两站点的水分盈亏指数和相对气象产量的关系如图 7 所示。

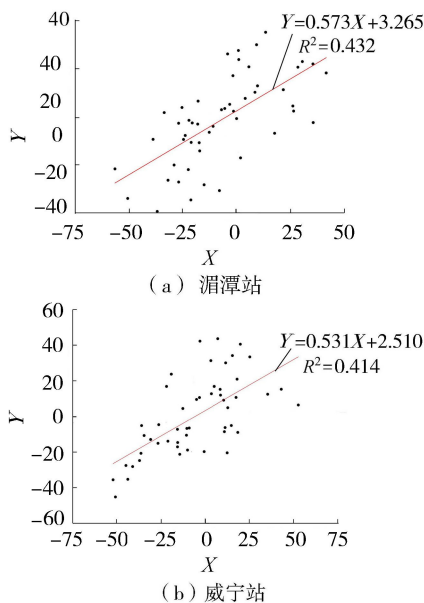


图 7 烟草全生育期水分盈亏指数和相对气象产量

因此,用烟草全生育期水分亏缺率评估烟草产量损失的线性回归方程为

$$Y = 0.543X + 1.113 \quad (9)$$

用同样的方法,对其他站点进行类似分析,建立相应的一元线性回归方程,不同站点此期水分亏缺率和减产率的关系如表 8 所示。

站点	不同水分亏缺率时的减产率/ $\%$									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
湄潭	9.36	15.09	20.82	26.55	32.28	38.01	43.74	49.47	55.20	60.93
威宁	7.82	13.13	18.44	23.75	29.06	34.37	39.68	44.99	50.30	55.61
兴仁	1.93	7.36	12.79	18.22	23.65	29.08	34.51	39.94	45.37	50.80
思南	7.07	12.34	17.61	22.88	28.15	33.42	38.69	43.96	49.23	54.50
平均	6.55	11.98	17.42	22.85	28.29	33.72	39.16	44.59	50.03	55.46

根据表 8,结合减产率划分的农业干旱等级,得到烟草全生育期水分亏缺率为指标的干旱等级

标准(表 9)。

表 9 不同干旱等级对应的全生育期水分亏缺率		
干旱等级	全生育期水分亏缺率/ $\%$	减产率/ $\%$
轻旱	≤ 15	≤ 10
中旱	$(15, 35]$	$(10, 20]$
重旱	$(35, 55]$	$(20, 30]$
严重干旱	> 55	> 30

3 结 论

a. 烟草不同生育阶段的水分盈亏指数对产量的影响结果不同。其中,旺长期降水对烟草产量的影响最大,该时期的水分盈亏指数和产量的相关性达到极显著水平。其次,成熟期的水分盈亏指数也同产量具有显著的相关性。而在 4 个典型区中,伸根期的水分盈亏指数和产量的相关性均不显著。

b. 全生育期水分亏缺率为 $\leq 15\%$ 、 $(15\%, 35\%]$ 、 $(35\%, 55\%]$ 、 $> 55\%$ 时,分别发生轻、中、重、严重干旱,对应的减产率分别为 $\leq 10\%$ 、 $(10\%, 20\%]$ 、 $(20\%, 30\%]$ 、 $> 30\%$;旺长期水分亏缺率为 $\leq 35\%$ 、 $(35\%, 70\%]$ 、 $> 70\%$ 时,分别发生轻、中、重旱,对应的减产率分别为 $\leq 10\%$ 、 $(10\%, 20\%]$ 、 $(20\%, 30\%]$;成熟期水分亏缺率为 $\leq 35\%$ 、 $(35\%, 75\%]$ 、 $> 75\%$ 时,分别发生轻、中、重旱,对应的减产率分别为 $\leq 10\%$ 、 $(10\%, 20\%]$ 、 $(20\%, 30\%]$ 。

c. 本文中以烟草各生育期缺水率为灾损评估指标,分析不同生育期缺水率所对应的干旱等级和减产率,尽管这一指标的选取考虑到了降水的有效利用,运用彭曼公式计算的烟草需水量,考虑到了诸多气象因子较为符合实际,但烟草产量还与其他诸多因素如水肥条件、田间管理措施、涝灾、干旱引发的次生虫害等密切相关,要想完全分离出因干旱造成的烟草产量损失具有一定难度。

参考文献:

[1] 邓晓红,毕坤. 贵州省喀斯特地貌分布面积及分布特征分析[J]. 贵州地质, 2004 (3): 191-193. (DENG Xiaohong, BI Kun. Analysis on the Karst topographic distribution in Guizhou Province[J]. Guizhou Geology, 2004 (3): 191-193. (in Chinese))

[2] 刘力华,徐建新,雷宏军,等. 贵州省农业干旱灾害风险区划研究[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(2): 44-49. (LIU Lihua, XU Jianxin, LEI Hongjun, et al. Drought disaster risk of agricultural zoning in Guizhou Province [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2016, 35(2): 44-49. (in Chinese))

[3] 夏阳,严小冬,龙园,等. GEV 指数表征的贵州夏旱分布特征及干旱事件的异常环流特征[J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2017, 39(2): 252-264. (XIA Yang,

- YAN Xiaodong, LONG Yuan, et al. On interannual distribution variations of summer drought in Guizhou and analysis of abnormal circulation on drought event [J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2017, 39(2): 252-264. (in Chinese))
- [4] 白慧, 吴战平, 龙俐, 等. 基于标准化前期降水指数的气象干旱指标在贵州的适用性分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2013, 35(5): 661-668. (BAI Hui, WU Zhanping, LONG Li, et al. The application of the daily meteorological drought indicator based on standardized antecedent precipitation index in Guizhou [J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2013, 35(5): 661-668. (in Chinese))
- [5] 徐建新, 陈学凯, 黄鑫, 等. 贵州省近 50 年降水量时空分布及变化特征[J]. 水电能源科学, 2015, 33(2): 10-14. (XU Jianxin, CHEN Xuekai, HUANG Xin, et al. Spatial and temporal distribution and variation characteristics of rainfall in Guizhou [J]. Water Resources and Power, 2015, 33(2): 10-14. (in Chinese))
- [6] 陈学凯, 雷宏军, 徐建新, 等. 气候变化背景下贵州省农作物长期干旱时空变化规律[J]. 自然资源学报, 2015, 30(10): 1375-1384. (CHEN Xuekai, LEI Hongjun, XU Jianxin, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of drought during crop growth period in Guizhou Province from climate change perspectives [J]. Water Resources and Power, 2015, 30(10): 1375-1384. (in Chinese))
- [7] 陈学凯. 贵州省多时间尺度气象干旱时空变化特征研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2016.
- [8] 王飞, 张泽中, 徐建新. 多元集对分析在贵州干旱预警中的应用[J]. 数学的实践与认识, 2015, 45(18): 199-206. (WANG Fei, ZHANG Zezhong, XU Jianxin. Study on the multifactor degree set pair analysis in Guizhou drought early warning [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2015, 45(18): 199-206. (in Chinese))
- [9] 王备, 高文明, 龙俐. 黔西南州越冬作物生长季气象干旱特征分析[J]. 贵州气象, 2011, 35(1): 18-20. (WANG Bei, GAO Wenming, LONG Li. Analysis on meteorological drought characteristics of overwintering crops in growing season in Southwest Guizhou [J]. Journal of Guizhou Meteorology, 2011, 35(1): 18-20. (in Chinese))
- [10] 张帅, 谷晓平, 于飞. 喀斯特山区干旱对玉米影响评估[J]. 广东农业科学, 2012, 39(21): 22-26. (ZHANG Shuai, GU Xiaoping, YU Fei. Effect evaluation about the drought of corn in karst mountainous area [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(21): 22-26. (in Chinese))
- [11] 宋艳玲, 蔡雯悦, 柳艳菊, 等. 我国西南地区干旱变化及对贵州水稻产量影响[J]. 应用气象学报, 2014, 25(5): 550-558. (SONG Yanling, CAI Wenyue, LIU Yanju, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of drought during crop growth period in Guizhou Province from climate change perspectives [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2014, 25(5): 550-558. (in Chinese))
- [12] 陈东东, 紫檀, 张玉芳. 基于水分盈亏指数的四川省小麦生育期干旱风险评估[J]. 自然灾害学报, 2017, 26(4): 155-163. (CHEN Dongdong, ZI Tan, ZHANG Yufang. Drought risk assessment based on crop water deficit index during wheat fertility periods [J]. Journal of Natural Disasters, 2017, 26(4): 155-163. (in Chinese))
- [13] 张泽中, 李佳, 徐建新. 基于 GIS 的贵州省玉米干旱灾害风险评估[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2016, 37(2): 28-32. (ZHANG Zezhong, LI Jia, XU Jianxin. Risk assessment about drought disaster of maize in Guizhou Province based on GIS [J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2016, 37(2): 28-32. (in Chinese))
- [14] 刘国顺, 陈江华, 王刚等. 中国烤烟灌溉学[M]: 北京: 科学出版社, 2012.
- [15] 胡家敏, 李继新, 陈中云, 等. 贵州省植烟土壤干旱预测模型初步研究[J]. 水利水电科技进展, 2010, 30(5): 45-47. (HU Jiamin, LI Jixin, CHEN Zhongyun, et al. Preliminary study on drought prediction model for tobacco planting soils in Guizhou Province [J]. Advances in Science and Technology of Water Resource, 2010, 30(5): 45-47. (in Chinese))
- [16] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements FAO irrigation and drainage paper 56[M]. Rome: Food and agriculture organisation, 1998.
- [17] 徐凤琴. 有效降水量浅析[J]. 气象水文海洋仪器, 2009, 26(1): 96-100. (XU Fengqin. Concise analysis of effective precipitation [J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments 2009, 26(1): 96-100. (in Chinese))
- [18] 张泽中, 袁义杰, 谷红梅, 等. 贵阳烟草生长长期内旱涝急转特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(10): 32-39. (ZHANG Zezhong, YUAN Yijie, GU Hongmei, et al. Analysis on the characteristics of drought-flood abrupt alternation during the growing period of tobacco in Guiyang [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(10): 32-39. (in Chinese))
- [19] 高晓容, 王春乙, 张继权, 等. 近 50 年东北玉米生育阶段需水量及早涝时空变化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 101-109. (GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan, et al. Crop water requirement and temporal-spatial variation of drought and flood disaster during growth stages for maize in Northeast during past 50 years [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(12): 101-109. (in Chinese))

(下转第 88 页)