

赤峰地区谷子气候适宜度评价模型研究

王志春¹, 陈素华², 王松虎¹, 吴亚娟¹

(1. 内蒙古自治区赤峰市气象局, 内蒙古 赤峰 024000; 2. 内蒙古生态与农业气象中心, 呼和浩特 010051)

摘要: 气候适宜度可以动态表征气候条件对作物生长发育的影响程度。利用赤峰地区近 30 a 气象资料和农业气象观测资料, 基于模糊数学方法, 根据谷子各发育时段对温度、水分的需求, 构建了赤峰地区谷子旬及全生育期气候适宜度评价模型。结果表明: 赤峰地区谷子在营养生长阶段气候适宜度普遍较高; 生殖生长阶段, 由于对气候条件要求较高, 气候适宜度有所降低。其中, 在谷子开花授粉期, 对温度要求较为严苛, 此阶段气候适宜度偏低。近 30 a 赤峰地区谷子气候适宜度均在 0.5 以上, 70% 年份达到了 0.6 以上, 说明气候条件非常适合谷子生长。检验结果表明, 赤峰地区谷子气候适宜度与气象产量在 0.01 水平上呈显著正相关, 模型评估能力达到了较高水平。本研究建立的旬尺度气候适宜度模型能够客观反映赤峰地区谷子的气候适宜水平及其动态变化。

关键词: 赤峰地区; 谷子; 气候适宜度

中图分类号: P49; S515

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)04-0122-05

Study on Climatic Suitability Evaluation Model of Millet in Chifeng District

WANG Zhichun¹, CHEN Suhua², WANG Songhu¹, WU Yajuan¹

(1. Chifeng Meteorological Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, Chifeng, 024000; 2. Ecological and Agrometeorological Center of Inner Mongolia, Hohhot 010051, China)

Abstract: Climatic suitability can dynamically characterize the influence of climatic conditions on crops growth and development. Using the meteorological data and agrometeorological data in Chifeng district in the last 30 years, based on the fuzzy mathematics theory, the climatic suitability evaluation model in Chifeng district was established according to the demand of temperature and precipitation in each millet development period. The results showed that the climatic suitability of millet in the vegetative growth stage was generally higher in Chifeng district and the climatic suitability in the reproductive growth stage was reduced due to the higher demand of climatic conditions. The temperature demand was relatively strict in the flowering and pollination stage of millet, so the climatic suitability of this stage was slightly lower. In the last 30 years, the climatic suitability of millet in Chifeng district was above 0.5 and above 0.6 in 70% of the years, the result indicating that the climatic conditions were very suitable for the growth of millet. The results of model checking showed that the climatic suitability of millet in Chifeng district was positively correlated with the meteorological yield at 0.01 significant level, the assessment ability of the model reached a high level. The climatic suitability model of 10 days scale which was built in this study can objectively reflect the climate suitable level and dynamic change of millet in Chifeng district.

Key words: Chifeng district; Millet; Climatic suitability

20 世纪 70 年代以前, 谷子为赤峰地区主要粮食作物, 后来随着种植结构不断调整, 玉米成为种植的主角。近年来, 随着人们对传统农产品的愈加青睐, 主打有机、绿色的小米在市场走俏, 谷子种植热度陡升, 有逐年扩种的趋势。赤峰地区

地处中温带半干旱大陆性季风气候区, 自然降水少, 水资源匮乏, 以雨养农业为主, 易受干旱、低温、霜冻等影响, 因此, 气候条件对谷子的正常生长发育影响很大。

近年来, 采用气候适宜度研究某地气候条件对作物生长发育影响的文献较多。侯英雨等^[1]对东北地区玉米构建了日尺度气候适宜度模型, 表明气候适宜度在营养生长期和生殖生长期分别与株高、百粒重显著相关。孙小龙等^[2]基于作

收稿日期: 2019-12-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41665007)

作者简介: 王志春(1974-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事农业气象、气候变化及资源、生态等方面的研究。

物生理发育时间恒定原理,并充分考虑光、温、水3种气象条件对玉米发育进程的影响,建立了基于气候适宜度的河套灌区玉米发育期模拟模型。李树岩等^[9]依据夏玉米不同发育阶段上限温度、最适温度、下限温度、需水量、需光性等生物学指标,构建了河南省夏玉米气候适宜度评价模型,模型能较好地反映河南省夏玉米的气候适宜水平及动态变化。此外,气候适宜度在作物种植区划中也有较好尝试,王彦平等^[4]在大豆种植区划中引入了气候适宜度评价模型,取得了较好效果。

农业气候的适宜性评价问题是农业气候学与农业气象学的主要研究内容之一,针对玉米、水稻、小麦等大宗作物的研究相当丰富^[1-3,5-11],但目前针对谷子气候适宜度的研究尚未见报道。本文基于模糊数学方法^[12-14]构建赤峰地区谷子气候适宜度评价模型和指标,以期对谷子的科学种植、合理布局、稳产高产提供技术支持。

1 材料来源与方法

1.1 资料来源

气象资料为赤峰14个国家气象观测站近30 a(1988~2017年,下同)逐日数据,包括平均气温、最低气温、最高气温、降水量、平均风速、日照时数、平均相对湿度。谷子的发育期、产量结构以及对应作物地段的土壤水分资料,来自赤峰松山区和翁牛特旗2个农业气象观测站。近34 a(1984~2017年)谷子单产资料来自赤峰8个谷子种植面积较大的旗(县、区),分别为阿鲁科尔沁

旗、巴林左旗、林西县、翁牛特旗、松山区、喀喇沁旗、宁城县和敖汉旗。

1.2 分析方法

1.2.1 构建气候适宜度模型

温度适宜度:作物生长发育过程中对温度的需求并非线性,并且在温度一定的幅度范围内,作物对温度高低的反应也并不相同。高亮之等^[15]首次将Beta模型应用于水稻发育温度效应的分析,并建立了可以逐日模拟日长和温度综合影响的水稻“钟模型”,该模型独特的优点使其在许多研究中被采用^[16-17]。Beta函数模型在反映温度对作物发育影响的三基点规律、温度对作物发育的非线性效用、发育速率对温度变化的响应特征等方面表现良好^[18],因此被广泛应用于评价作物发育的温度适宜程度。具体公式如下:

$$S(t) = \frac{(t - t_l)(t_h - t)^B}{(t_0 - t_l)(t_h - t_0)^B} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{其中, } B = \frac{t_h - t_0}{t_0 - t_l}$$

式中:S(t)为某一时段的温度适宜度;t为某发育期平均气温(℃); t_l 、 t_h 、 t_0 分别为某发育期所需的下限温度(℃)、上限温度(℃)和最适温度(℃)。

赤峰地区谷子各发育期三基点温度(表1),是在参考了《实用农业气象指标》^[19]中指标的基础上、综合赤峰地区谷子农业气象观测资料最终确定的。为了避免各发育期三基点温度的跳跃性,根据作物生长规律,将三基点温度指标拟合成平滑曲线,并在实际计算时对应到日序。

表1 赤峰地区谷子各发育期三基点温度

℃

发育期	播种	出苗	三叶	分蘖	拔节	抽穗	开花	乳熟	成熟
下限温度	6	10	13	14	16	16	16	15	13
最适温度	15	19	21	22	23	22	20	21	20
上限温度	23	27	29	31	31	29	27	28	30

水分条件是制约作物生长发育的关键因素,降水适宜度是作物各生长发育阶段对水分需求满足程度的评价。对于以雨养农业为主的赤峰地区而言,自然降水是作物需水的主要来源。由于降水不具连续性,渗透进入土壤后会维持一定时长的水分耗散,如果逐日计算降水适宜度,则需要考虑前期降水的累积效应,涉及的因素多且复杂。而赤峰地区一般5~7 d出现一次天气过程,每旬之内基本能够保证有1~2次降水,因此,将时间尺度设定为旬(下同),这既考虑到降水在一定时段内的互补,也具备了一定的时间精度。公式如下:

$$S(r) = \begin{cases} r/ET_c, & r < ET_c \\ 1, & r \geq ET_c \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

式中:S(r)为某旬降水适宜度;r为旬降水量(mm); ET_c 为旬作物需水量(mm)。

其中,作物需水量 ET_c 采用式(3)计算:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \dots\dots\dots (3)$$

式中, ET_0 为参考蒸散量(mm),采用FAO-PM公式^[20]计算; K_c 为作物系数,采用水量平衡法^[21]计算,该方法在内蒙古河套灌区春玉米作物系数的试验研究中取得了较好的效果,同时结合FAO-56标准作物系数最终确定(表2)。参考

表2 赤峰地区谷子逐旬作物系数(Kc)

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月上旬
Kc	0.08	0.12	0.23	0.40	0.56	0.75	0.92
旬	7月中旬	7月下旬	8月上旬	8月中旬	8月下旬	9月上旬	9月中旬
Kc	1.08	1.15	1.14	1.05	0.90	0.68	0.40

蒸散量和作物需水量进行逐日计算(Kc也需要拟合为曲线),然后将逐日作物需水量累加到与降水量对应的旬,最后应用公式(2)计算旬降水适宜度。

气候适宜度:赤峰地区作物生长季日照充足,光照不是谷子生长发育的限制因子,在此不做考虑。根据谷子不同生长阶段对温度和水分的不同,采用层次分析法^[22-23],确定各时段(旬)温度和降水适宜度的权重(表3)。时段气候适宜度采用公式(4)计算。

$$S_i(t,r) = kt_i \times S_i(t) + kr_i \times S_i(r) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中: $S_i(t,r)$ 为某旬气候适宜度; kt_i 、 kr_i 为旬温度、降水适宜度权重。

在作物不同发育阶段,气候条件的差异程度对其生长发育以及产量形成的影响不同。仍采用层次分析法,确定各时段气候适宜度的权重,累加后得到作物全生育期气候适宜度(表4)。采用公式(5)计算。

$$S(t,r) = \sum_{i=1}^n [k_i \times S_i(t,r)] / n \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中: $S(t,r)$ 为整个发育期气候适宜度; k_i 为某旬气候适宜度权重; n 为旬数。

表3 赤峰地区谷子旬温度、降水适宜度权重

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月上旬
kt_i	0.500	0.491	0.485	0.470	0.445	0.424	0.400
kr_i	0.500	0.509	0.515	0.530	0.555	0.576	0.600
旬	7月中旬	7月下旬	8月上旬	8月中旬	8月下旬	9月上旬	9月中旬
kt_i	0.368	0.356	0.368	0.408	0.497	0.583	0.651
kr_i	0.632	0.644	0.632	0.592	0.503	0.417	0.349

表4 赤峰地区谷子气候适宜度逐旬权重

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月上旬
k_i	0.0285	0.0372	0.0484	0.0576	0.071	0.0787	0.0967
旬	7月中旬	7月下旬	8月上旬	8月中旬	8月下旬	9月上旬	9月中旬
k_i	0.1146	0.125	0.1181	0.0842	0.0604	0.0456	0.0341

1.2.2 模型检验

利用近34 a大田谷子单产资料,提取近30 a对应的气象产量,通过分析气候适宜度与气象产量的关系,来检验构建的适宜度模型和指标的客观程度。一般认为^[24],作物产量由趋势产量、气象产量和随机噪声三部分组成。气象产量的提取方法为:

$$Y_w = Y - Y_l - \varepsilon \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中, Y_w 为气象产量; Y 为实际产量; Y_l 为趋势产量,用连续5 a实际产量的滑动平均模拟; ε 为随机噪声,因随机噪声既无规律,所占比重也较小,因此可以忽略。

2 结果与分析

2.1 赤峰地区谷子旬气候适宜度评价

将逐日温度适宜度转化为与降水适宜度相同

的时间尺度,通过公式(4)计算得到逐旬气候适宜度。对近30 a赤峰地区谷子气候适宜度序列由低到高进行排序,取其前20%、后20%分别作为谷子不适宜、最适宜的评价指标,两者间的区域为适宜,组中值则表征了气候适宜度的一般水平和集中趋势。

将逐旬评价指标绘成曲线(图1)可以看出,赤峰地区谷子气候适宜度指标在整个生育期呈下降趋势,但在乳熟期~成熟期,指标又有所上升。分析认为,在谷子的营养生长阶段,对温度和水分的要求相对较低,而进入拔节期后对水分的需求猛增,而同期降水年际间极不稳定,从而使得气候适宜度指标降低。在8月上旬出现一个明显的波谷,而此时段是谷子开花授粉期、对温度要求较高,气温过低会造成花药不易开裂、过高会

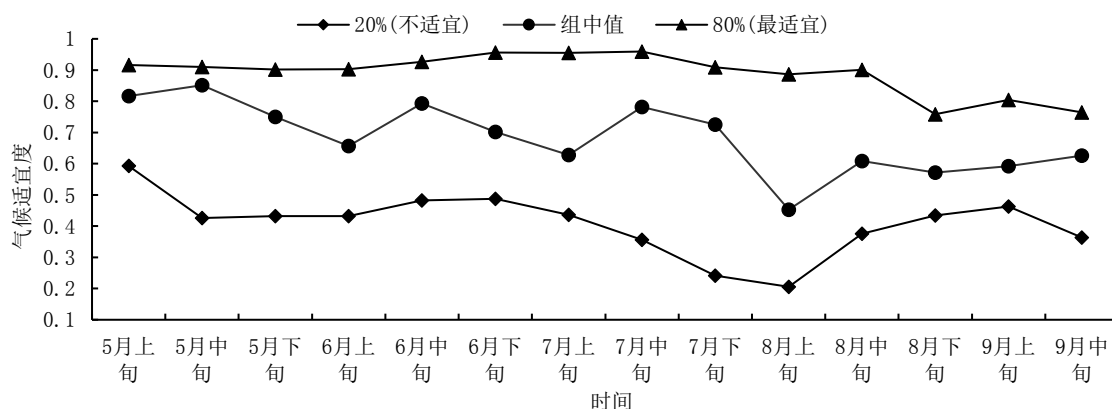


图1 赤峰地区谷子气候适宜度评价指标

影响花粉生活力,使授粉不良,因此导致此时段气候适宜度偏低。

从发育阶段来看,赤峰地区谷子营养生长阶段气候适宜度普遍较高,气候条件有利于谷子的生长发育;而在生殖生长阶段,由于对气候条件要求较高,气候适宜度则有所降低。从整个发育期来看,大多数年份赤峰地区气候条件能够满足谷子正常生长发育所需。

2.2 赤峰地区谷子全生育期气候适宜度评价

运用公式(5)计算赤峰地区近30 a谷子全生育期气候适宜度(图2)。由图2可见,赤峰地区谷子气候适宜度均在0.5以上,70%年份达到了0.6以上,说明气候条件非常适合谷子生长。加之5月上旬至9月中旬10℃活动积温均在2300℃·d以上,能够充分满足谷子生长发育对热量的需求,因此,赤峰境内大部地区均为谷子的适宜种植区。

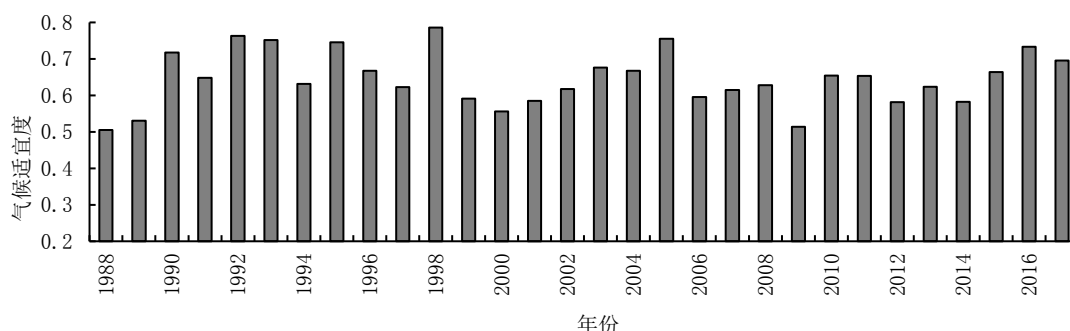


图2 1988~2017年赤峰地区谷子气候适宜度

2.3 赤峰地区谷子气候适宜度与气象产量的关系

应用SPSS软件对近30 a赤峰地区谷子气候适宜度和气象产量进行Pearson相关性分析,结果表明,二者具有显著的相关性($r=0.4644$),且在

0.01水平显著。将谷子气候适宜度和气象产量进行曲线拟合(图3),由图3可以看出,气候适宜度越高,谷子增产越显著。因此,该模型能够较客观地反映气候条件对谷子生长发育及产量形成的影响,可以用来评价赤峰地区谷子生长的气候适宜度水平及其动态变化。

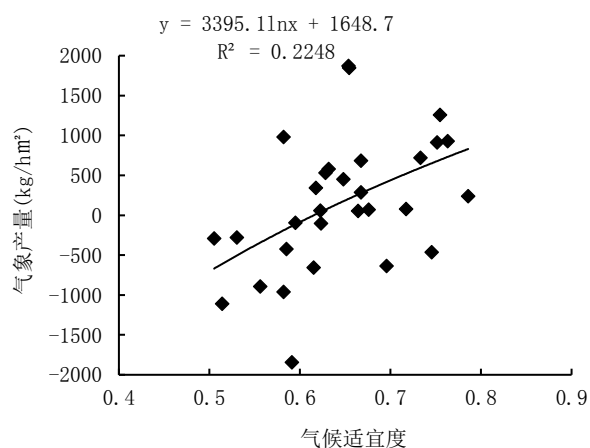


图3 赤峰地区谷子气候适宜度与气象产量的关系

3 结论与讨论

基于模糊数学方法,根据谷子各发育时段对温度、水分的不同需求,构建了逐旬温度、降水气候适宜度模型和评价指标。运用构建的评价模型,对赤峰地区谷子气候适宜度评估后发现,在谷子营养生长阶段气候适宜度普遍较高,在生殖生长阶段,由于对气候条件要求高,气候适宜度便有所降低,从整个发育期来看,赤峰地区气候条件能够满足谷子正常生长发育所需。其中,在谷子开花授粉期,由于对温度要求较为严苛,此

时段气候适宜度偏低。

在构建降水适宜度模型时,未充分考虑前期降水的累积效应,但将时间尺度设定为旬,能够与当地降水过程的时间周期有效对应,可以在一定程度上抵消此效应的影响,具有实际应用意义,只是精细程度稍低。

构建谷子气候适宜度评价模型所采用的气象数据均来自国家气象观测站,而观测站大都布设在地势平坦的地点,未考虑地形的影响。因此,针对复杂地形,应充分考虑局地小气候特点,在挖掘、利用气候资源的同时,规避灾害性气候所带来的风险。另外,本气候适宜度评价模型是针对近30 a赤峰地区的水热条件和谷子主栽品种构建的,在今后实际应用中,应结合未来气候条件的演变^[25]、谷子品种的更迭,适时调整相应的参数。

参考文献:

- [1] 侯英雨,张艳红,王良宇.东北地区春玉米气候适宜度模型[J].应用生态学报,2013,24(11):3207-3212.
- [2] 孙小龙,闫伟兄,武荣盛,等.基于气候适宜度建立河套灌区玉米生育期模拟模型[J].中国农业气象,2014,35(1):62-67.
- [3] 李树岩,陈怀亮.河南省夏玉米气候适宜度评价[J].干旱气象,2014,32(5):751-759.
- [4] 王彦平,阴秀霞,张 昉,等.内蒙古东北部大豆气候适宜度等级及种植区划研究[J].中国生态农业学报,2018,26(7):948-957.
- [5] 谭方颖,宋迎波,毛留喜,等.东北地区玉米气候适宜度评价指标的确定与验证[J].干旱地区农业研究,2016,34(5):234-239.
- [6] 高红霞,武荣盛,刘 洋.内蒙古兴安盟玉米气候适宜度模型构建[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2017,38(1):23-28.
- [7] 王 展,刘荣花,薛 明,等.基于气候适宜度的夏玉米发育期模拟模型[J].气象科学,2015,35(1):77-82.
- [8] 李树岩,彭记永,刘荣花.基于气候适宜度的河南夏玉米发育期预报模型[J].中国农业气象,2013,34(5):576-581.
- [9] 黄淑娥,田 俊,吴慧峻.江西省双季水稻生长季气候适宜度评价分析[J].中国农业气象,2012,33(4):527-533.
- [10] 马兴祥,邓振镛,李栋梁,等.甘肃省春小麦生态气候适宜度在适生种植区划中的应用[J].应用气象学报,2005,16(6):820-827.
- [11] 李昊宇,王建林,郑昌玲,等.气候适宜度在华北冬小麦发育期预报中的应用[J].气象,2012,38(12):1554-1559.
- [12] 邱美娟,王冬妮,王美玉,等.近35年吉林省玉米气候适宜度及其变化[J].东北农业科学,2019,44(1):70-78.
- [13] 宫丽娟,李宇光,王 萍,等.黑龙江省玉米气候适宜度变化分析[J].吉林农业科学,2012,37(5):75-80.
- [14] 杨 东,郭盼盼,刘 强,等.基于模糊数学的甘肃陇南地区农作物气候适宜性分析[J].西北林业科技大学学报,2010,38(7):98-104,110.
- [15] 高亮之,金之庆,黄 耀,等.水稻钟模型-水稻发育动态的计算机模型[J].中国农业气象,1989,10(5):3-9.
- [16] 孙成明,庄恒扬,杨连新,等.FACE水稻生育期模拟[J].生态学报,2007,27(2):613-619.
- [17] 郑国清,高亮之.玉米发育期动态模拟模型[J].江苏农业学报,2000,16(1):15-21.
- [18] 吕贞龙,徐寿军,庄恒扬.作物发育温度非线性效应Beta模型的特征分析[J].生态学报,2008,28(8):3737-3743.
- [19] 杨霏云,郑秋红,罗蒋梅,等.实用农业气象指标[M].北京:气象出版社,2015:21-23.
- [20] 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.
- [21] 侯 琼,王海梅,云文丽,等.内蒙古河套灌区春玉米作物系数试验研究[J].应用气象学报,2016,27(4):417-425.
- [22] 刘莹昕,刘 颀,王威尧.层次分析法的权重计算及其应用[J].沈阳大学学报(自然科学版),2014,26(5):372-375.
- [23] 王元云,何奕忻,鞠佩君,等.层次分析法在若尔盖湿地退化研究中的应用[J].应用与环境生物学报,2019,25(1):46-52.
- [24] 朱自玺,刘荣花,方文松,等.华北地区冬小麦干旱评估指标研究[J].自然灾害学报,2004,12(1):145-150.
- [25] 杨俊玲,梁凤霞,王晓腾.吉林地区气候变化对农业生产的影响[J].吉林农业科学,2012,37(2):55-58.

(责任编辑:王丝语)