

基于气候适宜度指数的吉林省春玉米单产预报研究

王丽伟¹, 邱美娟^{2*}, 邱译萱³, 许 晖¹, 徐 昕¹, 马云飞¹

(1. 吉林省气象信息网络中心, 长春 130062; 2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 3. 吉林省气候中心, 长春 130062)

摘要: 利用吉林省 1980~2014 年春玉米产量、生育期以及逐日气象资料, 从春玉米生长发育的上限温度、最适温度、下限温度、需水量和需光特性等生物学特性出发, 构建春玉米生长季逐旬温度、降水、日照时数及综合气候适宜度模型, 经过与相对气象产量进行相关以及回归分析, 根据气候适宜度指数建立 7~8 月逐旬的产量动态预报模型, 对吉林省春玉米产量进行动态预报。结果表明: 各时段建立的产量预报模型均通过 0.01 水平的有效性检验, 能够客观反映春玉米生长期气象要素状况; 各预报模型的历史回代检验平均准确率均大于 88.9%, 均方根误差小于 15.0%; 历史回代拟合的气象产量与实际气象产量在年际变化上具有较好的一致性, 两者相关性通过 0.01 水平的显著性检验; 1981~2011 年间各旬单产趋势预报准确年份在 21 年以上。各时段预报模型对 2012~2014 年的外推预报结果不稳定, 准确率分别在 97.0%、88.5%、66.8% 以上, 趋势预报 2014 年不准确。总体上, 建立的产量预报模型可为吉林省春玉米产量预报提供重要依据。

关键词: 春玉米; 气象产量; 气候适宜度; 准确率; 农业气象

中图分类号: S165+.27

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2020)01-0068-05

Yield Prediction of Spring Maize Based on Climate Suitability Index in Jilin Province

WANG Liwei¹, QIU Meijuan^{2*}, QIU Yixuan³, XU Hui¹, XU Xin¹, MA Yunfei¹

(1. Meteorological Information Network Center of Jilin Province, Changchun 130062; 2. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing 100081; 3. Climate Center of Jilin Province, Changchun 130062, China)

Abstract: Considering the upper limit temperature, the optimal temperature, the lower limit temperature, the water and sunshine demand of spring maize growth and development, the model of ten-day temperature, precipitation, sunshine hours and comprehensive climate suitability of spring maize was established, which took advantage of spring maize yield, developmental stages, and daily meteorological data from 1980 to 2014 of Jilin Province. And based on the correlation and regression analysis with meteorological yield, dynamic yield forecast model of spring maize yield based on climate suitability index of each ten-day during July and August were established. The results showed that the yield forecast models in different periods all passed the validity test at the level of 0.01, and could reflect the status of meteorological factors in growing stages of spring maize objectively. The average accuracy rate of the yield dynamic prediction model of historical fitting test was all greater than 88.9% and the standardized RMSE was less than 15.0%. Interannual variation between actual relative meteorological output and relative meteorological output by yield dynamic prediction model had good consistency, and the correlation between them passed the significance test at the level of 0.01. From 1981 to 2011, the yield tendency forecast accuracy of every ten days was more than 21 years. The extrapolation forecast accuracy of 2012-2014 in each period was unstable, which was 97.0%, 88.5% and 66.8%, respectively. The tendency prediction of year 2014 was inaccurate. Generally, the production forecast model was set up to provide important basis for agricultural meteorological yield forecast of Jilin Province.

收稿日期: 2018-10-12

基金项目: 中国气象局沈阳大气环境研究所开放基金(2016SYIAE02); 吉林省气象局项目(201608)

作者简介: 王丽伟(1985-), 女, 工程师, 硕士, 从事气候变化与资源开发研究。

通讯作者: 邱美娟, 女, 博士, 高级工程师, E-mail: qmjcams@163.com

Key Words: Spring maize; Meteorological yield; Climatic suitability; Accuracy rate; Agricultural meteorology

春玉米是吉林省主要作物之一,种植面积较广,其生长和发育每时每刻都受降水、温度、日照等气候因素影响,利用气象资料对春玉米作出及时、准确的产量预报对我国粮食生产和安全有重要影响^[1-2]。自20世纪70年代末以来,气象部门在大量农业气象生产预报的基础上建立了一套相对成熟的气象业务服务体系^[3-4],农业气象产量预报最早基于农学预报方法及统计学模型预报方法^[5-6];近年来,诸多学者对作物产量动态和跟踪预报技术进行了深入研究,提出了包括气候适宜度指数^[7-10]在内的多种农业气象产量动态预报方法;与此同时,随着气象遥感技术的迅速发展,利用遥感等现代气象科技,作物产量预报得到系统深入研究^[11];现阶段,各种作物生长发育模拟模型已成为作物预报最新的研究动态^[12-14]。其中,利用气候适宜度指数建立的产量预报模型被广泛应用^[15-16]。国内多位学者在此方面已经取得了一定的研究成果^[17-20]。但是,气候适宜度指数方法在吉林省春玉米产量预报中的应用研究尚不多见。受地理条件和气候的影响,不同地区作物生长发育有较大差异,气候适宜度评价模型及指标有很大的区域适用性^[21]。因此,有必要根据不同区域的作物生长发育情况,建立不同的气候适宜度模型,实现提高当地农业气象预报水平的目的。

吉林省地处东北地区中部,受全球气候变暖影响,各种农业气象灾害发生频繁^[22-24],加剧了农业生产的不确定性。而春玉米是吉林省主要粮食作物之一,播种面积占粮食作物的60%左右,产量占粮豆总产的70%以上^[25],因此,对于吉林省春玉米的预报研究尤为重要。本文利用春玉米生长期内的气象资料,根据春玉米生长发育的不同阶段特征,构建了吉林省气候适宜度指数的产量动态预报模型,为吉林省农业气象产量动态预报提供合理准确的技术方法,从而更好地为当地百姓生产生活及政府决策服务。

1 资料与方法

1.1 资料处理

春玉米产量资料来源于吉林省统计局,包括全省1980~2014年春玉米总产量、种植面积、单产及代表站点生育期观测数据。气象资料来源于吉林省气象信息网络中心,包括50个气象站点1981~2014年历年逐日气象要素值(日最高气

温、日最低气温、日光照时数、日降水量)资料。

为了分析气象条件变化对产量的影响,对春玉米单产作如下处理,即:

$$\Delta Y_i = (Y_i - Y_{i-1}) / Y_{i-1} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

式中,*i*代表第*i*年,*i*-1为第*i*年的上一年。 ΔY_i 是第*i*年与第*i*-1年春玉米单产丰歉值;*Y_i*、*Y_{i-1}*分别为第*i*年和第*i*-1年春玉米单产。

1.2 适宜度模型的建立

温度适宜度为:

$$\left\{ \begin{aligned} F(t_{ij}) &= \frac{(t_{ij} - t_l)(t_h - t_{ij})^B}{(t_o - t_{ij})(t_h - t_o)^B} \\ B &= \frac{t_h - t_o}{t_o - t_l} \dots\dots\dots(2) \\ F(t_{ik}) &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F(t_{ij}) \\ F(t_k) &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m F(t_{ik}) \end{aligned} \right.$$

式中,*i*为站序,*j*为日序,*k*为旬序(以春玉米播种日所在旬为第1旬),*F*(*t_{ij}*)为第*i*站第*j*日温度适宜度,*t_{ij}*为第*i*站第*j*日的日平均气温。*t_l*、*t_h*、*t_o*分别为春玉米某发育期内所需最低温度、最高温度和最适宜温度^[23]。当温度适宜度计算值为负值时,赋值零。*F*(*t_{ik}*)为第*i*站第*k*旬的温度适宜度,*n*为每一旬所包含天数,为8、9、10或者11。*F*(*t_k*)为区域的第*k*旬温度适宜度,*m*为区域内所包含的站点数。日照时数适宜度、降水适宜度、气候适宜度和气候适宜度指数的计算均参考文献[14]。

2 结果与分析

2.1 气候适宜度指数检验

对吉林省1981~2011年春玉米不同的生育时段气候适宜度指数与相对气象产量进行相关分析,受篇幅限制,本文仅以7、8月各旬为例。结果显示(表1),各预报不同的时间段两者相关性都通过了0.01显著性检验水平,即气候越适宜,单产丰歉值越高,说明构建的春玉米气候适宜度指数模型能够满足业务服务的需求。图1为播种分别至7月下旬、8月下旬的气候适宜度指数与春玉米相对气象产量的年际变化图,由图1可知不同时期的气候适宜度指数和春玉米相对气象产量年际变化有相当高的一致性。

因此,利用春玉米单产丰歉值和不同生育阶

段的气候适宜度指数建立一元线性回归方程,建

表1 春玉米播种至不同生育阶段气候适宜度指数与单产丰歉值的相关系数

	相关系数	样本长度	检验结果
7月上旬	0.625	31	>P(0.01)=0.456
7月中旬	0.640	31	>P(0.01)=0.456
7月下旬	0.642	31	>P(0.01)=0.456
8月上旬	0.640	31	>P(0.01)=0.456
8月中旬	0.641	31	>P(0.01)=0.456
8月下旬	0.656	31	>P(0.01)=0.456

立不同生育阶段的春玉米产量动态预报模型:

$\Delta Y = a \times CI + b \dots\dots\dots(3)$

式中,ΔY为单产丰歉值,CI为播种期至某一

阶段气候适宜度指数,a、b为拟合系数。

2.2 产量动态预报模型的建立

利用吉林省1981~2011年的日气温、日降水量和日光照时数以及春玉米产量资料构建不同时期气候适宜度指数,建立春玉米从播种到任意旬终止的产量动态预报模型。由公式(1)可得,产量预测值 $Y_i = (\Delta Y_i + I) \times Y_{i-1}$ 。受篇幅限制,本文仅列出7~8月逐旬产量动态预报模型,详见表2。由表2可知,不同时间段的预报模型有效性检验 $P < 0.01$,说明建立的动态预报模型可以客观反映吉林省春玉米生长期内气象要素情况。

2.3 产量动态预报模型的检验及应用

2.3.1 单产预报的历史回代检验

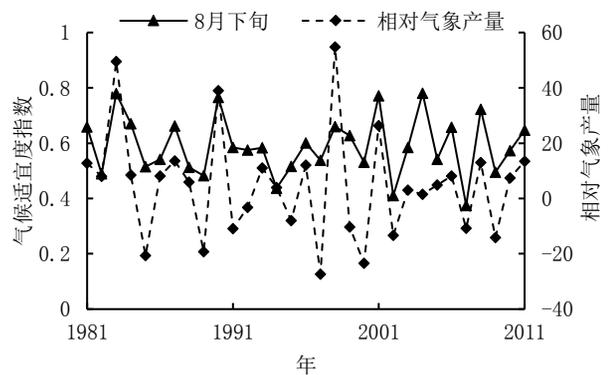
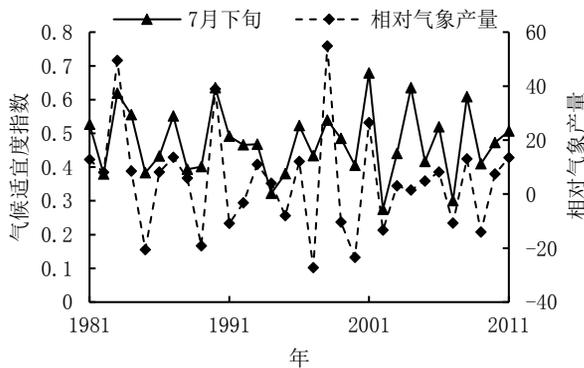


图1 吉林省春玉米播种至不同阶段气候适宜度指数与相对气象产量的年际变化

表2 基于气候适宜度指数(CI)不同时段春玉米单产丰歉值(ΔY)预报模型

预报时间	产量丰歉预报模型	F值	样本长度	检验结果
7月上旬	$\Delta Y = 129.961 \times CI - 51.144$	18.582	31	>P(0.01)=7.602
7月中旬	$\Delta Y = 132.669 \times CI - 40.176$	20.164	31	>P(0.01)=7.602
7月下旬	$\Delta Y = 123.179 \times CI - 53.606$	20.325	31	>P(0.01)=7.602
8月上旬	$\Delta Y = 121.713 \times CI - 57.621$	20.165	31	>P(0.01)=7.602
8月中旬	$\Delta Y = 121.493 \times CI - 53.641$	20.251	31	>P(0.01)=7.602
8月下旬	$\Delta Y = 118.536 \times CI - 65.301$	21.914	31	>P(0.01)=7.602

将1981~2011年资料代入上述建立的春玉米产量动态预报模型,对春玉米产量进行历史回代统计并检验(表3)。按照单年预报准确率= $[1 - (\text{预报单产} - \text{实际单产}) / \text{实际单产}] \times 100\%$,取各年准确率平均值作为多年平均准确率。模型历史回代的拟合检验平均准确率都大于88.0%,其中,准确率≥90%的占总体的56.5%,准确率在80%~90%、70%~80%和<70%分别占26.9%、13.4%和3.2%,各旬预报准确率的平均值为89.0%。30 a单产预报趋势准确的年份都在21年以上。模型历史拟合的标准化均方根误差RMSE都小于15.0%,表明模型的模拟性能整体较好。模型中历史拟合的

表3 1981~2011年不同生育时段的产量预报模型历史回代检验结果

预报时间	模型历史回代检验结果		均方根误差
	趋势预报准确年数	平均准确率	
7月上旬	21	88.9	14.24
7月中旬	23	88.9	14.18
7月下旬	24	88.9	14.12
8月上旬	22	89.1	14.16
8月中旬	22	89.1	14.19
8月下旬	23	89.1	14.08

相对气象产量与实际的相对气象产量的相关性都通过了0.01显著性检验水平,相关关系较好(表4)。由图2可知,除个别年份外,模型拟合的气象产量与

实际的气象产量在年际变化上基本一致。

表4 春玉米不同生育时间段的产量预报模型历史拟合的气象产量与实际气象产量相关系数

	相关系数	样本长度	检验结果
7月上旬	0.625	31	$>P(0.01)=0.456$
7月中旬	0.640	31	$>P(0.01)=0.456$
7月下旬	0.642	31	$>P(0.01)=0.456$
8月上旬	0.641	31	$>P(0.01)=0.456$
8月中旬	0.642	31	$>P(0.01)=0.456$
8月下旬	0.656	31	$>P(0.01)=0.456$

2.3.2 单产动态预报

利用7~8月不同时间段建立的产量动态预报模型对2012~2014年吉林省春玉米单产进行外推动态预报(表5)。从表5可见,2012年不同时间段的预报准确率较高,整体在97.0%以上,2013年不同时段预报准确率在88.5%~92.7%之间,而

表5 2012~2014年不同生育时段产量预报模型外推动态预报结果 %

预报时间	单产预报准确率			趋势预报		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
7月上旬	98.5	92.7	66.8	√	√	×
7月中旬	97.0	92.3	67.8	√	√	×
7月下旬	99.1	89.6	70.9	√	√	×
8月上旬	99.8	89.7	72.9	√	√	×
8月中旬	99.9	89.2	72.7	√	√	×
8月下旬	99.9	88.5	70.3	√	√	×

注:√表示趋势预报准确,×表示趋势预报不准确

2014年各时段预报准确率普遍较低,在66.8%~72.9%之间。从趋势预报结果可知,2012年和2013年不同时段趋势预报都准确,但是2014年的趋势预报不准确。

3 结论与讨论

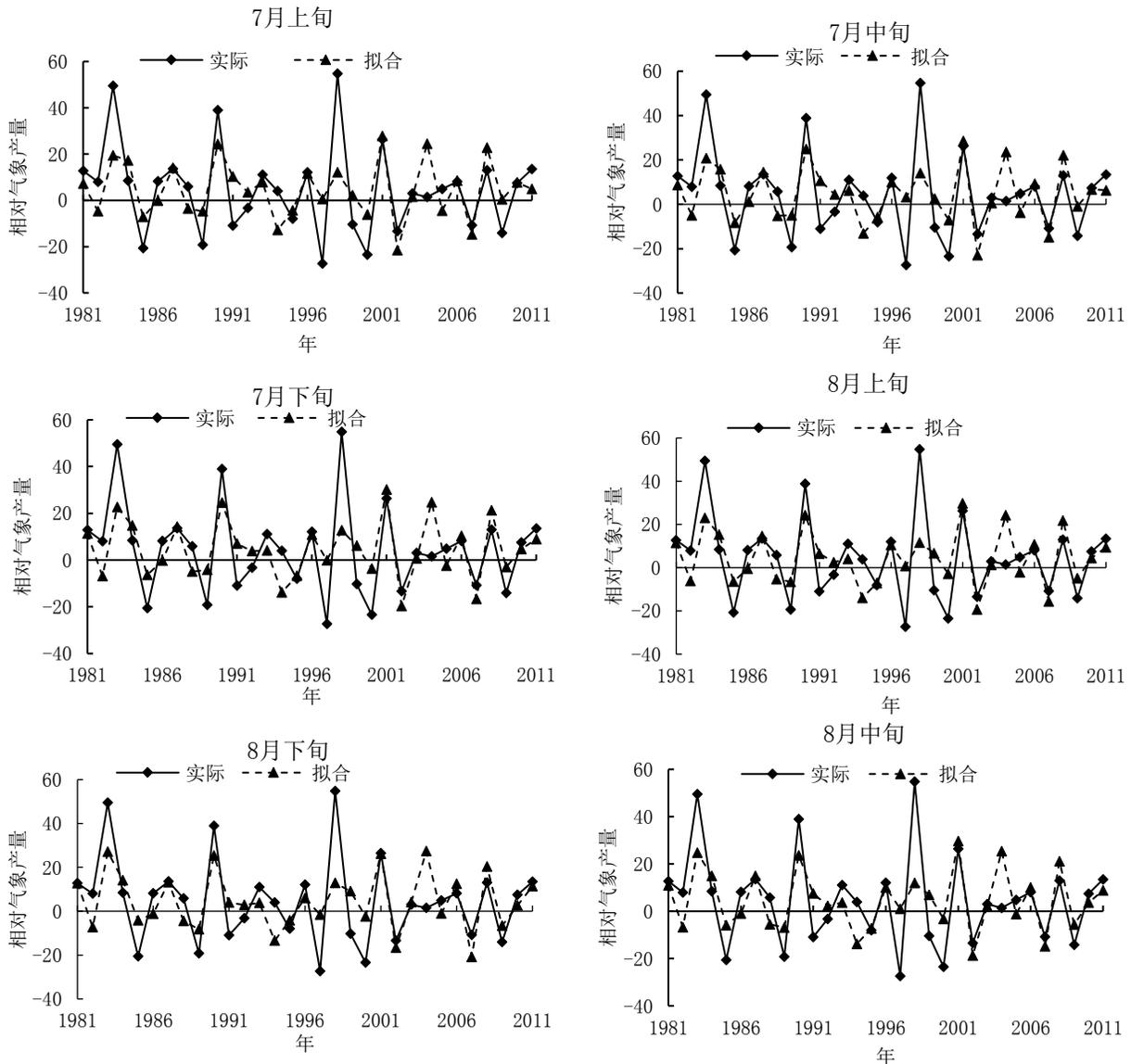


图2 不同时间段产量预报模型历史拟合的相对气象产量与实际的相对气象产量年际变化

(1) 本文利用气象因子数据和作物资料建立了吉林省春玉米不同时段的气候适宜度模型, 通过气候适宜度与相对气象产量相关系数, 求得气候适宜度指数, 然后建立相对气象产量与气候适宜度指数之间的关系模型, 对吉林省春玉米单产进行预报。

(2) 研究表明, 构建的气候适宜度指数与单产丰歉值的相关性均超过了0.01信度水平, 年际变化有非常高的一致性, 表明构建的气候适宜度指数模型能够反映吉林省春玉米生长期气象要素的适宜程度及变化情况。

(3) 构建的产量动态预报模型均超过了0.01信度水平检验。模型历史回代检验各旬平均准确率在88.9%以上; 30 a间各旬单产趋势预报准确超过21年; 均方根误差均小于15.0%; 不同时期模型历史拟合的单产丰歉值与实际的单产丰歉值的相关性均通过了0.01信度检验。2012~2014年外推预报结果不稳定, 2012年、2013年预报准确率较高, 分别在97.0%、88.5%以上, 且各时段趋势预报均准确; 而2014年预报准确率较低, 在66.8%以上, 且各时段趋势预报不准确。

近些年利用气候适宜度指数方法对农业气象产量进行预报已经取得一定成果, 但该方法在吉林省农业产量动态预报中还未使用, 因此, 本研究针对吉林省主要作物春玉米, 利用气候适宜度指数方法构建吉林省春玉米单产预报模型。从本文的研究结果来看, 基于气候适宜度指数的产量预报方法在吉林省春玉米单产预报中基本可以应用, 但是存在相对的不稳定性, 所以, 需要结合实际存在问题进行进一步研究。

参考文献:

- [1] 庄立伟, 王馥棠, 王石立. 农业气象产量预测业务系统的研制[J]. 应用气象学报, 1996, 7(3): 294-299.
- [2] 周海涛, 郝彩环, 纪军建, 等. 吉林省玉米品种基本性状的选择趋势分析[J]. 东北农业科学, 2016(4): 18-21.
- [3] 王馥棠. 我国小麦产量农业气象预测模式的初步研究[J]. 科学通报, 1983(9): 54-57.
- [4] 王馥棠, 陈京玲. 作物气象产量模糊分类预报探讨[J]. 中国农业气象, 1988, 9(3): 35-37.
- [5] 刘树泽, 张宏铭, 蓝鸿第. 作物产量预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 1987: 11-35.
- [6] 王书裕. 作物产量的预报方法[J]. 气象学报, 1984, 42(3): 349-355.
- [7] 邱美娟, 宋迎波, 王建林, 等. 新型统计检验聚类方法在精细化农业气象产量预报中的应用[J]. 中国农业气象, 2014, 35(2): 187-194.
- [8] 邱美娟, 宋迎波, 王建林, 等. 耦合土壤墒情的气候适宜度指数在山东省冬小麦产量动态预报中的应用[J]. 中国农业气象, 2015, 36(2): 187-194.
- [9] 侯英雨, 王良宇, 毛留喜, 等. 基于气候适宜度的东北地区春玉米发育期模拟模型[J]. 生态学杂志, 2012, 31(9): 2431-2436.
- [10] 代立芹, 李春强, 康熙言, 等. 基于气候和土壤水分综合适宜度指数的冬小麦产量动态预报模型[J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 519-526.
- [11] 张建华. 作物估产的遥感—数值模拟方法[J]. 干旱地区资源与环境, 2000, 14(2): 82-86.
- [12] 李明星, 刘建栋, 王馥棠, 等. 分布式水文模型在陕西省冬小麦产量模拟中的应用[J]. 水土保持通报, 2008, 28(5): 148-154.
- [13] Boogaard H, Wolf J, Supit I, et al. A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumn-sown wheat across the European Union[J]. Field Crops Research, 2013, 143: 130-142.
- [14] Ma G, Huang J, Wu W, et al. Assimilation of MODIS-LAI into the WOFOST model for forecasting regional winter wheat yield [J]. Mathematical & computer modeling, 2013, 58(3-4): 634-643.
- [15] 邱美娟, 郭春明, 王冬妮, 等. 基于气候适宜度指数的吉林省大豆单产动态预报研究[J]. 大豆科学, 2018(3): 445-457.
- [16] 帅细强, 陆魁东, 黄晚华. 不同方法在湖南早稻产量动态预报中的比较[J]. 应用气象学报, 2015, 26(1): 103-111.
- [17] 刘伟昌, 陈怀亮, 余卫东, 等. 基于气候适宜度指数的冬小麦动态产量预报技术研究[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(2): 21-24.
- [18] 李树岩, 刘伟昌. 基于气象关键因子的河南省夏玉米产量预报研究[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(5): 223-227.
- [19] 魏瑞江, 宋迎波, 王鑫. 基于气候适宜度的玉米产量动态预报方法[J]. 应用气象学报, 2009, 20(5): 622-627.
- [20] 李曼华, 薛小萍, 李鸿怡. 基于气候适宜度指数的山东省冬小麦产量动态预报[J]. 中国农学通报, 2012, 28(12): 291-295.
- [21] 张建军, 马晓群, 许莹. 安徽省一季稻生长气候适宜性评价指标的建立与试用[J]. 气象, 2013, 39(1): 88-93.
- [22] 张继权, 梁警丹, 周道玮. 基于GIS技术的吉林省生态灾害风险评价[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1765-1770.
- [23] 王军, 王洪丽, 张雪清. 吉林省玉米生产自然灾害风险评估与气象灾害产量的影响因素研究[J]. 玉米科学, 2011, 19(5): 143-147.
- [24] 邱美娟, 王冬妮, 王美玉, 等. 近几十年吉林省水稻品质气候资源变化状况[J]. 东北农业科学, 2018(2): 10-12.
- [25] 马树庆. 吉林省农业气候研究[M]. 北京: 气象出版社, 1994: 33.

(责任编辑: 刘洪霞)