

DOI:10.19462/j.cnki.zgzy.20250121002

# 齐齐哈尔地区大豆产量动态预报方法

薛瑶<sup>1</sup> 吕东辉<sup>2</sup> 关宁欣<sup>1</sup> 叶倩竹<sup>3</sup> 李瑶<sup>4</sup> 王永超<sup>1</sup> 于晶<sup>1</sup>( <sup>1</sup>齐齐哈尔市气象局,黑龙江齐齐哈尔 161000; <sup>2</sup>甘南县气象局,黑龙江甘南 162100; <sup>3</sup>鹤岗市气象局,黑龙江鹤岗 154100;<sup>4</sup>大兴安岭地区气象局,黑龙江大兴安岭 165000 )

**摘要:**利用齐齐哈尔市 10 个气象站 2014–2023 年逐日气象数据和大豆发育期及产量资料,筛选出影响大豆产量的关键气象因子,构建齐齐哈尔地区大豆产量动态预报模型,以期在实际农业生产提供数据支持。结果表明:第三真叶期、结荚期、鼓粒期、成熟期日照时数,出苗期、第三真叶期、开花期、鼓粒期平均气温,出苗期、第三真叶期、鼓粒期最高气温,第三真叶期、开花期、鼓粒期、成熟期最低气温,第三真叶期、鼓粒期、成熟始期降水量对产量的影响较大。此外,建立基于关键气象因子以候为尺度的大豆动态产量预报模型,并应用 2023–2024 年气象资料进行回代检验,预报方程均通过 0.01 水平极显著性检验,结果证明模型预报准确度较高,自 7 月 11 日起产量预报平均准确率达 90% 以上,可满足日常业务服务要求,对农业生产和维护粮食安全具有重要支撑作用,同时该预报模型可对相邻地市大豆主产区产量预报具有借鉴作用。

**关键词:**大豆;产量;产量预报;回代检验;准确率

## Dynamic Forecast Method of Soybean Yield in Qiqihar Area

XUE Yao<sup>1</sup>, LYU Donghui<sup>2</sup>, GUAN Ningxin<sup>1</sup>, YE Qianzhu<sup>3</sup>, LI Yao<sup>4</sup>, WANG Yongchao<sup>1</sup>, YU Jing<sup>1</sup>( <sup>1</sup>Qiqihar Meteorological Bureau, Qiqihar 161000, Heilongjiang; <sup>2</sup>Gannan County Meteorological Bureau, Gannan 162100,Heilongjiang; <sup>3</sup>Hegang Meteorological Bureau, Hegang 154100, Heilongjiang; <sup>4</sup>Greater Khinganling Regional

Meteorological Bureau, The Greater Khingan Mountains 165000, Heilongjiang )

气象条件影响着产量的波动,气候资源的适配性决定了粮食的收成丰歉、品质状况<sup>[1]</sup>。齐齐哈尔市作为国家重要的大豆生产地,地理条件十分优越,种植面积逐年上升,但气象条件存在着不确定性,因此,气象产量预报一直是气象部门和农业部门的重点研究内容。

目前,已有不少学者对作物产量预报方法进行了研究<sup>[2-9]</sup>,并初步建立起了一套农业气象服务体系,为政府决策提供理论支撑。朱海霞等<sup>[10]</sup>利用积分回归法建立了黑龙江省代表站的大豆、水稻和春

玉米各单产动态预报模型;王贺然等<sup>[11]</sup>分别建立了基于关键气象因子和气候适宜度的辽宁省大豆逐候产量动态预报模型,并进行回代检验和预报检验;金林雪等<sup>[12]</sup>建立了适用于内蒙古地区的发育期预报模型及以旬为步长的产量预报模型;邱美娟等<sup>[13]</sup>构建大豆生长季逐旬温度、降水、日照时数及综合气候适宜度模型,通过与相对气象产量进行相关和回归分析,建立了基于气候适宜度指数的 7–8 月逐旬产量动态预报模型,对吉林省大豆产量进行了动态预报;陈雪等<sup>[14]</sup>构建了基于气候适宜度指数的逐旬产

[5] 汪红. 小麦新品种安麦 8 号丰产稳产性分析. 种子, 2018, 37 (2): 123–124

[6] 朱小涛, 朱伟, 连少英, 李萌茵, 韩英, 张金民. 国审小麦品种商麦 167 丰产性、稳产性和适应性分析. 浙江农业科学, 2022, 63 (3): 460–462

[7] 夏云祥, 冯家春, 杨永华, 张桂芳, 柳申飞, 葛勇, 康苗苗. 小麦新品

种阜航麦 1 号高产稳产及广适性分析. 中国种业, 2023 (4): 64–68

[8] 夏国军, 李磊, 王新国, 张锋, 张立东, 马孝锋, 李巧云, 王翔, 康国章, 晁召飞. 小麦新品种厚德麦 981 丰产性、稳产性及适应性分析. 中国种业, 2024 (2): 114–118

( 收稿日期: 2025-02-07 )

量动态预报模型,对黑龙江省大豆产量进行动态预报。以上研究均在当地取得了很好的成效,但目前对齐齐哈尔地区大豆产量预测的研究并不多见,因此,建立基于关键气象因子的大豆产量动态预测模型变得尤为重要,以期为齐齐哈尔地区的大豆农业气象服务工作提供理论依据和技术支持。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区概况** 以齐齐哈尔地区为研究对象,齐齐哈尔市地处松嫩平原,横跨47°N,是国家重要的商品粮基地和畜牧业基地,是国家可靠的大粮仓和绿色有机高端食材大厨房<sup>[15]</sup>。近年来,为响应中央“大力扩大大豆和油料生产”安排<sup>[16]</sup>,大豆种植面积不断扩大,由1985年的26.78万hm<sup>2</sup>扩大到2020年88.71万hm<sup>2</sup>,产量由1985年的58.4万t增长到2020年155.7万t。

**1.2 数据资料来源** 气象资料为2014–2023年齐齐哈尔市10个国家级气象站5–9月逐日日照时数(h)、降水量(mm)、最高气温(℃)、最低气温(℃)、平均气温(℃),资料来源于黑龙江省气象数据中心。发育期及产量资料为齐齐哈尔市10个县(市)大豆发育期观测及产量记录资料,资料来源于齐齐哈尔市农业农村局。

**1.3 数据处理** 选取2014–2023年齐齐哈尔市大豆发育期平均值为常年观测值,即播种日期为5月10日,出苗为5月17日,第三真叶期为6月7日,开花期为7月7日,鼓粒期为8月21日,成熟期为9月22日。应用Excel 2010对数据进行处理分析及绘图,SPSS 23.0进行模型建立。

## 1.4 研究方法

**1.4.1 产量丰歉百分率** 采用王贺然等<sup>[11]</sup>的方法,相邻年份大豆产量丰歉百分率的计算表达式为: $\Delta Y_i(\%) = (Y_i - Y_{i-1}) / (Y_{i-1}) \times 100$ 。其中, $\Delta Y_i$ 为相对气象产量, $\Delta Y_i$ 和 $\Delta Y_{i-1}$ 分别为第*i*年和第*i-1*年的大豆单产。

**1.4.2 单产预报** 单产预报计算公式为: $Y'_i = (\Delta Y'_i - Y_{i-1}) / 100 + Y_{i-1}$ 。其中, $Y'_i$ 为第*i*年大豆单产预报值, $\Delta Y'_i$ 为第*i*年大豆单产丰歉预报值。根据唐余学等<sup>[17]</sup>的研究结论,预报时间应为关键气象因子所在时段下一旬的第1天。

**1.4.3 产量预报准确率** 产量预报准确率计算公式为: $A(\%) = [1 - |(Y'_i - Y_i) / Y_i|] \times 100$ 。

## 2 结果与分析

**2.1 气象因子与丰歉百分率的相关性分析** 对2014–2023年大豆生育期内关键气象因子与大豆产量丰歉百分率进行相关性分析(表1)。可以看出,与产量丰歉百分率呈显著相关的气象因子有13个,分别为6月3候(第三真叶期)、6月4候(第三真叶期)、7月5候(结荚期)和8月3候(鼓粒期)日照时数,5月4候(出苗期)、6月2候(第三真叶期)、6月3候(第三真叶期)、7月2候(开花期)平均气温,5月6候(第三真叶期)最高气温,5月1候(播种前期)、5月6候(第三真叶期)、8月2候(鼓粒期)最低气温,9月3候(成熟始期)降水量;与产量丰歉百分率呈极显著相关的气象因子有17个,分别为9月2候(鼓粒期)、9月3候(成熟始期)、9月5候(成熟期)日照时数,5月6候(第三真叶期)、8月3候(鼓粒期)、9月1候(鼓粒期)平均气温,5月4候(出苗期)、6月2候(第三真叶期)、8月3候(鼓粒期)最高气温,7月1候(开花期)、7月2候(开花期)、9月1候(鼓粒期)、9月3候(成熟始期)、9月5候(成熟期)最低气温,5月2候(播种期)、5月6候(第三真叶期)、8月3候(鼓粒期)降水量。由于5月1候大豆大部分尚未播种,9月5候大豆已成熟,故剔除5月1候最低气温和9月5候日照时数、最低气温对大豆产量的影响。

上述关键气象因子在一定程度上反映了大豆生育期内温、光、水的需求程度及与当地自然资源对大豆生长发育需求的满足程度。根据走访调查,得到齐齐哈尔地区大豆出苗期最适气温为13.0~16.0℃,近10年5月4候的平均气温为16.6℃,最高气温达27.4℃,高于大豆出苗期生长发育对温度的需求,表现为大豆产量丰歉百分率与5月4候平均气温和最高气温呈显著、极显著负相关。第三真叶期最适气温为21.0~25.0℃,最高气温为27.5~30.0℃,最低气温为9.5~13.0℃,而近10年5月6候的平均气温仅为16.9℃,平均最高气温为27.4℃,平均最低气温为7.5℃,均低于大豆该生育期对温度的需求,易导致花芽不能进行分化,表现为大豆产量丰歉百分率与5月6候平均气温、最高气温和最低气温呈显著或极显著正相关;近10年6月2候平均气温为18.4℃,平均最高气温为27.1℃,均低于第三真叶期生长发育需求,表现为大

表1 2014–2023年不同时期大豆产量丰歉百分率与关键气象因子的单相关系数

时间	日照时数	平均气温	最高气温	最低气温	降水量
5月1候	0.111	-0.322	0.738	-1.874*	0.443
5月2候	0.102	0.167	0.735	-1.270	-0.813**
5月3候	0.085	-0.073	0.058	0.090	0.017
5月4候	-0.011	-1.080*	-0.896**	0.457	0.050
5月5候	0.187	0.782	-0.293	0.200	0.175
5月6候	-0.012	2.248**	0.927*	2.079*	0.518**
6月1候	0.040	-0.146	0.231	-0.031	0.043
6月2候	0.151	1.816*	1.854**	1.393	-0.005
6月3候	0.235*	1.582*	0.738	0.869	0.036
6月4候	0.248*	0.241	0.857	-1.055	-0.050
6月5候	0.203	0.412	0.671	0.021	-0.032
6月6候	0.157	0.349	0.459	0.580	0.038
7月1候	0.107	0.828	0.304	2.011**	-0.028
7月2候	0.027	-1.375*	-0.793	-1.512**	0.056
7月3候	0.180	0.658	-0.650	1.013	-0.051
7月4候	-0.073	-0.470	0.119	0.264	0.036
7月5候	0.179*	-0.817	0.260	0.879	0.098
7月6候	-0.064	-0.821	-1.205	0.247	0.083
8月1候	0.025	-1.072	-0.895	0.117	0.028
8月2候	0.127	-0.094	-0.901	1.577*	-0.014
8月3候	-0.227*	-2.154**	-2.459**	-0.178	0.181**
8月4候	-0.037	-1.012	-0.070	-0.465	0.042
8月5候	0.049	0.770	0.326	-0.032	0.047
8月6候	-0.106	0.153	-1.199	0.414	0.027
9月1候	0.170	-2.758**	-0.474	-1.203**	0.047
9月2候	-0.429**	-0.102	0.539	-0.408	-0.156
9月3候	0.532**	-0.161	0.497	-1.918**	-0.280*
9月4候	-0.237	-0.579	-0.891	-0.057	0.036
9月5候	0.302**	-1.557	-0.793	-2.684**	-0.177
9月6候	0.210	-0.408	0.388	-0.239	-0.176

数字表示相关系数,负号为负相关,正号为正相关;\*,\*\*分别表示在0.05、0.01水平上存在显著、极显著相关性

豆产量丰歉百分率与6月2候平均气温和最高气温呈显著、极显著正相关;第三真叶期最适日照时数为每天9.9h,而实际6月3候平均气温为20.5℃,日照时数平均值为8.0h,6月4候日照时数平均值为8.3h,均未达到大豆生长发育需求,表现为大豆产量丰歉百分率与6月3候平均气温和日照时数、与6月4候日照时数均呈显著正相关。开花期最适温度为20.5~22.8℃,最低气温为15.7~15.8℃,近10年7月1候最低气温为16.3℃,略低于开花期限定最低气温,7月2候最低气温为16.6℃,平均气温

为23.2℃,均高于开花期最适温度,表现为大豆产量丰歉百分率与7月1候最低气温呈极显著正相关,与7月2候平均气温和最低气温呈显著、极显著负相关。结荚期最适日照时数为8.1h,近10年7月5候平均日照时数为6.4h,不能满足大豆结荚期对光照的需求,表现为大豆产量丰歉百分率与7月5候日照时数呈显著正相关。鼓粒期适宜的日照时数为每日6.5h,适宜气温为19.0~21.2℃,最高气温为23.8~26.3℃,最低气温为15.5~16.6℃,近10年8月2候最低气温为15.2℃,低于大豆鼓粒期所需最

低温度下限,表现为大豆产量丰歉百分率与8月2候最低气温呈显著正相关,8月3候实际日照时数为7.0h,平均气温为21.5℃,最高气温为28.6℃,均高于大豆鼓粒期适宜水平,表现为大豆产量丰歉百分率与8月3候日照时数、平均气温、最高气温呈显著或极显著负相关。鼓粒期至成熟期适宜日照时数为7.7h,适宜气温为13.8~16.3℃,最低气温为8.1~10.0℃,实际9月1候平均气温为17.8℃,最低气温为10.5℃,均高于大豆该时期需求量,9月2候日照时数为8.0h,满足大豆该时期需求,表现为大豆产量丰歉百分率与9月1候平均气温、最低气温和9月2候日照时数呈极显著负相关。成熟期适宜日照时数为8.3h,最低气温为6.5℃,实际9月3候日照时数为8.2h,最低气温为7.0℃,日照时数不足,最低气温相对偏高,表现为大豆产量丰歉百分率与9月3候日照时数呈极显著正相关,与最低气温呈极显著负相关。

根据FAO推荐的P-M公式<sup>[18]</sup>和李秀芬等<sup>[19]</sup>的研究方法,计算出齐齐哈尔地区大豆的理论需水量,播种-出苗、出苗-第三真叶、第三真叶-开花、开花-鼓粒、鼓粒-成熟的需水量分别为16.8mm、46.4mm、129.3mm、225.3mm和95.5mm,齐齐

哈尔地区近10年5个阶段的平均降水量分别为16.5mm、63.2mm、198.0mm、242.6mm、94.7mm,除苗期和鼓粒期,大部分生育期降水量均能满足大豆生长发育需求,开花到鼓粒期的耗水量最大,约占全生育期耗水量的60%~70%<sup>[20]</sup>,8月3候正是大豆需水期,表现为大豆产量丰歉百分率与降水量呈极显著正相关。播种期和成熟始期降水量超过作物需水量,与大豆产量丰歉百分率呈显著或极显著负相关。

**2.2 动态产量预报模型** 将筛选的关键气象因子与大豆产量丰歉百分率进行多元线性回归分析,建立齐齐哈尔地区大豆产量预估模型,将关键气象因子日照时数作为自变量 $S$ ,平均气温作为自变量 $T$ ,最高气温作为自变量 $M$ ,最低气温作为自变量 $L$ ,降水量作为自变量 $R$ ,大豆产量作为因变量 $Y_i'$ ,建立线性回归方程,得到产量动态预估模型(表2),均通过0.01水平极显著性检验。

因5月2候正处于播种期,9月5候处于收获期,预报意义不大,将其剔除。根据唐余学等<sup>[17]</sup>的研究,预报时间确定为5月21日、6月1日、6月11日、6月21日、7月11日、8月1日、8月11日、8月21日、9月11日、9月21日。

**2.3 预报检验** 将2023年和2024年关键气象因

表2 大豆动态产量预报模型

预报时间	大豆产量预估模型(kg/667m <sup>2</sup> )	R <sup>2</sup>
5月21日	$Y_i' = -0.251R_{5,2} + 1.849T_{5,4} - 3.640M_{5,4} + 288.797$	0.151
6月1日	$Y_i' = -0.780R_{5,2} + 4.588T_{5,4} - 4.520M_{5,4} + 8.913T_{5,6} - 5.114M_{5,6} + 1.719L_{5,6} + 0.844R_{5,6} + 268.513$	0.300
6月11日	$Y_i' = -0.621R_{5,2} + 3.101T_{5,4} - 3.237M_{5,4} + 9.648T_{5,6} - 5.239M_{5,6} - 2.405L_{5,6} + 0.761R_{5,6} + 3.875T_{6,2} - 1.525M_{6,2} + 224.407$	0.314
6月21日	$Y_i' = -0.537R_{5,2} + 3.463T_{5,4} - 3.743M_{5,4} + 8.624T_{5,6} - 3.856M_{5,6} - 3.393L_{5,6} + 0.659R_{5,6} + 0.808T_{6,2} + 1.392M_{6,2} - 0.797S_{6,2} + 3.593T_{6,3} + 0.206S_{6,4} + 147.336$	0.373
7月11日	$Y_i' = -0.301R_{5,2} + 2.276T_{5,4} - 3.287M_{5,4} + 6.246T_{5,6} - 4.058M_{5,6} - 2.921L_{5,6} + 0.234R_{5,6} + 1.659T_{6,2} + 0.570M_{6,2} - 0.576S_{6,3} + 3.278T_{6,3} + 0.183S_{6,4} + 2.854L_{7,1} + 1.892T_{7,2} - 2.487L_{7,2} + 154.163$	0.398
8月1日	$Y_i' = -0.306R_{5,2} + 2.082T_{5,4} - 3.297M_{5,4} + 6.218T_{5,6} - 4.004M_{5,6} - 2.939L_{5,6} + 0.215R_{5,6} + 1.795T_{6,2} + 0.349M_{6,2} - 0.610S_{6,3} + 3.336T_{6,3} + 0.166S_{6,4} + 2.724L_{7,1} + 1.783T_{7,2} - 2.374L_{7,2} + 0.059S_{7,5} + 162.096$	0.398
8月11日	$Y_i' = -0.503R_{5,2} + 1.100T_{5,4} - 2.444M_{5,4} + 8.313T_{5,6} - 4.586M_{5,6} - 3.070L_{5,6} - 0.117R_{5,6} + 2.084T_{6,2} + 1.107M_{6,2} - 0.775S_{6,3} + 5.336T_{6,3} + 0.204S_{6,4} + 3.121L_{7,1} + 2.510T_{7,2} - 3.270L_{7,2} + 0.129S_{7,5} - 4.589L_{8,2} + 113.15$	0.433
8月21日	$Y_i' = -0.196R_{5,2} + 1.247T_{5,4} - 3.472M_{5,4} + 3.431T_{5,6} - 3.812M_{5,6} - 3.408L_{5,6} - 0.079R_{5,6} + 3.200T_{6,2} + 0.769M_{6,2} - 0.898S_{6,3} + 5.789T_{6,3} + 0.203S_{6,4} + 3.740L_{7,1} - 0.628T_{7,2} - 3.671L_{7,2} + 0.440S_{7,5} - 2.864L_{8,2} + 0.072S_{8,3} + 5.677T_{8,3} + 1.346M_{8,3} + 0.103R_{8,3} + 77.831$	0.466
9月11日	$Y_i' = -0.207R_{5,2} + 3.609T_{5,4} - 4.519M_{5,4} + 1.411T_{5,6} - 3.047M_{5,6} - 3.579L_{5,6} + 0.115R_{5,6} + 6.471T_{6,2} - 0.305M_{6,2} - 0.953S_{6,3} + 6.037T_{6,3} - 0.026S_{6,4} + 1.968L_{7,1} + 2.210T_{7,2} - 4.323L_{7,2} + 0.308S_{7,5} - 1.929L_{8,2} + 0.190S_{8,3} + 3.240T_{8,3} + 0.094R_{8,3} - 2.637T_{9,1} + 0.215L_{9,1} + 0.581S_{9,2} + 50.367$	0.481
9月21日	$Y_i' = -0.476R_{5,2} + 6.686T_{5,4} - 5.238M_{5,4} + 0.558T_{5,6} - 3.474M_{5,6} - 3.733L_{5,6} + 0.171R_{5,6} + 5.366T_{6,2} - 0.779M_{6,2} - 0.825S_{6,3} + 5.253T_{6,3} - 0.046S_{6,4} + 1.816L_{7,1} + 0.449T_{7,2} - 5.429L_{7,2} + 0.148S_{7,5} - 1.081L_{8,2} + 0.131S_{8,3} + 1.360T_{8,3} + 5.986M_{8,3} + 0.077R_{8,3} - 3.062T_{9,1} + 0.485L_{9,1} + 0.602S_{9,2} + 0.1579S_{9,3} - 1.071L_{9,3} + 0.575R_{9,3} + 104.340$	0.501

下标为月和候

子带入不同阶段预报方程,根据产量预报准确率计算公式进行预报检验,得到检验结果(表3)。6月齐齐哈尔市大豆正处于营养生长阶段,预报准确率

相对较低,预报参考性不大,因此实际应用中建议使用7月11日后的预报方程进行产量预报,回代准确率均处在90%以上。

表3 单产预报模型回代检验准确率

(%)

年份	预报时间										平均
	5月21日	6月1日	6月11日	6月21日	7月11日	8月1日	8月11日	8月21日	9月11日	9月21日	
2023	91.29	84.52	84.93	93.12	91.61	91.44	96.43	93.03	94.29	94.54	91.52
2024	94.57	93.78	93.54	99.01	98.36	97.90	91.59	99.24	94.80	95.82	95.86

### 3 讨论与结论

本研究将气象因子与产量丰歉百分率进行相关性分析,得出关键气象因子,主要表现在第三真叶期、结荚期、鼓粒期、成熟期日照时数,出苗期、第三真叶期、开花期、鼓粒期平均气温,出苗期、第三真叶期、鼓粒期最高气温,第三真叶期、开花期、鼓粒期、成熟期最低气温,第三真叶期、鼓粒期、成熟始期降水量,以上气象因子对产量的影响较大。基于关键气象因子构建大豆产量动态预报模型,模型模拟效果理想,单产预报检验准确率在7月11日后普遍高于90%,可在实际生产中进行使用,对农业生产和粮食安全具有重要支撑作用。本研究构建的齐齐哈尔市大豆动态产量预报模型具有一定局限性,对出现较大气象灾害、病虫害的年份进行预报分析存在一定的不准确性,下一步研究将加入可能的致灾因子,如连阴雨日数、高温日数、低温日数等。

目前基于关键气象因子的产量趋势预报均以旬为尺度,本研究应用候为尺度,更为严谨,可每隔5~6d就对产量进行一次订正。现阶段关于黑龙江省大豆产量预报的研究很多,但针对齐齐哈尔市大豆产量预报的研究几乎没有,黑龙江省地域辽阔,积温、土壤类型、周围植被情况等因素均不相同,产量预报准确性相对较低,因此该研究可弥补该地区气象部门产量预报的空白。

#### 参考文献

- [1] 金林雪,杨钦宇. 基于关键气象因子的内蒙古大豆发育期及产量预报方法研究. 内蒙古气象, 2020(3):24-28,37
- [2] 王贺然,张琪,陈鹏狮,赵明,刘东明,黄岩,黄悦. 基于产量历史丰歉气象影响指数的辽宁省粮食作物产量动态预报. 湖北农业科学, 2021,60(22):195-200
- [3] 侯梦媛. 基于关键气象因子的山东省棉花产量预报. 中国农学通报, 2024,40(9):37-41

- [4] 薛瑶,吕东辉,叶倩竹,刘兴丽. 黑龙江西部玉米产量预估模型的建立. 中国种业, 2024(1):103-107
- [5] 孟芳,彭富强,叶丹,张丽. 基于气象条件的柑橘产量预报研究. 农业灾害研究, 2024,14(2):140-142
- [6] 李忠辉,王美玉,袁福香,王冬妮,任景全,穆佳. 基于气候适宜度的吉林省烤烟产量评估. 现代农业科技, 2024(2):124-127
- [7] 苏朝丞,葛怡成,谢霞颖,许浩翔,王啸天. 石河子棉花生长关键期与产量动态预报研究. 中国农学通报, 2024,40(2):102-106
- [8] 李剑金,梁冰,陈冰,黄浩,王洁远,何泽华,陈蔚烨. 基于关键气象因子的茂名市早稻产量预报模型. 气象研究与应用, 2023,44(4):121-125
- [9] 贾晗思,字雪明,杨宇涵,王文丹. 保山坝区玉米产量预测模型研究. 南方农业, 2023,17(17):37-41
- [10] 朱海霞,李东明,王铭,王文丹. 基于积分回归法黑龙江省作物产量动态预报研究. 气象与环境学报, 2018,34(3):86-92
- [11] 王贺然,张慧,王莹,李晶,米娜,王若男,李琳琳,董巍,张琪,苏航. 基于两种方法建立辽宁大豆产量丰歉预报模型对比. 中国农业气象, 2018,39(11):725-738
- [12] 金林雪,李云鹏,吴瑞芬,李丹,王佳. 基于气候适宜度预报内蒙古大豆发育期及产量. 中国油料作物学报, 2020,42(5):903-910
- [13] 邱美娟,郭春明,王冬妮,慕臣英,穆佳,曲思邈,袁福香,王琪. 基于气候适宜度指数的吉林省大豆单产动态预报研究. 大豆科学, 2018,37(3):445-451,457
- [14] 陈雪,高梦竹,赵晶,李新华,乔梁. 高寒地区大豆产量动态预报研究. 农学学报, 2023,13(6):91-96
- [15] 佚名. 齐齐哈尔:全国重要的非转基因大豆主产区. 农产品市场, 2023(1):18-19
- [16] 梁辰,姚建平. 齐齐哈尔推进大豆产能提升. 黑龙江日报, 2022-03-05(006)
- [17] 唐余学,罗攀攀,范莉,阳园燕. 基于关键气象因子的中稻单产动态预报. 中国农业气象, 2011,32(S1):140-143
- [18] 杜尧东,刘作新,张运福. 参考作物蒸散计算方法及其评价. 河南农业大学学报, 2001,35(1):57-61
- [19] 李秀芬,朱海霞,宫丽娟,王萍,翟墨,赵慧颖. 黑龙江省寒地大豆气候适宜度演变特征. 中国农学通报, 2018,34(28):93-100
- [20] 包焕升,孙青彬,孙立铸. 大豆生长气象要素与产量预测模型. 哈尔滨科学技术大学学报, 1992,16(4):52-59

(收稿日期:2025-01-21)