

气象条件对玉米适播期的影响研究

薛 瑶¹ 吕东辉² 叶倩竹³ 初 征⁴ 刘长成¹ 孙 源¹

(¹ 齐齐哈尔市气象局, 黑龙江齐齐哈尔 161000; ² 甘南县气象局, 黑龙江甘南 162100;

³ 鹤岗市气象局, 黑龙江鹤岗 154100; ⁴ 黑龙江省气象科学研究所, 哈尔滨 150000)

摘要:为深入了解齐齐哈尔地区水热利用条件时空分布,合理安排春播农事生产活动。利用 1981–2023 年齐齐哈尔地区 10 个国家气象站逐日 5cm 地温、气温、降水等资料,应用 ArcGIS 软件和趋势分析法对齐齐哈尔地区适宜播期的空间、时间分布进行分析。结果表明:气温、地温均有提前的变化趋势,而大部分地区透雨有延后的变化趋势;受海拔高度影响,东部地区回温较慢;受经度、纬度影响,西部、南部地区回温较快,东部地区透雨出现较早;得出的气候资源推算模型可用于抵御气候变化带来的不利影响,同时为实际农业生产提供理论依据;齐齐哈尔、甘南、龙江、富裕地区需关注的重点为透雨的预报,同时这些地区应利用好土壤底墒,适时早播;讷河、依安、克山、克东、拜泉地区需重点关注温度调节是否满足播种要求,是否能够为后续玉米生长发育提供充足的热量条件。

关键词:气象条件;气温;地温;降水;玉米;适播期;气候倾向率

Study on the Influence of Meteorological Conditions on the Optimum Sowing Time of Maize

XUE Yao¹, LYU Donghui², YE Qianzhu³, CHU Zheng⁴, LIU Changcheng¹, SUN Yuan¹

(¹ Qiqihar Meteorological Bureau, Qiqihar 161000, Heilongjiang; ² Gannan County Meteorological Bureau, Gannan 162100,

Heilongjiang; ³ Hegang Meteorological Bureau, Hegang 154100, Heilongjiang;

⁴ Heilongjiang Institute of Meteorological Sciences Research, Harbin 150000)

齐齐哈尔位于黑龙江、吉林、内蒙古 3 省区交汇处,横跨 47°N 线,是全省玉米种植的主产区,国际公认的“黄金玉米带”^[1],常年年平均气温在 2.5~5.3℃ 之间,年日照时数为 2479~2935h,年降水量在 409~549mm 之间,年平均无霜期为 126~145d。该地地处东北松嫩平原,地势北高南低,属温带大陆性季风气候,土壤类型主要为黑土、黑钙土、草甸土,有机质含量高,具有热量高、透气性好、质地轻等特点,为培育优质玉米提供了得天独厚的条件,具有适宜玉米种植的自然优势和生产基础。齐齐哈尔市作为春玉米最主要的生产基地,肩负着国家粮食安全压舱石的重任。据统计局数据显示,玉米种植面积

由 1985 年的 27.3 万 hm² (410.0 万亩) 扩增到 2020 年的 107.2 万 hm² (1608.6 万亩),产量也由 1985 年的 61.5 万 t 增长到 2020 年的 709.8 万 t。2020 年玉米种植面积占全市总种植面积的 42.4%,玉米产量占总产量的 60.1%。因此,齐齐哈尔市玉米产量对整个黑龙江省甚至全国的粮食安全都十分重要。

东北地区近 50 年增温明显^[2],在未来一段时间内仍呈不断增温的趋势,干旱等极端事件发生的频率也将不断增高,为粮食安全带来了极大的考验。适时早播是玉米高产稳产的关键,地温偏低时播种易引发出苗率降低,过晚播种又无法合理利用后续的气候资源,还易遭受秋霜冻引发减产,因此,对齐齐哈尔地区春季适播期的研究尤为重要。目前不少学者对小麦、红高粱、马铃薯、大豆等作物的生育期

内气候适宜度进行评价,而对齐齐哈尔地区春玉米适播期气象条件的研究较少。滕世辉等^[3]采用线性趋势性预测对小麦生育期温度、积温以及主要生育期日期和持续时间进行变化规律分析,确定了临沂市冬小麦的适播期及最佳播期;余帅等^[4]通过分期播种试验,将产量因素和农气条件综合分析,研究不同播期下宜糯红高粱生育期及产量因素的表现,得出每年3月中旬至4月上旬,当气温 $\geq 13^{\circ}\text{C}$ 时为宜糯红高粱适播期;马雅丽等^[5]通过趋势分析和相关分析,研究晋北马铃薯气候资源变化特征及对马铃薯产量的影响,并基于积温稳定性原理,建立气象产量预测模型,得出最高气象产量对应的适播期;张玉芳等^[6]通过分析对比的方式,研究温度、降水、光照对中晚期大豆发育期的影响,得出中晚期大豆的适宜播种时间。

本文以齐齐哈尔地区春玉米为研究对象,研究气象条件空间变化特征,建立基于经纬度、海拔高度的玉米适播期所需水热条件的数理计算模型,以期齐齐哈尔地区玉米播种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区如图1所示,齐齐哈尔地处松嫩平原,位于黑龙江省西部,属温带大陆性季风气候,四季特点十分明显,日照充足,雨热同季,春季干旱多风,气温变幅大,春季降水量占全年总降水量的12.5%,加上裸地、大风等因素,蒸发量常大于降

水量,极易发生干旱,且素有“十年九旱”之说。

1.2 数据来源 选取齐齐哈尔地区10个国家气象观测站1981–2023年逐日气象资料(来源于黑龙江省气象数据中心),其中地温资料自2007年开始完整,之前存在缺测或无数据情况,自动忽略。

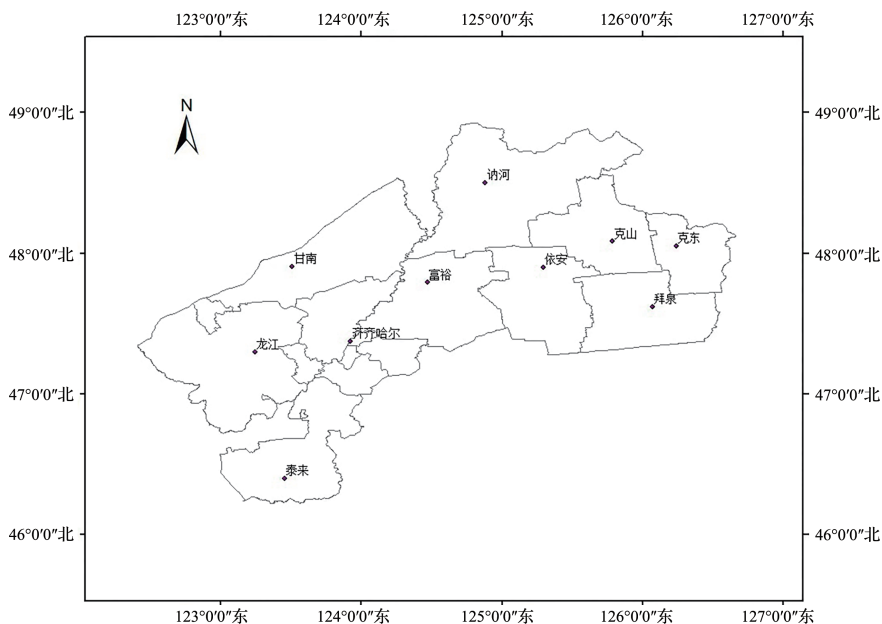
1.3 数据处理 地理信息资料应用ArcGIS 10.8软件作图,应用Excel 2010进行数据统计分析,应用SPSS 23构建气候资源推算模型。应用趋势分析法构建线性方程 $y=at+b$,其中 y 分别为地温、气温、透雨因素, t 为时间, a 、 b 为常数,气候倾向率用10a表示。

1.4 气候资源空间分析模型 挑选与地温、气温、透雨3个指标关系密切的经度、纬度、海拔高度等地理因子,建立气候资源空间分析模型^[7]: $Y=f(\lambda,\psi,h)+\varepsilon$ 。式中, Y 为初日(日序); f 为变量方程; λ 、 ψ 、 h 分别代表经度、纬度、海拔高度(m); ε 为综合地理残差。

2 结果与分析

2.1 地温变化特征

2.1.1 地温因素空间变化 将2007–2023年齐齐哈尔地区80%保证率下5cm地温稳定通过 10°C 的初日作为玉米适播期,采用构建气候资源空间分析模型的方法^[7],推算出该地区5cm地温稳定通过 10°C 的初日。通过对齐齐哈尔地区10个站点80%保证率下的5cm地温稳定通过 10°C 的初日进行多元回归分析,得出推算模型为 $Y_1=0.262\lambda+$



审图号:GS(2022)1873号

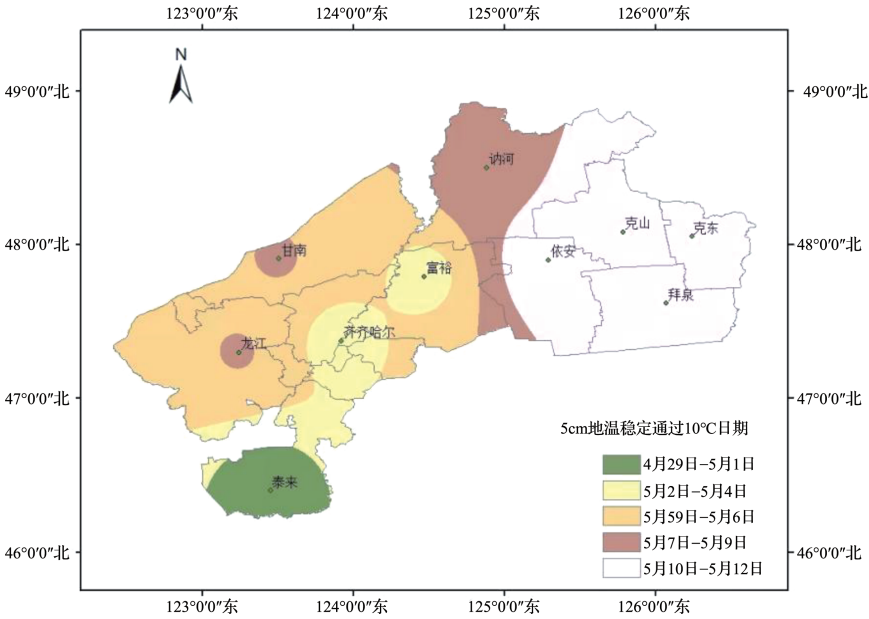
图1 研究区站点分布示意图

$1.279\psi+0.062h+19.558$ ($R^2=0.852, P<0.01$)。

通过模型计算出 10 个站点初日出现的日序,并与实际出现日序进行对比,得出差值,应用反距离权重法进行空间差值计算,得到 80% 保证率下 5cm 地温稳定通过 10℃ 初日的气候图。如图 2 所示,齐齐哈尔地区 5cm 地温稳定通过 10℃ 初日的空间分布呈现自西向东逐渐推迟的趋势。龙江、甘南两地相

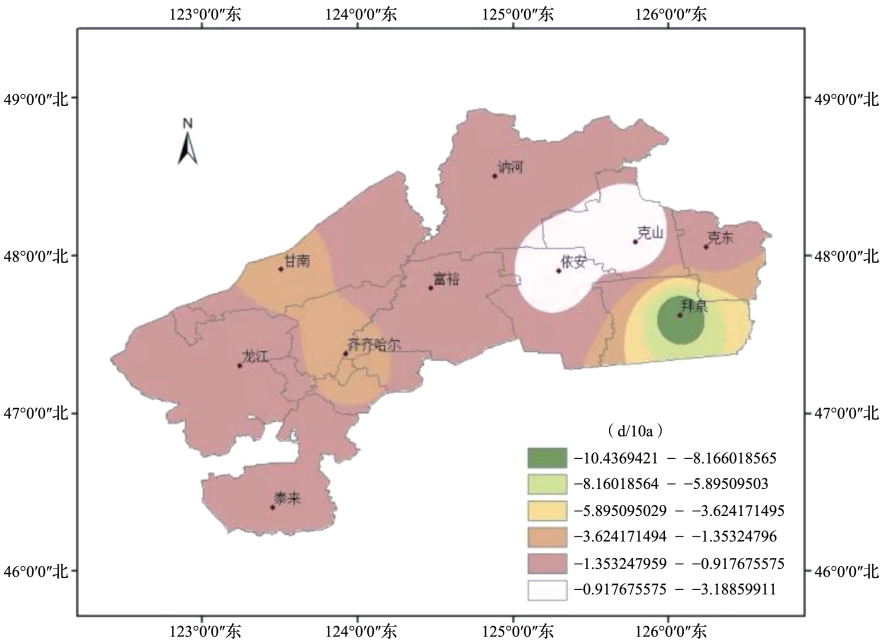
较周围站点海拔高度较高,5cm 地温稳定通过 10℃ 初日较晚,说明海拔高度对初日出现的时间影响较大;依安、克山、克东、拜泉相较其他站点海拔高度较高,初日出现的时间也相对较晚。

2.1.2 地温因素时间变化 通过趋势分析法,得出 2007–2023 年齐齐哈尔地区 5cm 地温稳定通过 10℃ 初日的气候倾向率。如图 3 所示,近 17 年中,



审图号:GS (2022) 1873 号

图 2 2007–2023 年齐齐哈尔地区 80% 保证率下 5cm 地温稳定通过 10℃ 的初日分布



审图号:GS (2022) 1873 号

图 3 2007–2023 年齐齐哈尔地区 5cm 地温稳定通过 10℃ 初日的气候倾向率空间分布

除克山、依安地区玉米适播期有延后的趋势外,其余地区 5cm 地温稳定通过 10℃ 均提前,其中拜泉提前速率最快,达 10.40d/10a,其次为齐齐哈尔和甘南,提前速率分别为 1.86d/10a 和 1.76d/10a,克山、依安呈延后的趋势,延后速率分别为 3.19d/10a 和 2.30d/10a。所有县市适播期变化趋势均不显著。

对 2007–2023 年 5cm 地温稳定通过 10℃ 的初日进行分析。由表 1 可以看出,除拜泉存在特殊年份外,其余各县市 5cm 地温稳定通过 10℃ 的初日均出现在 4 月下旬至 5 月上旬。2007–2010 年甘南、泰来、富裕地区出现偏早,依安、克山、克东地区出现较晚,拜泉地区初日出现特晚;2011–2020 年泰来、富裕、齐齐哈尔地区初日出现较早,依安、克东、拜泉地区初日出现较晚;2021–2023 年甘南、泰来、齐齐哈尔、富裕地区初日出现时间早,克山、克东、拜泉出现时间较晚,变化规律与推算模型相吻合。

2007–2010 年初日平均日期为 4 月 27 日至 5 月 16 日,2011–2020 年初日平均日期为 4 月 23 日至 5 月 7 日,2021–2023 年初日平均日期为 4 月 26

日至 5 月 8 日,年份间初日相差不大,2011–2020 年相较另两个年份早。

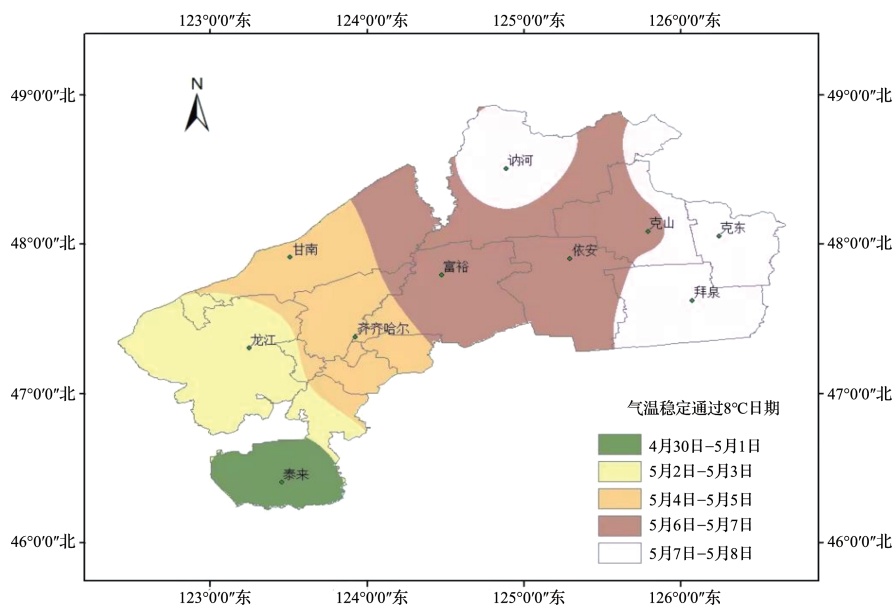
2.2 气温变化特征

2.2.1 气温因素空间变化 气温稳定通过 8℃ 播种才能保证出苗最早^[8],因此将 1981–2023 年 80% 保证率下气温稳定通过 8℃ 初日作为玉米适播期,通过建立气候资源空间分析模型,得到齐齐哈尔地区气温稳定通过 8℃ 初日推算模型: $Y_2=2.009\lambda+2.881\psi-0.015h-259.925$ ($R^2=0.922, P<0.01$)。通过模型计算出 10 个站点初日出现的日序,并与实际出现日序进行对比,得出差值,应用反距离权重法进行空间差值计算,得到 80% 保证率下气温稳定通过 8℃ 初日的气候图。如图 4 所示,齐齐哈尔地区气温稳定通过 8℃ 初日的空间分布呈现自西向东逐渐推迟的趋势。拜泉、克山、克东、讷河出现最晚,其中讷河纬度最高,克山、克东、拜泉经度较大,而泰来纬度较低,回温较早,由此可见经度和纬度是影响气温的重要因素。

2.2.2 气温因素时间变化 通过趋势分析法,得出 1981–2023 年齐齐哈尔地区气温稳定通过 8℃

表 1 2007–2023 年齐齐哈尔地区 5cm 地温稳定通过 10℃ 的初日平均日期 (月/日)

年份	齐齐哈尔	龙江	甘南	泰来	讷河	富裕	依安	克山	克东	拜泉
2007–2010	5/1	5/1	4/28	4/27	5/1	4/30	5/2	5/2	5/4	5/16
2011–2020	4/27	4/29	4/29	4/23	4/29	4/26	5/3	4/29	5/7	5/1
2021–2023	4/30	5/2	4/26	4/26	5/3	4/30	5/4	5/8	5/6	5/5



审图号:GS (2022) 1873 号

图 4 1981–2023 年齐齐哈尔地区 80% 保证率下气温稳定通过 8℃ 的初日分布

初日的气候倾向率。如图 5 所示,齐齐哈尔地区所有县市玉米适播期均有提前的趋势。各地提前速率不同,甘南最快,为 2.48d/10a ($P<0.01$),其次为龙江、讷河、依安、富裕、齐齐哈尔,提前速率分别为 1.95d/10a、1.89d/10a、1.82d/10a、1.74d/10a 和 1.72d/10a ($P<0.05$),均呈显著提前的趋势,其余县市变化趋势不显著。

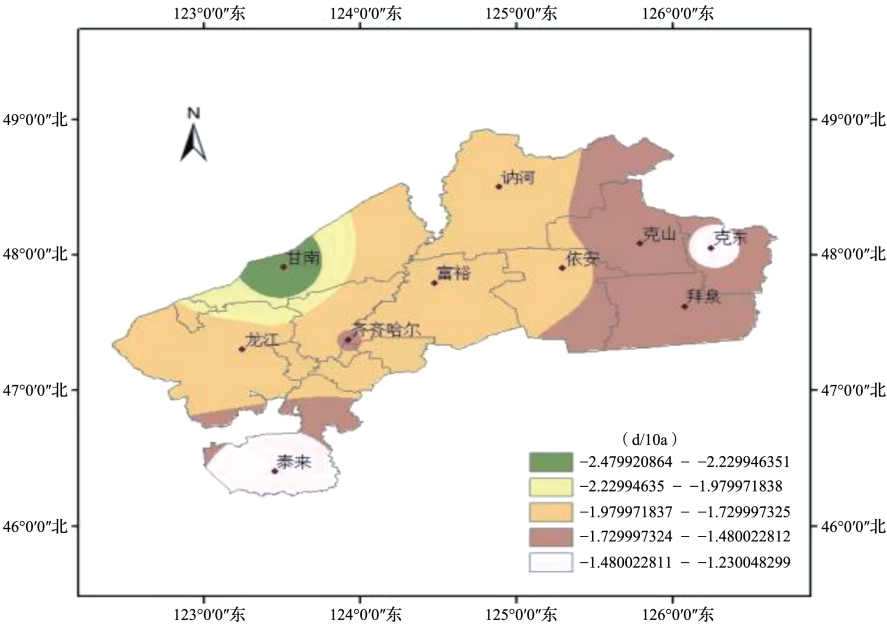
对 1981–2023 年气温稳定通过 8℃ 初日进行分析。由表 2 可以看出,各地区气温稳定通过 8℃ 的初日均出现在 4 月下旬至 5 月上旬。1981–1990 年初日平均日期泰来地区出现较早,其次为齐齐哈尔,讷河、克山、克东地区初日出现较晚;1991–2000 年初日平均日期泰来、龙江、齐齐哈尔出现较早,克东、拜泉、讷河地区出现较晚;2001–2010 年泰来、齐齐哈尔、龙江地区初日出现较早,克山、克东、拜泉地区出现较晚;2011–2020 年泰来、龙江、齐齐哈尔、甘南地区初日出现较早,克东、拜泉、讷河、克山地区出现

较晚;2021–2023 年泰来、齐齐哈尔、甘南地区初日出现较早,依安、克山、克东地区出现较晚,总体趋势与推算模型吻合。

1981–1990 年气温稳定通过 8℃ 初日平均日期为 4 月 27 日至 5 月 5 日,1991–2000 年初日平均日期为 4 月 21–30 日,2001–2010 年初日平均日期为 4 月 22 日至 5 月 3 日,2011–2020 年初日平均日期为 4 月 21–29 日,2021–2023 年初日平均日期为 4 月 24 日至 5 月 2 日。由此可见,1991–2000 年与 2011–2020 年比其他 3 个年份气温稳定通过 8℃ 初日的出现时间相对较早,1981–1990 年气温回升最慢。

2.3 透雨变化特征

2.3.1 透雨因素空间变化 对 1981–2023 年齐齐哈尔地区 10 个站点 80% 保证率下首场透雨初日的日序进行多元回归分析,得到齐齐哈尔地区首场透雨初日推算模型: $Y_3=-1.368\lambda+2.007\psi-0.001h+212.549$ ($R^2=0.716,P<0.01$)。



审图号:GS (2022) 1873 号

图 5 1981–2023 年齐齐哈尔地区气温稳定通过 8℃ 初日的气候倾向率空间分布

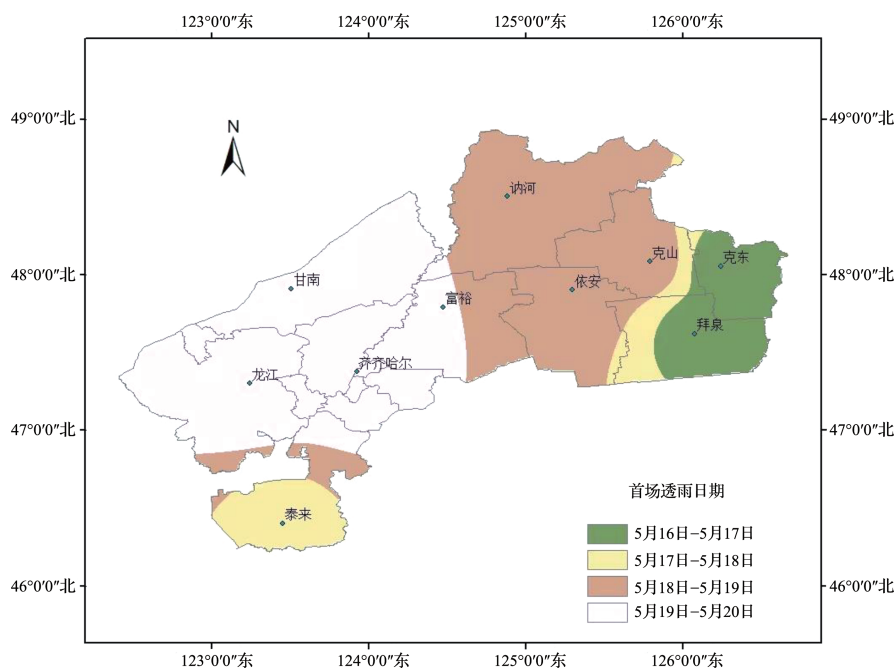
表 2 1981–2023 年齐齐哈尔地区气温稳定通过 8℃ 初日平均日期 (月 / 日)

年份	齐齐哈尔	龙江	甘南	泰来	讷河	富裕	依安	克山	克东	拜泉
1981–1990	5/1	5/3	5/3	4/27	5/5	5/4	5/4	5/5	5/5	5/4
1991–2000	4/25	4/23	4/27	4/21	4/29	4/26	4/27	4/27	4/30	4/29
2001–2010	4/23	4/25	4/26	4/22	5/1	4/27	4/29	5/2	5/3	5/3
2011–2020	4/25	4/23	4/25	4/21	4/28	4/27	4/27	4/28	4/29	4/29
2021–2023	4/24	4/29	4/25	4/24	4/30	4/29	5/1	5/2	5/2	4/27

通过模型计算出 10 个站点初日出现的日序, 并与实际出现日序进行对比, 得出差值, 应用反距离权重法进行空间差值计算, 得到 80% 保证率下透雨初日气候图。如图 6 所示, 齐齐哈尔地区首场透雨自东向西、自南向北呈现逐渐延后的趋势, 经度、纬度与初日的早晚有着密不可分的关系, 克东、拜泉经度最高, 初日出现的最早, 泰来纬度最低, 出现的也相对较早, 由此可见, 经度越高, 初日越提前, 纬度越

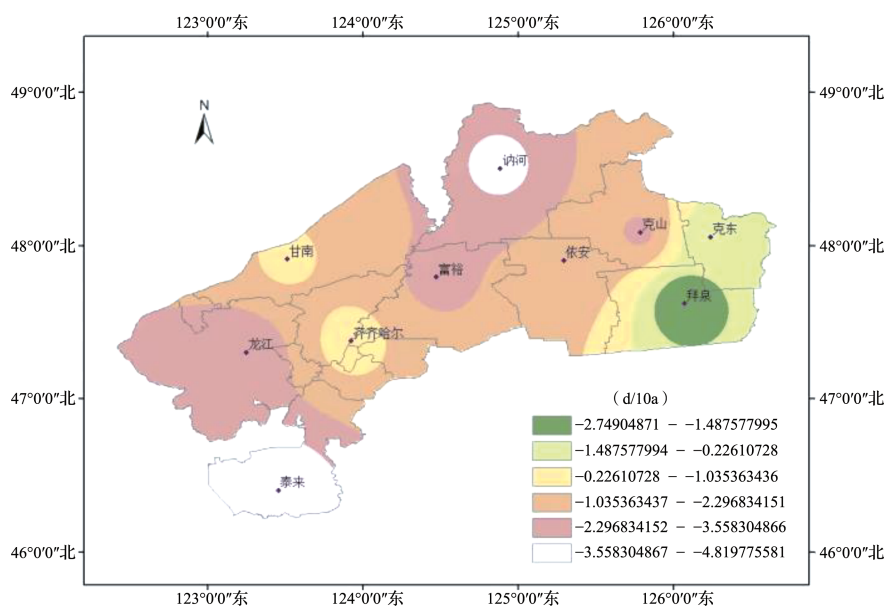
高, 初日越延后。

2.3.2 透雨因素时间变化 通过趋势分析法, 得出 1981–2023 年齐齐哈尔地区有透雨年份的透雨初日气候倾向率。如图 7 所示, 拜泉、克东地区玉米适播期有提前的趋势, 其余地区均呈现延后的趋势, 其中泰来延后的速率最大, 为 $4.82\text{d}/10\text{a}$ ($P<0.05$), 齐齐哈尔延后速率最小, 为 $0.46\text{d}/10\text{a}$, 齐齐哈尔大部分地区延后或提前的趋势变化不显著。



审图号:GS(2022)1873号

图 6 1981–2023 年齐齐哈尔地区 80% 保证率下首场透雨的初日分布



审图号:GS(2022)1873号

图 7 1981–2023 年齐齐哈尔地区透雨初日的气候倾向率空间分布

对 1981–2023 年首场透雨初日进行分析。由表 3 可以看出,各地区首场透雨初日平均日期主要集中在 4 月下旬至 5 月上旬。1981–1990 年讷河、泰来、克山、龙江地区初日出现普遍较早,甘南、齐齐哈尔地区出现较晚;1991–2000 年泰来、甘南、依安、克山地区初日出现早,拜泉、克东、龙江初日出现较晚;

2001–2010 年拜泉、泰来、依安、克山、讷河、齐齐哈尔地区初日出现早,龙江、克东、富裕初日出现较晚;2011–2020 年克东地区初日出现较早,龙江、克山、讷河、甘南地区初日出现较晚;2021–2023 年拜泉、克山、齐齐哈尔、富裕地区初日出现早,泰来、讷河、龙江初日出现较晚,变化趋势与推算模型高度吻合。

表 3 1981–2023 年齐齐哈尔地区首场透雨初日平均日期 (月/日)

年份	齐齐哈尔	龙江	甘南	泰来	讷河	富裕	依安	克山	克东	拜泉
1981–1990	5/4	4/30	5/9	4/30	4/28	5/1	5/1	4/30	5/1	5/2
1991–2000	4/28	5/7	4/26	4/21	5/1	4/27	4/26	4/26	5/7	5/10
2001–2010	4/24	4/29	4/26	4/23	4/24	4/27	4/23	4/23	4/28	4/22
2011–2020	5/8	5/14	5/11	5/6	5/12	5/10	5/8	5/13	4/26	5/6
2021–2023	4/30	5/10	5/2	5/27	5/15	4/30	5/5	4/29	5/3	4/13

1981–1990 年首场透雨初日平均日期为 4 月 28 日至 5 月 9 日,1991–2000 年初日平均日期为 4 月 21 日至 5 月 10 日,2001–2010 年初日平均日期为 4 月 22–29 日,2011–2020 年初日平均日期为 4 月 26 日至 5 月 14 日,2021–2023 年初日平均日期为 4 月 13 日至 5 月 27 日。由此可见,2001–2010 年首场透雨各地区普遍出现较早,2021–2023 年拜泉首场透雨出现极早,泰来首场透雨出现极晚。

3 结果与分析

适宜的播种时间能够提高玉米生长发育过程中的干物质积累,促进产量形成,本研究考虑水热综合条件对玉米适播期的影响,得出齐齐哈尔地区大部分玉米适播期在 4 月下旬至 5 月上旬,受海拔高度影响,东部地区回温较慢,受经度、纬度影响,西部、南部地区回温较快,东部地区透雨出现较早。根据推算模型计算,泰来 4 月 29 日地温、气温就已达到适宜标准,但至 5 月 17 日才迎来首场透雨,齐齐哈尔、甘南、龙江、富裕地区 5 月 4 日普遍达播种适宜的温度条件,但透雨发生在 5 月 19 日,因此这些地区需关注的重点为透雨的预报,同时应利用好土壤底墒,适时早播;讷河、依安、克山、克东、拜泉地区 5 月 10 日普遍达适宜温度,5 月 16 日首场透雨出现,这些地区需重点关注温度调节是否满足播种要求,是否能为后续玉米生长发育提供充足的热量条件。

在气候不断变化的背景下,除克山、依安地区

玉米适播期有延后的趋势外,其余地区 5cm 地温稳定通过 10℃ 的初日均提前,其中拜泉提前速率最快,达 10.40d/10a;齐齐哈尔地区所有县市气温稳定通过 8℃ 初日均有提前的趋势,各地提前速率不同,甘南最快,为 2.48d/10a ($P<0.01$);拜泉、克东地区透雨初日有提前的趋势,其余地区均呈现延后的趋势,其中泰来延后的速率最大,为 4.82d/10a ($P<0.05$)。气温、地温变化为适时早播提供了热量条件,但透雨延后不利于玉米早播。

参考文献

[1] 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

[2] 吕佳佳,王秋京,闫平,王晾晾,朱海霞,姜丽霞,杜春英. 基于气温资料的黑龙省玉米播种期分析. 中国农业气象,2014,35 (1): 68–73

[3] 滕世辉,李晓霞,刘庆娟. 气候变化对临沂冬小麦主要生育期的影响及适播期研究. 农学学报,2023,13 (4):18–24

[4] 余帅,张伟,唐铁,詹植钧,赵艺. 宜糯红高粱适播期研究. 农业技术与装备,2023 (5):9–11

[5] 马雅丽,栾青,李效珍,刘文平,李芬,班胜林,李海涛,张娜,张玮玮. 气候变暖对晋北黄土高原半干旱区马铃薯适播期的影响. 干旱地区农业研究,2023,41 (2):274–281

[6] 张玉芳,何正梅. 大同地区中晚期大豆适播期研究. 农业技术与装备,2022 (1):37–40

[7] 闫平,杨明,王萍,纪仰慧. 基于 GIS 的黑龙省积温带精细划分. 黑龙江气象,2009,26 (1):26–27,29

[8] 陈立亭,孙玉亭. 黑龙江省气候与农业. 北京:气象出版社,2000

(收稿日期:2024-04-23)