

姜丽霞,王晾晾,白玉兰,等.春玉米收获期适宜气象条件及其影响研究[J].海洋气象学报,2024,4X(X):1-10.
JIANG Lixia, WANG Liangliang, BAI Yulan, et al. Study on suitable meteorological conditions for and their impacts on spring maize harvest[J]. Journal of Marine Meteorology, 2024, 4X(X): 1-10. DOI: 10.19513/j.cnki.hyqxxb.20230129003. (in Chinese)

春玉米收获期适宜气象条件及其影响研究

姜丽霞¹,王晾晾¹,白玉兰²,韩俊杰¹,褚春燕³,郭立峰¹,周宝才¹,翟墨¹,吕佳佳¹

(1.黑龙江省气象科学研究所,黑龙江 哈尔滨 150030;2.鹤岗市气象局,黑龙江 鹤岗 154107;3.佳木斯市气象局,黑龙江 佳木斯 154004)

摘要 基于1981—2021年黑龙江玉米主产区气象数据、玉米发育期及产量资料,选取极大风速和土壤相对湿度2个要素,采用置信区间估计方法构建黑龙江玉米主产区不同区域玉米收获适宜风速和土壤水分临界值,并分析玉米成熟后降水及秋季温度影响。结果表明:(1)研究区不同站点适宜玉米收获的日极大风速临界值 W_0 为8.3~13.5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,土壤相对湿度 M_0 为71%~94%,日极大风速不超过 W_0 、土壤相对湿度不超过 M_0 适宜玉米收获,所建指标能较好指示黑龙江玉米收获风速和土壤水分适宜程度。(2)玉米成熟后至10月20日的主要收获期,单日降水量在23.0 mm以下的降水天气适宜收获玉米。(3)秋季平均气温、最高气温、最低气温分别与玉米株籽粒重呈显著相关关系($P<0.01$ 或 $P<0.05$),在一定温度范围内,随着秋季温度的升高,玉米株籽粒重呈增加趋势,秋季温度条件对玉米成熟为正效应作用。

关键词 玉米;收获;风速;土壤相对湿度;降水;温度;产量

中图分类号: S16;P49 文献标志码: A 文章编号: 2096-3599(20XX)0X-0000-00

DOI:10.19513/j.cnki.hyqxxb.20230129003

Study on suitable meteorological conditions for and their impacts on spring maize harvest

JIANG Lixia¹, WANG Liangliang¹, BAI Yulan², HAN Junjie¹, CHU Chunyan³, GUO Lifeng¹,
ZHOU Baocai¹, ZHAI Mo¹, LÜ Jiajia¹

(1. Heilongjiang Institute of Meteorological Sciences, Harbin 150030, China; 2. Hegang Meteorological Bureau, Hegang 154107, China; 3. Jiamusi Meteorological Bureau, Jiamusi 154004, China)

Abstract Based on the meteorological data, maize growth period and yield data of the main maize producing areas in Heilongjiang from 1981 to 2021, extreme wind speed and relative soil moisture are selected and their corresponding critical values suitable for maize harvest are constructed in different parts of the main maize producing areas in Heilongjiang by using the confidence interval estimation method. At the same time, this paper explores and analyzes the impact of precipitation after the maize matures and the autumn temperature. The results are as follows. (1) The critical value of suitable daily extreme wind speed W_0 is between 8.3 and 13.5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, the suitable relative soil moisture M_0 between 71% and 94% at different stations in the study area, and the daily extreme wind speed equal to or smaller than W_0 and the

收稿日期:2023-01-29;修回日期:2023-07-28

基金项目:基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFD2300201);黑龙江省自然科学基金项目(LH2022D024);中国气象局创新发展专项(CXFZ2022J054)

第一作者简介:姜丽霞,女,硕士,正高级工程师,主要从事应用气象、气候变化和气候资源的相关研究,hlijlx@163.com。

relative soil moisture equal to or smaller than M_0 are suitable for maize harvest. The established indicators can better indicate the suitability of extreme wind speed and soil moisture for maize harvest in Heilongjiang. (2) During the main harvest period between the maturity of maize and 20 October, it is suitable for maize harvest in rainy weather with daily precipitation below 23.0 mm. (3) There is a significant correlation ($P < 0.01$ or $P < 0.05$) between the autumn average/maximum/minimum temperature and the grain weight of maize per plant, respectively. Within a certain temperature range, the grain weight of maize per plant shows an increasing trend as the autumn temperature rises, which indicates that the autumn temperature has a positive effect on the maturity of maize.

Keywords maize; harvest; wind speed; relative soil moisture; precipitation; temperature; yield

引言

全球气候变化对农业影响深远,作物播种至收获期间出现的气候极端事件常常引发灾害,造成作物减产,影响粮食安全^[1]。有研究指出,在发展中国家,粮食产后损失的 30%以上发生在收获环节^[2],我国粮食产后损失率为 15%^[3],据此估算,2015 年玉米产后损失高达 3.368×10^7 kg^[4],可见粮食产后浪费较大。收获环节造成损失的影响因素较多,其中收获期间的天气状况直接影响粮食收获损失的高低^[5],而遇到异常天气会显著增加粮食收获环节的损失^[6-9],因此收获期间因不利气象条件所造成的粮食浪费不容忽视,如何使收获环节充分利用有利气象条件、趋利避害进而降低损失,成为了急需研究的课题。

在气候变化背景下,干旱、洪涝、高低温、台风等气象灾害时有发生^[10-13],不同程度地增加了作物安全生产风险^[14],严重时造成作物不良生长并最终导致减产减收^[15-18]。玉米是我国重要粮食作物之一,收获是玉米安全生产的重要一环,当前在收获方式^[19]、收获影响因素^[20]、适宜机械粒收玉米品种筛选^[21]、机械粒收与玉米籽粒含水率关系等^[22]方面研究较为集中,专家学者较一致认为,自然因素的影响导致玉米种植差异并影响玉米收获机械化的发展^[23]。不同收获时期对玉米产量和收获损失影响较大,路海东等^[24]分析表明,收获期与玉米百粒重和产量呈线性相关关系,随着收获期推迟,百粒重、产量呈增加趋势;孔凡磊等^[25]研究指出,籽粒含水率是影响机械粒收质量的关键因素,推迟收获时间有利于降低机械粒收籽粒破碎率和杂质率,但增加落穗风险和籽粒总损失率;何长安等^[26]通过试验表明,黑龙江玉米机械粒收籽粒含水率在 23%~25% 时损失最低。实际上,玉米收获时籽粒含水率和破

碎率主要与玉米成熟时所处气温、脱水条件有关^[27],可见气象条件是造成不同收获时期产量和损失差异的主要因素之一。

黑龙江处于中国最北部,作物生长季易发干旱、低温冷害、霜冻等灾害。研究表明,黑龙江玉米收获以机械收获为主^[19],而现今黑龙江农业依然是“靠天吃饭”的局面,恶劣天气会增加粮食收获作业难度,降低收获质量^[5]。迄今为止,关于玉米收获适宜气象条件的报道仍较少见,基于此,此文利用气象、玉米发育期长序列资料,研究玉米收获适宜气象条件,并分析其对玉米收获的适宜性及影响,以期对玉米适时机械收获、避灾防灾及科学管理提供气象参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源

为提高研究针对性,在黑龙江选取 47 个气象观测站作为研究站点(图 1),该 47 站均匀分布在黑龙江玉米主产区,代表性较强,能够很好反映黑龙江玉米生产实际情况及气候因子分布概况。所用气象资料包括 1981—2021 年逐日平均气温、最低气温、最高气温、降水量、日照时数等资料,极大风速及玉米发育期、收获期、株籽粒重、产量、土壤相对湿度等数据由于各研究站点开始观测时间不同,其序列为从有记录开始至 2021 年,上述观测数据均来自黑龙江省气象局。玉米发育期、收获期、株籽粒重、产量、土壤相对湿度观测按照中国气象局《农业气象观测规范》(上卷)^[28]的要求进行,为保证资料的连续性,土壤相对湿度观测、作物观测保持了观测方法的一致性,作物田间管理与当地大田保持一致。

1.2 数据选取及处理

玉米收获期间遇到大风、暴雨天气不利于收获作业^[5-6],而温度、光照等因子不影响收获作业。实

际上,降水导致土壤湿度增加,土壤渍涝是影响机械作业的因子^[29],鉴于此,选取日极大风速、0~30 cm 土层土壤相对湿度构建玉米收获适宜风速、水分指标。考虑玉米成熟即可收获,则提取研究期间内逐年玉米成熟期当日极大风速进行分析。一般条件下,黑龙江 9 月上旬开始由北至南玉米陆续成熟,成熟后收获,此文以 9—10 月平均土壤相对湿度构建指标,土壤相对湿度时间分辨率为 10 d,每旬逢 8 日、18 日、28 日观测,采用烘干称重法,以土壤重量含水率占田间持水量的百分比表示,田间持水量为土壤水文常数,5 a 观测一次,首先以 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 土层土壤相对湿度求算 0~30 cm 土层土壤相对湿度,在此基础上再进行平均计算得到 9—10 月平均土壤相对湿度。选取具有收获期观测的 14 个站点进行验证分析,受资料序列制约,富裕、海伦、佳木斯、哈尔滨、尚志 5 站预留 2017—2021 年样本,富锦、泰来、青冈、肇东、肇源、双城、宾县、勃利 8 站预留 2020—2021 年样本,安达站预留 2018—2021 年样本,共计 45 个。

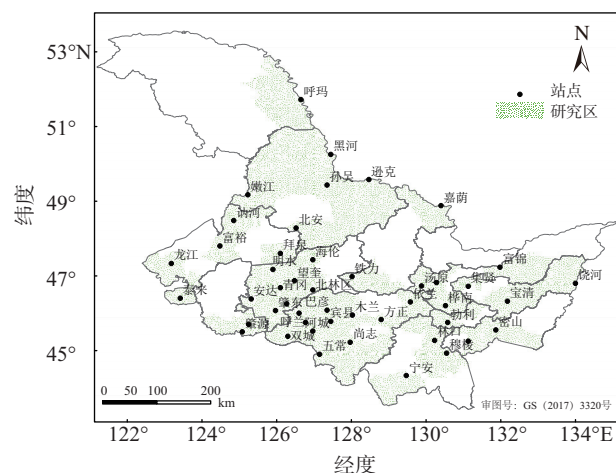


图 1 研究区域空间分布

Fig.1 Spatial distribution of the study area

以 5 月 1 日作为玉米生长季开始时间,秋季为 9—10 月,常年值取 1991—2020 年平均值,按国家标准规定降水量等级^[30]。利用线性回归方法分析秋季温度与玉米单产的关系,以百分位法分析研究区玉米成熟日降水量,以相对产量比较方法分析相同收获期产量差异,具体分析方法参见文献[17],不再赘述。

1.3 指标构建方法

霍治国等^[31]通过研究样本的分布拟合检验,构

建其分布函数,采用置信区间估计的方法,确定研究样本的阈值并构建评价指标。参考上述研究方法,利用偏度-峰度检验法检验极大风速、土壤相对湿度样本是否服从正态分布,若通过检验,采用样本均值 95%置信区间来表征玉米收获适宜极大风速、土壤相对湿度指标区间,以 95%置信区间的上限值作为玉米收获适宜风速、土壤相对湿度临界值。偏度 b_1 、峰度 b_2 统计量计算公式如下:

$$b_1 = \frac{\sqrt{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2]^{3/2}}, \quad (1)$$

$$b_2 = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2]^2}, \quad (2)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (3)$$

其中, x_i 为样本变量, \bar{x} 为样本均值, n 为样本量。以 b_{w1} 、 b_{m1} 分别代表日极大风速、0~30 cm 土层土壤相对湿度的偏度统计量,以 b_{w2} 、 b_{m2} 分别代表其峰度统计量。依据 GB/T 4883—2008《数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理》^[32] 检验样本是否服从正态分布,鉴于标准给出的检验临界值表中样本量 n' 多以 0 和 5 为尾数,因此采用 $n' \geq n$ 的方式选取检验临界值。规定检出水平 $\alpha = 0.05$, $b_{0.95}(n')$ 、 $b'_{0.95}(n')$ 分别代表偏度、峰度检验值,当 $|b_1| < b_{0.95}(n')$ 且 $|b_2| < b'_{0.95}(n')$ 时,判定样本服从正态分布,否则视为不服从正态分布。

对于不服从正态分布的样本,再采用 Box-Cox 变换进行数据处理^[33], Box-Cox 变换包括对数变换 ($\lambda = 0$)、倒数变换 ($\lambda = -1$)、平方根变换 ($\lambda = 0.5$) 等常用变换。采用 Box-Cox 变换的对数变换进行数据变换处理,变换要求原始变量大于 0,日极大风速、0~30 cm 土层平均土壤相对湿度均为正值,满足变换条件,具体计算方法参见陈学君等^[33] 的研究。数据变换后,继续采用置信区间估计方法,利用变换后数据均值 95%置信区间的上下限值再反推计算得到玉米收获适宜风速或土壤相对湿度上下限值。

2 结果与分析

2.1 玉米收获适宜风速分析

利用偏度-峰度检验法,对 47 组玉米收获日极大

风速样本是否服从正态分布进行检验,经检验,嫩江站、海伦站、安达站、宁安站等 35 组日极大风速样本满足 $|b_{w1}| < b_{0.95}(n')$ 且 $|b_{w2}| < b'_{0.95}(n')$,服从正态分布。采用 Box-Cox 对数变换方法对其余 12 组未通过检验样本进行变换处理,以 y_w 代表变换后的数据,变换后经正态分布检验,12 组样本全部服从正态分布。

基于 47 组样本的正态分布函数,利用样本均值 95% 置信区间,对玉米收获日极大风速进行范围确定,并以 95% 置信区间的上限值作为临界日极大风速,以 W_0 表示。对于 35 组样本,以双城站为例,日极大风速序列均值 95% 置信区间的日极大风速为 $6.9 \sim 9.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,则双城站玉米收获风速指标的临界日极大风速 W_0 为 $9.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,其余站依次类推。对于 12 组变

换后通过检验的样本,以五常站为例,玉米收获日极大风速变换后 y_w 95% 置信区间的上限值为 2.16,基于对数变换反推 W_0 值,则 $W_0 = e^{2.16}$, e 取 2.71828,计算后四舍五入得 $W_0 \approx 8.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。47 组日极大风速样本偏度和峰度统计量、 W_0 值及 12 组样本变换后 y_w 上限值见表 1。由表 1 可见,各研究站点 W_0 值在 $8.3 \sim 13.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间波动,不同区域 W_0 值略存在差异,黑河大部、松嫩平原大部、牡丹江地区以及三江平原北部和南部 W_0 值多为 $8.3 \sim 12.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,其他区域超过 $12.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,其中部分相邻站点 W_0 差异较大,分析其原因,可能与观测站点所处位置、海拔高度、地形、地貌及地表植被等因素有关。在玉米收获期间,风速愈小对收获作业愈有利,因此风速不设下限。

表 1 47 组极大风速样本偏度、峰度统计量及玉米收获适宜日极大风速临界值

Table 1 Statistics of skewness and kurtosis of 47 sets of extreme wind speed samples, and critical value of suitable daily extreme wind speed for maize harvest

站点	$ b_{w1} $	$ b_{w2} $	y_w 上限值	W_0	站点	$ b_{w1} $	$ b_{w2} $	y_w 上限值	W_0
拜泉	0.09	0.70	2.34	10.4	泰来	0.11	0.81	—	11.4
明水	0.46	0.23	2.34	10.4	青冈	0.73	0.65	—	10.0
望奎	0.24	0.75	2.37	10.7	绥化	0.74	0.02	—	12.1
兰西	0.55	0.23	2.43	11.4	安达	0.28	0.51	—	9.6
巴彦	0.80	0.95	2.23	9.3	肇东	0.22	0.92	—	10.4
桦南	0.15	0.59	2.42	11.2	铁力	0.50	0.93	—	11.3
肇源	0.12	0.16	2.41	11.1	汤原	0.69	0.37	—	13.5
木兰	0.42	0.84	2.44	11.5	佳木斯	0.20	0.79	—	10.3
方正	0.29	0.03	2.12	8.3	依兰	0.10	0.81	—	10.2
林口	0.06	0.55	2.31	10.1	集贤	0.59	0.27	—	11.0
鸡东	0.72	0.22	2.27	9.7	宝清	0.60	0.47	—	11.6
五常	0.60	1.13	2.16	8.7	饶河	0.34	1.20	—	10.9
呼玛	0.16	0.34	—	12.0	肇州	0.25	0.84	—	10.9
爱辉	0.35	0.64	—	10.8	哈尔滨	0.66	0.46	—	10.0
嫩江	0.36	0.26	—	12.9	双城	0.53	1.30	—	9.8
孙吴	0.59	0.61	—	11.5	呼兰	0.59	0.01	—	12.5
逊克	0.76	1.17	—	9.0	阿城	0.76	0.65	—	10.6
讷河	0.25	0.67	—	10.6	宾县	0.41	0.68	—	13.3
北安	0.25	0.88	—	9.5	尚志	0.67	0.63	—	10.2
嘉荫	0.02	0.75	—	9.7	勃利	0.43	0.71	—	11.3
龙江	0.34	0.49	—	12.1	密山	0.68	0.07	—	12.2
富裕	0.53	0.39	—	11.0	穆棱	0.56	0.28	—	9.1
海伦	0.76	0.93	—	10.3	宁安	0.04	1.05	—	10.1
富锦	0.14	1.03	—	10.3					

大风易造成玉米植株倾斜、倒伏,不利于进行玉米收获作业。有研究发现,日极大风速超过 $14.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时可造成玉米倒伏^[34],2020 年北上台风“巴威”“美莎克”“海神”使黑龙江局部或部分地区玉米出现倒伏,其大风风力等级均在 7 级以上,依据 GB/T 28591—2012《风力等级》^[35] 转换为风速,即为 $13.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。本文综合参考上述内容,确定研究区各站玉米收获适宜风速条件为:收获当日日极大风速 $W \leq W_0$;较适宜风速条件

为:收获当日日极大风速 $W_0 < W \leq 13.8$ 。不满足上述两个条件,则表明风速不适宜玉米收获。

2.2 玉米收获适宜土壤相对湿度分析

对 47 组玉米收获 0~30 cm 土层土壤相对湿度样本进行正态分布检验,由图 2 可见,47 组 0~30 cm 土层土壤相对湿度样本偏度统计量 $|b_{m1}|$ 、峰度统计量 $|b_{m2}|$ 均小于对应的 $b_{0.95}(n')$ 、 $b'_{0.95}(n')$,表明 47 组 0~30 cm 土层土壤相对湿度样本全部服从正态分布。

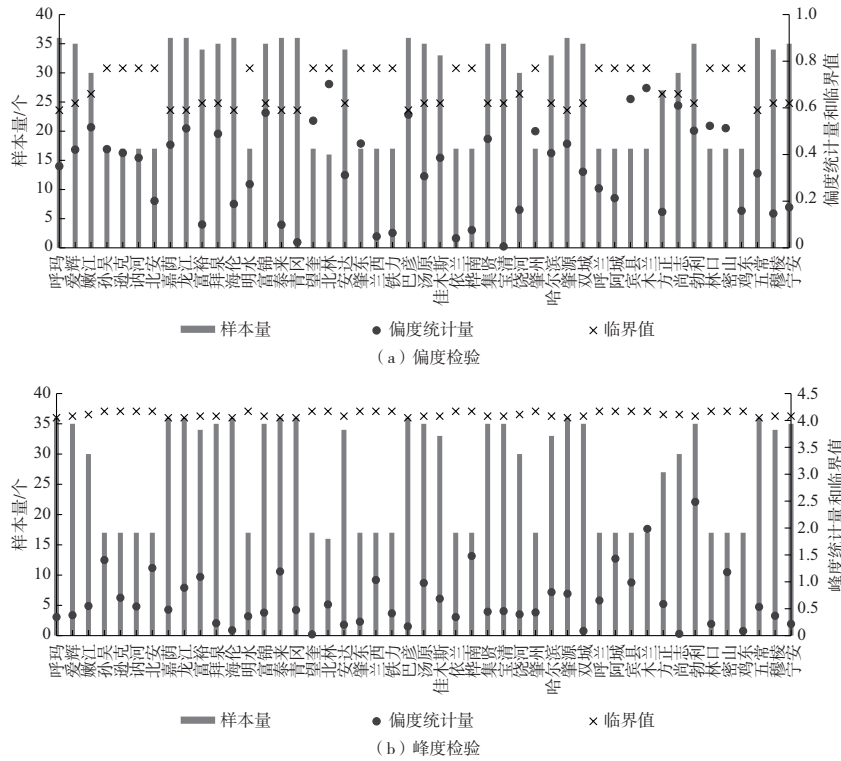


图 2 47 组 0~30 cm 土层土壤相对湿度样本偏度、峰度检验

Fig.2 Skewness and kurtosis test of 47 sets of relative soil moisture samples in the soil layer of 0-30 cm

在玉米收获期间,土壤相对湿度愈小愈有利于玉米收获,土壤相对湿度过大,会出现湿涝现象,对玉米收获存在不利影响,因此玉米收获适宜土壤相对湿度不设下限。以 95% 置信区间的上限值作为临界土壤相对湿度,以 M_0 表示, M 表示 0~30 cm 土层土壤相对湿度。以双城站为例,土壤相对湿度序列均值 95% 置信区间的土壤相对湿度为 74%~80%,则双城站玉米收获土壤相对湿度的临界土壤相对湿度 M_0 为 80%,其余站依次类推(表 2)。黑龙江当前气象业务工作中以土壤相对湿度 $\geq 99\%$ 为土壤饱和,参考前人关于玉米成熟收获土壤水分的影响分析^[36],结合本文土壤相对湿度样本均值 95% 置信区间,确定研究区玉米收获适宜土壤相对湿度条件为 $M \leq M_0$; 玉米收获较适宜土壤相对湿度条件为 $M_0 < M \leq 98\%$ 。不满足上述条件,则表明土壤相对湿度不适宜玉米收获。

2.3 风速和土壤相对湿度适宜性验证分析

利用预留的 45 个样本,对玉米收获时风速、0~30 cm 土层土壤相对湿度条件进行适宜性验证。由图 3 可见,预留样本玉米收获日极大风速在 5.7~17.8 $m \cdot s^{-1}$ 之间,95.6% 样本玉米收获当日极大风速处

于适宜或较适宜范围;预留样本玉米收获时 0~30 cm 土层土壤相对湿度为 67%~98%,全部预留样本处于适宜或较适宜区间,由此可见,玉米收获时日极大风速、0~30 cm 土层土壤相对湿度与所构建的适宜条件吻合度较高,一定程度上能够反映其具有一定适宜性。

表 2 研究区 47 站玉米收获 0~30 cm 土层适宜土壤相对湿度临界值

Table 2 Critical value of suitable relative soil moisture for maize harvest in the soil layer of 0-30 cm at 47 stations in the study area

in the study area		单位: %	
站点	M_0	站点 M_0	
呼玛	86	望奎	78
爱辉	93	北林	91
嫩江	85	安达	76
孙吴	86	肇东	73
逊克	77	兰西	71
讷河	81	铁力	78
北安	86	巴彦	85
嘉荫	89	汤原	92
龙江	84	佳木斯	84
富裕	80	依兰	82
拜泉	88	桦南	88
海伦	83	集贤	89
明水	82	宝清	93
富锦	91	饶河	94
泰来	74	肇州	77
青冈	84	哈尔滨	86
		肇源	83
		双城	80
		呼兰	79
		阿城	74
		宾县	83
		木兰	83
		方正	85
		尚志	83
		勃利	93
		林口	84
		密山	78
		鸡东	74
		五常	82
		穆棱	89
		宁安	87

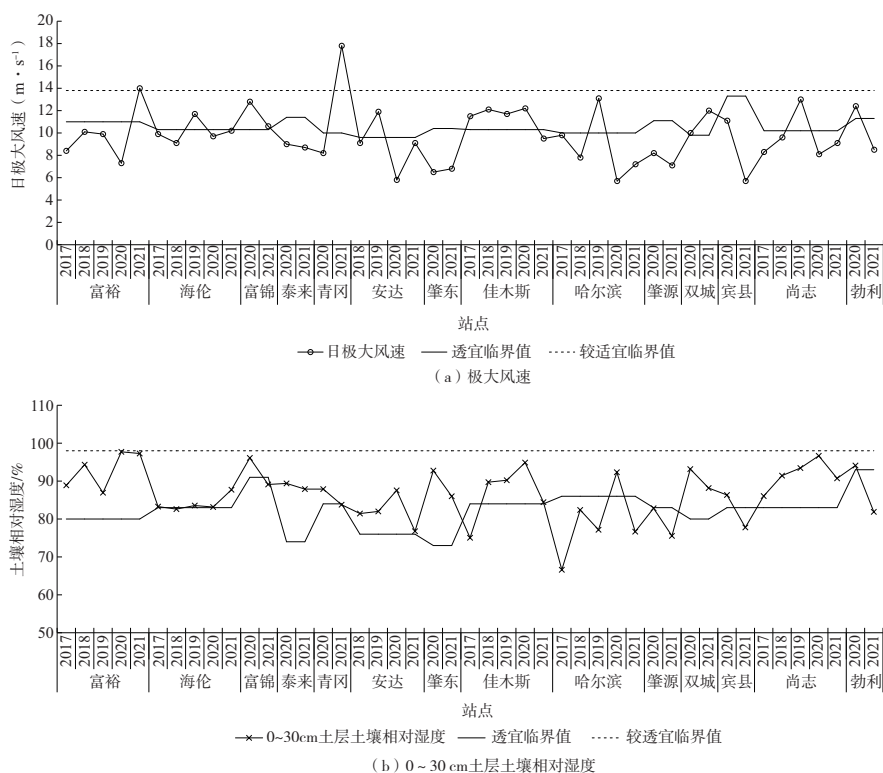


图3 玉米收获极大风速、0~30 cm 土层土壤相对湿度适宜性验证
Fig.3 Suitability verification of extreme wind speed and relative soil moisture in the soil layer of 0-30 cm during maize harvest

3 指标合理性及降水、温度影响分析

3.1 风速和土壤水分条件合理性及对比分析

许多专家学者从不同角度研究了玉米收获及其影响因素^[20,23,27],研究建立了玉米破碎率与收获期籽粒含水率之间的关系,提出破碎率最低时籽粒含水率为 21.08%,为提高玉米收获质量提供更充分科学依据^[37]。比较而言,本文从自然影响因素角度,探索有利于玉米收获作业的气象条件,构建适宜玉米收获的临界阈值,同时融合玉米大田实际成熟、收获期,使其具有气象学和农学意义,能够很好指示玉米收获所需适宜气象条件。

王彦平等^[38]构建了岭东地区玉米收获时气象条件适宜度预报模型,马树庆等^[39]建立了收获综合气象适宜度评价模型,并利用榆树和白城气象、土壤数据对收获适宜度模型进行了检验。不同区域气候存在差异,黑龙江玉米收获期适宜气象条件与岭东地区、吉林省有所不同,其境内不同区域也存在一定差异,此文基于历史长序列玉米成熟期样本,采用置信区间估计方法建立了黑龙江玉米主产区不同区域的玉米收获适宜风速、土壤水分条件,考虑最直接影响

收获且影响最大的因素,使指标更具代表性,并缩小其空间尺度,提升了空间精细度,可使不同区域根据临界阈值精准选择玉米适宜收获期。另外,通过统计学方法构建临界阈值,加之验证样本为玉米大田实际收获期样本,因实际收获受天气条件、农事管理等影响,其与适宜收获可能存在一定差异性,这在一定程度上增加了阈值有效验证的难度,而不同区域气候特征、土壤质地等也存在差异,致使所建指标依然存在不确定性,因此阈值仍需在未来农业气象预报业务中开展应用检验,并与实际情况相结合进行修订改进。

3.2 玉米成熟后降水对收获影响

黑龙江大部区域玉米主要收获期处于 10 月中旬前,通过分析 1981—2021 年研究区玉米成熟后至 10 月 20 日的日降水量概况,以期探索降水可能带来的影响。分析发现,在 41 a 内,1989、1996、2004、2009、2019 年研究区玉米成熟后未出现大雨、暴雨天气;其余 36 a 中,仅有 12 站、11 d 出现暴雨,其中尚志站在 1995、1998 年出现;出现大雨的站数、日数有所增加,累计出现大雨日数达 110 d,研究区累计出现大雨日数达 239 d,仅占总记录数的 0.4%,出现站数达 1~19 站,日数达 1~7 d,1987 年范围最大,

2012 年日数最多(表 3);41 a 内均出现了中雨天气,累计出现中雨日数达 380 d,研究区累计出现中雨日数达 1 667 d,占总记录数的 2.8%。研究区玉米成熟后 96.7% 日数的降水为小雨量级以下降水,其中 74.7% 为无降水。以黑龙江玉米最大种植县龙江县为例,由图 4 可见,1981—2021 年,龙江县玉米成熟后至 10 月 20 日,绝大多数日数降水量在小雨量级以下,其中有 82.4% 日数无降水;有 25 d 降水量达到中雨或以上水平,其中仅有 8 d 降水量超过 20.0 mm(3 d 达到大雨量级水平)。综上可见,黑龙江玉米成熟后出现暴雨、大雨、中雨的概率较小,多为小雨以下量级降水天气。

利用百分位法计算 1981—2021 年研究区 47 站玉米成熟日降水量第 95 个百分位值,结果显示,研究区各站玉米成熟日降水量第 95 个百分位值在 1.3~23.0 mm 之间,表明 95% 年份降水量在该值以下,均未达到大雨水平,哈尔滨站最大,为 23.0 mm,佳

木斯次之,为 20.1 mm,其余站点均在 17.6 mm 以下,51.1% 的站点在 9.9 mm(小雨量级)以下,这进一步印证了玉米成熟后多数时间为小雨以下降水的结论。哈尔滨 1994 年玉米成熟日降水量为 23.3 mm,其对应时间的土壤相对湿度为 98%,佳木斯 1984 年玉米成熟日降水量为 20.1 mm,其对应土壤相对湿度为 81%,根据如上所建土壤相对湿度指标,哈尔滨 1994 年、佳木斯 1984 年玉米成熟时土壤水分适宜或较适宜玉米收获。马树庆等^[39] 研究指出,天气晴好、风力较小和土壤偏干的条件有利于收获作业,结合此文结果综合分析可见,在研究区玉米成熟至 10 月 20 日的主要收获期,日降水量在 23.0 mm 以下的降水天气可收获玉米,但无降水天气更有利于玉米收获;另外,也存在玉米成熟后出现较多降水的个例,降水量为 25.0~67.8 mm,即出现了大雨、暴雨天气,大雨以上降水天气以及降水引起的土壤湿涝均不利于玉米收获。

表 3 1981—2021 年研究区玉米成熟至 10 月 20 日出现大雨、暴雨站数及日数

Table 3 The number of stations and days of heavy rain and rainstorm in the study area between the maturity of maize and 20 October from 1981 to 2021

年份	暴雨站数 /站	暴雨日数 /d	大雨站数 /站	大雨日数 /d	年份	暴雨站数 /站	暴雨日数 /d	大雨站数 /站	大雨日数 /d
1981	0	0	4	5	1995	1	1	9	3
1982	1	1	9	6	1997	0	0	2	2
1983, 2006, 2011, 2013	0	0	2	1	1999	0	0	3	1
1984	0	0	3	3	2000	0	0	13	4
1985	0	0	6	6	2002	0	0	11	3
1986, 2017, 2018	0	0	4	3	2003	0	0	6	2
1987	4	2	19	6	2010	1	1	5	2
1988	0	0	8	5	2012	0	0	11	7
1990	0	0	11	5	2014	1	1	4	1
1991	1	1	10	4	2016	1	1	15	6
1992, 2001, 2005, 2008	0	0	1	1	2021	0	0	7	4
1993, 2007, 2015	1	1	3	2	1989, 1996, 2004, 2009, 2019	0	0	0	0
1994, 1998	2	2	11	6					

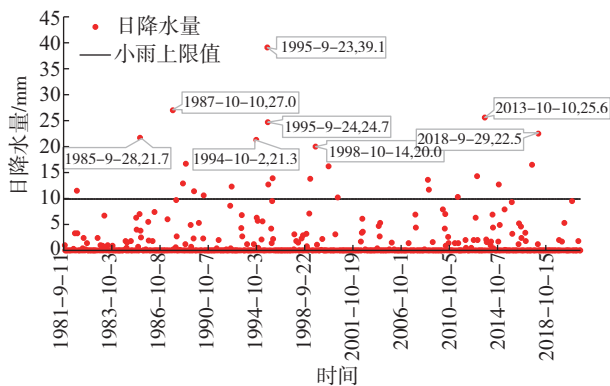


图 4 1981—2021 年龙江县玉米成熟至 10 月 20 日降水量

Fig.4 Precipitation in Longjiang between the maturity of maize and 20 October from 1981 to 2021

3.3 秋季温度对玉米成熟影响

秋季温度条件虽并不直接影响玉米收获作业,但温度较高的天气利于玉米收获^[39],且温度条件与玉米成熟关系密切,其通过影响玉米籽粒成熟度、脱水而间接影响玉米收获质量^[27]。由温度对玉米产量形成影响(图 5)来看,研究区秋季平均气温、最高气温分别与玉米株籽粒重呈极显著二次函数关系($P < 0.01$),最低气温与玉米株籽粒重为近于线性的二次函数关系($P < 0.05$),在一定温度范围内,随着秋季温度的升高,玉米株籽粒重呈增加趋势,这一定程度上反映秋季温度条件对玉米籽粒成熟为正效应作用。

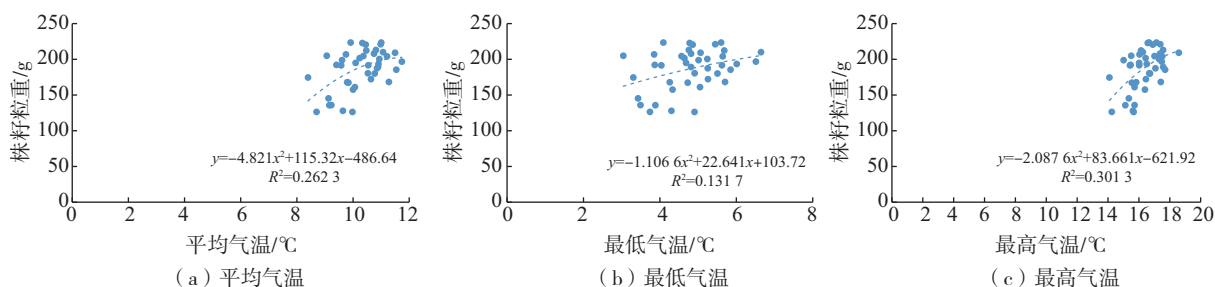


图5 研究区秋季平均气温、最低气温、最高气温与玉米株籽粒重的关系

Fig.5 Relationship between autumn average/minimum/maximum temperature and grain weight of maize per plant in the study area

4 结论与讨论

(1) 选取极大风速和土壤相对湿度 2 个要素, 基于样本序列分布拟合的偏度-峰度法显著性检验, 建立玉米收获日极大风速和 0~30 cm 土层土壤相对湿度正态分布函数各 47 个, 以样本均值 95% 置信区间的上限值作为日极大风速、土壤相对湿度的临界阈值, 考虑风速、土壤湿涝对玉米收获影响, 建立研究区玉米收获适宜和较适宜风速、土壤相对湿度条件, 并能较好指示黑龙江玉米收获风速和土壤相对湿度适宜程度, 与预留样本极大风速和土壤水分条件对比验证, 极大风速处于适宜或较适宜范围的吻合率为 95.6%, 土壤相对湿度适宜或较适宜范围的吻合率为 100%。

(2) 玉米成熟后降水对收获存在一定影响, 玉米成熟至 10 月 20 日的主要收获期, 日降水量在 23.0 mm 以下的降水天气可收获玉米, 但无降水天气更有利于玉米收获; 而大雨以上降水天气以及降水引起的土壤湿涝均不利于玉米收获。

(3) 研究区秋季平均气温、最高气温、最低气温与玉米株籽粒重呈显著或极显著二次函数关系, 在一定温度范围内, 随着秋季温度的升高, 玉米株籽粒重呈增加趋势, 表明秋季温度条件对玉米籽粒成熟为正效应作用。

玉米倒伏受多种因素影响, 由气象因素看, 大风伴随降水天气更易引起玉米发生倒伏^[40], 不同程度的大风和降水对不同发育期玉米倒伏影响不同, 导致玉米不同发育期发生倒伏的大风和降水量阈值尚待研究。玉米成熟后至收获期间气象条件对玉米籽粒脱水、最终产量影响机制以及不同收获期对产量损失的影响值得探索, 上述内容可在未来工作中通

过科学试验开展研究, 以为玉米安全生产防灾减灾提供科学技术支撑。另外, 玉米成熟后低温、阴雨、寡照天气不利于玉米籽粒脱水和收获, 建议在增加田间生理成熟后站秆时间方面密切关注天气变化, 以便选择合理站秆时间和收获时期。

参考文献:

- [1] DING Y H. Sustainable management and action in China under the increasing risks of global climate change [J]. *Engineering*, 2018, 4(3): 301-305.
- [2] KAMINSKI J, CHRISTIAENSEN L. Post-harvest loss in sub-Saharan Africa: what do farmers say? [J]. *Glob Food Secur*, 2014, 3(3/4): 149-158.
- [3] 池仁勇. 粮食产后损失行为调控模型的研究 [J]. *科技通报*, 1997, 13(3): 186-189.
- [4] 郭焱, 占鹏, 李轩复, 等. 我国玉米收获损失研究: 基于 5 省 5 县的调查 [J]. *玉米科学*, 2018, 26(5): 130-136.
- [5] 陈伟, 朱俊峰. 农户粮食收获损失影响因素的分解分析 [J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(12): 120-128.
- [6] 李轩复, 黄东, 屈雪, 等. 不同收获方式对粮食损失的影响: 基于全国 3251 个农户粮食收获的实地调研 [J]. *自然资源学报*, 2020, 35(5): 1043-1054.
- [7] ABASS A B, NDUNGURU G, MAMIRO P, et al. Post-harvest food losses in a maize-based farming system of semi-arid savannah area of Tanzania [J]. *J Stored Prod Res*, 2014, 57: 49-57.
- [8] BASAVARAJA H, MAHAJANASHETTI S B, UDAGATTI N C. Economic analysis of post-harvest losses in food grains in India: a case study of Karnataka [J]. *Agric Econ Res Rev*, 2007, 20: 117-126.
- [9] KONG S, NANSEKI T, CHOMEI Y. Farmers' perception of loss in Post-harvest of rice yield in Cambodia [J]. *J Fac Agric Kyushu Univ*, 2015, 60(2):

- 569-576.
- [10] 薛媛,薛晓萍.极端降水与干旱同步频发的研究进展[J].海洋气象学报,2022,42(1):61-73.
- [11] 姜丽霞,朱海霞,闫敏慧,等.黑龙江省主汛期异常降水变化及其与洪涝的关系研究[J].灾害学,2019,34(2):1-6.
- [12] 姜丽霞,赵慧颖,曲辉辉,等.黑龙江省玉米干旱与低温冷害复合逆境对产量的影响[J].气象,2021,47(1):94-105.
- [13] 高荣珍,马艳.台风“巴威”外围致山东半岛西部强降水过程的中尺度特征及环境条件[J].海洋气象学报,2021,41(4):26-35.
- [14] 王春乙,蔡菁菁,张继权.基于自然灾害风险理论的东北地区玉米干旱、冷害风险评价[J].农业工程学报,2015,31(6):238-245.
- [15] 张森,徐开未,裴丽珍,等.川中丘陵区气象因子与玉米倒伏和产量的灰色关联度分析[J].四川农业大学学报,2021,39(5):666-673.
- [16] 李轩复,黄东,武拉平.不同规模农户粮食收获环节损失研究:基于全国 28 省份 3251 个农户的实证分析[J].中国软科学,2019(8):184-192.
- [17] 姜丽霞,李树岭,张雪梅,等.黑龙江省玉米干旱与低温冷害复合发生的温水特征及产量分析[J].灾害学,2022,37(2):29-35.
- [18] 赵秀兰.近 50 年登陆我国热带气旋时空特征及对农业影响研究综述[J].海洋气象学报,2019,39(4):1-11.
- [19] 郭银巧,徐文娟,王克如,等.玉米典型生态区机械收获现状及影响农户采用的因子分析[J].中国生态农业学报(中英文),2021,29(11):1964-1972.
- [20] 李璐璐,雷晓鹏,谢瑞芝,等.夏玉米机械粒收质量影响因素分析[J].中国农业科学,2017,50(11):2044-2051.
- [21] 王金涛,董心亮,苏寒,等.京津冀地区密植高产宜机收籽粒春玉米品种筛选[J].农业工程学报,2020,36(22):105-119.
- [22] 柴宗文,王克如,郭银巧,等.玉米机械粒收质量现状及其与含水率的关系[J].中国农业科学,2017,50(11):2036-2043.
- [23] 林静,陈鹏,刘明国.玉米收获机械化发展的影响因素分析及前景预测[J].中国农机化学报,2014,35(5):37-44.
- [24] 路海东,薛吉全,马国胜,等.收获期对不同栽培措施玉米产量及粒重的影响[J].玉米科学,2011,19(1):101-104.
- [25] 孔凡磊,赵波,吴雅薇,等.收获时期对四川春玉米机械粒收质量的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(1):50-56.
- [26] 何长安,李金霞,骆生,等.收获时期和机收速率对玉米机收损失的影响[J].黑龙江农业科学,2021(6):132-137.
- [27] 王克如,李璐璐,高尚,等.中国玉米机械粒收质量主要指标分析[J].作物学报,2021,47(12):2440-2449.
- [28] 国家气象局.农业气象观测规范(上卷)[M].北京:气象出版社,1993.
- [29] 曹钟洋,刘良武,周精华,等.播期和整地方式对湖南玉米机械播种的影响[J].作物研究,2021,35(4):297-301.
- [30] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.降水量等级:GB/T 28592—2012[S].北京:中国标准出版社,2012:1-7.
- [31] 霍治国,李世奎,王素艳,等.主要农业气象灾害风险评估技术及其应用研究[J].自然资源学报,2003,18(6):692-703.
- [32] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理:GB/T 4883—2008[S].北京:中国标准出版社,2008:1-14.
- [33] 陈学君,胡文超,杨瑜峰,等.甘肃降水量正态性分析[J].干旱气象,2013,31(1):107-112.
- [34] 李树岩,李军玲,马志红,等.夏玉米主要生育阶段倒伏类型特征曲线的构建与验证[J].干旱地区农业研究,2021,39(6):238-247.
- [35] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.风力等级:GB/T 28591—2012[S].北京:中国标准出版社,2012:1-7.
- [36] 李帅,杜春英.黑龙江农业气象应用服务手册[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,2013:1-25.
- [37] 王克如,李璐璐,鲁镇胜,等.黄淮海夏玉米机械化粒收质量及其主要影响因素[J].农业工程学报,2021,37(7):1-7.
- [38] 王彦平,曹庆锋,阴秀霞,等.基于格点预报建立小麦、玉米、大豆和马铃薯播种、收获适宜气象条件等级预报模型[J].气象与环境科学,2021,44(5):96-104.
- [39] 马树庆,陈剑,王琪,等.东北地区玉米整地、播种和收获气象适宜度评价模型[J].气象,2013,39(6):782-788.
- [40] 薛军,王群,李璐璐,等.玉米生理成熟后倒伏变化及其影响因素[J].作物学报,2018,44(12):1782-1792.