

闫平,姜丽霞,王萍,等,2020. 黑龙江省玉米播种下限温度指标阈值研究[J]. 气象,46(8):1089-1097. Yan P, Jiang L X, Wang P, et al, 2020. Study on threshold of lower limit temperature index for maize sowing in Heilongjiang Province[J]. Meteor Mon, 46(8):1089-1097(in Chinese).

黑龙江省玉米播种下限温度指标阈值研究*

闫平^{1,2,3} 姜丽霞^{1,2,3} 王萍^{1,2,3} 季生太^{1,2,4} 朱海霞^{1,2,3}

1 黑龙江省气象院士工作站,哈尔滨 150030

2 中国气象局东北地区生态气象创新开放实验室,哈尔滨 150030

3 黑龙江省气象科学研究所,哈尔滨 150030

4 黑龙江省生态气象中心,哈尔滨 150030

提 要: 利用1981—2005年黑龙江省13个玉米观测站资料,采用聚类分析及典型年分析法,研究玉米播种下限温度指标,并用2006—2018年观测数据及大田分期播种试验数据对指标进行验证。研究表明,地温是玉米大田播种的主要影响因子,日10 cm平均地温可以作为最低温度界限指标的指示值。日10 cm平均地温6.0℃为玉米不能播种的最低界限指标;日10 cm平均地温6.0~8.0℃为玉米可以播种的最低界限指标,少数玉米遭受低温灾害;日10 cm平均地温8.0℃为玉米安全播种的最低界限指标。

关键词: 玉米,播种,界限温度,指标

中图分类号: S16,P49

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2020.08.008

Study on Threshold of Lower Limit Temperature Index for Maize Sowing in Heilongjiang Province

YAN Ping^{1,2,3} JIANG Lixia^{1,2,3} WANG Ping^{1,2,3} JI Shengtai^{1,2,4} ZHU Haixia^{1,2,3}

1 Meteorological Academician Workstation of Heilongjiang Province, Harbin 150030

2 Innovation and Opening Laboratory of Regional Eco-meteorology in Northeast, CMA, Harbin 150030

3 Heilongjiang Province Institute of Meteorological Sciences, Harbin 150030

4 Heilongjiang Ecometeorological Center, Harbin 150030

Abstract: By using the observation data from maize field observation stations during 1981—2005 in Heilongjiang Province, and cluster analysis and typical year analysis methods, this paper studied the lowest temperature limit index of maize field sowing. At the same time, the index was verified with the 2006—2018 observation data and the experiment data from the field sowing by stage. The results showed that the ground temperature is the main factor for the maize sowing, and the daily average ground temperature (10 cm) can be used as an indicator of the minimum temperature limit. The lowest threshold temperature index of the daily ground temperature (10 cm) is 6.0℃, at which the maize cannot be sown. The lowest threshold temperature index of the daily average ground temperature (10 cm) is from 6.0℃ to 8.0℃, at which the maize can be sown, but there is a small number of maize suffering from low temperature disasters. The lowest threshold temperature index of the daily average ground temperature (10 cm) is 8.0℃, at which

* 中国气象局沈阳大气环境研究所开放基金项目(2019SYIAE04)、科技部粮食丰产增效科技创新专项(2018YFD0300103-1)及中国气象局东北地区生态气象创新开放实验室基金项目(stqx2019zd01、stqx201803和 stqx201705)共同资助

2019年3月28日收稿; 2020年4月14日收修定稿

第一作者:闫平,主要从事农业气象应用研究. E-mail:di-chun@163.com

通讯作者:姜丽霞,主要从事农业气象应用研究. E-mail:hlijlx@163.com

the maize can be sown safely.

Key words: maize, sowing, threshold temperature, index

引 言

黑龙江省是我国重要商品粮基地,粮食产量居于全国首位(中华人民共和国国家统计局,2016)。玉米为黑龙江省主栽粮食作物(雷光宇,2016),2013—2015年播种面积超过 $5 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (中华人民共和国国家统计局,2016),2015年黑龙江玉米产量占全国近1/6,可见黑龙江省玉米产业的健康发展对保障国家粮食安全具有举足轻重的作用。然而,黑龙江省位于我国最北部,热量资源与作物需求之间矛盾突出(贾建英和郭建平,2009; Yang et al, 2007),尤其春季较易出现低温天气,研究表明,春季低温常常造成玉米播种后发芽延迟,甚至出现烂籽、粉籽现象,从而导致出苗率降低(Bano et al, 2015; Imran et al, 2013; Basra et al, 2011; 李北齐等, 2011),使玉米产业发展受到严重影响。农业生产与气候变化密切相关(郭建平, 2015; 蔡榕硕和付迪, 2018),气候变化影响玉米播种日期和品种的选择,进而影响到玉米产量(Nafziger, 2013),受气候变化影响,黑龙江省气候变暖尤为突出(刘实等, 2010; 董李丽等, 2015),热量资源显著增加,这使黑龙江省粮食生产受到“双刃剑式”的影响,一方面,热量增加促进玉米适时早播以获取高产,但由于播种下限温度界限指标不明确,时常出现过早播种而导致玉米粉籽、烂籽现象,造成很大损失。另一方面,有些地区依然未更换恰当的晚熟品种,且播种过晚,造成热量资源严重浪费,导致粮食产量大幅度降低,农民收入减少。因此,研究大田播种下限温度指标对保障国家粮食安全及促进玉米产业发展具有深远的现实意义。

关于玉米种子萌芽下限温度,国内外做了大量研究,均以控制试验为主,由成果可见,下限温度以日平均温度作为指标,临界温度集中在 $5、6、7、8 \text{ }^\circ\text{C}$,譬如,高素华等(1998)研究了东北地区早、中、晚熟3个玉米品种的临界温度为 $3.2 \sim 5.2 \text{ }^\circ\text{C}$,龚文娟等(1984)研究认为玉米种子在 $5 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $5 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下不发芽, $6 \text{ }^\circ\text{C}$ 开始发芽,而吴绍骅(1980)提出玉米种子发芽最

低温度在 $6 \sim 7 \text{ }^\circ\text{C}$ 。山东大学种子教研室(1988)报道了玉米种子萌发的最低温度为 $8 \sim 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

前人研究成果均是基于人工环境控制试验得出的下限温度指标,而以自然条件下长序列农业气象观测数据获取下限温度指标鲜有报道。本研究基于长序列农业气象观测资料和逐日气象观测资料,分析玉米播种下限温度,利用农业气象观测资料和分期播种试验数据进行验证,明确黑龙江省玉米播种下限温度指标,以解决气候变暖背景下玉米适时播种问题,为黑龙江省玉米安全生产及防灾减灾提供气象参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源

受玉米农业气象观测资料限制,选取黑龙江省13个玉米农业气象观测站点进行研究,13个观测站点均为黑龙江省玉米主产市(县),玉米年种植面积在 $3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 以上,能够代表黑龙江省玉米生产实际状况,并客观反映热量、水分等分布概况和趋势,从而保证研究的科学性和可行性。所用资料包括13个观测站点1981—2018年农业气象及气象观测资料,即玉米播种期、玉米出苗期、玉米七叶期密度、 10 cm 日平均地温数据以及2012—2014年富裕、肇源玉米分期播种观测资料,农业气象和气象历史数据来自黑龙江省气象局。玉米农业气象观测按照中国气象局《农业气象观测规范》(黄健和成秀虎, 1993)的要求进行,为保证资料的连续性,作物观测保持观测方法一致,所观测品种的熟期在研究期间基本保持一致,田间管理与当地大田保持一致,且耕作方式不变。农业气象观测站点见图1。

1.2 研究方法

1.2.1 指标构建方法

K-means聚类分析方法是气候研究中广泛应用的方法,该方法通过把一个没有类别标记的样本集按某种相似性划分为若干类,使相似的样本尽可能

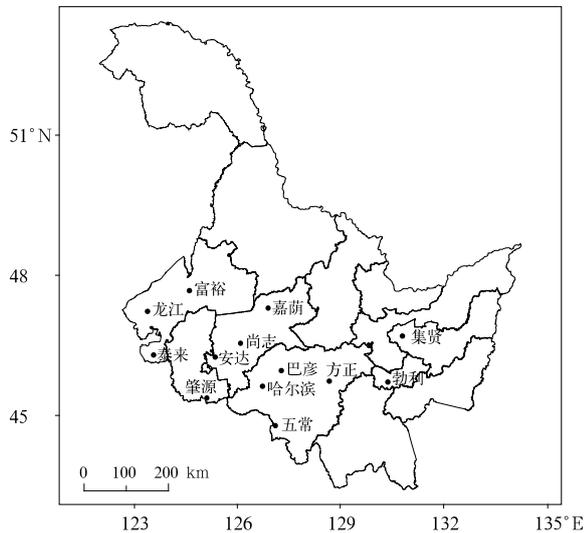


图 1 研究区域及站点分布

Fig. 1 Study area and distribution of study stations

归为一类,而将不相似的样本尽量划分到不同的类中(刘伟东等,2013;2014;韩微和翟盘茂,2015)。本文采用 K-means 聚类分析方法提炼构建玉米播种下限温度阈值指标,其计算方法见 Jing et al(2011)。

目前黑龙江省大田播种深度位于土层 0~10 cm(李帅等,2014),东北地区用 5~10 cm 地温预报玉米播种期温度,因此选取 10 cm 平均地温作为研究因子。1981—2005 年黑龙江省玉米播种密度稳定在 4.5 万株·hm⁻²,随着农技措施的提高,2006—2018 年黑龙江省玉米播种密度增加,稳定在 5.0 万株·hm⁻²,但由于出苗率有差异导致实际七叶期密度不一致。黑龙江省玉米在七叶期定苗,在未采取补苗措施条件下,玉米七叶期田间密度能够很好反映玉米出苗率状况(高勇和邢东方,2011),则以七叶期密度代替出苗率。利用 1981—2005 年观测资料序列构建指标,为保证所建指标的准确性和科学性,首先对各站点研究期间的种植密度进行筛选,剔除奇异值,同时结合《中国气象灾害大典》(温克刚,2007),将各站补苗、毁种和受到其他灾害的年份剔除,剔除后统计受低温影响和正常出苗年份的播种至出苗期间 10 cm 最低日平均地温及密度数据,再采用 K-means 聚类分析法和典型年分析方法获取指标。由于大田播种至出苗温度与人工控制试验不同,地温变化大,各年份播种至出苗期间日最高

地温与日最低地温差异较大,以播种至出苗期间的平均地温为指标,无法反映最低温度界限指标,因此本文以播种至出苗期间 10 cm 最低日平均地温作为指标,10 cm 最低日平均地温是指从播种至出苗期间,10 cm 日平均地温最低的日期对应的 10 cm 日平均地温。定义播种期至出苗期间不同级别 10 cm 最低日平均地温对应的年份为典型年,将玉米密度比历年低 0.5 万株·hm⁻²作为受害密度。另外,由于历年春播期强降温发生的概率为 17%(王蕾和张舒,2016),即玉米春播期遭受低温灾害的概率为 17%,以玉米种植密度反映遭受低温冷害情况,所以聚类分析中选取 17%以下的种植密度作为玉米受害播种密度。

1.2.2 指标验证方法

采用 2006—2018 年农业气象观测资料及分期播种试验方法对所建指标进行验证。选取富裕、肇源为分期播种试验观测站点,试验管理按当地现行栽培管理技术进行。富裕选取通单 24、肇源选取先玉 335 为供试品种,两供试品种发芽率均在 90%以上,排除了种子发芽率低导致的出苗率差异。于 2012—2014 年选定当地多年平均播种期(富裕站为 5 月 12 日,肇源站为 5 月 4 日)分别向前和向后,按间隔 7 d,各确定两个播期,以五个播种期进行分期播种试验。每个播期分为 3 个重复。各播期采取单粒播种,株行距为 33 和 60 cm,播种密度约为 5 万株·hm⁻²,每个重复面积为 65 m²。

试验观测项目为:播种期、出苗期(普遍期)、七叶期密度、玉米播种至成熟期间 10 cm 日平均地温、每旬逢 8 日观测并计算 10 cm 土壤相对湿度。观测方法按《农业气象观测规范》(黄健和成秀虎,1993)执行。但是,2013 年由于春季遭受低温内涝灾害,试验点从第二播期开始播种。

2 结果与分析

2.1 播种下限地温指标分析

采用经验频率法计算保证率,得出 17%保证率下的种植密度为 3.9 万株·hm⁻²,以该种植密度作为指标,对照分类方案,确定最佳聚类数为 5。将 144 个样本分为 5 类(表 1),可见玉米播种 10 cm 最

低日平均地温在 8.2°C 以上,玉米种植密度高于 3.9 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$,未受灾害;玉米播种 10 cm 最低日平均地温在 $6.5\sim 8.2^{\circ}\text{C}$,玉米种植密度在 2.8 万 ~ 3.9 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$,受害程度轻;玉米播种 10 cm 最低日平均地温在 6.5°C 以下玉米种植密度低于 2.8 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$,玉米严重受害。

2.2 播种不同的下限地温指标典型年分析

应用典型年分析方法,结合龚文娟等(1984)、吴绍骥(1980)和山东大学种子教研室(1988)的研究及聚类分析结果。选取 10 cm 地温出现小于 6.0 、 $6.0\sim 6.5$ 、 $6.5\sim 8.0$ 、 $8.0\sim 8.2^{\circ}\text{C}$ 的典型年进行分析。由表 2 可见,播种至出苗期间 10 cm 最低日平均地温小于 6.0°C 时,除 2005 年五常外,其他观测站点玉米密度受到影响,即 10 cm 最低日平均地温小于 6.0°C 时,密度低于历年平均水平,出苗不全。五常 2005 年 5 月 7 日播种,5 月 26 日出苗,密度比历年低 0.1 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$, 10 cm 日平均地温见表 3。五常 2005 年播种初期地温低,种子不萌发,因此未遭受低温影响,后期地温升高,种子正常萌发、出苗。因此可见种子萌发后 10 cm 最低日平均地温在 6.0°C 以下时,种子遭受低温冷害的可能性达 100% ,

影响玉米出苗。

表 1 玉米播种 10 cm 最低日平均地温与种植密度聚类分析结果

Table 1 Cluster center analysis results in corn planting of the lowest average daily ground temperature at 10 cm depth and planting density

类别	1	2	3	4	5
10 cm 最低日平均地温/ $^{\circ}\text{C}$	6.5	8.2	9.5	9.9	9.5
种植密度/万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$	2.8	3.9	5.5	9.1	4.7

表 2 1981—2005 年农业气象观测站点播种至出苗期间 10 cm 地温小于 6.0°C 的玉米密度

Table 2 Corn densities at agrometeorological observation station with the ground temperature less than 6.0°C at 10 cm depth underground from sowing to seedling stage in 1981—2005

站名	年份	播种至出苗期间 10 cm 日平均 地温最小值/ $^{\circ}\text{C}$	密度与历年 比较/万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$
勃利	1983	5.4	-1.0
龙江	1981	5.3	-2.4
五常	1987	3.2	-0.6
五常	2005	5.1	-0.1

表 3 2005 年 5 月播种至出苗期间五常 10 cm 日平均地温(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Table 3 Average daily ground temperature at 10 cm depth underground from sowing to seedling stage in Wuchang in May 2005 (unit: $^{\circ}\text{C}$)

日期	7 日	8 日	9 日	10 日	11 日	12 日	13 日	14 日	15 日	16 日
10 cm 地温	5.1	6.4	7.6	8.8	10	12.3	11.6	12.3	13.4	13.3
日期	17 日	18 日	19 日	20 日	21 日	22 日	23 日	24 日	25 日	26 日
10 cm 地温	13.5	13.1	15.8	15.8	16.5	17.6	17.8	17.4	17.5	13.5

由表 4 可见,播种至出苗期间 10 cm 最低日平均地温在 $6.0\sim 6.5^{\circ}\text{C}$ 时,典型的 6 个样本中有 1 个样本玉米密度比历年低 0.5 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 以上,占 17% 。5 个样本玉米密度与历年持平或偏高,占 83% 。即种子萌发后 10 cm 最低日平均地温在 $6.0\sim 6.5^{\circ}\text{C}$ 时,玉米种子遭受低温灾害的可能性为 17% 。

由表 5 可见,播种至出苗期间 10 cm 最低日平均地温在 $6.5\sim 8.0^{\circ}\text{C}$ 时,典型的 44 个样本中有 13 个样本玉米密度比历年低 0.5 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 以上,占 30% 。31 个样本玉米密度与历年接近或偏高,占

70% 。因此可见种子萌发后 10 cm 最低日平均地温

表 4 同表 2,但为 10 cm 地温在 $6.0\sim 6.5^{\circ}\text{C}$

Table 4 Same as Table 2, but for the ground temperature from 6.0°C to 6.5°C at 10 cm depth underground

站名	年份	播种至出苗期间 10 cm 日平均 地温最小值/ $^{\circ}\text{C}$	密度与历年 比较/万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$
安达	2005	6.1	0.1
集贤	1983	6.4	0.7
龙江	2005	6.4	0.3
尚志	1991	6.5	-0.4
五常	1994	6.5	-0.2
肇源	1987	6.3	-0.6

表 5 同表 2, 但为 10 cm 地温在 6.5~8.0℃
Table 5 Same as Table 2, but for the ground temperature
from 6.5℃ to 8.0℃ at 10 cm depth underground

站名	年份	播种至出苗期 间 10 cm 日平均 地温最小值/℃	密度与历年 比较/万株 · hm ⁻²
安达	1994	7.3	0.0
安达	2003	7.2	0.0
巴彦	1986	7.0	0.2
巴彦	1987	7.4	-0.2
巴彦	1988	7.0	-0.4
巴彦	1993	7.8	-0.5
巴彦	1994	6.8	-0.5
巴彦	1997	7.4	-0.7
巴彦	2003	7.0	-0.9
勃利	1981	7.6	0.4
勃利	1986	7.3	-0.2
勃利	1994	6.7	-0.6
勃利	1996	6.8	-1.2
勃利	1997	7.2	-1.2
勃利	1999	7.4	-1.4
勃利	2003	7.9	-1.7
方正	1992	7.9	0.4
方正	1993	7.4	0.0
方正	2003	6.6	-1.7
富裕	2004	7.7	-0.5
哈尔滨	1994	7.3	-0.2
哈尔滨	1995	7.6	-0.2
集贤	1986	7.0	0.0
集贤	1987	7.7	-0.4
集贤	1995	7.9	-0.7
集贤	2003	7.6	-0.7
龙江	1986	7.6	0.2
龙江	1995	7.9	0.0
龙江	1996	6.9	-0.3
龙江	2004	7.6	-1.1
尚志	1992	7.1	0.8
尚志	1993	6.7	0.6
尚志	1994	7.3	0.6
尚志	1995	7.5	0.4
尚志	1996	7.3	0.1
尚志	2003	7.3	0.1
五常	1983	7.3	0.4
五常	1995	6.7	-0.2
五常	1996	7.9	-0.4
五常	1999	7.6	-0.6
五常	2004	7.1	-0.8
肇源	1991	6.7	0.0
肇源	1992	7.6	0.0
肇源	2004	7.6	0.0

在 6.5~8.0℃时, 种子遭受低温灾害的可能性为 30%。

由表 6 可见, 播种至出苗期间 10 cm 最低日平

均地温在 8.0~8.2℃时, 典型的 3 个样本与历年玉米平均密度基本持平。因此可见种子萌发后 10 cm 最低日平均地温在 8.0~8.2℃时, 玉米种子未遭受低温灾害。

总结上述分析结果, 播种至出苗期间 10 cm 最低日平均地温在 6.0~6.5℃、6.5~8.0℃时, 玉米种子部分遭受灾害, 将两个温度范围可归为一类, 即 50 个样本中有 14 个样本玉米密度比历年低 0.5 万株·hm⁻² 以上, 占 28%。则按照播种至出苗期间 10 cm 最低日平均地温划分最低温度界限指标, 可分为三级, 第一级 10 cm 地温低于 6.0℃时, 玉米种子遭受低温冷害的概率是 100%; 第二级 10 cm 地温在 6.0~8.0℃时, 玉米种子遭受低温冷害的概率是 28%; 第三级 10 cm 地温在 8.0℃以上时, 玉米种子遭受低温冷害的概率是 0%。

2.3 指标检验

2.3.1 大田适用效果检验

采用 2006—2018 年农业气象观测资料对所建指标进行验证。表 7 中列出了 2006—2018 年农业气象观测站播种至出苗 10 cm 最低日平均地温低于 8.2℃的玉米密度比较结果, 该表中播种至出苗期间 10 cm 最低日平均地温低于 6.0℃的是 2008 年肇源站, 密度比较结果显示, 玉米受害严重, 与实际 2008 年部分地块由于持续低温导致玉米粉籽、烂籽相同, 验证结果与本文 2.2 节所得的结果一致。播种至出苗期间 10 cm 最低日平均地温在 6.0~8.0℃时有 15 个样本, 密度比较结果显示, 玉米未遭受低温灾害, 验证结果与本文 2.2 节得出的玉米种子遭受低温冷害的概率为 28%略有差异。播种至出苗期间 10 cm 最低日平均地温在 8.0~8.2℃时有 4 个样本, 密度比较结果显示, 玉米未遭受低温灾害, 验证结果与本文 2.2 节所得结果一致。

表 6 同表 2, 但为 10 cm 地温在 8.0~8.2℃
Table 6 Same as Table 2, but for the ground temperature
from 8.0℃ to 8.2℃ at 10 cm depth underground

站名	年份	播种至出苗期 间 10 cm 日平均 地温最小值/℃	密度与历 年比较/万株 · hm ⁻²
安达	1995	8.1	0.0
勃利	1987	8.0	0.1
肇源	1999	8.2	0.5

2.3.2 分期播种效果检验

2.3.2.1 播期间土壤相对湿度差异分析

本研究中同一地点的五个播期均在同一地块种植,排除了地形、地势、土壤类型、品种、田间管理方式、土壤肥力不同的差异,因此五个播期出苗率的差异则可认定主要是由播种期间土壤温度或水分差异造成的。

表 7 2006—2018 年农业气象观测站播种至出苗期间 10 cm 最低地温低于 8.2℃ 的玉米密度

Table 7 Corn densities with the lowest ground temperature less than 8.2℃ from agrometeorological observation station at 10 cm depth underground during 2006—2018

站名	年份	播种至出苗期间 10 cm 日平均地温最小值/℃	密度与历年比较/万株·hm ⁻²
肇源	2008	4.0	-1.0
安达	2010	6.0	-0.3
安达	2015	6.3	0.5
安达	2017	6.4	0.7
哈尔滨	2007	6.3	-0.2
五常	2014	7.1	1.1
尚志	2006	7.2	0.4
尚志	2007	7.3	-0.2
肇源	2014	7.4	0.1
勃利	2015	7.4	-0.3
富裕	2015	7.5	-0.2
龙江	2015	7.6	0.0
勃利	2011	7.7	0.3
巴彦	2016	7.8	0.9
安达	2016	7.9	0.6
勃利	2008	7.9	-0.5
方正	2006	8.0	0.9
尚志	2008	8.0	0.3
集贤	2014	8.1	-0.2
尚志	2015	8.2	0.3

图 2 为肇源、富裕五个播期 10 cm 土壤相对湿度对比图,图中 X 轴与 Y 轴的交点为 Y 轴取 70%。2012 年肇源所有播期采取坐水播种,土壤水分均为正常,未在图中显示。根据李秀芬等(2015)分类,土壤相对湿度≤60%为轻旱。2012 年富裕第三播期、第四播期、第五播期和 2014 年肇源第一播期略显轻旱,其他播期土壤相对湿度适宜玉米出苗,且略显轻旱对玉米出苗影响不大,排除了土壤水分差异的影响,因此玉米出苗率、出苗时间差异源于各播期之间的地温差异。

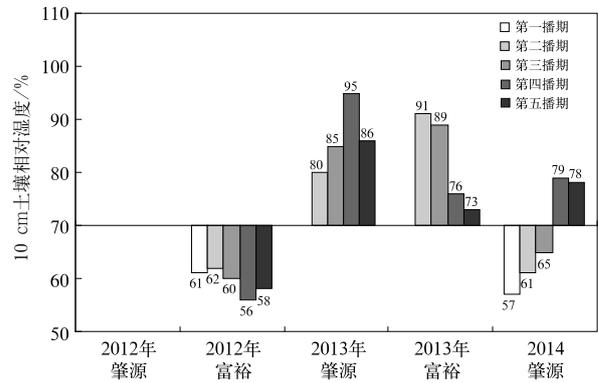


图 2 5 个播期土壤相对湿度对比
Fig. 2 Contrast of soil relative humidity on five sowing dates

2.3.2.2 10 cm 日平均地温播种指标验证

表 8 为不同播期玉米七叶期密度及与五个播期平均密度比较,可见 2012 年富裕第一播期遭受灾害,其他播期出苗正常。图 3 为两地、五个播期从播种至出苗逐日 10 cm 日平均地温。X 轴与 Y 轴的交点为 Y 轴取 6℃。由图 3b 可见 2012 年富裕第一播期播种第 3 天日 10 cm 平均地温为 5.2℃,玉米遭受低温灾害,出苗不全,验证结果与本文 2.2 节所得结果一致。由图 3a、3e 可见 2012 年和 2014 年肇源第一播期和第二播期出现日 10 cm 平均地温在 6.0~8.0℃ 的温度,玉米出苗正常,验证结果与本文 2.2 节得出的玉米种子遭受低温冷害的概率为 28% 略有差异。由图 3a、3e 的第三~第五播期和图 3b、3c、3d 的第二~第五播期可见播种至出苗 10 cm 最低地温在 8.0℃ 以上时,玉米未遭受低温灾害,验证结果与本文 2.2 节所得结果一致。

2.3.2.3 播期间地温与出苗时间差异分析

图 4 为肇源、富裕五个播期出苗时间对比图,X 轴与 Y 轴的交点为 Y 轴取 10 d。由图 4 可见,两个地点前三个播期出苗时间差异大,为递减趋势。第一播期出苗所需时间最长,第二播期次之,再次为第三播期,第四和第五播期差异小且所需时间最少。第一播期的出苗时间比第二播期出苗时间偏晚 2~4 d,比其余播期偏晚更严重,分别比第三、第四、第五播期出苗时间偏晚 6~10、8~10 和 9~12 d。种子在土壤中萌动出苗耗时太长,不利于玉米的出苗,长时间不出苗增加了种子的呼吸消耗,降低种子质量,也使出苗后秧苗的质量变差,影响后期生长发

育,最终影响产量建成,因此第一播期的地温条件相比于其余播期不利于玉米种子的顺利出苗,第二~第五播期的地温达到了玉米种子发芽萌动的需求,能够使种子顺利萌动发芽。结合图 3 可见 10 cm 最

低日平均地温在 6.0~8.0℃时,肇源 2012 年和 2014 年第一播期出苗时间在 19 d 以上,易引起苗弱,而肇源 2012 年和 2014 年的第二播期出苗时间为 15~17 d,出苗略慢。10 cm 最低日平均地温在

表 8 不同播期玉米七叶期密度及比较(单位:万株·hm⁻²)
Table 8 Density and comparison of maize at seven-leaf stage at different sowing dates (unit: 10000 plants·hm⁻²)

年份	项目	站点	第一播期	第二播期	第三播期	第四播期	第五播期
2012 年	七叶期密度	富裕	2.9	5.1	5.0	5.1	5.2
	与五个播期平均密度比较	富裕	-1.8	0.4	0.3	0.4	0.5
	七叶期密度	肇源	5.0	5.0	5.0	4.9	5.0
	与五个播期平均密度比较	肇源	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0
2013 年	七叶期密度	富裕		5.9	6.0	5.7	5.5
	与五个播期平均密度比较	富裕		0.1	0.2	-0.1	-0.3
	七叶期密度	肇源		5.0	5.0	5.0	4.9
	与五个播期平均密度比较	肇源		0.0	0.0	0.0	-0.1
2014 年	七叶期密度	肇源	5.0	5.0	5.0	4.9	5.0
	与五个播期平均密度比较	肇源	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0

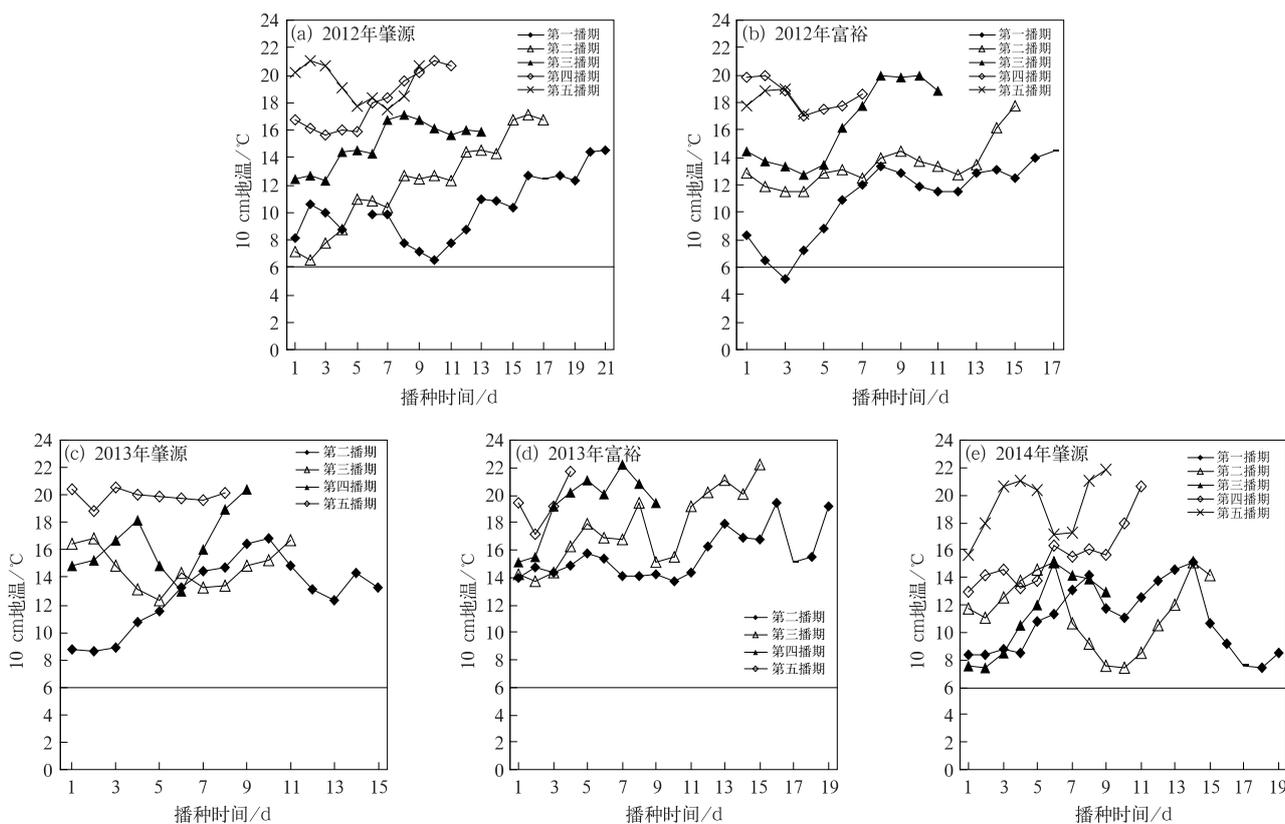


图 3 五个播期播种至出苗期间日 10 cm 地温对比图
Fig. 3 Contrast of daily ground temperature at 10 cm depth underground from sowing to emergence on five sowing dates

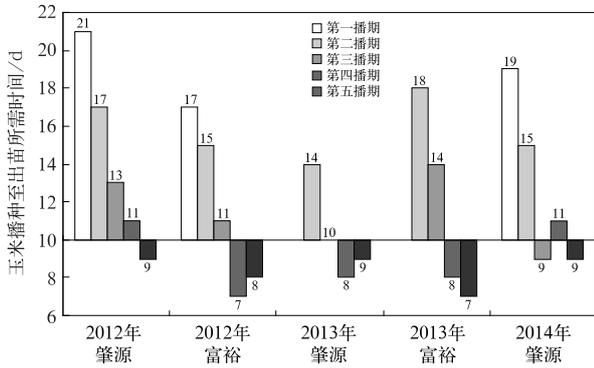


图 4 五个播期出苗时间柱状对比
Fig. 4 Contrast of emergence time of five sowing dates

8.0℃以上时,除富裕 2013 年第二播期外,出苗时间为 7~15 d,出苗正常。

分期播种验证玉米播种指标显示,播种至出苗期间 10 cm 最低日平均地温在未通过 6.0℃时,玉米出苗缓慢,且出苗率显著降低;10 cm 最低日平均地温在 6.0~8.0℃时,出苗略慢,出苗率高;10 cm 最低日平均地温在 8.0℃以上时,正常出苗,出苗率高。

3 结论与讨论

前人研究玉米播种最低温度界限指标是基于人工环境控制试验得出,人工环境控制试验多采用盆栽或苗床上恒温条件下开展的,由于土壤结构、气象条件与大田环境相差较大,因此与生产实际存在差异。大田试验方法又因人力物力、年代间气候条件差异等问题,导致序列少,所以利用大田观测数据研究玉米播种最低温度界限指标较少。本文以长序列大田农业观测数据为基础,结合聚类分析和前人最低温度界限指标的研究结果,分析了不同温度下播种对玉米出苗的影响,获取玉米播种最低温度界限指标并通过农业观测数据和大田分期播种试验进行验证,该指标能够最大程度接近玉米实际生产,为玉米安全播种提供理论依据。

地温是玉米大田播种的主要影响因子,日 10 cm 地温可以作为最低温度界限指标的指示值。日 10 cm 地温 6.0℃为玉米不能播种的最低界限指标,当日 10 cm 地温低于 6.0℃时,玉米种子遭受低温冷害概率为 100%,玉米出苗缓慢,出苗率低;日 10 cm 地温在 6.0~8.0℃为玉米可以播种的最低界限指标,当日 10 cm 地温在 6.0~8.0℃时,玉米种

子遭受低温冷害概率低于 28%,少数玉米出苗期延长,苗情略差;日 10 cm 地温 8.0℃为玉米安全播种的最低界限指标,当日 10 cm 地温高于 8.0℃时,玉米种子遭受低温冷害概率为 0%,玉米苗齐苗壮,出苗率高。

本文剔除了旱涝灾害、补苗、悔种年份,以遭受低温冷害和正常播种的历年大田玉米实际观测资料为基础开展研究。因 6.0℃以下样本量少,对于玉米是否全部遭受灾害后期需大量样本进行验证,但根据少量样本受害程度可以确定玉米在该温度下播种遭受低温冷害最为严重,该温度为不能播种的最低界限温度。6.0~8.0℃样本量较多,剪表性强,确定在该温度下玉米播种少部分遭受低温冷害,玉米可以播种。但是 6.0~8.0℃获取指标和验证略有差异,获取指标应用的数据为 1981—2005 年,验证应用的数据为 2006—2018 年,随着时间的推移,黑龙江省播种农技措施不断提高,即大型农机具秋整地、播种机精准度提高、种子包衣、配方施肥等播种方式的应用,可能增强种子抗低温能力,从而使 10 cm 最低日平均地温在 6.0~8.0℃玉米种子不受害,只有少部分玉米出苗缓慢,这一结论需进一步被验证。由于玉米品种、种植制度、气候特点以及研究方法等差异,得到的玉米播种温度指标不尽相同,任何指标均不具有完全普适性(武荣盛等,2015),然而根据黑龙江省气候特点和玉米大田实际观测获得低温冷害播种指标具有更强的针对性,更适用于黑龙江省玉米生产。

致谢:本文得到黑龙江省气象科学研究所赵慧颖研究员的悉心指导和无私帮助,在此表示最诚挚的谢意!

参考文献

- 蔡榕硕,付迪,2018. 全球变暖背景下中国东部气候变迁及其对物候的影响[J]. 大气科学,42(4):729-740. Cai R S, Fu D, 2018. The pace of climate change and its impacts on phenology in Eastern China[J]. Chin J Atmos Sci,42(4):729-740(in Chinese).
- 董李丽,李清泉,丁一汇,2015. 全球变暖背景下我国春季气温的时空变化特征[J]. 气象,41(10):1177-1189. Dong L L, Li Q Q, Ding Y H, 2015. Spatial and temporal characteristics of air temperature over China in spring under the background of global warming[J]. Meteor Mon,41(10):1177-1189(in Chinese).
- 高素华,郭建平,王连敏,等,1998. 低温对玉米种子发芽的影响[J]. 气象,24(5):52-55. Gao S H, Guo J P, Wang L M, et al, 1998. The impacts of low temperature on corn seeds germination[J]. Meteor Mon,24(5):52-55(in Chinese).
- 高勇,邢东方,2011. 浅谈玉米的定苗、中耕及去雄技术[J]. 农民致富之友,(12):37. Gao Y, Xing D F, 2011. Talking about the technology of maize seedling fixing, middle tillage and male removal [J]. Friends Farmers Get Rich, (12):37(in Chinese).

- 龚文娟,赵洪凯,杨英良,等,1984.玉米耐冷性筛选鉴定的研究[J].黑龙江农业科学,(5):22-25. Gong W J,Zhao H K,Yang Y L, et al,1984. Research on screening and identification of cold tolerance in maize[J]. Heilongjiang Agri Sci,(5):22-25(in Chinese).
- 郭建平,2015.气候变化对中国农业生产的影响研究进展[J].应用气象学报,26(1):1-11. Guo J P,2015. Advances in impacts of climate change on agricultural production in China[J]. J Appl Meteor Sci,26(1):1-11(in Chinese).
- 韩薇,翟盘茂,2015.三种聚类分析方法在中国温度区划分中的应用研究[J].气候与环境研究,20(1):111-118. Han W,Zhai P M,2015. Three cluster methods in regionalization of temperature zones in China[J]. Climatic Environ Res,20(1):111-118(in Chinese).
- 黄健,成秀虎,1993.农业气象观测规范[M].北京:气象出版社:4-52. Huang J,Cheng X H,1993. Agrometeorological Observation Standard[M]. Beijing:China Meteorological Press:4-52(in Chinese).
- 贾建英,郭建平,2009.东北地区近46年玉米气候资源变化研究[J].中国农业气象,30(3):302-307. Jia J Y,Guo J P,2009. Studies on climatic resources change for maize over last 46 years in Northeast China[J]. Chin J Agrometeor,30(3):302-307(in Chinese).
- 雷光宇,2016.黑龙江省近44年来气候时空变化趋势及其对玉米生产的影响[D].哈尔滨:东北农业大学. Lei G Y,2016. Effects of climate spatial change on maize (*Zea mays* L.) production in Heilongjiang Province of 44 years[D]. Harbin:Northeast Agricultural University(in Chinese).
- 李北齐,张玉胡,王贵强,等,2011.不同生态型玉米品种低温下出苗机理研究[J].中国农学通报,27(9):120-125. Li B Q,Zhang Y H,Wang G Q,et al,2011. Research on seed germination mechanism of different ecotype maize under low temperature[J]. Chin Agric Sci Bull,27(9):120-125(in Chinese).
- 李帅,王萍,陈莉,等,2014.黑龙江省春季浅层(0~20 cm)地温变化特征及预报[J].冰川冻土,36(1):55-62. Li S,Wang P,Chen L, et al,2014. Variation features and prediction of the topsoil (0-20 cm) ground temperature of spring in Heilongjiang Province [J]. J Glaciol Geocryol,36(1):55-62(in Chinese).
- 李秀芬,马树庆,姜丽霞,等,2015.北方春玉米干旱等级:QX/T 259—2015[S].北京:气象出版社:1-5. Li X F, Ma S Q, Jiang L X, et al,2015. Drought grade of spring maize in Northern China: QX/T 259—2015[S]. Beijing:China Meteorological Press:1-5(in Chinese).
- 刘实,王勇,缪启龙,等,2010.近50年东北地区热量资源变化特征[J].应用气象学报,21(3):266-278. Liu S,Wang Y,Miao Q L, et al,2010. Variation characteristics of thermal resources in Northeast China in recent 50 years[J]. J Appl Meteor Sci,21(3):266-278(in Chinese).
- 刘伟东,杨萍,尤焕苓,等,2013.北京地区热岛效应及日较差特征[J].气候与环境研究,18(2):171-177. Liu W D,Yang P,You H L, et al,2013. Heat island effect and diurnal temperature range in Beijing area[J]. Climatic Environ Res,18(2):171-177(in Chinese).
- 刘伟东,尤焕苓,任国玉,等,2014.北京地区自动站降水特征的聚类分析[J].气象,40(7):844-851. Liu W D,You H L,Ren G Y, et al,2014. AWS precipitation characteristics based on K-means clustering method in Beijing Area[J]. Meteor Mon,40(7):844-851(in Chinese).
- 山东农业大学种子教研室,1988.作物种子学:北方本[M].郑州:河南科学技术出版社:98-100. Seed Staff Room of Shandong Agricultural University,1988. Crop Seed Science[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press:98-100(in Chinese).
- 王蕾,张舒,2016.黑龙江省春季强降温天气分析与服务[J].黑龙江气象,33(4):24-27. Wang L,Zhang S,2016. Analysis and service of strong cooling weather in spring in Heilongjiang Province [J]. Heilongjiang Meteor,33(4):24-27(in Chinese).
- 温克刚,2007.中国气象灾害大典-黑龙江卷[M].北京:气象出版社:7-259. Wen K G,2007. China Meteorological Disasters Documents (Heilongjiang Volume)[M]. Beijing:China Meteorological Press:7-259(in Chinese).
- 武荣盛,吴瑞芬,侯琼,等,2015.内蒙古河套灌区春玉米苗期光温指标[J].应用生态学报,26(1):241-248. Wu R S,Wu R F,Hou Q,et al,2015. Light and temperature indices during the seeding stage of spring maize in Hetao irrigation district, Inner Mongolia, China[J]. Chin J Appl Ecol,26(1):241-248(in Chinese).
- 吴绍骥,1980.玉米栽培生理[M].上海:上海科学技术出版社. Wu S K,1980. Physiology of Maize Cultivation[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press(in Chinese).
- 中华人民共和国国家统计局,2016.中国统计年鉴-2016[M].北京:中国统计出版社. National Bureau of Statistics of China,2016. China Statistical Yearbook-2016[M]. Beijing:China Statistics Press(in Chinese).
- Bano S,Aslam M,Saleem M,et al,2015. Evaluation of maize accessions under low temperature stress at early growth stages[J]. J Animal Plant Sci,25(2):392-400.
- Basra S M A,Iftikhar M N,Afzal I,2011. Potential of moringa (*Moringa oleifera*) leaf extract as priming agent for hybrid maize seeds[J]. Int J Agric Biol,13(6):1006-1010.
- Jing Y S,Wu W,Yang B Y,2011. Study on the indexes and classes of high temperature harm to rice in Jiangsu Province[C]//Proceedings of 2011 International Conference on Energy and Environment. Shenzhen:255-259.
- Imran S,Afzal I,Basra S M A,et al,2013. Integrated seed priming with growth promoting substances enhances germination and seedling vigour of spring maize at low temperature[J]. Int J Agric Biol,15(6):1251-1257.
- Nafziger E D,2013. Corn planting date and plant population[J]. J Prod Agric,7(1):59-62.
- Yang X,Lin E D, Ma S M, et al,2007. Adaptation of agriculture to warming in Northeast China[J]. Climatic Change,84(1):45-58.