东北农业科学 2021,46(1):1-5
Journal of Northeast Agricultural Sciences DOI: 10.16423/j.cnki.1003-8701.2021.01.001

基于大田土壤温度和水分变化的吉林省春玉米播期研究

王洪预,吕小飞,李文莹,伍舒悦,崔正果,闫振辉,李秋祝*,崔金虎*
(吉林大学植物科学学院,长春 130062)

摘 要:基于对吉林省长春市大田土壤温度和水分变化分析,研究不同播种日期对春玉米出苗率及产量的影响,确定最佳播种日期,为提高吉林省春玉米产量提供理论依据。以春玉米品种松玉419为试验材料,田间设置9个不同播种日期,播期间隔5~6天,监测春玉米苗期田间土壤温度和水分变化,测定春玉米产量并对产量构成因素进行分析,建立出苗率与土壤温度和水分多元线性回归数学模型。结果表明:春玉米出苗率与土壤温度和水分呈显著正相关。播种时土壤水分和土壤温度的差异显著影响成熟期籽粒产量。当土壤温度一定时,土壤体积含水率每增加1%,出苗率提高0.789%,出苗速率提高0.798%;当土壤体积含水率一定时,土壤温度每增加1℃,出苗率提高0.352%,出苗速率提高0.793%。松玉419在4月29日播种时产量最高,比正常播期(5月4日)产量提高6.66%,即每年4月底5月初,土壤平均温度在13.1~13.6℃,土壤体积含水率在13.1%~15.3%时播种最佳。土壤水分对春玉米出苗率影响最大,而土壤温度对春玉米出苗速率影响最大。

关键词:土壤温度;土壤体积含水率;播种时期;产量
中图分类号:S513 **文献标识码**:A **文章编号**:2096-5877(2021)01-0001-05

Sowing Dates of Spring Maize in Jilin Based on Temperature and Moisture of Soil Characters

WANG Hongyu, LYU Xiaofei, LI Wenying, WU Shuyue, CUI Zhengguo, YAN Zhenhui, LI Qiuzhu*, CUI Jinhu*
(*College of Plant Science, Jilin University, Changchun* 130062, China)

Abstract: Based on temperature and moisture of soil characters in Jilin, the influence of different sowing periods on seedling emergence rate and yield of spring maize were conducted. The optimal sowing period was determined, which provided theoretical basis for high yield production of spring maize in Jilin. In this study, the maize variety Songyu 419 was used as experimental material with an interval of 5-6 days sowing dates. The temperature and moisture of soil data during maize seedling stages were recorded, and yield and yield components were also detected. A mathematical model of multiple linear regression of seedling rate, soil temperature and moisture was established. The results showed that the emergence and the seedling emergence rate of spring maize in field experiment were significantly positively correlated with soil temperature and water, and the change of soil temperature and moisture during sowing significantly affected grain yield at maturity. When the temperature is constant, the soil moisture content increases by 1%, the emergence increases by 0.789%, and the seedling emergence rate increases by 0.798%. When the soil volumetric water content is constant, the temperature increases by 1°C, the emergence increases by 0.352%, and the seedling emergence rate increases by 0.793%. Songyu 419 had the highest yield when sown on April 29, which was 6.66% higher than that in normal sowing period (May 4). In other words, in late April and early May of each year, when the average soil temperature was 13.1-13.6℃ and the soil volume moisture content was 13.1%-15.3%, it was the best sowing time. Soil moisture had the greatest effect on spring maize seedling emergence rate, while soil temperature had the greatest effect on spring maize seedling emergence rate.

收稿日期:2019-09-30
基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0300304-02);吉林省科技发展计划项目(20170307008NY、20170307005NY、20190301022NY)
作者简介:王洪预(1976-),男,副教授,博士,主要从事作物高产栽培技术研究。
通讯作者:李秋祝,女,博士,副教授,E-mail: liqz@jlu.edu.cn
崔金虎,男,博士,教授,E-mail: cuijinhu@163.com

Key words: Soil temperature; Soil moisture content; Sowing dates; Yield

玉米是吉林省最重要的粮食作物，2017年春玉米播种面积是416.4万 hm^2，占全省农作物总播种面积的75.1%；总产量为3250.8万t，占全省粮食作物总产量的78.3%[1]。长春市年均降水量为400～600 mm，是典型的雨养农业区，降水的季节分配多集中在夏季[2]，冬春较少，具有春旱夏涝的特点，4月份年均降水量30 mm左右，近几年更有减少趋势，严重影响玉米的春耕、春播等生产活动[3]。

水分是种子萌发的首要条件，适宜的土壤水分状况是作物顺利发芽、出苗的重要保证。适于种子萌发的土壤水分含量为田间持水量的50%～85%。水分供应不足时，种子无法充分吸水[4]，导致呼吸作用变化、酶系统形成、有机物转变等后续萌发生理过程无法正常进行[5]，致使无法发芽、不出苗或出苗缓慢、整齐度差。在东北春玉米种植区，前人研究多是在模拟条件下进行，更多关注水分或者温度单一因素对其出苗和生理特性等方面的影响[6-7]，而大田实测土壤水分和温度对春玉米出苗和产量影响的相关研究鲜见报道，这与20世纪五六十年代我国北方农业种植区易受低温冷害的影响相关[8]。然而，进入21世纪以来全球气候变暖、变干，东北地区春玉米一般在4月底5月初播种，而此时经常发生春旱，对出苗和产量影响巨大[9]，气象条件仍然是造成作物产量年际波动的重要因素[10]。吉林省1986～2008年间，春玉米生育期内积温以每年10℃·d的速度增加，平均气温以每年0.05℃的速度增加，而降雨量则以每年5 mm左右的速度减少。随着吉林省气候变暖和降雨减少现象的加剧，对吉林省的旱情和玉米产量的影响越来越大，至2020年，由于气象因素所造成的春玉米气象产量损失将达到703 kg/hm^2[11]。在实际生产中，播种时机选择须充分参考土壤墒情，结合排灌措施，创造良好的水分条件，争取出苗迅速、整齐。因此，研究田间土壤温度和水分互作对春玉米出苗速率、出苗率及籽粒产量的影响[12]，通过调整播期，实现春玉米生长发育与水热资源协调匹配，明确最佳播种时期，建立春玉米播期的气象模型和气象指标意义重大。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试玉米品种为松玉419。

1.2 试验地概况

试验于2018年在吉林大学农业试验基地进行，海拔250 m左右，年平均气温3～5℃，日照时间2 200～3 000 h，年活动积温2 700～3 600℃·d，无霜期120～160 d。试验地土壤类型为黑土，播前基本概况见表1。

表1 播前土壤基础肥力

有机质 (g/kg)	速效氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH
23.4	77.5	14.9	83.2	5.33

1.3 试验设计

随机区组设计，设置9个播期处理：4月7日、4月13日、4月19日、4月24日、4月29日、5月4日(CK:正常播期)、5月9日、5月14日和5月20日，播期间隔5～6天，4次重复。小区行长10 m，垄距65 cm，株距25 cm，每区种植10行，小区面积65 m^2，四周设保护区。成熟后全区收获测产。按照预定播种日期播种，10月2日收获。

1.4 测定指标及测定方法

土壤温度和土壤含水率：从4月7日至5月23日利用土壤温度水分测定仪(TZS-ⅡW)测定土壤0～5 cm、5～10 cm、10～15 cm、15～20 cm的温度及体积含水率。

出苗期的记载标准：每个处理50%以上幼苗第一片真叶长出，高出地表2 cm即为出苗。

出苗速率：从播种到出苗所用天数的倒数即为出苗速率。

收获：玉米完全成熟后测定小区收获株数；每个小区人工收获全部果穗，称重，测定小区收获穗数；选取10个标准果穗，装于尼龙网袋中风干，用于考察穗部性状。穗部性状主要考察穗长、秃尖长、穗粒数、百粒重。果穗风干后用小型脱粒机脱粒，称重，测定实收产量，用KETT-PM-8188-A型谷物水分测定仪(日本)测定籽粒含水率。

产量计算公式为小区实收产量折算为标准含水率(14%)下的产量：小区实收产量=小区果穗总鲜重×(10穗籽粒风干重/10穗果穗鲜重)×(1-测定平均含水率)/(1-14%)。

1.5 田间管理

所有试验区按照预定株距人工播种。基肥施用量每公顷纯氮59 kg，P_2O_5 92 kg，K_2O 90 kg，播种前混拌均匀，起垄时施入土壤，各处理其余氮肥均作为追肥于拔节前结合中耕施入，氮肥总量为

210 kg/hm^2,全部磷钾肥均作为底肥于播种时一次性施入。2018年6月20日追肥。

1.6　数据分析

采用SPSS 19.0进行数据统计分析。

2　结果与分析

2.1　土壤温度和土壤水分对不同播期春玉米出苗速率的影响

5月20日播种时土壤平均温度达19℃,10 d左右即可出苗(表2)。随播种期推迟,土壤温度(t)和土壤体积含水率(w)逐渐增加,出苗速率(v)也逐渐加快,对其进行多元相关性分析,建立出苗率的多元线性回归模型为:$v=-6.339+0.793t+0.0798w$($F=263.079$,$R^2=0.989$,$F_{0.05(2,6)}=5.143$),其中t的取值范围为4~6月份土壤温度,w为田间4~6月份土壤体积含水率,表明土壤温度、土壤水分和出苗速率之间显著相关,此方程可作为出苗速率与土壤平均温度和水分关系的数学模型。当田间土壤体积含水率不变时,温度每提升1℃,出苗速率增加0.793%,;当田间土壤温度不变时,土壤体积含水率每提高1%,出苗速率增加0.798%。

表2　不同播期春玉米出苗率和出苗速率

播期	土壤温度(℃)	土壤体积含水率(%)	出苗天数	出苗速率(%)	出苗率(%)
4月7日	12.4	9.50	22	4.55	89.4
4月13日	13.4	10.2	21	4.76	92.5
4月19日	13.2	11.1	20	5.00	93.0
4月24日	13.6	13.1	18	5.56	94.3
4月29日	13.1	15.3	19	5.26	94.4
5月4日(CK)	13.1	15.6	19	5.26	95.6
5月9日	15.2	15.9	14	7.14	96.9
5月14日	16.4	15.8	13	7.69	96.9
5月20日	19.0	14.7	10	10.0	97.0

注:土壤温度与土壤体积含水率均指从播种至出苗期间的平均值

2.2　土壤温度和土壤水分对不同播期春玉米出苗率的影响

随播期推迟,土壤温度(t)和土壤含水率(w)逐渐增加,出苗率(s)也逐渐增大(表2),对其进行多元相关性分析,并建立出苗率的多元线性回归模型为:$s=78.88+0.352t+0.789w$($F=36.961$,$R^2=0.937$,$F_{0.05(2,6)}=5.143$),其中t的取值范围为4~6月份田间土壤温度,w为4~6月份田间土壤含水率,表明土壤温度和水分与出苗率显著相关,此方程可作为出苗率与田间土壤温度和水分关系的数学模型。当田间土壤含水率不变时,温度每升高1℃,出苗率增加0.352%,;当田间土壤温度不变时,土壤含水率每升高1%,出苗率增加0.789%。

2.3　不同播期土壤温度和土壤水分对春玉米农艺性状的影响

与正常播期(CK:5月4日)相比,早播处理(4月7日和4月13日)株高显著降低,穗位高(4月7日~4月29日)也降低显著;随播期推迟(5月9日~5月20日),株高和穗位高变化均不显著。单株叶面积在4月29日播种时达到最大值(表3),显著高于对照和其他播期处理。说明播期处理对田间春玉米营养生长影响显著。

表3　不同播期春玉米植株农艺性状

播期	株高(cm)	穗位高(cm)	单株叶面积(cm^2)
4月7日	259b	107b	768c
4月13日	261b	118b	793b
4月19日	270a	116b	725c
4月24日	269a	112b	795b
4月29日	278a	117b	905a
5月4日(CK)	276a	122a	836b
5月9日	272a	124a	807b
5月14日	273a	126a	691c
5月20日	274a	125a	704c

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同

2.4　土壤温度和水分对不同播期春玉米产量及穗部性状的影响

4月29日播种产量显著高于其他各播期(表4),比4月24日播种产量提高6.66%,比正常播期产量提高9.82%,且从对照播期开始,随播期推迟产量下降趋势增大,5月20日播种产量最低,其产量比对照播期低14.75%。

4月29日播种的穗粒数为810粒,显著高于

对照和其他播期(表4),比对照播期处理提高7.86%;穗长亦显著高于其他处理,同时秃尖长最小,百粒重最大,百粒重比对照播期高4.40%。

与对照相比,过早和过晚播种均显著影响春玉米产量,吉林省中部地区最佳播种日期在4月29日,即当土壤温度为13.1~13.6℃,土壤体积含水率在13.1%~15.3%时,播种最佳,比对照播期提前5 d。

表4 不同播期春玉米产量及穗部性状

播期	产量(kg/hm²)	穗粒数(粒)	穗长(cm)	秃尖长(cm)	百粒重 (g)
4月7日	9 441d	767b	19.2b	1.54ab	33.2bc
4月13日	9 709c	685c	17.9bc	1.73a	32.6c
4月19日	10 104b	705bc	18.1bc	1.49ab	34.2b
4月24日	10 075b	735bc	18.8b	1.24ab	33.1bc
4月29日	10 746a	810a	20.7a	0.90b	35.6a
5月4日(CK)	9 785c	751bc	19.0b	1.22b	34.1b
5月9日	8 599e	645c	16.9c	1.65ab	30.8d
5月14日	8 667e	679c	18.5b	1.17b	33.1bc
5月20日	8 527e	700bc	18.2bc	1.28ab	32.2c

3 讨 论

3.1 土壤温度和水分对春玉米种子萌发和出苗的影响

玉米从发芽到出苗虽然需水较少(仅占总需水量的3.1%~6.1%)[13],但此时期水分亏缺往往导致种子无法充分吸水,呼吸作用变化、酶系统形成、有机物质转变等后续萌发生理过程无法正常进行,致使无法发芽、出苗或出苗缓慢、整齐度差,造成田间缺苗断垄现象。东北地区冷害经常发生在早春,种子萌发期遇冷害,极易粉种,降低发芽率,诱发一些病害,死亡率增加[14]。在土壤相对湿度适宜的情况下,温度是影响玉米各发育期持续时间的直接因素,其中萌发出苗和灌浆期对温度条件最为敏感,随温度升高而缩短,平均日最低气温在15℃时出苗持续时间达到最短,过高或过低的温度都会使出苗持续时间延长,影响出苗速率[15]。梁曦彤等通过模拟试验研究表明,土壤温度在7~9℃时即可播种,出苗率可达89%~97%[7],而本研究表明田间土壤温度在13℃时播种出苗率可达94%以上,产量最高。

本研究结果表明,春玉米出苗速率和出苗率与土壤温度和水分显著正相关,且播种时土壤温度和水分的变化对玉米生长发育和产量的影响十分显著。随田间土壤温度和水分的升高,其出苗速率和出苗率均显著增加。当土壤湿度一定时,土壤温度每提升1℃,其出苗速率加快0.793%,出苗率提高0.352%;当土壤温度一定时,土壤体积含水率每增加1%,其出苗速率加快0.798%,出苗率提高0.789%。因此,土壤温度主要影响出苗速率,而土壤含水率主要影响出苗率。

3.2 不同播期春玉米群体形态差异

株高和叶面积主要由品种遗传因素决定,同时受环境因素影响较大,株高和叶面积也是体现玉米生长健康状况的重要指标[16]。本试验表明,由于播期不同,土壤温度和水分差异导致玉米生长在不同的环境条件下。春玉米在4月底至5月初播种,其株高最高,叶面积最大,且与其他播期相比差异显著。过早播种的春玉米株高较低,过早和过晚播种的春玉米叶面积均较小。玉米杂交种的株高和穗位高显著正相关[17]。本研究表明,春玉米在不同播期处理下,株高和穗位高亦表现相似规律,株高越高,穗位也相应提高,使玉米重心上移,易发生倒伏。

3.3 不同播期春玉米产量差异

早播种的玉米由于活动积温较多,单位面积产量也相应较高[18]。本研究发现松玉419在4月29日播种时可获得最高产量,且与其他播期产量差异显著,比4月24日播种处理产量提高6.66%,比4月19日播种产量提高6.35%;5月9日、5月14日、5月20日播种,由于生育期缩短,光照和积温均较少,产量不足8 700 kg/hm²,表明过早和过晚播种处理产量均有降低趋势[19]。随播期推迟,春玉米生育期随之缩短,播期每推迟7 d,生育期平均缩短3.9 d[20]。吉林省玉米主栽品种的生育期均随播期推迟不同程度地出现缩短趋势,百粒重和产量也有所下降[21]。也有研究表明,随播期推迟,春玉米全生育期缩短,主要体现在营养生长期缩短[22],且产量及其构成因素均呈下降趋势。胡树平等[23]和宫秀杰等[24]研究均指出播期主要影响玉米产量构

成因素中的粒重。本试验表明,吉林省中部地区当土壤平均温度13.1℃,土壤体积含水率15.3%时,即每年4月底5月初播种最佳[19],该结果与徐丽萍等[18]研究结果不同。罗新兰等[15]研究指出,玉米干物质积累受气温日较差和活动积温两者的相互制约,玉米灌浆期气温日较差保持在8.0~8.5℃范围内,积温保持在1 500℃·d左右时,最有利于产量提高,因此适当晚播,即叶面积指数波动幅度最小的播期,会使玉米更好地进行干物质积累,产量最高。李洁[25]、陈鹏狮[26]和胡宇[27]等研究均表明玉米适宜播期与品种熟期密切相关,说明不同玉米品种适宜播期具有差异性,不能一概而论。

4　结　论

田间试验中春玉米的出苗速率和出苗率与土壤温度和水分呈显著正相关,且播种时土壤温度和水分的变化对其生长发育和产量的影响十分显著。当土壤温度一定时,土壤体积含水率每增加1%,出苗率提高0.789%,出苗速率提高0.798%;当土壤体积含水率一定时,温度每增加1℃,出苗率提高0.352%,出苗速率提高0.793%。春玉米出苗速率受土壤温度影响最大,出苗率受土壤水分影响最大。不同播期处理,籽粒产量差异显著。松玉419在4月29日播种时可获得最高产量,比对照播期处理产量提高6.66%,即每年4月底5月初,土壤平均温度在13.1~13.6℃,土壤体积含水率在13.1%~15.3%时播种最佳。

参考文献:

[1] 宁启文,胡乐鸣.中国农业年鉴[M].北京:中国农业出版社,2019:195-203.

[2] 廉　毅,高枞亭,任红玲,等.吉林省西部荒漠化发展的陆地卫星遥感监测分析[J].气象学报,1999,57(6):662-667.

[3] 吴香华,牛生杰,金德镇,等.吉林春旱期降水潜在影响因子的分离时间尺度分析[J].大气科学学报,2014,37(5):548-557.

[4] 梁哲军,陶洪斌,赵海祯,等.苗期土壤水分亏缺后玉米光合生理的恢复[J].华北农学报,2009,24(2):117-121.

[5] 孙　群,胡景江.植物生理学研究技术[M].杨凌:西北农林科技大学出版社,2006:50-58.

[6] 陆至远,李文莹,王宏斌,等.播种后低温持续时间对春玉米苗期生理指标的影响[J].东北农业科学,2016,41(5):34-36.

[7] 梁曦彤,王宏斌,陆至远,等.低温播种对春玉米出苗及苗期生理参数的影响[J].玉米科学,2017,25(2):100-105.

[8] 王连敏.低温对玉米幼苗生长、发育及功能的影响[J].杂粮作物,1990(6):23-26.

[9] 孙玉亭,王书裕,杨永歧.东北区作物冷害的研究[J].气象学报,1983,41(3):313-321.

[10] 赵　锦,杨晓光,刘志娟,等.全球气候变暖对中国种植制度的可能影响X.气候变化对东北三省春玉米气候适宜性的影响[J].中国农业科学,2014,47(16):3143-3156.

[11] 曹铁华,梁烜赫,刘亚军,等.吉林省气候变化对玉米气象产量的影响[J].玉米科学,2010,18(2):142-145.

[12] 吴金栋,王石立,张建敏.未来气候变化对中国东北地区水热条件影响的数值模拟研究[J].资源科学,2000,22(6):36-42.

[13] 李素玲,吴国定,刘海潮,等.低温胁迫对玉米种子发芽率的影响[J].山西农业科学,2000,28(2):16-18.

[14] 张铭航,黄瑞冬,陈振武.水分胁迫对玉米品种灌浆期抗旱性及指标的影响[J].杂粮作物,2010,30(2):91-94.

[15] 罗新兰,崔佳龙,蔡　福,等.播期对玉米生长发育和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(5):14-20.

[16] 宋耀选,肖洪浪,冯金朝.土壤水肥交互作用与玉米的响应[J].中国生态农业学报,2001,9(1):23-24.

[17] 陈玉水,卢川北.玉米穗位高与株高的相关研究[J].广西农业科学,2004,35(2):111.

[18] 徐丽萍,于　海,张铁林.玉米分期播种试验总结:温度对玉米生长的影响[J].吉林气象,2010(4):34-36.

[19] 闫振辉.播期对春玉米苗期生理特性及产量的影响[D].长春:吉林大学,2015.

[20] 黄开健,黄爱花,莫润秀,等.基于气候变化特征的广西春玉米播期研究[J].南方农业学报,2018,49(7):1304-1310.

[21] 魏雯雯,胡　楠,胡文河,等.播期对吉林省不同品种玉米生长发育及产量的影响[J].玉米科学,2017,25(6):95-100.

[22] 钟昌松,张　玉,吕巨智,等.不同播期对广西春玉米生长特性及产量的影响[J].西南农业学报,2016,29(3):511-515.

[23] 胡树平,青格尔,高聚林,等.播期对不同品种春玉米生长发育和产量形成的影响[J].内蒙古农业科技,2015,43(1):1-5.

[24] 宫秀杰,钱春荣,于　洋,等.不同播期对春玉米产量及产量构成的影响[J].玉米科学,2019,27(3):108-113.

[25] 李　洁,晋凡生,张冬梅,等.播期对不同熟期玉米品种生育期及产量的影响[J].农学学报,2016,6(12):1-7.

[26] 陈鹏狮,于文颖,纪瑞鹏,等.辽宁地区玉米生长发育及产量对温度和降水的响应[J].中国农学通报,2014,30(27):175-181.

[27] 胡　宇,具红光,赵　鑫,等.不同覆盖条件对吉林省东部冷凉区中晚熟玉米产量的影响[J].东北农业科学,2019,44(5):20-25.

(责任编辑:刘洪霞)