

密度对吉林省不同生态区玉米产量及其构成因素的影响

李 梁¹ 陶洪斌¹ 周祥利¹ 边少锋² 赵洪祥² 王 璞^{1*}

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193;

2. 吉林省农业科学院 农业环境与资源研究中心,长春 130033)

摘 要 在吉林省的2个生态类型区布置种植密度试验,重点分析密度和生态因素对玉米产量及其构成因素的影响。结果表明:1)随着密度的增加,公主岭地区千粒重逐渐下降;而在桦甸地区,随着密度的增加产量显著增加,穗粒数下降;2个地区均以8万株/hm²的产量最高,分别为12 815和11 453 kg/hm²。在同一个密度水平下,公主岭地区的产量和千粒重高于桦甸地区。2)生态因素对产量和千粒重的影响较大,对单位面积穗数和穗粒数的影响较小。产量、千粒重与积温呈显著正相关,说明热量条件不足是限制玉米产量和千粒重的主要因子。尤其是灌浆中期至成熟期的积温,保证这个阶段的积温是保证产量的关键,最适日均温为24.98℃。3)在高密度条件下(8万株/hm²),桦甸地区大喇叭口期至吐丝期的日照时数较高,有利于增加单位面积穗数。

关键词 玉米; 密度; 生态因素; 产量构成

中图分类号 S 512

文章编号 1007-4333(2011)06-0037-06

文献标志码 A

Effects of density on maize yield and yield components in different ecological zones of Jilin

LI Liang¹, TAO Hong-bin¹, ZHOU Xiang-li¹, BIAN Shao-feng²,
ZHAO Hong-xiang², WANG Pu^{1*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Agricultural Environmental and Resources Center, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract Field experiments were conducted in Gongzhuling and Huadian of Jilin Province in order to analyze the influence of ecological factors and different densities on the yield and the yield components. Five planting densities were applied 40 000,50 000,60 000,70 000 and 80 000 plant/hm². The results were as follows: 1) In Gongzhuling, grain yield and grain numbers per ear were not affected with the increase of planting density, while the 1 000-grain weight decreased significantly. In Huadian, grain yield significantly increased with the increase of planting density, while grain number per ear decreased. Both of the two areas obtained a maximum yield of 12 815 and 11 453 kg/hm² at 80 000 plant/hm². 2) Ecological factors greatly affected the yield and 1 000-grain weight of maize, but had little effect on the number of ears per mu or grains per ear. In addition, the yield and 1 000-grain weight was significantly correlated with the accumulated temperatures. It was demonstrated that the lack of heat was the main limits to yield and 1 000-grain weight of maize. Accumulated temperature during mid-filling to maturity was critical for grain yield, and optimal daily temperature was 24.98℃. 3) Sunshine hours during 12-leaves stage to silking in Huadian was longer than in Gongzhuling, which benefit to ears per hm² under high density.

Key words maize; density; ecological factors; yield; yield components

收稿日期: 2011-04-26

基金项目: 国家玉米产业技术体系(CARS-02); 国家粮食丰产科技工程项目(2006BAD02A10-9-2)

第一作者: 李梁, 博士研究生, E-mail: liliang0429@yahoo.com.cn

通讯作者: 王璞, 教授, 主要从事作物高产栽培与资源高效利用研究, E-mail: wangpu@cau.edu.cn

玉米是中国第一大粮食作物,为缓解耕地面积减少与玉米需求量增加的矛盾,增加种植密度是增加玉米产量的有效措施。玉米产量与气候条件关系密切,随着生产技术的改进和产量水平的提高,生态因素特别是光温因子对玉米生长发育和产量形成的作用愈发重要。在吉林不同生态区,研究种植密度对产量及其构成的影响,对于确定种植密度、提高玉米产量具有重要指导意义。前人在产量、密度、生态因素的关系方面做了较多工作,大多集中在产量与密度的关系或者产量与生态因素的关系^[1-7]。陈亮等^[8]研究表明:在辽宁地区,密度决定于全生育期的日照时数和有效积温,穗粒数决定于抽丝后有效灌浆时间的长短和花后日均光照及日均温。付晋峰等探讨了温度对粒重的影响^[9-13],指出在玉米籽粒灌浆时,日均温 22~26 °C 是最适宜的温度。在一定的生态条件和生产水平下,选择适宜的种植密度,有助于更合理的利用温光水热资源^[14-15]。吉林是我国玉米的主要粮食产区之一,属于雨养农业区,单产受气候影响较大。玉米平均单产较高,但与目前报道的我国和世界的高产水平仍然有一定差距。从气候生产潜力来看,玉米单产可达 20 000 kg/hm²。2006 年以前吉林玉米单产一直呈现上升趋势^[16-17],但是

近年来单产一直徘徊在 6 000~8 000 kg/hm²^[18]。本研究在公主岭和桦甸地区进行,设置不同种植密度,分析密度对玉米产量及其构成因素的影响,为吉林省玉米的高产提供理论基础。

1 材料与方法

试验于 2008 年在吉林省公主岭和桦甸进行,供试品种为吉单 50,由吉林省农业科学院提供。试验共设 4、5、6、7 和 8 万株/hm² 5 个密度,采用随机区组设计,3 次重复,小区面积为 8 m×6 m,播种行距 0.6 m。在公主岭地区于 4 月 26 日播种,9 月 29 日收获;在桦甸地区于 4 月 22 日播种,9 月 29 日收获。肥料管理按照当地高产试验进行施肥管理。公主岭地区总施肥量为纯 N 276.3 kg/hm²、P₂O₅ 129.9 kg/hm²、K₂O 189.0 kg/hm²,桦甸地区总施肥量为纯 N 380 kg/hm²、P₂O₅ 150.0 kg/hm²、K₂O 150.0 kg/hm²。

公主岭属于半湿润生态类型区,桦甸属于湿润冷凉生态类型区,2 个地区的气候与土壤基础条件分别见表 1 和表 2。在成熟期按每个小区 10 m² 收获测产,统计有效穗数;若籽粒在 30 粒以下的植株为空秆,记录空秆数;将收获的全部果穗脱粒,烘干

表 1 不同地区试验点的农业气候条件

Table 1 Agricultural climate resource of trial areas in different locations

试验地点	纬度	经度	≥10 °C 积温 (玉米生育季)/°C	4-10 月 降水量/mm	≤16 °C 时间 (灌浆期)/d	日照时间 (玉米生育季)/h	气温日较差 (玉米生育季)/°C
公主岭	43°29′	124°48′	3 025.4	603.8	5.2	950.5	10.5
桦甸	42°58′	126°44′	2 835.1	670.7	15.0	1 033.5	11.8

表 2 公主岭地区和桦甸地区的基础地力(0~20 cm)

Table 2 Soil properties in Gongzhuling and Huadian (0-20 cm)

试验地点	土壤类型	有机质/%	全氮/%	碱解氮/(mg/kg)	速效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)
公主岭	典型黑土	2.79	0.21	133.0	75.7	180.8
桦甸	冲积土	2.51	0.14	136.5	94.8	79.3

至恒重,以籽粒含水率 14% 计算产量。

气象资料来源于国家气象局,公主岭、桦甸地区分别采取四平(54157)和桦甸(54273)2 个站点的数据,包括播种至收获的每日平均温度、最低气温、最高气温、日照时数和降雨量。数据采用 Excel 2010、SAS 9.1.3、SPSS 17.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同地区不同密度下产量及其构成因素的比较分析

从表 3 可知,随着密度增加,单位面积穗数呈线性增加,穗粒数呈线性下降。桦甸地区的产量整体

低于公主岭地区的产量,地区间产量的差异主要是由千粒重引起的,桦甸地区的千粒重明显低于公主岭地区。在公主岭地区,除 7 万株/hm² 外,随着密

度的增加产量增加,但穗粒数和千粒重下降;在桦甸地区,密度对产量的影响则很大,随着密度的增加产量增加,仅穗粒数下降。但在 5 种密度条件下,2 个

表 3 玉米产量及产量构成分析

Table 3 The analysis of maize yield and yield components

地区	密度/ (×10 ⁴ /hm ²)	产量/ (kg/hm ²)	单位面积 穗数/(667 m ²)	穗粒数	千粒重/g
公主岭	4	11 459 b	3 069 c	612 a	408.2 a
	5	12 060 ab	3 422 bc	615 a	381.9 b
	6	12 082 ab	3 721 b	569 ab	364.8 bc
	7	11 415 b	4 709 a	460 c	352.0 c
	8	12 815 a	4 744 a	526 b	343.4 c
桦甸	4	8 239 d	2 940 e	600 a	312.0 a
	5	9 547 c	3 681 d	562 a	308.1 a
	6	10 520 b	4 120 c	601 a	285.0 a
	7	10 751 ab	4 722 b	475 b	320.7 a
	8	11 453 a	5 139 a	469 b	314.9 a
方差分析					
地区		***	*	ns	***
密度		***	***	***	*
地区×密度		**	ns	*	**

注:同列字母不同表示差异显著($P < 0.05$),表中 *** 表示 1%水平上显著相关, ** 表示 1%水平上显著相关, * 表示 5%水平上显著相关, ns 表示差异不显著;下同。

地区均以 8 万株/hm² 的产量最高。

根据对玉米产量及其构成因素的分析(表 4)可知,单位穗数对产量的直接效应最大,穗粒数通过单

位穗数表达的间接效应最大,说明穗粒数与单位穗数的关系密切,呈显著负相关($r_{公} = -0.857 7^{***}$, $r_{桦} = -0.766 1^{**}$),而在同一地区千粒重的直接效

表 4 产量构成因素与产量的通径分析

Table 4 Path analysis of maize yield and yield components

试验地点	变量因子	相关系数(r)	直接效应	间接效应		
				x_1	x_2	x_3
公主岭	单位穗数(x_1)	0.353 3	2.041 1**		-1.253 5	-0.434 4
	穗粒数(x_2)	0.047 6	1.461 5**	-1.750 6		0.336 8
	千粒重(x_3)	-0.181 6	0.543 8	-1.630 4	0.905 0	
桦甸	单位穗数(x_1)	0.926 6***	1.534 4***		-0.686 6	0.078 9
	穗粒数(x_2)	-0.562 7*	0.896 3***	-1.175 5		-0.283 6
	千粒重(x_3)	0.143 0	0.443 3***	0.273 0	-0.573 3	

应和间接效应均较弱。公主岭产量与产量构成因素的回归方程:

$$Y = -767.949 + 0.140 1x_1 + 1.122 3x_2 + 1.036 2x_3$$

通过 F 值检验,回归方程极显著,复相关系数 $r = 0.607 9^{**}$ ($P < 0.01$),达极显著水平。桦甸产量与产量构成因子的回归方程为:

$$Y = -1 063.194 1 + 0.155 5 x_1 + 1.035 7x_2 + 1.737 9x_3$$

通过 F 值检验,回归方程极显著,复相关系数 $r = 0.975 5^{***}$ ($P < 0.000 1$),达极显著水平。

2.2 生态因素与产量的关系

从表 5 可知,在桦甸和公主岭地区,玉米全生育期的积温、温差、降水、日照时数与产量、千粒重均呈显著相关($P < 0.05$),与穗数、穗粒数无显著相关。说明生态因素对产量和千粒重的影响较大,对单位穗数和穗粒数的影响较小。产量、千粒重与积温呈显著正相关,与温差、降水、日照时数均呈负相关,说明热量条件不足是限制当地玉米产量和千粒重的主要因素。

表 6 产量、千粒重与各生育阶段生态因素的相关系数

Table 6 Correlation coefficient between ecological factors in each growth stage and yield or 1000-grain weight

产量指标	气象指标	拔节期-大喇叭口期	大喇叭口期-吐丝期	吐丝期-乳熟期	乳熟期-灌浆中期	灌浆中期-成熟期
产量	积温	-0.440	-0.727**	0.760**	0.674*	0.597*
	温差	-0.571	-0.714*	0.899**	0.246	0.685*
	降水	-0.327	-0.691*	-0.708*	0.816**	0.057
	日照时数	-0.680*	-0.688*	0.855**	0.291	0.719*
千粒重	积温	-0.894**	-0.864**	0.838**	0.860**	0.901**
	温差	-0.903**	-0.837**	0.548	-0.239	0.804**
	降水	-0.846**	-0.177	-0.913**	0.690*	0.539
	日照时数	-0.899**	-0.821**	0.828**	0.262	0.855**

两者的关系符合二次关系,建立模型方程为:

$$Y = -0.002 8x^2 + 3.427 1x - 510.43$$

$$R^2 = 0.815 7^{***}$$

对方程中的 x 求导,求出灌浆中期至成熟期积温对产量的边际效应,即 $y = -0.005 6(x - 611.982 1)$,灌浆中期至成熟期的平均天数为 24.5 d,即最适温度 $t = 611.982 1 \text{ } ^\circ\text{C} / 24.5 \text{ d} = 24.98 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{d}$,结果表明在日均温达 $24.98 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时千粒重达最大值。

在降水方面,乳熟期前水分过多对产量和千粒

表 5 产量及产量构成因素与全生育期生态因素的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between ecological factors during growth period and maize yield, yield components

产量及产量构成	积温	温差	降水	日照时数
产量	0.740**	-0.630*	-0.711*	-0.612*
单位穗数	-0.072	0.274	0.128	0.312
穗粒数	0.081	-0.256	-0.129	-0.291
千粒重	0.844**	-0.894**	-0.859**	-0.907**

由表 6 可见,在玉米吐丝后,各生育阶段的积温与玉米产量均呈正相关,说明吉林地区吐丝后积温较低,在生产中容易造成减产。积温增加,玉米产量也会相应增加。减产主要是因为吐丝后的积温相对较低,导致千粒重较低,千粒重与吐丝后各生育阶段的积温呈显著正相关($P < 0.01$),尤其是灌浆中期到成熟期的积温,严重影响籽粒灌浆。为了确定千粒重与积温的关系,采用逐步回归和曲线估计,确定灌浆中期至成熟期积温是影响千粒重主要因素,

重表现出负效应;该阶段过多的降水将导致授粉不良、光合效率下降和籽粒败育,最终严重降低千粒重和产量。

2.3 生态因素与密度的互作关系

由表 7 可见,在积温方面,收获时的穗数,与吐丝前的积温呈正相关,吐丝后各生育阶段的积温呈负相关。在公主岭地区,花前有效积温低于桦甸地区 $92.5 \text{ } ^\circ\text{C}$,花后有效积温要高出桦甸地区 $287.2 \text{ } ^\circ\text{C}$,所以桦甸地区的穗数要高于公主岭地区。但这

个负相关作用并不显著,在目前的种植密度条件下,积温对密度的影响也并不显著。

在温差方面,收获时的穗数与拔节期至灌浆中期的温差呈正相关,与灌浆中期至成熟期的温差呈

负相关。与桦甸地区相比,公主岭地区拔节期至灌浆中期的日温差总和低 254.8 °C,灌浆中期至成熟期的日温差总和高 49.8 °C。

在降水方面,收获时的穗数与大喇叭口期至吐

表7 密度与各生育阶段生态因素的相关系数

Table 7 Correlation coefficient between ecological factors in each growth stage and plant density

生育阶段	积温	温差	降水	日照时间
拔节期-大喇叭口期	0.486	0.351	0.609	0.211
大喇叭口期-吐丝期	0.144	0.135	-0.636*	0.156
吐丝期-乳熟期	-0.011	0.529	0.239	0.083
乳熟期-灌浆中期	-0.208	0.723*	0.225	0.023
灌浆中期-成熟期	-0.349	-0.148	-0.662*	-0.140

丝期、灌浆中期至成熟期的降水量呈显著负相关 ($P < 0.05$),与其他生育阶段降水量呈正相关。与桦甸地区相比,公主岭地区的总降水量低 87.5 mm,在拔节期至大喇叭口期、吐丝期至灌浆中期的降水量低 84.2 mm,而在大喇叭口期至吐丝期、灌浆中期至成熟期的降水量差别不大。说明在桦甸地区,吐丝期至灌浆中期的水分充足有利于籽粒灌浆、籽粒败育减少和无效穗的降低,所以桦甸地区的穗数高于公主岭地区。

在日照时数方面,收获时的穗数与拔节期至灌浆中期的日照时数呈正相关。与桦甸地区相比,公主岭地区拔节期至灌浆中期的日照时数低 149.1 h。尤其在大喇叭口期到吐丝期,桦甸地区的日照时数为 157.2 h,远多于公主岭地区的 79.5 h。在不同密度条件下,桦甸地区的穗数整体高于公主岭地区,这种差异在 8 万株/hm² 时达极显著 ($P < 0.01$)。

3 结论与讨论

本研究表明,密度对产量及其构成影响显著,随着密度增加,导致产量增加和穗粒数下降。在不同密度条件下,对玉米产量起决定作用的是单位面积穗数,其次是穗粒数,千粒重对产量的决定作用相对较低。在同一个密度水平下,公主岭地区的产量和千粒重高于桦甸地区。但 2 个地区都以 8 万株/hm² 的产量最高,分别为 12 815 和 11 453 kg/hm²。种植密度不同,作物群体结构也不同,从而在田间产

生不同的温光湿等小气候效应。这是因为在玉米全生育期,随着种植密度增加,耗水量增加;株高增加,株间光照大大减少;温度增加^[19-20]。所以在日照充足、积温相对较低的桦甸地区,可继续增加种植密度。

在吉林不同地区,单位面积穗数与花前积温、拔节至灌浆中期温差、大喇叭口期至吐丝期和灌浆中期至成熟期的降水量、拔节期至灌浆中期的日照时数呈正相关。产量的不同主要是千粒重的差异造成,花后积温是影响千粒重的重要因子,尤其是灌浆中期至成熟期的积温,该阶段的日均温为 24.98 °C 时最有利于千粒重。桦甸地区的产量整体低于公主岭地区,主要是灌浆中期到成熟期的日均温偏低造成的,在该阶段桦甸地区低于 16 °C 的天数有 15 d,而在公主岭仅为 5.2 d,有研究表明在玉米灌浆期,当日平均温度低于 16 °C 时,玉米基本停止灌浆^[21-22]。张毅等研究表明,玉米灌浆期在连续 5 d 的 10 °C 处理后,叶片和雌穗的 SOD 活性下降,MDA 增加,从而使生理代谢紊乱,使可溶性糖含量增加,淀粉含量下降,阻碍籽粒灌浆^[23]。而在 10~25 °C 时玉米籽粒灌浆速率随着温度升高而升高^[24],所以该阶段的低温大幅度降低了桦甸的千粒重,造成产量大幅度降低。此外,该阶段的温差与千粒重也呈正相关,这是因为温差增加,有利于减少玉米的呼吸消耗,干物质积累增多,促进了玉米籽粒灌浆,表明在一定范围内,较高的温差有利于千粒重的增加^[25]。

参 考 文 献

- [1] 刘淑云,董树亭,胡昌浩,等.玉米产量和品质与生态环境的关系[J].作物学报,2005,31(5):571-576
- [2] 李潮海,苏新宏,谢瑞芝,等.超高产栽培条件下夏玉米产量与气候生态条件关系研究[J].中国农业科学,2001,34(3):311-316
- [3] 郑洪建,董树亭,王空军,等.生态因素对玉米品质产量影响及调控的研究[J].作物学报,2001,27(6):862-868
- [4] Dirk V A, Bolton E F. Climatic factors contributing to year-to-year variation in grain yield of corn on Brookston clay[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1981, 61: 293-305
- [5] Thompsso L M. Climatic changes, weather variability, and corn production[J]. Agron J, 1986, 78: 649-653
- [6] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,等.不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J].作物学报,2008,34(3):447-455
- [7] 张新,王振华,宋中立,等.不同产量水平下郑单18号不同种植密度与产量及其构成因素关系的研究[J].中国农学通报,2004,20(2):86-88
- [8] 陈亮,张宝石,王洪山,等.生态环境与种植密度对玉米产量和品质的影响[J].玉米科学,2007,15(2):88-93
- [9] 付晋峰.温光生态因素和种植密度对玉米粒重建成的影响[D].北京:中国农业大学,2004
- [10] 郑洪建,董树亭,王空军,等.生态因素对玉米子粒发育影响及调控的研究[J].玉米科学,2001,9(1):69-73
- [11] 气候变化与作物产量编写组.气候变化与作物产量[M].北京:中国科技出版社,1992
- [12] 陆卫平,陈国平,郭景伦,等.不同生态条件下玉米产量源库关系的研究[J].作物学报,1997,23(6):727-733
- [13] 张泽民,任和平.不同生态环境对玉米产量和穗粒性状的影响[J].华北农学报,1991,6(1):28-34
- [14] 郭晓华.生态因子对玉米产量构成因素的调控作用[J].生物学杂志,2000,19(1):6-11
- [15] 常强,马兴林,关义新,等.种植密度对不同地点用玉米杂交种中单9409子粒品质的影响[J].玉米科学,2004,12(4):73-76
- [16] 仁禾,李月英,韩成伟,等.吉林省玉米增产潜力分析[J].玉米科学,2010,18(6):148-152
- [17] 张天瑜,吴景贵,陈日翌,等.吉林省玉米生产省域尺度上比较优势研究[J].安徽农业科学,2010,38(32):18091-18093,18101
- [18] 陈传永.东北春玉米高产群体结构与功能特点及产量性能定量分析[D].北京:中国农业科学院,2010
- [19] 刘战东,肖俊夫,南纪琴,等.种植密度对夏玉米形态指标、耗水量及产量的影响[J].节水灌溉,2010(9):8-11
- [20] 张邦琨,张璐,陈芳,等.不同生态条件对玉米田间小气候和产量的影响[J].中国农业气象,1993,20(3):33-37
- [21] 郑洪建,董树亭.生态因素与玉米产量关系的研究[J].山东农业大学学报:自然科学版,2000,31(3):315-319
- [22] 郭庆法,王庆成,汪黎明.中国玉米栽培学[M].上海:上海科学技术出版社,2004
- [23] 张毅,戴俊英,苏正淑,等.孕穗期低温对玉米雌穗的伤害作用[J].作物学报,1995,21(2):235-239
- [24] Jones R J, Gengenbach B G, Cardwell V B. Temperature effects on in vitro kernel development of maize[J]. Crop Science, 1981, 21: 761-766
- [25] 戴明宏,单成钢,王璞.温光生态效应对春玉米物质生产的影响[J].中国农业大学学报,2009,14(3):35-41

(责任编辑:袁文业)