

不同区域气候条件下寒地玉米生长发育及产量的密度响应

李 梁, 于 洋, 官秀杰, 姜宇博, 郝玉波, 葛选良, 吕国依, 钱春荣*

(黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所/农业农村部东北地区作物栽培科学观测实验站, 哈尔滨 150086)

摘 要:玉米单产变化的主要原因是生态条件的差异,同时增密是有效提高玉米产量的措施。为探明不同生态条件下玉米生长发育及产量对密度的响应,在黑龙江省不同生态条件的哈尔滨、兰西、富裕设置了品种和密度的交互试验。结果表明:玉米穗位高、茎粗主要受区域生态条件影响。叶面积指数(LAI)空间比例分布受区域生态条件差异的影响显著,高产试验点玉米棒三叶以下所占比例最高。区域生态条件差异比密度差异对吐丝后干物质积累的影响要大。本试验条件下,哈尔滨和兰西地区调节密度的增产效应明显,适宜密度为75 000株/hm²,富裕地区改良土壤为主要的增产途径。

关键词:寒地;玉米;气候条件;密度

中图分类号:S513

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2021)04-0001-05

Plant Densities Response on Growth and Yield of Maize in Cold Region under Different Climate Conditions

LI Liang, YU Yang, GONG Xiujie, JIANG Yubo, HAO Yubo, GE Xuanliang, LYU Guoyi, QIAN Chunrong*

(*Institute of Crop Tillage and Cultivation, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in Northeast China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Harbin 150086, China*)

Abstract: The change of the maize yield in different regions is mainly caused by the ecological difference. At the same time, higher plant density is an effective measure to increase grain yield. In order to find out the plant densities response on growth and yield of maize in cold region under different ecological conditions, variety and density of interaction were designed in Harbin, Lanxi, Fuyu which are three ecological zones in Heilongjiang Province. The results showed that, ear height and stem perimeter were mainly affected by ecological conditions. Spatial distribution of LAI was significantly affected by regional ecological conditions. The proportion of bottom leaves was the highest in high yield region. The effect of regional ecological conditions on dry matter accumulation after silking was greater than that of density. The effect of regulating density was obvious in Harbin and Lanxi, and the suitable density was 75 000 plant/ha. Improving soil in Fuyu area was the main way to increase yield.

Key words: Cold region; Maize; Climate Conditions; Density

我国玉米产区幅员辽阔,各地土壤、气候、品种、耕作栽培特点等都存在很大差异^[1]。黑龙江省是北方春玉米区中的优势产区,而近十年来黑龙江省玉米单产水平没有明显提高,一直停留在4 500~5 500 kg/hm²^[2]。当前,提高玉米产量的主

要措施之一就是适当提高种植密度,提高光温资源利用率,发挥群体效应^[3-4]。随着种植密度的增加,玉米对光、温、水、肥等资源的利用更加强烈,从而对植株的农艺性状、碳氮代谢及产量等产生显著影响^[5]。我国玉米栽培学组专家通过5年159块高产田的试验证明,获得高产的前提和必备条件是选择具有优良生态条件的地区^[6]。生态条件的差异已经成为我国玉米单产时间空间变化的主要原因之一^[7]。黑龙江省气候生态复杂,种植区域南北跨越10个纬度,东西跨越10余个经度,年平均气温偏低,无霜期短,≥10℃积温在1 600~2 800℃·d之间,年均降水量在400~650 mm之间,玉米生育

收稿日期:2019-12-15

基金项目:国家重点研发计划课题(2017YFD0201803);黑龙江省农业科学院院级科研项目(2017ZC04);国家玉米产业技术体系专项资金资助项目(CARS-02-34)

作者简介:李 梁(1983-),男,助理研究员,博士,主要从事玉米高产与生理生态研究。

通讯作者:钱春荣,女,博士,研究员,E-mail: qcr3906@163.com

期在 90 ~ 150 d 之间^[8]。目前,关于寒地玉米耐密性的研究主要集中在单一试验点开展,系统分析黑龙江省不同区域生态条件下玉米密植效应及产量差异的研究较少。本试验通过品种和密度的交互试验,研究黑龙江省不同区域生态条件下玉米生长发育及产量对密度的响应,为品种的合理布局 and 产量的进一步挖潜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2016 年 5 月至 10 月在黑龙江省的哈尔滨、兰西、富裕进行。试验区耕层土壤养分状况见表 1,生育期内气候状况见表 2。

表 1 试验地基础地力

地区	土壤类型	有机质(%)	全氮(%)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
哈尔滨	黑土	2.38	0.15	125.80	34.46	127.74
兰西	黑钙土	3.24	0.14	163.20	26.50	140.20
富裕	盐碱土	1.19	0.21	139.28	15.35	116.44

表 2 试验点近十年春玉米全生育期气候条件

地区	有效积温(℃·d)	降水(mm)	日照时数(h)
哈尔滨	3 056.5	370.5	1 107.4
兰西	2 954.2	360.8	1 209.5
富裕	2 833.3	335.8	1 272.3

1.2 试验设计

供试玉米品种为鑫鑫 2 号(生育期 122 d 左右,需≥10℃活动积温 2 500℃·d 左右)、吉单 27(生育期 118 d,需≥10℃活动积温 2 400 ~ 2 450℃·d),密度分别为 45 000 株/hm² 和 75 000 株/hm²。各试验点每个小区均种植 8 行,行长 10 m,随机区组排列,每个处理重复 3 次。

1.3 田间管理

各试验区均在 2015 年秋季耕翻整地并机械化施肥,每公顷施入控释掺混肥料 600 kg(N-P₂O₅-K₂O=26-10-12)。出苗后于三叶期定苗,其他管理措施参照当地大田管理。

1.4 测定内容与方法

1.4.1 叶面积指数(LAI):分别于拔节期、大喇叭口期、吐丝期、灌浆中期及成熟期取作物地上部,测定植株地上部叶面积。每个小区选取有代表性植株 3 株,测量每株绿色叶片长、宽,按照长宽系数法算得单株总叶片面积,乘以单位面积上的株数算得 LAI。在吐丝期将植株分为 3 层测定,分别为棒三叶以上层、棒三叶层和棒三叶以下层。

1.4.2 植株形态指标:于吐丝期从每个小区选取长势均匀的玉米 10 株,测定株高、穗位高及茎粗。

1.4.3 干物质积累:每个小区选取 3 株长势均匀的植株用于测定干重,玉米拔节期和大喇叭口期将样品分为茎、叶分别测定;玉米吐丝期将样品分为茎、叶和果穗分别测定;玉米灌浆中期和成

熟期将样品分为茎、叶、籽粒、穗轴和苞叶五部分分别测定。所有样品均在 80℃下烘干至恒重后称量,获得干重。

1.4.4 产量及产量构成:成熟期每个小区选取 13 m²实收测产,从中选取 10 个样本果穗用于室内考种,并按照籽粒含水率 14% 折算产量。收获指数(Harvest index, HI)=经济产量/生物产量。

1.4.5 数据统计与分析:采用 Microsoft Excel 2010 和 SAS 9.0 进行数据统计与分析。变异系数 CV(%)=S/ $\bar{X}$ ×100,式中 S 代表测定值的标准差, $\bar{X}$ 代表测定值的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同地区农艺性状对密度的响应

由表 3 可知,株高、穗位高、茎粗、最大 LAI 在密度、地区间均达极显著水平。品种和地区间的互作也达到了极显著水平(除茎粗外)。株高、穗位高、最大 LAI 对密度的响应趋势一致,均随密度的增加而增加,农艺性状各项指标在地区间的表现均为哈尔滨最高,富裕最低。从各处理的变异系数来看,不同品种下株高的变异系数为 0.15%,穗位高的变异系数为 0.88%,茎粗的变异系数为 6.00%,品种主要影响的是茎粗。不同密度下株高的变异系数为 2.66%,穗位高的变异系数为 5.56%,茎粗的变异系数为 6.00%,密度主要影响的也是茎粗。在不同地区的表现来看,株高的变异系数为 9.07%,穗位高的变异系数为 11.27%,茎粗的变异系数为 9.12%,各生态区域主要影响的是穗位高。不同生态区群体 LAI 的差异主要出现在吐丝期,排序为哈尔滨>兰西>富裕,不同品种、密度、地区下最大 LAI 的变异系数分别为 3.01%、30.09%、15.20%,最大 LAI 主要受种植密度影响,其次为地区。

表3 不同地区春玉米农艺性状与冠层特征

试验因素		株高(cm)	穗位高(cm)	茎粗(cm)	最大 LAI
品种	V ₁	287.2a	112.6a	8.6a	4.8a
	V ₂	287.8a	111.2a	7.9b	4.6b
密度	D ₁	282.1b	107.5b	8.6a	3.7b
	D ₂	292.9a	116.3a	7.9b	5.7a
地区	哈尔滨	303.2a	121.8a	9.0a	5.3a
	兰西	301.9a	116.2b	8.2b	4.8b
	富裕	257.4b	97.7c	7.5c	3.9c
均方	品种(df=1)	3.3	17.6	5.7***	0.3*
	密度(df=1)	1042.2**	704.0***	5.7***	35.5***
	地区(df=2)	8147.3***	1902.9***	6.8***	5.6***
	品种×密度(df=1)	5.5	9.2	0.01	0.001
	品种×地区(df=2)	779.4**	455.5***	0.2	0.5***
	密度×地区(df=2)	52.3	49.0	0.2	0.6***
	品种×密度×地区(df=2)	21.9	1.7	0.2	0.1

注:同列不同小写字母表示显著性水平达到 $P<0.05$ 。*、**和***分别表示0.05、0.01和0.001的显著水平;V₁和V₂分别代表鑫鑫2号和吉单27;D₁和D₂分别代表种植密度45 000株/hm²和75 000株/hm²。下同

2.2 不同地区冠层结构对密度的响应

表4表明,不同地区不同品种间随着密度的增加,吐丝期棒三叶上部叶在群体LAI中所占比例降低明显,而棒三叶所占比例变化不明显,棒三叶下部叶所占比例却增加明显。从棒三叶下部

叶所占比例在不同地区的变异系数来看,哈尔滨为5.14%、兰西为8.22%、富裕为19.57%,LAI空间比例分布受区域生态条件差异的影响显著,即气候条件较好的地区(土壤肥力较高和水热充足),能促进棒三叶以下层次群体LAI的积累。

2.3 不同地区干物质积累对密度的响应

不同地区间群体干物质积累表现为相同的趋势,随生育进程逐渐变大,富裕地区后期干物质积累显著偏低,是由于土壤肥力低、降水少限制了玉米生长发育,吐丝后干物质积累能力较差(图1)。

表4 不同地区群体LAI空间分布比例				
地点	处理	棒三叶上部叶(%)	棒三叶(%)	棒三叶下部叶(%)
哈尔滨	T ₁	32.0a	27.7a	40.3a
	T ₂	28.5ab	29.2a	42.3a
	T ₃	25.1b	29.3a	45.6a
	T ₄	27.8ab	28.7a	43.5a
	变异系数CV(%)	9.93	2.55	5.14
兰西	T ₁	27.8a	29.3b	42.9a
	T ₂	31.6a	31.6a	36.8b
	T ₃	28.7a	28.7b	44.3a
	T ₄	29.0a	31.2a	39.8ab
	变异系数CV(%)	5.62	4.70	8.22
富裕	T ₁	28.5b	29.5b	40.0a
	T ₂	37.6a	35.3a	27.0b
	T ₃	27.8b	32.3ab	40.2a
	T ₄	32.4ab	37.3a	30.3b
	变异系数CV(%)	14.25	10.18	19.57

注:T₁、T₂、T₃和T₄分别代表鑫鑫2号:45 000株/hm²、吉单27:45 000株/hm²、鑫鑫2号:75 000株/hm²、吉单27:75 000株/hm²。棒三叶上部叶指植株棒三叶上部所有叶片,棒三叶指果穗叶及其上下叶等;棒三叶下部叶指植株棒三叶下部所有叶片

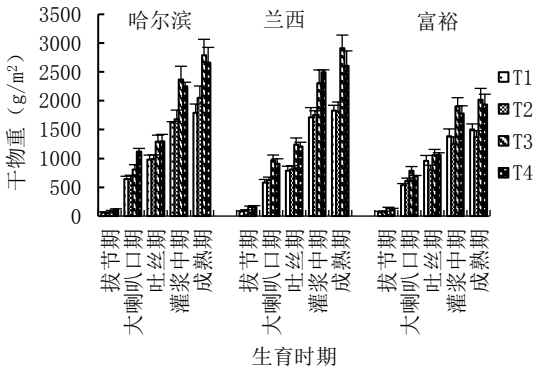


图1 不同地区春玉米干物质积累变化特征

由表5可以看出,群体干物质的变化在密度和地区间达极显著水平,从吐丝后干物质积累量的变异系数来看,品种为4.64%、密度为28.90%、地区为29.76%,说明区域生态条件差异比密度差异对吐丝后干物质积累的影响要大。

表 5 不同地区春玉米群体干物质积累的变化

试验因素		群体干物质积累(g/m ²)			吐丝后积累率(%)
		吐丝期	成熟期	吐丝后积累量	
品种	V ₁	1 053a	2 139a	1 087a	49.29a
	V ₂	1 029a	2 047a	1 018a	48.64a
密度	D ₁	889b	1 726b	837b	47.52a
	D ₂	1 194a	2 461a	1 267a	50.41a
地区	哈尔滨	1 142a	2 324a	1 183a	50.19b
	兰西	1 010b	2 289a	1 279a	55.69a
	富裕	971b	1 666b	695b	41.02c
均方	品种(df=1)	4 930	76 629	42 686	3.91
	密度(df=1)	836 265***	4 860 208***	1 664 391***	75.17
	地区(df=2)	95 675***	1 646 694***	1 178 041***	659.68***
	品种×密度(df=1)	2 765	153 997*	198 033**	134.96*
	品种×地区(df=2)	5 965	60 319	38 831	19.81
	密度×地区(df=2)	43 870**	182 310*	52 354*	26.53
	品种×密度×地区(df=2)	9 164	1 5611	4 682	16.95

2.4 不同地区产量及其构成因素对密度的响应

由表 6 可知,千粒重和产量的最大值出现在哈尔滨,收获指数的最大值出现在兰西,产量及其构成的最低值均出现在富裕。具体分析其中的变化,产量及其构成因素在密度和地区间达极显著水平,随密度的增加,穗数显著增加,穗粒数和千粒重显著减少,产量显著提高。由此可见,随

密度的增加单穗产量的下降由单位面积穗数的增加弥补了。另外,密度增加后收获指数显著下降,这表明干物质由营养器官向生殖器官的转运效率明显下降。不同区域生态条件下,产量存在显著差异,高产试验点主要得益于穗粒数、千粒重和收获指数的综合体现。

表 6 不同地区春玉米产量及其构成因素变化

试验因素		穗数(株/hm ²)	穗粒数(粒/穗)	千粒重(g)	产量(kg/hm ²)	收获指数
品种	V ₁	45 885a	597a	324.5b	9 345a	0.49b
	V ₂	67 185b	586a	351.5a	9 810a	0.54a
密度	D ₁	45 885b	619a	362.0a	9 255b	0.52a
	D ₂	67 185a	564b	314.0b	9 900a	0.51b
地区	哈尔滨	56 340a	591ab	397.3a	11 310a	0.52b
	兰西	56 445a	609a	365.5b	10 170b	0.57a
	富裕	56 820a	574b	251.1c	7 245c	0.45c
均方	品种(df=1)	213 919*	986	6 547.8***	8 314	0.02***
	密度(df=1)	18 143 091***	27 335***	20 739.8***	16 901**	0.002*
	地区(df=2)	3 364	3 755**	1 934.9***	233 708***	0.04***
	品种×密度(df=1)	126 964	112	531.3**	458	0.004**
	品种×地区(df=2)	41 730	412	1 778.8***	2 796	0.005***
	密度×地区(df=2)	70 522	5 658***	265.3**	5 061	0.000 5
	品种×密度×地区(df=2)	739	1 510*	828.2***	1 454	0.001

3 结论与讨论

目前提高玉米种植密度是公认的有效增产途径^[9],但随着密度的增加,玉米群体内资源利用的条件变差,导致植株生长速率降低,茎秆纤细,增加倒伏风险^[10-11]。前人研究表明近年来的新品种

穗位高与株高增加明显,不利于玉米的耐密种植^[12],而种植方式可协调高密度条件下个体的生长状况并最终作用于产量^[13]。本研究表明密度对穗位高的影响要小于地区生态条件对穗位高的影响。因此,增加密度的条件下更应加强当地种植方式及栽培措施管理,以期达到对穗位高与茎粗

的调节,减小倒伏风险。

冠层的形态结构和资源利用直接影响着作物产量的形成^[14-15]。要获得玉米高产,核心是建立高光效光合生产体系,进一步增加种植密度,群体 LAI 呈增加的态势,但是群体过高的 LAI 会形成不合理的冠层结构,最终导致群体早衰,增密处理有时未必会实现增产,说明增密的同时必须要调整合理的冠层结构,尤其是群体中下层的光环境要得到改善^[16]。本试验中 LAI 空间比例分布受区域生态条件差异的影响显著,高产试验点玉米棒三叶以下所占比例最高。

玉米产量主要来源于干物质的积累,增加干物质质量,尤其是花后干物质质量对实现玉米增产具有重要意义^[17]。本试验表明,区域生态条件差异比密度差异对吐丝后干物质积累的影响要大,同时密度增加后收获指数显著降低。因此,要发挥玉米的生产潜力,一定要加强产区的田间管理,从而提高生产效率^[18]。

不同区域生态条件下,玉米的产量存在显著差异。富裕地区玉米产量明显低于其他试验点,这主要是由于该地区耕层结构不合理,蓄水能力较差,且土壤养分含量较低,造成源库关系不协调、收获指数较低,限制了产量的提高。因此,在该地区生态条件下调节密度的增产效应差于改良土壤的增产效应^[19]。春玉米产量下降是生育期间日均温偏低造成的,在低温冷凉地区可适当增加种植密度,从而达到增产的目的。本研究中也发现,在土壤条件较为相似的哈尔滨和兰西地区,随着生育期有效积温的降低,种植密度有增加的态势。本试验条件下,哈尔滨和兰西地区调节密度的增产效应明显,适宜密度为 75 000 株/hm²,富裕地区改良土壤为主要的增产途径。

综上所述,区域气候条件、土壤特点以及耕作栽培管理措施等均会使玉米的适宜种植密度发生改变,从而影响产量,而各项要素间相互作用机制也更为复杂,今后还应深入研究各项因素间的互作效应。

参考文献:

- [1] 位东斌,东先旺.作物栽培学(第一版)[M].北京:中国农业大学出版社,2001:89.
- [2] 张 研,钱春荣.黑龙江省玉米单产水平现状与发展策略[J].东北农业大学学报,2010,41(7):155-160.
- [3] Tokatlidis I S, Koutroubas S D. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability[J]. Field Crops Res, 2004, 88:103-114.
- [4] 刘 伟,张吉旺,吕 鹏,等.种植密度对高产夏玉米登海 661 产量及干物质积累与分配的影响[J].作物学报,2011,37(7):1301-1307.
- [5] 陈传永,侯海鹏,李 强,等.种植密度对不同玉米品种叶片光合特性与碳、氮变化的影响[J].作物学报,2010,36(5):871-878.
- [6] 陈国平,高聚林,赵 明,等.近年我国玉米超高产田的分布、产量构成及关键技术[J].作物学报,2012,38(1):80-85.
- [7] 郑洪建,董树亭,王空军,等.生态因素对玉米品种生长发育影响及调控的研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2001,32(2):117-123.
- [8] 闫 平,杨 明,王 萍,等.基于 GIS 的黑龙江省积温带精细划分[J].黑龙江气象,2009,26(1):26-27.
- [9] 张世煌,胡瑞法.加入 WTO 以后的玉米种业技术进步和制度创新[J].杂粮作物,2004,24(1):19-22.
- [10] 刘战东,肖俊夫,南纪琴,等.倒伏对夏玉米叶面积、产量及其构成因素的影响[J].中国农学通报,2010,26(18):107-110.
- [11] 丛艳霞,赵 明,董志强,等.乙醇合剂对东北春玉米干物质积累和茎秆形态的化学调控[J].玉米科学,2009,17(5):85-89.
- [12] 路 明,刘文国,岳尧海,等.20 年间吉林省玉米品种的产量及其相关性状分析[J].玉米科学,2011,19(5):59-63.
- [13] 胡旦旦,张吉旺,刘 鹏,等.密植条件下玉米品种混播对夏玉米光合性能及产量的影响[J].作物学报,2018,44(6):920-930.
- [14] Soratto R P, Souza-Schlick G D, Fernandes A M, et al. Narrow row spacing and high plant population to short height castor genotypes in two cropping seasons[J]. Ind Crops & Products, 2012, 35: 244-249.
- [15] 孙 宁,孟祥盟,边少锋,等.吉林省湿润区不同玉米品种产量及农艺性状比较研究[J].东北农业科学,2017,42(1):5-7.
- [16] 王洪君,王 楠,胡 宇,等.半干旱区玉米行距调整增密对群体冠层结构及产量的影响[J].玉米科学,2018,26(6):75-78.
- [17] Rossini M A, Otegui M E, Maddonni G A. Inter-plant competition for resources in maize crops grown under contrasting nitrogen supply and density: Variability in plant and ear growth[J]. Field Crops Res, 2011, 121: 373-380.
- [18] 马国胜,薛吉全,路海东,等.密度与氮肥对关中灌区夏玉米 (*Zea mays* L.) 群体光合生理指标的影响[J].生态学报,2008,28(2):661-668.
- [19] 李素萍,南文华,郝建平,等.密度与施氮量对不同玉米品种产量及穗部性状的影响[J].西北农业学报,2007,16(5):80-83.

(责任编辑:刘洪霞)