

文章编号: 1005-0906(2013)05-0076-05

播期与密度对玉米物质生产及产量形成的影响

于吉琳¹, 聂林雪¹, 郑洪兵^{1,2}, 张卫建³, 宋振伟³,
唐建华¹, 林志强¹, 齐 华¹

(1. 沈阳农业大学农学院, 沈阳 110866; 2. 吉林省农业科学院, 长春 130033;

3. 中国农业科学院作物研究所, 北京 100081)

摘 要: 以郑单 958 为试验材料, 研究播期与密度对玉米物质生产及产量形成的影响。结果表明, 播期与密度和玉米群体干物质积累关系紧密, 早播密植、晚播稀植有利于群体干物质积累; 随播期推迟, 产量呈下降趋势, 且播期越晚, 产量下降越显著。产量构成因素对产量的贡献率因气象条件而异, 穗数和千粒重对产量贡献率较大, 且随播期推迟均有所降低; 花前充足的光辐射、花期适量的降水及花后适宜的有效积温对玉米产量有明显促进作用。苗后 50~60 d 的光辐射对穗数影响极显著, 光辐射及降雨量与穗粒数也呈显著正相关; 苗后 70 d 至成熟期的有效积温对千粒重影响显著。因此, 适当调节播期, 使玉米生长发育的关键时期处于最适的气象条件有利于发挥玉米高产潜力。

关键词: 玉米; 播期; 密度; 干物质积累; 产量

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Effect of Matter Production and Yield Formation on Sowing Date and Density in Maize

YU Ji-lin¹, NIE Lin-xue¹, ZHENG Hong-bing^{1,2}, ZHANG Wei-jian³, SONG Zhen-wei³,
TANG Jian-hua¹, LIN Zhi-qiang¹, QI Hua¹

(1. *Agronomy College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866;*

2. *Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033;*

3. *Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: ZD958 was used as the experimental material, the effects of matter production and yield formation on sowing date and density in maize were studied. The results showed that sowing date and density had a tightness relationship with group dry matter accumulation in maize, and early sowing with thick planting, late sowing with thin planting were beneficial to group dry matter accumulation. Yield was decreased with sowing date delayed, and the later the sowing, the significant the yield decreased. The difference of contribution rate for yield on yield composition was due to meteorological condition. Ear number and thousand kernel weight had a greater contribution rate on yield, and both reduced with sowing date delayed. Adequate light radiation before anthesis, timely rainfall in anthesis, suitable effective accumulated temperature after anthesis had an obvious auxo-action on maize yield. Light radiation had an extreme effect on ear numbers after emergence 50 – 60 days. Light radiation and rainfall had a positive correlation with kernels per ear during this period, and effective accumulated temperature had a significant effect on a thousand kernel weight between days after emergence 70 days and maturity. Therefore, taking full advantage of climatic resources, fair adjustment of sowing dates, making the critical period of maize growth and development in optimal meteorological condition, were beneficial to develop high yield potential of maize.

Key words: Maize; Sowing date; Density; Dry matter accumulation; Yield

收稿日期: 2013-01-30

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划(2011BAD16B14, 2012BAD04B03)、公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303130, 201103001)

作者简介: 于吉琳(1985-), 女, 辽宁朝阳人, 博士, 主要从事作物超高产理论与实践研究。E-mail: yujilinzq.2007@163.com

齐 华为本文通讯作者。E-mail: qihua10@163.com

玉米是辽宁省第一大粮食作物,种植面积约占全省作物种植面积的一半,产量占粮食总产量的 $2/3$ ^[1,2]。在全球气候变暖的背景下^[3],传统的播种期会对生产产生不利影响,同时造成光热资源的极大浪费。高产是栽培措施与生态因子综合作用的结果,玉米产量的提高不仅需从栽培技术措施上着手,还应考虑影响玉米产量性能指标所需的光、温、水等生态因子。播期对玉米的影响是其生长发育期间光、热、水、气和土壤等生态因子综合作用的结果^[4~7]。多数学者仅限于对密度、品种或播期单因子或不同生态区对产量的研究^[8~12],对玉米播期与密度耦合并结合生态因子对其影响的相关研究较少。本文研究辽宁地区玉米播期与密度耦合,定量分析生态因子对玉米不同生育阶段的影响,为辽宁地区的玉米生产实践提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2011~2012 年在辽宁省铁岭市蔡牛乡(41°54' N, 123°54' E)进行。全年平均气温 8.3℃,平均年降雨量 630 mm,无霜期 183 d。供试农田为棕壤土,前茬作物为玉米。耕层土壤有机质 11.23 g/kg、碱解氮 140 mg/kg、速效磷 17.94 mg/kg、速效钾 118.8 mg/kg。

1.2 试验设计

试验材料选用郑单 958,主试验设播期和密度两个因素,每个因素均为 3 个水平。田间采用裂区设计,播期为主区,密度为副区。播期设早播(4 月 25 日)、中播(5 月 10 日)和晚播(5 月 25 日);密度设低密

度(45 000 株/hm²)、中密度(67 500 株/hm²)和高密度(90 000 株/hm²)。行距 60 cm,行长 8 m,10 行区,小区面积 48 m²,3 次重复。总施氮量(N)225 kg/hm²,分别于播种期、大喇叭口期按 1:2 比例施用,播种时一次性施入磷(P₂O₅)75 kg/hm²,钾(K₂O)150 kg/hm²。氮、磷、钾肥分别为尿素、磷酸二铵和氯化钾。其他栽培管理措施同一般高产玉米田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 干物质(DM)积累

于出苗后 30 d 开始,每隔 20 d 测量一次,每小区取 5 株于茎基部割取,在 105℃杀青 30 min,75℃烘至恒重,测定干物质积累量。

1.3.2 产量及产量构成因素

玉米子粒成熟期实收测产,折算成单位面积产量;收获时各区均选取具有代表性 10 穗样品,待风干后进行室内考种,考察穗部性状。子粒产量均按 14%含水量计算。

1.3.3 气象数据

气象数据来源于试验区内设置的 LI-1400 气象数据采集器(美国 LI-COR 公司生产)。生育期间有效积温(GDD)采用以下公式计算,其中, $T_{\max}$ 和 $T_{\min}$ 为第 i 天的最高和最低气温, $T_{\text{base}} > 10^{\circ}\text{C}$ 。

$$\text{GDD} = (T_{\max} + T_{\min}) / 2 - T_{\text{base}}$$

1.3.4 数据分析与统计

采用 SPSS17.0 和 Microsoft Excel 进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 群体干物质(DM)积累动态

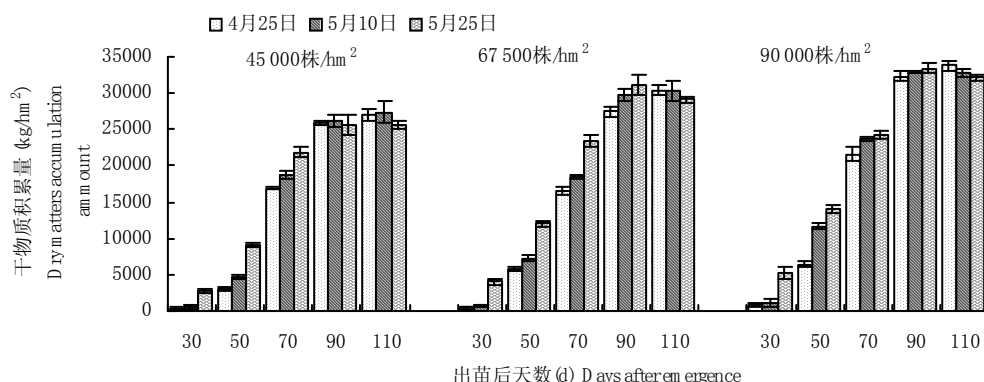


图 1 不同播期及密度下玉米群体干物质(DM)积累动态

Fig.1 Trends of group dry matters for maize in different sowing date and density

玉米 DM 积累量是子粒产量形成的物质基础^[13]。由图 1 可知,玉米群体 DM 积累变化动态总体趋势基本一致,表现为生育前期增长缓慢、中期快速增

加、至灌浆期达最高值。播期由 4 月 25 日推迟至 5 月 25 日时,玉米生育前期 DM 积累的增长速度明显加快,而群体最大 DM 积累量也表现出一定的增加趋

势,晚播群体 DM 积累量于灌浆期后衰减较快,最终表现为早播 > 中播 > 晚播。密度处理间全生育期群体 DM 积累量表现为高密度 > 中密度 > 低密度。播期与密度互作,随着播期延迟群体 DM 积累量最大值出现时间提前,且密度提高也加速了这种提前趋势。晚播高密的 DM 积累量明显高于早播高密,晚播低密群体最大 DM 积累量明显降低,增加密度可使其明显升高,中密和高密分别升高 17.48% 和 23.28%。

2.2 产量及产量构成因素

玉米产量构成三因素间有复杂的消长、互补关系^[4]。表 1 为不同播期与密度条件下玉米产量及产量构成因素的年际间表现,两年规律基本一致,播期间产量差异达极显著水平,密度间及播期×密度间

的产量差异均达显著水平。播期与密度比较,播期是影响产量更重要的因素。相同密度条件下产量随播期推迟依次降低,且播期越迟产量降幅越大。同一播期条件下,密度在 45 000~67 500 株/hm² 范围内产量表现较高,高密度最低,分别低于低密度和中密度 9.50% 和 8.51%,但差异并不显著。

单位面积穗数和千粒重均随播期延迟而降低。其中,晚播较早播和中播的穗数分别降低 13.28% 和 7.83%,千粒重降低 17.95% 和 15.08%。尽管穗粒数表现为中播高于早播和晚播,但产量仍表现为早播 > 中播 > 晚播。穗粒数和千粒重随密度升高依次降低。由此可见,适时早播增加了穗数,提高了千粒重,是玉米产量显著增加的主因。

表 1 产量及产量构成因素方差分析
Table 1 Analysis of variance between planting date and density on yield and yield component

处 理 Treatment		2011 年				2012 年			
播 期	种植密度	产 量	穗 数	穗粒数(粒)	千粒重(g)	产 量	穗 数	穗粒数(粒)	千粒重(g)
Planting date	(株/hm ²)	(kg/hm ²)	(穗/hm ²)	Grain number	1 000-kernels	(kg/hm ²)	(穗/hm ²)	Grain number	1 000-kernels
	Plant density	Yield	Ear No.	per ear	weight	Yield	Ear No.	per ear	weight
早 播	45 000	9 296.85 b	50 928.22 c	525.18 a	337.19 a	11 712.41 a	53 065.13 c	618.80 a	357.27 a
	67 500	10 587.69 a	61 576.84 b	562.51 a	324.87 a	12 340.09 a	70 498.08 b	574.60 b	304.62 b
	90 000	1 067.28 a	83 105.59 a	420.28 b	266.91 b	11 495.80 a	87 739.46 a	493.15 c	266.22 c
中 播	45 000	9 584.78 a	49 076.28 b	578.25 a	324.06 a	11 684.04 a	55 363.98 c	566.46 a	373.51 a
	67 500	10 113.14 a	63 660.27 a	589.78 a	286.50 b	11 287.42 a	67 432.95 b	529.87 a	315.96 b
	90 000	9 474.18 a	65 975.19 a	456.16 b	292.57 ab	9 938.78 b	80 842.91 a	442.32 b	278.29 c
晚 播	45 000	6 902.82 a	48 381.81 a	521.31 a	289.82 a	10 025.85 a	54 214.56 c	622.23 a	298.29 a
	67 500	6 748.50 a	54 632.09 a	396.51 ab	287.16 a	8 864.15 b	64 176.25 b	594.25 a	232.18 b
	90 000	6 181.62 a	51 622.69 a	338.14 a	258.60 a	7 766.78 c	81 226.05 a	513.85 b	187.21 c
播期均值									
早 播		9 986.94 a	65 203.55 a	502.66 a	309.66 a	11 849.43 a	70 434.23 a	562.18 a	322.59 a
中 播		9 724.03 a	59 570.58 ab	541.39 a	301.04 a	10 970.08 a	67 879.95 b	576.78 a	309.37 a
晚 播		6 620.29 b	51 545.53 b	418.65 b	278.53 a	8 885.59 b	66 538.96 b	512.88 b	239.22 b
密度均值									
45 000		8 994.82 a	49 462.11 c	541.58a	317.02 a	11 140.77 a	542 14.56 c	602.50 a	343.02 a
67 500		9 149.80 a	59 956.40 b	516.27a	289.99 b	10 830.55 a	67 369.09 b	566.24 b	284.25 b
90 000		8 586.65 b	66 901.16 a	404.86b	282.21 b	9 733.79 b	83 269.48 a	483.11 c	243.91 c
因素显著性									
播 期		55.84**	10.18*	13.23*	1.60	39.85**	15.53*	7.50*	85.31**
密 度		22.54*	22.61**	8.10**	75.11*	14.05**	224.72**	55.55**	382.25**
播期×密度		7.46*	6.41*	0.97	2.84*	2.85*	2.58*	0.14	1.49*

注:不同小写字母表示 5% 显著水平。* 表示 5% 显著水平,** 表示 1% 显著水平。下表同。

Note: Different letters and * indicated significant at the 5% probability level, ** indicated significant at the 1% probability level. The same below.

2.3 产量及产量构成因素与气象条件的相关性分析

产量及产量构成因素与不同生育期光辐射、降

雨量及有效积温的相关性分析结果表明(表 2),产量与苗后 50~60 d 的光辐射、60~70 d 的降雨量及 70~90 d 的有效积温均呈显著正相关,其中与

50~60 d 光辐射与产量的相关性达极显著水平。由此说明,花前充足的光辐射、花期适当的降水、花后适宜的有效积温对产量有明显的促进作用;苗后 50~60 d 单位面积穗数与光辐射、穗粒数与光辐射、穗粒数与降雨量均达显著正相关;穗粒数与苗后 100~110 d 的光辐射量呈显著正相关,但有效积温

未与之达显著水平;千粒重在出苗后 0~10 d、40~50 d 与光辐射呈显著相关,在苗后 70~80 d 与之呈显著负相关;有效积温与千粒重在苗后 70 d 到成熟这一阶段关系最为密切,其中苗后 80~90 d 相关性最为显著,相关系数达 0.97**,此时处于子粒建成期,适宜的有效积温有利于子粒充分灌浆。

表 2 产量及产量构成因素与不同生育期光辐射、降雨量及有效积温的相关性分析(n=6)

Table 2 Correlation analysis on yield and yield components for radiation, rainfall and effective temperature accumulation

出苗后 天数(d) DAE	产 量			穗 数			穗粒数			千粒重		
	Yield			Ear No.			Grain number per ear			1 000-kernels weight		
	光辐射	降雨量	有效积温	光辐射	降雨量	有效积温	光辐射	降雨量	有效积温	光辐射	降雨量	有效积温
	Light radiation	Light radiation	Effective accumulation temperature	Light radiation	Light radiation	Effective accumulation temperature	Light radiation	Light radiation	Effective accumulation temperature	Light radiation	Light radiation	Effective accumulation temperature
0~10	0.51	-0.26	-0.64	0.22	0.05	-0.49	0.14	0.35	-0.42	0.85*	-0.80*	-0.54
10~20	0.75*	0.24	-0.69	0.63	0.24	-0.63	0.87*	-0.15	-0.02	0.41	0.40	-0.71
20~30	-0.47	0.37	-0.77**	-0.57	0.66	-0.64	-0.26	0.29	-0.13	-0.25	-0.16	-0.82*
30~40	0.12	0.51	-0.08	-0.09	0.58	-0.29	-0.40	0.25	-0.63	0.60	0.23	0.52
40~50	0.35	0.02	0.04	0.03	0.00	-0.19	-0.23	-0.50	-0.50	0.86*	0.37	0.58
50~60	0.96**	0.60	0.33	0.95**	0.65	-0.35	0.86*	0.78*	-0.23	0.62	-0.41	-0.06
60~70	0.53	0.75*	0.44	0.27	0.67	0.46	0.13	0.10	0.04	0.69	0.69	0.44
70~80	-0.47	0.47	0.79*	-0.08	0.46	0.61	-0.22	-0.13	0.30	-0.82*	0.57	0.77*
80~90	0.24	0.24	0.75*	-0.03	0.45	0.50	-0.04	0.28	0.22	0.63	-0.28	0.97**
90~100	0.06	0.76*	0.02	-0.37	0.43	-0.36	0.07	0.39	0.47	0.32	-0.22	0.80*
100~110	0.57	0.39	0.74	0.23	0.53	0.50	0.75*	0.02	0.44	0.18	0.75	0.93**
110~120	0.29	0.47	0.87*	0.15	0.28	0.62	0.18	0.09	0.18	0.92**	0.05	0.86*

表 3 产量构成因素对产量的作用

Table 3 Contribution of yield components to grain yield

年 份 (年) Year	构成因素 Yield component	相关系数 Correlation coefficient	通径系数 Path coefficient					
			直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect				
				总 和 Total	穗 数 Ear No.	穗粒数 Grain number per ear	千粒重 1000-kernels weight	贡献率 Contribution rate
2011	穗 数	0.55	0.80	-0.25		-0.07	-0.18	0.47
	穗粒数	0.64*	0.42	0.21	-0.12		0.34	0.25
	千粒重	0.47	0.48	-0.01	-0.31	0.30		0.28
2012	穗 数	0.23	1.45	-1.69		-0.73	-0.95	0.39
	穗粒数	0.15	0.86	-0.71	-1.24		0.53	0.22
	千粒重	0.82**	1.46	-0.64	-0.95	0.31		0.39

产量构成因素对产量的贡献情况因气象条件而异。2011 年穗粒数与产量呈显著正相关,2012 年千粒重与产量呈极显著正相关(表 3)。通径分析表明,2011 年穗数对产量的直接作用最大,贡献率亦最大,千粒重次之,穗粒数最小;2012 年由于生育期温度相对较高,花后子粒灌浆充分,千粒重的贡献率大

于穗数,穗粒数仍为最小。

3 结论与讨论

玉米干物质的生产特性是光合产物在植株不同器官中积累与分配的结果,而气象条件、栽培方式及二者互作效应对玉米的干物质积累和分配存在显著

的影响。玉米生育期间的光、温、水等主要气象因素与玉米生长发育和产量密切相关,可通过播期调节^[15,16]。肖荷霞等^[17]认为,适时早播可增加有效积温,延长玉米有效生长期,从而积累较多的干物质,使子粒灌浆期相应延长,利于玉米实现高产。本研究表明,早播玉米干物质积累持续时间较长,生育后期积累速度加快,且能维持较长时间,单位面积穗数早播较中播及晚播分别提高 6.54% 和 12.10%,但果穗相对较小,可通过适当密植调节群体和个体间的关系;晚播植株个体增长迅速,植株较大,单位面积穗数降低,但果穗较大,可适当稀植。通过适期早播可将玉米的品种特性与当地气象条件及种植密度结合,这是光、温、水对玉米群体在时间和空间上良好协调作用的结果。

播期提前玉米产量的增加主要表现在穗数和千粒重上,而穗数一方面取决于品种自身的遗传特性,另一方面受外界环境的影响。本研究表明,在苗后 50~60 d 光辐射与穗数($r=0.95^{**}$)、穗粒数($r=0.86^{*}$)呈显著正相关,降雨量与穗粒数亦达显著水平,此阶段为小喇叭口向大喇叭口期的过渡时期,光照强弱直接影响雌穗生长锥发育和小花分化,若适量降水将促进小花分化,灌浆期有效积温对千粒重影响显著。

播期是影响玉米产量提高最主要的栽培因子,适宜的播期是实现作物高产的必要条件。播期不同导致玉米各生育时期的气象条件不同,使其具有不同的干物质积累与分配特性,只注重增加密度提高穗数导致群体茂密,使中后期的光合生产力下降,易倒伏,稳产性差;晚播及低密度均可加速玉米生育进程,早播应适当密植,晚播可适当稀植,晚播高密度后期群体干物质积累下降迅速,早衰加重,产量下降明显。

参考文献:

- [1] 闫书杰. 辽宁省玉米产业发展探讨[J]. 农业科技与装备, 2012, 217(7): 88-89.
- [2] 马树庆, 王 琪, 罗新兰. 基于分期播种的气候变化对东北地区玉米(*Zea mays*)生长发育和产量的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2131-2139.
- [3] 白彩云, 李少昆, 张厚宝, 等. 郑单 958 在东北春玉米区生态适应性研究[J]. 作物学报, 2010, 36(2): 296-302.
- [4] 郑洪建, 董树亭, 王空军, 等. 生态因素对玉米品种产量影响及调控的研究[J]. 作物学报, 2001, 27(6): 862-868.
- [5] 李言照, 东先旺, 刘光亮, 等. 光温因子对玉米产量及产量构成因素值的影响[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(2): 86-89.
- [6] 宋世娟, 柳金来, 滕文星, 等. 玉米群体光合性能与气象因素及产量的关系[J]. 玉米科学, 1996, 4(4): 60-62.
- [7] NeSmith D S, Ritchie J T. Short-and long-term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit[J]. Agronomy Journal, 1992, 84(1): 107-113.
- [8] 吕 新, 白 萍, 张 伟, 等. 不同播期对玉米干物质积累的影响及分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2004, 22(4): 285-288.
- [9] 刘 明, 陶洪斌, 王 璞, 等. 播期对春玉米生长发育与产量形成的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 18-23.
- [10] 乌瑞翔, 刘荣权, 卢翠玲, 等. 地膜玉米的最佳播期及其“两个学说”的应用[J]. 中国农业科学, 2001, 34(4): 433-438.
- [11] Andrade F H, Uhart S A. Intercepted radiation at flowing and kernel number in maize: Shade versus plant density effects[J]. Crop Sci., 1993, 33(3): 482-485.
- [12] 李 杰, 张洪程, 董洋阳, 等. 不同生态区栽培方式对水稻产量、生育期及温光利用的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(13): 2661-2672.
- [13] 马国胜, 薛吉全, 路海东, 等. 播种时期与密度对关中灌区夏玉米群体生理指标的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1247-1253.
- [14] 郭晓华. 生态因子对玉米产量构成因素的调控作用[J]. 生态学杂志, 2000, 19(1): 6-11.
- [15] 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.
- [16] 刘培利, 刘绍棣, 东先旺, 等. 高产夏玉米与播期关系的研究[J]. 玉米科学, 1993, 1(1): 23-26.
- [17] 肖荷霞, 陈建忠, 李桂荣. 黑龙江地区夏播早熟玉米区气候资源研究[J]. 中国生态农业学报, 2001, 4(9): 91-93.

(责任编辑: 胡 娟)