

文章编号: 1005-0906(2007)03-0075-05

低温冷凉地区超高产春玉米群体生长分析研究

陈传永^{1,2}, 董志强¹, 赵明¹, 张宾², 朱平³

(1. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; 2. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094;

3. 吉林省农业科学院环境与资源研究中心, 长春 130124)

摘要: 以“三合模式”为基础, 从产量构成、光合性能、源库 3 方面对东北雨养玉米产区产量水平高于 1.5×10^4 kg/hm² 的不同密度玉米群体进行研究。结果表明: 在东北雨养地区玉米要获得高于 1.5×10^4 kg/hm² 的产量, 须选择耐密性品种, 密度介于 80 000 ~ 87 000 株/hm², 叶片光能持续期长, 吐丝后光合势大于 2.87×10^6 m²/(d·hm²), 叶面积比率与叶面积维持在合理水平, 生育期平均净同化率大于 5.21 g/(m²·d), 营养生长期相对生长率迅速, 吐丝到灌浆期相对生长率稳定, 吐丝后干物质积累量高于 16 192.48 kg/hm², 转化率大于 83.6%, 经济系数维持在 0.5 左右。

关键词: 玉米; 密度; 三合模式; 超高产

中图分类号: S513.04

文献标识码: A

Researches of Analysis and Growth on Spring Maize with Super-high Yield in Cold Region

CHEN Chuan-yong¹, DONG Zhi-qiang², ZHAO Ming², ZHANG Bin¹, ZHU Ping³

(1. College of agronomy and biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094;

2. Institute of Crop Germplasm Resources, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

3. Center of Resource and Environmental Science, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 136100, China)

Abstract: The theory of three combination structures was composed in yield components, photosynthetic characteristics and source-sink. On the basis of the three combination structure, the population density which the yield beyond 1.5×10^4 kg/ha was researched in north east of China where was the rainfall harvest farming region. The results showed that the varieties were density tolerance. Plant density was from 80 000 plant/ha to 87 000 plant/ha. Leaf area duration(LAD) was higher in the stage which economic yield shaping. LAD was higher than 2.87×10^6 m²/(d·ha) after silking. Specific leaf area (SLA) and leaf area rate (LAR) are reasonable. Average net assimilation rate (NAR) was higher 5.21 g/(m²·d). The relative growth rate(RGR) grew rapidly in vegetative growth stage and grew steadily from silking stage to filling stage. Dry matter accumulation after silking was higher than 16 192.48 kg/ha and transformation ratios was higher than 83.6%. The harvest index was 0.5 or so.

Key words: Maize; Density; Three combination structure; Super-high yield

20 世纪 90 年代以来, 作物高产品种不断涌现, 但与之配套的高产理论与高产途径研究却相对落后。“三合模式”的提出完善了作物高产理论, 为高产

栽培提供了理论依据。玉米高产的获得主要是依靠结构性挖潜途径。2002 年美国 Francis Childs 创造了 2.735×10^4 kg/hm² 的世界纪录, 密度为 10.852×10^4 株/hm²; 2005 年山东莱州夏玉米创造了 2.104×10^4 kg/hm² 的全国纪录, 密度为 9.861×10^4 株/hm²; 2006 年内蒙古春玉米产量突破 1.738×10^4 kg/hm², 密度为 8.51×10^4 株/hm²; 2006 年吉林省玉米产量突破 1.65×10^4 kg/hm², 面积为 2 hm², 其中最高产量 1.725×10^4 kg/hm², 各田块密度均大于 8.0×10^4 株/hm²。目前, 对东北玉米高产的研究仅限于产量水平

收稿日期: 2006-12-18

基金项目: 国家粮食丰产工程(2004BA520A12)、北京市农业育种基础研究创新平台项目(YZPP02-04)

作者简介: 陈传永(1978-), 男, 硕士, 主要从事玉米超高产栽培研究。Tel: 13426014986

赵明为本文通讯作者。Tel: 010-68918752

E-mail: youngsirchen@sohu.com

1.2 × 10⁴ ~ 1.4 × 10⁴ kg/hm² 的玉米群体及玉米高产潜力挖掘方面,通过“三合模式”对产量水平高于 1.5 × 10⁴ kg/hm² 下的玉米群体指标进行研究在国内外还未见报道。本研究以“三合模式”为基础,对不同高密度下产量超过 1.5 × 10⁴ kg/hm² 的玉米超高产群体进行生长分析,从“源、库”端探究玉米高产原因。探索建立合理的群体结构,构造高质量动态群体的途径,为东北玉米超高产栽培提供科学的理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地基础情况

试验于 2006 年在吉林省桦甸市红石镇小红石村试验田(粉砂壤)进行。试验土壤基础肥力:pH 值 6.5,有机质含量 2.53%,碱解氮 156.9 mg/kg,全氮 0.14%,速效钾 110.60 mg/kg,速效磷 39.91 mg/kg。

1.2 试验材料与设计

供试品种为先玉 335。试验设 4 个密度处理,分别为 80 000 株/hm²、87 000 株/hm²、91 000 株/hm²、95 000 株/hm²。随机区组设计,试验小区面积为 45.6 m²(4.56 m × 10 m),每小区 8 垄,垄距 0.57 m,长 10 m,3 次重复。整地时底肥用量:有机肥为 37.5 m³/hm²、玉米长效专用肥(23N-10P-12K,总养分 ≥ 45%)500 kg/hm²;种肥(玉米长效专用肥)500 kg/hm²;追肥(尿素)1 000 kg/hm²,1/2 拔节期追施,1/2 吐丝期追施,其他管理同当地大田生产。5 月 1 日播种,9 月 27 日收获,全生育期 135 d。

1.3 测定内容与方法

在玉米不同生育期,即苗期(5 月 31 日)、拔节期(6 月 19 日)、大喇叭口期(7 月 10 日)、吐丝期(7 月 28 日)、灌浆期(8 月 14 日)、乳熟期(8 月 28 日)、蜡熟期(9 月 19 日)和完熟期(9 月 27 日)(其分别为出苗后 15、35、56、75、92、106、127、135 d),从各处理小区选取有代表性的植株 3 ~ 5 株(苗期 20 株)进行测定。

1.3.1 叶面积和干物质重

在各生育期测量所选植株叶片长、宽测定叶面积,叶面积 = 长 × 宽 × 0.75。每个重复取代表性植株 3 株,按茎、叶、鞘、穗粒、苞叶、穗轴器官分样,105℃ 杀青 30 min,80℃ 烘干至恒重后测定干物质。

1.3.2 产量及产量构成因素

收获时每小区在中间 4 行取 10 m² 测产,并取有代表性 10 穗进行考种。

1.3.3 数据分析

光合势 LAD(m²·d/hm²)=[(L₁+L₂)/2] × (t₂-t₁)

净同化率 NAR[g/(m²·d)]=[lnL₂-lnL₁]/(L₂-L₁) × [(W₂-W₁)/(t₂-t₁)]

叶面积比率 LAR(cm²/g)=[(lnw₂-lnw₁)/(w₂-w₁)] × [(L₂-L₁)/ (lnL₂-lnL₁)]

相对生长率 RGR[g/(kg·d)]=[lnw₂-lnw₁]/(t₂-t₁)

比叶面积 SLA(cm²/g)=L/Lw

在上述公式中:L₂、L₁ 分别为 t₂、t₁ 时间的叶面积;w₂、w₁ 分别为 t₂、t₁ 时间的干物质重;Lw 为叶片干重。

收获指数 HI= 经济产量 / 生物学产量

粒叶比 (粒 / m²)= 群体收获粒数 / 群体最大叶面积

2 结果与分析

2.1 产量及产量构成因素分析

产量结果表明(表 1):密度为 87 000 株/hm² 时,产量最高。随着密度增加,平均穗粒数与千粒重有下降趋势,产量在密度超过 87 000 株/hm² 时有下降趋势,总粒数随密度增加而增加,但密度超过 87 000 株/hm²,总粒数增加幅度变小。本试验所用品种先玉 335 产量水平高于 1.5 × 10⁴ kg/hm² 的适宜密度是 80 000 ~ 87 000 株/hm²,而最佳群体密度还需要进一步试验研究。

表 1 不同密度条件下玉米产量与产量构成因素分析

Table 1 The yield and its components in the different planting density

密度(株/hm ²)	穗数(穗/hm ²)	总粒数(粒/hm ²)	穗粒数(粒)	千粒重(g)	产量(kg/hm ²)
Density	Ears number	Sum kernels	Kernels per ear	1000-kernels weight	Yield
80 000	79 026	43 559 131	551.20	345.43	15 046.89
87 000	86 593	45 833 675	529.30	338.40	15 583.02
91 000	89 558	46 413 434	518.25	327.76	15 449.86
95 000	94 462	48 622 425	514.73	312.74	15 252.40

2.2 玉米不同密度群体“源”端性状分析

叶片是植物最重要的“源”器官,也是玉米通过

光合作用生产干物质的最主要器官,作物子粒灌浆物质来源于抽穗前茎鞘贮藏物质和抽穗后的光合产

物。叶面积的大小和叶面积指数(LAI)的变化趋势是物质积累的直接影响因素,合理的玉米叶片群体构成及光合持续期是玉米高产的基础。

2.2.1 玉米高产群体叶面积指数(LAI)的动态变化

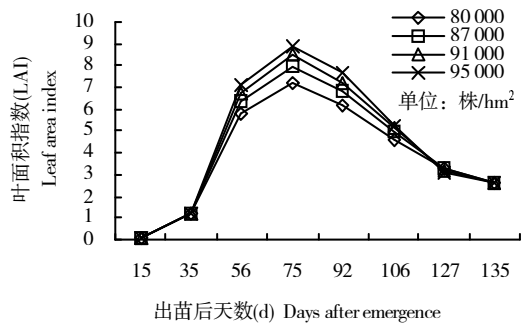


图1 不同密度群体叶面积指数(LAI)动态变化

Fig.1 The changes of LAI with the growth development of maize under the different density

图1表明: 高产条件下不同密度玉米群体 LAI

随着密度增加而增加,出苗后 35 d(拔节期)到 56 d(大喇叭口期)为叶面积高速增长时期,出苗后 75 d(吐丝期)叶面积达到最大,出苗后 56 d(大喇叭口期)到出苗后 92 d(灌浆期)为叶面积高值持续期,出苗 92 d(灌浆期)到成熟,叶面积快速下降。高密度处理群体,叶面积衰减过快,这是造成千粒重下降的重要原因。

2.2.2 玉米高产群体光合势变化

各玉米群体全生育期阶段光合势随密度增加而增加(表 2),从出苗后 35 d(拔节期)到出苗后 127 d(蜡熟期),阶段光合势处在高值持续期,其中在出苗后 57 d(大喇叭口期)到出苗后 92 d(灌浆期),阶段光合势达到最大。在 87 000 株 /hm² 时,总光合势为 $544.33 \times 10^4 \text{ m}^2/(\text{d} \cdot \text{hm}^2)$,吐丝后光合势反映玉米群体在开花到成熟期间,截获光能的大小,对玉米的干物质积累和产量的形成影响很大。本试验研究表明:吐丝后光合势约为总光合势的 51.3%左右。

表 2 不同密度群体下各生育阶段光合势(LAD)变化

Table 2 The changes of LAD with the growth development of maize under the different density									$10^4 \text{ m}^2/(\text{d} \cdot \text{hm}^2)$	
密度(株 /hm²)	0 ~ 15	16 ~ 35	36 ~ 56	57 ~ 75	76 ~ 92	93 ~ 106	107 ~ 127	128 ~ 135	总光合势	吐丝后光合势
Density									Sum LAD	LAD after silking
80 000	0.79	10.25	69.38	125.07	117.04	71.82	76.40	22.50	493.24	287.76
87 000	0.87	11.31	76.57	138.02	129.16	79.26	84.32	24.83	544.33	317.56
91 000	0.93	11.98	81.14	146.26	136.88	83.99	89.35	26.31	576.85	336.53
95 000	0.97	12.57	85.11	153.41	143.57	88.10	93.72	27.59	605.04	352.98

2.2.3 玉米高产群体叶面积比率(LAR)与比叶面积(SLA)变化动态

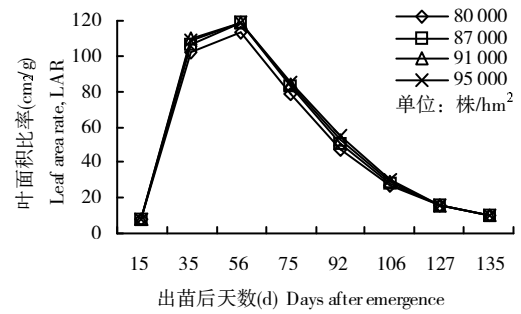


图2 不同密度群体叶面积比率(LAR)变化

Fig.2 The changes of LAR with the growth development of maize under the different density

叶面积比率(LAR)表示单位干物重的叶面积,反映了源供应能力的强弱以及源库是否协调。比叶面积(SLA)表示单位叶重的叶面积,反映了叶片的厚度。叶面积比率(LAR)和比叶面积(SLA)的变化说明了叶片在各生育期的光合能力及在产量形成过程中

的贡献大小。玉米高产群体叶面积比率(LAR)与比叶面积(SLA)都成先上升后下降趋势(图 2、图 3),其中叶面积比率在出苗后 56 d(大喇叭口期)达到最大,在密集条件下相差不大;比叶面积在出苗 35 d(拔节期)后达到最大,各密度间在出苗后 35 d 内相差不大,在出苗后 35 d(拔节期)到 106 d(乳熟期)随密度增大而增大。

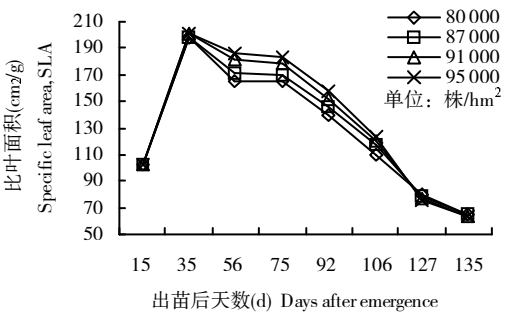


图3 不同密度群体比叶面积(SLA)变化

Fig.3 The changes of SLA with the growth development of maize under the different density

2.2.4 玉米高产群体净同化率(NAR)的动态变化

玉米不同密度群体净同化率(NAR)在生育过程中呈“M”形变化,平均净同化率随密度升高而降低(表 3)。从出苗 35 d(拔节期)到 56 d(大喇叭口期),随着密度增加净同化率升高。其原因拔节后随着密度增加,玉米群体内生长竞争加剧,高密度群体生长迅速,叶片相互荫蔽并不严重,所以净同化率随密度增加。在其他生育时期,尤其大喇叭口后期由于植株增大,随着密度增加,玉米群体叶片相互郁蔽程度加大,所以净同化率随密度增加降低。在整个玉米生

育期,净同化率出现两次高峰期,一次出现在出苗后 35 d(拔节期)到 56 d(大喇叭口期),一次出现在出苗后 93 d(灌浆期)到 106 d(乳熟期)。净同化率的阶段性变化,反映了各叶位叶片光合能力的差异,生育前期,光合能力较强的上位叶片不断长出,叶片不相互荫蔽,所以净同化率提高很快,随着植株继续生长,叶片相互荫蔽,平均受光强度降低,净同化率开始下降,到生育后期,子粒灌浆需要大量光合产物,加上下部叶片死亡,叶片平均受光强度升高,净同化率转而升高,成熟期,玉米叶片衰老,净同化率降低。

表 3 不同密度群体各生育阶段的净同化率(NAR)

Table 3 The changes of NAR with the growth development of maize under the different density									g/(m ² ·d)
密度(株 /hm ²)	Density	16 ~ 35	36 ~ 56	57 ~ 75	76 ~ 92	93 ~ 106	107 ~ 127	128 ~ 135	平均 NAR
80 000		8.32	7.88	4.58	5.19	7.87	5.42	2.15	5.91
87 000		7.47	7.88	4.30	4.59	7.29	4.91	2.31	5.53
91 000		6.84	8.30	3.91	4.46	6.97	4.66	2.31	5.35
95 000		6.49	8.75	3.66	4.20	6.47	4.70	2.21	5.21

2.3 玉米高产群体“源库”协调分析

2.3.1 玉米高产群体相对生长率(RGR)动态变化

相对生长率(RGR)是指单位时间单位生物量所生成的净生物量,直接影响各生育阶段干物质累积量,反映了各生育阶段物质转运分配是否流畅,源库是否协调。玉米不同密度高产群体相对生长率(RGR)在生育期内可分为 3 个明显的阶段(表 4),在

出苗到出苗后 56 d(大喇叭口期),由于正处于营养生长和营养与生殖阶段前期,光合产物积累迅速,生长速度快,相对生长率高;在出苗后 56 d(大喇叭口期)到 106 d(灌浆期),玉米群体正处于生殖生长时期,生长速度平缓,相对生长率稳定;在出苗 106 d(灌浆期)后,生殖生长接近完成,植株衰老,生长停滞,相对生长率急速下降。

表 4 不同密度群体各生育阶段相对生长率(RGR)的变化

Table 4 The changes of RGR with the growth development of corn under the different density								g/(kg·d)
密度(株 /hm ²)	Density	16 ~ 35	36 ~ 56	57 ~ 75	76 ~ 92	93 ~ 106	107 ~ 127	128 ~ 135
80 000		85.05	89.26	36.09	24.63	20.94	8.32	2.24
87 000		79.97	93.63	35.53	23.28	20.79	7.74	2.41
91 000		74.86	99.15	32.91	23.54	20.42	7.36	2.36
95 000		70.35	103.87	31.13	22.94	19.62	7.37	2.21

2.3.2 玉米高产群体吐丝后干物质分配变化

表 5 不同密度群体吐丝后干物质分配

Table 5 Dry matter accumulation and distribution after silking under the different density							
密度(株 /hm ²)	产量(kg/hm ²)	总干物质	吐丝后干物质	转化率(%)	吐丝后干物质	收获系数	粒叶比(粒 /m ²)
Density	Yield	(kg/hm ²)	(kg/hm ²)	Transformation	/ 总干物质(%)	Harvest index	Grain-leaf ratio
		Sum dry matter	Dry matter after silking	ratios	Dry matter after silking /sum dry matter		
80 000	13 993.58	28 114.93	16 734.99	83.62	59.52	0.498	602.17
87 000	14 492.20	28 211.33	16 375.04	88.50	58.04	0.514	577.44
91 000	14 368.37	28 375.12	16 362.54	87.81	57.67	0.506	551.65
95 000	14 184.73	28 557.36	16 192.48	87.60	56.70	0.497	547.97

注:产量为子粒完全烘干后折合产量。
Notes: The yield is calculated which kernels were dried completely.

光合产物的转运性能反映了作物“流”的畅通与否。在正常条件下,开花前积累的干物质对子粒最终干重的贡献率为 10%左右,玉米子粒产量形成主要在吐丝以后。吐丝后物质的运转分配是否流畅,对产量形成有重要作用。表 5 表明,总干物质总量随着密度增加而增加,但增加幅度不大;吐丝后干物质积累随着密度增大而降低,其中密度为 80 000 株/hm²时,吐丝后干物质积累量最大,但转化率最低,只有 83.62%;密度为 87 000 株/hm²时,转化率最高,为 88.50%;吐丝后干物质积累量与总干物质比率随着密度增加而降低;经济系数在密度为 80 000 株/hm²时最高,密度在高于 87 000 株/hm²时,经济系数随密度升高而降低;粒叶比随密度升高而降低。

3 讨 论

在东北低温冷凉雨养玉米产区,由于其特殊的生态与地理环境,实现产量 1.5×10^4 kg/hm² 尤其是较大面积十分困难,虽然 2006 年实现了较大面积产量突破,但其在随后年份是否还能连续、稳定出现还需要进一步验证。

通过对产量水平高于 1.5×10^4 kg/hm² 下的玉米群体源库指标进行分析表明,选择适宜品种、进行高密度栽培是获得高产的重要途径。密度介于 80 000 ~ 87 000 株/hm²,叶片光能持续期长,吐丝后光合势大于 2.87×10^6 m²/(d·hm²),叶面积比率与比叶面积维持在合理水平,生育期平均净同化率大于 5.21

g/(m²·d),营养生长期相对生长率迅速,吐丝到灌浆期相对生长率稳定,吐丝后干物质积累量高于 16 192.48 kg/hm²,转化率大于 83.6%,经济系数维持在 0.5 左右。

作物产量的形成过程就是数量性状和质量性状综合作用的结果。增加作物群体数量、抑制个体功能的生长冗余以实现群体性能最优化是作物超高产潜力挖掘的重要途径。抽穗至成熟期的光合效率和物质生产能力是群体质量的本质特征。保证一定总粒数,增加吐丝后干物质积累量与转化率,协调源库关系是实现高产的关键。

参考文献:

- [1] 赵 明,李少昆.论作物产量研究的“三合结构”模式[J].北京农业大学学报,1995,21(4):359-363.
- [2] 刘志全,路立平,沈海波,等.美国玉米高产竞赛简介[J].玉米科学,2004,12(4):110-113.
- [3] 赵 明,李建国,张 宾,等.论作物高产挖掘的补偿机制[J].作物学报,2006,32(10):1566-1573.
- [4] 尹枝瑞.一熟制春玉米吉林省产区超高产田的理论基础与技术关键[J].玉米科学,2000,2(3):33-37.
- [5] 张志军,张建新,刘文国,等.玉米高产群体与其源库平衡关系的分析[J].农业与技术,2000,20(6):14-16.
- [6] 凌启鸿,张洪程,蔡建中,等.水稻高产群体质量及其优化控制探讨[J].中国农业科学,1993,26(6):1-11.
- [7] Simmons S R,等.张 莉译.玉米抽穗前同化物对产量的贡献[J].作物育种攻关参考资料,1986(3):6-8.

(责任编辑:朴红梅)