

付 健,杨克军,王玉凤,等. 不同种植方式和密度对寒地高产玉米郑单 958 光合特性及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(10):88-91.

不同种植方式和密度对寒地高产玉米郑单 958 光合特性及产量的影响

付 健, 杨克军, 王玉凤, 张翼飞, 王智慧, 杨系玲, 刘慧迪, 张发明, 唐春双, 王 聪

(黑龙江八一农垦大学农学院/寒地作物种质改良与栽培重点实验室,黑龙江大庆 163319)

摘要:选用玉米品种郑单 958 为试验材料,采用 3 种行距配置(R1:行距 40 cm,R2:行距 50 cm,R3:行距 65 cm)和 4 个种植密度(M1:4.5 万株/hm²,M2:6 万株/hm²,M3:7.5 万株/hm²,M4:9 万株/hm²),研究不同种植方式和密度下玉米的光合速率、叶绿素含量、叶面积指数、干物质积累量及产量的变化。结果表明,不同种植方式下,郑单 958 在 R2 种植方式下的光合速率、干物质积累、叶绿素含量、叶面积指数、产量等均高于其他处理;不同种植密度下,郑单 958 在 高密度下各指标均好于其他处理,说明在合理的种植密度下采用 R2 种植方式能够显著改善玉米群体结构,减少株间竞争,提高群体光合性能,从而提高了玉米的产量。因此,在玉米种植上,种植方式 R2 优势更为突出。

关键词:玉米;密度;种植方式;光合特性;产量

中图分类号: S513.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)10-0088-04

黑龙江省地处我国玉米带最北部,是中国最大的玉米产区。黑龙江省常规栽培密度为 4.5 万~6.0 万株/hm² 左右,通过提高栽培密度,产量提升有较大潜力。大量研究结果表明,玉米生产在单位面积上的增产,应归因于密度的适宜提高而不是单株产量的增加,因此,在一定的生产条件基础上,适当增加种植密度是获取玉米高产的一条重要途径。但随着种植密度增加,群体内光截获率加大,植株间相互遮阴,通风透光不良。中下层叶片光照条件下降,甚至达不到光补偿点,致使群体光合能力减弱^[1-3]。因此,在 高密度条件下,如何增加群体光能利用率,改善通风透光条件成为当前玉米栽培的关键^[4]。

光合作用是作物产量形成的主要机制,群体光合作用不是单叶光合的累加,它较之单叶光合更为复杂,与干物质生产更为密切。研究表明,合理的种植方式可以改善冠层内的光照、温度、湿度和 CO₂ 等微环境,对于建造良好的群体冠层结构具有重要意义^[5-10]。在单叶光合能力相同的情况下,叶面积大小和空间配置越合理,更能有效利用太阳辐射能,形成较多的同化产物^[11-13]。因此,如何改善群体与个体的关系,建立良好的群体结构以提高光能利用率成为玉米高产栽培技术的首要问题。本试验选用黑龙江寒地应用广泛的垄上双行、传统小垄以及垄上三行(垄上三行在黑龙江地区的应用并不广泛,所以关于垄上三行种植方式对玉米光合特性及产量影响的理论依据很少)的种植方式和种植密度,研究对紧凑型

玉米品种光合特性和产量的影响,以期探明黑龙江寒地地区超高产春玉米最适的种植密度及种植方式,为黑龙江寒地地区建立高产、超高产的玉米合理群体结构提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤条件

试验田地力均匀,耕作层有机质含量 21.6 g/kg、全氮含量 160.65 mg/kg、速效磷含量 9.74 mg/kg、速效钾含量 35.6 mg/kg,pH 值 7.74。

1.2 试验材料

试验选用高产玉米品种郑单 958 为试材。郑单 958 是由河南省农科院粮食作物研究所选育的高产、稳产、耐密、抗倒、抗旱型优良玉米品种。该品种株型紧凑,幼苗拱土能力强,苗期生长健壮。该品种在黑龙江寒地地区经过前人多点联合试验、不同地点播期试验、密度试验,确定了黑龙江寒地地区为郑单 958 种植的适宜区^[14-15]。前期试验结果表明郑单 958 在试验地区具有较高的产量水平。

1.3 试验设计

本试验于 2013 年在黑龙江八一农垦大学农学院试验基地进行,采用裂区设计,栽培方式为主区,分设(1)垄上三行种植(R1):大垄距为 140 cm,垄上植株行距为 40 cm,采用“Z”字形播种,2 大垄间边行距为 60 cm;(2)垄上双行种植(R2):垄距为 110 cm,垄上植株行距为 50 cm,2 垄间相邻植株行距为 60 cm;(3)传统小垄(R3):垄距 65 cm。密度为副区,设 4 个种植密度:4.5 万(M1)、6 万(M2)、7.5 万(M3)、9.0 万株/hm²(M4)。其他管理同当地大田生产。于拔节期、大喇叭口期、抽雄期、灌浆期、乳熟期(吐丝后 20 d)和完熟期分别测定光合速率、叶面积指数、叶绿素含量和干物质积累量。

1.4 测定方法

叶面积指数(leaf area index,LAI):采用英国 Delta 公司

收稿日期:2013-12-25

项目基金:国家科技支撑计划(编号:2013BAD07B01-02);国家粮食丰产科技工程(编号:2011BAD16B11-03);黑龙江省科技攻关计划(编号:2004BA520A10);黑龙江省农垦总局重点推广课题(编号:HNK125TG-13)。

作者简介:付 健(1988—),男,黑龙江大庆人,硕士研究生,研究方向为玉米高产理论与技术。E-mail:fujian_hl@163.com。

通信作者:杨克军,黑龙江大庆人,博士,教授,主要从事作物栽培与耕作方面的研究。Tel:(0459)6819179;E-mail:byndykj@163.com。

生产的 Sunscan 冠层分析系统测定。

光合速率(P_n):用美国产 Li-6400XT OPEN6.1 光合测定系统进行测定,每片叶读取 3 次数据,取平均值。

叶绿素含量:采用丙酮和乙醇等体积混合后浸泡,在暗光处充分提取 10 h,分别在 645 nm 和 663 nm 波长下测定光吸收值,计算叶片叶绿素含量。

干物质积累量:105 ℃ 杀青 30 min 后,80 ℃ 下烘至恒重称量,重复 3 次。

统计分析:采用 Excel 和 SPSS 21.0 软件进行统计分析 & 差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 产量

由表 1 可知,不同种植方式对玉米产量具有极显著的影响($P < 0.001$)。种植方式 R2 的产量最高(平均达到 12 520 kg/hm²),其次是种植方式 R1,其中种植方式 R2 比 R1、R3 分别高 7.01%、54.19%。从产量构成上来看,种植方

式 R2 的产量优势主要得益于较高的穗粒数和百粒质量,而种植方式 R3 的产量劣势则同样体现在穗粒数和百粒重。不同种植密度间的产量差异均达到极显著水平($P < 0.001$,表 1)。其中在 M4 种植密度下的产量显著高于其他种植密度, M1 产量最低,而穗粒数、百粒质量和穗长均随着密度增加而下降。种植方式和密度间存在显著的互作效应($P < 0.05$)。

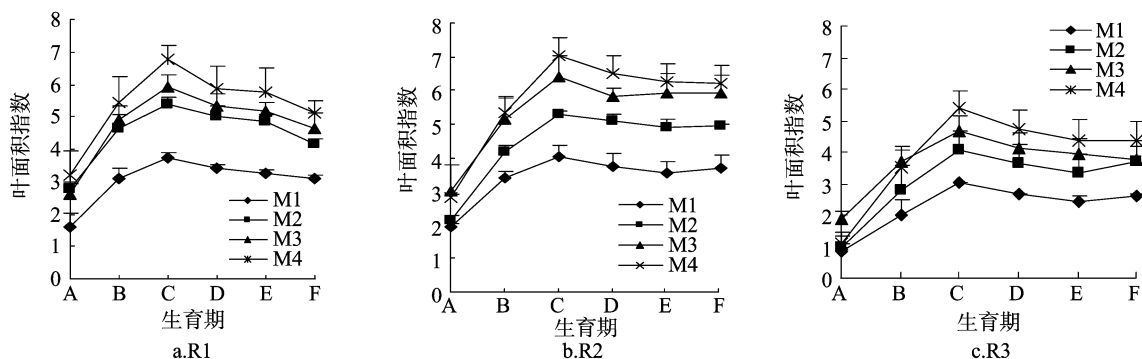
2.2 叶面积指数(LAI)

不同种植密度间的 LAI 差异均达到极显著水平($P < 0.001$),而不同种植方式的 LAI 在郑单 958 整个生育期内差异均达到极显著水平($P < 0.001$)。由图 1 可知,不同密度群体 LAI 总体变化基本一致,在生育期内 LAI 呈单峰曲线变化,均在抽雄期达到最大值,且各生育时期 LAI 都随密度的增加而升高。郑单 958 在 R2 种植方式、9.0 万株/hm² 种植密度下的 LAI 最高,分别高出其他 2 种植方式 5.8% (R1)、31.5% (R3)。在整个生育期内 M4 种植密度 LAI 显著高于其他 3 种植密度。叶面积指数增大有利于光合作用积累干物质,从而影响籽粒产量。

表 1 种植方式和密度对玉米产量的影响

试验因素	处理	产量 (kg/hm ²)	百粒质量 (g)	穗粒数 (粒/穗)	穗长 (cm)
种植方式	R1	11 700b	20.04b	535.43b	17.65a
	R2	12 520a	22.06a	562.68a	17.51a
	R3	8 120c	17.73c	501.66c	16.46b
密度	M1	8 970d	21.75a	566.68a	17.79ab
	M2	10 040c	20.68b	563.26ab	18.09a
	M3	11 650b	20.31b	516.25c	16.13c
	M4	12 470a	19.71b	526.84bc	16.82bc
均方	种植方式($df=2$)	65.712 ***	74.642 ***	15 593.678 ***	5.163 **
	密度($df=3$)	22.359 ***	6.607 ***	5 843.451 **	7.285 **
	种植方式×密度($df=6$)	0.589 *	0.437 *	0.423 *	NS

注:同列数据以后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$);“*”“**”“***”分别表示在 0.05、0.01、0.001 水平上显著水平;“NS”表示差异不显著。表 2、表 3 同。



A: 拔节期; B: 大喇叭口期; C: 抽雄期; D: 灌浆期; E: 乳熟期; F: 完熟期

图1 不同种植方式和密度对玉米郑单958叶面积指数的影响

2.3 光合速率的变化

不同种植方式和种植密度对玉米品种光合速率的影响均达到极显著水平($P < 0.001$,表 2)。郑单 958 在 R2 种植方式下的光合速率显著高于 R1 和 R3;不同种植密度间,郑单 958 在 M3 密度下的光合速率显著高于 M1 和 M4。不同种植密度下,光合速率随着密度的增加均呈先升高后下降的趋势。随

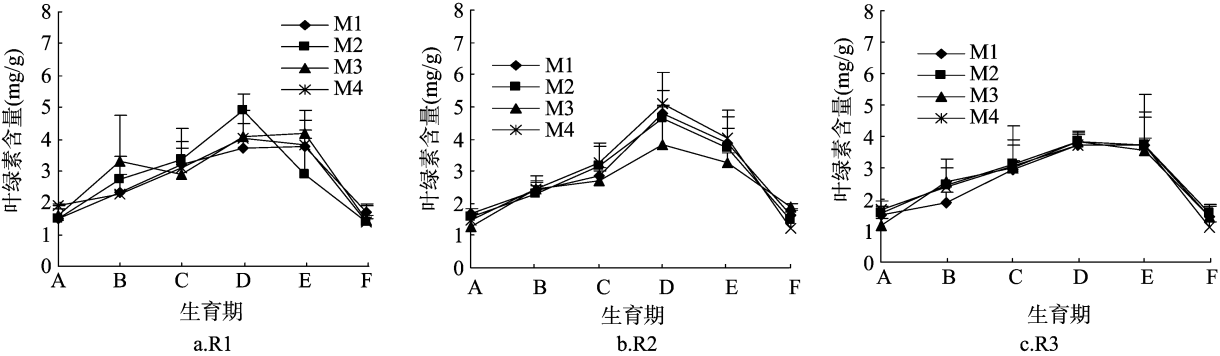
着密度增加,光合速率在不同种植方式下均缓慢下降,均在 7.5 万株/hm² 开始下降,且最高光合速率值均出现在 R2 种植方式下。种植方式和密度间互作达到显著效应($P < 0.05$)。灌浆期内,郑单 958 在 R2 种植方式下能更好地延长叶片光合功能期,维持较高的光合速率,从而进行光合作用以积累干物质,达到提高产量的目的。

表 2 种植方式和密度对玉米郑单 958 光合速率的影响

试验因素	处理	光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
种植方式	R1	27.11b
	R2	28.31a
	R3	25.38c
密度	M1	27.03b
	M2	27.43ab
	M3	28.09a
	M4	25.18c
均方	种植方式 ($df=2$)	25.998 ***
	密度 ($df=3$)	13.925 ***
	种植方式 \times 密度 ($df=6$)	2.237 *

2.4 叶绿素含量变化

如图 2 所示,叶绿素含量随着生育期逐渐增加,均在灌浆



A: 拔节期; B: 大喇叭口期; C: 抽雄期; D: 灌浆期; E: 乳熟期; F: 完熟期
图2 不同种植方式和密度对玉米郑单958植株叶绿素含量的影响

2.5 干物质积累

不同种植方式和种植密度对植株地上部干物质积累总量的差异均达到极显著水平 ($P < 0.001$) (表 3)。R2 种植方式下的总干物质质量和花后干物质质量均表现为显著高于 R1 和 R3 种植方式。郑单 958 在 R3 种植方式下的干物质总量最低。郑单 958 在 R2 和 R3 种植方式下,花后干物质质量占总干物质

期到达最大。随密度增加,叶绿素含量均呈现先增加后减少的趋势。灌浆期内,郑单 958 在各种植密度下叶绿素平均含量为 4.08 (M1)、4.44 (M2)、3.91 (M3)、4.29 (M4) mg/g; 完熟期内,叶绿素平均含量为 1.58 (M1)、1.46 (M2)、1.60 (M3)、1.24 (M4) mg/g,从灌浆期到完熟期分别下降了 61.27% (M1)、67.12% (M2)、59.08% (M3) 和 71.10% (M4)。随着密度增加,生育后期可进行光合作用的绿色叶片由于株间通风透光不良而呈加速下降趋势,导致光合作用降低,而无法合成更多有机物供给植株干物质积累。郑单 958 在 M3 密度下叶绿素含量下降缓慢,表明高密度下紧凑型品种能够较好地保持绿叶期。不同种植方式间,灌浆期郑单 958 在 R2 种植方式下的叶绿素含量比 R1、R3 分别高 9.8%、21.2%,表明 R2 种植方式能使郑单 958 生育后期维持较高的叶绿素含量,使植株功能叶片光合作用延长,优于 R1、R3 种植方式。

量比值显著高于 R1,说明 R2 和 R3 种植方式更有利于花后干物质积累。不同种植密度下,郑单 958 随着密度的增加总干物质质量和花后干物质质量均显著升高。种植密度对植株的干物质积累量影响显著,从而影响产量的提高。种植方式和种植密度间互作效应对干物质总量和花后干物质积累均表现极显著差异 ($P < 0.001$)。

表 3 种植密度和方式对玉米干物质积累的影响

试验因素	处理	总干物质质量 (g/株)	花后干物质质量 (g/株)	占总干物质质量比例
种植方式	R1	365.42b	245.88b	0.59b
	R2	426.79a	301.05a	0.70a
	R3	305.18c	204.64b	0.67a
密度	M1	325.67d	194.30d	0.60c
	M2	325.91c	223.66c	0.64bc
	M3	380.39b	259.42b	0.68ab
	M4	404.22a	284.72a	0.69a
均方	种植方式 ($df=2$)	4 4371.3 ***	3 3352.8 ***	0.038 ***
	密度 ($df=3$)	1 0397.1 ***	14 191.8 ***	0.019 ***
	种植方式 \times 密度 ($df=6$)	3 628.58 ***	4 252.5 ***	NS

3 讨论与结论

种植密度对群体光合作用效率和干物质积累的影响要大于其他栽培方式^[16-17],适当增加种植密度是玉米获得高产的

主要途径之一,而种植方式可以协调高密度条件下群体内的光照、温度、湿度、养分供给等状况,是提高作物群体光合作用并最终影响产量的因素之一^[18],但不同种植方式必须与相应的种植密度相结合,才能达到增产的目的。吴建明等研究认

为密度对叶绿素含量的影响在玉米生育前期差异不显著,在后期叶绿素含量随着密度的增加而增加,但达到一定密度的密度后则随密度的增加而降低^[19]。光合作用是产量形成的基础,玉米产量主要来源于花后叶片的光合同化物,所以增加总干物质积累量和花后干物质积累量,是提高产量的有效途径^[20]。本试验研究发现,郑单 958 在灌浆期的光合速率随着密度增加而下降,当种植密度过大时,导致下部叶片早衰,光合速率均开始下降,但是在适宜的种植密度下采用 R2 种植方式,有利于下部叶片光照条件的改善,延长其群体叶片功能期。紧凑型品种由于叶片上挺,能将接受的光能合理分配到群体内各叶层,满足了光合作用对光能的需要,郑单 958 在 R2 种植方式和 7.5 万株/hm² 种植密度下能保持较长时期的 LAI。叶绿素含量多少是作物光合能力强弱的决定因素之一,叶绿素含量越高,光合能力越强,有利于干物质积累,3 种植方式下的叶绿素含量随密度增加均有先增加后减少的趋势,这与前人研究结果相一致。R2 种植方式下,叶绿素含量均大于其他 2 种植方式。在不同种植密度下,郑单 958 的总干物质积累量和花后干物质积累量随密度增加显著提高,这与陈传永等的研究结果^[21]一致。而总干物质积累量和花后干物质积累量的变化趋势同产量的变化趋势相一致。

本试验研究结果表明,不同种植方式和密度对郑单 958 的 LAI、光合速率、干物质积累量和产量有极显著作用,但对叶绿素含量的影响不显著。不同密度间,郑单 958 随着密度增加,LAI 和总干物质及花后干物质积累量均呈上升趋势,在 9.0 万株/hm² 种植密度下显著高于其他密度。紧凑型品种在高密度种植下,由于品种自身特性,叶片上冲,植株间互相遮挡适宜,能够构建良好的群体冠层结构,从而获得高产。在 R2 种植方式下,各指标均与 R1 和 R3 种植方式显著差异,能获得较高产量。说明在适宜的密度下,配以 R2 种植方式能够构建良好的群体结构,最终提高玉米产量。

参考文献:

- [1] 贾士芳,董树亭,王空军,等. 弱光胁迫对玉米产量及光合特性的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(11):2456-2461.
- [2] 李潮海,赵亚丽,杨国航,等. 遮光对不同基因型玉米光合特性的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(6):1259-1264.
- [3] 李潮海,赵亚丽,王群,等. 遮光对不同基因型玉米叶片衰老和产量的影响[J]. 玉米科学,2005,13(4):70-73.
- [4] 杨吉顺,高辉远,刘鹏,等. 种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响[J]. 作物学报,2010,36(7):1226-1233.
- [5] 李猛,蔡宗兴,王明长,等. 不同种植方式对玉米产量的影响[J]. 贵州农业科学,1999,27(增刊1):53.
- [6] 武志海,张治安,陈展宇,等. 大垄双行种植玉米群体冠层结构及光合特性的解析[J]. 玉米科学,2005,13(4):62-65.
- [7] 王国祥,方彦杰,潘永东. 旱地全膜双垄沟播种植对玉米光合生理特性的影响[J]. 湖北农业科学,2012,51(14):2921-2925.
- [8] 杨克军,萧常亮,李明,等. 栽培方式与群体结构对玉米生长发育及产量的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2005,17(4):9-12.
- [9] 郭振升,皇甫自起,张慎举,等. 豫东平原夏玉米高产群体生理指标研究[J]. 湖北农业科学,2013,52(17):4054-4057.
- [10] 韩鹏辉,刘楠,高宁大,等. 不同栽培管理模式对夏玉米产量形成和养分吸收及土壤硝态氮的影响[J]. 江苏农业科学,2012,40(8):84-87.
- [11] 郭江,肖凯,郭新宇,等. 玉米冠层结构、光分布和光合作用研究综述[J]. 玉米科学,2005,13(2):55-59.
- [12] 董树亭,王空军,胡昌浩. 玉米品种更替过程中群体光合特性的演变[J]. 作物学报,2000,26(2):200-204.
- [13] 徐庆章,王庆成,牛玉贞,等. 玉米株型与群体光合作用的关系研究[J]. 作物学报,1995,21(4):492-496.
- [14] 朱立娟,金益,董玲,等. 密度及追肥量对黑龙江省部分玉米品种产量的关系研究[J]. 中国农学通报,2012,28(30):121-124.
- [15] 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.
- [16] 李明,李文雄. 肥料和密度对寒地高产玉米源库性状及产量的调节作用[J]. 中国农业科学,2004,37(8):1130-1137.
- [17] 孔令杰,许永峰,孟庆长,等. 不同种植密度对玉米苏玉 20 和郑单 958 的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(10):67-69.
- [18] 王敬亚,齐华,梁熠,等. 种植方式对春玉米光合特性、干物质积累及产量的影响[J]. 玉米科学,2009,17(5):113-115,120.
- [19] 吴建明,梁和,陆国盈,等. 密度和肥料对高油玉米生理性状的影响[J]. 西南农业学报,2005,18(4):392-396.
- [20] 吕丽华,王璞,鲁来清. 不同冠层结构下夏玉米产量形成的源库关系[J]. 玉米科学,2008,16(4):66-71.
- [21] 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.