

文章编号: 1003-8701(2015)02-0027-04

半干旱区玉米不同光照强度的光合特征分析

闫伟平^{1,2}, 边少锋^{1*}, 张丽华¹, 李海¹, 谭国波¹, 赵洪祥¹,
方向前¹, 孟祥盟¹, 孙宁¹, 李程², 彭涛涛³

(1. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 2. 吉林农业大学农学院, 长春 130118; 3. 吉林大学植物科学学院, 长春 130062)

摘要:以郑单958、先玉335为试验材料,在五个密度水平下对不同光强的光合要素进行了分析。结果表明,在1300~1900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强范围内,净光合速率随光强的升高逐渐增加,各密度处理在1700 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和1900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下,净光合速率达到最高。相同光照强度下,30 000株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 密度的净光合速率最大,90 000株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 密度的净光合速率最小。适宜密植,虽然降低了单株的光合能力,但群体光能利用率得到显著提高,利于群体干物质积累及产量的提升。

关键词:半干旱区; 种植密度; 光照强度; 净光合速率; 蒸腾速率

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

DOI:10.16423/j.cnki.1003-8701.2015.02.008

Analysis of Photosynthetic Characteristics of Maize under Different Light Intensity in Semiarid Area

YAN Wei-Ping^{1,2}, BIAN Shao-Feng^{1*}, ZHANG Li-Hua¹, LI Hai¹, TAN Guo-Bo¹, ZHAO Hong-Xiang¹,
FANG Xiang-Qian¹, MENG Xiang-Meng¹, SUN Ning¹, LI Cheng², PENG Tao-Tao³

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033;

2. College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118;

3. College of Plant Sciences of Jilin University, Changchun 130062, China)

Abstract: This study was carried out to investigate the photosynthetic elements with different light intensity under five planting density of maize using Zhengdan 958 and Xianyu 335 as material. The results showed that the net photosynthetic rate were increased with light intensity when light intensity in the range of 1300~1900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. It had the highest net photosynthetic rate when the light intensity reached 1700 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and 1900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ for every planting density. Under the same light intensity, it had the maximum net photosynthetic rate at 30 000 plants/ha planting density, and the minimum net photosynthetic rate at 90 000 plants/ha. Although suitable compact planting reduced single plant photosynthetic capacity, but the light energy utilization rate of group was significantly improved and it was beneficial to group dry matter accumulation and increase of yield.

Keywords: Semiarid area; Planting density; Light intensity; Net photosynthetic rate; Transpiration rate

光是影响作物生长发育的重要生态因素,是作物叶绿体发育及叶绿素合成的必要条件,光能调节植物体内部酶的活性,是作物生长发育及产量形成的重要能量来源^[1-5]。光合作用是植物生长发育和形态建成的重要基础。农作物的光合代谢受许多环境因子的共同调控,光照强度是其

中重要的影响因子之一^[4,6]。

玉米(*Zea mays*)是一种重要的C₄作物,其适应性强,能够高效集约地利用光热等资源,在我国粮食生产中具有极其重要的地位^[2,6]。国内外学者研究发现,弱光条件下植株光合速率显著降低,叶片中RuBPCase和PEPCase活性降低,叶绿体中ATP和NADPH的需求量减少^[4,7-8]。玉米叶片具有高的净光合效率,吐丝后叶片的光合同化物是玉米产量的主要来源,充足的光照是提高玉米产量的保证,因此,研究玉米叶片的光合特性对于提高其产量具有重要意义^[2-11]。

在玉米栽培的研究中,关于玉米叶片的光合

收稿日期: 2014-10-12

基金项目: 863计划项目(2011AA100504); 国家科技计划课题(2012BAD04B02); 吉林省科技厅项目(20116031)

作者简介: 闫伟平(1982-),男,研究实习员,主要从事作物栽培方面的研究。

通讯作者: 边少锋,男,研究员,博士, E-mail: bsf8257888@sina.com

特性研究已有诸多报道,研究多针对玉米苗期、弱光胁迫等方面,在玉米灌浆期,对不同光照强度下玉米光合特性的研究较少。本试验在吉林省典型的半干旱区,针对大田玉米不同光照强度下叶片的光合特征进行研究,希望探明灌浆期不同光强对叶片净光合速率的影响,为半干旱区光合特征研究和该地区光热资源的合理利用提供一定理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地区基本概况

试验在吉林省农科院洮南综合试验站进行。当地 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 $2900^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,年平均实际日照 3005 h ,全年无霜期 $128\sim 136\text{ d}$ 。试验地位于北纬 $45^{\circ}20'$,东经 $122^{\circ}49'$,海拔 156.8 m 。试验地为典型碱性沙壤, $0\sim 20\text{ cm}$ 土壤含全氮 $1.1283\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷 $0.5163\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全钾 $24.3733\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效氮 $73.4755\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $38.5941\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $198.9228\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有机质 $16.223\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{pH } 7.57$ 。

1.2 试验设计

试验选取郑单958(ZD 958)、先玉335(XY 335)为供试品种。设 $30\ 000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $45\ 000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $60\ 000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $75\ 000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $90\ 000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 5个试验密度。试验设 $1100\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $1300\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $1500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $1700\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $1900\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 5个等级的光量子通量密度模拟环境中光强的变化,其他试验条件均与自然环 境相符。播种前试验地每公顷施 500 kg 复合肥($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=15:15:15$)作底肥,在玉米大口期

每公顷追尿素 250 kg 。

1.3 试验调查

在玉米灌浆期,每天 $9:00\sim 11:00$ 和 $14:30\sim 16:00$ 测定玉米穗位叶5个光照强度的净光合速率(Pn)、胞间 CO_2 浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)及 CO_2 气孔导度(Gs)指标。玉米叶片各光合指标采用LC pro+光合仪测定,测量中的叶室配备LED红蓝光 源,通过调节红蓝光源的强度来调节测量叶室内的光量子通量密度(PPFD)大小。

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2010数据处理系统和SPSS软件对数据进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同光照强度的净光合速率

由表1可知,伴随光照强度的增加各密度下的净光合速率(Pn)总体呈升高趋势。ZD 958、XY 335不同密度下 Pn 最小值均出现在 $1100\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下,最大值出现在 $1700\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $1900\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下。XY 335各光照强度下的 Pn 多高于ZD 958,其光能利用率更高。表中单因素方差分析,结果显示XY 335在 $1100\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下,各密度植株的 Pn 间存在一定显著性差异。XY 335在 $75\ 000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $90\ 000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 密度下,各光照强度的 Pn 间差异显著,认为高产玉米品种,在较高的种植密度下植株个体容易受到环境光照的影响,当光照强度超过某一阈值,叶片的 Pn 就会受到显著影响。

改变光照强度对叶片的 Pn 有显著影响,品种

表1 玉米各密度不同光照强度的净光合速率

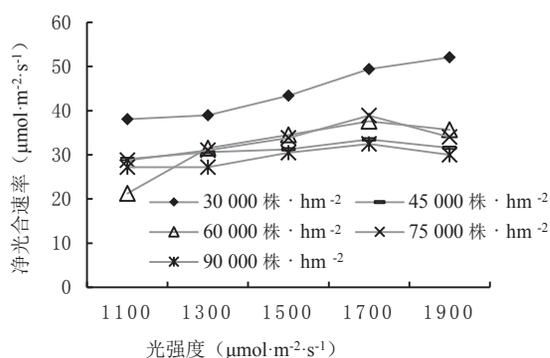
品 种	种植密度 (株 $\cdot\text{hm}^{-2}$)	净光合速率 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)				
		PPFD 1100	PPFD 1300	PPFD 1500	PPFD 1700	PPFD 1900
ZD 958	30 000	38.08a	38.96a	43.38a	49.43a	52.05a
	45 000	29.04a	30.60a	31.21b	33.45a	31.54a
	60 000	21.27a	31.51a	34.52a	37.59a	35.65a
	75 000	28.74a	31.01a	33.83a	38.89a	34.04a
	90 000	27.16a	27.18a	30.48a	32.47a	30.00a
XY 335	30 000	41.27a	47.36a	52.50a	52.58a	54.33a
	45 000	26.03ab	44.69a	47.75a	48.29a	51.80a
	60 000	28.17ad	41.45a	42.26a	46.64a	47.05a
	75 000	23.08bcd	29.70a	31.88a	32.06a	32.71b
	90 000	24.84ac	28.44b	33.36b	39.61b	34.22a

注:同一列不同字母代表处理间的显著水平($P<0.05$)

不同影响的大小存在差异。种植密度的变化促进了植株体内酶及内源激素等的自我调节,影响了植株体内的理化反应^[7-8]。当光照高于叶片所能吸收的最大光能阈值时,Pn不再上升。过低或过高的光照,都不利于叶片进行光合作用,不利于植株内部干物质的合成,适宜的光照是高效合成有机物质的重要条件。

2.2 不同光照强度的净光合速率变化

图1中,ZD 958各种种植密度的Pn随光照强度



的升高逐渐增加。在1100~1700 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强范围内,各密度植株的穗位叶Pn缓慢升高。除30 000 hm^{-2} 外,其它密度植株的穗位叶Pn在1700 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 达到最大,且曲线趋势相似。XY 335各密度植株的Pn在1100~1900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强内,趋势明显。相同光强下,随种植密度逐渐增加穗位叶的Pn呈下降趋势。30 000、45 000、60 000 $\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的Pn曲线相近且Pn较高;75 000、90 000 $\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的Pn相对较低。

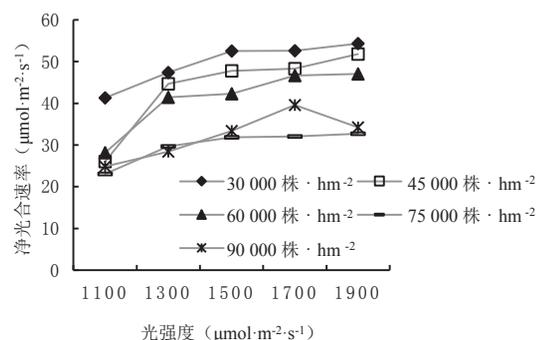


图1 郑单958、先玉335不同光照强度的净光合速率变化

两玉米品种在30 000 $\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 密度的Pn最大,在90 000 $\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 密度的Pn最小。45 000、60 000 $\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的穗位叶Pn在1100~1300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 间显著升高;在1300~1700 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强间,穗位叶的Pn随光强升高而缓慢增加。图中,两品种穗位叶的Pn均为:低密度>高密度。作物的光

合能力是在特定条件下测得的,是重要的生理指标,叶片的Pn与自身叶绿素含量、叶片厚度、叶片成熟程度密切相关,还受环境中的光照强度、气体组成、温度、湿度、土壤含水率等影响,所以,Pn变化是一个复杂的过程^[3,11]。

2.3 不同光照强度的光合因素相关分析

表2 不同密度下光照强度与光合因素的相关性系数

品种	种植密度 ($\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$)	净光合速率(Pn) ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间CO ₂ 浓度(Ci) (vpm)	气孔导度(Gs) ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率(Tr) ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
ZD 958	30 000	0.707**	0.737**	0.707*	0.915**
	45 000	0.034	0.472	0.214	0.255
	60 000	0.692**	0.526*	0.687**	0.787**
	75 000	0.512	0.026	0.593*	0.652**
	90 000	0.110	0.573*	0.417	0.353
XY 335	30 000	0.325	0.832**	0.521	0.752**
	45 000	0.612*	0.476	0.101	0.543*
	60 000	0.278	0.329	0.599*	0.518*
	75 000	0.633*	0.533*	0.572*	0.696**
	90 000	0.303	0.123	0.613*	0.635*

注:*,**分别表示在0.05、0.01水平上显著相关

表2中,两玉米品种,各种种植密度的光照强度与4个光合因素存在正相关关系,但显著性不

同。ZD 958在30 000、60 000 $\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 密度下,光强与Gs、Pn、Ci、Tr有显著或极显著相关;75 000

株·hm⁻²密度下,光强与Gs、Tr有显著或极显著相关;90 000株·hm⁻²密度下,光强与Ci有显著相关。先玉335在30 000株·hm⁻²密度下,光强与Ci、Tr有极显著相关;45 000株·hm⁻²密度下,光强与Pn、Tr有显著相关;60 000株·hm⁻²密度下,光强与Gs、Tr有显著相关;75 000株·hm⁻²密度下,光强与Pn、Ci、Gs、Tr有显著或极显著相关;90 000株·hm⁻²密度下,光强与Gs、Tr有显著相关。

分析中,两玉米品种不同光照强度对植株Pn的影响不同,由于单株的生长情况存在差异,使光照对植株各因素的影响程度产生明显的不同。表2中,两个玉米品种各密度植株在受到不同光照处理后,其对植株的Tr影响最为显著。品种不同各光合因素对光强反应的灵敏度不同;同品种不同密度下各光合因素对光强反应的程度也不同,但反应趋势一致。随光照的增强,Tr显著升高,Pn、Gs、Ci变化相对缓慢,各因素变化趋势种间差异不显著^[3,6]。

3 讨论

近年来,对玉米产量影响的大量研究表明,高的净光合速率有利于产量的提高。在一定环境条件下,最大净光合速率代表了其叶片的最大光合能力^[11]。郑单958、先玉335各密度的净光合速率和其他光合特征因素与光强有显著或极显著相关。各密度穗位叶的净光合速率随光强升高逐渐增加,气孔导度、胞间CO₂浓度、蒸腾速率随光强的变化而变化,净光合速率与蒸腾速率的变化趋势最为明显。净光合速率随密度增加而降低,与胡萌^[12]等人研究结论一致。

在光照强度1100~1700 μmol·m⁻²·s⁻¹范围内,两玉米品种各密度的净光合速率缓慢升高。1300~1900 μmol·m⁻²·s⁻¹光强内的净光合速率较高,利于植株有机物质的合成及子粒灌浆过程顺利进行。高的净光合速率是耐密植栽培和获得高产量的光化学基础。两品种在1100 μmol·m⁻²·s⁻¹光强下,各密度的净光合速率最低;在1700 μmol·m⁻²·s⁻¹和1900 μmol·m⁻²·s⁻¹光强下净光合速率最高。同一光强下,30 000株·hm⁻²密度的净光合速率最大,90 000株·hm⁻²密度的净光合速率最小。先玉335各密度的净光合速率多高于郑单958,更适于发挥植株的群体优势。

郑单958与先玉335的遗传特性,决定了其光能利用率的差异,玉米群体内的光分布,可以通

过改变种植密度的栽培措施进行调节,改善群体光照条件,促进冠层中光热资源的合理配置,开发种群的增产潜力,从而达到增产的目的^[12]。选择合适的玉米品种,确定适宜的播种密度,合理利用环境中充足的光照,是提高群体产量的有效手段。

参考文献:

- [1] 王俊河,肖佳雷,李 炜,等.不同光照强度对东北春玉米土壤物理指标及产量的影响[J].中国农学通报,2011,27(9):100-105.
- [2] 唐丽媛,马 玮,李连禄,等.不同耐密性玉米品种对密度的光谱特征响应[J].光谱学与光谱分析,2013,33(3):770-775.
- [3] 冯颖竹,谢振文,贺立红,等.光强因子对甜糯玉米光合作作用和产量构成的影响[J].华北农学报,2007,22(3):132-136.
- [4] 关义新,林 葆,凌碧莹.光、氮及其互作对玉米幼苗叶片光合和碳、氮代谢的影响[J].作物学报,2000,26(6):806-812.
- [5] Cai Q S, Wang L L, Yao W H, et al. Diallel Analysis of Photosynthetic Traits in Maize[J]. Crop science, 2012(52): 551-559.
- [6] 朱延姝,郭丽丽,崔震海,等.光强对玉米幼苗不同叶位叶片叶绿素荧光参数的影响[J].吉林农业科学,2013,38(4):1-4,14.
- [7] 贾士芳,董树亭,王空军,等.玉米花粒期不同阶段遮光对籽粒品质的影响[J].作物学报,2007,33(12):1960-1967.
- [8] Zeng B, Xu X M, Zhou S X, et al. Effects of temperature and light on photosynthetic heterosis of an upland cotton hybrid cultivar[J]. Crop science, 2012(52): 282-291.
- [9] 贾士芳,李从锋,董树亭,等.弱光胁迫影响夏玉米光合效率的生理机制初探[J].植物生态学报,2010,34(12):1439-1447.
- [10] 郭 江,郭新宇,王纪华,等.不同株型玉米光响应曲线的特征参数研究[J].西北植物学报,2005,25(8):1612-1617.
- [11] 代旭峰,王国强,刘志斋,等.不同密度下不同行距对玉米光合及产量的影响[J].西南大学学报,2013,35(3):15-21.
- [12] 胡 萌.密度对春玉米光合与衰老生理及产量的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2009.
- [13] 王 洋,齐晓宁,邵金锋,等.光照强度对不同玉米品种生长发育和产量构成的影响[J].吉林农业大学学报,2008,30(6):769-773.
- [14] 程 明,李志强,姜闯道,等.青稞的光合特性及光破坏防御机制[J].作物学报,2008,34(10):1805-1811.
- [15] 赫忠友,谭树义,林 力,等.不同光照强度和光质对玉米雄花育性的影响[J].中国农学通报,1998,14(4):6-8.
- [16] 柯德森,杨礼香,巫锦雄.光强对玉米幼苗光合特性及环境羟基自由基水平的影响[J].应用与环境生物学报,2013,19(3):404-409.
- [17] 孔 宇,王 霞,杨 亮,等.密度对饲用玉米光合特性和产量的影响[J].东北农业大学学报,2009,40(3):16-20.