

文章编号: 1003-8701(2015)05-0014-07

半干旱区温度变化对不同密度玉米植株光合作用的影响

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

(1. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 2. 吉林大学植物科学学院, 长春 130062)

摘要:【目的】为探讨半干旱区不同密度植株, 在不同温度下玉米叶片的光合反应机制, 促进当地光温资源的合理利用, 深入挖掘春玉米的增产潜力。【方法】在吉林省洮南地区, 针对灌浆过程中温度变化对不同密度植株光合因素的影响, 以及不同温度下净光合速率的变化趋势进行了研究。【结果】结果发现, ZD958、XY335、NH101各密度植株在22~30℃的Pn间多存在不显著差异, 显著或极显著差异多出现在高密度群体中。22~26℃植株的Pn逐渐升高, 26~28℃植株Pn的变化较小, 且Pn水平较高, 28~30℃植株的Pn下降明显。当环境温度逐渐升高, 植株Tl、Tr、Gs、Ci逐渐增加, 叶片的Pn明显提高。【结论】适当增加种植密度, 虽然降低了单株的光合作用能力, 限制了单株的有机物质合成, 但整个高密度群体的干物质积累及产量是增加的。合理调整耕作和管理措施, 延长环境温度在24~28℃的灌浆持续时间, 能够有效延长灌浆过程的群体Pn高值持续期, 是提高光温资源利用及产量的最有效手段。

关键词: 玉米; 净光合速率; 叶片温度; 蒸腾速率; 气孔导度

中图分类号: S513

文献标识码: A

Effect of Temperature Changes on Photosynthesis Rate of Maize under Different Density in Semiarid Area

YAN Wei-ping¹, ZHAO Hong-xiang¹, ZHANG Li-hua¹, LI Hai¹, TAN Guo-bo¹, FANG Xiang-qian¹,
SHI Feng-min¹, MENG Xiang-meng¹, SUN Ning¹, LIANG Xuan-he¹, BIAN Shao-feng^{1,2*}, PENG Tao-tao²

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

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

Abstract: Objectives of the study were to know the photosynthetic reaction mechanism of corn leaves under different plant density with different temperatures in semiarid area, in order to promote reasonable utilization of the local light and heat resources and to dig deeper production potential of spring maize. Effect of temperature change on photosynthetic factors of corn under different density, and the variation trend of net photosynthetic rate under different temperatures during the grouting process in Taonan area of Jilin Province were determined. The results showed that there were nearly no significant differences in Pn under each planting density of ZD958, XY335 and NH101 at 22~30℃, significant or very significant differences occurred in the high density population. The Pn increased gradually at 22~26℃ and it changed little at 26~28℃ when it reached high value, but it decreased significantly at 28~30℃. Tl, Tr, Gs and Ci of plants increased gradually as the environmental temperature gradually increased, and the Pn of leaves significantly increased too. Although increasing planting density could decrease photosynthetic capacity for single-plant, and organic substances synthesis been limited, but the total dry matter accumulation and yields increased in high-density population. To extend the grain filling duration when the ambient temperature at 24

收稿日期: 2015-04-29

基金项目: 玉米体系项目(CARS-02-38); 863计划项目(2011AA100504); 国家科技计划课题(2012BAD04B02); 吉林省科技厅项目(20116031); 青年科研基金(201201089)

作者简介: 闫伟平(1982-), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事玉米耕作栽培方面的研究。

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

~ 28°C by rational adjustment of cultivation and management measures could extend high Pn duration of population in the filling process. It was the most effective method to improve utilization of light and temperature resources and increase the yield.

Key words: Maize; Net photosynthetic rate; Temperature of leaf thermocouple; Transpiration rate; Stomatal conductance

20世纪80年代以来,全球地表温度持续上升,大气中CO₂等温室气体含量不断增加,温室效应不断加强^[1]。IPCC第四次评估报告指出,1905~2005年全球地面平均温度升高了0.74°C,据估计,到2100年,各地区温度将上升2~5.4°C^[2-5]。农业生态系统和粮食生产对气候变化异常敏感,气候变化给世界粮食安全带来巨大的风险。东北地区是我国重要的商品粮生产基地,也是我国气候变化最剧烈的区域,在全球气候变暖背景下,该区域的农业气候资源对农作物发育和产量产生了巨大影响^[2-7]。玉米是我国重要的粮食及饲料作物,对光、温条件要求较高,生育期内温度的变化,不仅影响玉米植株的生长,还影响着后期收获的子粒产量^[8-9]。为了应对气候变化,降低温度变化对植株生长的不利影响,国内外学者开展了许多相关研究。研究认为,玉米种子出苗速率与平均气温、出苗天数与活动积温有函数关系,在一定温度范围内,温度越高发芽速度、发芽指数和活力指数越高,过低或过高的温度不利于种子的出苗^[5,8-11]。梁建生、陈传晓、张建平研究发现,环境温度过低植株叶片的生长、Gs和光化反应均受到不同程度的抑制^[12-14]。陈笑莹等认为温度过高造成了叶片光合器官的损伤,使叶肉细胞的光合活性下降,降低了玉米叶片的Pn、Gs和Tr,增加了叶片Ci^[15-18]。刘亚等以玉米自交系为试验材料,在干旱条件下对玉米叶温的变化趋势及TI变化与植株生物量的累积关系进行了研究^[19]。王春春等对东北地区农业气候资源变化、春玉米产量及

玉米生产的相互关系进行了分析和评价,认为到2050年我国东部农业产区的种植制度将发生较大的变化^[6,8,13,20]。

温度是作物生长发育最重要的驱动因子,不仅直接影响作物的生长发育进程,还影响了光、水、土壤等资源的利用效率及作物的生产布局^[1,7]。温度的升高,提高了农田生态系统中热量资源的储备,促进了东北地区可耕种土地面积的增加,同时加大了农业的复种指数^[1,20]。东北地区属北温带大陆性季风气候,温度是影响该区域春玉米生长发育的重要限制性因素,尤其在8、9月对子粒灌浆过程的影响更加明显^[13,21]。为了在生产中提高对光、温、水等自然资源的利用率,挖掘春玉米在半干旱区的增产潜能,课题组在吉林省洮南地区,开展了温度变化对光合反应因素的影响研究,探讨了玉米灌浆过程中不同种植密度植株叶片光合反应机制,为进一步科学地调整春玉米栽培及管理措施,促进当地光、温资源的开发和利用,提升收获产量和子粒品质提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地基本概况

试验在吉林省农科院洮南综合试验站进行。试验地位于北纬45°20',东经122°49',海拔156.8 m。当地≥10°C活动积温2900~3000°C·d,年均实际日照3005 h,全年无霜期128~136 d。试验地为典型碱性沙壤,土壤成分见表1。

1.2 试验设计

表1 试验地土壤养分组成

土层深度 (cm)	全氮 (g·kg ⁻¹)	全磷 (g·kg ⁻¹)	全钾 (g·kg ⁻¹)	碱解氮 (mg·kg ⁻¹)	速效磷 (mg·kg ⁻¹)	速效钾 (mg·kg ⁻¹)	有机质 (g·kg ⁻¹)	pH
0~20	1.2030	0.5163	24.3733	73.4755	38.5941	198.9228	16.2230	7.57
20~40	0.9515	0.3695	22.9250	54.9740	8.2435	65.7126	11.0160	7.99

试验选取郑单958(ZD958)、先玉335(XY335)、农华101(NH101)为供试品种。设30 000株/hm²、45 000株/hm²、60 000株/hm²、75 000株/hm²、90 000株/hm² 5个试验密度。试验设环境温度,即样品室空气温度(Ts)为:22°C、24°C、26°C、28°C、30°C 5个

等级来模拟环境温度的变化,试验设环境光照强度(PPFD)为1700μmol·m⁻²·s⁻¹,在此光照强度下对样品室通入环境中的气体,且通过样品室下面的风扇调节样品室温度变化,样品室的温度通过叶面上的感热电偶进行感知。试验中,由Ts变化

引起样品室叶片上各因素的变化,可认为是模拟环境温度变化而产生的结果。播种前试验地每公顷施 500 kg 复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)作底肥,在玉米大口期每公顷追施尿素 250 kg。

1.3 试验调查

在玉米灌浆过程中选择 3 个时期,在每天的 9:00~11:00 和 14:30~16:00 测量 5 个温度下玉米穗位叶的净光合速率(P_n)、叶片温度(Tl)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)及 CO₂ 气孔导度(Gs)指标。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,设 PPF 为 1700 μmol·m⁻²·s⁻¹。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 数据处理系统和 SPSS 20.0 软件对数据进行汇总及分析。

2 结果分析

2.1 不同样品室空气温度下各密度净光合速率分析

对 3 个玉米品种各 T_s 的 P_n 进行单因素方差分

析,结果表明不同 T_s 条件下,ZD958、XY335、NH101 各密度植株的穗位叶 P_n 存在差异,且差异程度多不显著。表 2 中 ZD958 在 75 000 株/hm² 密度下,26℃、28℃的 P_n 与 22℃、30℃的 P_n 有显著差异,28℃的 P_n 与 30℃的 P_n 有极显著差异。在 90 000 株/hm² 密度下,28℃的 P_n 与 30℃的 P_n 有显著差异。XY335 在 30 000 株/hm² 密度下,26℃、28℃的 P_n 与 22℃的 P_n 有显著差异。45 000 株/hm²、60 000 株/hm²、75 000 株/hm² 密度下,28℃的 P_n 与 22℃、30℃的 P_n 有显著差异。90 000 株/hm² 密度下,28℃的 P_n 与 22℃、24℃、30℃的 P_n 有显著差异,28℃的 P_n 与 22℃、30℃的 P_n 差异极显著。而 NH101 各密度下植株叶片的 P_n 间均无显著差异。观察方差分析结果,发现各 T_s 下 P_n 的极显著差异多出现在高密度处理,而且品种不同 P_n 差异性不同。

玉米植株 90% 的干物质来自于叶片的光合作用,温度是影响玉米叶片光合作用的主要因素之一^[13]。分析认为,不同玉米品种其遗传特性存在差异,使植株叶片对环境温度变化的反应灵敏程

表 2 不同温度条件下各密度植株的净光合速率

品 种	种植密度 (株/hm ²)	净光合速率(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)				
		22℃	24℃	26℃	28℃	30℃
ZD958	30 000	43.01aA	48.52aA	50.42aA	52.61aA	45.86aA
	45 000	37.81aA	46.13aA	48.02aA	48.99aA	43.75aA
	60 000	39.08aA	42.86aA	44.42aA	45.53aA	35.77aA
	75 000	33.39bAB	38.65abAB	40.70aAB	42.05aA	32.27bB
	90 000	31.88abA	33.54abA	35.58abA	37.39aA	29.91bA
XY335	30 000	42.30bA	48.16abA	53.08aA	54.04aA	45.70abA
	45 000	39.28bA	43.35abA	47.44abA	51.34aA	40.87bA
	60 000	37.00bA	39.41abA	43.64abA	46.95aA	34.51bA
	75 000	32.61bA	35.70abA	41.72abA	43.45aA	32.86bA
	90 000	29.42bB	33.39bAB	36.03abAB	42.36aA	29.10bB
NH101	30 000	45.66aA	48.61aA	52.24aA	51.94aA	43.12aA
	45 000	42.71aA	44.57aA	48.88aA	50.15aA	40.07aA
	60 000	38.62aA	41.21aA	45.30aA	46.51aA	35.99aA
	75 000	34.55aA	39.22aA	41.10aA	43.87aA	31.43aA
	90 000	31.04aA	32.00aA	36.55aA	38.62aA	30.78aA

注:同一行不同字母代表处理间的显著水平(p<0.05 或 P<0.01),下同

度产生一定差异,导致了同一品种不同密度间植株叶片对温度的适应性产生差异。玉米植株自身具有一定抵御低温或高温胁迫的能力,植株这种自我调节的能力受遗传特性、内源激素分泌及种群的生存环境等多种因素协同作用^[22]。

2.2 不同样品室空气温度下各密度净光合速率的变化趋势分析

在图 1 中 8 月 18 日、8 月 27 日、9 月 4 日 3 个时

期,ZD958 各密度植株的 P_n 均随 T_s 的升高,呈先升后降的趋势。同时期同 T_s 下,不同密度处理的 P_n 存在差异,但 P_n 的变化趋势相似,多为 30 000 株/hm²>45 000 株/hm²>60 000 株/hm²>75 000 株/hm²>90 000 株/hm²。3 个时期不同密度下,各 T_s 的 P_n 在 8 月 27 日最高,此时期叶片光合反应效率较高,有机物质合成旺盛。3 个时期,各密度 P_n 曲线的最高值多出现在 26~28℃ 条件下,此 T_s 范围最利于光

合作用的进行,对提高植株内源激素的分泌及酶的活性具有促进作用。

在吉林省西部半干旱区,XY335是近些年来

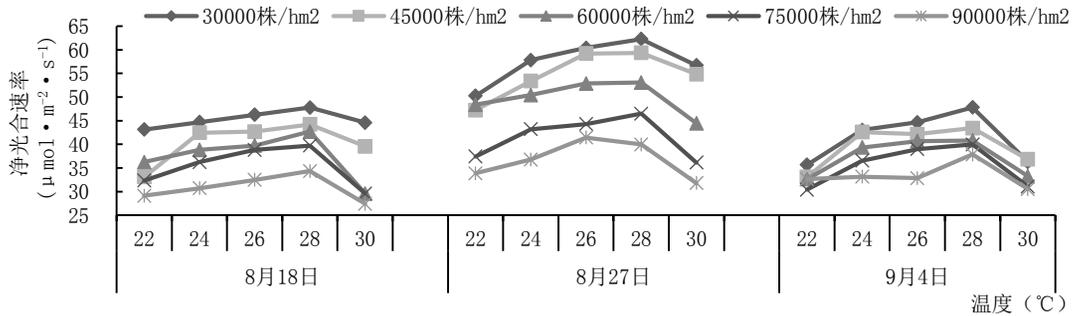


图1 不同温度下ZD958各密度植株的净光合速率变化

种植面积较大、产量性状表现突出的高产玉米品种,对其进行深入研究具有重要的意义。图1、图2中XY335与ZD958各密度植株的Pn曲线变化相似。在图2中可看到,在22~26°C 3个时期各密度植株的Pn逐渐升高,26~28°C各密度植株的Pn较稳定,且Pn值均较高,28~30°C各密度植株的Pn显著下降,显然低温或高温条件对叶片的光合作用产生了抑制作用。8月18日、9月4日两个时

期,22~30°C各密度植株的Pn变化较小,且都保持着较高的水平,Pn曲线越接近成熟期变化趋势越相似。8月18日~9月4日间各密度植株的Pn曲线振幅较小,8月27日各密度在相同Ts下的Pn略高于8月18日、9月4日的Pn。种植密度越低,各时期、各Ts下的Pn越高,叶片进行光合作用的能力越强。

由图3可知,NH101在30 000株/hm²、45 000

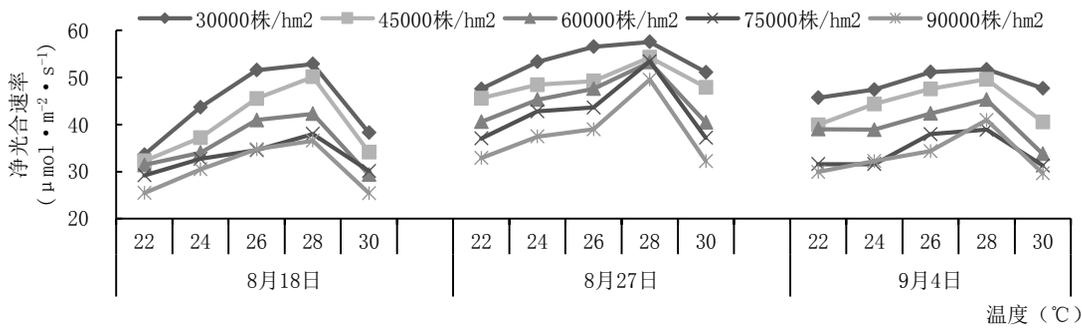


图2 不同温度下XY335各密度植株的净光合速率变化

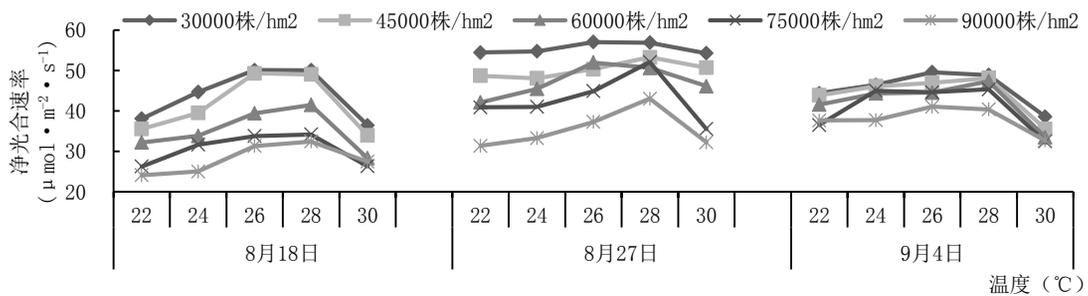


图3 不同温度下NH101各密度植株的净光合速率变化

株/hm²密度下,各时期植株的Pn整体水平较高,8月18日以后各密度植株的Pn逐渐增加,60 000株/hm²、75 000株/hm²密度下植株的Pn曲线整体显著上移,且逐渐聚拢。3个时期中9月4日的Pn曲线最为靠拢,且在22~28°C间各密度植株的Pn变化幅度最

小。

通过对ZD958、XY335、NH101在5个密度不同Ts下植株Pn变化趋势的分析,发现3个玉米品种各时期植株的Pn曲线变化趋势相似,且各时期的Pn都是低密度>高密度。玉米品种不同所具有

的遗传特性也不同,导致各品种不同密度植株对环境的适应程度出现差异,使不同密度下植株的Pn变化产生了差异。图中XY335、NH101各密度植株的Pn曲线在8月18日、8月27日、9月4日间的变化较小。3个时期中,22~26℃植株的Pn随Ts升高而增加,8月18日植株Pn增加的最快。26~28℃植株的Pn随Ts升高变化较小,植株在自身因素和环境因素的双重影响下其Pn升高或下降迟缓,此时植株光合效率较高,光合物质合成稳定。28~30℃植株在多重因素的共同作用下,其Pn下降较大。

进一步分析认为,虽然各玉米品种的遗传性质有一定差异,但各品种不同密度植株在3个时期的变化趋势基本一致。在24~28℃都有相对较高的光合反应能力,保证了有机物质迅速、大量的合成,是植株干物质积累和产量增加的基础。较低的温度不能将植株的光合潜能充分发挥出来,抑制了植株内部酶促反应的进行,影响了植株对环境资源的利用,阻碍了有机物质的合成和积累。过高的温度使植株体内部分酶和内源激素的活性降低或丧失,叶片细胞受到损伤,光合作用受到抑制,使物质的合成过程受到影响。

2.3 样品室空气温度与光合因素的相关性分析

在SPSS软件中对不同密度下ZD958、XY335、NH101的植株Pn及其他光合因素进行相关性分析,结果显示3个玉米品种各密度植株的Tl、Ci、Tr、Gs、Pn与Ts都有正相关,但相关程度存在差异。从表3

中可看到,ZD958的60 000株/hm²和75 000株/hm²、XY335的60 000~90 000株/hm²、NH101的90 000株/hm²密度下,Ts与Ci有显著或极显著正相关,高密度植株的Ci易受到环境温度变化的影响,在温度升高初期Ci较低,温度越高植株Ci增加越多。细胞内的CO₂是由进入气孔的CO₂和呼吸作用产生的CO₂组成的,Ci越高光合作用可固定的CO₂底物越充足。表中Ts变化对3个玉米品种各密度植株的Tr、Gs变化影响较大,多存在显著或极显著正相关。Gs和Tr是反应植株气体交换、水分运移、物质运输的重要指标,植株通过自我调节来缓解环境变化对其自身活动的影响^[19,26]。蒸腾作用是植株体内物质运输、气体交换的主要动力来源,Tr越高植株内部物质转运和气体流动的速度越快。Ts逐渐升高,植株的蒸腾作用显著增大,叶片Tr增加的同时也加大了进出气孔气体的量^[24-25]。在试验温度范围内,Ts与Pn存在正相关,但相关性不显著。表3中,ZD958的75 000株/hm²、XY335的45 000株/hm²和60 000株/hm²、NH101的60 000株/hm²和90 000株/hm²密度下,Ts与Pn有显著或极显著正相关,认为Ts与Pn的显著性主要是由于种植密度的增加所引起的。

表3中,所有品种各密度植株的Ts与Tl都具有极显著正相关,多项研究表明,Tl与Gs、Tr存在紧密的联系,Tl与气孔运动密切相关,同时Tl的变化易受环境因素的影响^[10]。Ts对植株光合作用的影响,直接表现在Ts变化对各光合要素的作用

表3 温度与各光合因素的相关系数

品 种	种植密度 (株/hm ²)	叶室温度 Tl(℃)	胞间CO ₂ 浓度 Ci(μmol·mol ⁻¹)	蒸腾速率 Tr(mm ³ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	CO ₂ 气孔导度 Gs(mol·m ⁻² ·s ⁻¹)	净光合速率 Pn(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
ZD 958	30 000	0.973**	0.377	0.317	0.108	0.508
	45 000	0.949**	0.439	0.463	0.204	0.371
	60 000	0.983**	0.767*	0.446	0.358	0.435
	75 000	0.980**	0.804**	0.802**	0.740**	0.808**
	90 000	0.973**	0.449	0.700**	0.666**	0.109
XY 335	30 000	0.973**	0.833**	0.848**	0.838**	0.152
	45 000	0.974**	0.373	0.753**	0.405	0.668**
	60 000	0.964**	0.646*	0.690**	0.641*	0.545*
	75 000	0.970**	0.579*	0.747**	0.602*	0.182
	90 000	0.978**	0.704*	0.972**	0.496	0.430
NH 101	30 000	0.983**	0.938**	0.843**	0.410	0.483
	45 000	0.952**	0.533	0.747**	0.156	0.708**
	60 000	0.971**	0.502	0.492	0.168	0.774**
	75 000	0.947**	0.227	0.628*	0.586*	0.463
	90 000	0.967**	0.839**	0.877**	0.752**	0.628*

注:*、**分别表示在0.05、0.01水平上显著相关,下同

上, T_s 的高低直接导致了 T_l 的变化, T_l 的变化直接影响着 P_n 及植株内部酶促反应的变化。在试验温度范围内, T_s 升高使植株 T_l 逐渐上升, 为降低对植株内部酶促反应的影响程度, 叶片蒸腾作用强度逐渐增加, 叶片上的气孔开度加大, 进出气孔的 CO_2 等气体量增多, 有效地提高了 C_i , 植株的 P_n 逐渐增大, 促进了光合反应的进行。由于玉米品种间的遗传特性存在差异, 使 T_s 变化对光合各因素的影响程度产生一定差异。种植密度的增加, 植株个体变得较脆弱, 影响了群体中个体植株抵御外界不利因素的能力, 使个体自我调节能力下降, 植株体内理化反应受到较大的影响, 使单株 P_n 更易受到外界环境变化的影响^[24]。

3 讨论

光合作用是植株体内有机物质合成的重要反应, 叶片 P_n 的高低, 对有机物质合成、运输及积累具有重要意义。玉米的灌浆过程决定着收获时的子粒产量。灌浆过程中植株 P_n 的高低, 制约着子粒积累的有机物质的量。光合反应受植株内外多因素共同作用, 各因素间相互促进, 相互制约。经过对 ZD958、XY335、NH101 3 个玉米品种穗位叶 P_n 的分析发现, 不同密度植株的 P_n 存在种间差异, 差异程度与玉米品种的遗传特性关系密切。同品种不同密度植株的 P_n 对 T_s 变化的反应程度差异明显, 各密度植株 22 ~ 30°C 的 P_n 差异多不显著, 显著或极显著差异多出现在较高的密度群体中。试验中 75 000 株/hm²、90 000 株/hm² 密度植株的 P_n 多存在显著或极显著差异。

温度是影响植株生长发育的重要气象因子, 是植株 P_n 变化的主要限制因素。同一玉米品种, 各密度植株的 P_n 在不同温度下的变化趋势相近, 为低密度 > 高密度。3 个玉米品种在各密度下, 22 ~ 26°C 植株的 P_n 曲线升高快速; 26 ~ 28°C 植株的 P_n 随 T_s 升高而小幅度变化, 此 T_s 下植株的光合效率较高, 有机物快速而大量地合成; 28 ~ 30°C 植株的 P_n 下降明显。在 24 ~ 28°C 条件下, 各密度植株的 P_n 均相对较高, 利于玉米灌浆过程的顺利进行。分析认为, 过高或过低的环境温度, 不利于植株光合潜能的充分发挥, 限制了植株内部酶促反应的进行, 阻碍了有机物质的合成和积累^[17,24]。3 个时期中 8 月 27 日叶片的 P_n 最高, 此时植株对环境中的光、温等资源的利用率较高。虽然种植密度不同, 植株个体间存在差异, 但是各光合因素间的相互作用相同, 且各因素间相互促进、相互

制约。ZD958、XY335、NH101 各密度植株的 T_l 与 C_i 、 Tr 、 G_s 、 P_n 存在不同程度的正相关关系。在试验 T_s 范围内, 温度逐渐升高, 植株的 T_l 逐渐升高, 植株的 Tr 、 G_s 、 C_i 随之变化, 叶片的 P_n 显著增加。温度的变化直接影响了 T_l 的变化, 限制了植株体内 CO_2 的同化速度, 适宜的提高 T_l 利于叶片内光合物质的合成, 能有效提高子粒灌浆速度和成熟程度^[13]。

前人研究发现, 叶绿体是植株进行光合作用的重要场所, 叶片内其含量及效率的高低反映了植株进行光合作用的能力。低温状态下, 叶绿体结构遭到破坏, 叶绿素分解加速, 植株叶绿体内光合产物不能正常合成, 叶片内光化反应活性显著下降^[13]。高温作用降低了叶绿素的合成, 并且加速了叶绿素的降解, 叶片 P_n 显著降低^[15]。所以, 适宜的环境温度有利于叶绿体活性的提高和叶绿素含量的增加, 显著提高了叶片的 P_n , 促进了植株的干物质积累和产量的增加。

董树亭等在研究中提到, 高产品种群体呼吸速率高, 但群体呼吸占群体光合的百分比低, 群体干物质净积累率高。延长灌浆过程中的群体 P_n 高值持续期和子粒有效灌浆期是玉米高产的潜力所在^[23]。光合作用是子粒产量形成的基础, 历来受到科研工作者的重视, 如何提高和延长灌浆期群体 P_n 的高值是玉米高产栽培中急需解决的问题。高密度种植是提高群体干物质积累的有效手段, 灌浆过程中环境温度在 24 ~ 28°C 间时, 及时采用适宜的耕作及管理措施, 有效延长灌浆过程的群体 P_n 高值持续期, 提高子粒灌浆期对光温资源的利用, 从而达到增产增收的目的。

东北地区是我国重要的春玉米生产基地, 地区间气候资源差异较大, 部分地区在玉米生长后期受到光温资源不足的严重困扰。在全球气候变暖的作用下, 通过在灌浆过程中对不同玉米品种、不同种植密度植株的 P_n 变化趋势、 P_n 与温度变化关系的研究, 深入了解玉米灌浆过程光合作用的反应机制及在子粒灌浆各阶段影响植株光合作用的主要限制因素, 明确了使当地植株 P_n 增加的环境温度范围, 为合理利用当地的光温资源, 深度挖掘东北春玉米的生产潜力, 为开展农业气象评价、作物生长发育期预测、产量预测及改进农业生产管理提供了依据^[9-10,20]。

参考文献:

- [1] 刘晓英, 林而达. 东北地区农作物生长期温度变化的时空特征[J]. 中国农业气象, 2003, 20(1): 11-15.

- [2] 钱锦霞,郭建平.东北地区春玉米生长发育和产量对温度变化的响应[J].中国农业气象,2013,34(3):312-316.
- [3] 冶明珠,郭建平,袁彬,等.气候变化背景下东北地区热量资源及玉米温度适宜度[J].应用生态学报,2012,23(10):2786-2794.
- [4] 梁怀宇.西辽河平原光、热、水资源的变化及其对玉米生产潜力的影响[D].通辽:内蒙古民族大学,2010.
- [5] 宁大可,谢立勇,杨振中,等.温度升高对玉米种子萌发的影响[J].玉米科学,2013,21(2):102-105,111.
- [6] 王春春,黄山,邓艾兴,等.东北雨养农区气候变暖趋势与春玉米产量变化的关系分析[J].玉米科学,2010,18(6):64-68.
- [7] 袁彬.气候变化下东北春玉米气候生产潜力及农业气候资源利用率[D].北京:中国气象科学研究院,2012.
- [8] 宗英飞,杨学强,纪瑞鹏,等.播种期温度变化对玉米出苗速率的影响[J].中国农学通报,2013,29(9):70-74.
- [9] 禄兴丽,Sikander Khan Tanveer,廖允成,等.不同耕作措施下夏玉米生长季农田CO₂排放速率及其与土壤温度的关系[J].西北农业学报,2013,22(6):53-59.
- [10] 王永力,杨德光,李玲.黑龙江省第一积温带玉米各生育时期环境温度变化分析[J].东北农业大学学报,2013,44(7):69-73.
- [11] 郝楠,王延波,李月明.温度对玉米种子萌发特性的影响[J].玉米科学,2013,21(4):59-63.
- [12] 梁建生,张建华,曹显祖.根系环境温度变化对根系吸水和叶片蒸腾的影响[J].植物学报,1998,40(12):1152-1158.
- [13] 陈传晓,董志强,高娇,等.不同积温对春玉米灌浆期叶片光合性能的影响[J].应用生态学报,2013,24(6):1593-1600.
- [14] 张建平,赵艳霞,王春乙,等.不同时段低温冷害对玉米灌浆和产量的影响模拟[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(9):115-127.
- [15] 陈笑莹,宋凤斌,朱先灿,等.高温胁迫下丛枝菌根真菌对玉米光合特性的影响[J].华北农学报,2013,28(2):108-113.
- [16] 陶汉之,李展,孟彩萍,等.对生玉米叶面积分布、蒸腾速率和水分利用率的研究[J].作物学报,2000,26(1):65-70.
- [17] Xu Z Z, Zhou G S, Han G X, et al. Photosynthetic potential and its association with lipid peroxidation in response to high temperature at different leaf ages in Maize[J]. J Plant Growth Regul, 2011(30): 41-50.
- [18] Yalçın C, Ayşe C, Ufuk D, et al. Physiological response of maize (*Zea mays* L.) to high temperature stress[J]. Australian Journal of Crop Science, 2011, 5(8): 966-972.
- [19] 刘亚,丁俊强,苏巴钱德,等.基于远红外热成像的叶温变化与玉米苗期耐旱性的研究[J].中国农业科学,2009,42(6):2192-2201.
- [20] 白彩云,李少昆,柏军华,等.我国东北地区不同生态条件下玉米品种积温需求及利用特征[J].应用生态学报,2011,22(9):2337-2342.
- [21] 米娜,张玉书,陈鹏狮,等.玉米农田蒸散过程及其对气候变化响应的模拟研究[J].生态学报,2010,30(3):698-709.
- [22] Li X, Ding Z S, Li L L, et al. Heterosis of maize photosynthetic performance[J]. Translated from Chinese Journal of Applied Ecology, 2007,18(5): 1049-1054.
- [23] 董树亭,高荣岐,胡昌浩,等.玉米花粒期群体光合性能与高产潜力研究[J].作物学报,1997,23(3):318-325.
- [24] Frak E, Le R X, Millard P, et al. Spatial distribution of leaf nitrogen and photosynthetic capacity within the foliage of individual trees: disentangling the effects of local light quality, leaf irradiance, and transpiration[J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53(378): 2207-2216.
- [25] Yu G R, Tatsuaki K, Zhuang J, et al. A coupled model of photosynthesis-transpiration based on the stomatal behavior for maize (*Zea mays* L.) grown in the field[J]. Plant and Soil, 2003(249): 401-416.
- [26] 王秀玲,赵明,王启现,等.玉米不同基因型气孔特征和叶温差的研究[J].华北农学报,2004,19(1):71-74.

(责任编辑:范杰英)



- 及氮素利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):815-822.
- [4] 周江明,赵琳,董越勇,等.氮肥和栽植密度对水稻产量及氮肥利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):274-281.
- [5] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [6] 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.
- [7] 李建奇,黄高保,牛俊义.氮肥对不同玉米品种产量和品质的影响研究[J].耕作与栽培,2004(2):22-24.
- [8] 李志勇,王璞.不同施肥条件下夏玉米的干物质积累、产量及氮肥利用效率[J].华北农学报,2003,18(4):91-94.
- [9] 马兴林,关义新,逢焕成,等.种植密度对3个玉米杂交种产量及品质的影响[J].玉米科学,2005,13(3):84-86.
- [10] 姜艳超,王庆祥.不同品种、密度、肥料对甜糯玉米产量的影响研究[J].杂粮作物,2004,24(4):218-220.
- [11] 易镇邪,王璞,张红芳,等.氮肥类型与施用量对夏玉米产量与品质性状的影响[J].玉米科学,2006,14(2):130-133.
- [12] 金继运,何萍,刘海龙,等.氮肥用量对高淀粉玉米和普通玉米吸氮特性及产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(6):568-573.

(责任编辑:范杰英)