

# 玉米叶片光合速率与光、养分和水分及产量关系的研究

沈秀琪 戴俊英 胡安畅 徐世昌

(沈阳农业大学农学系, 沈阳 110161)

**摘要** 玉米叶片光合速率随群体内光照减弱而降低, 下部保绿叶片(第10叶)在弱光下光合速率随光强变幅较大, 中部穗位叶光合速率变化较平缓, 光合速率明显下降预示群体过大, 籽粒产量趋于降低; 土壤肥力中上水平和不甚缺P、K时, 增施N、P、K仍有提高叶片光合速率和产量的效应; 叶片光合速率对水分反应最敏感, 水分亏缺使光合速率迅速下降, 造成不同程度的减产。

**关键词** 玉米 叶片 光合速率 产量

光合作用是作物产量形成的主要机制早已为人们所了解。面临世界人口、粮食、环境、资源等诸多问题, 人们急待解决的是进一步提高粮食作物的单产。有人分析了不同阶段的农业增产途径, 认为增加作物的光合作用是“第二次绿色革命”的中心。

许多研究证明, 在最适环境条件下, 作物的经济产量与生物学产量呈正相关关系。光合生产的干物质总量取决于叶片的光合速率、维持光合功能的时间及光合面积(叶面积)的大小。光合速率的高低由作物的遗传属性所决定, 其机制的表达则受栽培环境的影响。玉米是典型的C<sub>4</sub>作物, 也是高产作物, 具有高效率光合作用的特性, 这种特性是在较强的光照和较高温度下表现的。实际上, 在田间条件下, 群体大小与环境影响是复杂的, 但是, 群体的光合效率还是以单叶光合为基础的。本研究通过不同群体的光分布、水分和养分供应对光合速率的影响, 摸清光合速率的变化规律及其与经济产量的关系, 为生产上采取相应措施, 提高产量提供理论依据。

## 1 材料与方方法

试验1: 田间密度试验, 于1987~1988年进行, 供试品种为当地推广单交种丹玉13

号。随机区组设计, 8行区, 小区面积为48m<sup>2</sup>。种植密度由37500株/公顷到67500株/公顷, 间距为7500株, 共设5个密度。试验地有机质含量为1.5%, 全N为0.088%, 速效P为28.4mg/kg, 速效K为90.91mg/kg。有机肥施用量为37500kg/ha。纯N、P、K的施用量分别为120、72、69kg/ha, 另外对密度为52500株/公顷的K施用量增设了0.0、138kg/ha两处理。

试验2: N、P、K施用量与密度试验于1987~1989年进行。采用4因子5水平二次回归通用旋转设计, O水平的密度为46500株/公顷, 纯N、P、K的施用量分别为120、72、69kg/ha, 小区面积为48m<sup>2</sup>。试验地条件同试验1, 试验材料为丹玉13号。

试验3: 盆栽控水试验于1986~1990年进行, 试验材料为丹玉13号, 4月中旬播种, 盆土为壤土(取自试验地), 并混有750克优质有机肥, 土体为0.016m<sup>3</sup>。速效N、P、K的供应分三个水平, 即纯N、P、K分别为0.0、0.0、0.0; 2.42、0.70、0.0; 2.42、0.70、0.92克/盆, 水分胁迫分别于小穗分化期、小花分化期、开花期和灌浆期进行, 对照土壤含水量在18%~20%, 处理土壤含水量在11%左右。水分亏缺程度试验设三个水平, 即轻度、

中度和重度亏缺,其相应的土壤含水量分别控制在14%、11%、9%左右,叶水势分别为-0.40、-0.75、-1.70Mpa左右,对照株在-0.25Mpa左右。生长期内纯N、P、K供应量分别为每盆3.68、1.84、0.92克,每一处理6株,胁迫7天取样测定,然后立即恢复正常供水,直至成熟。

光合速率测定选取穗位叶及下部第10叶进行,采用<sup>14</sup>C光合强度测定仪及LI-6200便携式光合仪测定。气孔阻力由LI-1600稳态气孔计或光合仪测得。光照强度采用LI-188B量子/辐射/照度计直接测得。叶绿素含量按张宪政的方法确定。

2 结果与分析

2.1 群体内光分布与光合速率的变化

玉米群体内的光分布主要取决于群体大小,即冠层叶面积的大小(图1)。密度由每公顷37500株增加到67500株,开花期最大LAI由3.3左右增加到5.4左右,冠层中下部100厘米高处的透光率则由19.28%下降到5.94%。最大LAI在3.2~4.2范围内,中部透光率无明显降低趋势,当最大LAI>4.75时,透光率急剧下降。

2 范围内,中部透光率无明显降低趋势,当最大LAI>4.75时,透光率急剧下降。

玉米单叶光合速率因叶位而有很大差异。由于叶龄及叶层的光环境不同,穗位叶的光合速率远远高于下部第10叶。本试验发现,冠层最大LAI≤4.75时,100厘米高处的透光率在13%以上,穗位叶层光合有效辐射在200μE/m<sup>2</sup>·s以上,其光合速率可保持在33.6μmolCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·s左右的水平上。群体继续增大,光合有效辐射降到160μE/m<sup>2</sup>·s以下,光合速率开始下降。下部第10叶的光合速率随光照减弱而降低的趋势较穗位叶明显,说明在弱光下(90~100μE/m<sup>2</sup>·s),光强的变化对光合作用的影响较大。

气孔传导率和叶绿素含量是影响光合作用的重要因子。由图1可见,两者均随群体内光照减弱而降低,且不同层位叶片间存在显

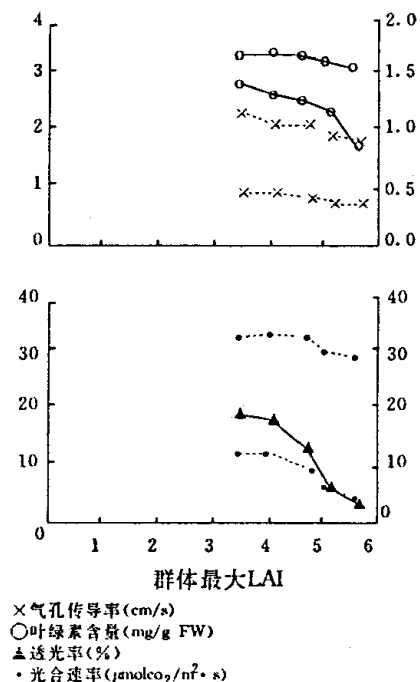


图1 群体内光分布对光合速率的影响

著差异。叶绿素含量的变化与光合速率变化趋势相同,但气孔传导率变化较平缓。上述结果表明,不同层位叶片的光合速率的差异与光照强度、叶绿素含量及气孔传导率有明显的相关性,而同一层位叶片的光合速率的差异与气孔传导率的关系较小。

净同化率(NAR)是表示所有单叶光合效率的重要参数。它随群体增大、光照减弱和光合速率下降而呈同步变化(表1)。单株籽粒产量同光合速率和净同化率呈正相关关系。群体产量是单株产量与群体数量协调发展的结果。本试验发现,群体最高产量出现在穗位叶光合速率明显下降之前,净同化率在7.6g/m<sup>2</sup>·日以上。

表1 不同群体单叶光合速率与产量的关系

密度 (株/公顷)	最大 LAI	光合速率 (μmolCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·s)		NAR (g/m <sup>2</sup> ·日)	粒数/穗	粒重/穗 (g)	产量 (kg/ha)	
		穗位叶	第10叶				生物产量	籽粒产量
37500	3.2~3.5	33.70	14.50	8.0	809	243.75	18201	9274.9
45000	3.9~4.2	34.14	14.70	7.6	756	220.03	20523	9902.1
52500	4.5~4.9	33.63	11.00	7.8	736	198.03	22177	10411.2
60000	5.0~5.1	30.60	8.70	7.1	681	163.56	22989	9729.8
67500	5.4~5.5	29.70	6.70	6.7	666	144.51	23489	9514.4

## 2.2 N、P、K 养分对叶片光合速率及产量的影响

### 不同 N、P、K 配合及施用量下光合速率

等生理参数和产量的变化列于表2和表3。由表2可见,田间 N、P、K 三种养分配合施用,适当增加 N 素比例,对增加光合面积、光合

表 2 N、P、K 养分量对光合速率及产量的影响

施用量 (kg/ha)			最大 LAI	光合速率 ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )		叶绿素含量 (mg/gFw)		气孔传导率 (cm/s)		NAR ( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ )	产量 (kg/ha)	
纯 N	P	K		穗位叶	第10叶	穗位叶	第10叶	穗位叶	第10叶		生物产量	籽粒产量
63.0	72	69	4.04	21.1	9.3	2.78	2.43	0.73	0.34	6.22	21390.0	10381.5
120	72	69	4.24	23.0	9.9	3.37	2.97	0.76	0.30	6.40	21270.0	10684.5
177	72	69	4.50	24.1	10.4	3.32	2.70	0.96	0.35	6.34	21855.0	10819.5
120	0.0	69	4.11	21.6	5.3	3.33	2.51	0.79	0.19	5.73	20902.5	10531.5
120	72	0.0	4.10	21.4	5.1	2.91	2.33	0.61	0.24	5.82	21157.5	10531.5

速率和产量有一定效果。而适量 N、P 或 N、K 配合施用,其穗位叶的光合速率与低 N 比例处理相近,下部第 10 叶的光合速率明显低于 N、P、K 配合施用的植株,导致净同化率

和产量不高。同时发现,各处理增产或减产幅度与光合速率的变化幅度相吻合,说明单叶的光合速率与最终籽粒产量的高低有直接关系。

表 3 不同水分条件下 NP、NPK 对光合速率及产量的影响

处 理		LAI	光合速率 ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )	叶绿素含量 (mg/gFw)	气孔传导率 (cm/s)	籽粒产量 (g/株)
CK	正常供水	2.1	32.90	2.48	0.93	179.57
	轻度干旱	1.5	20.34	2.13	0.55	149.09
NP	正常供水	2.6	35.34	3.13	1.43	195.33
	轻度干旱	1.9	29.01	2.81	0.92	156.8
NPK	正常供水	2.4	36.18	4.13	1.14	201.42
	轻度干旱	1.9	23.17	2.70	0.63	168.20

盆栽试验中,正常供水与轻度干旱下, N、P 及 N、P、K 配合施用均有增加叶绿素含量、气孔传导率和光合速率的效应,单株籽粒产量也呈相应增长。同时可以看出, NP 及 NPK 可提高玉米的耐旱性,使干旱条件下光合速率和籽粒产量下降相对少些。

## 2.3 水分对叶片光合速率及产量的影响

玉米于小花分化期、开花期和灌浆期经历 7 天的干旱处理,其叶面积、光合速率和籽粒产量下降幅度随生育阶段和水分亏缺程度而异(图 2、表 4、表 5)。

表 4 水分对光合速率的影响(小花分化期)

叶水势 (Mpa)	光合速率 ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )					
	干旱 7 天		复水 2 天		复水 10 天	
	占 CK%	占 CK%	占 CK%	占 CK%	占 CK%	占 CK%
-0.23	28.83	100.0	29.01	100.0	21.10	100
-0.40	11.31	39.2	27.59	45.1	20.77	98.4
-0.85	2.13	7.4	14.22	49.0	17.71	83.9
-1.42	0.94	3.2	1.76	6.1	17.19	81.5

表 5 水分对籽粒产量的影响

处理时期	籽粒产量(g/株)						
	CK	轻度干旱	占CK%	中度干旱	占CK%	重度干旱	占CK%
小花分化期	217.2	196.3	90.4	126.8	58.4	100.7	46.4
开花期	221.6	79.9	36.1	49.0	22.1	8.5	3.8
灌浆期	235.8	204.2	86.6	151.6	64.3	96.1	40.8

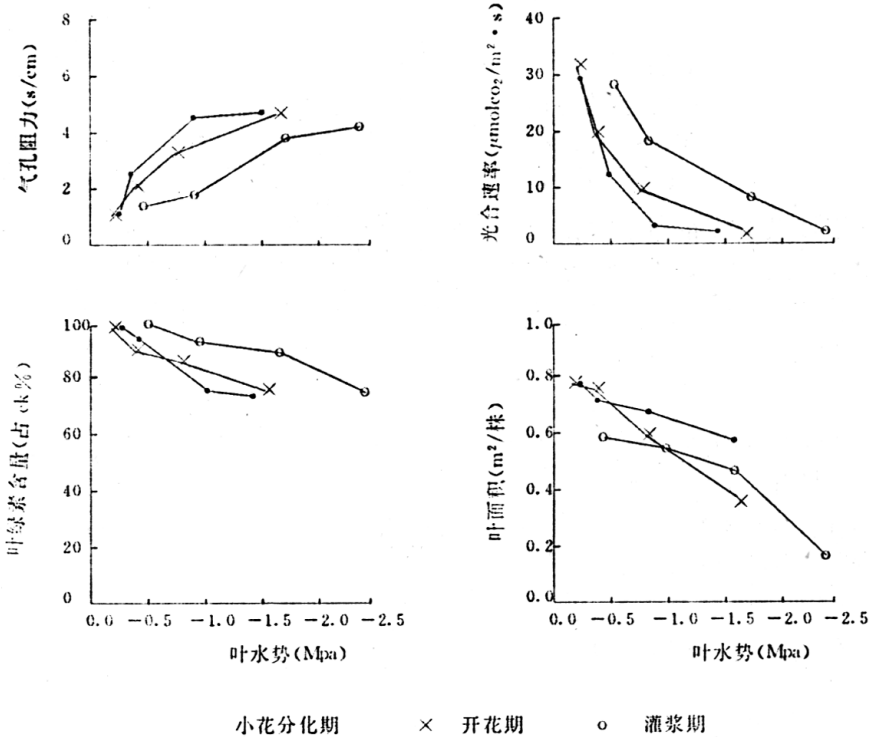


图2 水分对叶面积及光合速率的影响

叶水势是植株体内水分状况的重要指标。正常供水时,叶水势变化在 $-0.2 \sim -0.4$  Mpa,轻度、中度和重度干旱分别变化在 $-0.3 \sim -0.8$  Mpa,  $-0.7 \sim -1.6$  Mpa,  $-1.4 \sim -2.4$  Mpa。灌浆期叶龄较大,叶水势偏低。由图2可见,轻度水分亏缺亦导致光合速率明显下降,至重度缺水时,光合作用几乎停止。光合速率对水分反应的敏感性与气孔反应相一致,叶绿素含量随水分亏缺的变化不显著。不同生育阶段,以小花分化期水分亏缺,光合速率下降幅度最大,但其减产幅度却

小于开花期(表5),这与干旱复水后补偿生长的时间相对长些有关。开花期减产最重,除了光合速率的因素而外,授粉受精过程受阻影响较大。

水分亏缺对光合速率的影响,其继后效应较明显。中度和重度水分亏缺,复水10天时,光合速率仍未能恢复到正常供水植株的水平(表4)。这表明,水分亏缺对光合过程的干扰包括某些机制的损伤(如光合电子传递等),而且很难在短时间内修复。因此,由于光合水平较低,光合生产的干物质总量减少,造

成源不足,籽粒产量较低。

### 3 讨论

玉米叶片的光合速率是反映瞬时光合效率的指标。在研究作物群体光合生产时,一般认为,采用光合速率是不适宜的,而采用能代表一段时间内群体所有叶片光合产物累积平均值的净同化率较为适宜,因为净同化率是作物与环境互作在光合作用上的综合效应的结果,能够反映群体不同层位和叶龄的叶片在动态变化着的环境条件下实际的光合效率。然而,在研究作物高产潜力及群体与环境的调控方面,了解光合作用受制因素及变化规律,仅采用净同化率这一指标是不够的。随着现代化测试手段及仪器的推出(如 LI-6200 便携式光合仪或 $^{14}\text{CO}_2$  光合强度测定仪),可使光合速率的大量测定工作在环境无明显变化的短时间内完成,减少由于环境变化引起的偏差。

本研究表明,玉米不同层位叶片的光合速率与光强、叶绿素含量、气孔传导率等呈正相关关系,并直接影响籽粒产量的形成。光合速率对光照强度的反应似乎有一阈值存在,穗位叶在光合有效辐射为  $200\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  以上,其光合速率较稳定。下部第 10 叶保持较高水平光合的适宜光强范围较窄,在穗位

叶光合速率开始下降之前,下部第 10 叶光合速率已明显下降。最高籽粒产量出现的群体恰好是在穗位叶光合速率趋于降低之前和下部第 10 叶光合速率下降之后的区间。在土壤肥力中上水平和施足有机基肥基础上,N、P、K 配合施用有增强光合作用和提高产量的效果。增施 N 素养分对光合作用的促进可能与叶绿素含量增加有关,而 P、K 对下部第 10 叶的气孔传导率影响较明显,穗位叶气孔传导率变化较小。但是,在不同水分条件下施 N、P、K 的试验中,穗位叶气孔传导率随施 N、P 或 N、P、K 而有所增加。气孔传导率的增加有助于  $\text{CO}_2$  交换,促进光合作用的进行。水分亏缺导致光合速率等和产量明显下降,说明水分是光合作用的主要限制因子。生产上采取应变措施,缩短干旱时间,减轻干旱程度,提高抗旱性是减少产量损失的途径。

### 参 考 文 献

- [1]沈允钢.光合作用与作物生产译丛(1),农业出版社,1980,1-9页。
- [2]张宪政等,植物生理学实验技术,辽宁科学技术出版社,1989
- [3]Moss D N and R B Musgave. *Advances in Agronomy*, 1971,23:317-336
- [4]Gardner F P et al. *Physiology of crop plants*. Iowa State University Press, 1985, PP.3-30