

源-库比改变对玉米群体光合 和其它性状的影响*

王庆成 牛玉贞 王忠孝 张秀清

(山东省农业科学院玉米研究所, 济南 250100)

摘 要 在抽丝授粉期, 通过不去叶、去穗上所有叶、去穗下所有叶和去整株叶的处理, 研究了改变源-库比对玉米群体光合速率、产量及其构成因素、以及植株内可溶性糖含量的影响。结果表明, 去叶后群体光合速率下降, 粒数减少, 粒重降低, 成粒率下降, 植株体内可溶性糖浓度下降。去叶效应的大小顺序是: 去整株叶> 去穗上所有叶> 去穗下所有叶。单株籽粒产量减产最大的是去整株叶, 平均减产 87%; 其次是去穗上所有叶, 平均减产 51%; 去穗下所有叶减产最低, 平均为 34%。穗部性状中受影响最大的是粒重。说明光合物质源在籽粒形成中有十分重要的意义, ‘库’性能的发挥高度依赖于‘源’强度, 源-库比在某种程度上决定着同化物的有效性。

关键词 玉米 源库比 群体光合 产量

因生物或非生物胁迫而造成的玉米品种间减产的不同, 可归因于形成结实果穗(库)的性能, 又可归因于生产光合产物(源)的性能^[13]。玉米籽粒产量的 80% 以上来自抽丝后的生殖生长期, 因此, 抽丝后源-库比率的变化对群体生理性状的影响历来受到人们的重视, 有关玉米源-库比率改变对籽粒产量、干物质积累等性状影响的研究已有过一些报道。有研究表明, 玉米籽粒灌浆期间, 源-库比过高或过低都可引起干物质积累的下降^[14]。Dungan^[4]发现, 56% 的植株抽丝时全部去叶, 籽粒产量减少 92%; 而在齿状阶段全部去叶对产量无影响。Hanway^[7]报道, 玉米 10 叶期、16 叶期和鼓泡期去掉 50% 叶, 分别平均减产 15%、25% 和 20%, 去掉全部叶子, 则平均减产 30%、98% 和 69%。Egharevba^[5]从抽丝后 10 天到 40 天, 每 10 天去一次叶, 即去果穗之上叶, 去果穗之下叶, 去全部叶, 表明去叶后干物质积累显著降低, 全部去叶减产 6.4%~82.0%, 部分去叶减产 1.5%~32.7%, 去果穗上全部叶与去果穗下全部叶的作用无多大差异。去叶的时期、强度、位置等对籽粒产量有重要影响^[17]。玉米产量减少的程度与去叶的百分率成正比^[2, 6, 8], 并与去叶期有关^[5]。有的研究表明, 开花期去掉全部叶片, 籽粒产量减少 100%^[15]。去叶使粒数减少, 粒重减轻^[5, 15, 17], 籽粒生长速度下降, 灌浆持续期缩短^[9]。有人还研究了去叶后植株体内有机物质含量的变化^[9, 12]。

1995-03-31 收稿。
* 国家攀登计划 9219 项目课题

作物群体干物质的积累与分配高度依赖于光合作用过程,了解改变源-库比率对群体光合速率的影响状况,对于合理运用栽培管理措施、提高产量,有重要的实践意义。Moss^[10]报道,限制授粉可使玉米光合速率下降。Pearson 等^[11]研究了玉米打顶和摘除果穗对单叶和群体光合速率的影响,表明开花后 10 天打顶和摘除果穗,在处理后 1h 内分别使净光合速率上升和下降 20%。但改变源-库比率,特别是减少源-库比率对群体光合速率影响的报道几乎没有。对此,我们在大田条件下进行了研究,目的是探讨改变源-库比率对玉米群体光合速率和库性能的影响。

1 材料和方法

试验在本院农场试验田进行。试区土壤养分为:有机质 $25\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $1.1\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $5\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $93\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $284.6\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试品种为玉米单交种沈单 7 号,2 个种植密度:45000 和 90000 株/hm²,1994 年 6 月 16 日播种,留苗密度略高于额定密度,确保收获密度。每小区 16 行,行距 0.67m,行长 5m,3 次重复。生育期内每公顷追施氮素 275kg,并及时进行浇水、治虫、除草、中耕等项田间管理。

设取样区和测试区各一个。自西向东排列,南北行种植。去叶处理于抽丝期进行,分别为:(1)对照(不去叶);(2)去穗上所有叶;(3)去穗下所有叶(包括果穗叶);(4)去整株叶。花丝露出前及时在取样区将部分雌穗套袋,以防授粉。待花丝伸长后每处理取 3~5 穗调查有效花丝数。

群体光合速率的测定用 GXH-305 型红外线 CO₂ 气体分析仪,同化箱法^[16],封闭式气路,同化箱为 20mm 角铝框架外罩透明聚乙烯薄膜加工而成,长 1.33m,宽 1m,高 2.5m,内置 35W 电风扇 1~2 个,用于扰动空气。每点于测定开始后 1、2min 读数,测定数据用计算机分析处理,测定时期为抽丝期、10DAP(抽丝后天数)、20DAP、30DAP 和 40DAP。

40DAP 测定干物质,取样后各部位分开,放入烘干箱先于 105℃ 下烘 15min,然后在 75℃ 下烘干称重。粉碎后取样用费林试剂直接滴定法(GB5009·7-85)测定可溶性糖含量。

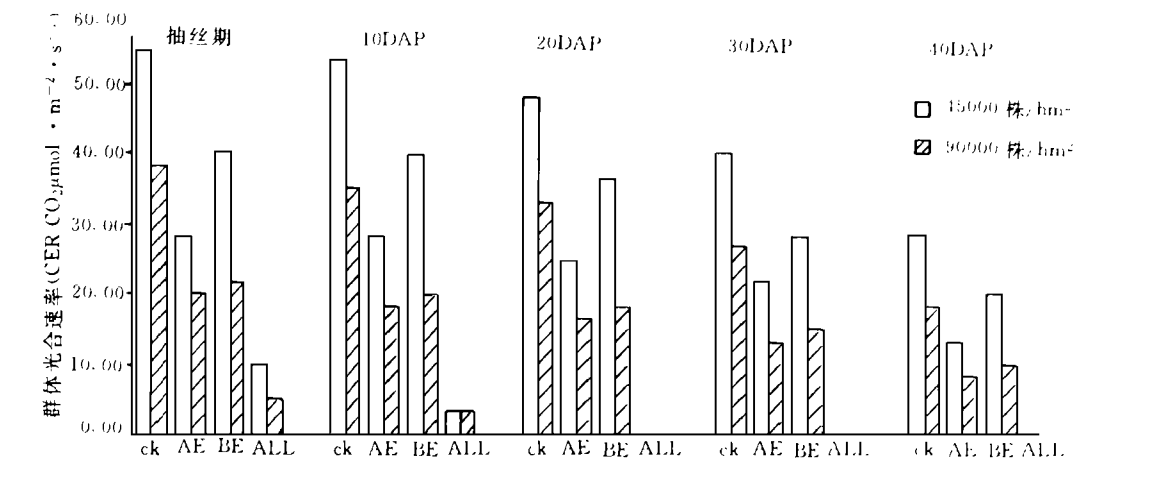
成熟期收每处理中间 2 行。晒干后考种,内容有穗行数、行粒数、穗长、穗粗、败育粒数等,脱粒后测千粒重。成粒率按下式计算:成粒率(%) = 有效粒数/伸长花丝数。

2 结果与讨论

2.1 去叶对群体光合速率的影响

测定结果表明,去叶后群体光合速率有不同程度的降低(附图)。同一密度的不同处理之间群体光合速率有着显著的差异。低密度的群体光合速率高于高密度的,但密度之间除抽丝期外,其它测定时期的群体光合速率均没有显著差异。从附图可以看出,在同一密度中,对群体光合速率影响的大小顺序是:去整株叶片 > 去穗上所有叶 > 去穗下所有叶 > 对照,表明生殖生长期穗上叶在光合产物的制造中起着重要的作用。分析不同生育时期,不同密度各处理之间群体光合速率的显著性差异,表明去穗上所有叶和去穗下所有叶两个处理之间没有显著的差异,除抽丝期外,其它各期去穗下所有叶和对照之间的差异也不显著,10DAP 时去穗上所有叶和去整株叶之间的差异也没有达到 5% 的显著水准;其余各处理之间的差异则达到了显著(5%) 或

极显著(1%)的水准。抽丝期全部去叶后,10天内尚能测出群体光合速率,表明植株剩余的叶鞘、苞叶等绿色组织此间还可以进行一点光合作用。



附图: 抽丝期去叶对不同时期群体光合速率的影响

(AE: 去穗上所有叶, BE: 去穗下所有叶, ALL: 去整株叶)

2.2 去叶对籽粒产量及其构成因素的影响

从表1可看出,同群体光合速率受去叶影响的趋势类似,单株籽粒产量减产最大的是去整株叶,平均减产87%;其次是去穗上所有叶,平均减产51%;去穗下所有叶减产最少,平均减产34%。在90000株/hm²和两密度平均数两列中,去穗上所有叶和去穗下所有叶两个处理之间没有统计上的显著差异。其它处理间差异显著或极显著。两密度平均单株产量之间的差异也

去叶处理	不同种植密度籽粒产量(g/株)		平均
	45000 株/hm ²	90000 株/hm ²	
对照	142.72a	96.79a	119.75a*
去穗上所有叶	71.52b	46.92bc	59.22b
去穗下所有叶	103.98c	55.24c	79.61b
去整株叶	21.72d	10.15d	15.93c
平均	84.98a*	52.27b	

* 一行或一列中具有相同字母的表示没有达到5%的显著差异水准。

去叶处理	不同种植密度每穗粒数		平均
	45000 株/hm ²	90000 株/hm ²	
对照	601.20a	454.52a	527.86a*
去穗上所有叶	464.80bc	280.42bc	372.61a
去穗下所有叶	510.34c	304.96c	407.65a
去整株叶	65.56d	37.95d	51.76b
平均	410.48a*	269.46b	

* 一行或一列中具有相同字母的表示没有达到5%的显著差异水准。

去叶处理	不同种植密度成粒率(%)		平均
	45000 株/hm ²	90000 株/hm ²	
对照	73.30	55.52	64.41a*
去穗上所有叶	56.67	34.26	45.46a
去穗下所有叶	62.22	37.25	49.74a
去整株叶	7.99	4.64	6.31b
平均	50.05a*	32.92b	

* 一行或一列中具有相同字母的表示没有达到5%的显著差异水准。

去叶处理	不同种植密度千粒重(g)		平均
	45000 株/hm ²	90000 株/hm ²	
对照	238.81a	221.74a	230.28a*
去穗上所有叶	151.84b	155.06b	153.45b
去穗下所有叶	207.06c	185.41c	196.24c
去整株叶	36.46d	24.37d	30.42d
平均	158.54a*	146.65a	

* 一行或一列中具有相同字母的表示没有达到5%的显著差异水准。

达到显著水准。

去叶对有效穗粒数的影响趋势与单株产量的类似(表 2)。去整株叶的穗粒数比对照平均减少 90%，去穗上所有叶和去穗下所有叶分别比对照减少 29% 和 23%。显著性检验结果表明，去穗上所有叶和去穗下所有叶，二者之间的穗粒数没有显著的差异。去叶使成粒率下降(表 3)，表明光合物质源在籽粒形成中的重要作用。各处理平均成粒率的统计分析表明，对照、去穗上所有叶和去穗下所有叶 3 处理之间没有显著差异，而千粒重的差异则达到显著水准(表 4)，说明去穗上所有叶和去穗下所有叶处理与对照单株产量之间的差异，主要是由粒重的差异造成的。去穗上所有叶、去穗下所有叶和去整株叶与对照相比，其平均千粒重分别降低 33%，15% 和 87%。

据作者 1987 年的试验结果，玉米生殖生长期间，籽粒干物质产量的 20% 左右由营养器官中转移而来。因此可以说，抽丝期去整株叶处理的籽粒产量，主要来自茎秆中贮存物质的转移，其平均转移量约为对照的 13%。经对各去叶处理有效粒+ 败育粒之和作统计分析，表明处理之间无显著差异(数据未列出)。众所周知，绿色叶片是作物进行光合生产的主要器官，是‘同化源’的主要提供者。在一定条件下，‘同化源’与‘生殖库’，即容纳光合产物的籽粒等之间保持一定平衡。改变源-库比就会打破旧的平衡，并试图建立新的平衡。去叶后群体干物质生产系统受到破坏，干物质积累减少，穗长度缩短、穗粗变细、秃顶加长，必然造成籽粒产量下降。

2.3 去叶对可溶性糖含量的影响

对不同去叶处理后的植株剩余部位中可溶性糖含量的测定结果表明(表 5)，去掉穗下所有叶以后，在 45000 株/hm² 密度中，除去所有穗下叶叶鞘外，其它测定部位的可溶性糖浓度比对照提高 0.88 ~ 3.58 个百分点，而在 90000 株/hm² 密度中，所有测定部位中可溶性糖浓度都比对照低，降低范围为 1.91 ~ 5.96 个百分点；去掉穗上所有叶后，两个密度处理植株的测定部位中，除低密度所有穗下叶及其叶鞘、高密度所有穗下叶叶鞘可溶性糖浓度有所上升外，其余都有所降低，而且比去穗下所有叶下降的幅度大。去整株叶之后，各测定部位中的可溶性糖含量下降幅度更大。因此，去叶对植株中可溶性糖含量的影响，大体是随着去叶程度的增加而加大，去叶越多，被去的叶越重要，可溶性糖含量越低。

以上结果表明，在较低的密度下，穗上叶和穗下叶之间在光合生产中可能有相互补偿作用，但显而易见，这种补偿程度远小于去叶对群体光合生产的降低作用。许大全等^[1]综述了有关光合产物水平与光合速率关系的研究报道，指出有的研究表明，叶片中的碳水化合物含量与

表 5 去叶对不同部位可溶性糖含量的影响(%)

处 理	种植密度 (株/hm ²)	穗上所有叶	穗下所有叶	穗 上 所有叶鞘	穗 下 所有叶鞘	穗 上 所有节茎	穗 下 所有节茎
对照	45000	7.46	4.30	5.94	1.46	22.40	16.60
	90000	14.20	6.88	15.16	2.51	27.88	27.88
去穗下所有叶	45000	11.04		8.42	0.64	23.28	19.88
	比对照增减	3.58		2.48	- 0.82	0.88	3.28
	90000	10.67		9.20	0.60	22.64	24.32
	比对照增减	- 3.53		- 5.96	- 1.91	- 5.24	- 3.56
去穗上所有叶	45000		5.91	1.78	2.29	5.42	5.78
	比对照增减		1.61	- 4.16	0.83	- 16.98	- 10.82
	90000		6.38	2.43	3.78	17.84	20.16
	比对照增减		- 0.50	- 12.73	1.27	- 10.04	- 7.72
去整株叶	45000			1.12	1.03	2.70	1.46
	比对照增减			- 4.82	- 0.43	- 19.70	- 15.14
	90000			2.82	1.43	2.06	4.03
	比对照增减			- 12.34	- 1.08	- 25.82	- 23.85

叶片的净光合速率有明显的负相关。也有人认为, 叶片光合产物含量与光合速率之间没有明显相关, 甚至还有人报道叶中碳水化合物含量与光合速率呈正相关, 这些研究是针对植株同一个体进行的。我们针对玉米植株群体所做的研究, 证明植株部分去叶后群体光合速率下降, 剩余组织中的可溶性糖含量降低, 认为含糖量的降低是由同化物的供给减少和/或贮存物的再分配造成的。因为去叶后籽粒生长发育对同化物的需求大大超过光合产物的供给, 器官间的同化物再分配是理所当然的^[3]。同时, 由于去叶使植株体内营养状况变差, 成粒率降低。Jones 等^[9]也曾报道, 植株去叶后, 穗上节间的可溶性糖含量下降。Singh 等人^[12]发现, 随着去叶程度的加大, 蔗糖和还原糖含量都显著下降, 碳氮比也有类似的趋势。这就表明, 玉米“库”性能的发挥高度依赖于“源”的强度, 源-库比在很大程度上决定着同化物的有效性。因此, 栽培实践中注意籽粒生长发育期间的田间管理, 防止叶片早衰, 对促进光合作用, 提高产量有重要意义。

参 考 文 献

- 1 许大全, 沈允钢. 光合产物水平与光合机构运转关系的探讨. 植物生理学报, 1982, 8: 173 ~ 186
- 2 Camery MP and Weber CR. Effects of certain components of simulated hail injury on soybeans and corn. Iowa Agric and Home Econ. Exp Stn Res Bull, 1953: 400
- 3 Daynard TB, Tanner JW and Hume DJ. Contribution of stalk soluble carbohydrates to grain yield in corn (*Zea mays* L.). Crop Sci, 1969, 9: 831- 834
- 4 Dungan GH. Relation of blade injury to the yielding ability of corn plants. J Am Soc Agron, 1930, 27: 164 - 170
- 5 Egharevba PN, Horrocks RD and Zuber MS. Dry matter accumulation in maize in response to defoliation. Agron J, 1976, 68: 40- 43
- 6 Eldredge JC. The effect of injury in imitation of hail damage on the development of the corn plant. Iowa Agric and Home Econ. Exp Stn Res Bull, 1935, 185
- 7 Hanway JJ. Defoliation effects on corn (*Zea mays* L.) hybrids as influenced by plant population and stage of development. Agron J, 1969, 61: 534- 538
- 8 Hicks DR, Nelson WW and Ford JH. Defoliation effects on corn hybrids adapted to the northern corn belt. Agron J, 1977, 69: 387- 390
- 9 Jones RJ and Simmons SR. Effect of source-sink ratio on growth of maize kernels. Crop Sci, 1983, 23: 129 - 134
- 10 Moss DN. photosynthesis and barrenness. Crop Sci, 1962, 2: 366- 367
- 11 Pearson CJ, Larson EM, Hesketh JD and Peters DB. Development and source-sink effects on single leaf and canopy carbon dioxide exchange in maize. Field Crops Res, 1984, 9: 391- 402
- 12 Singh RP and Nair KPR. Defoliation studies in hybrid maize. I. Grain yield, quality and leaf chemical composition. J Agric Sci, Camb, 1975, 85: 241- 245
- 13 Tollenaar M, McCullough DE and Dwyer LM. Physiological basis of the genetic improvement of corn. Genetic improvement of field crops (Slafer GA, eds.), New York: Marcel Dekker, Inc, 1994, 183- 236
- 14 Tollenaar M and Daynard TB. Effect of source-sink ratio on dry matter accumulation and leaf senescence of maize. Can J Plant Sci, 1982, 62: 855- 860
- 15 Vasilas BL and Seif RD. Defoliation effects on two corn inbreds and their single- cross hybrid. Agron J,

1985, 77: 816– 820

- 16 Wang QC, Niu YZ, Xu QZ, Wang ZX and Zhang XQ. Relationship between plant type and canopy apparent photosynthesis in maize (*Zea mays* L.). *Biologia Plantarum*, 1995, 37– 85
- 17 Yao NR, Yeboua K and Kafrouma A. Effect of intensity and timing of defoliation on growth, yield components and grain yield in maize. *Experimental Agriculture*, 1991, 27: 137– 144

Effect of Altered Source–Sink Ratio on Canopy Photosynthesis and Yield of Maize

Wang Qingcheng Niu Yuzhen Wang Zhongxiao Zhang Xiuqing
(Maize Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100)

Abstract The investigation was conducted to evaluate the effect of leaf removal, altered source–sink ratio on canopy photosynthetic rate and other physiological characters. Defoliation treatments consisted of removing 1) no leaves (control), 2) all leaves above the ear, 3) all leaves below the ear, and 4) all leaves at anthesis stage. Canopy carbon dioxide exchange rates, yield and its component, and soluble sugar content of treated plant were measured. The results showed that canopy carbon dioxide exchange rates declined following defoliation. Order of the effect was treatment 4> treatment 2> treatment 3. The treatment 4, 2, and 3 reduced grain yield per plant by an average of 87%, 51% and 34%, respectively. Yield component affected most by defoliation was kernel weight (15% to 87% decrease). Percentage of kernel setting and soluble sugar concentration of plant parts were reduced in leaf removal treatments. These results indicated that assimilate source play an important role in grain yield formation. The sink capacity (i. e. the potential of the grain to accommodate assimilate) and source strength (i. e. the ability of the leaf canopy to produce assimilate) were highly interdependent.

Key words: Maize (*Zea mays* L.); Source–sink ratio; Canopy photosynthesis; Grain yield