

# 夏谷群体光合速率及不同冠层器官的光合贡献

管延安 任莲菊 李晓云 李 群 尹庆良

(山东省农业科学院作物研究所, 济南 250100)

**摘 要** 对夏谷品种鲁谷 10 号 3 种密度条件下群体光合速率的研究表明, 生育期间群体光合速率的变化都呈单峰曲线型, 峰值出现在开花期前后, 从抽穗到灌浆初期维持较高的光合速率。但高密度条件下开花后群体光合速率衰减很快。开花期和灌浆后期对不同冠层器官光合贡献的分析表明, 两个时期趋势相同, 都以上三叶贡献最大, 中部三叶次之, 下部叶较低, 茎鞘只占 5% 左右, 穗部表现为呼吸消耗, 且消耗总光合比重趋于上升。根据研究结果提出了鲁谷 10 号亩产 400kg 以上的群体光合指标为, 开花期群体光合速率应达  $31 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以上, 以后应维持在较高水平, 至成熟期仍应达  $12 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  左右。还探讨了群体光合速率与产量构成因素的关系。

**关键词** 夏谷 群体光合速率 密度 器官 光合贡献

光合作用是作物产量形成的主要来源, 对光合作用性能的研究一直受到国内外学者的重视。以前的研究多限于单叶或器官的水平。近十年来对小麦<sup>[1,2]</sup>、玉米<sup>[3]</sup>等主要粮食作物的群体光合性能及其与产量的关系等方面开展了深入的研究, 探讨了大田条件下的高产光合生理指标, 开拓了作物群体生理研究的新领域。而谷子(*Setaria italica* Beauv.) 群体光合的系统研究还未见报道。本试验通过对麦后直播夏谷群体光合速率的研究, 探讨了大田高产栽培条件下夏谷群体光合能力的变化, 及不同冠层群体光合能力的贡献和与产量的关系, 提出了高产夏谷群体光合生理指标, 为夏谷高产栽培提供理论依据。

## 1 材料和方法

试验于 1994~1995 年在山东省农科院作物所试验农场进行。试验地 0~20cm 土层有机质含量  $14.7 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全氮  $0.84 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效氮  $58.7 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $17.7 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $104 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。麦收后亩施 1500kg 优质土杂肥作基肥, 耙耱后造墒, 6 月中旬播种, 孕穗期追施尿素 15kg。供试品种为中秆高产品种鲁谷 10 号, 设 3 万株/亩、5 万株/亩、7 万株/亩 3 个密度处理, 小区面积  $15 \text{m}^2$ , 行长 5.0m, 6 行区, 行距 0.5m, 随机排列, 3 次重复。于孕穗、抽穗、开花、灌浆、黄熟、成熟期测定群体光合速率, 并测定同期叶面积系数和叶、茎、鞘、穗的干物质

积累。开花和黄熟期采用去叶法测定不同冠层群体光合速率,依次去下部叶、中三叶、上三叶、穗、茎秆,收获时每小区随机取样 20 株,调查有关农艺性状。

群体光合速率的测定,参照 D. P. Garrity<sup>[7]</sup>和董树亭<sup>[4]</sup>的方法,并根据夏谷的实际情况加以改进。用美国产 LI- Cor6200 光合测定仪,在大田条件下进行。同化箱用铝合金制作,底面积为 6660cm<sup>2</sup>(66. 6cm × 100cm),周围罩以透明塑料薄膜,箱体高度随植株高度调整,为使气体交流均匀,内装 2 个 20W 风扇。光合速率测定在上午 10 点至下午 2 点之间进行,光强大于 1100μE · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>,光合室内温度在 35 ~ 40 。群体光合速率用每平方米土地上植株同化 CO<sub>2</sub> 量表示(μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>)。

2 结果与分析

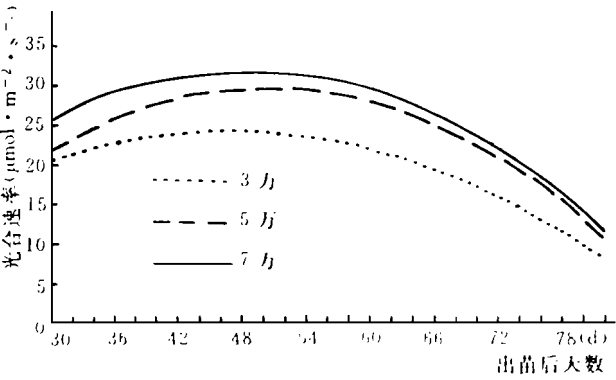
2.1 不同密度生育期间的群体光合速率

鲁谷 10 号不同密度生育期间群体光合速率两年的结果都呈单峰曲线型,开花期前后光合速率达最大值。这里以产量较高的 1994 年资料进行分析。表 1 列出了不同密度各个时期的光合速率测定值,并据此进行了曲线拟合(附图)。由附图可见,3 个密度处理群体光合速率变化趋势大致相同,在抽穗至灌浆期维持较高值,其后光合速率下降较快。生育期间各密度处理的光合值,一直是亩留苗 7 万株> 5 万株> 3 万株,留苗 3 万株的处理,由于叶面积系数不足,群体光合速率明显要低,而 5 万株和 7 万株的处理较为接近,尤其是灌浆期之后,差距逐渐减小。

表 1 不同密度处理各时期群体光合速率(μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>)

密度 (万株/亩)	孕穗期 32*	抽穗期 41	开花期 48	灌浆期 55	黄熟期 72	成熟期 82
3	21.49	22.47	25.07	23.31	15.70	8.27
5	23.10	26.65	31.06	29.42	19.11	11.41
7	26.94	29.80	33.13	31.92	20.06	12.00

\* 该行数字表示出苗后天数



附图 不同密度生育期间的群体光合速率

但在 1995 年阴雨条件下,由于苗期徒长,叶面积增长过快,群体发育不良,导致留苗 7 万株处理发病和早衰严重,黄熟期即严重削弱,群体光合即为 3 个处理中最低。而产量较高的 1994 年,降雨量较为适中,光照较为充足,不同处理群体光合的衰减比较平稳,各处理相差不大(表 2)。群体光合衰减率受栽培和气候条件的影响较大,因此应根据不同的气候条件,采取相应的管

理措施, 培养健壮群体, 保证后期的绿叶面积, 维持灌浆期高的群体光合速率, 从而实现高产, 根据两年的试验结果, 从群体光合速率的角度考虑, 实现鲁谷 10 号亩产 400kg 以上, 开花期群体光合速率应达  $31\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以上, 以后应维持在较高水平, 至成熟期仍应达  $12\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  左右。

表 2 不同密度的黄熟期和成熟期群体光合衰减率比较(%)

密度 (万株/亩)	1994 年			1995 年		
	亩产 (kg)	黄熟期 衰减率	成熟期 衰减率	亩产 (kg)	黄熟期 衰减率	成熟期 衰减率
3	366.20	37.40	67.00	268.60	34.30	62.30
5	417.40	38.30	63.20	293.10	52.50	64.90
7	423.10	39.50	63.80	246.60	64.80	78.40

2.2 不同冠层群体光合对总光合的贡献

对开花期和黄熟期不同冠层光合贡献的分析可见(表 3), 两个时期群体光合贡献都是以上三叶最大, 分别达 41.50% 和 61.39%; 中部三叶次之, 分别为 29.10% 和 32.44%; 下部叶贡献较小, 分别为 26.57% 和 17.51%; 茎鞘光合贡献最小, 约占 5% 左右, 而穗部表现呼吸消耗, 且随生育进程的推迟, 呼吸消耗占总

光合的比重由 2.09% 增至 16.35%, 这是因为开花期穗部有一定的绿色面积, 光合作用能抵消一部分呼吸消耗, 而后期颖壳变黄, 在物质积累过程中剧烈的代谢活动消耗大量的光合产物。

从不同叶层群体光合的衰减情况来看, 下部叶> 中三叶> 上三叶, 依次为 59.44%、31.37%、8.90%, 差异明显。从充分光照条件下同部位叶层单叶累积光合速率和所占比重来看, 两个时期不同叶层所占比重相似, 都在 30% 以上, 衰减程度依次是下六叶> 上三叶> 中三叶, 由于上三叶出叶晚, 这种现象说明上部叶高光合持续期较下部叶要短。不同叶层单叶累积光合的衰减与同部位群体光合的衰减情况有很大的差异, 这是因为单叶测定中, 光合速率是在最佳部位充分光照条件下所得, 难以反映自然群体条件下的真实情况, 但可以说明, 下部叶片维持的功能期较长, 群体光合低是由于光照不足和对弱光利用效率差所致。

表 3 不同冠层光合器官的群体光合及不同叶层单叶累积光合的比较( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

器 官	群体光合速率					同部位单叶总光合				
	开花		黄熟		光合衰	开花		黄熟		光合衰
	光合	%	光合	%	减率%	光合	%	光合	%	减率%
整株	32.10	100.00	19.76	100.00	38.44	260.29	100.00	182.29	100.00	30.00
下六叶	8.53	26.57	3.46	17.51	59.44	81.55*	31.33	54.69*	30.00	32.93
中三叶	9.34	29.10	6.41	32.44	31.37	84.45	32.44	62.49	34.26	26.11
上三叶	13.32	41.50	12.13	61.39	8.90	94.29	36.23	65.11	25.74	30.94
穗	-0.67	-2.09	-3.23	-16.35	382.09					
鞘	1.58	4.92	0.99	5.01	37.44					

\* 为下部 7~10 叶的光合累积值

2.3 夏谷群体光合速率与产量构成因素的关系

由于单叶光合不能代表整个冠层的光合情况, 我们对群体光合速率与产量构成因素的关系进行了分析(表 4)。鲁谷 10 号群体光合速率与叶面积系数呈显著或极显著正相关, 表明在试验密度内随叶面积系数的增大, 光能截获率提高, 群体光合随之加大。群体光合速率与千粒

重和单株产量呈显著负相关,是由于提高密度后,虽然提高了光合速率,但削弱了个体发育。开花以后群体光合速率与籽粒产量的相关达显著或极显著水平,说明开花后的光合贡献直接决定产量的形成。栽培上应加强中后期田间管理,防止叶片早衰,注意保持和提高开花后的群体光合速率,从而进一步提高产量。

表 4 夏谷群体光合速率与产量构成因素的关系

项目	孕穗期	抽穗期	开花期	灌浆期	黄熟期	成熟期
叶面积系数	0.9426 <sup>*</sup>	0.9795 <sup>*</sup>	0.9999 <sup>* *</sup>	0.9978 <sup>* *</sup>	0.9528 <sup>*</sup>	0.9734 <sup>*</sup>
千粒重	- 0.9015	- 0.9774 <sup>*</sup>	- 0.9983 <sup>* *</sup>	- 0.9998 <sup>* *</sup>	- 0.9559 <sup>*</sup>	- 0.9814 <sup>*</sup>
单株粒重	- 0.9625 <sup>*</sup>	- 0.9992 <sup>* *</sup>	- 0.9474	- 0.9881 <sup>*</sup>	- 0.9922 <sup>* *</sup>	- 0.9337
籽粒产量	0.9426	0.9090	0.9855 <sup>*</sup>	0.9813 <sup>*</sup>	0.9723 <sup>*</sup>	0.9987 <sup>* *</sup>

\* 5% 显著水平;\* \* 1% 显著水平。

3 讨论

夏谷生育期间群体光合速率变化呈单峰曲线型,开花期前后达最高值,从抽穗到灌浆初期维持相近的较高光合速率,开花后群体光合速率与夏谷产量呈显著正相关。高产条件下,开花后群体光合衰减速率慢,分析其原因是由于群体的稳健生长,而群体培育不当,发育过快,虽能在花期达到高的光合速率,但后期衰减很快,从而严重影响产量形成。反映到群体结构上,密度太小不能形成足够的绿色面积,过高难以有效地控制群体。从 1994、1995 年的情况来看,最高光合速率都达到  $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以上,但 1995 年由于苗期徒长,高密度群体光合速衰期提前,5 万株和 7 万株留苗处理黄熟期光合衰减分别较 1994 年同一处理提高 14.2 和 25.3 个百分点。这表明,获得夏谷高产必须提高和保持灌浆期的群体光合速率。小麦<sup>[1,2]</sup>、玉米<sup>[3]</sup>的研究也突出地强调了同样的观点。从两年的研究来看,鲁谷 10 号亩产 400kg 以上,开花期群体光合应达  $31\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以上,黄熟期群体光合衰减率不能超过 40%,成熟期应维持在  $12\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  左右,亩留苗 5 万株左右较为恰当。

对开花期和灌浆后期不同冠层器官光合贡献的分析表明,夏谷开花后的群体光合 95% 左右来自叶片,茎鞘所占比重很小,穗部表现呼吸消耗。上部三叶所占比重随生育期的推迟,贡献加大。古世禄<sup>[5]</sup>、吕邦民<sup>[6]</sup>等通过剪叶处理研究春谷不同叶位叶片的相对重要性,得出了类似的结论。

通过本研究对不同部位单叶光合的衰减程度来看,上三叶高光合持续期较下部叶要短,进一步延长上位叶高光合持续期,对于提高后期群体光合,获得高产将发挥更大的作用。

鸣谢 在试验和成文的过程中得到王忠孝研究员的热情指导与帮助,谨此致谢

参 考 文 献

1 董树亭. 高产冬小麦群体光合能力与产量关系的研究. 作物学报, 1991, 17(6): 461~469

- 2 徐恒永,赵君实. 高产冬小麦冠层光合能力及不同器官的贡献. 作物学报, 1995, 21(3): 204 ~ 209
- 3 胡昌浩,董树亭,岳寿松等. 夏玉米群体光合速率与产量关系的研究. 作物学报, 1993, 19(1): 63 ~ 69
- 4 董树亭. 大田作物群体光合作用的研究及测定方法. 耕作与栽培, 1988, (3): 62 ~ 64
- 5 古世禄. 谷子抽穗后干物质积累与运转及不同叶位叶片对产量的作用. 山西农业科学, 1981, (7): 10 ~ 11
- 6 吕邦民. 谷子不同叶位叶片对产量形成的作用. 黑龙江农业科学, 1982, (5): 34 ~ 36
- 7 Garrity DP, Sullivan CP, Watts DG. Rapidly determining sorghum canopy photosynthesis rates with a mobile field chamber. Agronomy Journal, 1984, 76(4): 471-478

## Canopy Photosynthesis and Contributions from Different Organs in Summer-Sowing Foxtail Millet

Guan Yanan      Ren Lianju      Li Xiaoyun      Li Qun      Yin Qingliang  
(Crop Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100)

**Abstract** Three different population densities of summer-sowing foxtail millet (Lugu 10) were studied in two years. The results indicated that the changes of canopy photosynthesis rates (CPR) showed single peak curves, the peak of CPR was in flowering stage, the CPR from boot stage to the beginning of seed-filling stage all kept high photosynthesis rate, but the CPR after flowering stage decreased very quickly in the condition of high density. The CPR contribution of different layers to organs total CPR were studied in the flowering and late seed-filling stages. The results showed that the CPR contribution of upper three leaves was the biggest, that of middle three leaves was the second, that of lower leaves was smaller, the contribution of stems and sheathes only accounted to 5% or so, the ears expressed respiration consuming, the proportion of consuming total CPR was tended to increase. Based on the research results, the criteria of photosynthesis were raised for the yield over 400 kg/*mu* of Lugu 10: CPR at the flowering stage should be over  $31 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  and should keep in higher level from then, CPR at mature stage should keep  $12 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . The relationship between CPR and yield components also were discussed.

**Key words:** Foxtail millet (*Setaria italica* Beauv.); Canopy photosynthesis rate (CPR); Density; Organ; Contribution of photosynthesis