

夏大豆光合速率与叶龄及水肥条件的关系^{*}

李永孝 丁发武 李佩琰 王法宏
崔 如 赵经荣

(山东省农业科学院作物研究所)

提 要

1986~1988 年在本所防雨网室内,用盆栽方法研究了夏大豆叶片的光合速率与叶龄及水、肥条件的关系。结果表明:在山东省气候条件和本试验土壤肥力水平下,夏大豆主茎叶片的叶龄于 12 日左右时,光合速率达到最大值。每株施复合化肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)19.5g 左右,每株每次供水 1.8kg 左右时,主茎叶片平均光合速率达最大值。小于或大于这三个数值时,光合速率都将迅速减小。得出了表达夏大豆光合速率与叶龄和水、肥用量关系的曲线回归方程。

关键词 夏大豆;光合速率;叶龄;水、肥

作物光合速率大小与产量高低有一定的关系。大豆光合速率高的品种产量也高^[1,2]。但作物光合作用的限制因子很多。Dantuma 等指出,叶龄是影响小麦、大麦光合能力最重要的因子^[4]。Jewiss 等研究表明,高羊茅草叶片光合作用随叶龄增加而降低^[6]。Frank 和 Jones 认为,气孔传导情况是牧草叶片光合速率的限制因子^[5,7]。Sionit 等指出大豆在高温下,田间 CO₂ 浓度高可以提高净光合速率^[8]。但迄今为止,关于夏大豆光合速率与水、肥条件关系的研究尚未见报导。本研究通过盆栽,探讨了夏大豆光合速率与主茎叶片叶龄、供水量、施肥量间的关系,并模拟出能较好地描述其间关系的曲线回归方程。

材 料 与 方 法

试验于 1986~1988 年在本所防雨轨道网室内进行。供试品种鲁豆 4 号。种于白色双

* 本文 1990 年 11 月 26 日收到。 This paper was received on Nov. 26, 1990.

层瓷栽培缸内。缸高 36cm, 内径 28cm, 缸内装过筛土壤 15kg(含水量 10%)。土壤养份三年平均为:全氮 0.106%, P_2O_5 0.179%, 水解氮、速效磷、速效钾分别为 53.57、53.85、135.0ppm, 有机质 1.21%。水分试验设 5 个处理:每次供水量分别为 0.9、1.2、1.5、1.8、2.1kg·株⁻¹。每个处理施肥量均为 20g 复合化肥。肥料试验设 5 个处理:10、15、20、25、30g·株⁻¹复合化肥, 每个处理每次供水量均为 1.8kg·株⁻¹。两试验浇水次数均为:始花前每 5 天浇一次水, 始花后每 2 天浇一次水。复合化肥为 N:P₂O₅:K₂O=15:15:15。两试验各设 12 个重复。其中, 固定 4 个重复用于测量光合速率及粒籽产量。8 个重复用于分生育期取样测量其它生理项目。本文资料是 4 个重复的平均值。6 月中旬播种, 出苗后每缸留苗一株, 9 月中旬成熟。

测试光合速率用美国产 LI-6200 光合系统, 在植株活体上进行。测试时天气晴朗, 选择叶片净洁、枝叶完好的植株, 于上午 9:30~11:30 时进行。将同一植株上的主茎叶片由上至下地逐一测试。每个叶片重复测 6 次, 由光合系统自动存贮信息。全部测试任务完毕后, 再由光合系统的微电脑打印出测试结果。本文引用的数据是每个叶片 6 次重复 4 株同位叶的平均值。

结果与分析

一、夏大豆光合速率与叶龄的关系

同一夏大豆株体上各叶片的光合速率是不同的。由表 1、2 可以看出, 不论在何种水肥处理下, 同一处理(或同一植株)的叶片最大光合速率不在幼嫩叶片或老龄叶片上, 而是在青壮龄叶片上。在同一株体上, 光合速率随叶龄增加而迅速增大。达到最大值后又随叶龄增加而逐渐降低。经计算, 夏大豆叶片光合速率($mg \cdot m^{-2} \cdot S^{-1}$)与叶龄(日)之间的关系可用回归模式表示^[3]。

$$\hat{y} = aXe^{bx} \quad (1)$$

(1)式中 \hat{y} 代表叶片光合速率($mg \cdot m^{-2} \cdot S^{-1}$), X 代表叶龄(日), a ($mg \cdot m^{-2} \cdot S^{-1} \cdot 日^{-1}$)、 b ($日^{-1}$)为回归系数。 $b < 0$, $e = 2.718$ 。据(1)式用表 1、2 资料, 计算了 a 、 b 、极点(X_{opt} , \hat{y}_{max})、拐点(X_g , \hat{y}_g)及相关系数 r , 列入表 3 中。

由(1)式和表 3 看出, 当叶龄 $X=0$ 时, 叶片未开展, 不能进行光合作用, 光合速率 $\hat{y}=0$; 当叶龄 $X=X_{opt}=\frac{1}{b} \approx 12$ 日左右时, 叶片光合速率 \hat{y} 达到最大值 \hat{y}_{max} ; 当叶龄 $X=X_g=\frac{-2}{b} \approx 24$ 日左右时, 曲线有一拐点。叶龄在 0 与 12 日之间时, 叶片光合速率随叶龄增加而迅速增加。当叶龄 >12 日时, 光合速率随叶龄增加而降低。叶龄在 12 日与 24 日之间时, 随叶龄增加光合速率降低逐渐加快; 叶龄 >24 日之后, 光合速率降低逐渐变缓。 X 轴为渐近线。叶片光合速率与叶龄间的这种曲线关系极为密切。在本研究的各种水肥处理下, 都在 0.01 水平上显著。

由(1)式和表 3 还看出, 在叶龄 $0 \sim X_{opt}$ 区间内, 光合速率随叶龄增加而增加的速率,

远大于叶龄 $>X_{opt}$ 。后随叶龄增加而降低的速率。尤其在适宜水肥条件下更是如此,供水不足或供水过多时,不仅随叶龄增加光合速率增加的速度、其 X_{opt} 、 \hat{y}_{max} 值都比适宜供水植株小,而且叶龄 $>X_{opt}$ 后,随叶龄增加光合速率降低也快于适宜供水植株。由光合速率与叶龄的这种曲线关系可以得出:水肥条件适宜可提高夏大豆叶片光合速率,延长叶片的功能期。

表 1 光合速率($mg \cdot M^{-2} \cdot S^{-1}$)与叶龄(日)和供水量($kg \cdot 株^{-1}$)的关系

Table 1 Relationship between photosynthetic rate($mg \cdot M^{-2} \cdot S^{-1}$) of summer soybean and leaf age (day), condition of water supply ($kg \cdot plant^{-1}$)

每次供水量(kg) 叶龄(日)	0. 9	1. 2	1. 5	1. 8	2. 1
1	0. 1592	0. 1546	0. 1664	0. 1878	0. 1841
4	0. 4046	0. 4256	0. 5377	0. 4889	0. 4530
7	0. 5282	0. 5938	0. 7035	0. 7176	0. 7086
10	0. 6144	0. 6877	0. 7683	0. 6903	0. 7922
13	0. 5460	0. 6435	0. 7126	0. 8608	0. 7316
16	0. 4682	0. 5854	0. 6998	0. 7627	0. 7433
19	0. 4236	0. 5445	0. 6515	0. 7700	0. 6890
22	0. 3599	0. 4831	0. 6164	0. 6907	0. 5863
25	0. 3746	0. 4536	0. 6255	0. 5998	0. 4977
28	0. 3347	0. 4151	0. 4504	0. 5533	0. 4678
31	0. 2218	0. 3573	0. 4768	0. 4734	0. 3537
34		0. 2958	0. 3533	0. 3938	0. 3311
37			0. 3626	0. 2612	
平均值 Average value	0. 4032	0. 4700	0. 5481	0. 5731	0. 5449
籽粒产量($g \cdot 株^{-1}$) Grain yield ($g \cdot plant^{-1}$)	23. 2	31. 3	39. 1	46. 8	40. 8

二、光合速率与供水量的关系

用表 1 中资料,经微机模拟,植株主茎叶片的平均光合速率与每次供水量(用累积供水量也可)之间的关系可用曲线回归方程表示。

$$\hat{y} = 1.3353X^2e^{-1.13315x}, \quad (r = -0.9983) \quad \cdots \cdots (2)$$

(2)式中 \hat{y} 为主茎各叶片光合速率($mg \cdot M^{-2} \cdot s^{-1}$)的平均值, X 为每次供水量($kg \cdot 株^{-1}$), $a = 1.3353(mg \cdot M^{-2} \cdot s^{-1} \cdot kg^{-2} \cdot 株^2)$, $b = -1.13315(kg^{-1} \cdot 株)$ 为回归系数, $e = 2.718$ 。由(2)式求一阶导数并令其等于 0,得每株适宜供水量 $X_{opt} = \frac{-2}{b} = 1.765 \approx 1.8$

表 2 光合速率($\text{mg} \cdot \text{M}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$)与叶龄(日)和施肥量($\text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$)的关系
Table 2 Relationship between photosynthetic rate($\text{mg} \cdot \text{M}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$) of summer soybean and leaf age (day), amount of water supply ($\text{kg} \cdot \text{plant}^{-1}$)

施肥量 $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$ 叶龄(日)	10	15	20	25	30
1	0.1754	0.1818	0.1912	0.1877	0.1817
4	0.4548	0.4699	0.4869	0.4743	0.4658
7	0.6541	0.6782	0.6893	0.6544	0.6814
10	0.7457	0.7874	0.7678	0.7654	0.7876
13	0.7984	0.8359	0.8441	0.8347	0.8059
16	0.7432	0.7648	0.7882	0.7705	0.7542
19	0.6259	0.7058	0.7442	0.7438	0.7243
22	0.6245	0.6465	0.6798	0.6452	0.6548
25	0.5454	0.5658	0.6138	0.5959	0.5584
28	0.4746	0.4847	0.5434	0.5331	0.5013
31	0.4099	0.4453	0.4813	0.4429	0.4101
34	0.3535	0.3637	0.3815	0.3630	0.3439
37	0.2611	0.2459	0.2717	0.2814	0.2513
平均值 Average	0.5328	0.5520	0.5756	0.5608	0.5477
籽粒产量($\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$) Grain yield($\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$)	38.9	42.6	47.0	43.8	41.5

表 3 不同水、肥处理下(1)式的 a、b、极点、拐点和 r 值
Table 3 Under different treatments of water and complex fertilizer supply, a、b、utmost point, turning point and r value of equation (1)

处 理 Treatment		a	b	极 点 Utmost point		拐 点 Turning point		r
				X_{opt}	y_{max}	X_g	\bar{y}_g	
水分处理(公斤) Treatment of water (kg)	0.9	0.1548	-0.09753	10.25	0.6209	20.5	0.4296	-0.9951
	1.2	0.1540	-0.08533	11.72	0.6639	23.4	0.4885	-0.9983
	1.5	0.1693	-0.08060	12.41	0.7828	24.8	0.5759	-0.9964
	1.8	0.1853	-0.08294	12.06	0.8219	24.1	0.6047	-0.9953
	2.1	0.1836	-0.08741	11.44	0.7727	22.9	0.5685	-0.9979
肥料处理(克) Treatment of fertilizer (g)	10	0.1767	-0.08437	11.85	0.7704	23.7	0.5669	0.9985
	15	0.1857	-0.08533	11.72	0.8004	23.4	0.5890	-0.9973
	20	0.1872	-0.08316	12.03	0.8280	24.1	0.6093	-0.9970
	25	0.1826	-0.08322	12.02	0.8074	24.0	0.5939	-0.9977
	30	0.1858	-0.08583	11.65	0.7965	23.3	0.5859	-0.9979

(kg)。据(2)式作图 1。由(2)式和图 1 看出,当供水量 X 为 0 时,种子不能萌发,植株不能生存,光合速率为 0。在本设计范围内,每次供水量在 $0.9 \sim 1.8 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 之间时,光合速率随供水量增加而迅速增大;当每次供水量 $X > X_{\text{opt}}$ ($1.8 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$) 时,光合速率随供水量增加而逐渐减小。当每次供水量增至足够大时,种子不能萌发,光合速率为 0。(2)式表示的光合速率与供水量的关系极密切。由(2)式和图 1 可知,在干旱情况下,增加供水量可迅速提高叶片光合速率;供水过量导致叶片光合速率降低。

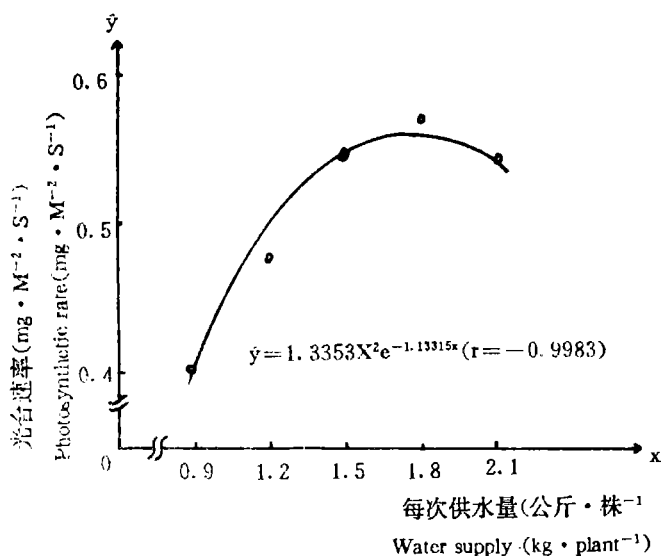


图 1 光合速率与供水量的关系

Fig. 1 Relationship between photosynthetic rate of summer soybean and amount of water supply

三、光合速率与施肥量的关系

由表 2 看出,在适宜供水量 ($1.8 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$) 条件下,主茎叶片光合速率的平均值随施肥量增减而变化。当施肥量不足时,随施肥量增加而增加;当施肥过量后,随施肥量增加而降低。经微机模拟,二者之间的关系可用曲线回归方程表示。

$$\hat{y} = 0.21422 \sqrt{X} e^{-0.02566X}, \quad (r = -0.9973) \quad \dots\dots (3)$$

(3)式中 \hat{y} 代表光合速率 ($\text{mg} \cdot \text{M}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), X 代表施肥量 ($\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$), $a = 0.21422 (\text{mg} \cdot \text{M}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{g}^{-\frac{1}{2}} \cdot \text{株}^{\frac{1}{2}})$, $b = -0.02566 (\text{g}^{-1} \cdot \text{株})$ 为回归系数。由(3)式可求得在本试验土壤肥力水平下,夏大豆适宜施肥量 $X_{\text{opt}} = \frac{-1}{2b}$ ($19.48 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$),最大主茎叶片平均光合速率 $\hat{y}_{\text{max}} = a \left(\frac{-1}{2b} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.5735 (\text{mg} \cdot \text{M}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ 。据(3)式作图 2。由(3)式和图 2 看出,当施肥量(包括土壤中含的养分)为 0 时,叶片不能制造光合产物,光合速率为 0;施肥量在 0 与 $X_{\text{opt}} = \frac{-1}{2b}$ ($19.48 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$) 时,光合速率随施肥量增加而升高;当施肥量达到 $19.48 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 时,主茎叶片平均光合速率达到最高;当施肥量 $> 19.48 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 时,光合速率随施肥量增加而降低。当施肥量增至足够大时,种子不能萌发,植株不能生存,光合速率为 0。 X

在山东省气候条件和本试验土壤肥力水平下,夏大豆每株施复合化肥 20g,每次供水 $1.8\text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$,始花前每 5 天浇水一次(相当土壤水势 -0.0779 巴,实测,济南),始花后每 2 天浇水一次(相当土壤水势 -0.175 巴,实测,济南),夏大豆主茎叶片平均光合速率可能达到最大值,且功能叶维持的时间也长。

参 考 文 献

- [1] 张贤泽、马占峰等,1986,大豆不同品种光合速率与产量关系的研究,作物学报 12(1)
- [2] 杜维广等,1982,大豆品种(系)间光合活性的差异及其与产量的关系,作物学报 8(1)
- [3] 莫惠栋,1984,农业试验统计,上海科技出版社 P
- [4] Danuma, G. 1973, Neth. J. Agri. Sci 21: 188~198
- [5] Frank, A. B. Power, J. F. and willis. W. O., 1973. Agron J. 65: 777~780
- [6] Jewiss, O. R., and Wolege, J. 1967, Ann. Bot. 31:661~671
- [7] Jones, H. G., 1973, New phgtol 72: 1089~1094
- [8] Sionit, N., Pogers, H. H., Agron. J. Vol. 76. No. 3

RELATIONSHIP BETWEEN PHOTOSYNTHETIC RATE OF SUMMER SOYBEAN AND LEAF AGE, AMONT OF WATER AND FERTILIZER SUPPLY

Li Yongxiao Ding Fawu Li Peiting
Wang Fahong Cui Ru Zhao Jingrong

(Crop Institute, Shandong Academy of Agriculture Science)

Abstract

Relationship between photosynthetic rate summer soybean and leaf age, amount of water and condition of fertilizer supply was investigated in this study. The results demonstrated that under the weather condition of Shandong province and the initial level of fertilizer the soil used in this study, highest photosynthetic rate of summer soybean was achieved when leaves of summer soybean were 12 days old. The mean photosynthetic rate of stem leaves of summer soybean reach maximum value when about 19.5g of complex fertilizer($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=15:15:15$) and about 1.8kg of water were supplied to each plant. However, photosynthetic rate of summer soybean would decrease gradually or quickly when leaves of summer soybean were younger or older than 12 days, or condition of water and fertilizer supply was different from the above mentioned condition. The equation of curve regression of the relationship between photosynthetic rate of summer soybean and leaf age, condition of water and fertilizer supply was obtained.

Key words Summer soybean; Photosynthetic rate; Leaf age; Water; Fertilizer