

高产大豆叶面积消长规律和光合势、 净同化率与产量相关模型的研究

楚奎锡

(黑龙江省农业科学院牡丹江农业科学研究所)

本文根据1978—1983年大豆高产栽培材料,探讨了亩产200—250kg高产群体叶面积消长规律、光合势、净同化率与产量的关系。分析结果表明,光合势对经济产量的贡献率高达64.3%,而净同化率的贡献率仅占13.8%。用判别法判别分析结果表明,由亩产200kg提高到250kg产量水平,在目前栽培条件下,主要靠生育中、后期的光合势,而改善净同化率条件创高产的难度较大。

关于大豆叶面积与净同化率问题,多数研究者^[1, 2, 3, 4]以亩产200kg左右的群体作为分析材料,从不同角度论述了它们之间的相互关系。但迄今为止,有关亩产250kg群体叶面积、光合势与净同化率的相依性,特别是不同产量水平群体长相长势特征方面的报导还不多见。本文在亩产200kg、250kg两类不同群体进行对比分析基础上,对高产群体叶面积、光合势、净同化率等方面进行了讨论。

材 料 与 方 法

在近几年高产栽培试验亩产达到200—250kg水平的20余份材料中,选取绥农4号、合丰23号等高产频率较高的两个品种共计14份材料进行叶面积、光合势和净同化率分析。

1978—1979年进行了以肥水为主要促控措施的综合配套技术研究。小区面积为50—100m²,行距为50cm,密度为30—33株/m²。1980—1983年在黑龙江省自然生态条件不同的密山、穆棱、温春、依兰、通河、讷河等地进行了较大面积(2亩以上)中间试验和生产试验,高产稳产频率达85%以上。该项综合配套栽培技术已有报道^[5]。

在大豆生育期间每隔10—15天测定和分析了叶面积指数(LAI)、光合势(LAD)、

(注):本研究是在李绍曾高级农艺师指导下进行的。

本文于1987年9月10日收到。This paper was received in Sep. 10, 1987.

净同化率 (NAR) 以及光合产物等。采样面积 0.5—1.0m², 重复 2—3 次。生育阶段划分为: 前期 (苗期至始花期, 约 30 天左右), 中期 (始花期至结荚期, 约 25 天左右), 后期 (结荚期至鼓粒末期, 约 27 天左右) 三个阶段。

结 果 与 分 析

整理过的试验资料列于表 1。现将其结果分析如下:

(一) 叶面积

1. 群体叶面积曲线模型

为探明亩产 200kg、250kg 两类不同群体叶面积消长的差异, 我们对叶面积消长曲线进行了多项式回归分析。结果表明, 绥农 4 号亩产 250kg 群体叶面积以四次项曲线拟合。其曲线模型为:

$$\hat{y} = -2.5532x + 1.3738x^2 - 0.19754x^3 + 0.0087995x^4 + 2.139$$

P_1^2 (决定系数) = 0.976

合丰 23 号亩产 250kg 群体叶面积以一、二、四次项拟合, 三次分量项不显著。其曲线模型为:

$$\hat{y} = -1.6530x + 1.3692x^2 - 0.23601x^3 + 0.0118007x^4 + 1.117$$

$R_2^4 = 0.991$

亩产 200kg 绥农 4 号群体叶面积以二次项拟合。其曲线模型为:

$$\hat{y} = 1.54454x - 0.12879x^2 - 1.1333$$

$R_1^2 = 0.876$

合丰 23 号亩产 200kg 群体叶面积曲线仅二次项显著, 第四次分量项不够显著 ($F = 3.48 > F_{(1,10)}$)。用二、四次分量项配合的曲线模型为:

$$\hat{y} = -0.9031x + 0.87413x^2 - 0.15677x^3 + 0.007838x^4 + 0.7084$$

$R_2^4 = 0.954$

将上述四个曲线回归模型以图形表示 (图 1、2), 可明显看出各曲线轨道有较大

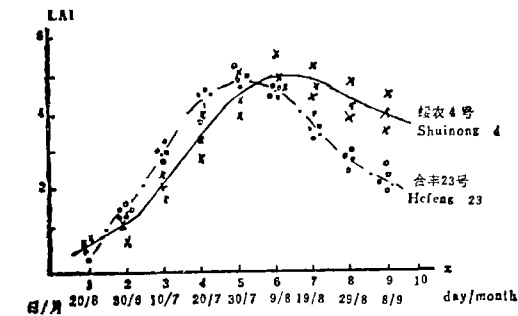


图 1 亩产 250kg 大豆群体叶面积消长曲线图
Fig. 1 Growth and decline curve of the soybean's leaf area on the 250kg per mu yield.

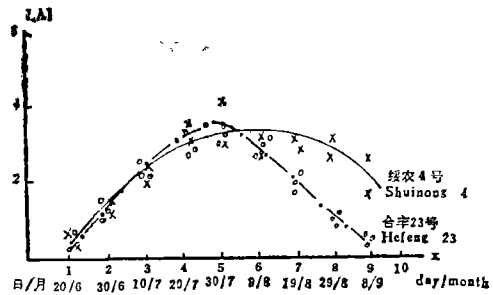


图 2 亩大 200kg 大豆群体叶面积消长曲线图
Fig. 2 Growth and decline curve of the soybean's leaf area on the 200kg per mu yield.

表 1 高产大豆群体叶面积峰值, 不同生育阶段光合势、净同化率及产量表

Table 1 The peak value of leaf area LAD, NAR and lled in different growth stage of the high yield soybean population

试 验 地 点 Experimental location	年 份 Year	品 种 Cultivar	峰值叶面积 Peak value of LAI m ² /m ²	光 合 势 Leaf area duration (10 ⁴ m ² ·d)			净 同 化 率 Netal assimilation rate (g/m ² ·d)			籽实产量 (公/斤) Seed yield (kg/mu)		
				生育前期 Earlier of growth stage			生育后期 Later of growth stage				平 均 Mean	
				生育前期 Earlier of growth stage	生育中期 Middle of growth stage	生育后期 Later of growth stage	生育前期 Earlier of growth stage	生育中期 Middle of growth stage	生育后期 Later of growth stage			
密山 Mishan	1978	合丰23 Hefeng 23	4.6	49.7	91.3	70.0	211.0	3.6579	2.8938	6.7671	4.3588	243.0
温春 Wenchun	1979	合丰23 Hefeng 23	4.9	49.2	107.5	101.4	258.1	3.9878	3.9442	2.8876	3.6102	252.0
温春 Wenchun	1980	合丰23 Hefeng 23	5.3	54.1	118.6	93.4	266.1	4.8466	3.5919	2.3083	3.3974	250.0
温春 Wenchun	1980	合丰23 Hefeng 23	5.0	55.7	120.6	93.3	270.0	5.5260	2.4494	3.3419	3.3885	255.5
温春 Wenchun	1980	合丰23 Hefeng 23	5.2	58.3	124.1	97.9	280.0	5.1321	2.9895	2.4433	3.2482	250.0
密山 Mishan	1981	绥农 4 Shuinong 4	5.5	51.3	115.0	116.4	282.7	4.3768	3.5009	3.1804	3.5279	252.0
通河 Tonghe	1982	绥农 4 Shuinong 4	5.9	51.6	110.8	138.9	301.3	6.6919	5.1273	0.6059	3.7272	256.0
温春 Wenchun	1983	绥农 4 Shuinong 4	5.1	27.1	90.9	119.4	237.4	4.2430	3.7503	3.2111	3.5350	264.5
密山 Mishan	1978	合丰23 Hefeng 23	3.5	45.9	70.2	49.1	165.2	3.7908	2.0057	6.1487	3.7331	206.5
密山 Mishan	1978	合丰23 Hefeng 23	3.0	46.9	68.5	51.1	166.5	3.5394	2.0818	5.8591	3.6517	200.0
密山 Mishan	1979	合丰23 Hefeng 23	4.2	49.7	91.3	62.4	203.4	3.8431	2.0920	6.7532	3.9499	211.0
温春 Wenchun	1981	绥农 4 Shuinong 4	4.4	49.6	94.2	83.7	227.5	5.0685	3.1720	4.0179	3.8967	218.5
温春 Wenchun	1981	绥农 4 Shuinong 4	3.5	36.9	77.7	76.9	191.5	4.9810	3.9678	2.8205	3.7023	180.5
密山 Mishan	1982	绥农 4 Shuinong 4	4.1	39.0	80.1	105.3	224.4	5.1923	3.1323	4.6002	4.1791	190.5

区别。例如，在生育中后期，亩产 250kg 绥农 4 号群体叶面积指数 ≥ 4 的日期长达 45 天之久，而亩产 250kg 合丰 23 号只有 33 天。同一品种两类不同产量水平的叶面积指数曲线轨道比较近似，但其绝对值却有较大差异。

2. 叶面积消长特点

若用 $\text{arc lg}\left(\lg \frac{L_{\max}}{L_{\min}} \cdot \frac{1}{t}\right)$, $\text{arc lg}\left(\lg \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \cdot \frac{1}{t}\right)$ 公式 (式中, L_{\max} 为最大叶面积、 L_{\min} 为起始期或终止期的最小叶面积。 t 为起始至终止日期), 对四个曲线动态模型的叶面积平均上升率、下降率 (表 2) 进行分析, 则不难看出, 亩产 250kg 群体叶面积的下降率远低于 200kg 群体叶面积的下降率。

表 2 叶 面 积 消 长 特 点
Table 2 Characteristic of the leaf area growth and decline

产量水平 (公斤/亩)	品 种	上升率 (%)	下降率 (%)
Yield levels (kg/mu)	Cultivar	Rate of ascent (%)	Rate of descent (%)
250	绥农 4 Shuinong 4	3.812	0.579
250	合丰 23 Hefeng 23	5.379	1.679
200	绥农 4 Shuinong 4	5.181	1.333
200	合丰 23 Hefeng 23	4.717	4.555

上述分析结果表明, 欲找出一个高产群体叶面积消长曲线的统一模型是 不 大 可 能 的。生态地理条件、品种类型不同, 以及栽培措施不同, 其群体叶面积消长曲线模型也 各 异。

3. 叶面积峰值

叶面积峰值是衡量群体长相的主要指标之一。由表 1 看出, 绥农 4 号、合丰 23 号两个品种亩产 200—250kg 叶面积峰值范围为 3.0—5.9。其中, 亩产 200kg 群体的平均值为 3.78, 亩产 250kg 群体的平均值为 5.19, 两类群体叶面积峰值之差为 1.41。叶面积峰值与籽实产量的对偶相关分析表明, 其 r 值达 0.883** 显著程度。

4. 光合势

在大豆生育期间, 某日所测得的叶面积指数, 只能说明当日有多大的叶面积在工作, 而采用光合势指标却能表示叶面积“工作日”, 因此更有实用价值。

由表 3 看出, 产量水平不同的两类群体, 各个生育阶段的光合势都有较大的差异。随生育进程的推移, 其差异愈来愈大。由该表还可看, 生育中后期阶段光合势的大小对群体获得高额产量起着很大的作用。

(二) 光合势、净同化率与产量的关系

分析光合势和净同化率与籽实产量的相关性, 对探明高产群体的形成和制定相应的高产农艺措施具有实际意义。

1. 相关分析

表 3 大豆群体不同生育阶段光合势

Table 3 The LAD of different grown stage of the population of the soybeans

绝对值 (Absolute value): $10^4\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 相对值 (Relative value): %

生育阶段 光合势 (公斤/亩) Seed yield (kg/mu) 差值 Value of difference	前 期 Earlier stage		中 期 Middle stage		后 期 Later stage		计 Total	
	绝对值 Absolute value	相对值 Relative value	绝对值 Absolute value	相对值 Relative value	绝对值 Absolute value	相对值 Relative value	绝对值 Absolute value	相对值 Relative value
250	49.63	18.9	109.85	41.7	103.84	39.4	363.32	100
200	44.67	22.7	80.33	40.9	71.42	36.4	196.42	100
差 值	4.96		29.52		32.42		66.90	

由表 4 看出，光合势与净同化率的相关性在生育前、中期阶段不明显，而在生育后期阶段达到显著负相关。光合势与籽实产量的相关性在生育中、后期阶段密切相关。净

表 4 相 关 系 数 矩 阵

Table 4 Matrix of correlation coefficients

	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	y
x ₁ (前期光合势 LAD _E)	1	0.628*	-0.059	0.202	-0.159	-0.107	0.317
x ₂ (中期光合势 LAD _M)		1	0.609*	0.484	0.369	-0.638*	0.792**
x ₃ (后期光合势 LAD _A)			1	0.673*	0.808*	-0.807*	0.618*
x ₄ (前期净同化率 NAR _E)				1	0.610*	-0.766**	0.213
x ₅ (中期净同化率 NAR _M)					1	-0.821**	0.376
x ₆ (后期净同化率 NAR _A)						1	-0.482
y (籽实产量 Seed yield)							1

同化率与籽实产量的相关性在生育前、中期阶段呈正相关，而在生育后期阶段呈负相关，但都不明显。从如上结果看出，亩产 200—250kg 产量水平的大豆群体，主要靠生育中、后期光合势达到高产。因此，采取各种有效农艺措施，延长功能叶寿命是获得高产的关键。至于高产群体生育后期光合势与净同化率负相关问题，作者认为，净同化效率不出现负反馈条件（本试验结果为 $3.9247 \pm 1.8553 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ ）下，保持较大的叶面积指数，应视为高产群体长相的重要指标之一。

2. 回归分析

将三个不同生育阶段光合势、净同化率共六个因素与籽实产量的关系，进行多元回归分析结果列于表 5。

经检验 ($F_{6,7}^{0.05} = 3.87$)，籽实产量与不同生育阶段光合势，净同化率的相关回归显著。但进一步对各偏回归平方和进行显著性检验表明，都不够显著。这是由于 x_1 至 x_6 相邻变量依次密切相关各因素间连应效果所致的结果（见表 4）。

表 5 高产大豆群体光合势、净同化率与产量多元回归方差分析表
Table 5 Analysis of variance of multiple regression between LAD
and NAR with yield on high yield soybean population

变 差 来 源 Sources of variation	ss	df	MS	F
总计 (Grand total)	41485.073	13		
回归 (Regression)	32232.356	6	5372.06	4.06*
剩余 (Residual)	9252.717	7	1321.82	

$$P_1 = b_1^2/c_{11} = 8.99 \qquad F_1 = 0.01 \qquad F_{0.05}^{1,7} = 5.59$$
$$P_2 = b_2^2/c_{22} = 3383.26 \qquad F_2 = 2.56$$
$$P_3 = b_3^2/c_{33} = 1162.70 \qquad F_3 = 0.88$$
$$P_4 = b_4^2/c_{44} = 2006.67 \qquad F_4 = 1.52$$
$$P_5 = b_5^2/c_{55} = 21.08 \qquad F_5 = 0.02$$
$$P_6 = b_6^2/c_{66} = 89.01 \qquad F_6 = 0.07$$

剔出最小偏回归平方项 P_1 、 P_5 、 P_6 所得的相 关 回归方程模型为：

$$\hat{y} = 171.8 + 0.9598 x_1 + 0.43312 x_2 - 15.8324 x_3$$

方程中：
 x_1 为生育中期光合势 ($10^{-4}m^2 \cdot d$)
 x_2 为生育后期光合势 ($10^{-4}m^2 \cdot d$)
 x_3 为生育前期净同化率 ($10^{-4}m^2 \cdot d$)

如上分析结果表明，欲想获得亩产 200—250kg 产量，要采取 不同于 亩产 100—150kg 产量水平的管理措施，即生育前期采取“促下控上”的综合有效措施，建造根系发达，叶面积不宜过大，而净同化能力强的壮苗群体。而在生育中后期，特别是后期，扩大光合势，提高群体总光合效率，方能达到予期高产的目的。

3. 贡献率分析

为进一步明确如上六个因素对籽实产量的影响程度，采取如下公式估计各因素的贡 献率：

$$r_{i1}^2 = \frac{R^2}{\sum_{i=1}^6 \beta_i^2} \times \beta_i^2 \times 100 \%$$

式中： R^2 为复决定系数， β_i 为标准偏回归系数。

计算结果为：

$$\left. \begin{aligned} r_{11}^2 \text{ (生育前期光合势)} &= 0.39 \% \\ r_{21}^2 \text{ (生育中期光合势)} &= 50.82 \% \\ r_{31}^2 \text{ (生育后期光合势)} &= 13.13 \% \end{aligned} \right\} 64.34 \%$$

$$\left. \begin{aligned} r_{14}^2 (\text{生育前期净同化率}) &= 11.52\% \\ r_{15}^2 (\text{生育中期净同化率}) &= 0.54\% \\ r_{16}^2 (\text{生育后期净同化率}) &= 1.72\% \end{aligned} \right\} 13.78\%$$

$$R^2 = 0.7812, \text{ 即 } 78.12\%$$

与回归相关模型分析结果基本一致。即影响大豆亩产 200—250kg 产量的主要因素是生育中期和后期光合势以及生育前期净同化率。三者贡献率之和等于 75.5%。

(三) 判别分析

为了探明亩产 200、250kg 两类不同群体在不同生育阶段光合势、净同化率消长特点的相异性，我们根据 m 维欧氏空间 R 母体上投影 x_i 变量在一维空间（即直线）上座落的方位， R 划分为两个子空间（ $G=2$ ）的方法作为判别分类准则，对六个指标（ x_1 、 x_2 、 \dots ， $m=6$ ），对第一类（ $g=1$ ，亩产 250kg），取 8 个样品（ $n_1=8$ ），第二类（ $g=2$ ，亩产 200kg），取 6 个样品（ $n_2=6$ ）进行 Fisher 意义下的判别分析^[6]，分析结果以显著项建立的函数方程模型为：

$$z = 0.3051 v_1 + 0.03606 v_2 + 3.15509 v_3 + 1.71123 v_4$$

式中： v_1 = 生育中期光合势（ $10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{d}$ ）

v_2 = 生育后期光合势（ $10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{d}$ ）

v_3 = 生育中期净同化率

v_4 = 生育后期净同化率

$$F = \frac{(n_1 + n_2 - m - 1)n_1 n_2}{m(n_1 + n_2 - 2)(n_1 + n_2)} \cdot (\bar{z}_1 - \bar{z}_2)^2 = 591.87 > F_{(4,9)}^{0.05} = 3.63$$

$$\bar{z}_1 (\text{亩产 250kg 类}) = \sum_{i=1}^4 v_i \bar{x}_{i1} = 53.3126$$

$$\bar{z}_2 (\text{亩产 200kg 类}) = \sum_{i=1}^4 v_i \bar{x}_{i2} = 44.0500$$

$$z^* (\text{判别临界值}) = 48.6813$$

以 $z > z^*$ 为亩产 250 公斤类； $z < z^*$ 为亩产 200kg 类，对 $n_1 + n_2 = 14$ 个样品进行判别分类结果，其符合率达百分之百的满意结果。

由上述判别结果看出，亩产 200、250kg 两类大豆群体生育前期光合势、净同化率无显著差异。而差异显著项顺次为生育中期光合势，生育后期光合势、生育中期净同化率、生育后期净同化率。它们分别对判别分类起作用的比例（%）是：96、27、13、-36。由此看出，对亩产 250kg 起主导作用的相对因素是生育中期光合势，次之生育后期光合势，而生育中、后期净同化率差于亩产 200kg 群体净同化率的作用。与此相反，对亩产 200kg 起作用的相对主要因素是生育后期和中期的净同化率，而光合势的作用远不如亩产 250kg 的群体。

讨 论 与 小 结

高产大豆群体叶面积消长进程有一个共同的规律,即叶面积在上升阶段稳步上升、下降阶段缓慢下降。我们认为亩产 250kg 大豆群体叶面积消长曲线应具有如下特点: 1) 叶面积峰值出现在结荚期。在牡丹江地区以 8 月 5 日左右为宜。2) 叶面积指数 ≥ 4 的日期应持续 40—45 天。3) 叶面积上升期,其上升率 $\leq 4.0\%$,下降期,其下降率 $\leq 1.5\%$ 。

不同大豆品种类型,虽然产量水平相同,其群体叶面积指数峰值却差异很大。例如,小金黄 1 号、东农 4 号、黑农 11 号,牡丰 5 号等四个品种亩产 157.5—213.5kg 群体叶面积峰值在 5.1—7.4 大范围内波动。而绥农 4 号叶面积峰值 5 时即可达到亩产 250kg 水平。由此看来,高产群体叶面积峰值指标,不可能一成不变。

大豆群体净同化率,随光合势的增加而缓慢下降。但整个生育期平均值在不同产量水平群体之间的差异,远小于光合势的差异。亩产 250kg 大豆群体全生育期平均净同化率为 3,5992,比亩产 200kg 平均值 3.8521,仅下降 6.57%。可是亩产 250kg 群体总光合势 263×10^4 , 却比亩产 200kg 群体总光合势 196×10^4 增加 34.06%。这种关系,若引入 $A_n = 1/n$ 数列公式(式中 A 为叶面积, n 为净同化率),在大豆群体的一定范围内(例如: $A=1, 2, \dots, A \leq 6.0$) 较为适宜的。由此推论,高产大豆群体净同化率伴随着光合势的扩大而缓慢下降是不可避免的。(参考文献略)

STUDY ON MODELS OF REGULATIONS OF RELATIONSHIPS BETWEEN LEAF AREA ALTERATION LEAF AREA DURATION AND NET ASSIMILATION RATE WITH HIGH YIELD OF SOYBEAN

Chu Kuixi

(*Mudanjiang Agriculture Research Institute of Heilongjiang
Academy of Agricultural Sciences*)

Abstract

The article according to the high-yielding cultivated materials in 1978—1983. The relationship of the high yield with leaf area alteration, leaf area duration (LAD) and NAR of soybean was investigated. The results proves that LAD's contributed 64.3% to seed yield. But NAR's contribution is only 13.8%. The discrimination method reveals that under the present cultivated condition yield of soybean rises from 200kg to 250kg per mu would mainly dependent up on the LAD of later growth stage, while to increase yield by improving NAR's condition would be difficult.