

大豆株型、群体结构 与产量关系的研究

第一报 大豆群体的自动调节和群 体内光强、CO₂的分布

董 钻 孙卓韬

(沈阳农学院)

提 要

大豆的株型有相对的稳定性,但又是可变的。叶片有明显的调位运动规律,能形成严密的镶嵌结构。群体内,光强减弱急剧。消光系数在1.0~1.5左右。CO₂浓度越近地面越高,日变化幅度为254.0~550.4 ppm。在一定的肥力条件下,在相当大的密度范围内,大豆的产量水平较为稳定。群体的自动调节机能主要来自分枝,土壤的生态容量是群体自动调节和产量的限制因子。

我国自六十年代起对大豆的群体结构即已开始研究。祝其昌(1960)、张瑞忠等(1964)、郭午(1965)分别对大豆的种植密度进行了研究。刘士达等(1963)研究了大豆群体结构与产量的关系。常耀中(1981, 1983)、安昌范等(1983)以及其他研究者在这方面也做了许多工作。在大豆株型方面,胡明祥等(1980)从育种的角度进行了研究,董钻(1981)提出了大豆器官平衡与产量关系的报告,尹田夫(1982)对无限结荚习性大豆理想株型的冠层模式作了仔细的探讨,郝欣先(1983)提出的夏大豆株型与群体透光性的研究,也颇详细。

日本玖村敦彦(1969)对大豆群体叶面积的空间分布与光合作用作了深入的研究。在大豆群体结构方面进行过研究的还有R.M. Shibles 等(1965)、T.T. Johnston (1969) B.L. Blad 等(1972)。

我们于1979至1983年期间陆续对大豆的株型、群体结构与产量的关系进行了田间试验和盆栽试验。深感大豆株型—群体结构—产量三者之间,虽有紧密的联系,却也关系复杂,本文拟将五年中所观察观测到的一些数据报道出来,求教于同行专家。

参加本研究部分测定工作的还有罗文春、杜雷和邹仁民三位农艺师以及农学四年级王岱、高广臣、郭晓华、魏晓莉、曲乐庆等同学,在此一并致谢。

材 料 和 方 法

1979年6月，对大豆铁丰18号植株叶片的日运动进行了自早至晚的五次连续观察和记载，同年9月2日又对沈农7515叶片的方位分布进行了观测。方法是用一个1米²的木框（其对角线也有木条相连），将这一面积所罩的所有叶片分成四份。计算每个三角形中的叶片数，重复五次求平均值。

1980年，在沈阳农学院以及开原（辽北）、新金（辽南）、锦西（辽西）三个县的农业科学研究所联合进行大豆品种株型、群体结构与产量关系的田间试验，供试品种有：开育8号（独秆型）、辽农2号（矮秆型）、沈农25104和沈农7515（分枝张开型）和铁农7555—4—5—15—14（分枝收敛型）。各品种均按各自的适宜密度种植，小区随机排列，重复三次。于结荚初期进行了光照测定和大田切片，考察在不同生态条件下诸品种的株型、群体结构和光强分布状况。

1981年，在沈阳农学院安排了田间试验，供试品种中减去了沈农7515，增添了铁丰18号、丹豆4号（分枝张开型）和辽农3号（亚有限分枝型），仍采用随机排列。三次重复。试验期间，测定了群体的层次结构、光强分布、荚粒分布等。

1982年，田间试验的重点放在研究种植密度、植株配置方式与群体结构和产量的关系上，密度对比试验的处理如下：铁丰18号每亩6000、8000和10000株。开育8号和辽农3号均为每亩8000、10000和12000株（实收株数见表），重复三次。除常规的生育状况记载外，于结荚初期测定了群体内的光强分布。计算了消光系数。收获时分区测产。每区实收面积13.2米²。

1983年，田间试验采用植株自动调节能力很强的铁丰18号，加大了密度差距，设每亩5000、9000和13000株三个处理，重复三次，每区实收面积仍为13.2米²。为了配合田间研究，还安排了盆栽密度试验。每盆装棕壤土36.6斤。土壤有机质含量为1.5%，全氮0.08%，全磷0.038%，每盆施入腐熟堆肥150克、硫酸1.9克、过磷酸钙6.7克、硫酸钾3.8克，试验分每盆留苗1、2、3、4株共四个处理，重复三次，试验期间经常浇等量的水，使土壤保持湿润状态。植株于鼓粒期落叶前收获，进行了室内考种。

1981和1982年，于结荚初期测定了大豆群体内CO₂浓度的垂直分布和日变化。具体作法是，用采气瓶在田间采集群体内的气体，用NaOH酚酞液吸收其中的CO₂，经振荡后，用分光光度计在656毫微米波长下测溶液的光密度，并与经同样处理的标准气（300 ppm）吸收液的光密度相比较，计算CO₂浓度。

沈阳农学院内的田间试验均是在同一轮作区中进行的。据1983年测定，土壤的肥力基础是：有机质1.60%，pH为6.4，全氮、磷、钾分别为0.104%、0.160%、2.09%。速效氮、磷、钾分别为8.29毫克/100克土，28 ppm和98 ppm。每年播种前施堆肥约4000斤，施过磷酸钙40斤，硫酸10斤。

结果 和 分 析

1. 株型的稳定性和可变性

1980 年, 我们采用五个大豆品种, 在沈阳、开原、新金和锦西四个不同的地点进行联合试验, 测定各品种株型和群体结构有无变化。在同一个生育时期 (结荚期) 进行了大田切片。结果表明, 不同大豆品种的株型的稳定性大不相同 (图 1、2)。铁农 7555—4—5—15—14 是分枝型大豆品系, 由于它的分枝与主茎夹角仅有 15° — 20° , 且分枝与主茎几成平行状态。属于极端收敛型。该品系在地理上相距甚远的四个地点, 不但株高相差无几, 从各层次叶面积分布看也不存在太大的差异。

沈农 25104 也是分枝性很强的品系, 从在锦西县农科所于结荚期所作的大田切片结果看出, 同是这个品系, 在薄地上密植, 下部分枝少, 株型紧凑, 而在肥地上稀植, 下部分枝粗壮, 与主茎夹角很大, 株型松散。从图 2 可以看出, 两种肥力条件下, 其各层次的叶面积分布迥异, 表明该品系的株型具有很大的变异性。我们在铁丰 18 号不同密度的试验中也发现其株型因密度而异。一个品种的株型变化幅度与群体自动调节能力的强弱是一致的。

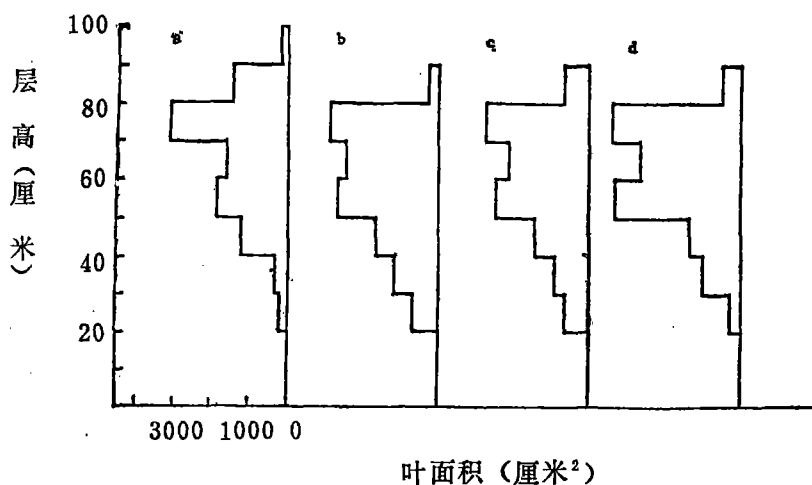


图 1、不同栽培条件下大豆品系铁农 7555—4—5—15—14 的大田切片图
(5 株的数据)

a—沈阳, 7 月 29 日;
c—新金, 8 月 7 日;

b—开原, 8 月 4 日;
d—锦西, 8 月 11 日。

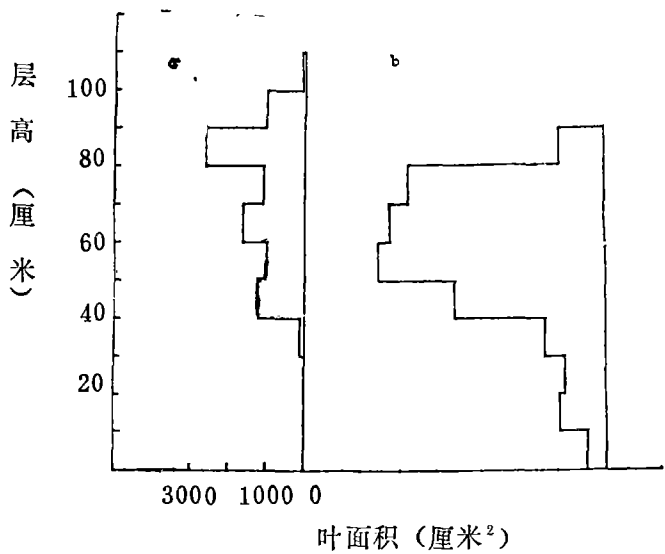


图 2、不同肥力条件下大豆品系沈农 25104 的大田切片图 (5 株 的数据)

a—低肥； b—高肥。
测定时间和地点：1980 年 8 月 11 日，锦西县农业科学研究所。

2. 大豆叶片的调位运动和镶嵌性

按 de Wit (1965) 对叶面倾斜角的分类，大豆群体当属于平叶型冠层，其特点是叶片平展，重叠，在高产栽培条件下冠层覆盖严密。

1979 年 6 月 19 日自凌晨 4 时 30 分至傍晚 20 时 30 分，我们曾对第 7 片复叶已展开的铁丰 18 号植株叶片的方位角和倾斜角进行了定株定时观测。结果证明，大豆叶片有明显的日运动。傍晚，各复叶的各个小叶下垂达 85—90°。凌晨，小叶开始抬起。上午 8 时 30 分时，东侧复叶的顶小叶下垂，两侧小叶扭转侧立约 80—90°且向内侧收缩，夹角约为 150°，三片小叶的叶面均朝东；相反，西侧复叶的顶小叶立起，与水平面呈 90°，两侧小叶或呈水平状，或扭转 5—10°，面朝西。一般顶部复叶抬起的角度比下部复叶大一些，因受光的状况不同，抬起和扭转的角度各异。中午，叶片多呈水平排列。下午 16 时 30 分，顶小叶起落和两侧小叶扭转的状况与上午相反。总之，许多复叶的三个小叶常呈漏斗状朝向太阳。

观测还证实，下部叶柄与主茎的夹角一般大于上部叶柄的夹角。叶柄是能够扭转的。可以说它是叶片受光的“调节器”。在群体条件下，由于大豆叶片、叶柄以至分枝具有自

表 1 1 米² 土地面积上群体叶片的方位分布
(品种：沈农 7515，五次重复平均)

方 位	东 南	西 南	西 北	东 北
各方位叶数 所 占 %	24.8	23.7	25.7	25.8

测定日期：1979 年 9 月 2 日下午 3 时，行距 60 厘米，株距 13.2 厘米。

动调位的能力致使叶片的分布几乎完全是随机的。表 1 是我们对沈农 7515 叶片的方位分布所做的测定结果。

叶片的镶嵌性良好是大豆群体的突出特征, 这一特征, 一方面使各个叶片得以截获阳光, 另一方面也使大豆群体叶层的光照自上而下极度削弱。

3. 大豆群体内的光强分布和消光系数

1980 至 1982 年, 我们连续三年对大豆群体内的光强分布进行了测定。结果证实, 各层次的光强分布呈指数曲线形 (图 3)。

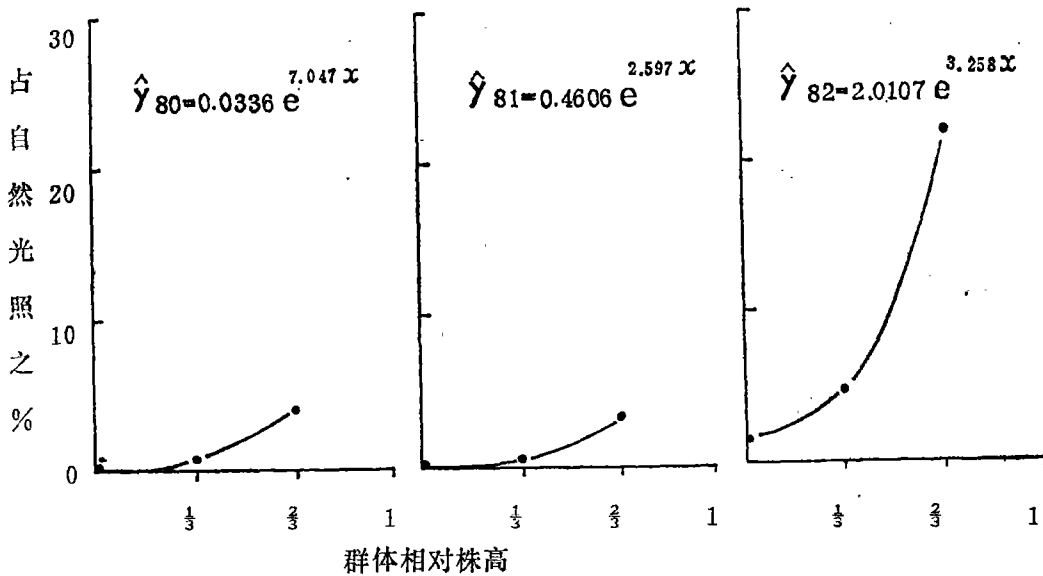


图 3 大豆群体内中下部的光强度

各年份测定的时间、自然光强和品种数:

1980 年, 8 月 1 日 12:00—13:00 时, 105000 lux, 6 个品种。

1981 年 8 月 11 日 12:30—13:30, 126000 lux, 9 个品种。

1982 年, 8 月 2 日 14:00—14:35, 80000 lux, 11 个品种。

1980、81 和 82 年, 大豆群体中下部的的光强分布回归方程分别为:

$$\hat{y}_{80} = 0.0336 e^{7.047x},$$

$$\hat{y}_{81} = 0.4606 e^{2.597x},$$

$$\hat{y}_{82} = 2.0107 e^{3.258x}.$$

式中, \hat{y} 为光强, x 为相对株高。经检验, 方程的回归效果显著。

测定表明, 在夏季天气晴朗的中午, 不论大豆群体冠层顶部的光照多么强烈, 当透过占株高 $\frac{1}{3}$ 的那部分冠层之后, 光强即陡然下降, 当透过占株高 $\frac{2}{3}$ 的那部分冠层之后, 更所剩无几, 至于在贴近地面处, 则光强是极其微弱的。例如, 1980 年 8 月 1 日中午 12:00 时至 13:00 时测定了六个品种, 自然光强为 105000 lux (100%)。株高 $\frac{2}{3}$ 处为 $3.97 \pm 2.04\%$, $\frac{1}{3}$ 处为 $0.37 \pm 0.05\%$, 贴近地面只剩下 $0.04 \pm 0.02\%$ 。

从光照的绝对值看, 株高 $\frac{1}{3}$ 处的叶片所获得的光强大约只有数百至千余 lux, 即处于光补偿点以下。此处的叶片之所以尚未变黄或脱落, 是因为太阳高度角和方位自早至

晚经常变化，各个叶片的受光情况也在改变的缘故。

1982年8月2日我们对铁丰18号、开育8号和辽农3号三个品种的不同密度和不同配置方式的光强分布进行了测定。结果证明，种植密度较稀也好、隔穴种双株也好，均未根本改善群体中、下部的光强状况。这些层次的叶片主要是依靠散射光营光合作用的。

消光系数的大小表明作物群体叶层的透光性质。表2列举了我们1981年的测定结果。

表 2 大豆不同品种群体内的光分布和消光系数 (1981)

品 种 和 层 次		光 强 $\frac{I_z}{I_0}$ (%)	光 强 对 数 $-L_n \frac{I_z}{I_0}$	叶 层 F	消 光 系 数 K
铁丰 18 号	上	2.18	3.85	2.48	1.54
	中	0.72	4.93	4.49	1.10
	下	0.54	5.22	4.61	1.13
开育 8 号	上	1.79	4.02	3.73	1.08
	中	0.66	5.02	5.10	0.98
	下	0.52	5.26	5.26	1.00
丹豆 4 号	上	1.81	4.01	3.51	1.14
	中	0.65	5.04	3.79	1.33
	下	0.57	5.17	3.87	1.34
铁农 7555 4-5-15-14	上	2.22	3.81	3.29	1.16
	中	1.12	4.49	3.87	1.16
	下	0.90	4.71	3.88	1.21
辽农 2 号	上	2.62	3.14	3.58	1.02
	中	1.31	4.34	4.24	1.02
	下	1.10	4.51	4.28	1.05
辽农 3 号	上	2.87	3.55	3.40	1.04
	中	1.32	4.34	4.51	0.96
	下	0.92	4.69	4.59	1.02

注：8月11日中午12:30至13:30测定，自然光强为126 000 lux。

上列数据是在各品种的适宜密度下测定的。铁丰18号、开育8号、丹豆4号三个品种的叶片圆且大，覆盖严密；铁农7555—4—5—15—14的叶片虽属披针形，但其分枝与主茎呈平行状且高度一致，冠层叶片镶嵌几成一天衣无缝的“幕”；辽农2号属矮秆品种，叶丛密集；辽农3号是亚有限习性品种，植株高大，因此，这些品种的消光系数都在1以上，消光系数显然与种植密度、植株配置方式以及叶片大小、多少、厚薄、叶色和调位能力有很大关系；但是，目前还说不清它与产量之间存在什么直接的相关性。

4. 大豆群体内 CO₂ 的层次分布和日变化

大豆结荚初期，我们在三个品种的两种植植密度群体的三个层高上，对CO₂浓度

的垂直分布进行了测定，结果如图 4 所示。

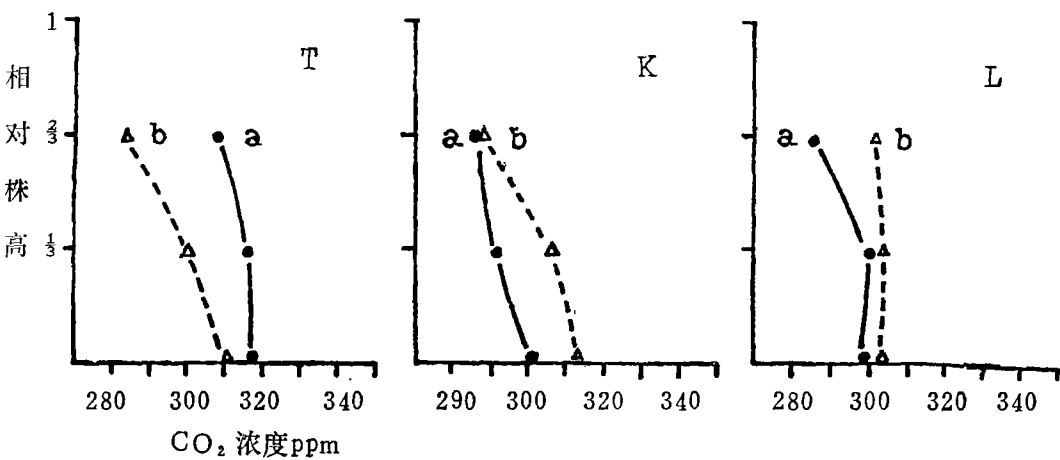


图 4 大豆群体内 CO₂ 浓度的垂直分布

品种与密度(株/亩)：铁丰 18 号 T_a-8000, T_b-10000；开育 8 号 K_a-8000, K_b-12000；辽农 3 号 L_a-8000, L_b-12000，测定时间：1982 年 8 月 2 日 9: 00-10: 00 时。

图 4 曲线表明，大豆群体内 CO₂ 浓度有越接近地面越大的趋势。这种分布规律显然与植株呼吸、光合器官对 CO₂ 的利用以及土壤有机质释放 CO₂ 等因素有关。观测还表明，CO₂ 浓度与品种的株型、叶层分布有较大的关系，但与种植密度的关系比较复杂，这些问题都有待进一步研究。

从我们两年的观测结果可以看出，大豆群体内 CO₂ 浓度有明显的规律性日变化(5 图)。

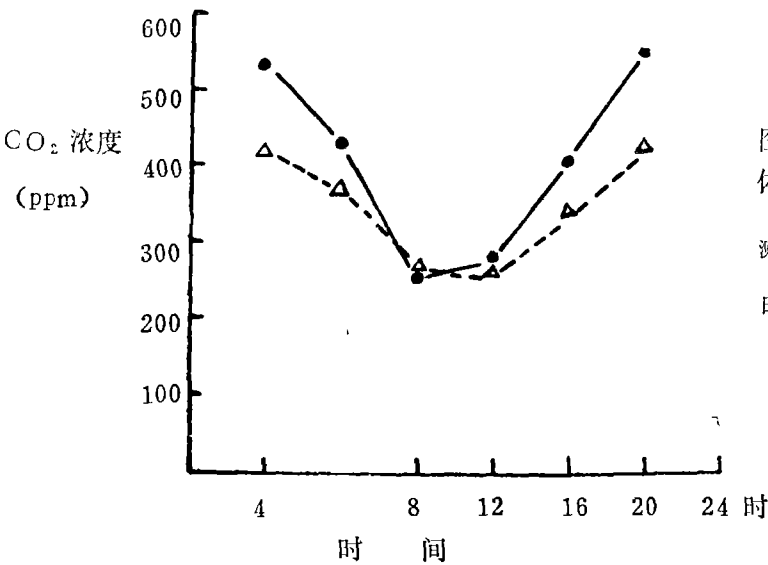


图 5 公斤大豆开育 8 号群体内 CO₂ 浓度的日变化
—●—: 1982 年 8 月 15 -16 日测定;
△-△: 1983 年 8 月 12-13 日测定。
测定部位: 株高之 $\frac{1}{2}$ 处。

午夜和凌晨,大豆群体内 CO₂ 浓度很高,这是因为在此期间CO₂有积累却无消耗所致。日出后,光合作用即开始,CO₂ 浓度逐渐下降;直至中午,光合作用旺盛,CO₂ 浓度降至最低值;傍晚日落后,光合作用停止,CO₂ 浓度又复上升,大豆群体内 CO₂ 浓度的日变化幅度很大,午间和午夜相差达 171.4~286.4 ppm。

中午前后,大豆群体内的 CO₂ 浓度已经大大低于空气中 CO₂ 的标准含量,换言之,在能量(阳光)充足的时候,原料(CO₂)不足是阻碍光合作用的重要因素。看来,通过改良株型和改善群体结构以加强群体内空气的对流,对于提高光合作用强度进而提高产量将会起到一定的作用。

表 3 大豆种植密度与植株性状和产量的关系

密度(1)(株/亩)	株 高 (厘米)	分枝数	分枝总长度 (厘米)	主茎节数	分枝节数	主茎荚数	分枝荚数	产量(斤/亩)
铁丰 18 号(2)								
6360	77.0	7.1	308.6	18.0	47.1	50.5	117.9	377
8460	79.6	6.1	253.1	17.0	27.5	47.6	64.8	383
10500	85.0	5.0	205.5	18.2	22.6	46.4	57.0	375
铁丰 18 号(3)								
5370	77.7	20.3	438.0	19.4	46.9	32.1	107.9	367
9760	86.5	11.3	244.4	17.6	24.2	26.5	52.9	340
12800	106.8	7.8	111.2	16.2	14.6	29.1	29.7	340
开育 8 号(2)								
9009	74.5	2.4	100.0	18.1	16.2	49.4	25.3	399
9800	77.5	1.2	57.8	16.4	7.6	57.0	14.7	417
10800	81.8	1.2	27.8	17.4	6.1	50.3	7.0	413
辽农 3 号(2)								
9160	86.3	3.9	211.3	19.0	28.7	57.1	65.0	461
10230	85.5	3.1	112.1	18.8	18.0	55.0	44.3	433
11760	86.5	2.2	83.3	17.0	7.8	54.1	20.1	443

注：(1) 系实际收获时的密度。(2) 1982 年资料。(3) 1983 年资料。

5. 大豆群体的调节机能和分枝的作用

大豆群体的自动调节能力是非常之大的。在中上等肥力条件下,在相当大的密度范围内,大豆的单位面积产量可以稳定在同一个水平上(表 3)。

从表 3 资料看出,随着密度的增大,株高有增长的趋势。主茎节数和荚数变化不大,而分枝总长度、节数和荚数显著减少。1982 年,铁丰 18 号、开育 8 号和辽农 3 号的实收密度虽然分别相差 4140、1800 和 2600 株/亩之多,籽粒产量的差异并未达到显著水准。1983 年,我们利用分枝性极强的铁丰 18 号,加大密度差距,再次试验。结果证

明, 密度相差 7430 株/亩, 籽粒产量差异也未达到显著水准。

表中资料还表明, 群体株数增加, 个体长势削弱, 在一定的条件下二者是成比例增减的。密度改变后, 受影响最大的是单株的分枝性状, 大豆群体的自动调节机能主要来自分枝。

6. 群体的自动调节与土壤的生态容量

1983 年, 配合田间密度试验, 我们还进行了盆栽密度试验。所得结果在一定程度上可以用来解释密度相差很大而产量相当稳定的原因。现将试验结果列于表 4。

表 4 盆栽大豆的植株生育状况 (1983 年, 三次重复平均)

处 理	叶 面 积 (厘米 ² /盆)	根 系 体 积 (厘米 ³ /盆)	植 株 总 重 (克/盆)	荚 数 (个/盆)	单 株 荚 数 (个)	籽 粒 重 量 (克/盆)
一盆一株	15620	227.0	318.5	351	351.0	76.0
一盆二株	17990	230.2	342.3	374	187.0	73.3
一盆三株	18010	212.8	339.8	418	139.3	79.2
一盆四株	16810	245.2	333.6	372	92.9	80.2

为了使叶片保留完全和根系不至于腐烂, 我们于鼓粒中后期 (9 月 1 日) 即把植株收获了下来, 并冲洗了根系。由上表可见。以一个盆为单位, 叶片面积和根系体积一同化物的源虽不相等, 但差异却不大, 每盆的植株总重、结荚数、籽粒重也比较相近。若以单株为单位, 则差异是极显著的, 这一点由平均单株结荚数即可看出。对于上述结果, 只能作出下面的解释: 土壤的供肥、供水能力 (生态容量) 相同, 每盆种植大豆的株数一定 (1 至 4 株, 密度再大则另当别论)。最终生物产量和籽粒产量也是“恒定的”, 这一恒定值的高低决定于一定体积土壤的生态容量的大小和一定数量植株的自动调节能力的大小。

如果我们把一亩耕地有条件地看作大约装有 30 万斤土壤的一个“盆”。那末它的生态容量当然决定着大豆的产量。可以设想, 不改变土壤的生态容量, 单纯改变大豆的株型和群体结构, 增产幅度将受到限制。总之, 在改变大豆株型和改善群体结构的同时, 必须提高土壤肥力。这是大幅度提高大豆产量的正确途径。

讨 论

1. 大豆的株型具有一定的稳定性, 但因栽培条件不同也发生变化, 株型变化的幅度因品种不同有很大的差异。在建立高产群体结构时, 对于这两点似应加以注意。大豆株型、群体结构与产量之间的关系十分复杂, 目前还很难说清楚究竟哪一种株型最佳, 哪一种群体结构最好。对此, 有待开展更广泛的研究。

2. 大豆群体是高度自动调节的系统。叶片的分布具有明显的镶嵌性。许多品种的分枝的多少、强弱和结荚状况因土壤肥力和种植密度不同而有较大的可塑性。确定种植

密度范围时，应当充分考虑到分枝的调节机能。当然，这种调节并不是无限的。

3. 大豆群体，在正常密度条件下，越接近下层，光照越弱，而 CO_2 浓度的分布则与之相反。从日变化来看，群体内 CO_2 浓度大的时候正是日落之后至翌日日出之前，而白昼，当光照强的时候，恰恰 CO_2 浓度又低，诚然光照的强弱和 CO_2 浓度大小有一定的因果关系；不过，作为光合作用的“能源”和“原料”，二者的不协调不能不影响干物质的积累。从这一点来说，改良株型、改良群体结构，加强群体中下层的光照，促进 CO_2 的对流，必定是有作用的。

4. 在土壤生态容量即供肥供水能力不变的情况下，同一大豆品种产量潜力发挥的程度不会有太大的变化。只有当土壤的生态容量提高之后，才可望显著地提高大豆的产量。此时，方能使大豆品种的优良株型和合理群体结构的作用充分地显现出来。

参 考 文 献

- [1] 尹田夫：1982，哈尔滨地区无限结荚习性大豆理想株型冠层模式的探讨，大豆科学，2，169—175。
- [2] 刘士达等：1963，大豆群体发展与田间小气候关系的初步探讨，农业气象研究报告选编（第二集），吉林省农业科学院，1979。
- [3] 张瑞忠等：1964，大豆植株密度试验研究，东北农学院学报，3，1—13。
- [4] 祝其昌：1960，密度与肥力对大豆主要性状落花落荚率及产量的影响，东北农学院学报，1，1—17。
- [5] 郝欣先：1983，关于北方夏大豆株型结构问题研究报告，大豆科学，1，49—57。
- [6] 常耀中：1981，大豆高产栽培的叶面积问题，中国农业科学，2，22—26。
- [7] 常耀中：1983，大豆群体合理摆布与产量关系的研究，大豆科学，2，132—139。
- [8] 董 钻：1981，大豆的器官平衡与产量，辽宁农业科学，3，14—21。
- [9] 玖村敦彦：1969，转引自《作物的光合作用与物质生产》，科学出版社，162—169。
- [10] Blad, B. L. etc: 1972, Orientation and distribution of leaves within soybean canopies. Agnon, J. 64, 26—29.
- [11] Johnston, T. T. etc: 1969, Influence of supplemental light on apparent photosynthesis, yield and components of soybean. Crop Sci, 9, 577—581.
- [12] Shibles, R. M. etc: 1965, Leaf area, solar radiation interception and dry matter production by soybean. Crop Sci, 5, 575—577.

STUDIES ON THE RELATIONSHIPS BETWEEN PLANT TYPE,
POPULATION STRUCTURE AND YIELD IN SOYBEAN
I. THE AUTOMATIC REGULATION AND THE DISTRIBUTION
OF LIGHT INTENSITY AND CO₂ IN SOYBEAN POPULATIONS

Dong Zuan Sun Zhuotao

(Shenyang Agricultural College)

Abstract

The experiments were conducted from 1979 to 1983. The results proved that the relationships between soybean plant type, population structure and yield were intricate.

1. Although the soybean plant type had certain stability, it was not immutable. The Line Tienong 7555—4—5—15—14 had fundamentally erect branches and little variation in its plant type when planted at different sites, while other varieties such as Tiefeng 18 were much varied in plant pattern.

2. The leaves and petioles of a soybean plant made conspicuous movement as they constantly adjusted their position with the change in sun's latitude angle and incidence direction in a day to achieve maximum light reception. The soybean leaves had a nearly completely random distribution and strong nature of interplacing.

3. The light intensity in a soybean population decreased sharply from the top to the bottom canopy.

4. The CO₂ concentration in soybean populations had the tendency to increase with the position of canopy from top to bottom. Within a day, the CO₂ difference between noon and midnight could be as high as 171.4—286.4 ppm.

5. The soybean plant population was a highly self regulating system. Under conditions of given fertility, the planting density might differ greatly, but the yield was almost the same. The automatically-regulating function mainly stemmed from the branching habit.