

# 大豆根系生长及其与产量的关系

傅金民 董 钻

(沈阳农业大学)

## 提 要

大豆根系和冠部的生长量动态均呈“S”曲线78%的根系集中于地表以下0—20cm和植株四周0—5cm的土体内。根量从地表向下依土层深度、从植株向外依侧向距离呈半对数函数曲线下降。调节种植密度和施用化学肥料可促控大豆根系和整株的生长。

## 前 言

大豆根系与植株生长和产量形成有密切的关系。“根茎众多，则花叶繁茂”（王充：《论衡》）。研究大豆根系的生长状况，对于认识大豆的产量形成有重要的意义。王金陵（1955）指出，大豆植株冠部高大必须具有强大的根系。据 R. L. Mitchell 等（1971）研究，当次生根侧向生长至40—50天时，长度可达35—40cm，然后转而向下生长。Stanley A. Barber（1978）的研究表明，大豆播后71—78天，根的总长度迅速增长，99—106天仍继续生长，尔后生长速度下降。T. C. Kaspar 等（1978）指出，大豆成熟之前，有些根仍然生长。徐豹等（1980）的研究证明，大豆小金黄1号根的最大干重出现在鼓粒盛期。董钻等（1982）的盆栽试验表明，根干重的增长呈“S”形曲线，但其减缓停止生长期到来的时间比冠部为早。一般说来，增施氮肥，冠根比增大，而多施磷肥则有利于根系生长。

1984和1985年，我们同时安排了田间试验和盆栽试验，探索了大豆根系的生长动态、环境条件和栽培措施对根系生长的影响、根系生长与产量的关系，获得了一些数据，现将试验结果作简要总结。

## 材 料 和 方 法

1984年，采用三因子完全随机区组设计。三个因子分别是品种、密度和肥料。品

本文于1987年4月6日收到。

This paper was received in April 6, 1987.

种有铁丰18号(有限型)、辽豆3号(亚有限型)和莫索(无限型)。密度分密植(1.0—1.2万株/亩或3株/盆)和稀植(0.6—0.8万株/亩或2株/盆)两个水平,铁丰18号密度较另外两品种少0.2万株/亩。肥料因子分施肥和不施肥两种。田间试验施肥区分别施有机肥1730斤/亩、硫酸铵20斤/亩和三料磷肥30斤/亩。盆栽试验每盆土肥重25斤,施肥处理的盆内施有机肥1斤、硫酸铵1.21g和过磷酸钙12g。1985年,采用三元二次正交旋转组合设计,三因子分别是密度、氮肥和磷肥,品种为开育9号。

1984年田间试验取样三次,1985年取样七次。取样时严格选择符合设计密度的植株,并以子叶节为界将植株剪断,分冠、根两部分。当天挖掘60×50×株距(cm)土体中的根系,用根筛筛去土壤,仔细检出细根。然后将植株各部分充分风干称重,计算冠、根重和冠根比。

试验土壤为草甸土,其理化性质如表1。

表1 试验土样的理化性质  
Table 1 Physical and chemical properties of experimental soil

采样地点 Sampling locality		有机质 Organical matter (%)	全 磷 Total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	速效磷 Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	缓效钾 Slowly avail. K <sub>2</sub> O	水解氮 Hydrolytic N	阳离子交换量 CEC.
				(毫克/100克土)		(mg/100g soil)	
田间试验土壤 Soil used under field experiment	0—20cm	1.90	0.11	0.42	102.00	7.98	11.13
	20—40cm	1.53	0.10	0.74	81.00	9.83	8.63
盆栽土壤 Soil used under pot experiment	1985	2.08	0.08	0.50	100.00	13.80	14.75
	1984	1.50	0.04	0.50	78.20	8.00	—

结 果 与 分 析

一、大豆根系的生长

1. 大豆开育9号生长发育动态

1985年盆栽试验共取样七次,计算了各器官风干重、根系吸收面积、根体积和根风干重的增长动态。结果表明,大豆开育9号各器官的增长动态呈“S”形曲线。其方程为:

$$y(x) = \frac{c}{1 + e^{(a+bx)}}$$

式中,y(x)为目标函数,x为出苗后周数,a、c为常数,b为四归系数。方程检验表

明, 拟合程度均达到显著或极显著水平。

图 1 是冠部重的“S”形增长动态曲线, 方程为:

$$y(x) = \frac{168.92}{1 + e^{7.05 - 0.729x}}$$

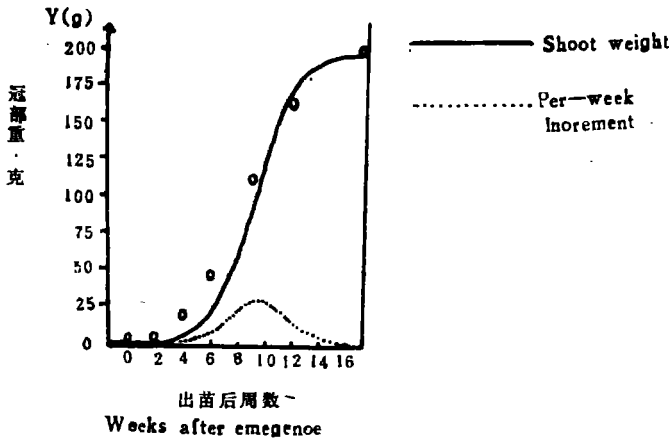


图 1 冠部重增长动态

Fig. 1 Accumulative tendency of shoot weight

区的根深、根宽和侧生根长度的平均值分别是 13.63、2.55 和 3.53cm。出苗期直根的生长速度为 1.36cm/天。根干重增长也呈“S”形曲线, 其曲线方程为:

$$y(x) = \frac{18.65}{1 + e^{4.14 - 0.49x}}$$

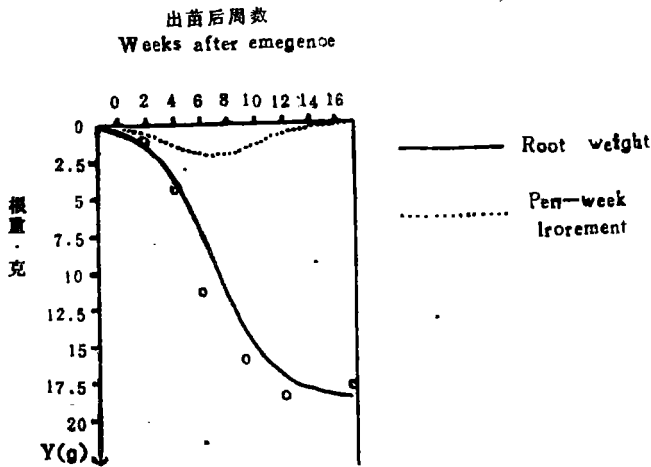


图 2 根部重增长动态

Fig. 2 Accumulative tendency of root weight

从图 1 可以看出, 分枝期(出苗后 4 周)前, 冠部重增长极其缓慢。出苗后 2 周之前, 每周增长量不足 1g, 分枝至结荚鼓粒期(出苗后 12 周), 冠部重呈直线增长, 以后重量增长缓慢直至停止增长。周最大增长量出现在开花期, 约在出苗后 10 周, 周增长量为 33.6g。

大豆发芽后, 根系迅速向下伸展。据 1985 年测定, 出苗时, 12 个零水平试验小

图 2 中的根重增长曲线可以分为三个阶段：（1）缓慢增长阶段（出苗至出苗后 4 周）。此期的根重占后来总根重的 23.4%。（2）直线增长阶段（出苗后 4—12 周），

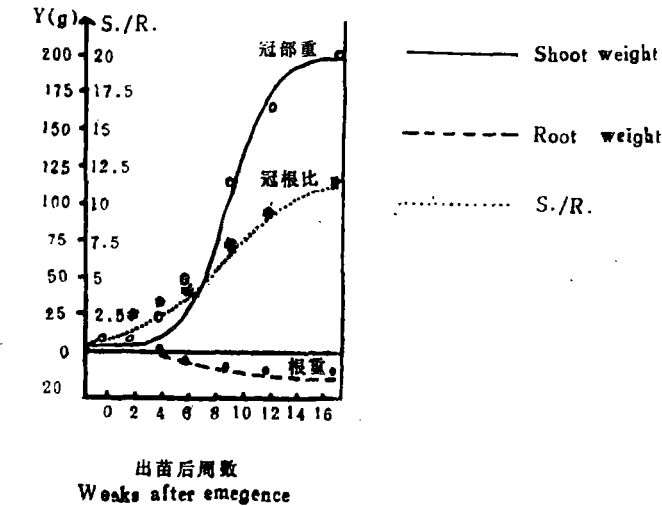


图 3 冠根比增长动态  
Y<sub>1</sub>——冠部重 Y<sub>2</sub>——根重 Y<sub>3</sub>——冠部比  
Fig. 3 Accumulative tendency of shoot/root

即分枝期至结荚鼓粒期，绝对根重迅速增加。这一时期形成的根重占总根重的 71.01%。（3）减缓至停止增长期（出苗后 12—17 周），即结荚鼓粒期至落叶期。根重增加极少以至不再增加。1984 年田间试验中每亩根系干重达 44.4 kg，1985 年则为 36.7 kg。

图 3 是根据 1985 年盆栽试验资料绘制的。从总趋势来看，在大豆一生中冠根比是逐渐增大的。分枝末期（出苗后 6 周）之前，冠根比比比较小。分枝期之后，冠

根比呈直线上升，生育后期稍有减缓。

如前所述，大豆各器官的增长动态均呈“S”形曲线。但是，各器官的增长并不是同步的。表 2 是各器官的最大周增长量及其出现时期。在冠部各器官中，叶柄最大周增

表 2 大豆各器官最大周增长量及出现时间  
Table 2 Maximum increament perweek and its appearing stage

项 目 Items	根吸收面积 Absorptionarea of root (m²)	根体积 Root volume (cm³)	根 重 Root weight (g)	叶 重 Leaf weight (g)	叶柄重 Petiole weight (g)	茎 重 Stem weight (g)	冠部重 Shoot weight (g)	冠根比 Shoot/root
最大增长量 (每周) Maximum inc- reament (per week)	18.55	13.70	2.28	8.27	6.62	13.96	34.13	1.07
出现时期 (第几周) Appearing stage (weeks emer- gence)	7.33	7.23	8.45	10.49	11.34	9.87	10.78	10.35

长量出现时期稍晚，而叶重、茎重和冠部总重最大增长量均在第 10 周前后。与地上器官相比，根重、根体积达到最高值的时期较早。

我们还用 1985 年田间试验资料分析了地上各器官重和冠根比的增长动态。结果表

明也呈“S”形曲线。分枝末期之前正是幼苗生长阶段,主根下扎,侧生根平伸生长,是以根系为生长中心的时期。进入分枝期之后,地上部分生长旺盛,反过来又促进了根系的生长和发育。同样,发达的根系又成为地上部生殖生长的重要条件。由此可见,为了获得较高的大豆产量,应在最大需肥时期到来之前增施肥料。早期要促进根系早生快发,后期又要保证根系不早衰。

## 2. 根系活跃吸收面积占总吸收面积的百分比

人们常常把活跃吸收表面积、总吸收表面积以及二者的比值作为衡量根系吸收性能的三个指标。本试验的二年结果表明,大豆根系活跃吸收面积占总吸收面积的百分比大致等于 45 (1984) 到 50 (1985) (表 3)。

表 3 根系活跃吸收面积占总吸收面积的百分比

Table 3 Percentage of active absorption area in total absorption area

年 份 Years	方 法 Methods	项 目 Items	变 化 范 围 Variation range	平 均 值 Average value	95%置信区间 Fiducial interval of 95%
1984		不同生育时期 Defferent growing stage	43.14—48.95	45.68	44.86—47.27
		不同处理 Defferent treatment (8/3)	38.72—47.71	45.78	43.30—48.10
1985		不同生育时期 Defferent growing stage	49.22—50.47	49.97	49.64—50.30
		不同处理 Defferent treatment (8/3)	48.86—50.41	49.86	49.17—50.00

表 4 盆栽条件下的比表面积

Table 4 Ratio of total absorption area to root volume under pot experiment

年 份 Years	方 法 Methods	项 目 Items	变 化 范 围 Variation range	平 均 值 Average value	95%置信区间 Fiducial interval of 95%
1984		不同生育时期 Defferent growing stage	0.980—1.062	1.010	0.992—1.028
		不同处理 Defferent treatment (8/3)	0.893—1.115	1.007	0.971—1.043
1985		不同生育时期 Defferent growing stage	0.930—1.316	1.302	1.295—1.309
		不同处理 Defferent treatment (8/3)	1.286—1.327	1.293	1.294—1.302

3. 比表面积

我们于1984年四次取样、1985年七次取样，比较了根系吸收表面积和根体积的比值（即比表面积）的变化（表4）。这一指标的高低说明单位根系吸收养分和水分的能  
力。结果表明，大豆的不同生育时期以及同一时期的不同处理，比表面积差异并不很  
大。根系吸收表面积和根体积是随着植株的生长而同步增长的。

二、大豆根系在土壤中的分布

1. 大豆根系的层次分布

表5是1984和1985年结荚鼓粒期的观察结果。从表5可以看出，根重随土层加深而  
递减，而且递减的幅度是非常大的。40—50cm土层的根重仅为0—10cm土层根重

表5 不同土层的根重及其占0—40cm土层总根重的百分比  
Table 5 Percentage of root weight of soil layer in total root  
weight of 0—40 cm soil layer

土层深度							
项 目 Items	年 份 Years	Soil depth (cm)	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50
根重 (公斤/亩) Root weight (kg/μ)	1984		37.10	9.55	3.96	0.84	—
	1985		29.63	4.47	1.74	0.50	0.27
占总根重的百分比 Percentage of it in total root weight	1984		72.11	18.56	7.70	1.63	—
	1985		81.55	12.29	4.78	1.38	0.74

表6 不同生育时期和不同侧向距离的根重及其占总根重的百分比  
Table 6 Root weight percentage of it in total root weight and  
lateral distance at different growing stage

项目 Items	生育时期 Growing stage	侧向距离 Lateral distance (cm)	0—5		5—10	10—15	15—20	20—25	25—30
			主 根	侧 根					
			Top root	Lateral root					
根重 (每斤/亩) Root (kg/μu) weight	花 期 Flowering stage	18.17	9.03	1.04	1.50	1.53	0.91	0.65	
	结荚鼓粒期 Pod-forming and pod filling stage	20.10	9.28	2.28	2.63	1.43	1.33	0.68	
占同期根重的(%) Percentage of it in total root weight of same stage (%)	花 期 Flowering stage	55.26	27.62	3.16	4.56	4.65	2.77	1.93	
	结荚鼓粒期 Pod-forming and pod filling stage	53.73	24.03	6.03	6.02	3.92	3.52	1.80	

的0.91%(1985)。如果把0—40cm土层的根重作为100%,则1984和1985年0—20cm土层的根重分别是90.67%和93.84%。20cm以下土层根系数量虽少,但它们伸入较深和较紧实的土壤之中,对于吸收和利用土壤下层的养分、水分起着重要作用。

## 2. 大豆根系的侧向分布

1985年,我们在大豆开花期(7月13日)、结荚鼓粒期(8月3日)以植株为中心,按一定距离挖掘50cm深土柱,观察了根系的侧向分布,结果列于表6。

从表6资料看出,大豆根系在土壤中的侧向分布有下列特点:(1)根重从植株向外依侧向距离增加而大幅度递减。根重的77.77—82.88%集中在离植株0—5cm的土柱内,其中主根占同期根重的53.73—55.26%,侧根占24.03—27.62%。(2)与相邻土柱相比,10—20cm土柱的根重比较大,特别是在花期更为明显。(3)从开花期至结荚鼓粒期,根系生长主要发生在距植株5—15cm的区域。

开花期和结荚鼓粒期的根重,从植株向外依侧向距离呈半对数函数曲线递减,即:

$$\lg y = a + bx$$

利用两期测定资料配制的曲线方程分别为:

$\lg y = 1.31 - 0.06x$  和  $\lg y = 1.43 - 0.06x$ 。方程检验达到极显著水平,相关比分别为0.96和0.98。

据王金陵(1955)观察,大豆根系的基本形貌呈钟罩形。我们二年的观察结果证实了这一结论。在田间培土的条件下,支根主要由地表下5—20cm处的主根上分生出来而从20cm以下的主根分生的支根很少,并多为线形细根。

## 三、环境条件对大豆根系的影响

### 1. 密度

表7 不同密度下大豆单株根系及地上部性状(1984,克/株)

Table 7 Performance of root system and plant parts of single soybean plant under different planting density (1984, g/plant)

处 理 Treatments	项 目 Items	田 间 试 验 Field experiment			盆 栽 试 验 Pot experiment			
		6月27日	8月8日	9月19日	6月15日	7月12日	8月3日	8月31日
密 植 Close planting	地 上 重 Shoot weight	9.78	67.55	90.33	11.38	37.69	53.04	38.60
	根 重 Root weight	2.10	5.24	4.20	1.43	4.90	6.22	6.02
	籽粒产量 Yield	16.38			9.51			
稀 植 Sparse planting	地 上 重 Shoot weight	9.48	80.10	112.00	14.02	41.90	71.41	59.92
	根 重 Root weight	1.92	6.15	4.81	1.43	5.64	9.13	9.86
	籽粒产量 Yield	24.80			15.23			

(注:密植保苗株数:1.0—1.2万株/亩或3株/盆。稀植保苗株数:0.6—0.8万株/亩或2株/盆。)

表 7 中资料表明,大豆单株地上部重、地下部重和产量等均随栽培密度的增加而降低。同时,这种个体发育受群体抑制的现象是随生育时期的推进而加剧的。

我们再将大豆群体根重、冠部重和产量列于表 8 中,与表 7 中数据作一比较,可以看出,虽然大豆个体根重、个体地上部重、个体产量均随密度增加而降低,但是,群体的亩产量变化并不大。在盆栽条件下,全盆根重及地上部生物产量变化也不大。

表 8 不同密度下大豆群体根系及地上部性状 (1984)

Table 8 Performance of root system and plant parts of soybean population under defferent densities condition (1984)

处 理 Treatment	项 目 Items	田间试验 (公斤/亩) Field experiment (kg/mu)			盆栽试验 (克/盆) Pot experiment (g/pot)			
		6月27日	8月8日	9月19日	6月15日	7月12日	8月3日	8月31日
密 度 Close planting	地上重 Shoot weight	111.68	766.98	943.6	7.79	34.58	72.60	118.98
	根 重 Root weight	24.82	58.96	47.3	4.45	13.69	18.68	18.05
	籽粒产量 Yield	185.28			28.51			
稀 植 Spasse planting	地上重 Shoot weight	69.35	579.52	677.4	5.47	29.82	71.82	109.66
	根 重 Root weight	12.42	44.04	34.76	2.93	11.29	18.28	19.73
	籽粒产量 Yield	178.96			30.45			

表 9 施肥对大豆群体根系和地上部性状的影响 (1984)

Table 9 Effect of applied fertilizer on the performance of root system and shoot of saybean (1984)

处 理 Treatments	项 目 Items	田间试验 (公斤/亩) Field experiment (kg/mu)			盆栽试验 (克/盆) Pot experiment (g/pot)			
		6月27日	8月8日	9月9日	6月15日	7月12日	8月3日	8月31日
施 肥 Apply fertilizer	地上重 Shoot weight	111.93	774.54	935.49	10.27	44.42	101.80	160.60
	根 重 Root weight	21.59	452.95	45.61	4.93	14.44	22.44	19.78
	籽粒产量 Yield	184.33			17.46			
不 施 肥 No fertilizer	地上重 Shoot weight	68.50	571.96	755.46	2.98	19.97	42.63	68.04
	根 重 Root weight	15.73	50.03	36.45	2.46	10.54	14.50	17.99
	籽粒产量 Yield	179.91			7.27			



## 2. 肥料

1984年试验结果(表9)表明,在盆栽条件下,施肥处理的根重、地上部生物产量

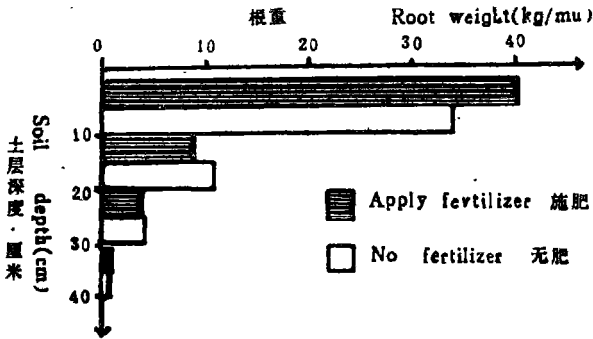


图4 种肥对大豆根系层次分布的影响

Fig. 4 Effect of seed fertilizer on stratified distribution of root system of soybean

和籽粒产量明显地高于不施肥处理。在田间条件下,施肥处理的根重、地上部生物产量也明显地高于不施肥处理,但是籽粒产量差异不大。这可能是土壤肥力不同,大豆的经济系数也不同的缘故。

从图4可以看出施用种肥对大豆根系分布的影响。0—10cm土层中的根重,施种肥处理大于不施肥处理;而10—20cm中则相反,施种肥处理小于不施肥处理。以下各层,差别不大。

## 3. 品种

1984年盆栽试验表明,不同大豆品种的根重和吸收表面积有明显的差异( $F=10.20^*$ ,  $F=12.47^{**}$ )。据我们观测,在相同的种植条件下,铁丰18号的根重和表面积最大(14.82g/盆, 122.04m<sup>2</sup>/盆),辽豆3号次之(14.37g/盆, 102.93m<sup>2</sup>/盆),莫索最小(10.92g/盆, 87.66m<sup>2</sup>/盆)田间试验也获得了与盆栽试验相类似的结果。由于根系性状的差异,这些品种植株的地上部的繁茂程度也不相同,铁丰18号最繁茂,辽豆3号次之,莫索较差。

# 四、大豆根系与冠部的关系

## 1. 根重与冠部的相关分析

大豆植株是一个整体,各器官的生长发育及其生理过程是相互关联、相互影响的。本试验结果(图5)表明,根重与叶重、叶柄重、茎重有显著的正相关。茎叶生长旺盛,必须有强大的根系作保证。

## 2. 根、冠性状与产量的相关分析

我们应用1984年的试验资料,分析了产量与根部和冠部性状的相关和偏相关。结果表明,产量与出苗后12周以前的根重有显著或极显著的偏相关。大豆生长发育的中前期保证根系生长良好对提高产量是有积极作用的。

比较偏相关系数还可以知道,生育前期,影响产量的主导因素为叶;到开花结荚期(出苗后9—12周),根系上升为主导因素;生育后期,茎重(包括荚重)为主导因素

因此,田间管理措施应当是:前期促叶,中期促进根系生长,后期则应促进有机物质向籽粒转运。

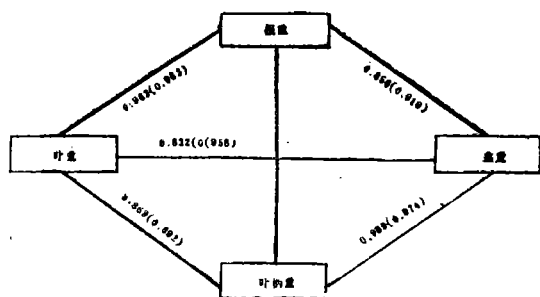


图5 根重和冠部性状的相关系数 (1985)

(注: 括弧内为田间试验结果  $r_{0.01}, 6 = 0.834$

$r_{0.05}, 6 = 0.707$

无括弧者为盆栽试验结果  $r_{0.01}, 10 = 0.708$

$r_{0.05}, 10 = 0.576$ )

Fig. 5 Correlation coefficients between root weight and characters of shoot (1985)

壤中根重极少。根重从地表向下依土层深度和从植株向外依侧向距离呈半对数函数 ( $\lg y = a + bx$ ) 下降。

3. 大豆品种、密度、肥料等环境条件对根系有很大影响。大豆单株的根重和茎、叶重均随栽培密度的增加而降低。在贫瘠的土壤中,施用一定量的化学肥料,可促进大豆根系和地上部的生长。单株根重和产量随土壤的增加而增加,呈很好的直线关系。在大豆高产栽培中,选择优良品种、配合施用一定量的化学肥料,增加土壤生态容量具有重要意义。

4. 大豆根系活跃吸收面积占总吸收面积的百分比和比表面积比较稳定,在本试验中,前者为45—50%,后者为1.00—1.30。

## 结 语

1. 大豆整个植株和各个器官(包括根)的增长动态呈“S”形曲

线,即:  $y = \frac{C}{1 + e^{-(a+bx)}}$ 。但是,

根部性状(包括根重)的最大周增长量比冠部器官来得早,根系的减缓增长期也比冠部为早。可见,根系是大豆植株发育比较早的器官。

2. 绝大部分根系集中在距地表0—20cm和距植株0—5cm的土体内。20cm以下和5cm以外的土

## 参 考 文 献

- [1] 王金陵, 1955, 大豆根系的初步观察, 农业学报, 6卷, 3期。
- [2] 徐豹等, 1980, 大豆根系的研究。I. 大豆根系发育的初步研究, 单行本, 吉林省农业科学院。
- [3] 董钻等, 1982, 盆栽条件下大豆冠根比研究初报, 吉林农业科学, 4期。
- [4] Kaspar, T. C.; Stanley, C. D.; Tarler, H. M.; 1978, Soybean root growth during the reproductive stages of development, Agronomy Journal, 10(6):
- [5] Mitchell, R. L. and Russell, W. J.; 1971, Root development and rooting patterns of soybean evaluated under field conditions, Agronomy Journal, Vol. 63, March-April.
- [6] Stanley A. Barber; 1978, Growth and nutrient uptake of soybean roots under field conditions, Agronomy Journal, Vol. 70, May-June,

## STUDIES ON ROOT GROWTH AND RELATIONSHIPS BETWEEN ROOT AND YIELD IN SOYBEAN

Fu Jinmin Dong Zuan

(*Shenyang Agricultural University*)

### Abstract

Study on root system of soybean were carried out by means of randomized complete block design in 1984 and orthogonal rotation combination design in 1985. The results showed that the root system of soybean is approximately bell-shaped. The accumulative tendency of growth volumes and associated with the biological yield at the soybean root and organs above ground are S-shaped. 78% (1985) of the root concentrated in the soil core which is 0—20 cm depth under soil surface and within 5 cm radius around the plant. The root weight decreases by the equation  $\lg y = a + bx$  for downward and lateral direction growth. In many cases, the growth volumes of root system and shoot of single plant decrease as plant density increases. Applying a definite amount of fertilizer can promote the growth of both the root system and the whole plant of soybean.