

# 大豆肥田机制的研究<sup>\*</sup>

## I .大豆生育过程中新老根系的更替

沈昌蒲 龚振平 王国义 赵福华

(东北农业大学 150030)

**摘要** 通过三种研究方法,证实了大豆从苗期开始已有老根不断腐解和新根不断生出的更替现象。通过方格差值法,在大豆生产期中进行五次测定,结果证明,6-8月之间大豆在田间每  $0.0175\text{m}^3$ ,50cm 深度至少有 1130.6m 根长和 255.6 个根瘤在土壤生存和更替过。文中对大豆根系更替原因做了初步的分析。

**关键词** 大豆;根长密度;新老根系更替

## 0 前言

大豆后茬作物播种前不需耕整地,说明大豆生育在土壤中创造了适宜耕层结构和良好水气状况。王国义(1992)比较了玉米和大豆收获后耕层土壤的微结构。在土壤切片中观察到玉米茬土多呈撕裂状孔隙,透明度极差,而大豆的土壤切片中有明显的多级复合团聚体和多级土壤孔隙。玉米和大豆收获后土壤结构的差别显然是在它们生育期间的根系对土壤的作用不同,即玉米和大豆的根系特性不同。Russell E. W 认为主根发达的作物如豌豆类作物根系所产生的最大压力可达 5-10b,而禾谷类作物根系在小得多的土壤压力下几乎就会停止生长。同时它们的根型也不同。玉米的根系多直根,分枝根较少,而大豆主根上分枝根较多,根型呈网状。此外,最明显的是大豆有共生固 N 菌,它和大豆根系共同的分泌物显然与玉米不同。

通过上述比较和分析,大豆土壤切片上有多级复合团聚体形成至少需要具备两个基本条件:土壤或团聚体有不断被分隔,而又被挤压在一起的力能,其次在土壤颗粒或团聚体被分隔的同时,给根系孔道中遗留有机胶体,增加了土壤颗粒间或团聚体间的胶结性和水稳性。大豆土壤切片上有多级复合团聚体和透明度好,可能大豆根系有分隔土壤和同时给根系孔道遗留了有机胶体。那么,就要首先要证明大豆根系有较频繁的老老更替,在土壤颗粒或团聚体内外有较频繁的穿插和挤压过程。

本试验的目的在于探索大豆生育过程中新老根系的更替定性和定量的状况。

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助的项目。

## 1 材料和方法

要探索大豆根系在生育过程中新老根系的更替,在测试技术上有许多困难,因此我们采取了三种特殊的技术。

### 1.1 培养液栽培法

在每大烧杯的溶液中固定一株生出第一对本叶的大豆根株,6次重复。种子和烧杯均经过灭菌,但接种根瘤菌,观察大豆根系生长状况,并以玉米为对照。

### 1.2 Leeper G. W 接触还原法

将大豆幼苗根部紧夹在褐色的用  $0.01\text{mol}$  高锰酸钾溶液浸透的滤纸间(外边用硬夹板固定),滤纸的下端浸在 Hougland 大豆培养液中,使大豆根系能继续生长。硬夹放在有日照处。隔一定时间打开板夹观察大豆根系对氧化锰的还原状况。

### 1.3 方格差值法

取常规种植的大豆单株,按其在茎体上分布体积  $5 \times 70 \times 50\text{cm}$ ,横向将  $70\text{cm}$  茎距分为 7 格,每格相距  $10\text{cm}$ ,纵向分为 5 格,每格  $10\text{cm}$ ,即深到  $50\text{cm}$ 。在大豆不同物候期,按方格分别取土样,冲洗和检出大豆根系及根瘤。重复三次,取其平均值记录在方格纸上。以后在同一垄上继续取单株分格取土样(33格)。以大豆植株为中心,将其两侧相应方格加在一起共 20 个方格表示。测定的数据在方格中记录方法:如比前次本方格中增加了、减少了或未增减时,分别以 +、- 和 0 表示。其增减数值在总计中列出。

## 2 结果和讨论

### 2.1 大豆培养液栽培

大豆在培养液中生长,其根系环境改变了,没有根毛着生。侧根从主根上生出,呈 4 出型,如生出 11 条侧根时,其中第 1 和第 7 条根在一垂直线上,第 2 6 9,第 3 5 8,第 4 10 和 11 分别在三条垂直线上。侧根初始伸展与主根呈  $45^\circ \sim 60^\circ$  度角,碰到烧杯壁后急转直下呈钟罩形。从  $V_1$  期开始,就可以看到杯底有较多的絮状物质,呈淡黄色。从  $V_2$  期开始每日均有根的脱落物,有的只剩下呈透明的丝状物质,而且这一过程是从侧根根尖部位开始,逐渐向侧根基部推进以致脱落。然后可以看到靠近脱落侧根部位长出新侧根。在田间取土样时,也观察到有  $10\% \sim 20\%$  的根系有这种情况(图 1)。从  $V_3$  期开始,杯底的絮状物增加不明显。自开花期开始,杯底出现了大量絮状物,而且培养液的颜色逐渐由无色加深呈淡黄色。玉米根系在培养液中生长,几条主根粗壮,侧根不多,不似大豆多级侧根构成网状。玉米根系多直下延伸,横向分布少,但着生少量根毛。杯底脱落物和分泌物显然比大豆少,而且多集中在苗期,未观察到有新老根系的更替。由此证明,大豆根系在生育期间代谢极为旺盛。由杯底絮状物的增厚和培养液由白变黄,可以推断大豆根系的新老更替和分泌物有两个高峰,一是苗期,一是开花期。

### 2.2 Leeper 接触还原法

Leeper的接触还原的原理是,作物根系的分泌物能还原与其直接接触的非溶性氧化物。接触四天后可在滤纸上根系的两侧观察到由褐色变白的“根迹”。其化学反应式:

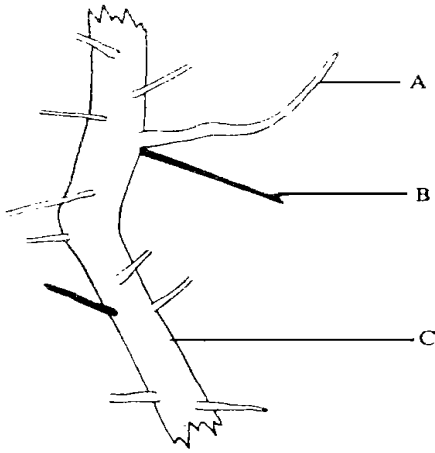
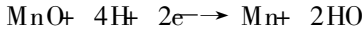


图 1 大豆根系交替

Fig. 1 The regeneration of soybean roots

A 新生小侧根 New small branch root

B 枯萎小侧根 Withered small branch root

C 主根或大侧根 Main root or big branch root

由于我们的目的是观察大豆根系的新老更替,是把滤纸的下端露在板夹下边并浸在营养液中,充足的水分和养分可藉滤纸的毛细管源源上升至夹中的大豆根系。经过 16 日后,地上部又展出两对真叶。这时,开夹观察到大豆根系出现三种情况。第一,在开始处理时大豆主茎附近褐色滤纸,出现了极窄的白色“根迹”,说明这部份茎也有分泌物排出,其次,从主根上新生出五条有根毛密集分布的新根,将与其接触的褐色滤纸还原出上宽下窄的明显的“根迹”第三种情况是处理时的幼嫩侧根外只剩下已被还原的“根迹”和根瘤的白色圆点(根迹),而该根系及根瘤已消失。说明在 16 日期间已出现大豆根系的新老更替。

### 2.3 方格差值法

上述两个根系研究法是对大豆根系新老更替的定性研究。运用方格差值法是对大豆根系新老更替进行的初步定量研究。由于运用方格的冲洗根系及检出土壤中夹杂物的工作量较大,因而从大豆苗期至鼓粒期只进行了五次取样,有四次差值可资统计。每次取样均按每个方格分别掘出,共计 33 个样本并进行三次重复,为节省篇幅,将大豆主干两侧各方格中的根系并在一起,相当共有 20 个方格,取各方格的平均值列于表中。

#### 2.3.1 大豆苗期至分枝期的根长密度及根瘤数

大豆出苗后 20 天左右,其根系分布在 12 个方格中(表 1)。横向分布达到垄肩,纵向分布已达 40cm。其中以主根最长,尤以主根 0—5cm 土层第一级侧根多,根第密度达 92.5cm。而在主根上着生 23 个根瘤。总根长 317cm。

大豆出苗后 40 天左右达到分枝期,大豆此时根系分布到 15 个方格中(表 2),深度达到 50cm,主根上的根瘤已达到 40cm 土层。从苗期至分枝期,根系向纵深发展,侧根分枝多,横向 40cm 以下各层次根长密度都呈 4—10 倍增加,总根长密度增加 5 倍。根瘤已普遍达 20cm 土层。从每一个方格中可看出,都是正号没有负号,这并不是没有老根死亡。可能是由于分枝期地上部逐渐繁茂,向根系输送养分多,促进根长旺盛生长,从而掩盖了老根消失的数量。从溶液法及接触还原法都已证明苗期有更替现象,只是消失的相对少,新

生的相对的多。

表 1 大豆苗期根系分布 (6月 9日 )

Table 1 Distribution of soybean roots density and nodule at seedling stage(9/June)											
土壤深度 (cm) Soil depth	距株中心 cm 0- 5	From the center of plant cm 5- 15	15- 25	25- 35	总计 To tal	土壤深度 (cm) Soil depth	距株中心 cm 0- 5	From the center of plant cm 5- 15	15- 25	25- 35	总计 To tal
0- 10	23 92.5	37.7	32.6		23 162.8	30- 40	4.7		6.0		10.7
10- 20	61.7	29.6	26.7		118.0	40- 50					
20- 30	20.0	3.8	1.7		25.5	总计 Total	178.9	51.1	67.0		23 317

注: <sup>23</sup>  
92.5 23为根瘤数,92.5为根长密度。

表 2 大豆苗期至分枝期根长密度和根交谈九的差值 (9- 28/6月 )

Table 2 Differential value of soybean root density and modules from seedling to branching (9- 28/June)											
土壤深度 (cm) Soil depth	距株中心 cm 0- 5	From the center of plant cm 5- 15	15- 25	25- 35	总计 To tal	土壤深度 (cm) Soil depth	距株中心 cm 0- 5	From the center of plant cm 5- 15	15- 25	25- 35	总计 To tal
0- 10	+	+			+ 21.0 + 680.8	30- 40	+	+			+ 1.0 + 109.6
10- 20	+	+	+		+ 40.0 + 440.8	40- 50	+	+	+		+ 36.3
20- 30	+	+			+ 4.0 + 340.0	总计 total	+ 21 + 486.1	+ 29 + 598.7	+ 16 + 524.7		+ 66.0 + 1607.3

2.3.2 分枝期至开花期大豆根长密度和根瘤数的消长

从表 3可看出,大豆根系明显地向深广伸展,而主根直下增长减缓,且有大量消失,从根瘤消失得以证明 从距中心 5- 15cm的土柱上土壤表层根系也有消失,这时根长横向分布已生长至垄沟中,而且生长迅速,繁茂。15- 35cm土柱共增长 1557.7cm,占总根长密度 76%,使整个根系呈钟罩形分布。从培养液法中看大豆根系分布,以主根上端的侧根横向伸展最长,其上第 2 3级侧根也较多,其伸展到烧杯壁时才折向下,说明根系呈钟罩形是因两行大豆的根系在垄沟中汇集转而向下伸展的缘故。C. D. Raper等 (1970)认为,条播大豆主根处的第一级侧根生长至行间时遇到其它邻行根系时就转而向下呈钟罩形,而单株生长的大豆主根上第一级根系只略微有些倾斜,不呈钟罩形。大豆开花期是地上部和根系旺盛生长时期,总根长密度增加了 2024.1cm,根瘤生长 16.5个。但就各方格看来,如最明显的 0- 10cm土层根长密度由 842.8cm(162+ 680.8)减少了 312.8cm,即消失了至少 312.8cm和 26个根瘤。实际上消失的不止 312.8cm,例如在封垄后的清晨,在垄肩上可观察到有伸出土壤表面的大豆幼嫩侧根,有的仅露出根尖,有的根尖又伸入土壤,在垄肩上露出一个根段,但至午后,这些裸露的根系均已消失,次晨仍有此现象,说明在 0- 10cm土层中有明显的日更替。

2.3.3 开花期至结荚期大豆根长密度及根瘤数的消长

8月初旬高温少雨,土壤出现旱象。从表 4中可看出,根长密度和根瘤消失较多。在 20  
表 3 大豆分枝期至开花期根长密度和根瘤数的差值(28/6月- 21/7月)

Tablte 3 Differential value of soybean root density and nodules  
from branching to flowering(28/June- 21/July)

土壤深度 (cm)	距株中心 cm	From the center of plant cm	土壤深度 (cm)	距株中心 cm	From the center of plant cm
Soil depth	0- 5	5- 15	15- 25	25- 35	总计 To tal
0- 10	-	-	+	-	26. 0
	-	-	-	-	312. 6
10- 20	-	+	-	+	9. 0
	+	+	+	+	853. 9
20- 30	-	+	+	+	28. 5
	+	+	+	+	738. 3
30- 40	-	+	+	+	50
	+	+	+	+	458. 5
40- 50	+	+	+	+	286. 0
总计	- 16. 5	+ 3. 0	+ 23	+ 7. 0	+ 16. 5
Total	+ 50. 4	+ 416. 2	+ 676. 9	+ 880. 6	2024. 1

个方格中有 13个方格的根长密度是负数, 11个方格的根瘤减少, 20- 40cm,如 15- 25cm  
土柱一侧减少 249. 6cm,向另侧增加 83cm,总计量 - 166. 6cm 根长密度增长的不如消失  
的多。但在右侧的垄沟中(25- 35cm)可能较湿润,根长及根瘤增长较多,如 15- 25cm土  
柱一侧减少 249. 6cm,而另一侧增加 83cm,总计量是 - 166. 6cm 垄沟中的根长占总根长  
的 43%,“大豆开花,垄沟摸虾”说明垄沟有充足水分的重要性。而垄沟和垄肩,尤其是在  
左侧有 360cm根长消失,但这时根长及根瘤总的还是均有增长

表 4 大豆开花期至结荚期根长密度和根瘤数的差值(21/7月- 8/8月)

Table 4 Differential value of soybean root density and nodules  
from flowering to podding(21/July- 8/August)

土壤深度 (cm)	距株中心 cm	From the center of plant cm	土壤深度 (cm)	距株中心 cm	From the center of plant cm
Soil depth	0- 5	5- 15	15- 25	25- 35	总计 To tal
0- 10	-	+	-	+	4. 0
	+	+	-	+	61. 8
10- 20	-	+	-	+	2. 1
	+	+	+	-	19. 0
20- 30	+	-	+	+	10. 0
	+	+	+	+	3. 1
30- 40	+	0	+	-	0. 1
	-	-	-	+	36. 6
40- 50	+	+	+	+	4. 0
	+	+	+	+	110. 0
总计	- 9. 3	+ 10. 0	- 6. 5	+ 21. 6	+ 15. 8
Total	+ 165. 0	+ 12. 1	- 166. 6	+ 140. 6	+ 151. 1

2.3.4 结荚期至鼓粒期根长密度及根瘤数的消长

大豆鼓粒期的根量一般开始逐渐减少。由于 8月中下旬有多次小雨,增加了土层的含  
水量,尤其是 10- 30cm土层,不论是纵向或横向,根长反而旺盛生长起来(表 5) 总根长  
增加 2008. 6cm,根瘤增加 23. 3个。尽管由于土壤水分适宜,促使根长生长旺盛,但在 33  
个方格中仍有 9个方格根长密度消失了 224. 4cm,根瘤有 12个方格减少,共减少 44. 7  
个。

通过大豆三个月生育期间 5次测定,获得了 4个差值,总计起来(表 6)在取样土体中  
共生长 6990. 6cm 根长密度和 259个根瘤 其间共消失了 1199cm 根长密度和 136. 8个根  
瘤。它们分别占生长出的 17% 和 52%。由于本次测定间隔时间为 20天左右,在这 20天

期间还有未及测定的新根系和消失的老根系,因此可以估计,实际的新老根系更替量远超过实测的。在取样 0.035m(5×70)面积上 50cm 深度中曾有超过 6990.4cm 根长和 255.8 个根瘤先后生存过,它们占土体的比例决不止 1%。也就是在这样小的土体中各个部位都曾有大豆根系反复穿插生长过,把它们对土壤的物理、化学和生物作用遗留在这一土体中。

表 5 大豆结荚期至鼓粒期根长密度和根瘤数差值(8-27/8月)

Table 5 Differential value of soybean root density and nodules from podding to podfilling(8-27/August)

土壤深度 (cm) Soil depth	距株中心 cm From the center of plant cm	0- 5	5- 15	15- 25	25- 35	总计 Total	土壤深度 (cm) Soil depth	距株中心 cm From the center of plant cm	0- 5	5- 15	15- 25	25- 35	总计 Total
0- 10		+ 7.0	- 4.0	+ 1.1		+ 4.1	30- 40		+ 0.1	+ 8.7		- 4.0	- 4.2
		+ 57.0	+ 38.0	+ 87.6		+ 182.7			+ 84.1	- 13.1	- 15.0	- 22.3	+ 161.1
10- 20		- 1.0	- 5.9	+ 20.0	+ 25.6	+ 38.7	40- 50			+ 8.7		- 4.0	+ 4.7
		- 84.5	+ 484.2	+ 232.3	+ 661.0	+ 1293.4			+ 88.3	- 13.1	- 15.0	- 22.3	+ 37.9
20- 30		- 6.2	- 2.4	+ 20.0	+ 25.6	- 19.5	总计 Total		- 0.1	- 5.6	+ 9.5	+ 20.0	+ 23.8
		+ 9.2	+ 179.5	+ 232.3	+ 661.0	+ 333.5			+ 154.1	+ 731.8	+ 455.6	+ 667.1	+ 2008.6

表 6 大豆在 3 个月生育期间新老根系及根瘤的代谢(0.0175m<sup>3</sup>)

Table 6 Sopersession of new and old roots and nodules of soybean in 3 months(0.0175m<sup>3</sup>)

日期 Date	根长密度(cm) Root density	根瘤(个 Number) Nodules	日期 Date	根长密度(cm) Root density	根瘤(个 Number) Nodules
	增多 Increase	减少 Decrease		增多 Increase	减少 Decrease
9- 28/6	1607.5	0.0	8- 27/8	2330.5	224.4
28/6- 21/7	2336.7	312.6		6990.4	1130.6
21/7- 8/8	945.7	594.6	总计 Total		255.8
					133.7

从上述三种测定方法中都证明了大豆生育期中有不断地新根系的发生和老根死亡和消失。

关于老根系易于死亡的原因,根据两年的试验及前人的研究,有如下的分析。

大豆根系的组织结构中,由薄壁细胞构成的皮层较厚,维管束与皮层的比例约为 1:1.6-3.3 按 H. M. Talor 的测定,大豆初生根的维管束与皮层比例为 1:2.5,次生根为 1:3.7,三级次生根为 1:4。由此说明大豆根系柔嫩,含水量较高,苗期达到 80.0-80.9%,在 8 月上旬干旱时根系含水量才降至 71.0-74.89,可能这就是大豆需土壤水分较多的原因。Morris G. Huck(1976)观察到大豆活跃的细嫩侧根,其生命只有 10-20 天,他认为这部分根系在耗尽了邻近的有效资源后就死去了。随着邻近水分的吸收,使土壤水势增大,老根系因水分不足而相继死亡,根瘤也随之失去生命力。而在根圈土壤水分较多处发生新根,并向水势梯度较小的方向伸展。在本研究第一和第二种方法中也证明了小侧根的生命力不长,但它们是在土壤水分和养分皆充足条件下出现根系新老更替的。没有有效资源供给,根系肯定是不能存活的。但是有充足的有效资源也使大豆根系失去生命力,那就只能认为这部分根系有了吸收的障碍。从图 1 中明显看出,在枯萎的小根系同一部位

又生出新的小根系,也可能是在老根系枯萎后,土壤因毛管水的运动恢复了水势梯度,诱发了新根系的发生,也可能是枯萎的根系失去了吸收能力,才诱发出新根系。

### 3 结论

3.1 综合三种研究根系的方法,证明大豆自苗期开始就有旺盛的根系新老更替,尤其是大豆开花期,新老更替明显。

3.2 在取样的土体 ( $0.0175\text{m}^3$ )中至少有近 8000m大豆根长和 259个根瘤生存过,甚至在每一个方格 ( $0.005\text{m}^3$ )曾有平均 400m根长生存过,它们必然是在土壤中反复穿插,新老根系不断更替方式存在的,因此大豆根系占土壤体积不止 1%。

3.3 大豆根系老更替的原因,除土壤环境因素之外,初步分析还有大豆根系组织结构及其化学成分促使幼嫩根系形成自我吸收障碍。

### 参 考 文 献

- 1 王国义,大豆对耕层土壤物理性状的影响,东北农学院学报,1992,(2): 121- 129
- 2 Uren M. C., Chemical Reduction of an Insoluble Higher Oxide of Manganese by Plant Roots. J. of Plant Nutrition 1981, 4(1): 65- 71
- 3 Ashley D. Y., Crop- water Relation, John Wiley & Sons Inc. 1983, 389- 416
- 4 Raper C. D., Jand Barber S. A. Rooting Systems of Soybean I. Differences in Root Morphology Among Varieties Aronomy J 1970, Vol. 62 Sep- Oct, 581- 584
- 5 Russell R. S., Plant Root System, McGraw- Hill Book Co. 1977, 151- 152
- 6 矶村泰宣,大豆根の发达及び窒素固定能及 B. Ca. Co影响,日本土壤肥料讲演集,1983, 6- 10
- 7 宋淑英,大豆需水规律及其适应土壤水分指标,黑龙江农业科学,1981,(2)
- 8 腊塞尔 E. W., 土壤条件与植物生长,科学出版社,1979, 402- 427
- 9 Morris G. H., Water Requirements and Root Growth, World Soybean Research Ed. Lawell D. Hill, 1976, 16- 26

## STUDY ON MECHANISM OF SOYBEAN SOIL FERTILIZING OF SOYBEAN

### 1. The Supersession of New and Old Soybean Roots During Growing Stages

Shen Changpu Gong Zhenping Wang Guoyi Zhao Fuhua  
(Northeast Agricultural University, Harbin 150030)

**Abstract** The object of this study is to verify that there is vigorous supersession of new and old roots in soybean various growing stages. Through the combining analysis of the data of 3 experimental methods (Solution culture, reduction of manganese oxide, square differential value), it is confirmed that in soybean exists a process of supersession of new and old roots from seedling to pod filling stages, and there are at least 6990. 4cm of roots in length and 255. 8 nodules in  $0.0175\text{m}^3$  which sustain decay from June to August. It shows that the supersession of new and old roots is an important link in the mechanism of soybean fertilizing soil.

**Key words** Soybean; Root density; Supersession of soybean roots