

大田期烟草根系构型参数的动态变化*

马新明^{1*} 席磊¹ 熊淑萍¹ 杨娟²

(¹河南农业大学农学院, 郑州 450002; ²华东师范大学地理系, 上海 200062)

【摘要】 采用“根箱”法研究了大田期烟草根系构型参数在时间、空间上的动态变化。结果表明, 烟草2级侧根总长度的增加明显大于1级侧根, 根快速增长期分别出现在移栽后26~40和56~70 d。栽后57 d(打顶)前, 烟草根系的分枝密度表现为10~20>0~10>20~30>30~40 cm, 此后随土层的加深呈递减趋势。在主根上, 以7~21 cm范围内的分枝密度最大。打顶前, 比根长随着入土深度的加深而递增; 栽后90 d, 比根长随土层的加深而递减。1级侧根根长密度在0~10 cm土层内的变化呈“S”型曲线, 10~20、20~30和30~40 cm内表现为双峰曲线; 2级侧根根长密度随生育期的进程而增加, 其中0~10 cm根长密度的变化为“S”曲线, 其它层次为单峰曲线。

关键词 烟草根系 根构型 分枝密度 比根长 根长密度

文章编号 1001-9332(2006)03-0373-04 **中图分类号** S572 **文献标识码** A

Dynamic changes of morphological parameters of tobacco root in field. MA Xinming¹, XI Lei¹, XIONG Shuping¹, YANG Juan² (¹Agronomy College of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; ²Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(3):373~376.

The study with rhizotron showed that the total length of tobacco's second order lateral root had a much more increase than that of first order one, and the root length developed rapidly during 26~40 d and 56~70 d after transplanting for the second and first order lateral root, respectively. Before tip pruning, the branch root density of tobacco was decreased in order of 10~20>0~10>20~30>30~40 cm soil layer. The branch density of main root was the highest in 7~21 cm soil layer. The deeper the soil layer, the bigger the ratio of dry weight and root length, but the distribution was reverse at 90 d after transplanting. The first order lateral root length density distributed in "S" curve in 0~10 cm soil layer and in double climax curve in 10~20, 20~30 and 30~40 cm soil layers, while the second order lateral root length density became bigger with the course of growth period, which was in "S" curve in 0~10 cm soil layer and in single climax curve in other soil layers.

Key words Tobacco root, Root morphology, Branch root density, Ratio of root length and dry weight, Root length density.

1 引言

根系是植物重要的器官之一, 它决定着植物对土壤养分和水分的吸收^[6,16]。Weaver^[15]曾指出:“要科学地理解作物生产, 就必须全面地认识作物根系发育、根群分布、不同生育时期根系吸收水分养分的活力, 以及不同环境下根系的变化”。虽然植物根系生长环境复杂, 测定技术困难, 但人们还是通过一定的办法研究了不同环境下植物根系的形态反应^[5,13]和分布特征^[18]。20世纪80年代, 根构型成为定量研究根系生长发育的一个重要方法和内容。植物根构型是指根系的拓扑结构和在土壤中的空间分布^[9], 是植物根系生长和分枝的结果^[2]。通过这种方法, Diggle^[4]研究了根系年龄、发生位置、根段取向, 确立了根构型参数, 建立了第一个根系三维模

型^[11]。Pages等^[12]研究了玉米根系的构型参数。金明现等^[8]对玉米根系的向水性进行了较系统的研究。烟草是一种特殊的经济作物, 王小纯等^[14]、马新明等^[11]在研究了烟草根系的生长发育及其调控技术后, 提出了烟草根系的发育具有双峰现象, 根系发育状况直接影响烟叶的品质质量^[10]。有关烟草根系生长发育的构型参数及其建立于根构型参数基础上的量化研究尚未见有报道, 为此采用根箱研究法^[3], 系统定量地研究了烟草理想根构型参数在时间、空间上的动态变化, 旨在为建立烟草根系发育模型和可视化, 提高烟田土壤养分与水分利用效率提供理论依据和技术支撑。

* 国家烟草专卖局重大招标项目(110200201005)和河南省高校科研人才创新工程资助项目(2002KJCX05)。

** 通讯联系人。

2005-03-03 收稿, 2005-08-11 接受。

2 材料与方法

2.1 供试材料

试验采用“根箱法”，分别于2002年(预备试验)和2003年在河南农业大学科教园区进行。根箱长、宽均为50 cm，深40 cm，箱内用铁丝分割为小室，每室体积为 10^3 cm^3 (图1)。烟苗移栽前将制成的根箱预先安放在挖好的池子里，根箱装土模拟大田不同层次的土壤容重，10 cm为1层，挖取田间不同层次土壤，然后把原状土按层次装入根箱，共设24个根箱。供试烟草品种为NC89，所用土壤为褐潮土，基础肥力为：有机质 $10.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，全N $9.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，速效磷 $11.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，速效钾 $102 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。苗期采用飘浮育苗方法，在实验室人工气候箱中培育，根箱内保持水肥最佳，4月30日移栽，栽后57 d打顶。

2.2 测定方法

2.2.1 根系重量 在测定和统计根系长度与数量后，用吸水纸吸取根表面水分，用1/1 000电子天平称取根鲜重，在80℃下烘干，再称其干重。

2.2.2 根系长度 于栽后25、40、55、70、90和110 d时用“截线法”分别测定各 10^3 cm^3 内的主根、1级侧根、2级侧根根长，同时测定相对根夹角，并根据根级不同在同一级根上选择3~4个位置(主根或一级侧根)和3~5个位置(2级侧根)，求平均根直径，用计数法统计不同级根的数量，每次取3株，求其平均值。

2.2.3 比根长和根长密度 根据测定的不同级别根系的长度和干重，分别用单位干根重的长度($\text{m} \cdot \text{g}^{-1}$)^[7]和单位土壤体积内的根长($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$)来表示比根长和根长密度。

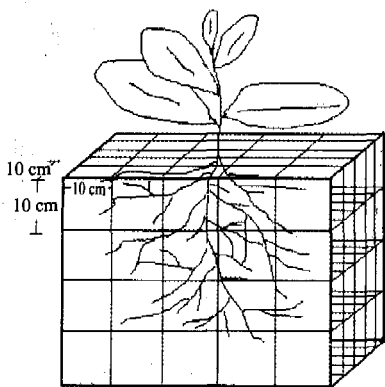


图1 根箱结构示意图
Fig.1 Schematic sketch of roots box.

3 结果与分析

3.1 烟草根系各级侧根根长及总根重的变化

由表1可见，在整个生育期中，2级侧根总根长的增长率均大于1级侧根。在同一根级中，总根长增长率均出现2个峰值：1个出现在移栽后26~40 d

(团棵期)；第2个出现在移栽后的56~70 d(圆顶期)。进入采收期后(栽后90 d)，根系总根长增长率明显下降，这种变化与烟草的2次发根特性是一致的^[11]。在不同根级之间，1级侧根的第1次增长率峰值显著高于第2次增长率峰值，2级侧根的第2个增长率峰值则显著大于第1次增长率峰值，说明烟草根系发育过程中不同根级间存在前后互补现象。

表1 1级、2级侧根总根长增长率

Table 1 Increasing ratio of first and second order root length ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$)

根级 Root order	移栽后天数 Days after transplanting(d)					
	0~25	26~40	41~55	56~70	71~90	91~110
1级侧根 First order roots	0.6218	1.3012	-0.0099	0.2118	0.1093	0.0369
2级侧根 Second order roots	2.2127	6.7685	5.6063	11.6349	7.7318	0.3288

负值代表总根长下降率 Negative number means the decrease ratio of root total length.

烟草根总干重增长速率也有2次高峰(图2)。第1次增长高峰出现在移栽后的55 d(旺长期)，第2次峰值出现在移栽后的90 d(圆顶后期)，而且第2次高峰增长率是第1次高峰根系增长率的2.01倍，说明根干重的增加是在根系发育到一定数量基础之后才开始的。

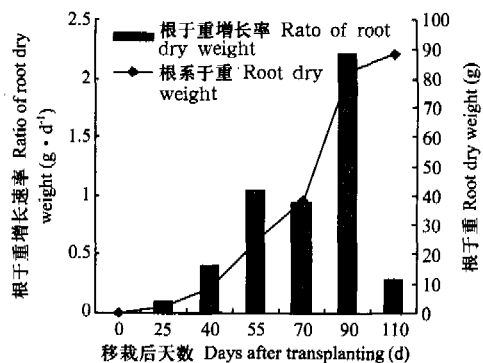


图2 根干重、增长率的动态变
Fig.2 Change of dry weight and increasing ratio.

3.2 分枝密度在时间、空间上的动态变化

分枝密度是指1 cm 1级根系上所包含的下一级侧根根系的条数，是反映根系分枝模式的重要参

表2 1级侧根密度在时间、空间上的动态变化

Table 2 Dynamic change of first order root density according to growth stage and space in soil ($\text{No} \cdot \text{cm}^{-1}$)

移栽后天数 Days after transplanting(d)	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm
25	1.147	1.334	1.120	-
40	1.446	1.551	1.368	1.095
55	1.846	2.116	1.540	1.141
70	2.573	2.516	1.929	1.834
90	2.739	2.557	2.524	2.395
110	2.816	2.613	2.135	1.781

表 3 距主根轴不同距离 1 级侧根密度在时间、空间上的动态变化

Table 3 Dynamic change of the first order root density on main root ($\text{No} \cdot \text{cm}^{-1}$)

土层 Soil depth (cm)	移栽后天数 Days after transplanting (d)																	
	25			40			55			70			90			110		
	0~7	7~21	21~35	0~7	7~21	21~35	0~7	7~21	21~35	0~7	7~21	21~35	0~7	7~21	21~35	0~7	7~21	21~35
0~10	1.099	1.310	-	1.401	1.664	-	1.556	2.506	2.091	2.349	2.985	2.447	2.414	2.832	2.700	2.426	3.002	2.757
10~20	0.973	1.203	0.889	1.359	1.453	1.228	2.004	2.048	2.043	2.537	2.421	2.365	2.231	2.620	2.500	2.335	2.752	2.584
20~30	0.71	1.123	0.819	0.970	1.307	1.295	1.278	1.472	1.376	1.773	2.113	2.109	1.960	2.600	2.448	1.773	2.436	2.259
30~40	-	-	-	-	1.194	1.130	1.034	1.074	1.065	1.579	2.064	1.855	1.404	2.449	2.373	0.908	1.577	1.259

数。分枝密度与品种、栽培条件、营养状况及母轴直径有关^[17]。从表 2 可以看出,移栽 55 d 前,烟草 1 级侧根分枝密度在空间上的大小分布为:10~20>0~10>20~30>30~40 cm。移栽 70 d 后,根系分枝密度随土层的加深而减小,其中 0~10 和 10~20 cm 土层内烟草根系分枝密度随生育时期的推进呈增加趋势,20~30 和 30~40 cm 土层内根系分枝密度则在栽后 90 d 内随生育进程而上升,之后逐渐下降。

另据对主根轴上不同部位 1 级侧根的分枝密度的测定表明(表 3),主根轴上 7~21 cm 范围内侧根的分枝密度要大于 0~7 和 21~35 cm 范围内的分枝密度。除栽后 25 和 40 d,0~10 和 10~20 cm 土层内分枝密度表现为 7~21>0~7>21~35 cm 外,其它各时期所有土层内根系分枝密度均表现为 7~21>21~35>0~7 cm。

3.3 比根长在时间、空间上的动态变化

比根长(长重比)是衡量根直径的重要参数之一^[14],比根长值越大,说明根越细小。由图 3 可以看出,移栽后 55 d 前,比根长随着入土深度的加深而递增,即根直径随着土层的加深而变细。移栽后 70 d,0~10 cm 土层内比根长与 30~40 cm 土层中的比根长相当,约为 15.8,并分别大于 20~30 cm 的比根长(15.2)和 10~20 cm 内的比根长(14.7)。移栽 90 d 以后,比根长均随土层的加深而减小。

3.4 根长密度在时间、空间上的变化

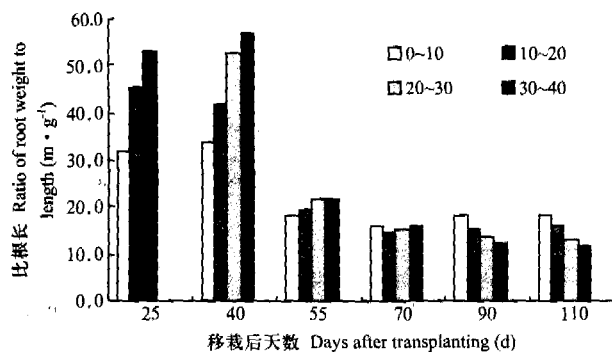


图 3 烟草根系比根长的变化

Fig. 3 Change of ratio of root dry weight to length.

由图 4 可知,1 级侧根根长密度在不同的空间上表现不同的变化趋势,其中 0~10 cm 土层内根长密度表现为“S”型曲线,拟合曲线相关系数为 0.9071,达显著水平,曲线 2 个拐点分别出现在第 41.5 和 115.1 d(表 4)。10~20、20~30 和 30~40 cm 土层内根长密度均呈双峰曲线,其中 10~20 和 20~30 cm 均于移栽后 40 d 出现第 1 次峰值,30~40 cm 于移栽后 55 d 出现第 1 次峰值;10~20 cm 于移栽后 55 d 出现低谷,20~30 和 30~40 cm 则于移栽后 70 d 下降到最低,低谷以后,各层内根长密度均又缓慢上升。

结果表明,4 个土层内根长密度的变化均表现为随生育进程而增加(图 4)。其中,0~10 cm 内根长密度呈“S”型变化,拟合曲线达极显著水平(表 4),其它层次表现为后延式的单峰曲线,与 1 级侧根的变化略有不同,表明 1 级侧根根长密度变化与其生理作用表现一致,2 级侧根的发育重点在后期。就不同土层内根长密度而言,移栽后 40 d 前,以 10~20 cm 内根长密度最大,此后根长密度随根层加深而变小。

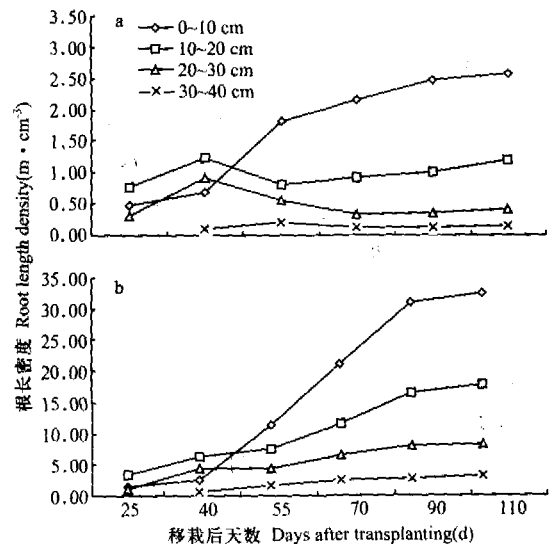


图 4 1 级(a)和 2 级(b)侧根根长密度的变化

Fig. 4 Change of first order (a) and second order (b) root length density.

表4 不同级根根长密度拟合曲线

Table 4 Simulation function of root length density for different root orders

土层深度 Depth of soil (cm)	根级 Root order	拟合方程 Simulation function	拐点 Point turn		相关系数 Correlation coefficient
			t_1	t_2	
0~10	1级侧根 First order root	$y = 5.041/1 + e^{(2.745 - 0.0344x)}$	41.5	115.1	0.9071**
0~10	2级侧根 Second order root	$y = 42.214/1 + e^{(4.942 - 0.0653x)}$	55.5	95.8	0.9755**

4 讨论

烟草是一种特殊的经济作物,其根系数量的增加和活力的提高存在双峰现象:1次出现在团棵期至旺长期;第2次出现在打顶后的圆顶期。打顶具有诱发侧根数量的增加和活力提高的作用^[10]。正是由于烟草根系自身的生物学特性,使其构型参数的时空变化具有一定的独特性。

分枝密度不仅反映了根系的分枝多少,也是根系分布范围的一种表现。烟草根系的分枝密度随着生育期进程而增大,说明侧根在上级根上分枝的发生是一个持续的过程,而非一次完成。烟草生育后期下层分枝密度减少,这可能是由于后期下层较细的侧根有机物质供应不足,导致衰老死亡而出现的相对减少。据测定,圆顶后期不同级根均存在表皮脱落和死亡现象。其中,1级侧根表皮剥离率为13.023%,干死率为17.209%;2级侧根的表皮剥离率、干死率和脱落率分别为22.895%、5.845%和8.043%。近主根轴分枝密度小于较远主根轴,主要原因在于近主根轴受栽培管理和外界环境影响强度较大,特别是旺长前期的培土作业等,使根系发育密集区相对下移。烟草比根长随入土深度的增加而增大,表明土层越深,根越细小,根系表面积越大,更有利于吸收深层土壤中的水分和养分。后期下层细根衰老死亡,使0~10 cm土层内的比根长相对增大。

1级、2级侧根的增长及根长密度在时间、空间上的动态变化与其地上地下关系的变化是一致的。移栽后40 d前(团棵期),烟草的生长中心在地下部,根系生长迅速,并且所形成的根分布在较浅的土层中。旺长期,生长中心从地下部转移到地上部,0~10 cm土层出现了大量不定根,因此0~10 cm内1级、2级侧根根长密度表现为增长趋势。而其它各土层内由于物质供应的减少,根长密度表现为缓慢增长,甚至呈下降的趋势。圆顶期,由于打顶使根系生长又出现1次高峰,各土层1级、2级侧根根长密度均表现出增长的趋势;到后期,随着烟叶的逐渐成熟,根系开始死亡,根系生长速度减缓,根长密度变化不大。

参考文献

- Bengough AG, Mackenzie CJ, Diggle AJ. 1992. Relations between root length densities and root intersections with horizontal and vertical plants using root growth modeling in 3-dimensions. *Plant Soil*, 145:245-252
- Caldwell MM. 1987. Plant architecture and resource competition. *Ecol Studies*, 61:164-179
- Chen DX, Lieth JH. 1993. A two-dimensional, dynamic model for root growth distribution of potted plants. *J Am Soc Hort Sci*, 118(2):181-187
- Diggle AJ. 1988. A model in three-dimensional coordinates of the growth and structure of fibrous root systems. *Plant Soil*, 105:169-178
- Duan S-S(段舜山), Gu W-X(谷文祥), Zhang D-Y(张大勇), et al. 1997. Relationship between root system characteristics and drought resistance of wheat populations in semiarid region. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 8(2):134-138(in Chinese)
- Eghball B, Maranville JW. 1993. Root development and nitrogen influx of corn genotype grown under combined drought and nitrogen stress. *Agron J*, 85:147-152
- Ji TC. 1984. Development and function of rice root. *Agron Abroad Rice*, (3):12-18
- Jin M-X(金明现), Wang T-D(王天铎). 1996. Simulation of growth and hydrotropism of maize roots. *Acta Bot Sin(植物学报)*, 38(5):384-390(in Chinese)
- Lynch JP. 1995. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol*, 109:7-13
- Ma X-M(马新明), Liu G-S(刘国顺), Wang X-C(王小纯), et al. 2002. The development of tobacco root system and its relation with plant growth. *Acta Tabac Sin(中国烟草学报)*, 8(3):26-29(in Chinese)
- Ma X-M(马新明), Yang Q-H(杨育华), Niu S-L(牛书丽), et al. 2000. Chemically regulation of development and physiological characters of tobacco roots. *Acta Bot Boreali-Occid Sin(西北植物学报)*, 20(6):1219-1224(in Chinese)
- Pages L, Jordan MO, Picard D. 1989. A simulation model of the three-dimensional architecture of the maize root system. *Plant Soil*, 119:147-154
- Sun H-G(孙海国), Zhang F-S(张福锁). 2002. Morphology of wheat roots under low-phosphorus stress. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 13(3):295-299(in Chinese)
- Wang X-C(王小纯), Ma X-M(马新明), Niu S-L(牛书丽), et al. 1999. Study on the effect of regulators on development and physiology characteristic of tobacco root system. *Acta Tabac Sin(中国烟草学报)*, 5(4):33-38(in Chinese)
- Weaver JE. 1926. *Root Development of Field Crops*. New York: McGraw-Hill.
- Wiesler F, Horst WJ. 1994. Root growth and nitrate utilization of maize cultivars under field conditions. *Plant Soil*, 163:267-277
- Yamazaki K, Kaeriyama N. 1983. The diameter of primary roots and the lateral root formation in corn plants. *Jpn J Crop Sci*, 52:59-64
- Zhao Z(赵忠), Li P(李鹏), Wan N-J(王乃江). 2000. Distribution patterns of root systems of main planting tree species in Weibei Loess Plateau. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 11(1):37-39(in Chinese)

作者简介 马新明,男,1963年生,博士,教授,博士生导师。主要从事农田生态和信息技术研究,发表论文73篇。E-mail: xinningma@371.net

责任编辑 肖红