

# 玉米根系在土壤剖面中的分布研究\*

刘晶淼 安顺清 廖荣伟 任三学 梁 宏

(中国气象科学研究院 北京 100081)

**摘 要** 玉米根系在土壤剖面中的分布是准确量化植被与气候相互作用不可缺少的参数,也是玉米生产科学管理和节水农业发展的重要科学依据。在中国气象科学研究院固城生态环境与农业气象实验站内的大型根系观测系统中,采用地下室玻璃窗观测法和方形整段标本法,观测了“屯玉 46 号”玉米的根深、根宽、根长和根重,分析了玉米根长、根长密度、根重密度和根系粗度等在土壤剖面中的分布状况。结果表明,玉米根长、根干重均随土壤深度的增加基本呈递减类型。吐丝期 0~40 cm 土层根长占整层根长 51.5%, 0~80 cm 土层占 76.2%, 0~120 cm 土层占 90.5%。乳熟后期其分布趋势与吐丝期相似。玉米根系粗度随着土壤深度增加,在上层呈减少分布型,在下层呈增加分布型。乳熟后期,玉米最大根深可达 230 cm, 根长总量达  $8.288 \text{ km} \cdot \text{m}^{-2}$ , 显示出该玉米品种有较发达的根系。通过玻璃窗观测的根深大于远离玻璃窗处的根深。

**关键词** 玉米 根系分布 土壤剖面 根长 根密度

中图分类号: S513 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2009)03-0517-05

## Temporal variation and spatial distribution of the root system of corn in a soil profile

LIU Jing-Miao, AN Shun-Qing, LIAO Rong-Wei, REN San-Xue, LIANG Hong

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract** The development of the root system of corn in soil profile is an indispensable parameter for the estimation of corn growth. The distribution of the root system can be used to evaluate the influence of climate on vegetative growth. This constitutes a creative scientific management and development system of water-saving agriculture. In the Gucheng Agro-meteorological Field Experimental Station of Chinese Academy of Meteorological Sciences, root length, root areal reach, root depth and root dry-weight of “Tunyu 46” corn were observed using clod sampling method and installed underground surface glazing. Observation data on the spatial and temporal distribution characters of the root system in the soil profile were then analyzed. The results show that root dry-weight and root length decrease with increasing soil depth. In spin silk period, root length in the 40 cm, 80 cm, and 120 cm soil layer is respectively 51.5%, 76.2% and 90.5% of total root length. Root length to total root length ratio in various soil layers is similar for both spin silk and late milk maturity periods. Root thickness decreases in upper soil layer and increases in lower soil layer with increasing soil depth. In the late milk maturity period, root depth may reach 230 cm, and total combined root length can reach  $8.288 \text{ km} \cdot \text{m}^{-2}$ . Clearly thus, root depth and the total root length of “Tunyu 46” are larger than those of other corn varieties. Root distribution characteristics show that the root system of “Tunyu 46” is a lot more developed and robust for defending drought. Based on data obtained from the installed glazing, root depth is much deeper than that observed far from the glazing.

**Key words** Corn, Root distribution, Soil profile, Root length, Root density

(Received May 8, 2008; accepted Aug. 21, 2008)

玉米根系在土壤剖面中的分布决定了其吸收养分和水分的能力,也是准确量化植被与气候间相互作用不可缺少的参数。因此,研究玉米根系在土壤剖面中的分布对玉米生产的科学管理和节水农业发

\* 科学仪器设备升级改造项目(2005JG100520)、公益性行业(气象)科研专项[GYHY(QX)200706030]和国家自然科学基金项目(40575057)资助

刘晶淼(1957~),男,博士,博士生导师,主要从事气候变化诊断及模拟和陆面过程参数化的研究。E-mail: jingmiaol@cma.gov.cn

收稿日期: 2008-05-08 接受日期: 2008-08-21

展具有重要意义,也可为全球变化研究中的区域土壤-植被-大气系统碳、水分、养分传输过程提供基础性资料。

虽然因作物根系生长在地下而导致研究其在土壤剖面中的分布存在许多困难,但随着科学技术的发展以及农业生产和科学研究的迫切需要,国内外对玉米根系的研究,特别是在土壤剖面中分布规律的研究仍取得了显著进展。在国外, Jackson 等<sup>[1]</sup>研究了全球范围陆地生态系统中包括玉米在内的主要植物群落的根系分布、密度和生物量,并比较了不同植物群落根系差异。Gale 等<sup>[2]</sup>给出描述根系在土壤剖面中分布的关系式。Teare 等<sup>[3]</sup>对玉米根深及其分布进行了定量描述,玉米根系扩展范围一般为 1.25 m,大部分根系可达 1.6 m,有的接近 2 m,并指出玉米根系具有一种潜在逃避受旱机能。Liedgens 等<sup>[4]</sup>总结了玉米根系在土壤剖面中分布的 4 种类型,即

随土壤深度稳定减少型; 从土壤表层到较深土层根系急剧减少型; 从土壤上层向下到最大根系生长深度,随着深度增加根量增加,再向下根量减少型; 根系随深度分布呈无规律型。并指出,这些分布型是受玉米植株发育和土壤环境条件影响而形成的。国外在玉米根系研究方法上也有明显进展,近年来应用微型根系观测管技术观测根生长的空间和时间类型受到重视。与传统的土壤采样技术相比,微型根系观测管是透明界面,且观测时不破坏土壤和根系。Schröder 等<sup>[5]</sup>应用微型根系观测管技术系统地描述了玉米根系的空间分布,还有一些科学家应用微型根系观测管技术研究了干旱、灌溉、施肥和耕作对玉米根系在土壤中分布的影响。

在国内,李少昆等<sup>[6]</sup>研究了玉米根系干重在不同生育期的侧向和垂直分布模型,并指出玉米成熟期根深可达 160 cm。张喜英<sup>[7]</sup>研究了太行山前平原冬小麦、夏玉米、谷子和高粱等作物的根系生长发育状况,指出夏玉米最大根深为 1.2 m,80%以上的根系集中在 0~40 cm 土层中。国内在根系研究方法上长期以来主要应用土壤采样技术,近年来少数单位开始应用地下玻璃窗观测技术和微型根系观测管技术<sup>[8]</sup>。本文根据在中国气象科学研究院固城生态环境和农业气象实验站大型根系观测系统所观测的部分资料,分析研究了“屯玉 46 号”玉米根系在土壤剖面中的分布状况。

## 1 材料和方法

### 1.1 观测地点及设施

观测工作在河北省定兴县中国气象科学研究院固城生态环境与农业气象试验站的大型根系观测系

统中进行。该系统包括地下根系观测室、地上作物种植小区和大型电动防雨棚 3 个主要部分。地下根系观测室南北走向,深 3.2 m,宽 2.5 m。在东西两侧各有 12 个钢化玻璃观测窗(高 3 m,宽 1.5 m,厚度 20 mm),每个玻璃观测窗与相应的种植小区土壤紧密相连。观测室顶部是用钢筋作骨架并覆盖泡沫塑料、沥青板和土,起保温遮光作用。地下室南进出口设有两道防盗门,地下室地面有两条排水沟。

在 24 个玻璃观测窗中选取 8 个(东西两侧各 4 个)安装根系微型观测管(长 2.2 m,外径 6.0 cm),在每个玻璃观测窗的垂直中线部位自上而下在 40 cm、80 cm、120 cm、160 cm、200 cm 处安装 5 根管子,每个管向上倾斜  $10^{\circ}29'$  插入作物种植小区土壤内,用电子窥镜在管内观测小区不同土壤深度的根系生长状况。

种植小区共 24 个,东西两侧各 12 个,每个小区长 4 m,宽 2 m,各小区之间用水泥墙隔离,深度为 3 m,小区内土壤为原状土。在安装有微型根系观测管的 8 个小区内,安装有观测土壤湿度的 TDR 和土壤温度自动观测仪。小区土壤为壤土,0~200 cm 土层平均田间持水量为 22.7%(占干土重),平均凋萎湿度为 5.0%(占干土重),容重为  $1.37 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。大型电动防雨棚长 30 m,宽 15 m,高 5 m,降水时覆盖小区,无雨时退出。

### 1.2 玉米品种、特性及生育期

2007 年 5 月 12 日在 24 个小区播种“屯玉 46 号”杂交中晚熟玉米,行距 50 cm,株距 30 cm,人工灌溉供水,及时除草。玉米生育期为 5 月 20 日出苗,5 月 27 日 3 叶,6 月 10 日 7 叶,6 月 21 日拔节,7 月 17 日抽雄,7 月 20 日开花,7 月 23 日吐丝,8 月 8 日乳熟,8 月 27 日成熟,整个生育期 108 d。

### 1.3 观测项目及方法

观测项目包括玉米生育期、根深、根宽、根长、根重等。在地下室玻璃窗上观测玉米根深和根宽,6 月 17 日开始观测直到成熟期,共观测 7 次。同时,在地下观测室应用微型根系观测管技术观测不同深度根数、根长及根长密度。分别于 8 月 4 日(吐丝期)和 8 月 25 日(成熟期)应用方形整段标本法,在种植小区选取有代表性植株,以其为中心,取长 50 cm,宽 30 cm 的长方形,沿四周垂直挖土,形成有根样的土柱,一直挖到无根为止,然后沿土柱自上而下每 10 cm 取一土样。将土样用水浸泡、漂选和清洗,得到干净根系样品。之后吸干根样表面水分,用万分之一精度电子天平称量根重。再对粗根和细根进行分类,粗根直接测量;细根先测量其总重量,然后选出一部分进行称重测量长度,根据得出的长度

按照重量比例换算出细根总长度。最后在电烘箱中烘干, 称其干重。这样测出每层土壤中的根长、根重, 计算根长密度和根重密度。

## 2 结果与分析

玉米根系一般按其发生时期、部位、形态和功能, 分为初生根(胚根)、次生根和支持根。根量的大小主要表现在根重和根长上。根重是抗倒性、抗旱性的主要指标之一。根长是衡量根系生长和吸收能力的重要指标。单位体积中的根长即根长密度是评估根系吸收水分和养分能力的重要依据。单株根长是衡量根系生长能力强弱的重要指标。

### 2.1 玉米根长在土壤中的分布

2007年8月4日和25日两次应用方形整段标本法所取得的土壤逐层根长资料表明, 玉米根长基本随土壤深度增加而递减, 如8月4日(吐丝期, 图1a)0~20 cm土层根长占整层根长的34.5%, 20~40 cm土层占17.0%, 40~60 cm土层占11.0%, 60~80 cm土层占13.7%, 80~100 cm土层占7.2%, 100~120 cm土层占7.1%, 120~140 cm土层占5.7%, 140~160 cm土层占2.9%, 160~170 cm土层仅占0.3%。该期0~40 cm土层玉米根长占整层根长的51.5%, 0~80 cm土层占整层的76.2%, 0~120 cm土层占整层的90.5%。8月25日(乳熟后期, 图1b)玉米根长在土壤中的分布趋势与8月4日相似, 只是最大深度达到230 cm。玉米成熟期玉米根长总量达 $8.288 \text{ km} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

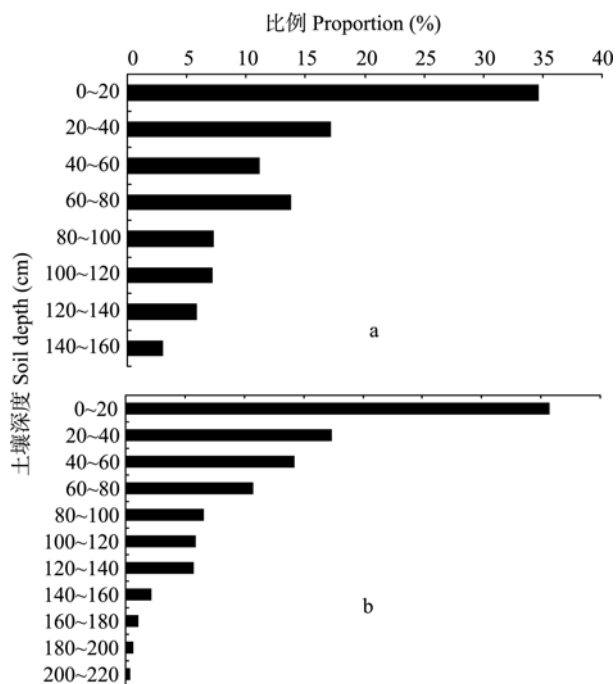


图1 8月4日(a)和8月25日(b)不同厚度土层玉米根长占整层根长的比例

Fig. 1 The proportions of corn root length to total length in various soil layer depths on August 4(a) and August 25(b), 2007

### 2.2 玉米根长密度在土壤中的分布

根长密度是单位土壤体积中的根长, 单位为 $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 它是根系长度的一种常用表示方法。本文每20 cm厚土壤中的根长密度用式(1)求得:

$$\rho_L (\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}) = \frac{\text{每20 cm层总根长}}{50 \times 30 \times 20} \quad (1)$$

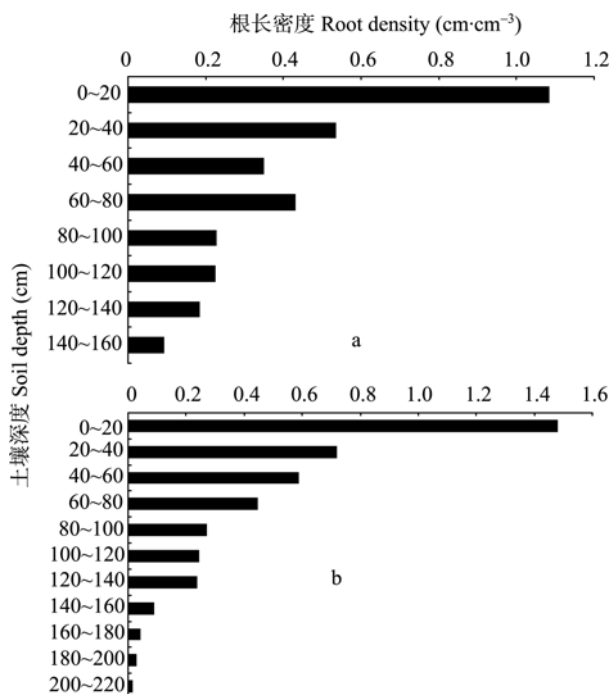


图2 8月4日(a)和8月25日(b)玉米根长密度在土壤中的分布

Fig. 2 Distribution of corn root length density in various soil layer depths on August 4(a) and August 25(b), 2007

由图2可知, 随着深度增加, 玉米根长密度基本上呈递减型。8月4日0~20 cm土层的根长密度最大, 达 $1.08 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 140~160 cm土层最小, 仅为 $0.09 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。8月25日与8月4日相比, 相应层次的根长密度均较大, 0~20 cm土层达 $1.48 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 比8月4日大 $0.40 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。160 cm以下土层根长密度均小于 $0.042 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

### 2.3 玉米根重(干重)密度在土壤中的分布

根重密度是指单位体积内的根重, 以 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 为单位。文中每20 cm厚土层的根重密度计算与根长密度相同。其计算式为:

$$\rho_g (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}) = \frac{20 \text{ cm土层内根重}}{50 \times 30 \times 20} \quad (2)$$

由图3可知, 玉米根重密度基本上随土壤深度增加而减少。8月4日0~20 cm土层根重密度最大, 为 $0.00066 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 60~80 cm土层减少到 $0.00014 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 140~160 cm土层最小, 仅为 $0.00002 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。8月25日玉米根重密度在土壤剖面的分布趋势与8月4日基本相似, 只是深度达到230 cm。

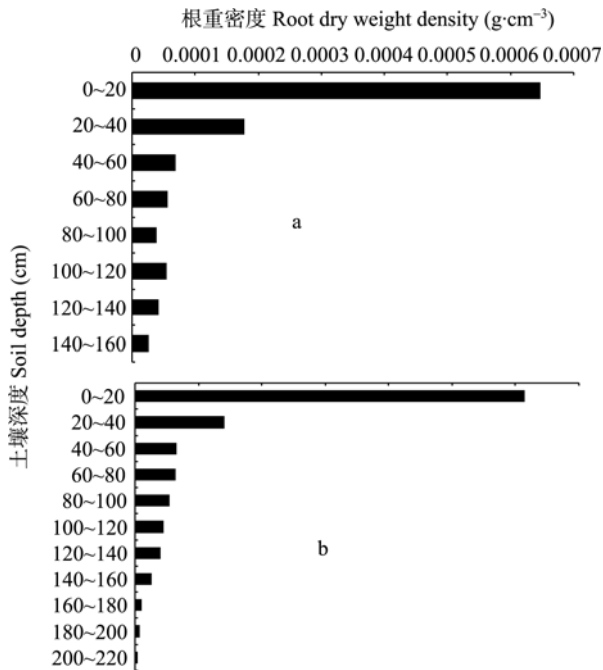


图 3 8月4日(a)和8月25日(b)玉米根重密度在土壤中的分布

Fig. 3 Distribution of corn root dry weight density in various soil layer depths on August 4(a) and August 25(b), 2007

#### 2.4 玉米根系粗度在土壤中的分布

根系粗度是指单位根长的重量,反映根系平均粗细,以  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1}$  为单位,它表示不同层次单位根重的根长长度,反映根系从表层到深层平均根系粗细的变化规律和趋势。其计算式为:

$$\rho_1 (\text{g} \cdot \text{cm}^{-1}) = \frac{20 \text{ cm 土层内根重}}{20 \text{ cm 土层内根长}} \quad (3)$$

由图 4 可知,玉米根系粗度随土壤深度增加呈先减少后增加趋势。8月4日 0~20 cm 土层根系粗度为  $0.001163 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 60~80 cm 土层减少到  $0.000258 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 到 140~160 cm 土层增加到  $0.000542 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。8月25日玉米根系粗度在土壤剖面的分布趋势与8月4日基本相似,只是在 200~220 cm 土层仍达到  $0.000447 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

#### 2.5 玉米根系深度和根宽状况

根系深度与作物水分供给关系密切。地下观测室 24 个小区的玻璃窗 7 次观测资料显示,玉米根系深度随生育期的延长而加深,大多小区在成熟期根深达 300 cm。如东侧自北数第 1 小区(EN01),6月17日(7叶期)根深为 90 cm,6月29日(拔节期)为 128 cm,7月7日(拔节后)为 138 cm,7月17日(抽雄期)为 145 cm,8月4日(吐丝期)为 242 cm,8月14日(乳熟期)为 270 cm,8月25日(乳熟后期)为 290 cm。玉米在不同生育期间其根系向下生长的速率存在差异,其中7月17日到8月4日即抽雄期到吐丝期向

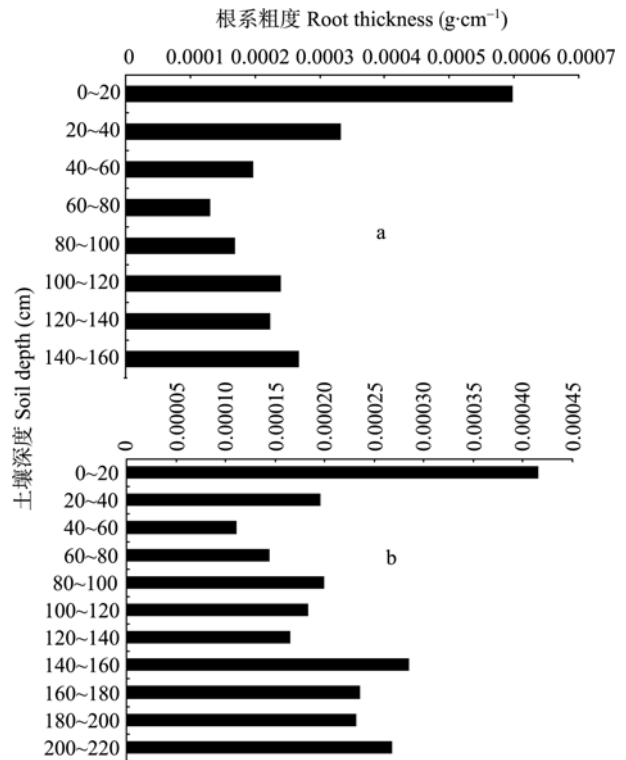


图 4 8月4日(a)和8月25日(b)玉米根系粗度在土壤中的分布

Fig. 4 Distribution of corn root thickness in various soil layer depths on August 4(a) and August 25(b), 2007

下生长速率最大,为  $5.39 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。其次为 6月17日到 6月29日期间,即 7叶期到拔节期为  $3.17 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ ,生长速率最小的为 7月7日到 7月17日,即拔节期到抽雄期,仅为  $0.7 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。其他 23 个小区的观测结果大多与 EN01 小区类似。

根宽是玉米根系生长状况的另一个重要方面,它反映根系在水平方向上的分布状况,影响水分和养分对植株的有效性。由地下室 24 个小区玻璃窗上的观测结果显示:根宽随着玉米根的加深而变小。对于 EN07 小区的单株玉米根系,6月17日根深 80 cm,根宽为 125 cm;6月29日根深 85 cm,根宽为 100 cm;7月7日根深 100 cm,根宽为 71 cm;7月17日根深 122 cm,根宽为 75 cm;8月4日根深 215 cm,根宽 65 cm;8月14日根深 243 cm,根宽 65 cm;8月25日根深 290 cm,根宽 65 cm。

从以上分析结果可以看出,“屯玉 46 号”玉米根量(根长和根干重)在土壤剖面中的分布基本上是随着深度加深呈减少型,这与大多数玉米根量分布的研究结论相类似。但在数量和根深方面存在不同,如张喜英在太行山山前平原测得的夏玉米最大根深为 1.2 m 左右,80%以上根系集中在 0~40 cm 土层,成熟期根长总量为  $4 \text{ km} \cdot \text{m}^{-2}$ 。而本文“屯玉 46 号”玉米 8月25日实测的最大根深达 230 cm,0~40 cm

土层根长占整层根长仅 51.5%，乳熟后期根长总量达  $8.288 \text{ km} \cdot \text{m}^{-2}$ 。这些明显差异可能与玉米品种特性有关，因为根系的大小和深度是由遗传决定的，且随地上部分的改变而扩大。“屯玉 46 号”玉米生育期比一般夏玉米长，属于大株型，根系发达。

另外，通过地下室玻璃窗观测的玉米根深和根宽量值能否代表实际的状况呢？如果玻璃窗与小区土壤剖面紧密相连，则所观测的结果应该能代表。但本文中地下室玻璃窗在安装时因与小区土壤剖面有间隙，只得用细土填在空隙中，因此在玻璃窗与土壤剖面连接处，环境条件与远离玻璃窗的小区土壤的环境条件有差异，因为又是第 1 年进行观测，故观测结果可能与实际状况有差异。这从 8 月 25 日在 EN01 小区用两种方法同时观测的根深资料可看出，该日通过地下室玻璃窗观测的最大根深为 290 cm，而在该小区应用方形整段标本法可获得的最大根深为 230 cm，前者比后者深 60 cm。这种差异随着时间的推移，当界面处土壤环境与远离玻璃小区土壤环境接近时，观测结果就会接近真实状况。

### 3 小结

本文应用地下室玻璃窗观测法和方形整段标本法获得“屯玉 4 号”玉米的根系资料，该玉米品种根量(根长和根干重)在土壤剖面中随深度增加呈减少分布型，根系粗度在土壤剖面中随深度增加呈先

减少再增加分布。通过玻璃窗观测的根深大于远离玻璃窗处根深，玉米成熟期最大根深可达 230 cm，上层土壤(0 ~ 40 cm 土层)集中了 50% 的根量，0 ~ 100 cm 土层集中了 80% 以上的根量。比一般夏玉米根量随深度减少的程度缓和，显示出“屯玉 46 号”玉米根系发达，有利于吸收深层水分。

### 参考文献

- [1] Jackson R. B., Canadell J., Ehleringer J. R., *et al.* A global analysis of root distributions for terrestrial biomes[J]. *Oecologia*, 1996, 108: 389–411
- [2] Gale M. R., Grigal D. F. Vertical root distributions of northern tree species in relation to successional status[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1987, 17: 829–834
- [3] Teare I. D., Peet M. M. *Crop-Water Relations*[M]. New York: A. Wiley Interscience Publication, 1982: 186–208
- [4] Liedgens M., Richner W. Minirhizotron observations of the spatial distribution of the maize root system[J]. *Agronomy Journal*, 2001, 93: 1097–1104
- [5] Schröder U., Söndgerath D. The concept of biological time for computing the switching points of a growth model for winter wheat[J]. *Ecological Modelling*, 1996, 88(1/3): 1–8
- [6] 李少昆, 涂华玉, 张旺峰. 玉米健壮素对玉米生长和产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 1991 (6): 243–246
- [7] 张喜英. 作物根系与土壤水分利用[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 171–186, 44–45
- [8] 佟屏亚, 程延年. 玉米生育和产量模型[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997: 90–97