

玉米大豆条带间作根系分布模式

高 阳,段爱旺,孙景生,陈金平,王和洲,刘战东

(中国农业科学院农田灌溉研究所,河南 新乡 453003)

摘 要:在土壤剖面上冲洗根系,观测玉米/大豆条带间作模式下根系的生长分布及动态变化规律;使用二次曲线和修正的 Logistic 函数拟合根系下扎深度和侧向伸展距离与播后天数(DAS)的关系;引入根系的相对侧向伸展距离(RLD)与相对深度(RD)两个概念,将根系下扎深度和侧向伸展距离归一化,利用高斯函数拟合 RLD 与 RD 的关系,建立根系分布函数。结果表明,该根系分布函数对玉米大豆间作模式下的根系生长分布状况有很好的模拟性。

关键词: 间作;玉米;大豆;根系
中图分类号: S344.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0092-07

根系是作物吸收水分和养分的重要器官,定量研究作物根系的生长发育及时空分布特征是构建根系吸水模型、计算根系吸水量不可缺少的手段和环节,对于进一步研究根系吸水时空分布规律及其影响机制、改进田间水分管理措施、发展节水农业具有十分重要的意义^[1]。

单一农田生态系统中,根系分布特征及根系生长分布模型的研究已有大量的文献报道^[2~12],但在间作农田生态系统中,因作物根系相互交错,难以清楚地区分间作作物的根系,限制了根系研究工作的开展,有关间作作物根系在土壤中分布的研究较少^[1, 13~18]。间作条件下作物根系的形态特征和生物学特征会发生改变。间套作根系的分布与单作相比呈明显的“偏态”不均衡分布,根系的这种变异性分布是间套作土壤资源有效性提高的机制,资源利用的空间生态位镶嵌和叠加互补性的基础^[15, 19]。

间作群体的产量取决于根系可以吸收水分和养分范围的大小,作物根系在土壤中的分布决定根系的吸收面积。通常使用根长密度或根重密度描述根系的分布特征^[18~20],但是,根系的侧向伸展距离和根系下扎深度能够更为准确地描述根系的分布。根系的侧向伸展距离决定着间作作物根系的混合程度,根系的混合程度与地下竞争密切相关,但研究间作作物根系分布的试验较少^[15, 19]。

玉米和大豆间作是我国北方地区一种典型的种植方式。对玉米/大豆间作群体的研究多集中于光、

热资源的分配、利用竞争和补偿方面^[21, 22],有关间作对作物地下部分影响的研究则较少;特别是由于研究手段和方法的限制,关于两种作物根系的空间分布的报道更少。为此,本研究通过在土壤剖面上冲洗根系,研究了玉米/大豆条带间作条件下根系的生长分布情况,并建立了间作作物根系分布函数。本文的研究结果可以为探讨玉米/大豆间作群体地下部的竞争以及间作增产机制提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验方法

试验于 2007 年在位于河南省商丘市的商丘农田生态系统国家野外科学观测研究站进行。研究站地理位置为东经 115.4°,北纬 34.27°,海拔 51 m。试验点多年平均降雨量为 705.1 mm,多年平均蒸发量为 1 751 mm。土壤类型为潮土,土壤的基本特性见表 1。

供试玉米品种为“郑单 958”,大豆品种为“豫豆 22”。玉米/大豆 2:3 种植(图 1),重复 4 次,试验小区面积为 6.0 m×10 m。种植格式为:玉米行与大豆行相距 30 cm,玉米行距 30 cm,玉米株距 30 cm,大豆行距 30 cm,穴距 20 cm。玉米和大豆同时播种,播种日期为 2007 年 4 月 16 日。播前均匀翻耕,翻耕深度约为 30 cm。播前每个小区施纯 N 0.40 kg, P₂O₅ 1.00 kg, K₂O 0.80 kg。在拔节时每个小区施磷酸二铵 2 kg。各处理均为南北行向,试验在大

收稿日期:2008-07-21
基金项目:国家自然科学基金资助项目(50679082);国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA100209);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金(JBK Y0032007018CAAS);商丘农田生态系统国家野外观测研究站开放基金
作者简介:高 阳(1978—),男,内蒙古赤峰人,博士研究生,研究方向为节水灌溉基础理论和技术。E-mail: gylx0944@yahoo.com.cn。
通讯作者:段爱旺(1963—),男,博士,研究员,主要从事作物高效用水研究。E-mail: duanaiwang@yahoo.com.cn。
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

田条件下进行,充分供水,人工除草。

表 1 试验点土壤的基本特性
Table 1 Soil characters of the experimental site

土层深度 Soil depth (mm)	容重 Bulk density (kg/cm ³)	粒径组成 Composition of particle size					质地 Soil texture
		>2 mm	0.2~2 mm	0.02~0.2 mm	0.002~0.02 mm	<0.002 mm	
0~15	1.35	0	0	20.3	40.5	29.2	壤质黏土 Loamy clay
15~30	1.48	0	0	20.5	29.3	50.2	粘土 Clay
30~65	1.53	0	0	30.5	42.0	27.5	壤质黏土 Loamy clay
65~100	1.47	0	0	74.5	16.4	9.1	砂质壤土 Sandy loam

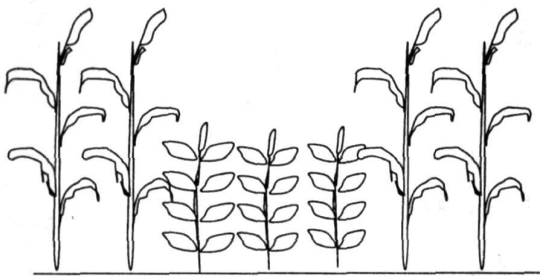


图 1 玉米/大豆 2:3 种植模式示意

Fig.1 Layout of 2:3 pattern for maize/soybean strip intercropping system

1.2 根系二维分布

通过在剖面上冲洗根系来确定作物根系的二维分布。为了最小化由土壤性质和土壤水分的空间变化所引起的根系分布的差异,用玉米条带东西两侧的剖面做为两次重复。

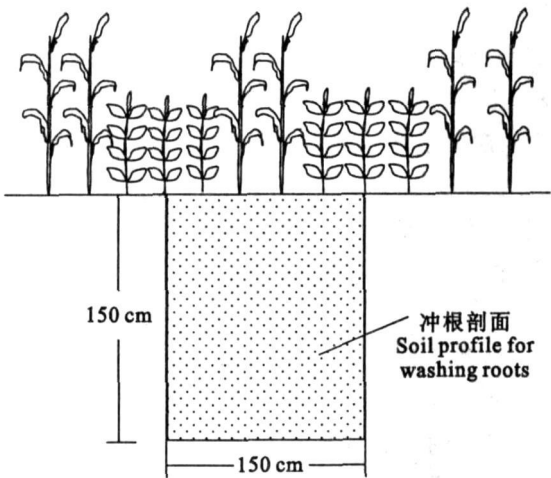


图 2 剖面冲洗根系示意

Fig.2 Schematic diagram for washing roots in soil profile

在距离植株约 8 cm 处挖掘剖面,剖面的观察面与行向垂直,背向太阳,剖面的规格为 150 cm×150

cm(见图 1)。剖面挖好后,从玉米植株下方 5 cm 处开始每 5 cm 钉一个长度为 15 cm 的钉子(垂向和水平方向均为 5 cm),以保持根系的二维分布。之后,用喷雾器冲洗剖面,均匀冲去厚约 2 cm 的土体,冲洗一个剖面约用时 5~6 h。根系冲完后,在剖面上放置 2 cm×2 cm 的网格,根据冲洗出来的根系,记录每个网格内的根系信息:玉米根系和大豆根系。

观测时间为:播后第 39 天、50 天、62 天、73 天和 95 天。其中,播后第 39 天的冲洗深度为 40 cm;播后第 50 天的冲洗深度为 60 cm;播后第 62 天、73 天和 95 天的冲洗深度均为 90 cm。

1.3 数据分析

使用 MATLAB7.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 根系的最大的下扎深度和侧向伸展距离

图 3 给出了玉米/大豆间作条件下作物根系的最大的下扎深度和侧向伸展距离的动态变化过程。间作群体内玉米根系的最大的下扎深度和侧向伸展距离均大于大豆根系。玉米和大豆根系的最大的下扎深度分别为 69 cm 和 53 cm;玉米和大豆根系的最大的侧向伸展距离分别为 59 cm 和 27 cm。在播后第 70 天以前,玉米和大豆根系垂向和侧向生长较快,随播后天数的增加近似于线性增长,此后,作物生长转向以地上部为主,根系的分布模式基本稳定。

利用二次曲线拟合根系的最大的下扎深度(Y_m)与播后天数(days after sowing, DAS)之间的关系:

$$Y_{m-M} = -0.0216 DAS^2 + 3.7108 DAS - 88.199 \quad R^2 = 0.9708 \quad (1)$$

$$Y_{m-SB} = -0.017 DAS^2 + 2.9246 DAS - 71.319 \quad R^2 = 0.9903 \quad (2)$$

式中, Y_{m-M} 、 Y_{m-SB} 分别为玉米和大豆根系的最大的

下扎深度(cm); DAS 为播后天数。

利用修正的 Logistic 函数拟合根系的最大侧向伸展距离(R_m)与播后天数(DAS)之间的关系:

$$R_{m-M} = 15.91 + \frac{42.65}{1 + e^{(20.4 - 3.632(\frac{DAS}{10}))}} \quad (3)$$

$$R^2 = 0.9991$$

$$R_{m-SB} = \frac{27.54}{1 + e^{(5.515 - 1.147(\frac{DAS}{10}))}} \quad R^2 = 0.9738 \quad (4)$$

式中, R_{m-M} 、 R_{m-SB} 分别为玉米和大豆根系的最大侧向伸展距离(cm)。

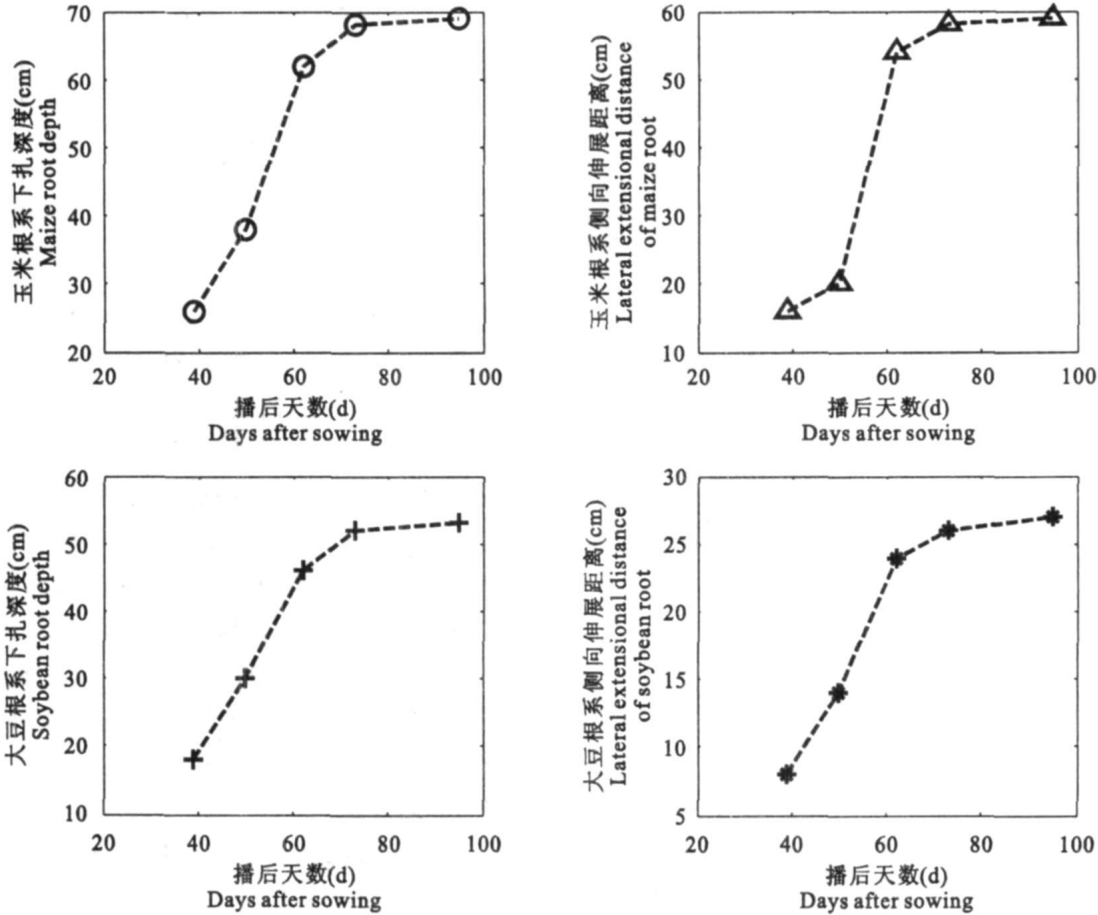


图 3 观测期间内间作条件下玉米和大豆根系的最大的下扎深度和侧向伸展距离

Fig. 3 Root depth and lateral extensional distance of maize/soybean strip intercropping system during observation period

2.2 土壤剖面内的根系分布函数

2.2.1 根系剖面内间作物根系的生长分布 图 4 和图 5 给出的是间作群体内玉米和大豆根系的生长分布状况。在第一次取根($DAS\ 39$)时,玉米和大豆的根系还没有混合。玉米根系的下扎深度约为 26 cm,侧向伸展长度约为 16 cm;大豆根系的下扎深度约为 18 cm,侧向伸展长度约为 8 cm。

在第二次取根时($DAS\ 50$),玉米根系和大豆根系开始混合,但混合程度很小。玉米和大豆根系下扎深度分别为 38 cm 和 30 cm。玉米和大豆根系的侧向伸展长度分别为 20 cm 和 14 cm。第二次取样后,玉米和大豆的根系生长加快,到第三次取根时($DAS\ 62$),玉米根系和大豆根系的混合程度加大。玉米和大豆根系的侧向伸展长度分别约为 54 cm 和 24 cm。玉米根系的下扎深度(约为 62 cm)大于大

豆根系(约为 38 cm)。玉米根系不仅生长于边行大豆的下面,而且伸展到了大豆条带的行间。16~22 cm 土层的玉米根系侧向伸展最远。玉米和大豆的根系大部分都分布于 0~30 cm 土层内,30 cm 以下的根系急剧减少,且主要分布于植株的下方。土壤剖面内玉米和大豆根系的分布模式近似于圆锥形。

到第四次取样时($DAS\ 73$),玉米和大豆根系的混合程度变化不大,两种作物根系的侧向和垂向伸展长度略有增加。玉米根系下扎深度约为 68 cm,大豆根系的下扎深度约为 52 cm。表明,只有极少的玉米根系透过粘土层,而大豆根系则全部分布于粘土层。此时,玉米处于抽雄期,大豆处于开花期,作物生长开始转向地上部分生长,根系分布模式基本稳定。

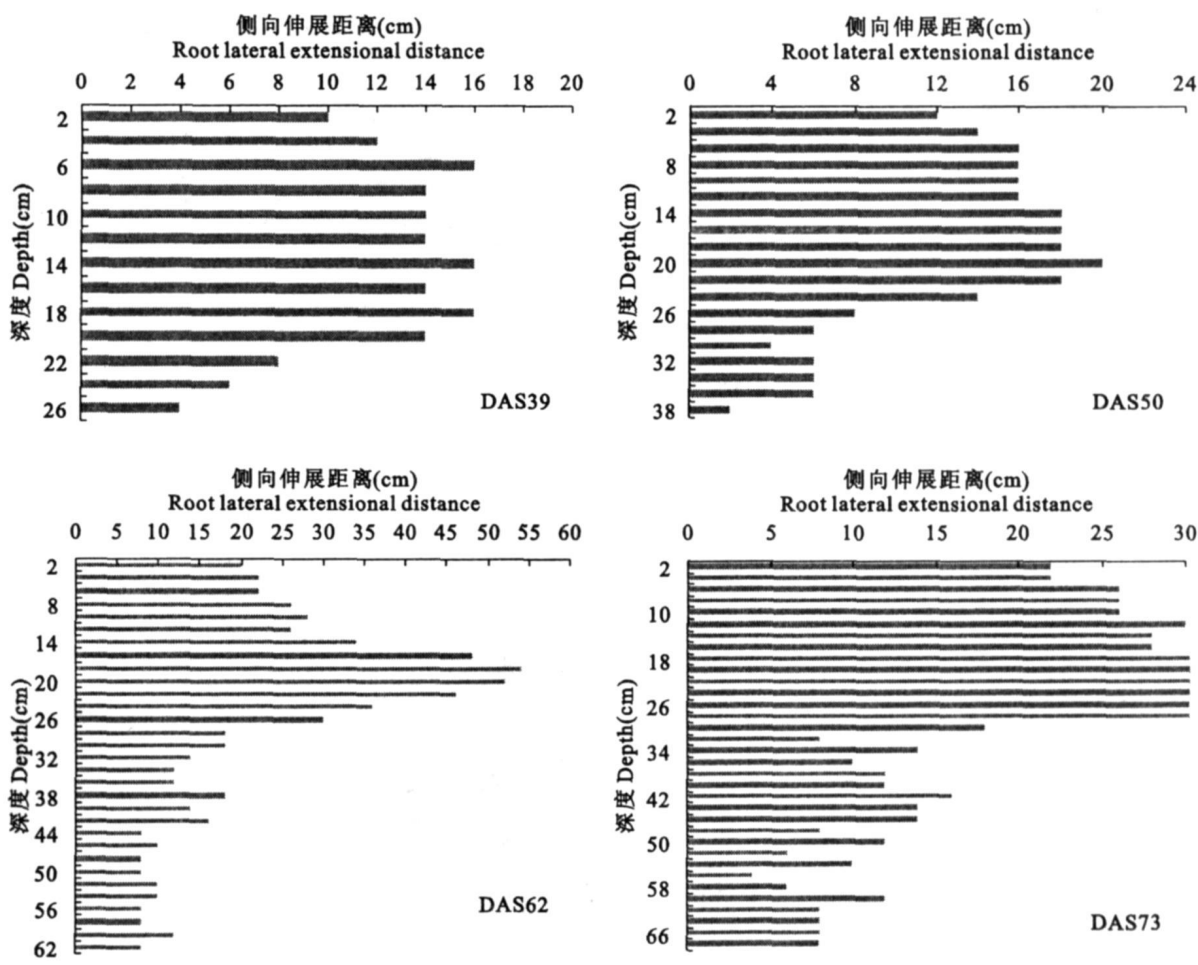


图 4 根系剖面内间作玉米根系的生长分布

Fig. 4 Root growth and distribution of intercropped maize in soil profile

2.2.2 根系相对侧向伸展距离与相对深度的关系

式(1)~(4)只是拟合了每次取根时剖面内最大下扎深度和侧向伸展距离与播后天数之间的关系,并不能反映出根剖面内不同深度处根系的垂向和侧向生长分布情况。为了能够详细地描述剖面内的根系分布情况,引入根系相对深度(RD)和相对侧向伸展距离(RLD):

$$RD = Y/Y_m \quad Y \leq Y_m \tag{5}$$

$$RLD = R/R_m \quad R \leq R_m \tag{6}$$

式中, Y_m 和 R_m 分别为根系的_{最大下扎深度}(cm)和_{侧向伸展距离}(cm); Y 为垂向的土层深度(cm); R 为水平方向上距植株的垂直距离(cm)。RD 和 RLD 表示归一化的根系下扎深度和侧向伸展距离。

采用由高斯函数组成的两项式拟合玉米/大豆间作群体内作物根系的相对侧向伸展距离与相对深度的关系(图 6 和图 7)。由于前两次取根时(DAS 39 和 DAS 50)间作作物根系的分布状况与后两次(DAS 62 和 DAS 73)相比有较大差异,所以分别对

其进行拟合。

间作条件下玉米根系的相对侧向伸展距离(RLD)与相对深度(RD)的拟合公式为:

$$RLD_M = 0.9223 \times \exp\left\{-\left[\frac{RD_M - 0.4677}{0.4102}\right]^2\right\} + 0.2894 \times \exp\left\{-\left[\frac{RD_M - 0.1228}{0.1577}\right]^2\right\}$$

$R^2 = 0.8004$ DAS 39 和 DAS 50 (7)

$$RLD_M = 0.6224 \times \exp\left\{-\left[\frac{RD_M - 0.3167}{0.0934}\right]^2\right\} + 1.693 \times \exp\left\{-\left[\frac{RD_M + 2.557}{2.225}\right]^2\right\}$$

$R^2 = 0.9272$ DAS 62 和 DAS 73 (8)

式中,下脚标 M 代表玉米。

间作条件下大豆根系的相对侧向伸展距离(RLD)与相对深度(RD)的拟合公式为:

$$RLD_{SB} = -0.5577 \times \exp\left\{-\left[\frac{RD_{SB} - 0.9366}{0.1609}\right]^2\right\} + 0.9749 \times \exp\left\{-\left[\frac{RD_{SB} - 0.5336}{0.7891}\right]^2\right\}$$

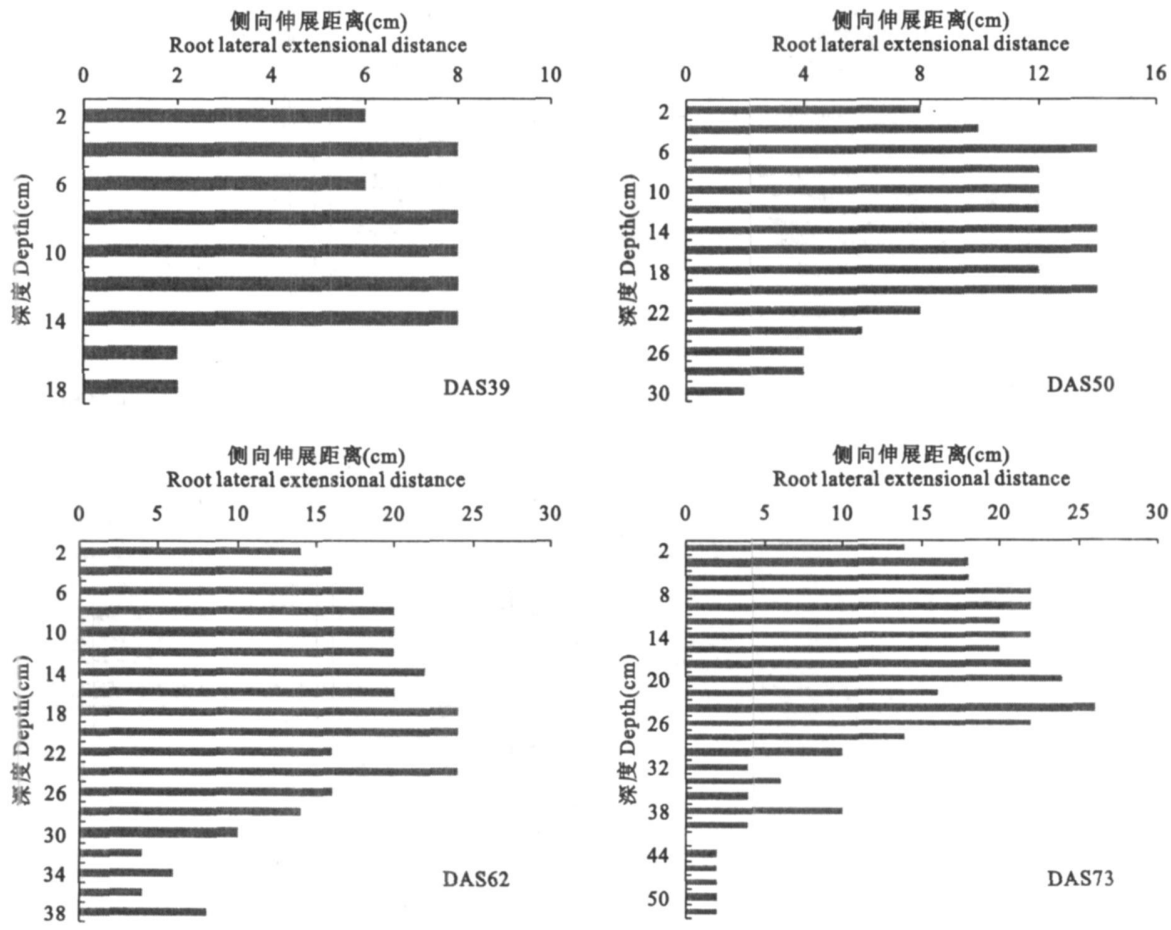


图 5 根系剖面内间作大豆根系的生长分布

Fig.5 Root growth and distribution of intercropped soybean in soil profile

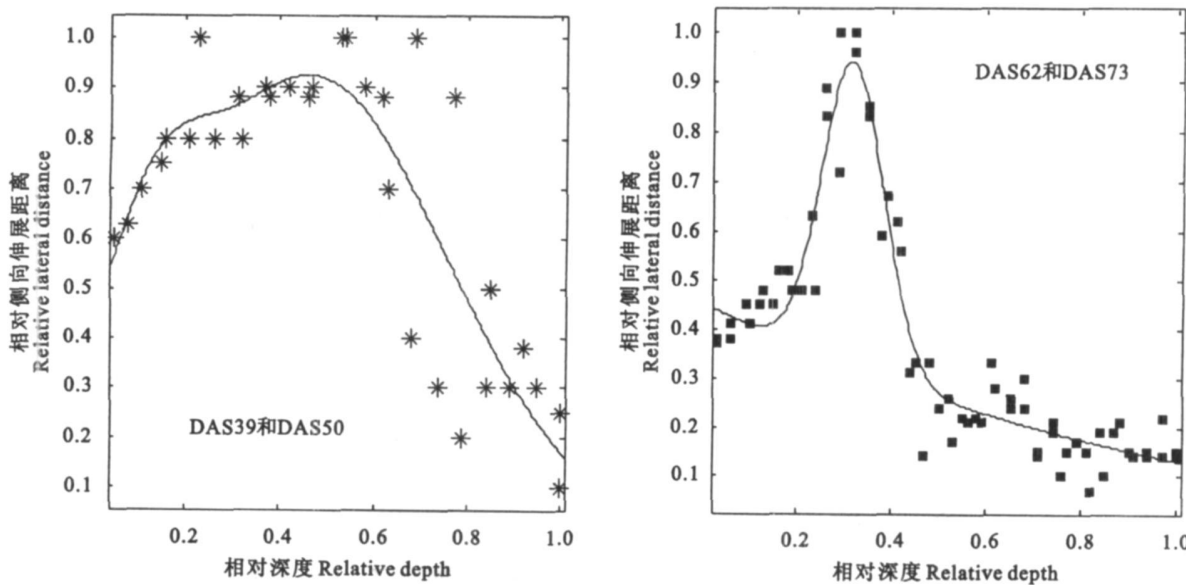


图 6 间作群体内玉米根系的相对侧向伸展距离(RLD)与相对深度(RD)的关系

Fig.6 Relationship between the relative depth(RD) and lateral distance(RLD) for maize root in the intercropping system

$$R^2 = 0.8255 \quad \text{DAS 39 和 DAS 50} \quad (9)$$
$$RLD_{SB} = 0.2454 \times \exp\left[-\left(\frac{RD_{SB} - 0.4823}{0.0985}\right)^2\right] + 0.8522 \times \exp\left[-\left(\frac{RD_{SB} - 0.2705}{0.381}\right)^2\right]$$
$$R^2 = 0.9059 \quad \text{DAS 62 和 DAS 73} \quad (10)$$

式中,下脚标 *SB* 代表大豆。

将式(1)~式(10)相结合就可以根据播后天数得到间作群体内作物根系的生长分布状况。国内外一些学者都曾研究过间作条件下的根系分

布^[1,15,18],但是,这些研究多是研究根密度的分布函数。然而,仅有根密度的分布函数并不能满足研究间作作物地下竞争的需求。本文所建立的根系分布函数,更形象地描述了间作作物根系的混合程度,有助于研究间作作物的种间竞争。

根系的生长发育受栽培措施、水分和养分等因素影响,年际间变化较大。本文只根据一年的试验数据建立了根系分布函数,所建立的根系分布函数的可靠性和适用性需要进一步验证。

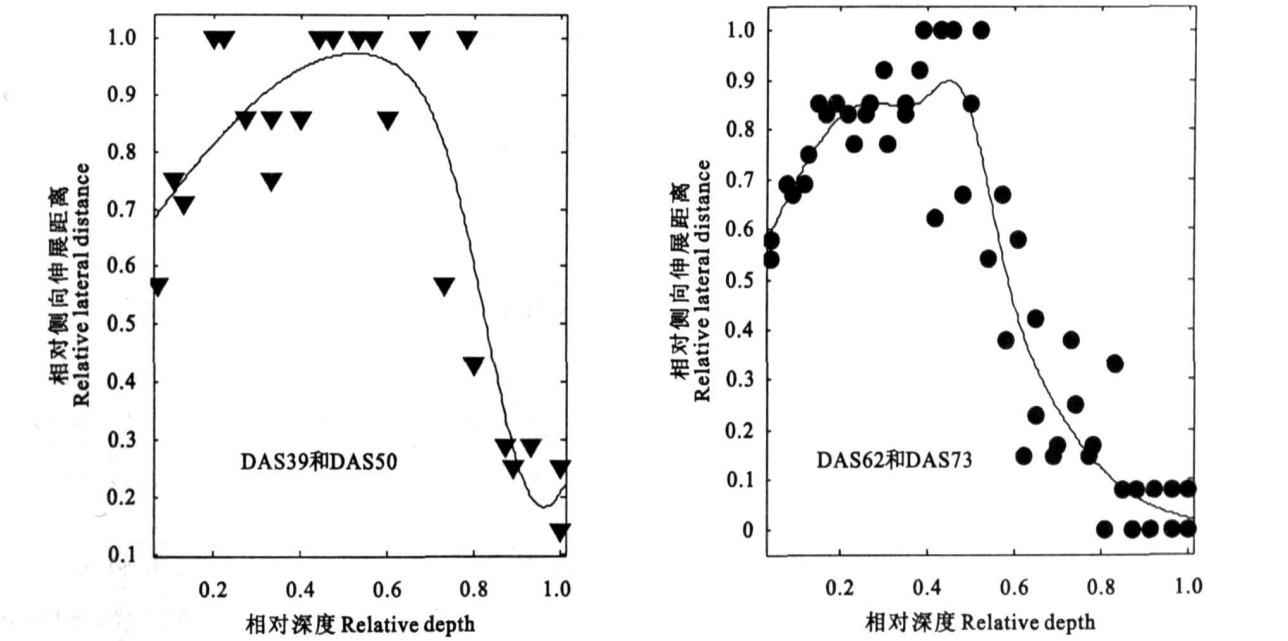


图 7 间作群体内大豆根系的相对侧向伸展距离 (*RLD*)与相对深度 (*RD*)的关系

Fig. 7 Relationship between the relative depth (*RD*) and lateral distance (*RLD*) for soybean root in the intercropping system

3 结 语

作物根系的生长分布状况和根系吸水紧密相关。间作条件下,作物根系的分布和混合程度决定着间作作物对水分和养分的竞争。本文通过在土壤剖面上冲洗根系,研究了玉米/大豆条带间作模式下根系的生长分布情况。建立了根系下扎深度和侧向伸展距离与播后天数的关系。通过将根系下扎深度和侧向伸展距离归一化,引入了根系的相对侧向伸展距离 (*RLD*)与相对深度 (*RD*),并建立了 *RLD* 与 *RD* 的拟合函数。根系分布函数的可靠性与适用性应是下一步研究重点。

参 考 文 献:

[1] 张劲松,孟 平,尹昌君,等. 苹果-小麦复合系统中作物根系时空分布特征[J]. 林业科学研究, 2002, 15(5): 537-541.
[2] Barraclough P R, Leigh R A. The growth and activity of winter

wheat roots in the field; The effect of sowing date and soil type on root growth of high yielding crops[J]. Journal of Agricultural Science, 1984, 103: 59-74.
[3] Engels C. Differences between maize and wheat in growth related nutrient demand and uptake of potassium and phosphorus at sub-optimal root zone temperatures [J]. Plant and Soil, 1993, 150: 129-138.
[4] Gajri P R, Prihar S S, Cheema H S, et al. Irrigation and tillage effects on root development, water use and yield of wheat on coarse textured soils[J]. Irrigation Science, 1991, 12: 161-168.
[5] 王淑芬,张喜英,裴 冬. 不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 27-32.
[6] 栗岩峰,李久生,饶敏杰. 滴灌施肥时水肥顺序对番茄根系分布和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 205-207.
[7] 刘海军,龚时宏,王广兴. 喷灌和地面灌溉条件下冬小麦根系分布特点的研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 34-37.
[8] 张永清,苗果园. 根土空间对高粱根系生理特性及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 635-639.
[9] Meyer W S, Barrs H D. Roots in irrigated clay soils: Measure-

ment techniques and responses to root zone conditions[J]. *Irrigation Science*, 1991, 12: 125—134.

[10] 宋 日, 吴春胜, 马艳丽, 等. 松嫩平原不同株型玉米品种根系分布特征比较研究[J]. *应用生态学报*, 2003, 14 (11): 1911—1913.

[11] Oyanagi A. Gravitropic response growth angle and vertical distribution of roots of wheat [J]. *Plant and Soil*, 1994, 165: 323—326.

[12] 任小龙, 贾志宽, 陈小莉, 等. 模拟降雨量条件下沟垄集雨种植对土壤养分分布及夏玉米根系生长的影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(12): 94—99.

[13] Li L, Sun J, Zhang F, et al. Root distribution and interactions between intercropped species[J]. *Oecologia*, 2006, 147: 280—290.

[14] Li L, Yang S, Li X, et al. Interspecific complementary and competitive interactions between intercropped maize and faba bean[J]. *Plant and Soil*, 1999, 212: 205—214.

[15] 张恩和, 黄高宝. 间套种植复合群体根系时空分布特征[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1301—1304.

[16] 张礼军, 张恩和, 郭丽琢, 等. 水肥耦合对小麦/玉米系统根系分布及吸收活力的调控[J]. *草业学报*, 2005, 14 (2): 102—108.

[17] Adiku S G K, Ozier-Lafontaine H, Bajazet T. Patterns of root growth and water uptake of a maize-cowpea mixture grown under greenhouse conditions[J]. *Plant and Soil*, 2001, 235: 85—94.

[18] 刘 浩, 段爱旺, 孙景生, 等. 间作模式下冬小麦与春玉米根系的时空分布规律[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(6): 1242—1246.

[19] 张恩和, 胡 华. 小麦玉米带田根系竞争和补偿效应研究[J]. *甘肃农业大学学报*, 1997, (4): 295—299.

[20] 刘 浩, 段爱旺, 高 阳, 等. 间作种植模式下冬小麦根系生长的时空分布及变化规律研究[J]. *灌溉排水学报*, 2006, 25 (1): 20—24.

[21] Tsubo M, Walker S. A model of radiation interception and use by a maize-bean intercrop canopy [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 110: 203—215.

[22] Tsubo M, Walker S, Mukhala E. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations[J]. *Field Crops Research*, 2001, 71: 17—29.

Crop root distribution model in maize/soybean strip intercropping system

GAO Yang, DUAN Ai-wang, SUN Jing-sheng, CHEN Jin-ping, WANG He-zhou, LIU Zhan-dong
(Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang, He'nan 453003, China)

Abstract: Root growth dynamics in maize/soybean strip intercropping system were investigated through washing roots in soil profile, and root distribution model of the intercropping system was developed. The relationship between root depth and lateral extensional distance and DAS (days after sowing) were fitted with the quadratic curve equation and modified logistic function. Root depth and lateral extensional distance were normalized with the relative depth (RD) and lateral distance (RLD). The relationship between RLD and RD was fitted with Gauss function. Root distribution could be obtained using the developed root distribution model with DAS.

Key words: intercropping; maize; soybean; root

(上接第 83 页)

Effects of different mulching methods on the growth and nutrients absorption of maize

ZHENG Xian-feng, ZHOU Jian-bin, WANG Chun-yang, TUO Xiu-li, GAO Ya-jun, LI Sheng-xiu
(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Field experiment was used to investigate the effects of plastic film mulching and straw mulching on the growth, dry matter distribution and nutrient uptakes of maize. In the test year, there was plenty of rainfall during the maize growth period but only a little at the early stage. Biomass and yield of maize were improved due to straw mulching or plastic film mulching. Maize NUE was improved as well. The nitrogen uptake of maize with mulching treatments was higher than that without mulching(CK), while nitrogen remaining in the leaves was also higher, compared to no mulching. Mulching had no effect on the distribution of dry matter and harvest index of maize.

Key words: maize; dry matter accumulation; mulching pattern