

## 不同秸秆还田模式对大豆根系分布的影响

林蔚刚<sup>1</sup>, 吴俊江<sup>1</sup>, 董德健<sup>1</sup>, 钟 鹏<sup>1</sup>, 王金生<sup>1</sup>, 周 全<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省八五二农场, 黑龙江 宝清 155600)

**摘 要:** 对免耕、灭茬还田和传统耕作条件下大豆根系在土壤剖面中的垂直分布的变化规律进行了研究, 为改善在保护性耕作条件下大豆根系发育条件提供参考。结果表明, 免耕、灭茬还田和传统耕作模式的根长、根表面积、根体积及根干重均主要分布于土壤剖面 0~10 cm 深度。在 0~10 cm 深度内, 不同耕作模式之间的根体积密度、根干重密度差异显著, 其中免耕模式最低。在 10~20 cm 深度内, 免耕模式根长密度、根表面积密度、根体积密度和根干重密度最低, 其根长、根表面积、根体积和根干重占土壤剖面比例最低。土壤剖面根长、根表面积、根体积和根干重累加值亦表现为免耕最低, 灭茬还田与传统耕作差异不显著。灭茬还田模式的根长密度、根表面积密度、根体积密度及根干重密度与传统耕作差异不显著, 同时其根长、根表面积、根体积及根干重的垂直分布与传统耕作间差异亦不显著。土壤机械阻力和根长密度、根表面积密度、根体积密度及根干重密度呈显著负相关, 土壤机械阻力是限制免耕模式大豆根系发育的重要因素。

**关键词:** 免耕; 灭茬还田; 大豆; 根系分布; 机械阻力

**中图分类号:** S157.4<sup>+</sup>2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-9841(2012)04-0584-05

## Impact of Different Residue Retention System on Soybean Root Distribution in Soil Profile

LIN Wei-gang<sup>1</sup>, WU Jun-jiang<sup>1</sup>, DONG De-jian<sup>1</sup>, ZHONG Peng<sup>1</sup>, WANG Jin-sheng<sup>1</sup>, ZHOU Quan<sup>2</sup>

(1. Soybean Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, Heilongjiang; 2. 852 State Farm, Baoqing 155600, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Soybean root vertical distribution in soil profile under different residue retention system was studied in order to provide theoretical guidance for improving soybean root development environment. The experiment consisted of three treatments: NT(no-tillage), SCRR(Stubble cut off with residue retention), and CT(Conventional tillage). Root length, root surface area, root volume, and root dry weight distributed mostly in 0-10 cm soil depth. There were significant differences in root volume density and root dry weight density between different tillage treatments and the minimum values under NT in 0-10 cm depth. Not only root length density, root surface area density, root volume density, and root dry weight density but also root length percentage distribution, root surface area percentage distribution, root volume percentage distribution, and root dry weight percentage distribution were the lowest under NT in 10-20 cm depth. There were no significant differences between tillage treatments not only on root length density, root surface area, root volume density, and root dry weight density but also on root length percentage distribution, root surface area percentage distribution, root volume percentage distribution, and root dry weight percentage distribution. Soil penetration resistance was one of important factors restricting soybean root development for the significant negative relationship between soil penetration resistance and root length density, root surface area density, root volume density, and root dry weight density, respectively.

**Key words:** No-tillage; Stubble cut off with residue retention; Soybean; Root distribution; Penetration resistance

国内外大量研究结果表明, 保护性耕作和秸秆覆盖对农田土壤水分、温度、容重等物理特性均产生显著影响; 免耕条件下的土壤含水量高于传统耕作<sup>[1-3]</sup>, 秸秆覆盖有利于反射太阳能并且阻碍土壤表面的热传导<sup>[4-5]</sup>, 保护性耕作条件下土壤容重和机械阻力均高于传统耕作<sup>[6-8]</sup>。大豆是黑龙江省主要栽培作物之一, 前期的研究表明, 保护性耕作措施对于农田耕层水分、温度及容重等土壤物理

特性影响显著<sup>[9-10]</sup>。但是, 保护性耕作避免或减少了对于根际的耕层土壤的搅动, 相对于传统耕作而言, 根系在耕层土壤中的发育环境有所改变, 而根系发育环境的改变会对大豆根系生长发育产生何种影响, 鲜见报道。该试验通过保护性耕作对大豆根系在土壤剖面分布的影响的研究, 揭示在不同耕作体系下大豆根系在土壤剖面中的分布特点, 为保护性耕作的进一步推广应用提供理论支持。

收稿日期: 2012-03-04

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划(2012BAD14B00)。

第一作者简介: 林蔚刚(1955-), 男, 研究员, 主要从事耕作栽培与保护性耕作研究。E-mail: linweigang99@126.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2010 年在 852 农场试验站实施。试验场于东经  $132^{\circ}36'124''$ , 北纬  $46^{\circ}14'116''$ , 海拔为 112 m。土壤分类为, 白浆土 (Albic soils, 国内分类), 典型的舌状冷凉淋溶土 (Typic Glossoboralfs), 漂白高活性淋溶土 (Albic Luvisols, WRB)。土壤机械组成为, 粘粒 ( $<0.002\text{ mm}$ ) 31.66%, 粉粒 ( $0.002\sim0.05\text{ mm}$ ) 61.21%, 砂粒 ( $0.05\sim2.0\text{ mm}$ ) 7.13%, 属于粉质粘壤土 (美国土壤质地分类三角坐标)。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$  平均年度积温为  $2\,570.3^{\circ}\text{C}$ , 年平均降水量为 541.7 mm, 属雨养型气候区。 $0\sim20\text{ cm}$  耕层基础肥力指标为: 速效氮  $142.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $21.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $100.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 有机质 4.31%, 全氮 0.217%, 全磷 0.172%, 全钾 2.46%, 土壤 pH 值 6.32。

### 1.2 试验方法

试验区前茬为玉米。试验设 3 个处理, 免耕 (NT): 秸秆全部还田, 原茬播种; 灭茬还田 (SR-RC): 秸秆全部还田, 在春季播期播种之前用 IGZ-4 型灭茬机切断根茬; 传统耕作 (CT): 地上部分全部秸秆移走。 $12\text{ 行区}$ , 行长 30 m, 行距 0.65 m, 小区面积  $234\text{ m}^2$ , 3 次重复, 随机区组设计。播种时施用种肥尿素  $37.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 磷酸二铵  $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 氯化钾  $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 大豆品种为垦农 20。田间除草使用 90% 乙草胺乳油  $1.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  + 宝收  $30.0\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$  对玉米地块进行播后苗前喷洒除草, 使用赛克津 (95% 粉剂)  $0.45\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  + 宝收  $15.0\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$  + 杜尔  $1.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  对大豆地块进行播后苗前喷洒除草。

在 R5 期 (7 月 28 日) 进行根系取样; 使用动力根钻进行取样, 钻头直径 8 cm。 $0\sim100\text{ cm}$  深度范围, 间隔 10 cm。每个处理选 6 个取样点, 对每个取样点, 在取样之前在子叶痕处将大豆植株地上部分剪断并移走, 大豆植株位于根钻中心位置。根系样品冲洗后, 用 EPSON4870 型扫描仪、WinRHIZO 根系测量软件进行分析, 然后采用 101-4 型烘箱在  $85^{\circ}\text{C}$  下将根系样品烘干至恒重。鉴于采样中在 60 cm 以下土层中根系分布量极微, 试验深度统计分析范围设为  $0\sim60\text{ cm}$ 。根系分析以根长、根表面

积、根体积和根干重作为根系特征值进行分析; 相对应的根长、根表面积、根体积和根干重在土壤剖面的分布比例, 分别表明土壤剖面每一层的测量值占该处理的土壤剖面累积测量值的百分数。在根系取样同期 (7 月 28 日), 用 6101 型阻力计 (6101 Economy Soil Compaction Tester), 进行土壤机械阻力测定, 从  $0\sim30\text{ cm}$ , 按照 10 cm 间隔进行测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 根长分布

根长分析结果表明, 各处理的根长密度均以  $0\sim10\text{ cm}$  深度土层为最高, 不同处理间差异不显著 (图 1A); 其中不同处理的根长均占各自土壤剖面总根长 55% 以上, 而免耕处理表层分布比例最高, 占其总根长比例 64.4%;  $10\sim20\text{ cm}$  根长分布次之, 传统耕作和灭茬还田处理的根长密度和分布比例均高于免耕处理; 超过 20 cm 土层深度, 根长分布较少 (图 1B)。

### 2.2 根表面积分布

根表面积分析结果表明, 各处理根表面积密度均以  $0\sim10\text{ cm}$  为最高, 不同处理间差异不显著 (图 2A); 根表面积分布比例也以  $0\sim10\text{ cm}$  为主, 不同处理根表面积均占各自的土壤剖面总值的 70% 以上, 其中以免耕处理为最高, 达到 81.9%。在  $10\sim20\text{ cm}$  深度内, 不同处理间的根表面积密度差异显著, 其中免耕处理最低; 各层根表面积占自身总表面积分布也以免耕处理最低。超过 20 cm 土层深度, 根表面积分布较少 (图 2B)。

### 2.3 根体积分布

根体积分布表明, 各处理根体积密度均主要分布于  $0\sim10\text{ cm}$  深度, 不同处理间差异显著, 其中以免耕处理的根体积密度为最低, 灭茬还田和传统耕作处理差异不显著 (图 3A); 根体积分布比例以  $0\sim10\text{ cm}$  为主, 各处理的根体积在土壤剖面中的分布均占其总值的 80% 以上, 这表明根体积是以表层分布为主的, 而其中免耕模式则是表层分布最高, 占土壤剖面中全部根体积的 90.5%。 $10\sim20\text{ cm}$  深度, 免耕模式的根体积密度最低; 土壤剖面中免耕模式的根体积分布约占剖面的根系总体积的 5.4%, 分布比例最低; 超过 20 cm 深度, 根体积分布量极小 (图 3B)。

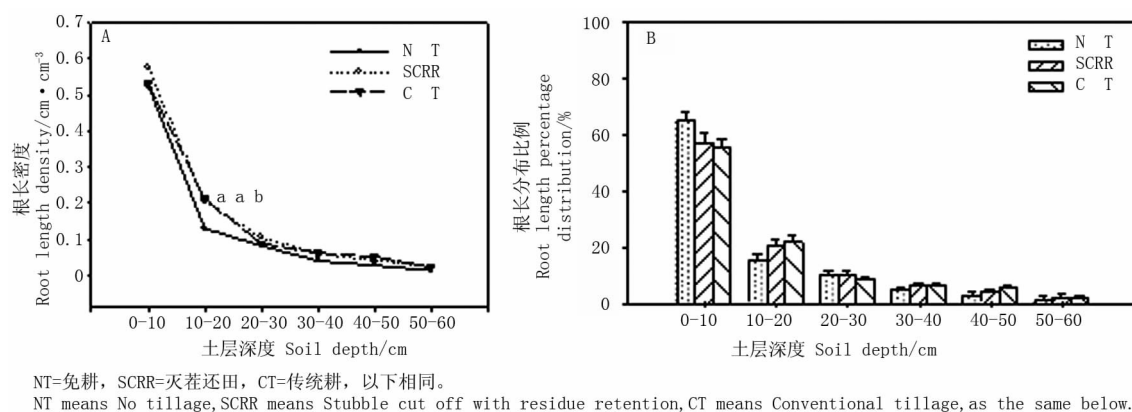


图1 土壤剖面根长密度及分布情况

Fig. 1 Root length density and distribution in soil profile

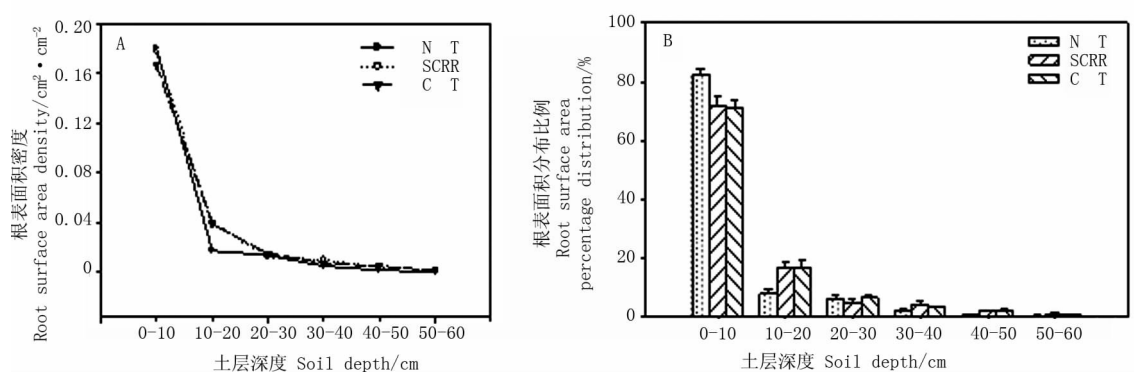


图2 土壤剖面根表面积密度及分布情况

Fig. 2 Root surface area density and distribution in soil profile

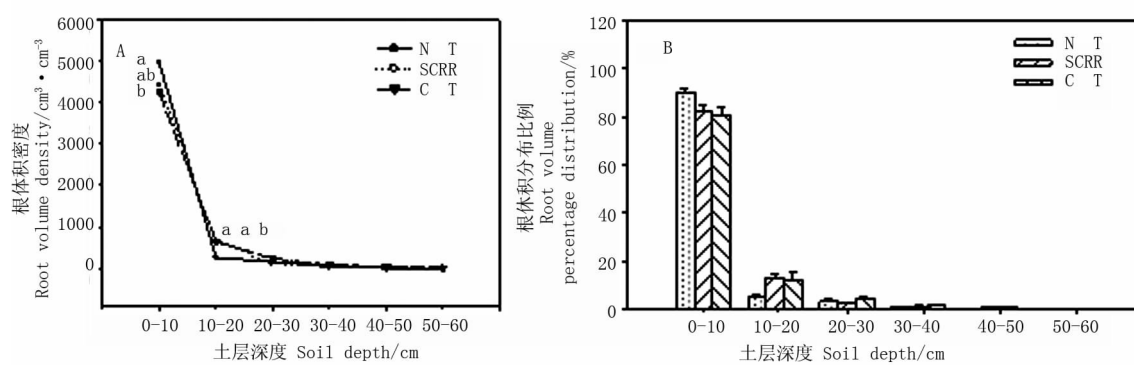


图3 土壤剖面根体积密度及分布情况

Fig. 3 Root volume density and distribution in soil profile

## 2.4 根干重分布

根干重分布结果表明,各处理的根干重密度均主要分布于0~10 cm深度,其中以免耕处理的根干重密度为最低,灭茬还田和传统耕作差异不显著(图4A);0~10 cm深度各处理的根干重均占其总重量的90.00%以上,其中以免耕处理比例最高,约占整个土壤剖面根干重95.39%(图4B)。在10~20 cm土层深度,根干中密度差异显著,免耕处理的根干重密度最低。

## 2.5 不同处理间根系特征值总量的差异

对0~60 cm深度、直径为8 cm的取样体积内根长、根表面积、根体积和根干重进行累加,得到土壤剖面上述根系特征值总量(表1)。其中免耕处理的根长、根表面积、根体积和根干重的总量最低,灭茬还田处理和传统耕作之间差异未达到显著水平( $P < 0.05$ )。

## 2.6 根系特征值与土壤机械阻力关系

根系指标与土壤机械阻力分析结果表明,随着土层深度的增加,各处理的土壤机械阻力呈增加趋

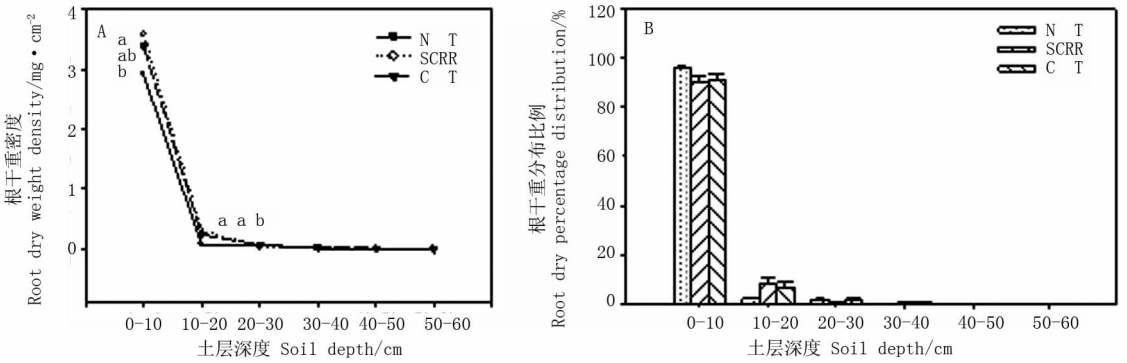


图 4 土壤剖面根干重密度及分布情况

Fig.4 Root dry weight density and distribution in soil profile

表 1 土壤剖面不同处理的根系特征值总量

Table 1 Total values of root characteristics under different residue retention systems in soil profile

处理 Treatments	根长 Root length/cm	根表面积 Root surface area/cm <sup>2</sup>	根体积 Root volume/cm <sup>3</sup>	根干重 Root dry weight/g
免耕 NT	410.7b	106.0b	2.28b	1.35b
灭茬还田 SCRR	505.8a	123.8a	2.67a	1.97a
传统耕作 CT	485.1a	118.6ab	2.64a	1.87ab

同列数值后不同字母表示在  $P < 0.05$  (LSD) 水平下差异显著。

The values in the same column followed by different letters are significantly different at  $P < 0.05$  according to LSD.

势,与之对应,根长密度(图 5A)、根表面积密度(图 5B)、根体积密度(图 5C)和根干重密度(图 5B)均呈下降趋势。对于土壤机械阻力与上述根系指标对应观测值进行相关分析,结果表明,土壤机械阻力与根长密度、根表面积密度、根体积密度及根干

重密度均呈极显著线性负相关( $P < 0.01$ )。土壤机械阻力是代表土壤坚实度一项重要指标,根长密度、根表面积密度、根体积密度和根干重密度这些根系发育指标和土壤机械阻力间呈高度负相关,表明土壤坚实度是制约大豆根系发育的重要因素。

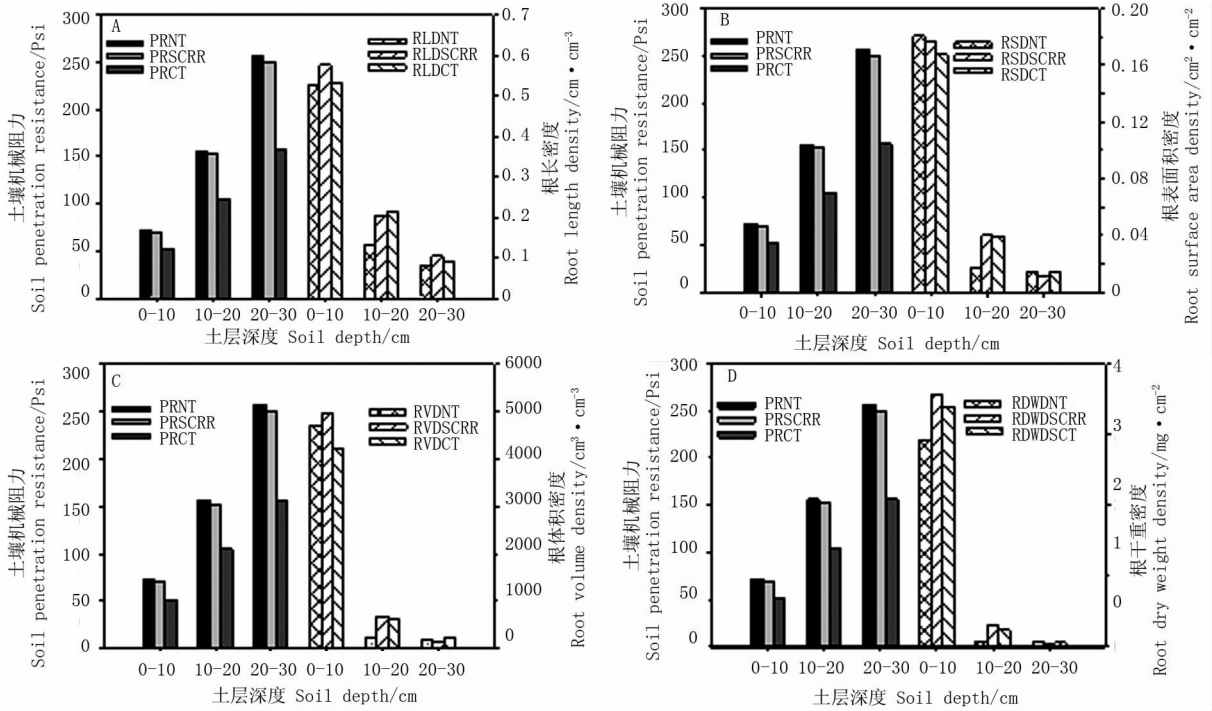


图 5 土壤剖面土壤机械阻力与根系特征值的关系

Fig.5 Correlations between soil penetration resistance and root characteristic values

表2 土壤机械阻力与根系特征值相关性

Table 2 Correlation coefficients between penetration resistance and root characteristic values

机械阻力 Penetration resistance	根长 密度 RLD	根表面积 密度 RSAD	根体积 密度 RVD	根干重 密度 RDWD
免耕 NT	0.8626 **	0.8577 **	0.8436 **	0.7895 **
灭茬还田 SCRR	0.8349 **	0.8895 **	0.8693 **	0.8112 **
传统耕作 CT	0.9032 **	0.8968 **	0.8673 **	0.8640 **

\*\* 表示极显著相关 ( $P < 0.01$ )。

\*\* means very significant correlation ( $P < 0.01$ ). RLD: Root length density; RSAD: Root surface area density; RVD: Root volume density; RDWD: Root dry weight density.

### 3 结论与讨论

不同的秸秆还田模式对大豆根系垂直分布有一定影响。免耕还田虽未搅动耕层土壤保持了耕层原状土,但是免耕条件下的土壤和传统耕作相比具有较高的土壤紧实度,因而会对作物根系生长产生一定影响。根系穿透阻力强弱取决于土壤的紧实度<sup>[12]</sup>,土壤越坚实,根系穿透阻力越大,对根系在土壤剖面中的分布影响也越大。

试验结果表明,免耕、灭茬还田和传统耕作根系分布均以表层 10 cm 深度为主,与孙广玉等<sup>[13]</sup>研究结果一致;在同样深度中免耕模式的根长、根表面积、根体积和根干重垂直分布比例最高,分别占自身土壤剖面总值比例 64.4%、81.9%、90.5% 和 95.39%;在 0~10 cm 深度土层内,不同处理间的根长密度和根表面积密度差异不显著,免耕根体积密度和根干重密度均最低,灭茬还田和传统耕作间差异不显著。在 0~20 cm 土层内,免耕模式的根长、根表面积、根体积和根干重比例最低;免耕模式根长密度、根表面积密度、根体积密度和根干重密度最低。土壤剖面根长、根表面积、根体积和根干重累加值表现为免耕最低。

灭茬还田模式的根长密度、根表面积密度、根体积密度及根干重密度和传统耕作差异不显著,与此同时,其根长、根表面积、根体积及根干重的垂直分布和传统耕作间差异亦不显著。灭茬还田模式由于在临近播种前进行灭茬作业,作业深度在 10 cm 左右,较好地保持了耕层土壤水分,同时种床平整易于播种,此种模式在生产中推广应用的潜力较大。

土壤机械阻力和对应深度根系特征值根长密度、根表面积密度、根体积密度及根干重密度呈显著负相关,土壤机械阻力是限制根系发育的重要因素。免耕模式虽然省略了耕作程序,但是相比传统耕作则缺乏耕层土体深松处理,而且由于播种和收

获及其生育季节喷洒农药作业,作业机械地轮对土壤的挤压加剧了土壤紧实板结,增加了根系的穿透阻力。在三江平原白浆土地地区深松处理对于缓解土壤板结硬化是十分重要的环节。所以,其后试验应该探索“少耕+深松”秸秆还田模式在该地区的可行性。

### 参考文献

- [1] Nyborg M, Malhi S S. Effect of zero and conventional tillage on barley yield and nitrate nitrogen content, moisture and temperature of soil in north-central Alberta[J]. Soil & Tillage Research, 1990, 15:1-9.
- [2] Malhi S S, O Sullivan P A. Soil temperature, moisture and penetrometer resistance under zero and conventional tillage in central Alberta[J]. Soil & Tillage Research, 1990, 17:167-172.
- [3] Li L L, Huang G B, Zhang R Z, et al. Effects of conservation tillage on soil water regimes in rainfed areas[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9):2326-2332.
- [4] Shimmers K J, Nelson W S, Wang R. Effects of residue-free band width on soil temperature and water content[J]. Transaction of the ASAE, 1993, 37:39-49.
- [5] Van Wijk W R, Larson W E, Burrows W C. Soil Temperature and the early growth of corn from mulched and unmulched soil[J]. Soil Science Society of America Journal, 1959, 23(6):428-434.
- [6] Hamme J E. Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in northern Idaho[J]. Soil Science Society of America Journal, 1989, 53:1515-1519.
- [7] Osunbitan J A, Oyedele D J, Adekalu K O. Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria[J]. Soil & Tillage Research, 2005, 82:57-64.
- [8] Ferreras L A, Costa J L, Garcia F O, et al. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern “Pampa” of Argentina[J]. Soil & Tillage Research, 2000, 54:31-39.
- [9] Lin G, Wu J, Liu J, et al. Impact of conservation tillage on some soil physical properties and soybean yields (*Glycine max* L. Merrill)[J]. Soybean Science, 2010, 29(2):238-243.
- [10] 林蔚刚, 吴俊江, 董德健, 等. 初期保护性耕作和秸秆还田对土壤物理特性及大豆玉米产量的影响[J]. 大豆科学, 2010, 29(5):761-766. (Lin W G, Wu J J, Dong D. J, et al. Impact of initial conservation tillage and stubble retention on soil physical properties, soybean (*Glycine max* L. Merrill) and corn (*Zea mays* L.) yield performances [J]. Soybean Science, 2010, 29(5):761-766.)
- [11] Qin R J, Stamp P, Richner W. Impact of tillage on maize rooting in a Cambisol and Luvisol in Switzerland[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 85:50-61.
- [12] Varsa E C, Chong S K, Abolaji J O, et al. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.) root growth and production[J]. Soil & Tillage Research, 1997, 43:219-228.
- [13] 孙广玉, 张荣华, 黄忠文. 大豆根系在土层中分布特点的研究[J]. 中国油料作物学报, 2002, 24(1):45-47. (Sun G Y, Zhang R H, Huang Z W. Soybean root distributions in meadow-blackland and albic-soil[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2002, 24(1):45-47.)