

农田不同耕层构造对玉米生长发育及产量的影响

郑洪兵^{1,2}, 郑金玉², 罗 洋², 李瑞平², 王 浩²,
李伟堂², 刘武仁², 齐 华¹

(1. 沈阳农业大学农学院, 辽宁 沈阳 110866;

2. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所/农业部东北作物生理生态与耕作重点实验室, 吉林 长春 130033)

摘要: 在公主岭市吉林省农科院长期定位试验田(1983 年) 4 种耕层构造(上虚下实、全虚耕层、全实耕层和虚实并存)上, 通过对玉米出苗率、株高、茎粗、叶片数、叶面积、根系及产量指标测定, 探讨不同耕层构造对玉米生长发育及产量的影响。结果表明, 虚实并存耕层玉米出苗率为 94.90%, 明显高于其他耕层, 增加苗期玉米株高和茎粗, 叶片数较全虚耕层和上虚下实耕层分别增加 0.8 和 1.2 片, 但与全实耕层相比差异不明显。从玉米生育中后期来看, 虚实并存耕层促进玉米生长发育, 增加叶面积, 改善根系性状, 与上虚下实耕层比较, 根条数增加 16.80 条, 气生根和地下根干重分别增加 4.60 g 和 20.50 g, 且气生根层数增加 0.80 层。同时, 虚实并存耕层玉米产量显著高于其他耕层, 增产幅度为 8.17% ~ 15.02%, 上虚下实耕层产量最低。可见, 虚实并存耕层“既发小苗, 又发老苗”, 稳产高产, 是较为理想的耕层构造。

关键词: 农田; 耕层构造; 玉米; 产量

中图分类号: S152.4 **文献标志码:** A

Effects of different tillage layer structures on growth and yield of maize in cropland zone in northeast of China

ZHENG Hong-bing^{1,2}, ZHENG Jin-yu², LUO Yang², LI Rui-ping², WANG Hao²,
LI Wei-tang², LIU Wu-ren², QI Hua¹

(1. Agronomy College, Agricultural University of Shenyang, Shenyang, Liaoning 110866, China;

2. Research Institute of Agricultural Resources and Environment, Jilin Academy of Agricultural Science/Key laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Northeast China, Ministry of Agriculture, Changchun, Jilin 130033, China)

Abstract: A long-term positioned experiment had been conducted since 1983 in Gongzhuling employing plow tillage (PT), no-tillage (NT), spacing tillage (NT) and conventional tillage (CT). The seeding rate, plant height, stem diameter, leaf number, root and yield of maize were measured in the study in order to investigate the effects of different tillage layer structures on growth and yield of maize. The results showed that the seeding rate was higher in spacing tillage (94.90%), than that in other treatments. The height and stem diameter of seeding stage were increased in ST. Moreover, compared to those in PT and CT, leaf numbers in ST were significantly increased by 0.8 and 1.2, which was not significantly different from that in NT. After flowering stage, the growth of maize was enhanced, leaf area of plants was increased and mass of roots was improved. In particular, compared with CT, root numbers were increased by 16.80, layers of aerial root were increased by 0.80, gaining 4.60 and 20.50 g weight in stalk root and aerial root, respectively. Meanwhile, the yield of maize with ST treatment was higher than that with other treatments, ranging from 8.17% to 15.02% and the yield of maize was lowest in CT. Therefore, ST was the optimal layer because it could enhance the growth of seeding and delay the process of decrepitude of maize in black soil zone in Jilin province.

Keywords: cropland; tillage layer structure; maize; yield

收稿日期: 2014-06-21

基金项目: 国家农业部公益性行业专项(201103001-03); 国家科技支撑粮丰课题(2012BAD04B02); 国家青年科学基金(31501248)

作者简介: 郑洪兵(1980—), 男, 吉林白城人, 助理研究员, 在读博士, 主要从事土壤耕作制度研究。E-mail: hongbingzheng@126.com。

通信作者: 刘武仁(1957—), 吉林公主岭人, 研究员, 博士生导师, 主要从事保护性耕作与农作制度研究。E-mail: liuwuren571212@163.com。

齐 华(1960—), 辽宁北镇人, 教授, 博士生导师, 主要从事农作制与作物高产栽培研究。E-mail: Qihua10@163.com。

耕层构造是由耕作土壤及其覆盖物所组成,是人类耕作加工后形成的犁底层、内部结构、表面形态及覆盖物的总称,耕层构造的状况决定整个土体与外界水、肥、气、热交换能力的高低,良好的耕层构造能最大限度地蓄纳和协调耕层中的水分^[1]。耕作方法很多,但总体来看也就是中国古代的表土耕作、前苏联的翻耕、美国的免耕法和中国的间隔耕作四大体系,其实质是土壤耕作中上虚下实、全虚耕层、全实耕层和虚实并存四大效应^[2]。

土壤是作物生长的基础,对土壤进行耕作可改善耕层的土壤结构,调节土壤中的固体、液体、气体的三相比例,协调好土壤中水、肥、气、热的关系,为作物生长发育创造良好的环境和条件^[3]。创造合理耕层结构可以有效打破坚硬的犁底层,创造疏松深厚的耕作层,降低土壤容重,提高保水能力,以利于作物的根系生长,为作物的高产奠定良好基础^[4]。然而,目前生产上长期小四轮作业,形成了“波浪型”土壤剖面构造,不利于玉米植株生长发育,制约玉米产量的提高^[5]。由于耕层构造研究受定位年限和研究方法的限制,对其研究报道尚不多见,特别是在吉林省中部黑土区未见报道。

因此,在长期定位试验条件下,开展不同耕层构造对玉米生长发育及产量的影响研究,旨在探讨玉米生长发育及产量对不同耕层的响应,从而明确吉林省中部黑土区合理的耕层结构,为农业持续高效耕作提供一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验田位于吉林省公主岭市(43°45'N, 125°01'

E),2011年5—9月份的总降雨量为316.4 mm,其中7月份最高为127 mm,平均最高温度为31.7℃(图1)。年均太阳有效辐射4 800 MJ·m⁻²,年均气温4℃~6℃,日照时数为2 800 h,≥10℃有效积温为2 860℃·d,无霜期140 d,为典型的雨养农业区。该区土壤类型属于黑粘土,土层深厚,质地均匀,储水性能良好,作物为一年熟玉米。

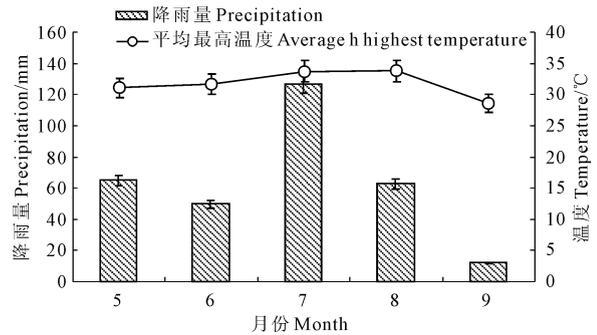


图 1 5—9 月份降雨量和月平均最高温度

Fig. 1 Precipitation and average highest temperature from May to September

1.2 试验设计

长期定位试验始于1983年,设虚实并存、全实耕层、全虚耕层和上虚下实4个处理,如图2所示,具体田间操作方法如表1所示。

1.3 田间管理

于2011年选择生产上主推品种郑单958,密度为6万株·hm⁻²,采用机械播种,4叶期间苗,留匀苗、齐苗、壮苗和均匀一致长势良好的苗。各处理施肥量一致为每公顷N 243 kg、P 92 kg、K 80 kg,播种时钾肥和氮肥总量的1/4侧3~5 cm施入,余下的

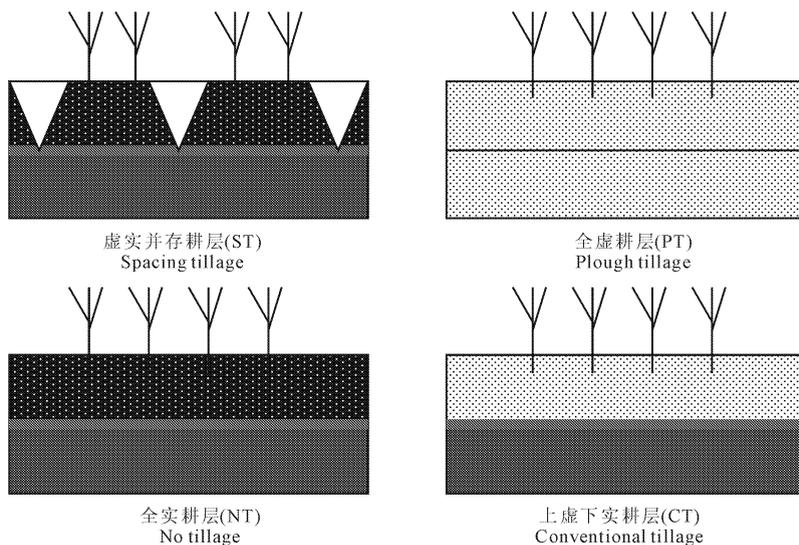


图 2 不同耕层构造示意图

Fig. 2 Figure of different tillage layers

表1 不同耕层构造田间操作方法

Table 1 Operational methods on different tillage layers in field

代码 Codes	处理 Treatments	操作方法 Operation methods
ST	虚实并存 Spacing tillage	<p>将传统 65 cm 的垄改成宽行 90 cm(作为深松带),窄行 40 cm(作为苗带),春季在上一年度的宽行机械播种,结合播种施入种肥,播后用镇压器镇压。在玉米拔节期结合追肥进行深松(30~35 cm)。玉米收获后,留茬高度约 45 cm,其余秸秆运出田外,用旋耕机对上一年度的苗带进行旋耕,作下一年种床</p> <p>The conventional method of 65 cm broad ridges was modified to have a 90 cm wide subsoiling belt and a 40 cm strip for the crop. Seeds were sown with a machine, along with manure, in the 40-cm-wide row of the previous year and the row compacted with a compacting machine. Subsoiling (30~35 cm) along with top dressing was carried out at the elongation stage of maize. The stubble height was about 45 cm. The straw was left in situ after the harvest and worked into the soil with a rotary cultivator to prepare the seed bed for the next year.</p>
NT	全实耕层 No tillage	<p>春季用免耕播种机窄开沟播种,种肥侧深施,种肥隔离,然后用镇压器镇压。在玉米拔节期进行施肥,肥料施于玉米根部附近,秋季收获后留茬 35~40 cm,其余秸秆运出田外</p> <p>A no-tillage planter was used for sowing in narrow ditches, and manure was applied in deep trenches on either side of the row and then compacted by a compacting machine. The fertilizers were applied near the roots when the crop was in its elongation stage. The stubble height was 35~40 cm, and the straw was left in situ after the harvest.</p>
PT	全虚耕层 Plough tillage	<p>春季采用常规播种机播种,在玉米拔节期结合中耕进行追肥。秋季玉米收获后,秸秆全部运出田外,然后用翻转犁翻地,茬子翻入土壤中,翻地深度为 20~25 cm</p> <p>A conventional planter was used for sowing. Top dressing and inter tillage were carried out when the crop was in its elongation stage. The straw was left in situ after the harvest and worked into the soil with a plough. The ploughing depth was 20~25 cm.</p>
CT	上虚下实 Conventional tillage	<p>春季采用常规播种机播种,结合播种进行侧施种肥,在玉米拔节期结合中耕进行追肥。秋季玉米收获后,秸秆全部运出田外,然后用旋耕机进行浅旋整地(深度为 20~25 cm),以备翌年春季播种</p> <p>A conventional planter was used for sowing, and manure was applied at the same time on either side of the seed row. Top dressing and inter tillage were carried out when the crop was in its elongation stage. The straw was left in situ after the harvest and worked into the soil using a rotary cultivator for tilling the soil up to a depth of 20~25 cm while preparing it for sowing in the next spring.</p>

3/4 氮肥在玉米拔节前(6月中下旬)追施,5月1日播种,10月1日收获。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 出苗率调查 于5月26日玉米苗期调查出苗率(%),出苗率(%)=单位面积内出苗株数/单位面积内播种有效粒数×100。

1.4.2 叶面积测定 分别于8月6日玉米灌浆期和9月7日蜡熟期,每个处理选生长均匀一致的玉米10株,测定全株叶面积,单叶面积(cm²)=长×宽×0.75。同时,计算叶面积指数,叶面积指数(m²/m²)=单株叶面积×单位土地面积内株数/单位土地面积。

1.4.3 株高和茎粗测定 于7月25日玉米开花吐丝期,每个处理用米尺测10株玉米株高。同时,用游标卡尺测量玉米茎基部每二节间茎粗,每个处理测量10株。

1.4.4 根系测定 于7月25日开花吐丝期,每个处理挖10株根系,放入网袋中人工冲洗,计数气生根层数和根条数。另外,放入烘箱于85℃烘干至恒重称量根系干重。

1.4.5 产量测定 于10月1日人工收获,测产面

积为20 m²,3次重复,分别取样10穗,自然风干后于室内考种,最后折算成标准水产量(14%)。

1.5 数据分析

采用 Excel 2003 软件处理数据和 SPSS13.0 统计软件中最小显著性差异检验法(LSD)进行方差分析和多重比较,显著性差异采用方差分析中的 LSD 检验,显著水平分别为 0.05 和 0.01。

2 结果与分析

2.1 不同耕层构造对玉米出苗率的影响

通过对不同耕层玉米出苗率(表2)测定表明,虚实并存耕层和全实耕层出苗率最高,与全松耕层比较,分别提高14.6%和12.7%,与上虚下实耕层比较分别提高13.4%和11.3%,而且株高、茎粗和叶片数也明显高于全虚耕层和上虚下实耕层。此外,从长势分级来看均生长良好,说明苗带紧不仅对种子吸水发芽和保苗有利,而且对玉米早期生长亦有显著的促进作用。

2.2 不同耕层构造对玉米叶面积的影响

由表3可见,不同时期虚实并存耕层、全实耕层和全虚耕层叶面积均高于上虚下实耕层。8月6日

虚实并存耕层、全实耕层和全虚耕层叶面积分别比上虚下实高 4.59%、3.34% 和 2.12%，9 月 7 日分别高 14.18%、9.99% 和 8.71%。而且，虚实并存耕层叶面积均高于全实耕层和全虚耕层。

表 2 不同耕层构造对出苗率及苗期形态指标的影响

Table 2 Effects of different tillage layers on the seeding rates and morphological traits in seedling stage

处理 Treatments	出苗率 Seeding rates /%	分级 Classifications	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /cm	叶数 No. of leaf
ST	94.9	优	50.9	0.94	9.6
NT	92.8	良	51.2	0.92	9.7
PT	80.1	下	40.0	0.68	8.8
CT	81.5	劣	38.2	0.63	8.4

表 3 不同耕层构造对玉米叶面积的影响

Table 3 Comparisons of maize leaf areas under different tillage layer structures

日期 Dates	处理 Treatments	平均值 Average values /cm ²	标准差 SD	显著水平 Significant levels	叶面积指数 LAI /(cm ² ·cm ⁻²)
8 月 6 日 August 6th	ST	7588.19	1237.26	a	4.55
	NT	7497.41	182.91	a	4.50
	PT	7409.16	561.41	a	4.45
	CT	7254.73	289.55	a	4.35
9 月 7 日 September 7th	ST	5900.51	914.03	a	3.54
	NT	5684.21	262.52	a	3.41
	PT	5617.79	968.54	a	3.37
	CT	5167.65	575.34	a	3.10

注:表中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同。

Note: Values followed by the different letters in the table showed significance level at $P < 0.05$, and hereinafter.

2.3 不同耕层构造对玉米株高的影响

通过对不同耕层玉米株高数据分析表明(表 4),不同耕层对株高有一定的影响,处理间差异显著,虚实并存耕层分别比全实耕层、全虚耕层和上虚下实耕层株高增加 6.73%、4.22% 和 8.37%,与上虚下实耕层差异达到显著水平($P < 0.05$)。

2.4 不同耕层构造对玉米根系的影响

由表 5 可见,虚实并存耕层通过深松打破犁底层,促进根系生长,同时促进了气生根的生长,气生根条数比上虚下实耕层增加 16.8 条,气生根干重比上虚下实耕层提高 4.62 g,地下根干重增加 20.52

g,气生根层数增加 0.8 层,处理间差异达到显著水平($P < 0.05$)

2.5 不同耕层构造对玉米产量的影响

从图 3 可见,不同耕层构造影响玉米产量,处理间产量变幅为 9 470.65 ~ 10 893.92 kg·hm⁻²,其中虚实并存耕层产量最高,上虚下实耕层产量最低。虚实并存耕层与全实耕层产量间差异不显著,但与全虚耕层差异达显著水平($P < 0.05$),产量提高 10.93%,与上虚下实层比较差异达极显著水平($P < 0.01$),产量提高 15.02%,说明通过间隔深松形成的虚实并存耕层增产效果明显。

表 4 不同耕层构造对玉米株高的影响/m

Table 4 Effects of different tillage layers on plant heights of maize

处理 Treatments	重复 Replications					平均值 ± 标准误 Mean ± SD	显著水平 Significant levels
	I	II	III	IV	V		
ST	2.15	2.20	2.25	2.25	2.29	2.22 ± 0.02	a
NT	2.16	2.14	2.04	2.06	2.03	2.08 ± 0.02	ab
PT	2.03	2.26	2.28	2.12	1.96	2.13 ± 0.06	ab
CT	2.10	2.12	2.15	2.04	1.76	2.03 ± 0.07	b

表 5 不同耕层构造对玉米根系性状的影响
Table 5 Effects of different tillage layers on root traits of maize

处理 Treatments	重复 Replications	根条数 No. of roots	气生根干重/g Dry weight of aerial roots	地下根干重/g Root dry weight under ground	气生根层数 Layers of aerial root
ST	I	20.00	2.29	75.43	2.00
	II	34.00	11.67	35.82	2.00
	III	26.00	9.53	81.40	2.00
	IV	27.00	9.20	79.99	2.00
	V	34.00	7.35	49.78	2.00
	平均值 ± 标准误 Mean ± SD		28.20 ± 2.65a	8.01 ± 1.58a	64.48 ± 9.17a
CT	I	9.00	2.88	47.32	1.00
	II	4.00	0.40	46.71	1.00
	III	22.00	8.11	53.05	2.00
	IV	9.00	2.70	30.32	1.00
	V	13.00	2.88	42.41	1.00
	平均值 ± 标准误 Mean ± SD		11.40 ± 3.01b	3.39 ± 1.26b	43.96 ± 3.80b

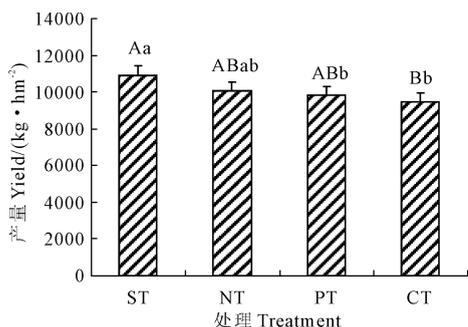


图 3 不同耕层构造对玉米产量的影响

Fig.3 Effect different tillage layers on maize yield

3 讨论

播种后苗带重镇压,形成“苗带紧行间松”虚实并存耕层结构提墒保苗,可以有效提高出苗率^[6]。本文也验证了这一结论,虚实并存耕层提高出苗率,促进苗期生长,具有显著的发小苗优势,其主要归因于播后重镇压,种子与土壤接触紧实,具有明显的提墒作用。同时,也减少水分蒸发散失,保证出苗所需水分,这与前人^[7-8]研究结果一致。从结果中可以看出,虚实并存耕层促进玉米苗期生长发育,容易引起苗期徒长,但拔节期结合追肥进行深松对其可以起到一定的调控作用。

深松耕作可打破犁底层,促进了玉米根系向深处生长,有利于根系吸收水分、养分,为地上部分生长创造良好的条件^[9]。本研究表明,玉米生长发育中后期,虚实并存耕层维持较大的叶面积,改善茎部

性状,促进根系生长,特别是气生根明显优于其它耕层构造,这与刘武仁等^[10]关于苗紧行松间隔深松耕作促进玉米生长发育研究结果一致。出现这种结果可能的原因是通过间隔深松构建的虚实并存耕层,虚部(深松部位)积蓄降水,形成土壤“水库”,通气、增温、增湿形成好气土壤环境,促进养分分解,满足作物生长发育的需要,而实部整体形成嫌气性土壤环境,土壤养分释放缓慢,对于保障作物后期生长发育提供充足的养分^[11]。戴俊英等^[12]研究表明,位于耕层以下土层中的根量对于吸收和利用下层土壤中养分、水分起着重要的作用,到生育后期作用更加明显。这一结论也验证了虚实并存耕层为玉米根系深扎创造了良好土壤环境,促进后期玉米根系生长,延缓地上部分的衰老,为高产奠定良好的基础^[13]。但虚实并存耕层提高玉米株高,增加了后期倒伏的风险,应采取必要的防范措施,其有待进一步研究。

合理的耕作可以促进玉米干物质积累和产量提高^[14]。本文研究表明,虚实并存耕层显著提高玉米产量,与上虚下实耕层比较产量提高 15.02%,说明间隔深松形成的虚实并存耕层增产效果明显。其增产原因可能是由于虚部耕层深厚蓄水保墒,促进玉米根系生长,实部则提墒供给玉米生长发育所需要的水分,使土壤水、肥、水、气、热协调,为玉米生长发育创造良好的土壤环境条件,进而提高玉米产量。何进等^[15]研究表明,深松可使玉米产量增加 5.7% ~ 11.3%,这与本研究结果一致。

(下转第 95 页)

- [4] 王新伟,徐龙臣,田中艳,等.马铃薯高淀粉资源田间抗盐鉴定[J].中国蔬菜,1999,(1):25-28.
- [5] 王宝山,邹琦,赵可夫.高粱不同器官生长对 NaCl 胁迫的响应及其耐盐阈值[J].西北植物学报,1997,17(3):279-285.
- [6] KIM S M, KANG J Y, CHO D I M, et al. ABF2, an ABRE-binding bZIP factor, is an essential component of glucose signaling and its overexpression affects multiple stress tolerance[J]. The Plant Journal, 2004,40:75-87.
- [7] 张宪政.作物生理研究法[M].北京:农业出版社,1992.
- [8] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [9] 高俊凤.植物生理学实验技术[M].西安:世界图书出版公司,2000:196-201.
- [10] Chander M S. Enzymic associations with resistance to rust and powdery mildew in pea[J]. Indian Journal of Horticulture, 1990,47(3):341-345.
- [11] 王韶唐.植物生理学实验指导[M].西安:陕西科学技术出版社,1987.
- [12] 何文亮,黄承红,杨颖丽,等.盐胁迫过程中抗坏血酸对植物的保护功能[J].西北植物学报,2004,24(12):2196-2201.
- [13] Carter D R, Cheeseman J M. The effect of external NaCl on thylakoid stacking in lettuce plants[J]. Plant Cell Environ, 1993, 16: 215-223.
- [14] 徐莲珍,蔡清,姜在民,等.水分胁迫对3种苗木叶片渗透调节物质与保护酶活性的影响[J].西北林学院学报,2008,23(2):12-16.
- [15] 赵纪东,傅华,吴彩霞.水分胁迫对白刺幼苗生物量和渗透调节物质积累的影响[J].西北植物学报,2006,26(9):1788-1793.
- [16] Jones M M, Turner N C. Osmotic adjustment in expanding and full expanded leaves of sunflower in response to water stress[J]. Plant Physiology, 1980, (7):181-192.
- [17] 曹让,梁宗锁,武永军,等.分根交替渗透胁迫下玉米幼苗叶片中游离氨基酸的变化[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):49-54.
- [18] 赵可夫.植物抗盐生理[M].北京:中国科学技术出版社,1993:230-232.
- [19] 张志良,瞿伟菁.植物生理学实验指导(第三版)[M].北京:高等教育出版社,2003:75-125.
- [20] 杜中军,翟衡,潘志勇,等.盐胁迫下苹果砧木光合能力及光合色素的变化[J].果树学报,2001,21(4):200-203.
- [21] 刘玲玲,李军,李长辉,等.马铃薯可溶性蛋白、叶绿素及ATP含量变化与品种抗旱性关系的研究[J].中国马铃薯,2004,18(4):201-204.
- [22] 杜中军,翟衡,李健,等.盐胁迫对苹果砧木的膜伤害[J].山东农业大学学报,2001,32(4):523-532.
- [23] 袁琳,克热木·伊力.盐胁迫对阿月浑子可溶性糖、淀粉、脯氨酸含量的影响[J].新疆农业大学学报,2004,27(2):19-23.
- [24] 华智锐,马锋旺,李小玲,等.百合转 S6PDH 基因植株的抗盐性鉴定[J].干旱地区农业研究,2010,28(1):160-163.
- [25] 王素平,李娟,郭世荣,等.NaCl胁迫对黄瓜幼苗植株生长和光合特性的影响[J].西北植物学报,2006,26(3):455-461.

(上接第45页)

4 结论

虚实并存耕层显著提高玉米出苗率,促进玉米生长发育,增加生育后期的叶面积,而且提高根系数量,特别是气生根数量明显增加,显著提高玉米产量,明显优于其他耕层构造,具有“既发小苗,又发老苗”高产稳产的优势,是较为理想的耕层结构。

然而,构建虚实并存耕层需要大型动力深松作业,生产上大型动力不足将成为该项技术推广应用的重要制约因素之一。此外,不同耕层构造对土壤理化性质的影响,也有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 迟仁立,左淑珍.虚实并存耕作分区技术规范[J].农业机械化,1998,(4):31-31.
- [2] 严昶升,崔勇,于德清.我国几种主要耕作土壤的土体构造[J].河北农业大学学报,1989,12(1):108-115.
- [3] 姜小凤,张仁陟,王玲英,等.不同耕作方式对旱地土壤酸解有机总氮的影响[J].甘肃农业大学学报,2006,41(1):48-51.
- [4] 王育红,姚宇卿,吕军杰,等.豫西旱坡地高留茬深松对冬小麦生态效应的研究[J].中国生态农业学报,2004,12(2):146-148.
- [5] 刘晚荷,山仑,邓西平.植物对土壤紧实度反应[J].植物生理通讯,2001,37(3):254-260.
- [6] 刘武仁,郑金玉,罗洋,等.玉米宽窄行种植技术的研究[J].吉林农业科学,2007,32(2):8-10,13.
- [7] 王立春,马虹,郑金玉.东北春玉米耕地合理耕层构造研究[J].玉米科学,2008,16(4):13-17.
- [8] 刘洋,孙占祥,白伟,等.不同耕法对土壤含水量玉米生长发育及产量的影响[J].辽宁农业科学,2011,10(2):10-14.
- [9] 梁金凤,齐庆振,贾小红,等.不同耕作方式对土壤性质与玉米生长的影响研究[J].生态环境学报,2010,19(4):945-950.
- [10] 刘武仁,郑金玉,罗洋,等.不同耕层构造对玉米生长发育及产量的影响[J].吉林农业科学,2013,38(5):1-3,35.
- [11] 迟仁立.间隔耕作效应及其应用的综合研究[D].北京:中国农业大学,2002,62-63.
- [12] 戴俊英,鄂玉江,顾慰连.玉米根系的生长规律及其与产量关系的研究Ⅱ.玉米根系与叶的相互作用及其与产量的关系[J].作物学报,1988,14(4):310-314.
- [13] 邹洪涛,张玉龙,黄毅,等.辽西北半干旱区土壤深松对玉米生长发育及产量的影响[J].沈阳农业大学学报,2009,40(4):475-477.
- [14] 孟庆秋,谢佳贵,胡会军,等.土壤深松对玉米产量及其构成因素的影响[J].吉林农业科学,2000,25(2):25-28.
- [15] 何进,李洪文,高焕文.中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J].农业工程学报,2006,22(10):62-66.