

耕作方式和有机肥对风沙土区玉米产量的影响

乔云发¹, 苗淑杰¹, 陆欣春², 王铁成³, 钟鑫¹, 熊西江¹ (1. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏南京 210044; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林长春 130102; 3. 黑龙江省杜尔伯特蒙古族自治县土壤管理站, 黑龙江大庆 166200)

摘要 [目的] 研究耕作方式、施用有机肥对玉米产量的影响。[方法] 以黑龙江省大庆市杜尔伯特蒙古族自治县农业科技园区为平台, 设置5种耕作方式(免耕、常规翻耕、深翻打破犁底层、深翻和超深翻)和3种施肥方式(化肥、化肥配施秸秆还田和化肥配施有机肥), 测定玉米产量、土壤贯穿阻力、土壤容重、土壤三相结构距离 R 值和渗透速率。[结果] 仅依靠改变耕作方式来调整土壤的物理性状, 对提高玉米产量的贡献不大。在相同耕作方式下, 与化肥处理相比, 化肥配施有机肥可使玉米增产19.2%~32.9%; 且比秸秆还田处理增加7.4%~189.0%。总之, 在东北风沙土区, 施用有机肥是提高玉米产量最有效的方法之一, 而秸秆直接还田效果不理想; 从耕作方式来看, 常规翻耕20 cm是最优耕作方式。[结论] 东北风沙土玉米产区最适合在施用有机肥条件下, 进行20 cm翻耕作业。

关键词 耕作方式; 有机肥; 玉米; 风沙土

中图分类号 S14 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)04-0124-04

Effect of Tillage Method and Organic Fertilizer on Maize Yield in Aeolian Sandy Soil

QIAO Yun-fa¹, MIAO Shu-jie¹, LU Xin-chun² et al (1. College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Sciences & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044; 2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130102)

Abstract [Objective] Effect of tillage method and organic fertilizer on maize yield was studied. [Method] The present study was carried out at the agricultural science and technology park of Durbat Mongolian Autonomous County in Daqing, Heilongjiang Province. Three types of fertilization, including chemical fertilizer, chemical fertilizer plus straw returning, and chemical fertilizer plus organic manure, associated with five tillage managements, which were no-tillage, conventional tillage, breaking plow bottom, subsoiling and deep subsoiling, were designed randomly. Yield of maize, soil infiltration capacity, bulk density, three-phase ratio and penetration rate were determined. [Result] Adjusting soil physical characters through tillage management had less effect on maize yield. Under same tillage management condition, chemical fertilizer plus organic manure increased maize yield by 19.2% - 32.9% than chemical fertilizer alone, and by 7.4% - 189.0% than chemical fertilizer plus straw return. In conclusion, in aeolian sandy soil of northeast China, applying organic manure was the most effective method for increasing maize yield, but the effect of straw returning was not obvious; conventional tillage 20 cm was the optimal method. [Conclusion] The best strategy was chemical fertilizer plus organic manure associated with 20 cm plowing in aeolian sandy soil of northeast China.

Key words Tillage management; Organic manure; Maize; Aeolian sandy soil

黑龙江省西部风沙土区是我国重要的玉米产区^[1], 年降雨量在400 mm, 年降雨量分配不均, 主要集中在6—8月, 春风大, 土壤水分蒸发强烈, 春季作物萌芽季降水量不到全年降水量的15%, 风大干旱是制约风沙土农业生产的主要问题^[2]。加之不合理的耕作方式, 导致土壤压实严重, 不仅较少的降雨不能够在土壤中很好地蓄存, 还常常因为水土流失带走贫瘠土壤中的养分^[3]。如何提高该区域玉米产量已经成为亟待解决的问题。

农业耕作方式对农田土壤性状影响较大。旋耕能很好地疏松耕层土壤^[4], 有利于土壤水分储存, 为玉米的生长发育提供充足的水分^[3,5]。翻耕(25 cm)和深松(30 cm)有利于提高土壤含水量^[6], 结合残茬覆盖, 玉米播种后出苗率高, 株高和叶面积系数均有所提高, 最终增加玉米产量^[7]。此外, 刘海忠等^[8]曾经提出秸秆还田结合深松条件下, 要想提高玉米产量, 可适当降低磷肥施用量。研究表明, 合理的耕作措施结合有效的肥料施用, 可以通过改善土壤水肥状况, 增加作物对水分及养分的吸收, 有利于植物的生长发育, 从而提高产量。针对黑龙江省西部风沙土地区玉米产区的实际情况, 设置5种不同的耕作方式, 同时配合秸秆还田和施用有

机肥, 分析其对土壤物理性状、玉米产量等指标的影响, 探讨适合该地区的科学有效的耕作方式。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 试验区位于黑龙江省大庆市杜尔伯特蒙古族自治县农业科技园区, 杜尔伯特蒙古族自治县地处松嫩平原的西部, 地势开阔平坦。处于温带季风气候带, 春季低温、干燥、风大; 夏季温和, 降水集中, 年降雨量400 mm; 秋季凉爽, 常伴早霜。作物生育期(6—8月)降水较集中, 占全年降水量近70%。土壤类型为风沙土, 基本理化性状为: pH 7.84, 有机质15.1 g/kg, 全氮0.99 g/kg, 全磷1.15 g/kg, 全钾24.3 g/kg, 碱解氮52.6 mg/kg, 速效磷16.7 mg/kg, 速效钾123.1 mg/kg。

1.2 试验材料 供试玉米品种为吉农302。

1.3 试验设计 试验设耕作方式、肥料施用2个因素, 其中耕作方式设5个水平, 分别为免耕(耕深0 cm)、常规耕作(翻深20 cm)、打破犁底层(耕深25 cm)、深松(耕深35 cm)和超深松(耕深50 cm); 肥料施用设3个水平, 分别为化肥(CK), 化肥+秸秆还田和化肥+有机肥, 采取随机区组设计, 计15个处理, 3次重复, 共计45个小区, 小区面积83 m²。2015年5月11日播种, 施尿素250 kg/hm²、磷酸氢二铵300 kg/hm²、硫酸钾50 kg/hm²作基肥; 在大喇叭口期追施尿素150 kg/hm²。中耕锄草2次(定苗后和拔节期), 均采用人工除草。在5月28日和6月29日秸秆还田处理增加2次浇

基金项目 农业部(公益性)行业专项“东北风沙土区旱地合理耕层构建技术指标及集成示范(201503116-03)”; 南京信息工程大学人才启动基金项目。

作者简介 乔云发(1975—), 男, 黑龙江讷河人, 研究员, 博士, 硕士生导师, 从事土壤耕作与碳循环方面的研究。

收稿日期 2017-12-08

灌,每次灌溉量 20 mm。玉米种植密度均为 4.5 万株/hm²。在 10 月 4 日玉米成熟期,进行田间 5 点取样测产。

1.4 样品采集与分析方法 土壤贯穿阻力用便携式 SC900 野外土壤紧实度仪测定,土壤容重、三相比和渗透速率采用环刀法测定。

1.5 土壤三相比 玉米成熟期采用 5 点取样,用环刀分别取耕层和犁底层土,用烘干方法测定土壤三相比,计算土壤三相结构距离 $R^{[9]}$:

$$R = [(X_g - 50)^2 + (X_g - 50)(X_g - 25) + (X_y - 25)^2]^{0.5} \quad (1)$$

式中: R 为土壤三相结构距离; X_g 为固相体积百分比; X_y 为液相体积百分比; X_q 为气相体积百分比。

1.6 统计分析 所有数据是 3 次重复平均的结果,利用 Excel 软件进行数据整理和图表绘制。利用单因素 ANOVA 分析耕作方式对玉米产量、土壤贯穿阻力、容重、三相比和渗透速率的影响。

2 结果与分析

2.1 耕作方式和施肥对玉米产量的影响 耕作深度明显影响风沙土区玉米产量,随着耕作深度的增加,玉米产量呈现逐渐增加的趋势(图 1)。与常规耕作处理相比,深松和超深松处理的玉米产量分别增加了 3.9 个百分点和 6.2 个百分点,主要是由于深松和超深松土壤把迁移到剖面下层的黏粒翻耕到耕层,增加耕层土壤黏粒含量,增加耕层保水保肥性能,增加土壤团聚体;免耕减产 6.7 个百分点,由于免耕措施条件下,在降雨量较大的季节,由于雨水下沉的作用,使耕层土壤板结,土壤蓄水能量减弱,孔隙减少,通透性下降;打破犁底层产量差异不显著,由于打破犁底层,增加雨水渗透性,增加淋溶作用,不利于保肥和保水。在各种耕作方式条件下,施用化肥+有机肥显著增加玉米产量(图 1)。与相对应不施用有机肥处理相比较,施用化肥+有机肥处理的玉米产量增加 19.2%~32.9%,表明风沙土区化肥配施有机肥对增加玉米产量效果显著。这一结果可以归因于 2 个方面,一是施用化肥+有机肥直接增加了土壤有效养分;二是施用有机肥料可以改善土壤结构性能,增强土壤保水保肥能力。有机肥的增产效果并未随着耕作深度的增加而增加,最大的增产作用出现在常规耕作处理。可见,在风沙土区,施用有机肥对玉米的增产作用要好于土壤深耕。因此,在考虑经济效益的前提下,常规耕作配合施用化肥+有机肥是提高该风沙土区玉米产量的一项有效措施。尽管秸秆还田在培肥土壤肥力中的作用已备受农业科学家的高度关注,在该研究的风沙土区,采用秸秆还田虽然有一定的增产作用,但是要增加 2 次浇灌,增加生产成本,提高玉米产量的效果没有有机肥好(图 1)。与施用化肥+有机肥的处理相比,化肥+秸秆还田玉米产量降低 7.4%~189.0%,这主要是因为秸秆还田后要经历一个腐解矿化的过程,养分的释放较慢,而且还会出现矿化微生物与作物根系竞争养分的现象。另外,秸秆还田初期会引起土壤紧实度显著下降,降低土壤的保水能力。这些影响势必对玉米的生长产生影响,最终导致产量的增加不及有机

肥处理。比较而言,化肥配施有机肥对玉米增产效果明显,耕作方式的效果没有化肥+有机肥施用的效果好,免耕不适合风沙土。

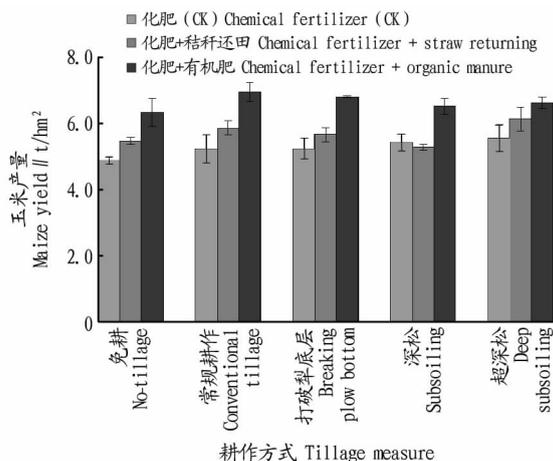


图 1 耕作方式和施肥对玉米产量的影响

Fig. 1 Effect of tillage measure and fertilizer application on maize yield

2.2 耕作方式和施肥对土壤贯穿阻力的影响 耕层贯穿阻力大小反映土壤紧实状况,直接影响植物根系的伸展。耕作处理土壤的贯穿阻力显著低于免耕土壤,各耕作处理贯穿阻力比免耕处理降低了 35%~44%(图 2),这是因为耕作使紧实的土壤变得松散,因此土壤的贯穿阻力就会降低下来。可见,通过简单的常规耕作就可以降低土壤的贯穿阻力。秸秆还田和施用有机肥可不同程度地降低土壤贯穿阻力的作用,但是在不同的耕作条件下,降低的程度不同(图 2)。在免耕、常规耕作和打破犁底层耕作制度下,秸秆还田比施用有机肥降低效果更明显,与仅施用化肥的处理相比,在这 3 种施肥条件下,秸秆还田降低土壤贯穿阻力效果最显著,分别为 17.0%、23.2% 和 18.1%,而有机肥处理分别降低了 7.4%、15.9% 和 7.1%。可见秸秆还田起到松散土壤的作用。而在深松和超深松条件下,施用有机肥对耕层土壤贯穿阻力的影响较秸秆还田更明显。在这 2 种耕作条件下,与仅施用化肥(CK)相比,化肥+秸秆还田处理降低耕层贯穿阻力分别为 13.7% 和 1.1%,而化肥+有机肥处理降低耕层土壤贯穿阻力分别为 17.1% 和 19.9%。

2.3 耕作方式和施肥对耕层土壤容重的影响 土壤容重是土壤的一个非常重要的物理指标,它不仅用于鉴定土壤颗粒间排列的紧实度,而且是计算土壤孔隙度和空气含量的必要数据。在该研究的风沙土区,不同耕作制度直接影响土壤容重(图 3)。与常规耕作相比,免耕、打破犁底层和超深松处理土壤容重分别增加了 8.3%、3.3% 和 7.0%。免耕增加土壤容重,主要是由于免耕土壤雨水的下渗作用,使土壤的孔隙度变小而使土壤更紧实的结果。打破犁底层和超深松都是将耕层底部有机质含量极低、土质黏重的土壤混入耕层而导致土壤容重增加。施用有机肥显著降低了土壤容重,受耕作制度的影响不显著(图 3)。这是因为有机肥不仅能够显著提高土壤孔隙度,而且导致土壤的团聚作用增强。表明该

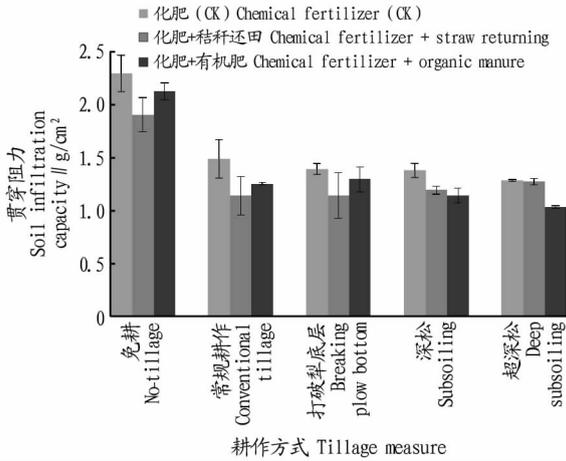


图2 耕作方式和施肥对耕层贯穿助力的影响

Fig. 2 Effect of tillage measure and fertilizer application on soil infiltration capacity

地区降低风沙土耕层土壤容重行之有效的方法是施用有机肥。秸秆还田也可有效降低风沙土耕层土壤容重,但其效果因耕作制度的不同而不同(图3)。从图3可以看出,深翻处理+秸秆还田对于降低耕层土壤容重的效果不明显。秸秆还田制度下,与常规耕作制度相比,免耕、打破犁底层、深松和超深松处理,土壤容重分别增加了5.4%、3.2%、3.4%和2.0%。

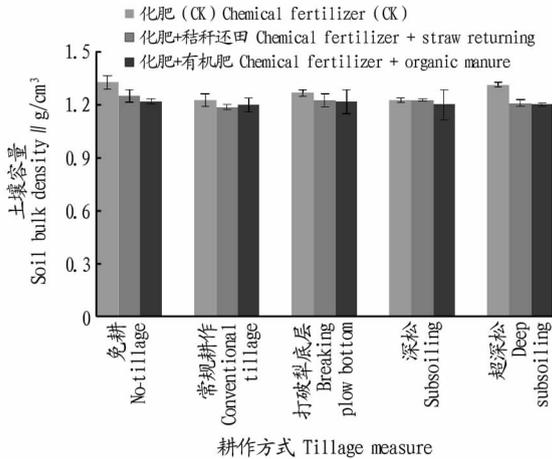


图3 耕作方式和施肥对耕层容重的影响

Fig. 3 Effect of tillage measure and fertilizer application on bulk density

2.4 耕作方式和施肥对耕层土壤三相结构距离R值的影响

土壤三相结构距离(R)是表示土壤固液气三相比值的综合评价指标,土壤三相结构越接近理想状态 R 值越接近0,当 R 值为0时为植物生长最佳土壤物理状态。图4的结果表明,土壤 R 值随着耕作方式的不同而呈现出波动性变化。与常规耕作处理相比,深松处理降低了土壤的三相 R 值(仅3.1%),免耕、打破犁底层和超深松处理土壤三相 R 值比常规耕作分别增加了15.8%、3.1%和16.3%。表明免耕因长期不耕作,土壤非常紧实,导致土壤三相不协调。打破风沙土犁底层后,基于风沙土松散的特点,土壤的保水能力会明显降低,从而引起土壤三相不理想。超深松处理因为底层黏重、有机质含量低的土壤翻入耕层,引起三相比较高。

施用有机肥调整了免耕和超深松处理耕层土壤的三相 R 值,比其相对应常规施肥处理分别降低了8.2%和8.4%。这是因为施用有机肥后,有机肥在紧实和贫瘠的土壤中作为土壤结构改变的桥梁,使土壤的结构变好,提高土壤的保水和气体保有量,因此降低了三相 R 值。可见有机肥在改良土壤结构中起到非常重要的作用。秸秆还田主要降低了免耕和超深松处理耕层土壤的三相 R 值,比常规肥料处理分别降低了2.3%和21.5%。然而,秸秆还田增加了常规耕作和深松条件下土壤的三相 R 值,分别比常规施肥处理增加了5.7%和5.0%。

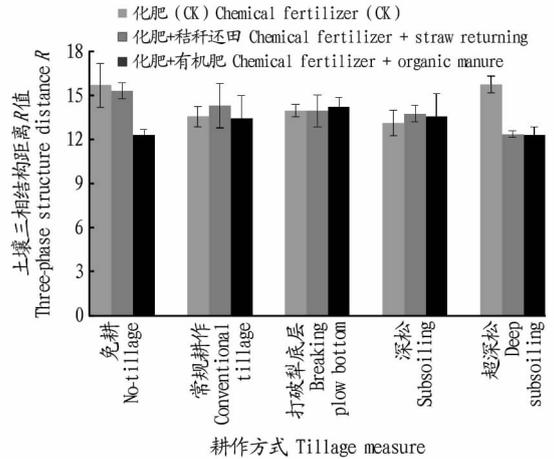


图4 耕作方式和施肥对耕层三相结构距离R值的影响

Fig. 4 Effect of tillage measure and fertilizer application on three-phase structure distance R of plough layer

2.5 耕作方式和施肥对水渗透速率的影响

水分渗透速率表示土壤对水分渗透能力的重要参数,耕作制度、施用有机肥和秸秆还田对土壤水分渗透速率都有显著的影响(图5)。从图5可以看出,在常规施肥条件下,土壤水分渗透速率最大的是打破犁地层处理,比常规耕作增加73.3%,这是因为多年耕作压实在耕层下的紧实、坚硬的犁地层被打碎,水分可以顺利渗透到下层,而引起渗透速率增加的结果。免耕处理渗透速率最小,仅为常规耕作的48.4%,归因于长期不耕作,土壤容重增加,孔隙度降低。深翻处理土壤水分渗透速率比常规耕作处理提高73.1%,但与打破犁地层处理几乎没有差别,这种结果来源于深翻处理打破了犁底层。而超深翻处理虽然兼顾了深翻的2个特点,但因为剖面深层黏粒翻混入耕层土壤,使其渗水能力低于深松处理43.2%。可见,在风沙土区,为了保护土壤水分渗透速率,保护犁底层所处位置非常关键。

施用有机肥明显增加土壤水分渗透速率,但是并没有改变不同耕作制度对土壤水分渗透速率的影响规律(图5)。施用有机肥后,免耕、常规耕作、打破犁地层、深松和超深松处理土壤水分渗透速率比常规施肥增加了19%~114%。这一结果完全归因于有机肥对土壤结构改良所起的作用。

除了打破犁底层耕作条件外,秸秆还田增加了各种耕作制度条件下的土壤水分渗透速率。比较而言,在常规耕作和超深松条件下,秸秆还田在增加土壤水分渗透速率中的作用

与有机肥的作用效果相一致。但是,在免耕条件下,秸秆还田处理土壤水分渗透速率比有机肥处理低 24.1%;在深翻条件下,又比有机肥处理增加 10.5%。表明秸秆还田对水分渗透速率的影响与有机肥的影响机制有所不同,其机理有待于进一步研究。

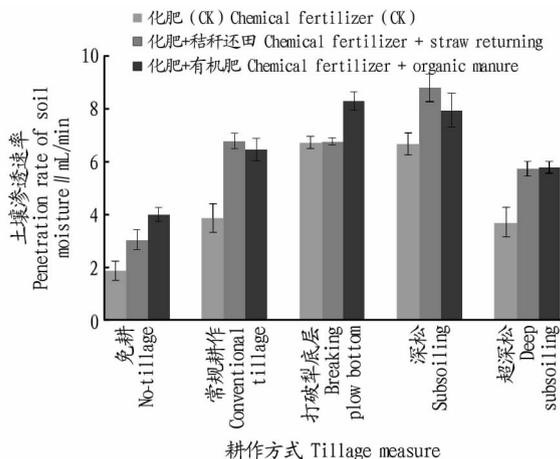


图 5 耕作方式和施肥对耕层土壤水分渗透率的影响

Fig. 5 Effect of tillage measure and fertilizer application on penetration rate of soil moisture

3 讨论

黑龙江省西部风沙土区气候干旱、土壤贫瘠、耕作方式和施肥不合理等现象已经成为制约作物产量的重要因素^[4]。在耕作的过程中,由于机械压力,土壤紧实度越来越大,土壤结构变差^[10]。因此,研究者提出通过合理的耕作制度来改善土壤物理性状,进而提高作物产量的措施。该研究结果表明,打破犁底层是加大土壤渗透性的关键。这一结果与王立春等^[11]的研究一致,他们认为土壤透水性及表土的疏松度关系不是很大,透水速率的增加与消除耕层下部坚实的不透土层有直接关系。打破犁底层和深翻土壤的贯穿阻力较小,渗透速率比较高。尽管超深翻处理打破了犁底层,但是在超深松的过程中,心土层和底土层较黏重的土壤被翻混入耕层,最终导致耕层对水分的渗透速率提升较小。尽管可以通过耕作方式改善土壤物理性状,但是对提高玉米产量的作用较小。

有机肥的施用对改善风沙土物理性状效果显著。各种耕作方式下,土壤容重均显著降低,有机肥在改善土壤结构中起到 2 方面作用,一是有机肥作为土壤结构的黏结物质,促进土壤中团聚体的形成^[12]。二是施用有机肥可使板结程度大的土壤变得疏松,从而能够显著提高土壤孔隙度^[13]。施用有机肥降低风沙土土壤容重,免耕和超深松土壤的三相结构距离 R 值较其他耕作处理降低明显。这是由于免耕和超深松耕层土壤都比较紧实,水气环境最差,有机肥的调节

效果也就最明显,这与郭海斌等^[14]的研究结果相一致,有机肥在改善土壤物理性状的同时,有大量的有效养分输入到土壤中,促进玉米的生长发育,最终获得较高的产量。秸秆还田同样是作为有机物料添加到土壤中,虽然对土壤理化性状有所改善,但是由于秸秆的施入增加风沙土通透性,降低土壤保水性,需要增加浇灌次数,增加生产成本。

4 结论

改变耕作方式来提高风沙土玉米产量,免耕措施使玉米减产 6.7%,深翻和超深翻处理虽然玉米产量分别增加了 3.9 个百分点和 6.2 个百分点,但是高强度深翻增加动力,增加投入,不宜选择。施用有机肥是提高风沙土玉米产量的一种非常有效的措施,增产效果远高于耕作方式。在相同耕作方式下,与施化肥相比,化肥配施有机肥处理玉米增产达 19.2%~32.9%;有机肥处理比秸秆还田处理增产 7.4%~189.0%。总之,在东北风沙土区,施用有机肥是提高玉米生产最有效的方法之一;从经济效益来看,风沙土区不宜采用秸秆直接还田;从耕作方式来看,常规翻耕 20 cm 是最优的耕作方式;从耕作方式、有机物料还田、经济效益方式交互来看,东北风沙土区最适耕作、施肥方式是在施用有机肥的条件下,进行翻耕 20 cm 作业。

参考文献

- 王友贺,谷秀杰,师丽魁,等. 郑州市降水特征分析与水资源问题初探[J]. 气象与环境科学,2007,30(3):61-64.
- 原万坤,刘庆华. 黑龙江西部风沙土区玉米覆膜喷灌节水效果试验研究[J]. 东北农业大学学报,2010,41(10):57-60.
- 王孟雪,张玉先. 耕作措施对黑龙江省风沙土区玉米生长发育及产量的影响[J]. 水土保持通报,2013,33(4):59-63.
- 张有利,李娜,王孟雪,等. 不同整地方式对风沙土玉米地土壤紧实度的影响[J]. 水土保持研究,2015,22(1):97-99.
- 王孟雪,张有利,张玉先. 黑龙江风沙土区不同耕作措施对玉米地土壤水分及产量的影响[J]. 水土保持研究,2011,18(6):245-248.
- 李旭,闫洪奎,曹敏建,等. 不同耕作方式对土壤水分及玉米生长发育的影响[J]. 玉米科学,2009,17(6):76-78,81.
- 付国占,李潮海,王俊忠,等. 残茬覆盖与耕作方式对夏玉米叶片衰老代谢和籽粒产量的影响[J]. 西北植物学报,2005,25(1):155-160.
- 刘海忠,王保强,武玉华,等. 小麦、夏玉米两茬秸秆还田不同耕作方式施肥技术研究[J]. 河北农业大学学报,2004,27(3):7-9.
- 李晓龙,高聚林,胡树平,等. 不同深耕方式对土壤三相比及玉米根系构型的影响[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(4):1-7.
- 崔伟. 农业与环境冲突有哪些[J]. 中国人口·资源与环境,2000,10(1):84-85.
- 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.
- 李江涛,钟晓兰,赵其国. 施用畜禽粪便和化肥对土壤活性有机碳库和团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(1):233-238.
- RASOOL R, KUKAL S S, HIRA S. Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize-wheat system [J]. Soil and tillage research,2008,101(1/2):31-36.
- 郭海斌,冀保毅,王巧锋,等. 深耕与秸秆还田对不同质地土壤物理性状和作物产量的影响[J]. 河南农业大学学报,2014,48(4):505-511.

本刊提示 来稿请用国家统一的法定计量单位的名称和符号,不要使用国家已废除了的单位。如面积用 hm^2 (公顷)、 m^2 (平方米),不用亩、尺²等;质量用 t (吨)、kg (千克)、mg (毫克),不再用担等;表示浓度的 ppm 一律改用 mg/kg 、 mg/L 或 $\mu\text{L}/\text{L}$ 。