

条带深松耕作方式对密植夏玉米产量性能的影响

侯海鹏, 丁在松, 马 玮, 李从锋, 赵 明

(中国农业科学院作物科学研究所/农业部作物生理生态与栽培重点开放实验室, 北京 100081)

摘 要: 以郑单958为试验材料, 2011年在河南新乡设置耕作方式与种植密度田间试验, 研究条带深松耕作方式对不同密度夏玉米群体产量性能的调控效应, 明确条带深松耕作方式下夏玉米产量性能特征。结果表明, 条带深松耕作方式下, 夏玉米获得最高产量的最适密度为 9.0×10^4 株/hm²左右, 较常规耕作方式下增加16.9%, 平均增产10.9%。进一步分析高密度($9.0 \sim 10.5$) $\times 10^4$ 株/hm²群体下夏玉米产量性能参数, 条带深松耕作方式分别增加收获穗数、穗粒数、千粒重、干物质积累量、群体平均叶面积指数、平均净同化率、产量/平均叶面积指数比值分别为9.7%~10.5%、6.5%~8.2%、7.0%~7.7%、9.1%~12.4%、6.7%~9.2%、7.2%~9.1%、3.6%~17.1%。条带深松耕作方式通过产量性能参数的共效差异补偿机制实现密植夏玉米增产。

关键词: 夏玉米; 条带深松; 密植; 产量

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Effect of Strip Sub-Soiling Tillage System on Summer Maize Yield Performance in High Planting Density

HOU Hai-peng, DING Zai-song, MA Wei, LI Cong-feng, ZHAO Ming

(Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences /

Key Laboratory of Crop Physiology and Production, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

Abstract: A field trial using variety Zhengdan958 with tillage systems and densities was conducted in Xinxiang, Henan Province during 2011 growing season to study the regulation effect of strip sub-soiling tillage system on yield performance for summer maize in high planting density, and make clear the yield performance characteristics for summer maize in strip sub-soiling tillage system. The results showed that in strip sub-soiling tillage system, population optimum density was about 9.0×10^4 plants/ha which was increased by 16.9% and yield was improved by 10.9% than conventional tillage system. In high planting density population ($9.0 \times 10^4 - 10.5 \times 10^4$ plants/ha), harvest ear number, grain number per ear, 1000-grain weight, dry matter weight, mean leaf area index, mean net assimilation rate and yield/mean leaf area index ratio were increased by 9.7%–10.5%, 6.5%–8.2%, 7.0%–7.7%, 9.1%–12.4%, 6.7%–9.2%, 7.2%–9.1% and 3.6%–17.1%, respectively in strip sub-soiling tillage system.

Key words: Summer maize; Strip sub-soiling tillage system; High density planting; Yield

黄淮海平原是我国夏玉米主产区, 在国家玉米生产中具有举足轻重的作用。该区域实行冬小麦-夏玉米轮作体系, 由于冬小麦收获后农时紧张, 连年

实施旋耕, 造成土壤耕层深度变浅、土壤容重偏高、耕层紧实、犁底层坚硬、有效耕层土壤量明显减少^[1], 土壤生产能力持续下降。前人研究表明, 玉米产量的增加与耕层土壤的结构直接相关, 耕层变浅直接影响玉米根系发育, 倒伏发生严重, 并引起玉米早衰, 严重影响玉米产量^[2]。土壤耕层恶化成为近年来限制玉米高产的主要因素之一^[3]。通过土壤深松可以明显改善玉米地上部植株高度、干物质积累, 增加玉米群体产量^[4]; 通过深松耕作可以增大群体叶面积指数、生育后期光合势和群体净同化能力, 延长

收稿日期: 2015-05-17

基金项目: 国家粮食丰产科技工程项目(2011BAD16B14)

作者简介: 侯海鹏(1980-), 男, 博士, 研究方向为玉米高产栽培生理。E-mail: haipenghou@126.cn
赵 明、李从锋为本文通讯作者。

子粒灌浆时间,提高子粒充实度,增加粒重,当季玉米增产6%~8%,第2年增产7.8~8.6%^[5~9]。传统土壤深松对于打破犁底层、提高玉米产量具有一定作用,但大多采用大型深松机械进行深松,需要消耗动力较大,并且对土壤疏松程度有限。中国农业科学院作物科学研究所赵明研究员研制的条带深松施肥播种一体化机械,采用立式旋耕刀深耕松土层而不翻转土层,可以加深耕作层至30 cm,提高蓄水保水能力,为作物高产提供基础。另外,条带深松技术将深松、施肥、播种多个环节集于一体,提高作业效率,降低动力消耗,同时也减少了机械进地次数,避免机械对土地的反复碾压。研究结果表明,早春玉米条带深松技术下较常规旋耕耕作方式增产11.1%^[10],但条带深松技术对夏玉米产量性能的影响报道较少。

本研究采用条带深松技术实施田间作业,比较研究条带深松技术与常规耕作技术对夏玉米产量及产量性能参数的影响,明确条带深松耕作方式下群体适宜密度和群体产量性能特征,找出解决耕层变浅、犁底层上移变厚等问题的适宜耕作方法,为探索适宜本区域的节本增效耕作方式提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验田概况

中国农业科学院河南新乡综合试验站2011年夏玉米生长季活动积温为2 931.1℃·d,降水量为533.1 mm,日照时数为581.9 h。试验地供试土壤为黏质壤土,耕层土壤pH值8.21,有机质12.55 g/kg、速效氮61.18 mg/kg、速效磷16.15 mg/kg、速效钾109.95 mg/kg。

1.2 试验设计

供试品种为郑单958。2011年6月14日播种,10月10日收获。种植密度为 6.0×10^4 、 7.5×10^4 、 9.0×10^4 、 10.5×10^4 株/hm²,小区面积48 m²(10 m×4.8 m)。耕作方式为条带深松耕作方式(SST)和常规耕作方式(CT)。采用裂区设计,主区为耕作方式,副区为种植密度,4次重复,田间随机排列。施肥、灌溉及其他按当地高产田进行管理。

条带深松耕作方式:采用条带深松播种一体化技术(ZL200920160482.1)进行宽窄行(40 cm+80 cm)种植,深松深度35 cm左右。前茬小麦秸秆全部粉碎还田,播种时,条带深松播种机将播种带上的小麦秸秆拨开;播种后,播种机上的拨轮又将粉碎的小麦秸秆拨到播种带上,覆盖苗带,减少土壤墒情的散失。

常规耕作方式:前茬小麦秸秆全部粉碎还田,采

用当地普通旋耕机整地,旋地深度15 cm左右,用当地普通播种机进行宽窄行(40 cm+80 cm)播种。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶面积指数动态

5展叶时,在每个小区选取生长一致的100株挂牌标记。拔节期、大喇叭口期、开花期、灌浆期、收获期分别取样,每处理每次取有代表性植株4株。叶面积等于叶长×叶宽×系数,完全展开叶系数为0.75,未完全展开叶系数为0.50。叶面积指数(LAI)=单株叶面积×单位土地面积内株数/单位土地面积;群体相对LAI模拟、平均叶面积指数(MLAI)参照张宾等^[11]的方法求解。

1.3.2 干物质积累动态

将植株置烘箱105℃杀青30 min,80℃烘干至恒重,运用干物质积累模拟方程 $y=a/(1+be^{-cx})$ 进行求算干物质积累量,式中a代表最大干物质积累量,b代表与干物质积累有关的阻滞系数,即对于干物质增长率c所施加的“干扰”,c代表干物质积累增长率。干物质积累速率用干物质模拟方程的导函数 $y'=(a \times b \times c \times \exp^{-cx})/(1+b \times \exp^{-cx})^2$ 进行求解^[12];群体净同化率参照孙锐^[13]的方法求解。

1.3.3 测产考种

夏玉米成熟时每小区收中间6行称重计产(按子粒含水率14%折算),并选取20穗平均穗进行考种;每小区连续取样10株,烘干至恒重,计算收获指数(HI)=经济产量/地上部生物量。

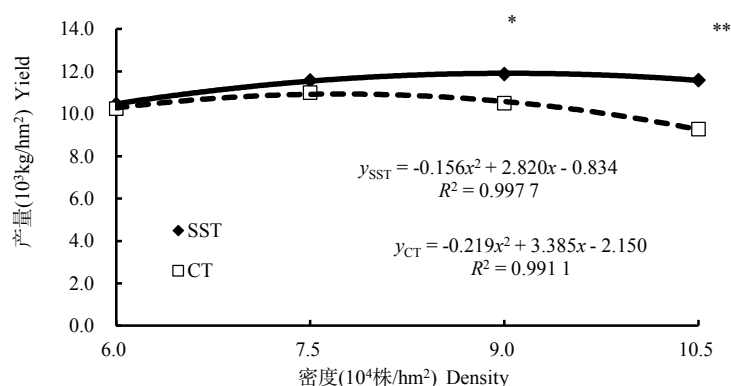
1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2003软件初步整理数据作图,采用SAS V8软件进行差异显著性测验。

2 结果与分析

2.1 条带深松与种植密度对玉米群体产量的影响

从图1可以看出,产量与种植密度呈二次曲线关系,2种耕作方式下表现趋势一致。低种植密度条件下,2种耕作方式间无明显差异;随种植密度的增加,2种耕作方式间差异逐渐增大。在 6.0×10^4 株/hm²条件下,条带深松耕作方式较常规耕作方式增产2.05%;在 10.5×10^4 株/hm²条件下,条带深松耕作方式较常规耕作方式增产24.9%,平均增产10.9%。对产量-种植密度二次曲线求导,常规耕作方式下的最适密度为 7.7×10^4 株/hm²;条带深松耕作方式的最适密度为 9.0×10^4 株/hm²,条带深松耕作方式的最适种植密度较常规耕作方式增加16.9%,表明条带深松耕作方式增加了群体的最适种植密度,继而实现增产效果。



注:*,**表示在5%和1%水平上差异显著、极显著。

Note:*,** indicated significant difference and extremely significant at 5% and 1% level.

图1 条带深松耕作方式对不同密度群体产量的影响

Fig.1 Effect of strip sub-soiling tillage system on yield in different densities

2.2 条带深松与种植密度对夏玉米产量构成的影响

对不同耕作方式下夏玉米产量构成因素进行分析,随种植密度增加,收获穗数逐渐增多。在低种植密度条件下,2种耕作方式间无明显差异;在(9.0~10.5)×10⁴株/hm²密度条件下,条带深松耕作方式较常规耕作方式分别增加10.5%~9.7%(图2)。穗粒数

和千粒重随种植密度的增加逐渐降低,在低种植密度条件下,2种耕作方式间无明显差异;在(9.0~10.5)×10⁴株/hm²密度条件下,条带深松耕作方式的穗粒数较常规耕作方式分别增加6.5%~8.2%,千粒重分别增加7.0%~7.7%,表明条带深松耕作方式显著增加高密度群体的收获穗数,减缓高密度群体的穗粒数和千粒重的降低。

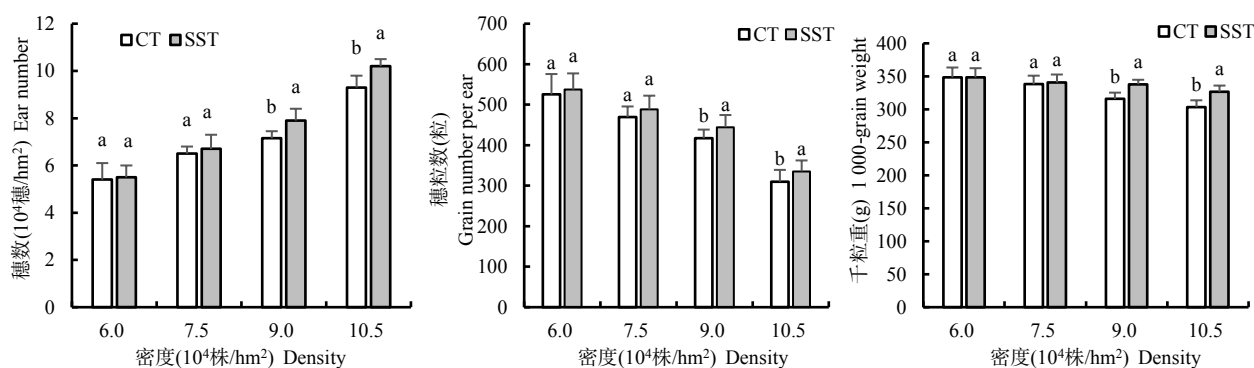


图2 条带深松耕作方式对不同密度群体收获穗数、穗粒数、千粒重的影响

Fig.2 Effect of strip sub-soiling tillage system on harvest ear number, grain number per ear and 1000-grain weight in different densities

2.3 条带深松与种植密度对玉米群体干物质积累量的影响

从图3可以看出,随种植密度增加,群体干物质积累量逐渐增加,2种耕作方式下表现趋势一致。在低种植密度条件下,2种耕作方式间无明显差异;在(9.0~10.5)×10⁴株/hm²密度条件下,条带深松耕作方式较常规耕作方式干物质积累量分别增加9.1%~12.4%,表明条带深松耕作方式显著增加了高密度群体干物质积累量,为高产奠定物质基础。

2.4 条带深松与种植密度对玉米群体平均叶面积指数和平均净同化率的影响

随种植密度增加,平均叶面积指数(MLAI)逐渐增加,在中低种植密度条件下,2种耕作方式间无明显差异;在(9.0~10.5)×10⁴株/hm²密度条件下,条带深松耕作方式较常规耕作方式平均叶面积指数(MLAI)分别增加6.7%~9.2%(图4)。平均净同化率(MNAR)随种植密度增加逐渐降低,在中低种植密度条件下,2种耕作方式无明显差异;在(9.0~10.5)×10⁴

株/hm²密度条件下,条带深松耕作方式较常规耕作方式平均净同化率(MNAR)分别增加7.2%~9.1%,

表明条带深松耕作方式增加了高密度群体的MLAI,减缓了高密度群体MNAR的下降。

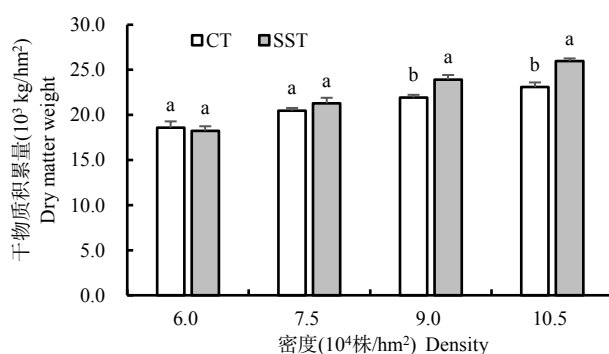


图3 条带深松耕作方式对不同密度群体干物质积累量的影响

Fig.3 Effect of strip sub-soiling tillage system on dry matter accumulation amount in different densities

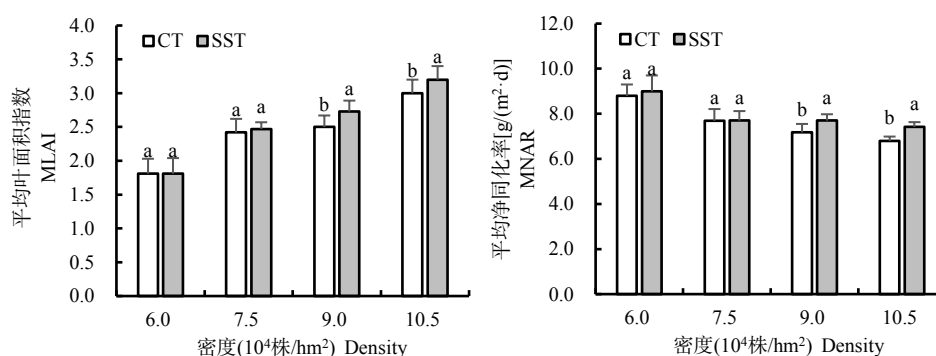


图4 条带深松耕作方式对不同密度群体MLAI、MNAR的影响

Fig.4 Effect of strip sub-soiling tillage system on MLAI and MNAR in different densities

2.5 条带深松耕作方式对产量/平均叶面积指数比值的影响

对玉米群体产量/平均叶面积指数比值(Y/MLAI)进行分析,2种耕作方式下Y/MLAI随种植密度增大逐渐降低。在中低密度条件下,2种耕作方式间无明显差异;在10.5×10⁴株/hm²种植密度条件下,条带

深松耕作方式较常规耕作方式显著增加Y/MLAI比值17.1%。分析2种耕作方式下Y/MLAI比值与密度的函数关系,条带深松耕作方式下函数的斜率较常规耕作方式降低15.5%(图5),表明条带深松耕作方式下显著降低了Y/MLAI比值随种植密度增加而减小的速度。

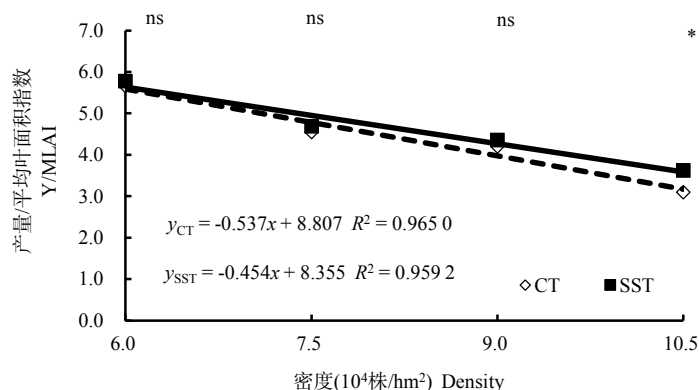


图5 条带深松耕作方式对不同种植密度群体产量/平均叶面积指数比值的影响

Fig.5 Effect of strip sub-soiling tillage system on Y/MLAI ratio in different densities

3 结论与讨论

提高种植密度是目前高产的重要技术措施^[14]。平均叶面积指数和种植密度具有显著相关关系^[15]。在一定密度范围内,种植密度对群体平均净同化率、穗粒数和千粒重具有明显的负向调节效应^[16]。本研究结果表明,产量与密度呈二次抛物线关系,平均叶面积指数和群体干物质积累量随种植密度的增大逐渐增大,为高密度群体形成高产奠定物质基础。平均净同化率、穗粒数、千粒重、群体产量/平均叶面积指数比值随种植密度的增加逐渐减低,与前人研究结果基本一致。

群体的适宜密度虽然在很大程度上取决于品种的基因型^[17,18],但是,某一特定基因型品种的适宜密度更容易受到外界环境的影响,在干旱条件下,品种的最适密度要明显低于正常条件下的最适密度^[19]。土壤深松能够明显改善耕层的土壤团粒结构和孔隙度,增加土壤的水库容纳能力^[20~22],进而提高群体的最适密度,增加玉米产量^[23~25]。本研究结果表明,当种植密度超过一定范围,产量会随着种植密度的增加逐渐减低,通过条带深松却可以明显减缓产量降低的趋势,在条带深松耕作方式下,群体获得最高产量的最适密度比常规耕作方式下增大16.9%,平均增产10.9%。进一步分析产量性能参数,条带深松耕作方式下,产量性能参数(生育期天数除外)均发生不同程度的增大;另一方面,条带深松耕作方式明显减缓了平均净同化率、穗粒数、千粒重、群体产量/平均叶面积指数比值随种植密度的增加而逐渐减低的趋势,说明条带深松对产量性能参数具有正向调控效应,通过产量性能参数间的共效正向补偿作用实现产量的增加。同时,条带深松耕作方式通过立式旋耕,打破犁底层,疏松土壤,改善了土壤肥水供应能力,为玉米生长发育提供了良好的土壤环境,促进玉米生长发育,对于这方面还需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 我国玉米主产区土壤耕层调查报告[C]. 国家玉米产业技术体系, 2008.
- [2] Busscher W J, Bauer P J, Frederick J R. Deep tillage management for high strength southeastern USA Coastal Plain soils[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 85(1-2): 178-185.
- [3] Vanden Putte A, Govers G, Diels J, et al. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture[J]. European Journal of Agronomy, 2010, 33(3): 231-241.
- [4] Tolon-Becerra A, Tourn M, Botta G F, et al. Effects of different tillage regimes on soil compaction, maize(*Zea mays* L.) seedling emergence and yields in the eastern Argentinean Pampas region[J]. Soil & Tillage Research, 2011, 117: 184-190.
- [5] 宫秀杰, 钱春荣, 于洋, 等. 深松免耕技术对土壤物理性状及玉米产量的影响[J]. 玉米科学, 2009(5): 134-137.
- [6] Gong X J, Qian C R, Yu Y, et al. Effects of sub-soiling and no-tillage on soil physical characters and corn yield[J]. Journal of Maize Science, 2009(5): 134-137. (in Chinese)
- [7] Singh R, Sharma A R, Beherai U K. Tillage and crop establishment practices for improving productivity of maize(*Zea mays*) under different weed control methods[J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2007, 77(11): 731-737.
- [8] Jagadamma S, Lal R, Rimal B K. Effects of topsoil depth and soil amendments on corn yield and properties of two Alfisols in central Ohio[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 64(1): 70-80.
- [9] Boomsma C R, Santini J B, West T D, et al. Maize grain yield responses to plant height variability resulting from crop rotation and tillage system in a long-term experiment[J]. Soil & Tillage Research, 2010, 106(2): 227-240.
- [10] 李传友, 杨立国, 赵丽霞, 等. 土壤深松对春玉米生长特性的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(18): 233-237.
- [11] Li C Y, Yang L G, Zhao L X, et al. Effect of sub-soiling on the growth characteristics of spring maize[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(18): 233-237. (in Chinese)
- [12] 李丽娟, 崔彦宏, 李琦, 等. 条带深松耕作方式对早春玉米产量性能的影响[J]. 作物杂志, 2011, 5: 96-99.
- [13] Li L J, Cui Y H, Li Q, et al. Effect on yield performance of early spring maize in strip deep tillage[J]. Crops, 2011, 5: 96-99. (in Chinese)
- [14] 张宾, 赵明, 董志强, 等. 作物高产群体 LAI 动态模拟模型的建立与检验[J]. 作物学报, 2007, 33(4): 612-619.
- [15] Zhang B, Zhao M, Dong Z Q, et al. Establishment and test of LAI dynamic simulation model for high yield population[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(4): 612-619. (in Chinese)
- [16] 侯玉虹, 陈传永, 郭志强, 等. 作物高产群体干物质积累动态模型的构建及生长特性分析[J]. 玉米科学, 2008, 16(6): 90-95.
- [17] Hou Y H, Chen C Y, Guo Z Q, et al. Establishment of dry matter accumulation dynamic simulation model and analysis of growth characteristic for high-yielding population of spring maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(6) 90-95. (in Chinese)
- [18] 孙锐. 春玉米产量性能密度效应及其定量化分析[D]. 北京: 中国农业大学博士论文, 2009.
- [19] 赵明, 李建国, 张宾, 等. 论作物高产挖潜的补偿机制[J]. 作物学报, 2006, 32(10): 1566-1573.
- [20] Zhao M, Li J G, Zhang B, et al. The compensatory mechanism in exploring crop production potential[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(10): 1566-1573. (in Chinese)
- [21] 陈传永, 侯玉虹, 孙锐, 等. 密植对不同玉米品种产量性能的影响及其耐密性分析[J]. 作物学报, 2010(7): 1153-1160.
- [22] Chen C Y, Hou Y H, Sun R, et al. Effects of planting density on yield performance and density-tolerance analysis for maize hybrids[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010(7): 1153-1160. (in Chinese)

(下转第83页)

- Zhang N, Du X, Jiang D L, et al. Effect of sowing date on growth and yield of summer corn (*Zea mays* L.)[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2009, 32(5): 7–11. (in Chinese)
- [14] 薛庆禹,王靖,曹秀萍,等.不同播期对华北平原夏玉米生长发育的影响[J].中国农业大学学报,2012,17(5):30–38.
- Xue Q Y, Wang J, Cao X P, et al. Effect of sowing date and variety on growth and population characteristics of summer maize in North China Plain[J]. Journal of China Agricultural University, 2012, 17(5): 30–38. (in Chinese)
- [15] 张泽民,任和平.不同生态环境对玉米产量和穗粒性状的影响[J].华北农学报,1991,6(1):28–34.
- Zhang Z M, Ren H P. Different ecological environments effect on yield and ear-kernel characters of corn[J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 1991, 6(1): 28–34. (in Chinese)
- [16] Kamara A Y, Ekeleme F, Chikoye D, et al. Planting data and cultivar effects on grain yield in dryland corn production[J]. Agron Journal, 2009(101): 91–98.
- [17] Kucharik C J. Contribution of planting date trends to increased maize yields in the central United States[J]. Agron Journal, 2008(100): 328–336.
- [18] 马树庆,王琪,罗新兰.基于分期播种的气候变化对东北地区玉米(*Zea mays*)生长发育和产量的影响[J].生态学报,2008,28(5):2131–2139.
- Ma S Q, Wang Q, Luo X L, et al. Effect of climate change on maize (*Zea mays*) growth and yield based on stage sowing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2131–2139. (in Chinese)
- [19] 张桂阁,曹修才,侯长荣.玉米秃顶缺粒原因及预防措施[J].玉米科学,1996,4(4):47–49.
- Zhang G G, Cao X C, Hou C R. Causes of bald and back of grain and preventive measures for corn[J]. Journal of Maize Sciences, 1996, 4(4): 47–49. (in Chinese)
- [20] 杨国虎.玉米花粉花丝耐热性研究进展[J].种子,2005,24(2):47–51.
- Yang G H. Research progress of heat resistance of maize pollen[J]. Seed, 2005, 24(2): 47–51. (in Chinese)
- [21] 李月华,侯大山,刘强,等.收获期对夏玉米千粒重及产量的影响[J].河北农业科学,2008,12(7):1–3,6.
- Li Y H, Hou D S, Liu Q, et al. Effect of harvest period on 1000-grain weight and yield of summer maize[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2008, 12(7): 1–3, 6. (in Chinese)
- [22] 吕丽华,董志强,梁双波,等.播期、收获期对玉米物质生产及光能利用的调控效应[J].华北农学报,2013,28(增刊):177–183.
- Lü L H, Dong Z Q, Liang S B, et al. Effects of planting and harvest date on matter production of summer maize and its utilization of solar and heat resource[J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 2013, 28(S): 177–183. (in Chinese)

(责任编辑:高阳)

(上接第75页)

- [16] Carena M, Cross H Z. Plant density and maize germplasm improvement in the northern corn belt[J]. Maydica, 2003, 48(2): 105–112.
- [17] 李 宁,翟志席,李建民,等.密度对不同株型的玉米农艺、根系性状及产量的影响[J].玉米科学,2008,16(5):98–102.
- Li N, Zhai Z X, Li J M, et al. Effects of planting density on agricultural characters, root system characters and yield of different maize plant types[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(5): 98–102. (in Chinese)
- [18] 丰 光,李妍妍,景希强,等.玉米不同种植密度对主要农艺性状和产量的影响[J].玉米科学,2011,19(1):109–111.
- Feng G, Li Y Y, Jing X Q, et al. Effects on agronomic characteristics and yield of maize planting density[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(1): 109–111. (in Chinese)
- [19] Tokatlidis I S, Has V, Melidis V, et al. Maize hybrids less dependent on high plant densities improve resource-use efficiency in rain-fed and irrigated conditions[J]. Field Crops Res., 2011, 120: 345–351.
- [20] Nash D M, Watkins M, Heaven M W, et al. Effects of cultivation on soil and soil water under different fertilizer regimes[J]. Soil & Tillage Research, 2015, 145(1): 37–46.
- [21] 张德健,路战远,张向前,等.不同耕作措施对玉米产量和土壤理化性质的影响[J].中国农学通报,2014,30(12):209–213.
- Zhang D J, Lu Z Y, Zhang X Q, et al. Effects of different tillage methods on maize yield and soil physical and chemical characters of maize field[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(12): 209–213. (in Chinese)
- [22] 杨 雪,逢焕成,李铁冰,等.深旋松耕作法对华北缺水土壤质黏潮土物理性状及作物生长的影响[J].中国农业科学,2013,46(16):3401–3412.
- Yang X, Pang H C, Li T B, et al. Effects of deep rotary sub-soiling tillage on the physical properties and crop growth of the sticky loamy soil in north China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(16): 3401–3412. (in Chinese)
- [23] 李 华,逢焕成,任天志,等.深旋松耕作法对东北棕壤物理性状及春玉米生长的影响[J].中国农业科学,2013,46(3):647–656.
- Li H, Pang H C, Ren T Z, et al. Effects of deep rotary sub-soiling tillage method on brown physical properties and maize growth in northeast of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(3): 647–656. (in Chinese)
- [24] 孙贵臣,冯瑞云,陈 凌,等.深松免耕种植对土壤环境及玉米产量的影响[J].作物杂志,2014,4:129–132.
- Sun G C, Feng R Y, Chen L, et al. Effect of deep loosening and zero tillage on soil environment and maize growth[J]. Crops, 2014, 4: 129–132. (in Chinese)
- [25] 吕巨智,程伟东,钟昌松,等.不同耕作方式对土壤物理性状及玉米产量的影响[J].中国农学通报,2014,30(30):38–43.
- Lü J Z, Cheng W D, Zhong C S, et al. Effects of different cultivation methods on the soil physical properties and yield of maize[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(30): 38–43. (in Chinese)

(责任编辑:高阳)