

耕作方式与玉米根系功能及其 保护酶活性关系研究

马立婷, 王 沅, 田 平, 杨 斌, 隋鹏祥, 有德宝,
梅 楠, 安俊朋, 张文可, 齐 华

(沈阳农业大学农学院, 沈阳 110866)

摘 要: 采用根箱模拟方法, 研究 3 种耕作方式(苗带耕作、行间耕作和全层耕作) 和两种耕作深度(10 cm、30 cm)对玉米根系空间分布和保护酶活性的影响。结果表明, 耕作方式显著影响玉米根系空间分布状况, 深耕可延长行间耕作和全层耕作的根系功能期。根系超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性在耕作方式间表现为全层耕作>行间耕作>苗带耕作, 深耕可增加玉米生育后期(乳熟期)深层土壤中根系 SOD 活性。行间耕作和全层深耕均延长玉米深层根系功能期和保护酶活性, 实现增产(无显著差异)。因此, 从节约成本和提高经济效益考虑, 行间深耕是一种更适宜推广的玉米耕作栽培方式。

关键词: 玉米; 耕作方式; 根系功能; 根系保护酶活性

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Relationship Between Tillage Patterns and the Function and Protective Enzyme Activity of Root in Maize

MA Li-ting, WANG Feng, TIAN Ping, YANG Bin, SUI Peng-xiang, YOU De-bao,

MEI Nan, AN Jun-peng, ZHANG Wen-ke, QI Hua

(Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Using simulation of root-box, the effects of three kinds of tillage methods(strip tillage, inter-row tillage and whole layer tillage) and two tillage depths(10 cm and 30 cm) on the spatial distribution of root and protective enzymes in maize were studied. The results showed that, different tillage methods changed maize root spatial distribution features obviously. Deep inter-row and deep whole layer tillage could prolong the functional period of root. The root activity of SOD and POD was whole layer tillage>inter-row tillage>strip tillage with different tillage, deep plowing increased SOD activity of roots at later stage(milk grain stage) of maize in deep soil. Deep inter-row and deep whole layer tillage prolonged the functional period and protective enzyme activity of root on maize, and achieved production(the difference is not significant). From the conservation of energy and cost considerations, deep inter-row tillage is a more appropriate extension of maize cultivation technology.

Key words: Maize; Tillage pattern; Root function; Protective enzyme activity of root

收稿日期: 2016-12-09

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503116, 201303130)、国家重点研发计划项目(2016YFD0300103, 2016YFD0300801)

作者简介: 马立婷(1992-), 女, 甘肃张掖人, 在读硕士, 主要从事玉米超高产理论与实践研究。Tel: 13304055069

E-mail: 196149633@qq.com

齐 华为本文通讯作者。Tel: 13840440887

E-mail: qihua10@163.com

东北地区是我国玉米主要生产区域, 长期浅耕导致耕层变浅、犁底层加厚上移, 紧实的犁底层及有限的活土层限制了作物根系的生长, 降低了肥水利用率, 严重影响玉米产量的提高^[1]。如何通过土壤耕作调控耕层结构与功能, 促进作物生长发育进而增产, 是科学研究与生产上的热点问题^[2, 3]。

作物的产量与根系的生长状况息息相关^[4]。玉米根系在土壤中的空间分布决定了其吸收养分和水分的能力。坚硬的犁底层使玉米根系发育不良, 导致植株早衰及抗病抗倒能力下降^[5]。作物在大田中

遭受犁底层的逆境环境是一种渐进性的全生育期胁迫,会引起植物细胞膜透性增加和生物自由基的累积^[6]。SOD和POD能参与清除活性氧自由基,延缓植株衰老的进程,延长根系功能期^[7,8]。耕作方式通过改善土壤环境,促进作物根系生长,合理的耕作方式能够提高根系活力,减缓根系保护酶活性下降速度。

由于玉米根系的取样及测定具有难度,以往对玉米根系的研究多在苗期进行^[9],对玉米全生育期内根系的研究相对薄弱。本研究基于根箱模拟耕作方式(苗带耕作、行间耕作和全层耕作)和耕作深度

(10 cm、30 cm)对玉米根系空间分布和保护酶活性的影响,为探索构建适宜东北地区玉米种植的合理耕层提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2014年在沈阳农业大学试验基地(41°49′N, 123°33′E, 海拔43 m)进行。该区年平均气温8.5℃,年降雨量714 mm,全年无霜期155~180 d。0~15 cm土层含有有机质碳14.56 g/kg,碱解氮0.86 g/kg,速效磷0.20 g/kg,速效钾0.81 g/kg。

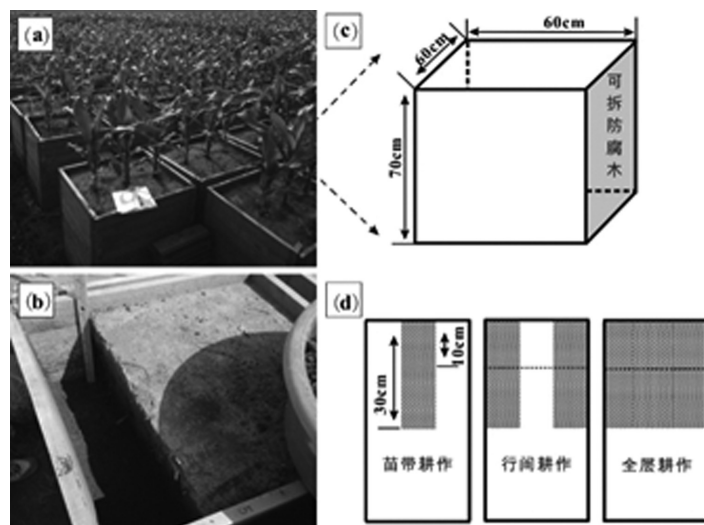


图1 根箱实景图 and 耕作示意图

Fig.1 Photo and schematic diagram of the root box

基于根箱设置耕作方式和耕作深度2个因素处理(图1),其中,耕作方式分别为苗带耕作、行间耕作和全层耕作,耕作深度分别为10 cm和30 cm。根箱内回填原状土,根据大田土壤紧实度将底土层、心土层、犁底层和耕作层依次还入根箱。试验共设6个处理,每个处理12个根箱,共计72个根箱。试验材料为郑单958,田间宽窄行配置,宽行距110 cm、窄行距60 cm,株距为20 cm,根箱周围种植1 m宽保护区。

1.2 测定项目与方法

根干重在玉米吐丝期、灌浆期和乳熟期采用土壤剖面挖根法观测。在垂直于苗带方向,以玉米植株为中心的纵向60 cm和横向30 cm范围内,取10 cm×10 cm×10 cm土体放入纱网袋中,倒入筛筐拣根并冲洗干净,再将根放置于羊皮纸袋,在85℃烘箱内烘干至恒重后称重。

根系保护酶活性在吐丝期、灌浆期和乳熟期测定。取0~20 cm、21~40 cm和41~60 cm土层的根

系样品,将各土层根系鲜样混匀后取1 g提取酶液。SOD和POD活性分别采用氮蓝四唑(NBT)光还原法^[10]和愈创木酚法^[11]测定。

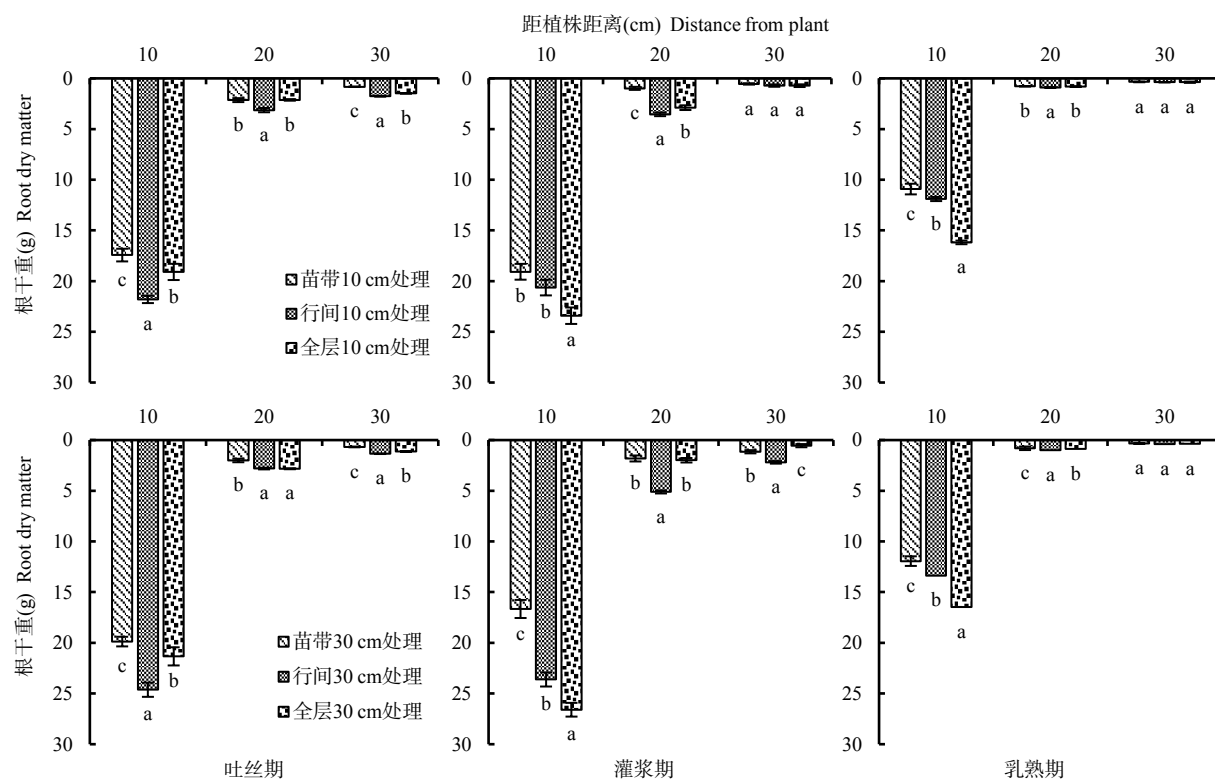
1.3 数据处理与分析

采用Excel v2016、SPSS v20.0和origin v8.0进行数据分析与作图。

2 结果与分析

2.1 玉米根系空间分布的季节变化特征

水平方向上,玉米根干重随着远离植株中心而逐渐降低(图2)。3种耕作方式间根干重水平分布差异显著,且行间耕作下11~20 cm和21~30 cm土层的根干重均显著大于其他耕作方式。行间耕作比苗带耕作的根干重在3个生育时期分别增加29%、39%和11%;全层耕作比苗带耕作分别增加11%、39%和39%。深耕(30 cm)后,行间耕作和全层耕作的根干重在3个时期均有增加,苗带耕作的根干重在灌浆期减少4%。



注:小写字母表示处理间5%水平上差异显著。下图同。

Note: The letters in a column indicated significant among different growth stages at the 5% level specifically. The same below.

图2 根干重在土壤中的水平分布

Fig.2 Horizontal distribution of root dry weight

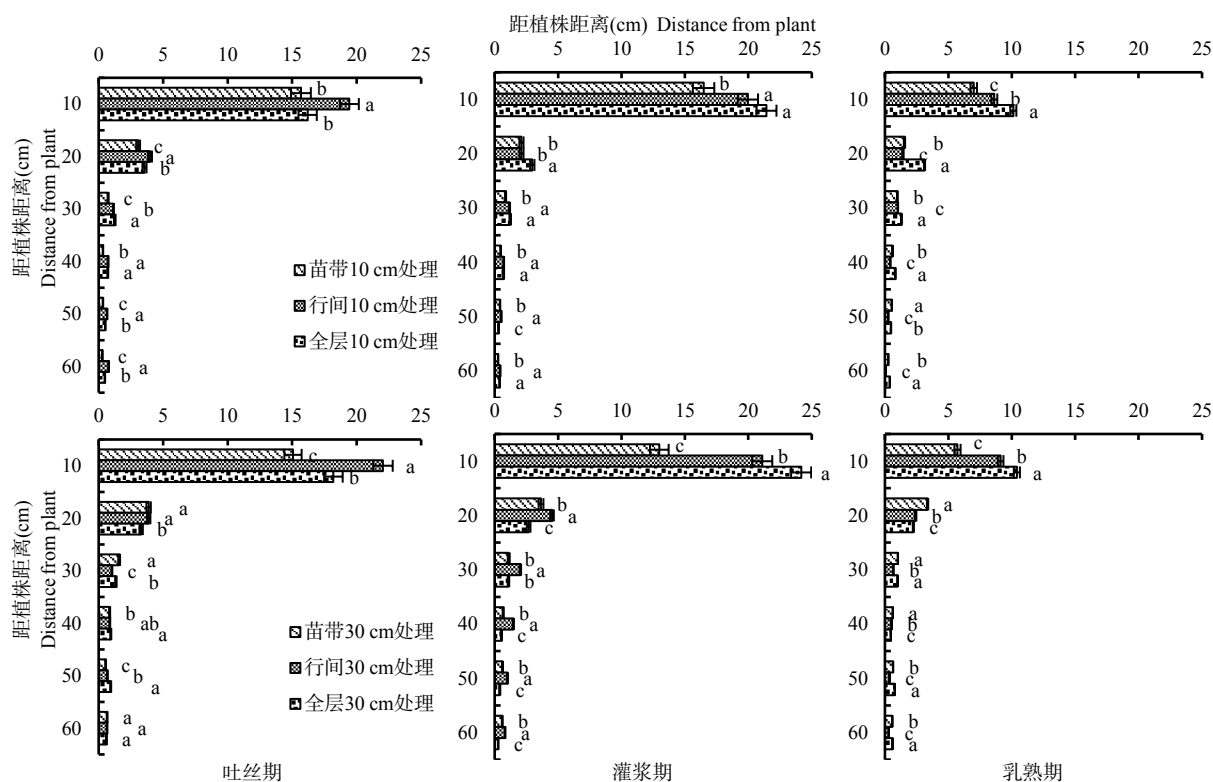


图3 单株根系干重在土壤中的垂直分布

Fig.3 Vertical distribution of root dry weight

垂直方向上,玉米根根干重随土层深度的增加而逐渐降低(图3),约80%的根系集中在0~20 cm土层中,根系的垂直分布在不同的耕作方式间差异显著。深耕(30 cm)后,行间耕作和全层耕作的根干重最大值出现在灌浆期,苗带耕作下的根干重最大值出现在吐丝期。全层耕作在垂直方向31~40 cm、41~50 cm和51~60 cm处根干重显著大于其他耕作方式。

2.2 玉米根系保护酶活性的季节变化特征

随着土层的加深,超氧化物歧化酶(SOD)总体呈递减趋势(表1)。随着生育期的推进,SOD活性均有不同程度的下降。耕作方式间SOD活性表现为全层耕作>行间耕作>苗带耕作,但无显著差异。浅耕(10 cm)处理的3种耕作方式SOD活性在3个生育时期均逐渐下降;深耕(30 cm)处理的3种耕作方式SOD活性在生育后期(乳熟期)均有不同程度增加。

表1 SOD活性变化
Table 1 Changes of SOD activity U/(g·FW·h)

土层深度 Soil depth	处 理 Treatment	吐丝期 Silking stage	灌浆期 Filling grain stage	乳熟期 Milk grain stage
0~20 cm	苗带耕作 10 cm	781±45 a	395±13 a	319±9 ns
	行间耕作 10 cm	622±36 b	365±11 ab	286±23 ns
	全层耕作 10 cm	617±58 b	367±6 ab	311±4 ns
	苗带耕作 30 cm	651±51 b	354±27 b	289±2 ns
	行间耕作 30 cm	583±26 b	328±8 b	283±18 ns
	全层耕作 30 cm	617±26 b	350±12 b	316±13 ns
21~40 cm	苗带耕作 10 cm	727±36 a	380±15 a	282±17 b
	行间耕作 10 cm	674±24 ab	352±3 a	320±8 ab
	全层耕作 10 cm	604±47 bc	357±6 a	326±6 ab
	苗带耕作 30 cm	588±18 bc	277±22 b	336±16 a
	行间耕作 30 cm	530±59 c	196±11 c	311±3 ab
	全层耕作 30 cm	582±41 bc	258±44 bc	334±8 a
41~60 cm	苗带耕作 10 cm	708±25 a	332±5 a	303±15 b
	行间耕作 10 cm	653±37 ab	331±8 a	336±4 a
	全层耕作 10 cm	675±27 ab	326±12 a	323±2 ab
	苗带耕作 30 cm	475±30 c	251±13 b	330±9 ab
	行间耕作 30 cm	583±42 abc	196±4 c	326±13 ab
	全层耕作 30 cm	541±34 bc	219±12 bc	345±1 a

表2 POD活性变化
Table 2 Changes of POD activity μg/(g·FW·min)

土层深度 Soil depth	处 理 Treatment	吐丝期 Silking stage	灌浆期 Filling grain stage	乳熟期 Milk grain stage
0~20 cm	苗带耕作 10 cm	454±22 ns	206±15 ns	118±4 b
	行间耕作 10 cm	441±57 ns	187±28 ns	224±8 a
	全层耕作 10 cm	457±23 ns	132±27 ns	200±7 a
	苗带耕作 30 cm	430±30 ns	220±21 ns	108±8 b
	行间耕作 30 cm	502±33 ns	236±2 ns	207±6 a
	全层耕作 30 cm	345±36 ns	312±28 ns	131±6 b
21~40 cm	苗带耕作 10 cm	469±1 b	343±5 ns	139±9 abc
	行间耕作 10 cm	685±34 a	300±21 ns	198±8 a
	全层耕作 10 cm	377±14 b	276±26 ns	183±10 ab
	苗带耕作 30 cm	435±26 b	294±11 ns	85±6 c
	行间耕作 30 cm	573±13 ab	285±7 ns	121±4 bc
	全层耕作 30 cm	500±19 ab	265±9 ns	134±7 abc

续表2 Continued 2

土层深度 Soil depth	处 理 Treatment	吐丝期 Silking stage	灌浆期 Filling grain stage	乳熟期 Milk grain stage
41 ~ 60 cm	苗带耕作 10 cm	521±22 ab	251±16 ns	120±14 ab
	行间耕作 10 cm	759±46 a	208±7 ns	201±14 a
	全层耕作 10 cm	386±43 b	279±21 ns	201±8 a
	苗带耕作 30 cm	401±34 b	245±17 ns	106±4 b
	行间耕作 30 cm	563±5 ab	267±27 ns	102±10 b
	全层耕作 30 cm	481±10 b	298±24 ns	114±7 ab

随着土层的加深,过氧化物酶(POD)略有升高(表2)。随着生育期的推进,POD活性均有不同程度下降,0~20 cm处的POD活性均较低且下降速度慢,21~40 cm和41~60 cm处POD的活性均较高而下降速度快。3种耕作方式的POD活性表现为全层耕作>行间耕作>苗带耕作,不同耕作深度的POD活性差异不显著。

2.3 玉米产量及产量构成因素

浅耕(10 cm)处理下,玉米产量表现为全层耕作>苗带耕作>行间耕作;深耕(30 cm)处理下,玉米产量表现为全层耕作>行间耕作>苗带耕作。深耕后,行间耕作和全层耕作使玉米产量增加,苗带耕作使玉米减产,行间耕作增产效果最显著,与全层耕作产量差异不显著。

表3 产量及产量构成因素比较

Table 3 Effect of different tillage treatments on yield and yield component

处 理 Treatment	穗数(10 ⁴ 穗/hm ²) Ear number	穗粒数(粒) Kernels per ear	百粒重(g) 100-kernel weight	产量(kg/hm ²) Yield
苗带耕作 10 cm	7.39 ab	555 a	38.92 a	15 891.17 bc
行间耕作 10 cm	6.50 b	638 a	36.43 a	14 773.53 cd
全层耕作 10 cm	8.33 ab	565 a	36.42 a	16 560.75 ab
苗带耕作 30 cm	7.39 ab	549 a	36.68 a	14 229.60 d
行间耕作 30 cm	8.78 a	586 a	34.24 a	17 662.04 a
全层耕作 30 cm	8.33 ab	573 a	38.51 a	17 802.18 a

3 结论与讨论

本研究表明,行间深耕和全层深耕可明显增加20 cm土层以下的根干重,延缓根系衰老。深松改善土壤物理结构,降低土壤容重。因土壤容重的不同造成玉米根系在土壤中穿透阻力的差别,影响了根系的形态和分布^[12, 13]。随着生长环境条件的改善,玉米根系深层根系衰老减缓^[14],从而达到增产的目的^[15, 16]。犁底层未全部打破时,坚硬的土层使根系下扎困难,在较疏松的上层土壤中有补偿性生长。0~10 cm土层的根量会有所增加,但这种生长并不持久,合理耕作是预防早衰的有效办法。

本研究表明,深耕增强了21~40cm和41~60 cm土层中根系的SOD活性。行间深耕和全层深耕玉米深层根系增多,保护酶活性增强,从而实现增产。深耕提高了土壤含水量、增强了根系活力、减缓

了根系保护酶下降速度,保持较高的根系活力是获得较高产量的因素之一^[17]。全层深耕产量最高,行间深耕与全层深耕产量差异并不显著。从节约成本和提高经济效益考虑,行间深耕是一种更适宜推广的玉米耕作栽培技术。

参考文献:

[1] 李潮海,李胜利,王群,等. 下层土壤容重对玉米根系生长及吸收活力的影响[J]. 中国农业科学,2005(8):1706-1711.
Li C H, Li S L, Wang Q, et al. A study on corn root growth and activities at different soil layers with special bulk density[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005(8): 1706-1711. (in Chinese)
[2] 蔡丽君,边大红,田晓东,等. 耕作方式对土壤理化性状及夏玉米生长发育和产量的影响[J]. 华北农学报,2014(5):232-238.
Cai L J, Bian D H, Tian X D, et al. Effect of tillage methods on soil physical and chemical properties, growth and grain yield of summer maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014(5): 232-238. (in Chinese)
[3] 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,2009,8(6):76-78.

- Li X, Yan H K, Cao M J, et al. Effects of different tillage managements on soil moisture and growth and development of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2009, 8(6): 76–78. (in Chinese)
- [4] 姜琳琳, 韩立思, 韩晓日, 等. 氮素对玉米幼苗生长、根系形态及氮素吸收利用效率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011(1): 247–253.
- Jiang L L, Han L S, Han X R, et al. Effects of nitrogen on growth root morphological traits nitrogen up take and utilization efficiency of maize seedlings[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011 (1): 247–253. (in Chinese)
- [5] 王 群, 赵亚丽, 张学林, 等. 不同土层容重对玉米根系生长及土壤酶活性的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2012(6): 624–630.
- Wang Q, Zhao Y L, Zhang X L, et al. Effects of subsoil bulk density on root growth and soil enzyme activities during the growth of corn [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2012(6): 624–630. (in Chinese)
- [6] 葛体达, 隋方功, 白莉萍, 等. 长期水分胁迫对夏玉米根叶保护酶活性及膜脂过氧化作用的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2005(3): 18–23, 32.
- Ge T D, Sui F G, Bai L P, et al. Effects of long-term water stress on protective enzyme activity and membrane lipid peroxidation in summer-maize[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005(3): 18–23, 32. (in Chinese)
- [7] 齐 伟, 张吉旺, 王空军, 等. 干旱胁迫对不同耐旱性玉米杂交种产量和根系生理特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2010(1): 48–52.
- Qi W, Zhang J W, Wang K J, et al. Effects of drought stress on the grain yield and root physiological traits of maize varieties with different drought tolerance[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010 (1): 48–52. (in Chinese)
- [8] 刘 艳, 汪 仁, 华利民, 等. 施氮量对玉米生育后期叶片衰老与保护酶系统的影响[J]. *玉米科学*, 2012, 20(2): 124–127.
- Liu Y, Wang R, Hua L M, et al. Effect of n application rates on leaf senescence and protective enzyme system at later stage of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(2): 124–127. (in Chinese)
- [9] 魏 湜, 罗 宁, 李 晶, 等. 低温胁迫下玉米苗期根系保护酶活性及内源激素变化[J]. *东北农业大学学报*, 2014(9): 1–8.
- Wei S, Luo N, Li J, et al. Change of the root protective enzyme activities and endogenous hormones of maize seedling under low-temperature stress[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2014 (9): 1–8. (in Chinese)
- [10] 王爱国, 罗光华, 邵从本. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究[J]. *植物生理学报*, 1983, 9(1): 77–84.
- Wang A G, Luo G H, Shao C B. Study on superoxide dismutase of soybean seed[J]. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1983, 9(1): 77–84. (in Chinese)
- [11] 李合生. 现代植物生理学(第3版)[M]. 北京: 生命世界, 2012.
- [12] 杨青华, 赵 宇, 邵瑞鑫, 等. 不同植物生长调节物质对玉米根系衰老及产量的影响[J]. *华北农学报*, 2012(1): 134–139.
- Yang Q H, Zhao Y, Shao R X, et al. Effects of different plant growth regulators on decrepitude index of root system and yield of maize[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012(1): 134–139. (in Chinese)
- [13] 王新兵, 侯海鹏, 周宝元, 等. 条带深松对不同密度玉米群体根系空间分布的调节效应[J]. *作物学报*, 2014(12): 2136–2148.
- Wang X B, Hou H P, Zhou B Y, et al. Effect of strip subsoiling on population root spatial distribution of maize under different planting densities[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2014(12): 2136–2148. (in Chinese)
- [14] 于晓芳, 高聚林, 叶 君, 等. 深松及氮肥深施对超高产春玉米根系生长、产量及氮肥利用效率的影响[J]. *玉米科学*, 2013, 21 (1): 114–119.
- Yu X F, Gao J L, Ye J, et al. Effects of deep Loosening with nitrogen deep placement on root growth, grain yield and nitrogen use efficiency of super high-yield spring maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2013, 21(1): 114–119. (in Chinese)
- [15] 张 权, 张 莉, 焦念元, 等. 隔年深耕对夏玉米花后叶片衰老和子粒产量的影响[J]. *玉米科学*, 2013, 21(5): 62–65.
- Zhang Q, Zhang L, Jiao N Y, et al. Effects of the alternate years deep plowing on leaf senescence after anthesis and grain yield of summer-maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2013, 21(5): 62–65. (in Chinese)
- [16] 齐 华, 刘 明, 张卫建, 等. 深松方式对土壤物理性状及玉米根系分布的影响[J]. *华北农报*, 2012(4): 191–196.
- Qi H, Liu M, Zhang W J, et al. Effect of deep loosening mode on soil physical characteristics and maize root distribution[J]. *Acta Agriculturae Boreali Sinica*, 2012(4): 191–196. (in Chinese)
- [17] 李国清, 石 岩. 深松和翻耕对旱地小麦花后根系衰老及产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2012(3): 500–502.
- Li G Q, Shi Y. Effect of subsoiling tillage on the root senescence after anthesis and yield of wheat in dry-land[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2012(3): 500–502. (in Chinese)

(责任编辑: 姜媛媛)