

# 模拟根层障碍条件下不同深度玉米根系与产量的关系研究

王志刚<sup>1</sup>, 王 俊<sup>1,2</sup>, 高聚林<sup>1</sup>, 尹 斌<sup>1</sup>, 白建芳<sup>1</sup>,  
余少波<sup>1</sup>, 梁红伟<sup>1</sup>, 李雅剑<sup>1</sup>

(1. 内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古自治区水土保持监测站, 呼和浩特 010020)

**摘 要:** 在池栽条件下采用模拟根层障碍的方法, 研究不同深度根系与玉米生长和产量的关系。结果表明, 根层阻隔显著降低玉米根系的生物量、总根长和根表面积, 各处理光合生产能力和子粒产量显著低于无阻隔(对照); 随着阻隔层的下移, 根系和冠层各指标和产量受到的影响逐渐变小, 0~20、21~40、41~60、61~80、80 cm 以下各层根系对产量的相对贡献率分别为 52%、11%、7%、12%、19%。20 cm 耕层以下根系对产量的贡献达 48%, 其中 60 cm 以下土层内根系对产量的贡献达 31%, 说明深层根系虽然生物量占总生物量比例很小, 但其在花粒期对深层水肥的吸收利用对产量形成具有重要作用。

**关键词:** 玉米; 根系; 产量; 贡献率

**中图分类号:** S513.01

**文献标识码:** A

## Relationship of Roots in Different Soil Strata and Yield of Maize under Simulated Obstacle of Root Layer

WANG Zhi-gang<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>1,2</sup>, GAO Ju-lin<sup>1</sup>, YIN Bin<sup>1</sup>, BAI Jian-fang<sup>1</sup>,  
YU Shao-bo<sup>1</sup>, LIANG Hong-wei<sup>1</sup>, LI Ya-jian<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019;

2. Soil & Water Conservation Monitoring Station of Inner Mongolia, Hohhot 010020, China)

**Abstract:** In order to clarify the relationship of roots in different soil strata and yield of maize, an experiment with simulated root-layer obstacles in field pools was conducted. The result showed that root indexes including root biomass, total root length and root surface area, canopy photosynthesis capacity and yield of root limited treatments were significantly lower than that of control(without root limited). The relative contribution of roots in 0–20 cm, 21–40 cm, 41–60 cm, 61–80 cm and below 80 cm soil strata were calculated from the yield losses compared to control, which separately were 52%, 11%, 7%, 12% and 19%. This indicated that root below the 20cm plowing layer contributed 48% to maize yield, in which the root below 60 cm soil layer contributed 31% to maize yield. This result manifested that deep roots played an important role to maize yield by uptaking water and nutrition during post-anthesis period with relative smaller proportion to total root biomass.

**Key words:** Maize; Root system; Yield; Contribution ratio

收稿日期: 2015-04-17

基金项目: 内蒙古自治区高等学校青年科技英才支持计划(NJYT-14-B04)、国家自然科学基金项目(31301265, 31460329)、内蒙古农业大学博士科研启动基金(BJ09-15)、国家科技支撑计划课题(2011BAD16B14)

作者简介: 王志刚(1983-), 男, 副教授, 主要从事作物高产高效生理基础及栽培调控研究。E-mail: imauwzg@163.com

王 俊为本文共同第一作者。

高聚林为本文通讯作者。

研究表明, 密植高产栽培条件下, 玉米根系向 20 cm 以下土层分布比例有增加趋势, 且越是高产群体这种趋势愈为明显<sup>[1,2]</sup>。由于长期的小动力耕作和浅旋浅耕作业, 我国玉米主产区普遍存在耕层障碍问题<sup>[3~5]</sup>, 即土壤耕层深度明显降低, 已由 20 年前的 20 cm 降低到 16.5 cm; 有效耕层土壤量显著减少, 全国平均有效耕层土壤量为  $2.23 \times 10^6 \text{ kg/hm}^2$ , 较 20 年前减少 14%; 土壤结构紧实、板结严重, 土壤犁底层容重高达  $1.52 \text{ g/cm}^3$ , 远远超出玉米生长的适宜

土壤容重  $1.1 \sim 1.3 \text{ g/cm}^3$ 。“浅、实、少”的耕层现状与高产玉米的根系生长特征是一对尖锐矛盾。Grze-siak 等<sup>[6]</sup>和 Lipiec 等<sup>[7]</sup>的研究表明,耕层紧实显著降低玉米根条数,且显著降低  $15 \sim 40 \text{ cm}$  土层内的根系生物量和根系长度,即耕层障碍影响玉米深层根系的生长,进而影响玉米光合生产能力及产量。但耕层障碍对玉米产量影响,不同土层内根系特别是深层根系对产量贡献尚无系统研究。本研究在池栽条件下采用模拟根层障碍的方法,研究不同根系扩展深度对玉米生长和产量的影响,以量化不同深度根系对产量的相对贡献并评估耕层障碍对玉米产量的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地及其肥力状况

试验于 2011 年在内蒙古农业大学试验基地 ( $40^\circ 60' \text{ N}$ ,  $110^\circ 58' \text{ E}$ ) 进行。土质为沙壤土,  $0 \sim 30 \text{ cm}$  耕层土壤含有机质  $28.4 \text{ g/kg}$ 、碱解氮  $40.0 \text{ mg/kg}$ 、速效磷  $21.3 \text{ mg/kg}$ 、速效钾  $124.7 \text{ mg/kg}$ , pH 值为 7.6。

### 1.2 试验设计

采用田间池栽的方法设置不同深度根层阻隔,播种前在田间挖长 $\times$ 宽 $\times$ 深= $4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的池子,挖土时土壤按  $20 \text{ cm}$  一层分别放置,土壤挖出后,池子四壁衬砌 PVC 塑料板(底部不衬),之后,将土壤按原层次顺次回填并适当镇压,在回填过程中采用 50 目双层尼龙网按设计深度要求隔离土层,以人为控制根系的扩展深度,但不阻碍水分、养分交流。分别设  $20 \text{ cm}$  (20-L)、 $40 \text{ cm}$  (40-L)、 $60 \text{ cm}$  (60-L)、 $80 \text{ cm}$  (80-L) 处隔离处理(图 1),以无隔离为对照(CK)。土壤回填后灌水沉实。试验采用单因素随机区组排列,3 次重复,共 15 个小区。

试验以内单 314 为材料,种植密度为  $90\,000 \text{ 株/hm}^2$ ,等行距  $50 \text{ cm}$  种植,各处理周围种植 4 行保护行。田间水肥管理以充分满足群体需求为原则,  $\text{P}_2\text{O}_5$  (磷酸二胺)  $105 \text{ kg/hm}^2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  (硫酸钾)  $45 \text{ kg/hm}^2$  作种肥一次性侧深施,纯氮(尿素)  $300 \text{ kg/hm}^2$  于拔节期和大喇叭口期按照 3:7 的比例追施。全生育期灌水 4 次,每次灌水量为  $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,其他管理同大田生产。

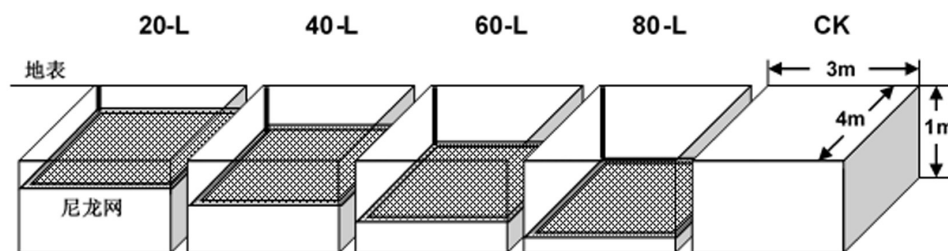


图 1 不同深度根层阻隔处理示意图

Fig.1 Schematic diagram of root layer obstacle treatments at different soil strata

### 1.3 测定指标与方法

#### 1.3.1 根系干重及根系形态特征

根系样品采集于灌浆始期(吐丝后 15 d)进行,采用 Monolith 法<sup>[8]</sup>并稍加改进。每小区连续取 3 株,取样时砍去地上部分后,水平以植株为中心采至  $1/2$  株距 $\times 1/2$  行距,垂直每  $10 \text{ cm}$  一层为一个样品,取至  $100 \text{ cm}$ 。之后将带根土壤样品装入 40 目筛网中冲洗,将冲洗干净的根系全部采集。采用 WinRHIZO 系统扫描根系,记录总根长、根表面积、根系直径;扫描后的根系在  $85 \pm 5^\circ \text{C}$  下烘干至恒重,称重记录根系干重。

#### 1.3.2 叶片光合相关参数测定

采用 LI-6400 光合测定系统于散粉期测定穗位叶中部光合速率( $P_n$ ),测定时红蓝光源光合有效辐射  $1\,500 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,叶室温度  $30^\circ \text{C}$ 、 $\text{CO}_2$  浓度  $360 \mu\text{L/L}$ ,每小区测定 3 株。散粉期至乳熟期,每隔 15 d 采用

SPAD-502 型叶绿素计测定穗位叶叶绿素相对含量 (SPAD),同时采用 Sunscan 冠层分析系统测定各处理叶面积指数(LAI)。

#### 1.3.3 测产考种

玉米生理成熟期,在测产区连续测定 20 穗的穗粒数后,实收 2 行测定子粒产量(子粒含水量折算为 14%)和千粒重。

### 1.4 数据分析

所有数据采用 SPSS13.0 (SPSS Institute Inc.) 中 One-way ANOVA 程序的最小显著差异法 ( $\text{LSD}_{0.05}$ ) 进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同深度根层阻隔对玉米根系生长的影响

根层阻隔显著限制了玉米根系生长。由图 2 可知,20 和 40 cm 阻隔处理根系生物量、总根长、根表

面积都显著低于对照,其中,20 cm阻隔处理各指标降幅都在50%左右,所受影响最为明显;60和80 cm阻隔处理根系生物量和总根长显著低于对照,但根

表面积与对照无显著差异。从根系平均直径来看,各根层阻隔处理皆高于对照。总体而言,随着阻隔层的下移,根系生长受到的影响逐渐变小。

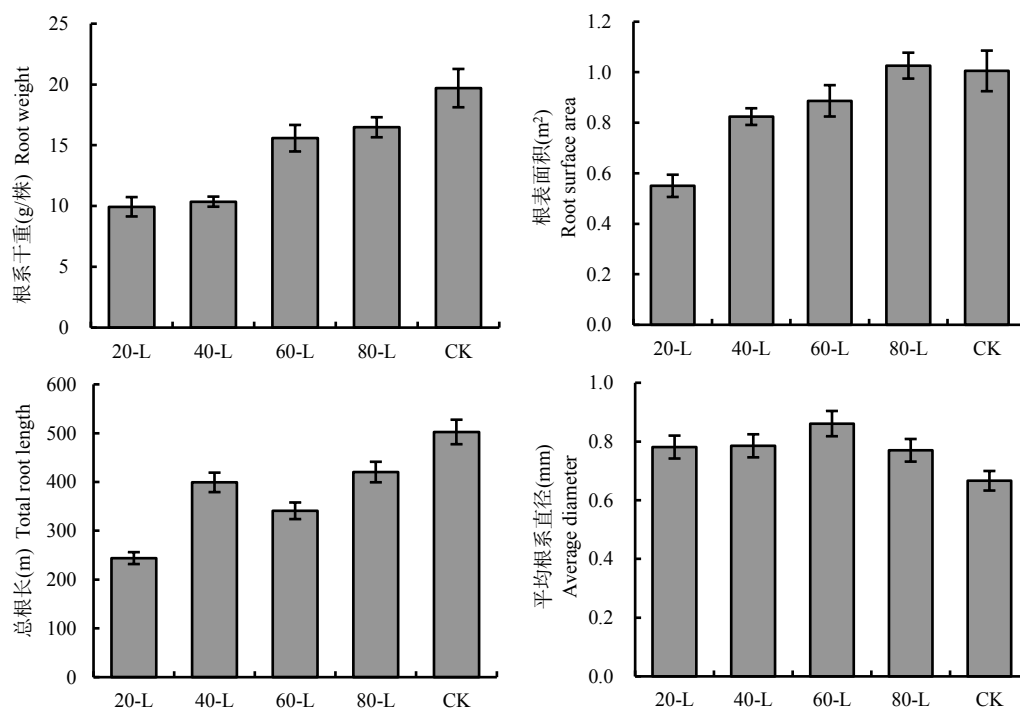


图2 不同深度根层阻隔对玉米根系干重、根表面积、总根长和平均根系直径的影响

Fig.2 Effect of root obstacle on root biomass, root surface area, total root length and root diameter of maize

## 2.2 不同深度根层阻隔对玉米光合生产能力的影响

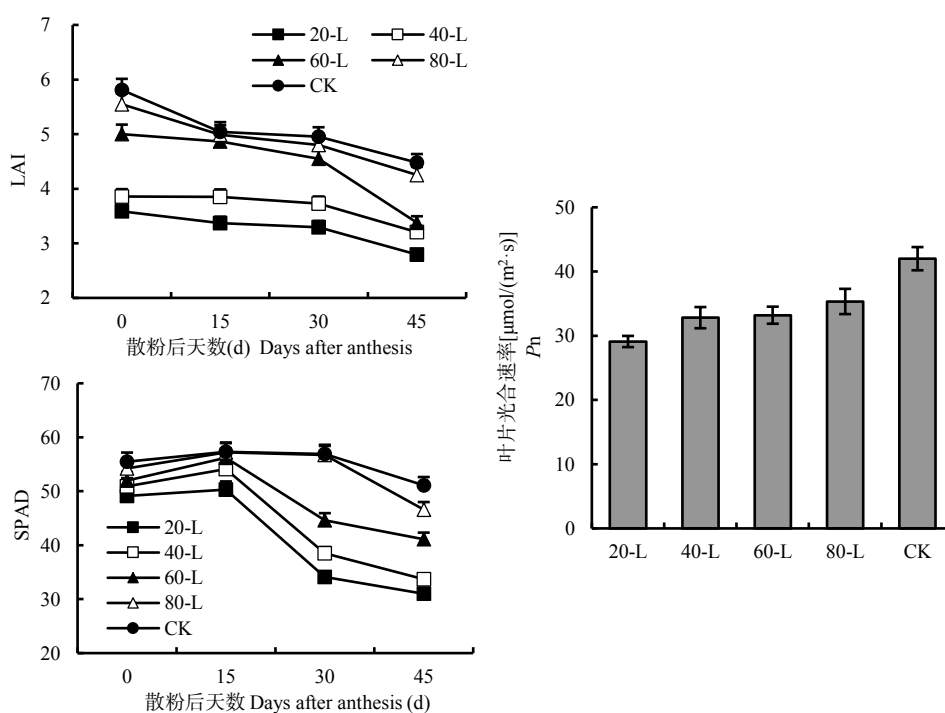


图3 不同深度根层阻隔对玉米花后LAI、SPAD值和Pn的影响

Fig.3 Effect of root obstacles on post-anthesis LAI, SPAD and Pn of maize

根层阻隔对根系生长的限制直接反应在地上部光合生产能力上。除80 cm阻隔处理花后LAI和叶片SPAD值与对照无显著差异外,20、40、60 cm阻隔处理皆显著低于对照,阻隔深度越浅,LAI和SPAD值越小,散粉30 d后LAI和SPAD值的迅速降低说明这3个处理的玉米出现早衰。从散粉期光合速率来看,各根层阻隔处理皆显著低于对照,20 cm阻隔处理显著低于其他处理(图3)。

### 2.3 不同深度根层阻隔对玉米产量的影响

根层阻隔显著降低了玉米产量。与对照相比,20 cm阻隔处理产量最低,降低了49.1%;40 cm阻隔处理次之,比对照降低了37.7%;60 cm和80 cm两个阻隔处理间差异不显著,但也显著低于对照,产量较对照降低30.7%(图4)。

### 2.4 不同深度根系对产量的贡献

根据不同根层阻隔处理与对照相比的产量差,对不同土层内根系对产量的相对贡献进行折算。结果表明,20、40、60、80 cm土层以下根系对产量的相对贡献分别为48%、38%、31%和19%,计算各土层

内根系对产量的相对贡献(图5)。0~20 cm耕层内根系对产量的贡献最大,达52%;21~40 cm土层和41~60 cm土层内根系对产量的贡献显著降低,分别为11%和7%;61~80 cm和80 cm以下土层内根系对产量的贡献又明显增加,贡献率分别为12%和19%,说明深层根系虽然生物量占总生物量比例很小,但对于玉米产量形成具有重要作用。

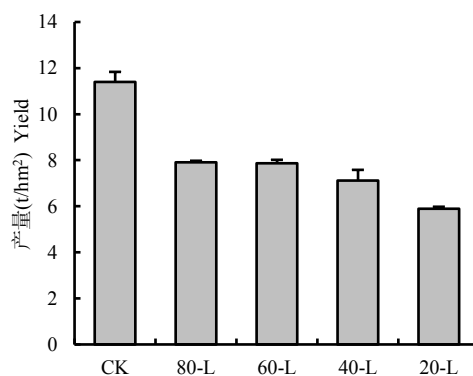


图4 不同深度根层阻隔对玉米子粒产量的影响

Fig.4 Effect of root obstacles on maize yield

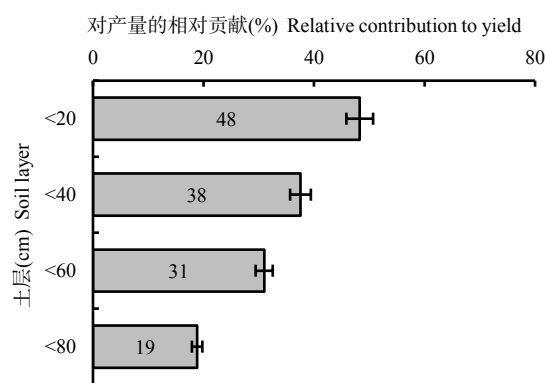
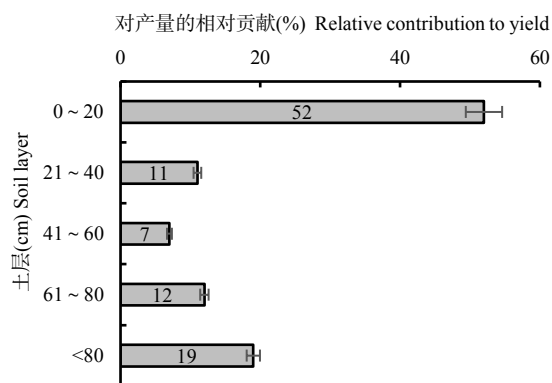


图5 不同土层内根系对玉米子粒产量的相对贡献率

Fig.5 Relative contribution of roots in different soil strata to maize yield

## 3 结论与讨论

密植条件下,玉米根系分布和对水肥的吸收能力对于提高群体生物产量和子粒产量至关重要<sup>[9]</sup>。与低密低产群体相比,密植高产群体下玉米根系体现“横向紧缩、纵向延伸”的特征,20 cm以下土层内根系分布比例与玉米产量呈显著正相关关系。Wiessler等<sup>[10]</sup>和Trachsel等<sup>[11]</sup>研究表明,花粒期较深的根系分布有利于玉米提高对深层土壤中水分和硝态氮的吸收能力,有利于提高密植群体的产量稳定性,说明深层根系在玉米生育后期的产量形成中发挥重要作用,但具体多大贡献尚不明确。本研究在限制根系扩展深度条件下,采用反证法对不同深度根系对

产量的相对贡献率的分析表明,耕层0~20 cm土层内根系是产量的主要贡献层,贡献率达52%,这与根系主要分布在此层和耕层较好的养分条件密切相关;耕层以下21~40 cm和41~60 cm土层内根系对产量的贡献明显降低,分别为11%和7%;61~80 cm和80 cm以下土层内根系对产量的贡献又明显提高,贡献率分别达12%和19%,即60 cm以下土层内根系对产量的贡献达31%,明显高于21~60 cm土层内根系的18%。其原因一方面是较深层根系形成时间较晚,灌浆期玉米活跃吸收层下移至61~80 cm土层,60 cm以下根系活力高于上层根系<sup>[12]</sup>;另一方面玉米生育后期,硝态氮下移至土壤下层<sup>[13]</sup>,且深层土壤水分条件也要好于上层,深层土体较好的水氮



供应条件可能是另一重要因素;20和40 cm阻隔处理也可能因后期无法利用深层水分和氮素而发生明显早衰,进而导致了产量的大幅降低。

在一般农田中,即使有严重的耕层障碍,玉米根系仍有一定比例下扎。本研究在双层尼龙网阻隔条件下,根系不能穿过尼龙网,因此,研究结果具有一定相对性。另外,虽然研究结果表明,耕层以下的深层根系对产量的贡献比例在1/3以上,但是否深层根系比例越大越利于产量提高,还是深层根系达到一定比例后产量不再提高有待深入研究。

#### 参考文献:

- [1] Wang Z G, Baoluo M, Gao J L, et al. Effect of different management systems on root distribution of maize [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2015, 95: 21-28.
- [2] Wang Z G, Gao J L, Baoluo M. Concurrent improvement in maize yield and nitrogen use efficiency with integrated agronomic management strategies[J]. Agronomy Journal, 2014, 106: 1243-1250.
- [3] 张世煌,李少昆. 国内外玉米产业技术发展报告(2009)[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2010.
- [4] 张 丽. 深松和培肥对旱地农田土壤水分保蓄能力及玉米生长的影响[D]. 北京:中国农业大学博士学位论文,2014.
- [5] 白 伟,孙占祥,郑家明,等. 辽西地区土壤耕层及养分状况调查分析[J]. 土壤,2011,43(5):714-719.  
Bai W, Sun Z X, Zheng J M, et al. Soil plough layers and soil nutrients in western Liaoning[J]. Soil, 2011, 43(5): 714-719. (in Chinese)
- [6] Stanisław G, Maciej T G, Tomasz H, et al. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction[J]. Environmental and Experimental Botany, 2013, 88: 2-10.
- [7] Jerzy L, Rainer H, Jacek P, et al. Effects of soil compaction on root elongation and anatomy of different cereal plant species[J]. Soil & Tillage Research, 2012, 121: 74-81.
- [8] Kuchenbuch R O, Gerke H H, Buczko U. Spatial distribution of maize roots by complete 3D soil monolith sampling[J]. Plant Soil, 2009, 315: 297-314.
- [9] Hammer G L, Dong Z S, McLean G, et al. Can changes in canopy and/or root system architecture explain historical maize yield trends in the U.S. Corn Belt[J]. Crop Science, 2009, 49: 299-312.
- [10] Wiesler F, Horst W J. Root growth and nitrate utilization of maize cultivars under field conditions[J]. Plant Soil, 1994, 163: 267-277.
- [11] Trachsel S, Kaeppler S M, Brown K M, et al. Maize root growth angle become steeper under low N conditions[J]. Field Crops Research, 2013, 140: 18-31.
- [12] 张玉芹,杨恒山,高聚林,等. 超高产春玉米的根系特征[J]. 作物学报,2011,37(4):735-743.  
Zhang Y Q, Yang H S, Gao J L, et al. Root characteristics of super high-yield spring maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(4): 735-743. (in Chinese)
- [13] 王激清,刘社平,韩宝文. 施氮量对冀西北春玉米氮肥利用率和土壤硝态氮时空分布的影响[J]. 水土保持学报,2011,25(2): 138-143.  
Wang J Q, Liu S P, Han B W. Effects of nitrogen application on nitrogen use efficiency of spring maize and distribution of soil nitrate nitrogen in northwest Hebei province[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(2): 138-143. (in Chinese)

(责任编辑:高 阳)

## 欢迎订阅2016年《北方园艺》

《北方园艺》是由黑龙江省农业科学院主管、黑龙江省园艺学会和黑龙江省农业科学院联合主办的面向国内外公开发行的以科学研究和技术普及相结合的园艺类综合性科技期刊。创刊40年来始终秉承“前沿、创新、实用”的办刊理念,为促进园艺科学领域学术交流,普及推广园艺科普知识做出了重要贡献。

现辟有试验研究、研究简报、设施园艺、栽培技术、园林花卉、生物技术、植物保护、贮藏保鲜加工、食用菌、中草药、土壤与肥料、新品种选育、产业论坛、专题综述、农业经纬、经验交流等栏目。

本刊连续6次入选全国(中文)核心期刊、获得过全国优秀农业期刊、中国农业核心期刊、中国北方优秀期刊、黑龙江省优秀科技期刊等荣誉,为美国化学文摘社(CAS)收录期刊,2次入选“农家书屋”推荐目录。

国内外公开发行。刊号:ISSN 1001-0009,CN 23-1247/S;半月刊,每月15日、30日出版,大16开本,202页内文。每册定价15.00元,全年360元。邮发代号:14-150,国外邮发代号BM 5011。

欢迎广大科研及有关企事业单位刊登广告,广告经营许可证号:2301070000009。

地 址:黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路368号《北方园艺》编辑部 邮 编:150086

电 话:0451-86674276

信 箱:bfiybjb@163.com

网 址:www.haasep.cn