

铁胁迫对三种柑橘砧木的生长、生理特性及铁分布的影响

肖家欣^{1,2}, 齐笑笑^{1,2}, 张绍铃¹

(1. 南京农业大学园艺学院, 南京 210095; 2. 安徽师范大学生命科学学院生物环境与生态安全安徽省高校省级重点实验室, 安徽 芜湖 241000)

摘要:以枳壳、酸橙和红橘三种柑橘砧木实生苗为材料,采用溶液培养法研究了铁胁迫对其生长、生理特性及铁分布的影响。结果表明:缺铁胁迫($0 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)时,三种柑橘砧木的生长指标及叶片叶绿素含量均显著低于低铁($5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)和适量铁($50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)处理;三者叶片和根系的POD、CAT活性显著降低,SOD活性变化复杂,根系脯氨酸含量显著上升。缺铁和低铁处理时,三者根系铁含量值相当,均显著低于对应适量铁处理;随着铁处理浓度的升高,三者铁的叶/根、茎/根转运系数均逐渐降低,而叶/茎转运系数无明显差异。

关键词:铁胁迫;柑橘砧木;生长;生理特性;铁分布

中图分类号: Q945; S666 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2011)01-0097-05

Effects of iron stress on growth, physiological character and iron distribution of the three citrus rootstocks

XIAO Jia-Xin^{1,2}, QI Xiao-Xiao^{1,2}, ZHANG Shao-Ling¹

(1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Provincial Key Laboratory of Biotic Environment and Ecological Safety in Anhui, Colleges of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

Abstract: The three citrus rootstock seedlings such as trifoliate orange, sour orange and red tangerine were taken as experimental material, the effects of iron stress on the growth, physiological character and iron distribution of the three rootstocks were investigated with hydroponics. The results showed that the growth index and chlorophyll concentrations in leaves of the three rootstocks were significantly lower in the iron deficiency ($0 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) than in the treatments of low iron ($5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) and optimal iron ($50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), the activities of POD, CAT in leaves and roots decreased and the proline content in roots increased significantly under the iron deficiency treatment, and the activities of SOD in leaves and roots of the three rootstocks changed irregularly. Under the treatments of iron deficiency and low iron, iron contents in roots showed no difference among the three rootstocks, but were significantly lower than those of optimal iron treatment, respectively. The leaf/root and the stem/root of Fe translocation coefficient in the three rootstocks decreased with increasing supply of Fe, whereas no significant difference was found in the leaf/stem of Fe translocation coefficient.

Key words: iron stress; citrus rootstock; growth; physiological character; iron distribution

铁是植物生长发育所必需的矿质营养元素,它在植物体内的作用涉及许多方面,如参与叶绿素的合成、电子传递和氧化还原反应等(Walker & Con-

nolly, 2008; 章艺等, 2004; 刘小丰等, 2008)。生产上果树缺铁黄化现象非常普遍,根外补铁往往可起到一定的效果(Karagiannidis 等, 2008; Fernández

收稿日期: 2010-02-01 修回日期: 2010-08-11

基金项目: 中国博士后科学基金(20080430172); 安徽省自然科学基金(070411004) [Supported by China Postdoctoral Science Foundation (20080430172); Natural Science Foundation of Anhui(070411004)]

作者简介: 肖家欣(1970-),男,湖北罗田人,博士,副教授,主要从事园艺植物生理与生态方面的研究, (E-mail) xjx0930@163.com.

等,2008)。然而,果树一般采用嫁接繁殖的方式,砧木对果树地上部分的生长等诸多性状产生重要影响,因此弄清砧木的缺铁生理反应具有很大的现实意义。有关铁胁迫下苹果砧木的生理生化反应虽有一些报道(张恒涛等,2008;李凌等,2003),但在柑橘砧木上的相关文献尚少见。由于田间背景复杂,本文拟采用溶液培养法,研究铁胁迫下三种不同柑橘砧木的生长、生理特性及其不同部位的铁含量,旨在研究不同柑橘砧木对铁胁迫的反应差异,以期铁营养的早期诊断提供科学依据。

1 材料与方 法

选取饱满的枳壳、酸橙和红橘种子,于 25 ℃ 培养箱内催芽处理 25 d,然后将露白的种子移至蛭石

介质中于室温下育苗。待幼苗长出 4 片真叶时,选取生长均匀一致的幼苗进行溶液培养,每个处理 3 次重复,每个重复 10 株。设置缺铁($0 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe-EDTA)、低铁($5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe-EDTA)和适量铁($50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe-EDTA)三个处理(Pestana 等,2005;安华明等,2003)。采用 Hoagland 和 Arnon (1950)的方法配制基本营养液。苗木生长期间,每天定时通气,每 10 d 更换一次营养液。处理时间约持续 3 个月,待黄化缺铁症状出现时取样用于实验测定分析。

用常规方法测定株高、根长、单株地上部分和根系鲜重、叶绿素含量(张志良等,2003);过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法,过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定,超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定参照氮蓝四唑(NBT)法,脯氨酸

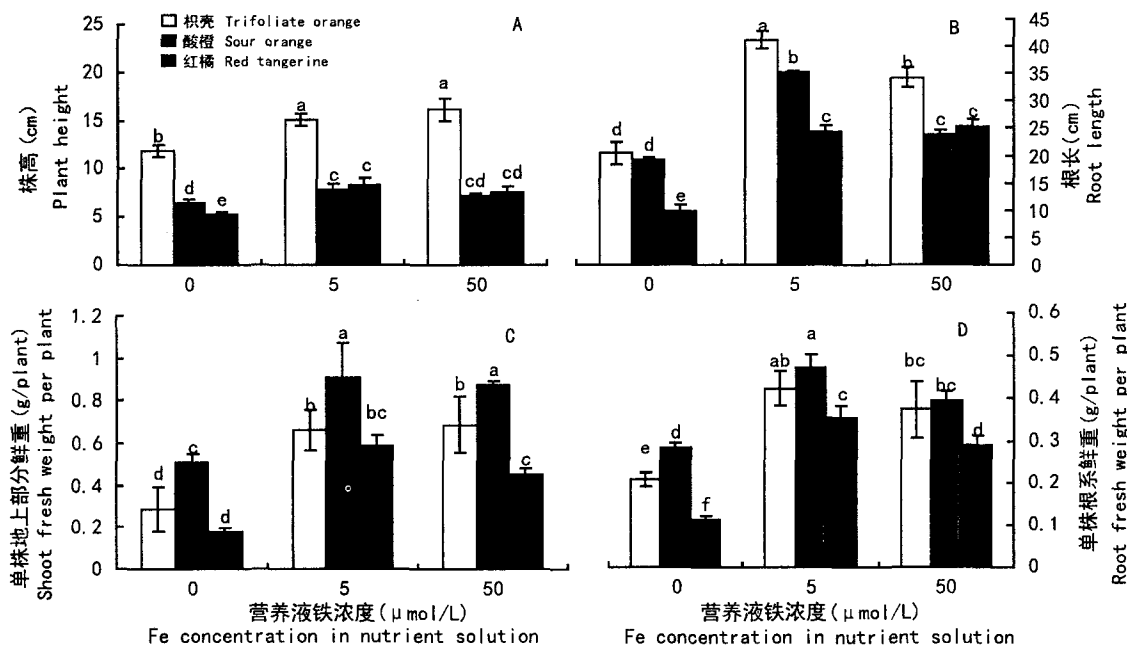


图 1 铁胁迫对枳壳、酸橙与红橘生长的影响

Fig. 1 Effects of iron stress on growth of trifoliate orange, sour orange and red tangerine

A. 株高; B. 根长; C. 单株地上部分鲜重; D. 单株根系鲜重。

A. Plant height; B. Root length; C. Shoot fresh weight per plant; D. Root fresh weight per plant.

含量的测定采用茚三酮比色法(李合生,2003);根、茎、叶三部分的 Fe 含量采用电感耦合等离子体发射光谱仪(Pekin Elmer Optimal 2100 DV)测定(Xiao 等,2007)。所获得的数据采用 SPSS 及 EXCEL 进行统计分析,利用 SPSS 软件 ANOVA 过程作不同处理之间差异显著性测验,应用 LSD 法作多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 铁胁迫对枳壳、酸橙与红橘生长的影响

图 1 显示,缺铁处理($0 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)的枳壳、酸橙与红橘各项生长指标均显著低于对应低铁($5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)和适量铁($50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)处理,其中枳

壳、酸橙的根长,酸橙、红橘的单株根系鲜重均以低铁胁迫的最高。从总体上说,各个铁处理的枳壳株高、根长均显著高于酸橙和红橘,而各个铁处理的酸橙单株地上部分鲜重则相对高于其它两个品种。

2.2 铁胁迫对枳壳、酸橙与红橘叶片叶绿素含量的影响

在缺铁胁迫下,枳壳、酸橙与红橘叶片叶绿素(chl a+b)含量均显著低于对应适量铁处理,分别低出 58.07%、45.10%和 66.34%(图 2)。

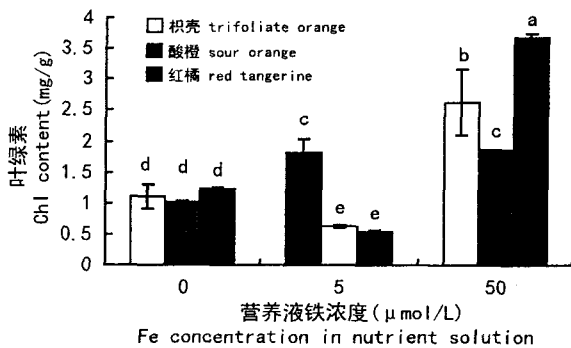


图 2 铁胁迫对枳壳、酸橙与红橘叶片叶绿素含量的影响
Fig. 2 Effects of iron stress on chlorophyll concentrations in leaves from trifoliate orange, sour orange and red tangerin

2.3 铁胁迫对枳壳、酸橙与红橘叶片及根系 POD、CAT、SOD 活性的影响

枳壳、酸橙与红橘叶片 POD 活性均以适量铁处理的最高,缺铁胁迫的最低,低铁及适量铁处理下酸橙 POD 活性最高。三者各处理对应根系的 POD 活性均相对高于叶片,其中红橘根系 POD 活性以低铁处理最高(图 3:A)。

三者叶片 CAT 活性亦以缺铁胁迫时最低,其中红橘叶片 CAT 活性较适量铁处理降幅最大。枳壳、酸橙低铁与适量铁处理的叶片 CAT 活性无显著性差异。对应各处理根系 CAT 活性均相对低于叶片,但趋势与叶片相类似,缺铁胁迫下三者根系 CAT 活性最低(图 3:B)。

三者叶片和根系 SOD 活性变化相对复杂,各处理间酸橙叶片 SOD 活性无显著性差异,适量铁处理的枳壳叶片 SOD 活性显著高于其它两处理,而适量铁处理红橘叶片 SOD 活性却相对较低。枳壳根系三处理间 SOD 活性亦无差异,缺铁处理的红橘根系 SOD 活性最高,显著高于低铁及适量铁处理,而适量铁处理的酸橙根系 SOD 活性显著低于低铁和缺铁处理(图 3:C)。

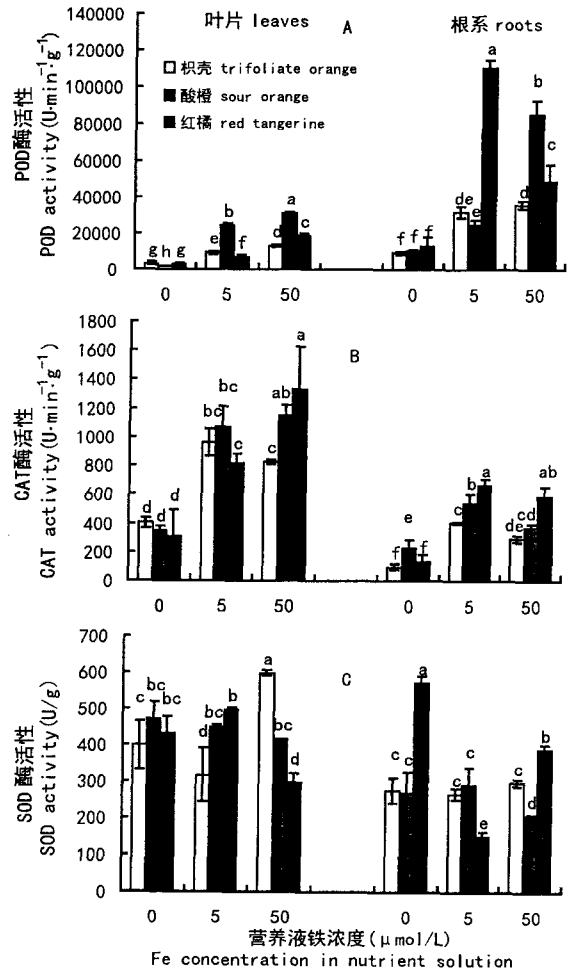


图 3 铁胁迫对枳壳、酸橙与红橘叶片及根系 POD(A)、CAT(B)、SOD(C)活性的影响
Fig. 3 Effects of iron stress on POD(A), CAT(B), SOD(C) activities in leaves and roots from trifoliate orange, sour orange and red tangerine

2.4 铁胁迫对枳壳、酸橙与红橘根系脯氨酸含量的影响

三个铁处理中,缺铁胁迫下枳壳、酸橙与红橘三者根系脯氨酸含量最高,三者之间无显著性差异,各砧木在低铁及适量铁处理间亦无显著性差异。在低铁处理下,酸橙根系脯氨酸含量显著高于枳壳及红橘(图 4)。

2.5 铁胁迫对枳壳、酸橙与红橘不同部位铁含量的影响

缺铁和低铁处理时,枳壳、酸橙和红橘三者根系铁含量值相当,均显著低于对应适量铁处理。红橘和酸橙的各铁处理的茎部铁含量无显著性差异,但均以适量铁处理的含量值相对较高,三个铁处理中,枳壳茎部铁含量均相对较低。在低铁处理中,三者

叶片铁含量相当;而在适量铁处理中,红橘叶片铁含量最高,枳壳叶铁含量最低;缺铁处理中,酸橙叶片铁含量显著低于枳壳和红橘(图 5)。

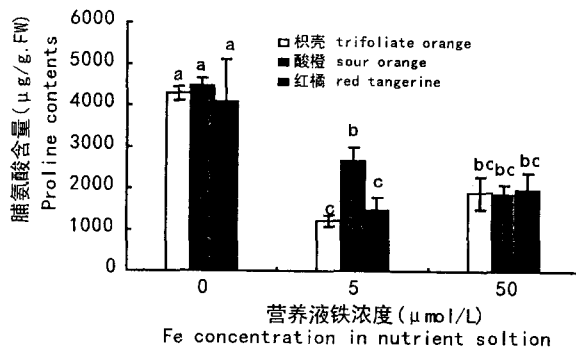


图 4 铁胁迫对枳壳、酸橙与红橘根系脯氨酸含量的影响

Fig. 4 Effects of iron stress on proline contents in roots from trifoliate orange, sour orange and red tangerine

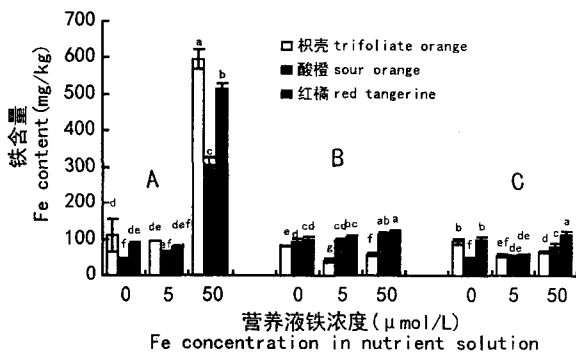


图 5 铁胁迫下枳壳、酸橘与红橘根系(A)、茎(B)、叶(C)的铁含量

Fig. 5 Iron concentrations in the roots(A), stems(B) and leaves(C) of trifoliate orange, sour orange and red tangerine under iron stress

3 讨论

本研究结果显示,在缺铁胁迫下,枳壳、酸橙与红橘三种砧木的生长指标均明显低于低铁和适量铁处理,三者中以红橘的各项指标最低(图 1),叶绿素含量亦显著低于正常供铁处理,其中红橘叶绿素含量降幅最大(图 2)。铁虽然不是叶绿素的组成成分,但它是叶绿素合成的必需元素,铁对叶绿素合成酶的活化起重要作用(安华明等,2003)。表明三者遭受缺铁胁迫时,植株的生长均受到明显的抑制,三种柑橘砧木中以红橘的抑制效果最为明显。需说明的是,酸橙和红橘的叶片叶绿素含量在低铁处理

下反而低于缺铁处理(图 2),这可能是因为酸橙和红橘利用铁素的能力相对较差的缘故。Pestana 等(2005)研究枳橙、枳柚和南庄橙三种砧木在缺铁胁迫下,其生物量、叶绿素含量均显著降低,其中枳橙对缺铁耐受性最强。有学者在扁豆(Mahmoudi 等,2005)、菜豆(Krouma 等,2006)、玉米(Sharma,2007)和马铃薯(Chatterjee 等,2006)上有类似的报道。可见,这可能与不同品种的生长特性及其对铁胁迫的生理反应差异有关。

POD、CAT、SOD 作为植物体内抗氧化酶系统的重要组成部分,在清除超氧化物自由基、减轻脂质过氧化和保护细胞膜完整性等方面起重要作用。本研究结果表明,缺铁时三种柑橘砧木叶片及根系内的 POD、CAT 活性均显著低于低铁和适量铁处理,三者根系 POD 活性相对高于叶片,而根系 CAT 活性却相对低于叶片(图 3)。这可能由于柑橘砧木体内因 Fe^{2+} 过低,自由基的产生大于 POD 和 CAT 等清除自由基的能力,从而抑制了 POD 和 CAT 活性,其中根系与叶片因铁在体内的分布差异而出现二者相关酶活性的不同。SOD 活性变化相对复杂,缺铁胁迫下枳壳与红橘叶片、酸橙与红橘根系 SOD 活性均显著高于适量铁处理(图 3)。Sandalious (1993)认为,要提高植物抗活性氧的能力,一是要维持植物体内较高的 SOD 水平,二是体内的几种抗氧化酶类之间保持良好的平衡和协调关系。可见,三种柑橘砧木体内保护酶系统在抵御铁胁迫过程中存在相互协调、协同抗氧化的作用。另外,植物体内脯氨酸的积累量与其所受胁迫程度呈正相关,因此是反映植物所受胁迫强弱的指标。本试验结果显示,缺铁处理的三种柑橘砧木根系内的脯氨酸含量均显著高于其它处理,低铁处理中酸橙脯氨酸含量最高(图 4)。可见缺铁胁迫下柑橘砧木体内脯氨酸被诱导形成,起到抵御胁迫的作用。

缺铁胁迫下,三种柑橘砧木根系铁含量下降幅度大(图 5)。一般认为铁在植物体韧皮部的移动性很差,不易从一个器官输送到另一个器官。本研究结果进一步论证了铁在柑橘体内再移动性差的观点。这与在豆科植物上的研究结果类似(Krouma 等,2006)。随着铁处理浓度的提高,三种柑橘砧木铁的叶/根、茎/根转运系数均逐渐降低,而叶/茎转运系数无明显差异(图 5),表明适量铁处理下,铁易于在根系中积累。不同的柑橘砧木在不同的铁处理水平下,各部位铁含量分布亦存在较大差异,这种差

异可能与铁在植物中的分配、植物的种类及不同器官的生理状态等密切相关。

参考文献:

- 李合生. 2003. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社
- 张志良, 翟伟著. 2003. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社: 64—67
- An HM(安华明), Fan WG(樊卫国). 2003. Physiological effects of iron deficiency on *Pyrus pashia* buch-ham(缺铁胁迫对川梨的生理影响)[J]. *Sci Agric Sin*(中国农业科学), **36**(8): 935—940
- Chatterjee C, Gopal R, Dube BK. 2006. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism, and quality of potato (*Solanum tuberosum*)[J]. *Sci Hort*, **108**: 1—6
- Fernández V, Río VD, Pumariño L, et al. 2008. Foliar fertilization of peach (*Prunus persica*) with different iron formulations: Effects on re-greening, iron concentration and mineral composition in treated and untreated leaf surfaces[J]. *Sci Hort*, **117**: 241—248
- Karagiannidis N, Thomidis T, Zakinthinos G, et al. 2008. Prognosis and correction of iron chlorosis in peach trees and relationship between iron concentration and Brown Rot[J]. *Sci Hort*, **118**: 212—217
- Krouma A, Drevon J-J, Abdelly C. 2006. Genotypic variation of N_2 -fixing common bean (*Phaseolus vulgaris*) in response to iron deficiency[J]. *J Plant Physiol*, **163**: 1094—1100
- Li L(李凌), Zhou ZY(周泽扬), Pei Y(裴炎), et al. 2003. Physiological reaction on resistance to iron chlorosis in *Malus xiaojinensis* and *M. rockii*(小金海棠和丽江山荆子的缺铁胁迫反应)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), **30**(6): 639—642
- Liu XF(刘小丰), Xu LZ(许兰珍), He YR(何永睿), et al. 2008. Plant iron uptake mechanism and the application of the involved genes in fruit breeding(植物铁吸收机理及其相关基因在果树育种上的应用)[J]. *J Anhui Agric Sci*(安徽农业科学), **36**(14): 5876—5878
- Mahmoudi H, Ksouri R, Gharsalli M, et al. 2005. Differences in responses to iron deficiency between two legumes: lentil (*Lens calinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*)[J]. *J Plant Physiol*, **162**: 1237—1245
- Pestana M, Varennes AD, Abadia J, et al. 2005. Differential tolerance to iron deficiency of citrus rootstocks grown in nutrient solution[J]. *Sci Hort*, **104**: 25—36
- Sandalious JG. 1993. Oxygen stress and SOD[J]. *Plant Physiol*, **101**: 7—12
- Sharma S. 2007. Adaptation of photosynthesis under iron deficiency in maize[J]. *J Plant Physiol*, **164**: 1261—1267
- Walker EL, Connolly EL. 2008. Time to pump iron: iron-deficiency-signaling mechanisms of higher plants[J]. *Current Opinion in Plant Biology*, **11**: 530—535
- Xiao JX, Yan X, Peng SA, et al. 2007. Seasonal changes of mineral nutrients in fruit and leaves of 'Newhall' and 'Skagg's Bonanza' navel oranges[J]. *J Plant Nutri*, **30**(5): 671—690
- Zhang HT(张恒涛), Xu XF(许雪峰), Wang Y(王亿), et al. 2008. Effects of girdling on iron-deficiency response of *Malus xiaojinensis* in iron-deficient stress(环剥对小金海棠缺铁适应性反应的影响)[J]. *J Fruit Sci*(果树学报), **25**(6): 785—789
- Zhang Y(章艺), Liu P(刘鹏), Shi F(史锋), et al. 2004. Effects of excessive Fe^{2+} on endogenous protective system and membrane lipid peroxidation of soybean leaves(高铁胁迫对大豆叶片体内保护系统及膜脂过氧化的影响)[J]. *Chin J Oil Crop Sci*(中国油料作物学报), **26**(2): 65—68

《广西农业科学》更名为《南方农业学报》

经国家新闻出版总署批准,《广西农业科学》杂志从2011年第1期起更名为《南方农业学报》,国内刊号变更为CN45-1381/S,刊期仍为月刊,原卷期编号顺延。改版后的《南方农业学报》将传承《广西农业科学》的荣誉与业绩,仍为中国科技核心期刊、英国国际农业与生物科学研究中心(CABI)全文收录期刊等。

更名后的《南方农业学报》将根据“特色、权威、深度、质量”的刊物定位,在刊登原创性论著、前瞻性综述、创新性强的新技术和新方法基础上,增加东盟农业、农业防灾减灾等专题,以及重点项目追踪和研究简报等栏目。

欢迎投稿! 欢迎订阅!

地址: 南宁市大学东路174号《南方农业学报》编辑部

邮编: 530007

电话: (0771)3244920 3243905

E-mail: gxny@163.net gxny@gxaas.net