中国水稻科学(*Chinese J Rice Sci*), 2005, 19(5):417～421
http://www.ricescience.org

自然干旱胁迫下配方肥增效剂对水稻内源激素的影响

萧浪涛[1,*] 王少先[1,2] 彭克勤[1] 夏石头[1] 曹 庸[1] 刘华英[1]
([1]湖南农业大学 植物激素与生长发育重点实验室, 湖南 长沙 410128; [2]常德卷烟厂技术中心, 湖南 常德 415000; *通讯联系人, E-mail: ltxiao@hunau.net)

Effects of Special Formulated Fertilizer Synergist on Endogenous Phytohormones in Rice under Drought Stress

XIAO Lang-tao[1,*], WANG Shao-xian[1,2], PENG Ke-qin[1], XIA Shi-tou[1], CAO Yong[1], LIU Hua-ying[1]
([1] *Hunan Provincial Key Laboratory of Phytohormones, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;* [2] *Technical Center of Changde Cigarette Factory, Changde 415000, China;* * *Corresponding author, E-mail: ltxiao@hunau.net*)

Abstract: Pot experiments with middle-season rice variety Peiliangyou 93 served as material were conducted to study the effects of synergist added to special formulated fertilizers on endogenous phytohormones ABA, IAA, GA_3 and ZR in rice plant under soil drought conditions. After drought treatment, ABA accumulated massively first and then decreased. ABA in roots and leaves rose sharply, 58 to 101 times as high as that in the control in roots. ABA accumulation in root was much faster than that in leaf. Synergist treatment enhanced the accumulation of ABA. Before drought stress, the contents of IAA, ZR and GA_3 in roots under synergist treatment were higher than those of the control, while under drought stress, the contents of IAA, ZR and GA_3 in roots decreased, and the decreasing rates of synergist treatment were larger than those of the control. However, the changes of IAA, ZR and GA_3 contents in leaf were contrary.
Key words: rice; drought stress; formulated fertilizer synergist; endogenous phytohormones

摘 要: 为揭示土壤自然干旱条件下配方肥增效剂对水稻植株内源激素的影响,以中稻培两优 93 为材料,采用盆栽法研究了配方肥增效剂对水稻内源脱落酸(ABA)、生长素(IAA)、赤霉酸(GA_3)、玉米素核苷(ZR)的影响。干旱处理后,ABA 在前期大量积累,后期呈下降趋势。根系和叶片中 ABA 含量大幅度升高,其中根系中 ABA 增幅达 58～101 倍,根源 ABA 积累幅度远高于叶源 ABA 积累幅度,而增效剂处理促进了 ABA 的积累。干旱胁迫前,增效剂处理水稻植株根系 IAA、ZR 和叶片 GA_3 均显著高于对照;而干旱胁迫后,增效剂处理植株上述激素水平均大幅下降,而对照下降幅度较小。叶中 IAA、ZR 和 GA_3 的变化则与根系相反。
关键词: 水稻; 干旱胁迫; 配方肥增效剂; 内源植物激素
中图分类号: Q945.78; S143.58; S311; S511.06 **文献标识码**: A **文章编号**: 1001-7216(2005)05-0417-05

干旱、盐碱和低温是影响作物产量的三大非生物胁迫因素,其中干旱造成的损失,其损失量超过其他逆境损失的总和。植物在水分胁迫下产生一系列反应,以抵抗不良环境的影响[1～4]。植物内源激素是植物体生命活动的调节者,在水分胁迫下,植物内源激素也产生相应的变化,以调节植物生长发育,适应环境的变化[5,6]。脱落酸被广泛认为是一种重要的胁迫激素,植物在逆境胁迫下启动 ABA 生物合成系统,合成大量 ABA,有根源和叶源之分[7～9]。目前,一般认为根系感受逆境信息,启动 ABA 合成系统,大量合成 ABA,作为逆境信号,经木质部导管运输到达茎的不同部位,调节植株水分的散失和叶片的生长[10,11]。同时,在水分胁迫下,植物内源生长素、细胞分裂素、赤霉素等也产生相应的变化,共同调控植物的生长发育。

水稻配方肥技术是一种物化的平衡施肥技术。施用根据水稻需肥规律与土壤肥力以及植株营养状况制作的配方肥在一定程度上缓解了稻农以往偏施氮肥的不良习惯,但由于价格偏高难以推广。笔者所在实验室研制出配方肥增效剂并初步研究了配方肥增效剂对水稻的增产作用,证实了配方肥增效剂在促进根系生长、增加根系活跃吸收面积、提高倒 3 叶光合速率以及提高蒸腾速率和增加气孔导度等方面的作用[12]。在此基础上,笔者采用盆栽实验研究了土壤自然干旱条件下增效剂对水稻植株内源激素(IAA、ZR、GA_3、ABA)的影响,以期进一步阐明其增产抗逆机制,促进水稻配方施肥技术的推广应用。

1 材料与方法

1.1 供试材料

土壤:采自湖南农业大学试验基地水稻田耕层

收稿日期: 2004-07-12; **修改稿收到日期**: 2005-08-24。
第一作者简介: 萧浪涛(1963-),男,博士,教授。

土壤。土壤pH为6.5,有机质含量20.3 g/kg,全氮1.53 g/kg,全磷1.13 g/kg,全钾23.2 g/kg,碱解氮0.122 g/kg,速效磷0.011 g/kg,速效钾0.082 g/kg。

水稻:中稻培两优93,2002年5月13日播种,5月30日移栽。

肥料:湖南省土肥站配肥中心研制的水稻专用配方肥28.97%(N 18%、P 2.67%、K 8.3%)。

增效配方肥(含增效剂2%,N 18%、P 2.67%、K 8.3%)。其中,增效剂由湖南省植物激素与生长发育重点实验室研制,主要成分为脲酶抑制剂、硝化抑制剂、稀土和生物活性物质等[12]。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

采用盆栽试验,每盆装土12 kg,每盆3穴,每穴1株,设2个处理,每个处理重复6次,其设置如下:1)对照,每盆施3.4 g配方肥;2)增效剂处理,每盆施3.4 g增效配方肥(注:按每1 hm^2 耕层土壤2.4 $\times10^6$ kg,施用675 kg配方肥计算。)。7月5日取一次样,然后倒干盆钵表层水,将盆钵移入玻璃房,以防止下雨对试验结果的影响,其后,再不浇水,至试验结束。

1.2.2 测定方法

水稻植株内源激素的测定(IAA、ZR、GA_3、ABA):采用高效液相色谱法(HPLC法)[13]。

主要仪器和试剂:Aglient 1100型高效液相色谱仪,甲醇为色谱纯,醋酸铵为分析纯,IAA、GA_3、ZR和ABA标准品均为Fluka公司的色谱纯试剂。

色谱条件:Waters C18反相柱(46 mm i.d × 250 mm,5 μm);柱温35 ℃;流动相为甲醇∶水∶乙酸溶液(体积比为45∶54.2∶0.8);流速10 mL/min;进样量20 μL;检测波长254 nm;采用外标法进行定量测定。

内源激素的提取与纯化:准确称取冻干样品(鲜样→液氮冷冻→真空冷冻干燥)根系0.2000 g,叶片0.3000 g,分4次加入预冷的80%甲醇水溶液11 mL(5 mL、2 mL、2 mL、2 mL),在弱光下冰浴中研磨成匀浆,于4 ℃冷藏箱中浸提过夜(15 h,注意避光),并不断搅拌。于4 ℃下以3 077 × g 离心10 min,倒出上清液,重复两次,合并上清液,然后将其真空冷冻、离心、浓缩除去甲醇,加入8 mL醋酸铵(0.1 mol/L,pH 9.0)复溶离心(17 624 × g, 20 min),上清液经过聚乙烯聚吡咯烷酮(PVPP)柱和二乙基氨基乙基交联葡聚糖凝胶(DEAE Sephadex A-25)柱,以Sep-Pak C18柱(Waters公司生产)收集样品中的内源激素,再用50%(体积分数)的甲醇水溶液洗脱后进行高效液相色谱分析。

2 结果与分析

2.1 土壤水分变化

由表1可以看出,各处理随时间延长,土壤含水量急剧下降,至试验结束时,已接近风干土壤含水量水平。

2.2 增效剂对水稻内源激素的影响

2.2.1 赤霉素(GA_3)含量的变化

随土壤干旱程度的不断加重,根系GA_3含量的变化趋势是先降低,然后升高(图1)。干旱处理前,增效剂处理根系GA_3含量极显著高于对照。干旱处理后3 d,对照根系GA_3含量略降,而增效剂处理根系GA_3含量降幅较大,达74.24%,随后,增效剂处理根系GA_3含量又大幅上升,升幅为3～6倍,而对照根系GA_3含量仍略降。干旱处理11 d后,对照根系GA_3含量大幅上升,增幅达5倍,而增效剂处理根系GA_3含量降低40%。

叶片GA_3含量的变化趋势与根系GA_3含量的变化不一致(图1)。干旱处理前,各处理叶片GA_3含量都未检出。干旱处理3 d后,GA_3含量都升高,增效剂处理叶片GA_3含量为对照的2.0～2.6倍。随后,增效剂处理叶片GA_3含量大幅降低,降幅达68.8%,而对照叶片GA_3含量升高近1倍。到11 d后,对照叶片含量增加20%,而增效剂处理含量大幅增加,升幅为6倍。

2.2.2 玉米素核苷(ZR)含量的变化

根系ZR含量随干旱程度的加剧,呈先降低,再升高,到后期再降低的趋势(图2)。干旱处理前,对照根系ZR含量为0.53 μg/g,而增效剂处理植株

表1 土壤含水量变化

Table 1. Variation of water content in the soil. %

处理 Treatment	07-05	07-08	07-12	07-16
对照 CK	36.8 ±1.2	20.6 ±0.9	10.6 ±0.5	4.6 ±0.3
增效剂 Synergist	37.2 ±0.8	19.7 ±1.3	9.5 ±0.5	5.1 ±0.2

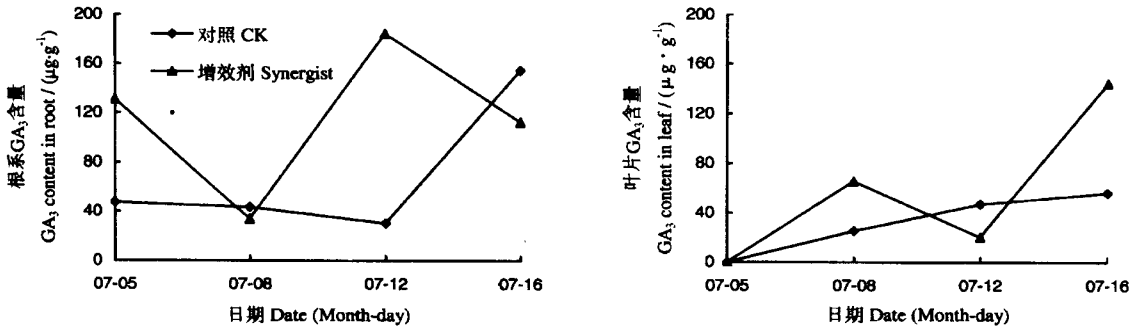


图1 土壤自然干旱条件下增效剂对水稻植株赤霉酸含量的影响

Fig. 1. Effects of synergist on GA_3 content in rice plant under natural soil drought conditions.

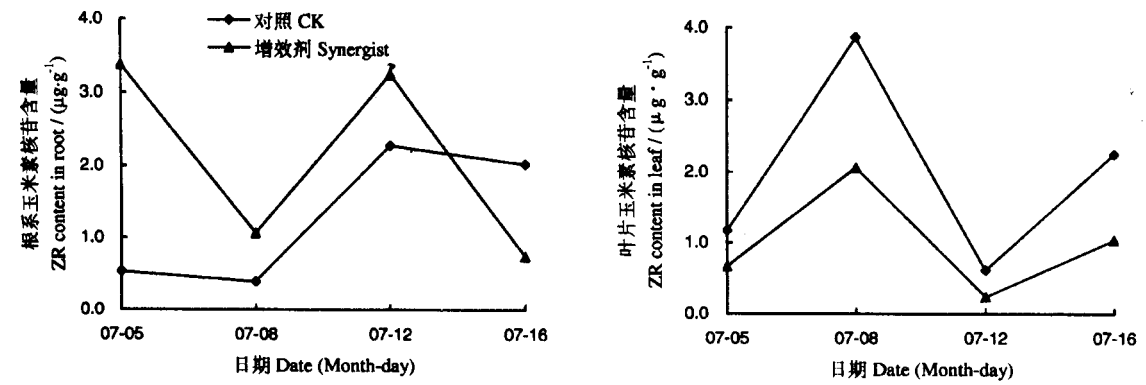


图2 土壤自然干旱条件下增效剂对水稻植株玉米素核苷含量的影响

Fig. 2. Effects of synergist on ZR content in rice plant under natural soil drought conditions.

ZR 含量为对照的 6.4 倍。干旱处理后 3 d, 对照根系 ZR 含量略降,而增效剂处理根系 ZR 含量为 1.06 μg/g,降幅达 68.8 %。随后,根系 ZR 含量又大幅攀升,对照增幅最大,增加了 5 倍。干旱 11 d 后,对照根系 ZR 含量略降,而增效剂处理根系 ZR 含量大幅下降,降幅达 77.2 %。

叶片 ZR 含量的变化呈先升高后降低,到后期再升高的变化趋势,与根系 ZR 变化趋势正好相反(图 2)。干旱处理前,对照根系 ZR 含量高出增效剂处理近 1 倍,为 1.17 μg/g(增效剂处理叶片为 0.66 μg/g),而增效剂处理叶片 ZR 含量为 0.66 μg/g。干旱处理 3 d 后,叶片 ZR 含量都大幅攀升,对照增幅最大,达 2.3 倍,增效剂处理增加 2 倍。随后,叶片 ZR 含量又大幅下降,对照叶片 ZR 含量降幅达 88.3 %,增效剂处理降幅约 90 %。到 7 月 16 日,各处理叶片 ZR 含量又大幅度升高,对照叶片增幅为 2.7 倍,增效剂处理增幅为 3.3 倍。

2.2.3 生长素(IAA)含量的变化

根系 IAA 含量随干旱程度的加剧,呈先降后升再降低的变化趋势,与根系 GA_3、ZR 的变化趋势基本一致(图 3)。干旱处理前,增效剂处理根系 IAA 含量约为对照的 2 倍,干旱处理 3 d 后,即 7 月 8 日,各处理根系含量基本接近,约为 2.0 μg/g。随后,IAA 含量大幅升高,增幅达 4 倍左右。干旱处理 11 d 后,根系 IAA 含量又下降,增效剂处理降幅最大,为 70 %左右,对照降幅近 61.2 %。

叶片 IAA 含量的变化趋势与根系 GA_3 的变化趋势一致,即先降低,再升高(图 3)。各处理在干旱处理的不同时期叶片 IAA 含量差别不大,以增效剂处理的含量较低,而到后期,对照仍维持较高的 IAA 浓度。

2.2.4 脱落酸(ABA)含量的变化

与其他内源激素变化不同,随着土壤干旱的加剧,根系 ABA 含量前期急剧升高,后期呈下降趋势(图 4)。干旱处理前,根系 ABA 含量很低,为 0.06 μg/g 左右。干旱处理 3 d 后,根系 ABA 含量增加 58～101 倍。对照根系 ABA 含量增幅为 58 倍,增效剂处理根系 ABA 含量增幅达 101 倍。随后,根

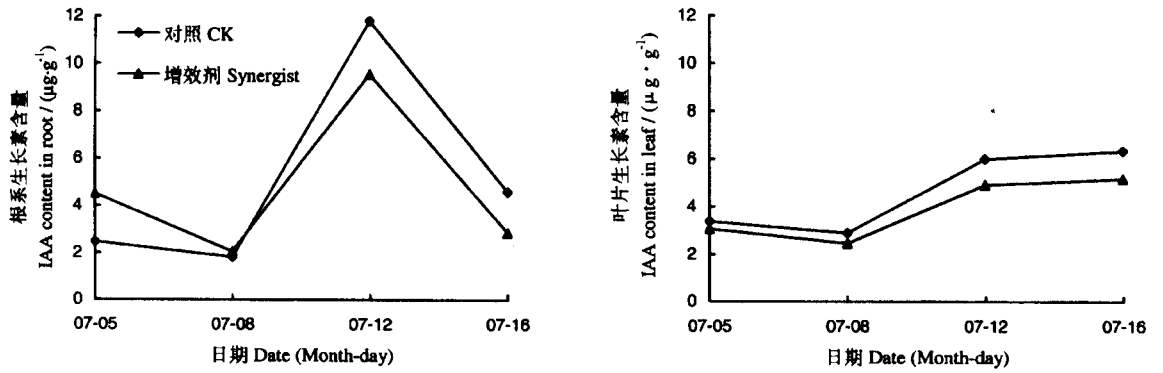


图3 土壤自然干旱条件下增效剂对水稻植株生长素含量的影响

Fig. 3. Effects of synergist on IAA content in rice plant under natural soil drought conditions.

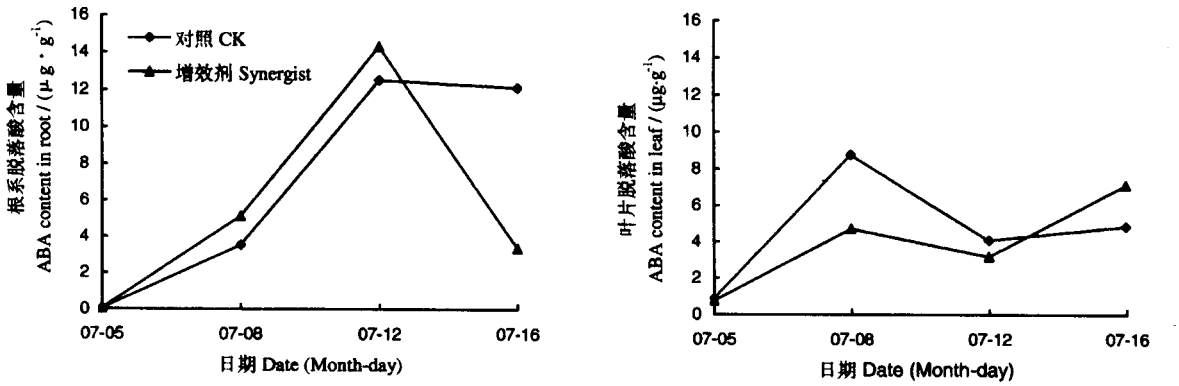


图4 土壤自然干旱条件下增效剂对水稻植株脱落酸含量的影响

Fig. 4. Effects of synergist on ABA content in rice plant under natural soil drought conditions.

系ABA含量继续攀升,对照升至12.35 μg/g,增幅为2.5倍,增效剂处理升至14.32 μg/g,增幅为1.8倍。到7月16日,即干旱处理11 d后,对照ABA含量略降,而增效剂处理根系ABA含量则大幅度下降。

随土壤干旱程度的加重,叶片ABA含量前期大幅度升高,再降低,后期再升高(图4),与叶片GA_3、ZR变化趋势一致。干旱处理前,各处理ABA含量差别不大,增效剂处理较低。干旱处理3 d后,对照叶片ABA含量大幅度升高,增幅达9倍,增效剂处理叶片ABA含量增至4.72 μg/g,增幅为5.2倍。随后,ABA又大幅度下降,降幅分别为53.5%和32.6%。干旱11 d后,叶片ABA含量又升高,对照增幅较小,增效剂处理增幅为1.2～1.6倍。

3 讨论

ABA作为一种胁迫激素,已受到广泛关注。很多研究认为,根系感知逆境信息,启动植物体内ABA生物合成系统,大量合成ABA[7～10]。根源ABA作为一种逆境信号,经木质部导管运输至茎、叶作用部位,促进气孔关闭,抑制气孔开放,增加共质体水流,减少质外体水流,从而调控植物生长发育[10,14]。本研究表明,在土壤自然干旱胁迫条件下,施用配方肥增效剂能够在一定程度上通过影响稻株内源激素的浓度和比例而提高其抗逆性。作者的前期研究发现,增效剂并不能减少植株对水分的消耗,因为增效剂处理植株蒸腾强度比对照有所提高;但增效剂能够提高干旱条件下植株对水分的利用和交换,因为增效剂处理植株气孔导度高于对照[11]。本研究进一步发现,干旱胁迫初始,水稻植株体内ABA大量积累,根系增幅高达58～101倍,而叶片ABA增幅为4～9倍,表明在水分胁迫下,根源脱落酸是植物体内脱落酸的主要来源,可能是植物体在逆境条件下根系感受逆境信息而产生的一

种向地上部传递的逆境信号。增效剂处理能增加脱落酸积累,进而在一定程度上增加水稻植株对逆境的应答,启动植株体内逆境应答系统,引发一系列的抗逆反应而提高稻株抗旱性,这可能是增效剂处理提高稻株抗旱性的主要原因之一。

前人在研究旱作水稻时发现,IAA 在水分胁迫下变化不大,而根系中 GA_3 含量降低,叶片中 GA_3 含量升高[5]。我们的结果显示,在干旱胁迫前,增效剂处理水稻植株根系 IAA、GA_3、ZR 等促进型激素含量高于对照,而干旱胁迫后,增效剂处理植株这 3 种激素的降幅远大于对照,说明水分胁迫下促进型激素含量大幅度下调,生长受到抑制,对水分的需求减少,有利于稻株抵抗干旱胁迫。因此,增效剂处理也可能通过影响其他植物激素或改变激素平衡而间接影响稻株的抗旱性。

以往对于水稻在干旱胁迫下细胞分裂素和生长素的变化规律研究较少。本研究发现,水稻在干旱胁迫下 ZR 的变化趋势与 GA_3 的变化趋势相似而 IAA 的变化与之不同,这些变化在水分生理方面的意义还有待进一步研究。

参考文献:

1 Parry M A J, John A P, Shahnaz K, *et al*. Rubisco activity: effects of drought stress. *Ann Bot*, 2002, 89: 833 - 839.

2 Griffiths H, Parry M A J. Plant responses to water stress. *Ann Bot*, 2002, 89: 801 - 802.

3 Wang Z L, Mambelli S, Setter T L. Abscisic acid catabolism in maize kernels in response to water deficit at early endosperm development. *Ann Bot*, 2002, 90: 623 - 630.

4 Yu L X, Setter T L. Comparative transcriptional profiling of placenta and endosperm in developing maize kernels in response to water deficit. *Plant Physiol*, 2003, 131: 568 - 582.

5 范晓荣,沈其荣,崔国贤,等. 旱作水稻内源激素变化及其与水稻形态和生理特性的关系. 土壤学报, 2002, 39(2): 206 - 213.

6 Chaves M M, Pereira J S, Maroc J O, *et al*. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Ann Bot*, 2002, 89: 907 - 916.

7 Jia W S, Wang Y Q, Zhang S Q, *et al*. Salt-stress induced ABA accumulation is more sensitively triggered in roots than in shoots. *J Exp Bot*, 2002, 53: 2201 - 2206.

8 Borel C, Audran C, Frey A, *et al*. *N. plumbaginifolia* zeaxanthin epoxidase transgenic lines have unaltered baseline ABA accumulations in roots and xylem sap, but contrasting sensitivities of ABA accumulation to water deficit. *J Exp Bot*, 2001, 52: 427 - 434.

9 Sharp R E, Lenoble M E. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. *J Exp Bot*, 2002, 53: 33 - 37.

10 王少先,彭克勤,萧浪涛,等. 逆境下 ABA 的积累及其触发机制. 植物生理学通讯, 2003, 39(5): 413 - 419.

11 Hare P D, Cress W A, Staden J V. Proline synthesis and degradation: a model system for elucidating stress-related signal transduction. *J Exp Bot*, 1999, 50: 413 - 434.

12 王少先,彭克勤,萧浪涛,等. 水稻专用配方肥增效剂的应用及其作用机理研究. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 294 - 298.

13 王若仲,萧浪涛,蔺万煌,等. 亚种间杂交稻内源激素的高效液相色谱测定法. 色谱, 2002, 20(2): 148 - 150.

14 Sauter A, Davies W J, Hartung W. The long-distance abscisic acid signal in the droughted plant: the fate of the hormone on its way from root to shoot. *J Exp Bot*, 2001, 52: 191 - 197.

欢迎订阅 2006 年《种子科技》

《种子科技》是由中国种子协会和山西省种子协会共同主办的面向全国的种子方面的综合性刊物。该刊理论与实践结合,普及与提高并重,集科学性、知识性、实用性、信息性于一身,实为广大种子繁育者、经营者、使用者和管理者的良师益友。

《种子科技》为双月刊,大 16 开本,内文 64 页,彩色四封带彩插,每期定价 8 元,全年 48 元。邮发代号 22 - 104,请到当地邮政局(所)订阅。错过订期的可直接汇款到《种子科技》编辑部订阅。

地址:太原市高新区创业街 35 号;邮编:030006;电话:0351-7032916;开户银行:工行太原市高新区支行;帐号:0502121609024924896。