

# 气吸式大豆高速精密排种器的设计与试验

苏 微, 赖庆辉, 罗 奎, 赵家树, 张红燕

(昆明理工大学 现代农业工程学院, 云南 昆明 650500)

**摘 要:**为了解决高速精密播种质量差、单粒率低等问题,设计了一种新型气吸式大豆高速精密排种器,对各部件和关键参数分别进行了结构设计和理论计算,开展了播种性能初步试验。样机台架试验结果表明:在作业速度分别为7,8,9,10,11 km·h<sup>-1</sup>时,均可获得播种合格指数大于94,漏播指数小于2.5,重播指数小于3.3和变异系数小于20的良好试验效果,说明该排种器能够满足高速精播的要求。

**关键词:**大豆;播种机;高速精密播种;气吸式排种器

**中图分类号:**S565.1

**文献标识码:**A

**DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2014.04.0594

## Design and Experiment for Soybean High-speed Precision Vacuum Seed Metering

SU Wei, LAI Qing-hui, LUO Kui, ZHAO Jia-shu, ZHANG Hong-yan

(Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of poor seeding and low rate of single particle, a high-speed precision vacuum seed metering was designed. The structure designing and the theory calculating for the key components were conducted, and the preliminary experiment of seeding performance was carried out. The experimental results showed that when the speed in operation was 7, 8, 9, 10 and 11 km·h<sup>-1</sup>, the eligible index could obtain greater than 94, omitting seeding index less than 2.5, rebroadcast index less than 3.3 and variation coefficient less than 20, the experiment results were good. The seed metering could meet the requirement of high-speed precision seeding.

**Key words:** Soybean; Seeder; High-speed precision seeding; Vacuum seed metering

随着精密播种栽培技术的广泛应用和以“高速、高效”为重要特征的大农机快速发展,对高速精密播种器的作业速度和播种质量要求越来越高。高速精密播种器的播种性能主要取决于精密排种器。精密排种器按其排种原理可划分为机械式和气力式。机械式精密排种器结构相对简单,成本低,但对种子几何尺寸要求比较严格,在充种、清种过程中,种子容易遭受挤压而损伤,且单粒播种效果差,不适合高速作业。气力式排种器主要有气吸式、气吹式、气压式3种形式,其中气吸式排种器能克服上述机械式播种装置的缺点,对种子几何尺寸要求不严,不需要精选分级,易实现单粒点播<sup>[1-3]</sup>。

近年来,国内外的气力式精密排种器的研究进入了一个较快的发展时期,精密排种器的研制工作也取得了很大进步。俄罗斯学者 B. M. KaKob 对气吸式充种问题进行了研究<sup>[4]</sup>;2004年 D. Karayel 建立种子千粒重、形状、密度、吸种区域对吸种真空度影响的数学模型<sup>[5]</sup>;吉林大学研制的气力轮式排种器,可满足大豆的高速小株距播种要求;中国农业大学封俊和梁素钰研制了新型组合吸孔式小麦精

密排种器,实现了单粒精密播种<sup>[6]</sup>;中国农业大学庞昌乐等研制的2BZQ-300型气吸式双层滚筒水稻排种器,有效地解决了吸孔易堵塞问题<sup>[7]</sup>;黑龙江省农业机械工程科学研究院谢宇峰研制的单盘双条气吸式排种器,是与大豆“暗垄密”高产栽培技术相配套的播种机械<sup>[8]</sup>;2011年,陈凤艳提出了缝隙式小麦气吸精密排种器的设计<sup>[9]</sup>。

本文根据气吸式排种器工作原理及在结构基础上,设计了一种新型气吸式大豆高速精密排种器结构,该排种器能实现高速精播作业并具有刮种效果良好等特点。

### 1 排种器结构及工作原理

#### 1.1 总体结构

排种器的总体结构如图1所示,主要由壳体、轴承、排种轴、搅种轮、刮种器、排种盘和气室壳体等组成。

#### 1.2 工作原理

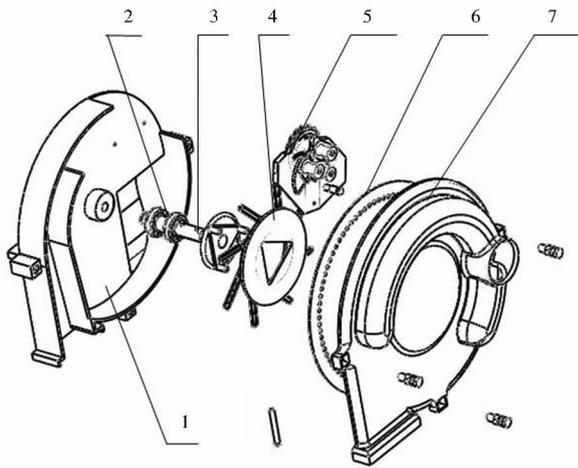
气吸式排种器的吸附部件主要由真空气室和排种盘等组成。排种器在工作时,种箱内的种子流

收稿日期:2013-12-09

基金项目:国家自然科学基金(51305187);云南省级项目(人培)(KKS201323025, KKS201323067)。

第一作者简介:苏微(1979-),女,博士,讲师,主要从事农业机械化生产与管理研究。E-mail:laisubo@163.com。

通讯作者:赖庆辉(1980-),男,博士,副教授,主要从事精密播种机械研究。E-mail:laiqinghui007@163.com。



1. 壳体;2. 轴承;3. 排种轴;4. 搅种轮;5. 刮种器;6. 排种盘;  
7. 气室壳体。

1. Case;2. Bearing;3. Seed shaft;4. Stirring seed wheel;5. Scraping seed device;6. Seed disk;7. Air chamber case.

图1 排种器结构示意图

Fig. 1 Overall structure of the vacuum seed metering

入排种器储种室,排种盘的一侧为真空气室,真空气室通过软管与风机相通,另一侧与储种室相接。风机工作时,使吸种室内形成一定真空度,真空气室形成负压,排种盘两侧产生压力差,排种盘转到吸种区时,种子依靠真空气室的内外压差被吸附在吸孔上,并与排种盘一起运动到刮种区,刮种区部位有刮种器可将多吸附种子刮掉。排种盘继续转动将种子携带到投种区,投种区的排种盘两侧均与大气相通,真空度为零,由于种子失去了风压对其的吸附力,便依靠自身重力及离心力的作用下落,投入导种管进入种沟完成播种过程。

## 2 特征结构

### 2.1 壳体

壳体由铝合金铸成。结构设计上既要满足种箱、开沟器及其他零部件安装固定要求,又要便于种子流到排种器吸种区域,防止种子发生架空。排种器壳体如图2所示。

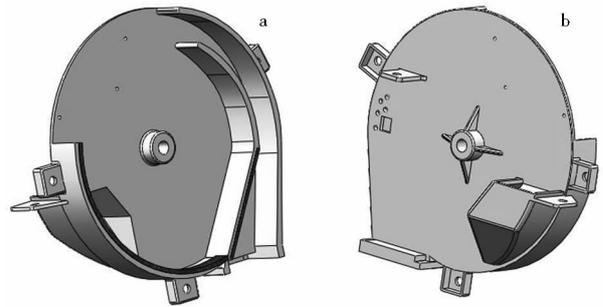
### 2.2 排种盘

排种盘总体结构如图3(a)所示。

吸孔形状选用加工工艺比较简便的圆柱孔型,如图3(b)。

### 2.3 搅种轮

搅种轮依靠周向固定与排种轴连接并随排种轴一同旋转,将种子搅动起来,使种子达到“沸腾”状态,增加了外力作用使种子不断地填补到吸孔附近,以免吸孔吸不着种子而增加漏播率。搅种轮结构如图4所示。

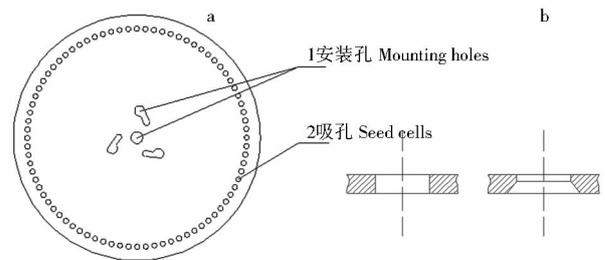


a. 壳体外侧;b. 壳体内侧

a. Outside of the case;b. Inside of the case.

图2 壳体

Fig. 2 Case



a. 总体结构;b. 吸孔形状。

a. Overall structure;b. Seed cells shape.

图3 排种盘结构示意图

Fig. 3 Seed disk

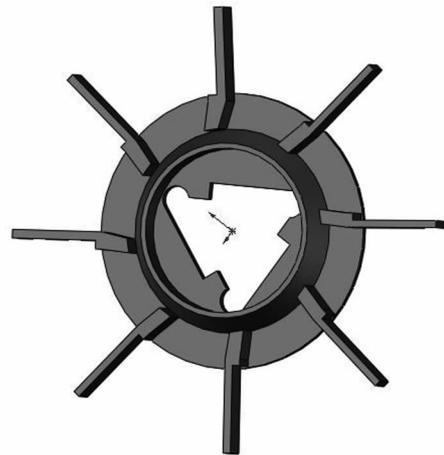


图4 搅种轮

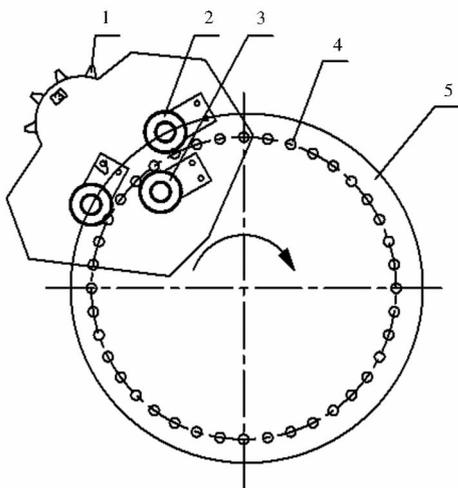
Fig. 4 Stirring seed wheel

### 2.4 刮种器

针对传统杠杆式刮种器杠杆与种子的内外缘只有一次接触机会的缺点进行了改进设计,设计的刮种器工作原理如图5所示,刮种器三维图如图6所示。刮种位置调整轮通过传动机构与两个上刮种轮和一个下刮种轮相连接,当旋转刮种器位置调整轮时,同时改变吸孔与刮种轮的重合度。吸孔与刮种轮的重合度如图7所示。排种器作业时,排种轴带动排种盘旋转,吸孔在气流的作用下,将种子吸附在吸孔上,随着排种盘转动,当转动到刮种轮

位置时,种子将与刮种轮接触,产生作用力,将多余的种子刮掉,实现单粒播种。由于先前的杠杆式刮种器只与种子接触一次,经过此次改进后,安装了3个刮种轮,增加了种子与刮种轮接触次数,很好地完成了刮种,实现单粒播种。

当转动刮种位置调整轮时,调整轮上的凹槽带动下刮种轮和下排种轮同步移动,即上刮种轮和下刮种轮的重合度同步变化,重合度同时变大或变小。当上刮种轮和下刮种轮的边缘与吸孔布置中心线相切时,把这个位置规定为刮种器位置“1”,重合度减小0.5 mm,将其位置规定为刮种位置“2”,以此类推,共规定了9个刮种器位置,根据不同种子可通过试验研究确定其最佳位置。

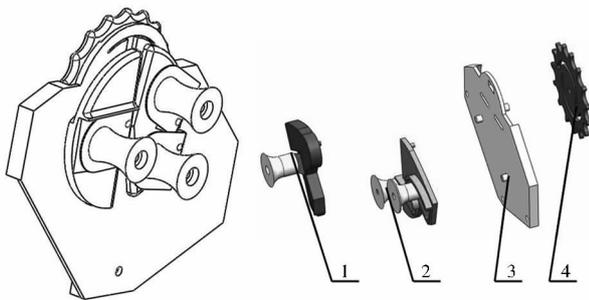


1. 刮种位置调整轮;2. 上刮种轮;3. 下刮种轮;4. 吸孔;5. 排种盘。

1. Adjusting wheel of the scraping seed position;2. Upper scraping seed wheel;3. Nether scraping seed wheel;4. Seed cells;5. Seed disk.

图5 刮种原理示意图

Fig. 5 Sketch graph of scraping seed principle



1. 下刮种轮总成;2. 上刮种轮总成;3. 刮种器支架;4. 刮种位置调整轮。

1. Nether scraping seed wheel assembly;2. Upper scraping seed wheel assembly;3. Scraping seed device holder;4. Adjusting wheel of the scraping seed position.

图6 刮种器三维图

Fig. 6 3D graph of the scraping seed device

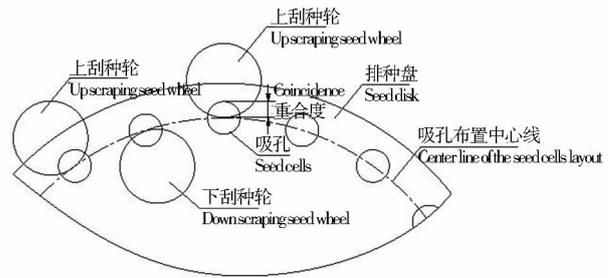


图7 重合度和刮种器位置示意图

Fig. 7 Sketch graph of coincidence and the scraping seed device position

### 2.5 气室

设计气室的原则是气室的结构应使气室内各处的真空度一致,即各处吸孔的吸力相等。根据文献<sup>[10]</sup>和流体力学相关理论,气室为马蹄形,实现各处吸孔的吸力相等主要有两种形式,一种为气室各处深度相等而宽度不等,另一种为宽度相等而深度不等。本设计采用后一种形式,设计的气室如图8所示。

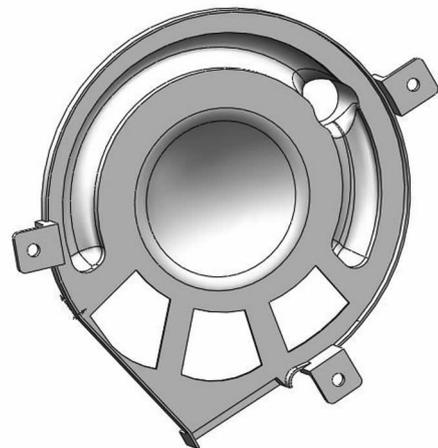


图8 气室三维图

Fig. 8 3D graph of the air chamber

### 3 参数计算

#### 3.1 排种盘主要参数

排种盘的主要参数包括吸孔直径、吸孔数和排种盘直径<sup>[11-12]</sup>。确定的排种盘直径为300 mm,厚2.7 mm。

根据孔径设计公式:

$$d = (0.64 - 0.66)b \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $b$  - 种子的平均宽度。

针对试验种子大豆的平均粒径6~9 mm,孔径取4.5 mm,孔数取80个。

#### 3.2 气室真空度

气室真空度的大小直接影响了种子的精确播种性能,当然气室内真空度越大则吸附种子能力越

强,不容易产生空穴现象,但真空度过大,容易使重播率增大,所以真空度是一个重要的参数。根据相关理论,有如下公式:

$$H_{\text{cmax}} = \frac{8 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot C \cdot G}{\pi d^2} \cdot \left(1 + \frac{1}{g} \cdot \frac{V^2}{r} + \lambda\right) \quad (2)$$

式中:  $H_{\text{cmax}}$ —气室临界真空度最大值,  $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ;

根据试验种子,各参数取值如下:

$K_1$ —吸种可靠性系数,  $1.8 \sim 2.0$ 。 $K_2$ —工作可靠性系数,  $1.6 \sim 2.0$ 。 $d$ —排种盘上的吸孔直径,  $0.45 \text{ cm}$ 。 $C$ —种子重心与排种盘间的距离,  $0.3 \sim 0.4 \text{ cm}$ 。 $G$ —一粒种子的重量,  $1.767 \times 10^{-4} \text{ kg}$ 。 $g$ —重力加速度,  $9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。 $V$ —排种盘上的吸孔中心处线速度,  $0.2944 \sim 0.3598 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。 $r$ —排种盘吸孔处的转动半径,  $0.145 \text{ m}$ 。 $\lambda$ —种子的摩擦阻力综合系数,  $\lambda = (6 \sim 10) \text{tg}\theta$ 。 $\theta$ 为种子的自然休止角,一般  $\theta$ 角较小的作物种子,前面常数取大值。这里经计算  $\lambda$  为  $2.448 \sim 4.081$ 。

将具体数值带入式(2)中,可得  $H_{\text{cmax}} \approx 0.7 \sim 1.78 \text{ kPa}$ 。

为了使种子能牢固地吸附在吸孔上,气室内的实际真空度必须大于  $H_{\text{cmax}}$ 。

基于以上理论分析,考虑到种子相互撞击和振动的影响,确定播种大豆的真空度范围为  $3 \sim 6 \text{ kPa}$ 。

## 4 试 验

### 4.1 试验材料与设备

试验用种子为大豆,粒径尺寸  $6 \sim 9 \text{ mm}$ ,千粒重为  $176.7 \text{ g}$ ,自然休止角  $25^\circ$ 。

试验在 JPS-12 计算机视觉排种器性能检测试验台上进行。

### 4.2 试验方法

根据国家标准,GB6973-86 单粒(精密)播种机试验方法(Testing methods of single seed precision drills)<sup>[13]</sup>。理论株距  $10 \text{ cm}$ 。

### 4.3 结果与分析

由表 1 可知,在吸孔直径  $4.5 \text{ mm}$ 、吸孔数 80 个和真空度  $5.0 \text{ kPa}$ 、刮种器位置“7”不变的情况下,在作业速度分别为  $7, 8, 9, 10, 11 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  下进行排种试验,合格指数由  $97.31$  下降到  $94.25$ ,重播指数由  $1.62$  上升到  $2.48$ ,漏播指数由  $1.07$  上升到  $3.27$ ,合格指数略有下降,重播指数和漏播指数稍有上升,但均获得合格指数大于  $94$ 、重播指数小于  $2.5$ 、漏播指数小于  $3.3$  和变异系数小于  $20$  的试验效果,远远高于 JB/T10293-2001 单粒(精密)播种机技术条件中的排种器各项评价标准<sup>[14]</sup>,已达到精密排种器优等品的要求,完全满足高速精密播种的技术要求。

表 1 试验数据

Table 1 Actualizing data of experiment

No.	作业速度 Operating speed/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	合格指数 Eligible index	重播指数 Rebroadcast index	漏播指数 Omitting seeding index	变异系数 Variation coefficient
1	7	97.31	1.62	1.07	15.61
2	8	96.45	1.71	1.84	18.23
3	9	95.57	2.12	2.31	19.42
4	10	95.03	2.23	2.74	19.11
5	11	94.25	2.48	3.27	16.77

## 5 结 论

设计了一种新型气吸式大豆高速精密排种器,提出了根据不同种子可进行调整的新型刮种器,进行了气室真空度分析计算,并进行了排种性能试验研究。为气吸式排种器设计提供了基础。

样机台架试验表明:在粒距  $10 \text{ cm}$ 、作业速度分

别为  $7, 8, 9, 10, 11 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  时,均可获得播种合格指数大于  $94$ ,漏播指数小于  $2.5$ ,重播指数小于  $3.3$  和变异系数小于  $20$  的试验效果,排种器能够满足高速精密播种要求。

由于该排种器尚处于初步研究阶段,加之影响排种性能的因素很多,还需进一步试验研究与优化以确定最佳工作参数范围。

## 参考文献

- [1] 张德文,李林,王惠民.精密播种机械[M].北京:农业出版社,1982;25,73. (Zhang D W, Li L, Wang H M. Precision seeding machine [M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1982; 25,73.)
- [2] Kobayashi Y. Studies on the vacuum seed metering device. I. The characteristics of large grain seeds for picking-up[J]. Akita Kenritsu Nogyo Tanki Daigaku, 1980(6):69-81.
- [3] Lee Y K, Lee D W, Oh Y Z. Development of automatic seed metering device[J]. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery, 1994(2):91-98.
- [4] Н. И. ГлазБев. 气吸式排种器的理论与试验研究[J]. 农业机械快报, 1964(3):1-4. (Н. И. ГлазБев. Theory and experimental research of the vacuum seed metering[J]. Agricultural Machinery, 1964(3):1-4.)
- [5] Karayl D, Barat Z B, Ozmerzi A. Mathematical modeling of vacuum pressure on a precision seeder[J]. Biosystems Engineering, 2004, 87(4):437-444.
- [6] 梁素钰,封俊,曾爱军,等.新型组合吸孔式小麦精密排种器性能的试验研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3):84-87. (Liang S Y, Feng J, Zeng A J, et al. Performance experiments of the seed-meter device with combined sucker[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(3):84-87.)
- [7] 庞昌乐,鄂卓茂,苏聪英,等.气吸式双层滚筒水稻播种器设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5):52-55. (Pang C L, E Z M, Su C Y, et al. Design and experimental study on air-suction two-layer cylinder rice seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(5):52-55.)
- [8] 谢宇峰,陈立东,许剑平.单盘双条气吸式排种器的设计[J]. 农机化研究, 2008(12):71-74. (Xie Y F, Chen L D, Xu J P. Design of the pneumatic seeder with single-plate and double-row[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(12):71-74.)
- [9] 尹海燕.国内外气力式排种器发展研究[J]. 农业科技与装备, 2013(8):19-20. (Yin H Y. Research on the development of domestic and foreign pneumatic seed sowing device[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2013(8):19-20.)
- [10] 盛江源,齐红彬.吸盘真空室理论流场的确定[J]. 吉林农业大学学报, 1990, 12(3):89-93. (Sheng J Y, Qi H B. Determine of the theoretical flow sucker vacuum chamber[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1990, 12(3):89-93.)
- [11] 马成林.精密播种理论[M].长春:吉林科学技术出版社, 1999. (Ma C L. Precision seeding theory[M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1999.)
- [12] 刘文忠,赵满全,王文明,等.气吸式排种装置排种性能理论分析与试验[J]. 农业工程学报, 2010(9):133-135. (Liu W Z, Zhao M Q, Wang W M, et al. Theoretical analysis and experiments of metering performance of the pneumatic seed metering device [J]. Transactions of the CSAE, 2010(9):133-135.)
- [13] GB-6973-86.单粒(精密)播种机试验方法[S].北京:中国标准出版社, 1986. (GB-6973-86. Testing methods of single seed precision drills[S]. Beijing: China Standard Press, 1986.)
- [14] JB/T 10293-2001单粒(精密)播种机技术条件[S].中国机械工业联合会, 2001. (JB/T 10293-2001 Specifications of single seed drill (precision) [S]. China Machinery Industry Federation, 2001.)

## 欢迎订阅《作物学报》

《作物学报》是中国科学技术协会主管、中国作物学会和中国农业科学院作物科学研究所共同主办、科学出版社出版的有关作物科学的学术期刊。前身可追溯到1919年创办的《中华农学会丛刊》。主要刊载农作物遗传育种、耕作栽培、生理生化、种质资源以及与作物生产有关的生物技术、生物数学等学科基础理论或实践应用性的原始研究论文、专题评述和研究简报等。办刊宗旨是报道本领域最新研究动态和成果,为繁荣我国作物科学研究、促进国内外学术交流、加速中国农业现代化建设服务。读者对象是从事作物科学研究的科技工作者、大专院校师生和具有同等水平的专业人士。

《作物学报》从1999年起连续12年获“国家自然科学基金重点学术期刊专项基金”的资助。2006~2013年连续8年获“中国科协精品科技期刊工程项目(B类)”资助。从2002年起连续11年被中国科技信息研究所授予“百种中国杰出学术期刊”称号。2013年被新闻出版广电总局评为“百强科技期刊”,2011年获“第二届中国出版政府奖期刊奖提名

奖”,2005年获“第三届国家期刊奖提名奖”。2008和2011年被中国科学技术信息研究所授予“中国精品科技期刊”称号。2009年被中国期刊协会和中国出版科学研究所授予“新中国60年有影响力的期刊”称号。据北京大学图书馆编著的《中文核心期刊要目总览》(2004,2008和2011年版)登载,《作物学报》被列入“农学、农作物类核心期刊表”的首位。

《作物学报》为月刊,定价50.00元/册,全年600.00元。可通过全国各地邮局订阅,刊号:ISSN 0496-3490, CN 11-1809/S,邮发代号:82-336。也可向编辑部直接订购。

地址:北京市海淀区中关村南大街12号,中国农业科学院作物科学研究所《作物学报》编辑部(邮编100081)

电话:010-82108548;传真:010-82105793

网址: <http://zwx.chinacrops.org/>

E-mail: [zwx301@caas.cn](mailto:zwx301@caas.cn);

[xbzw@chinajournal.net.cn](mailto:xbzw@chinajournal.net.cn)