

# 水稻包衣直播机设计与试验研究

夏萍, 张建华, 马有华, 傅松龄

(安徽农业大学, 合肥 230036)

**摘要:** 针对目前水稻包衣和催芽技术存在的问题, 研制了一种以催芽种子为主的新型排种器—振动式包衣排种器, 介绍了该排种器的结构和工作原理, 将该排种器安装在普通直播机上, 对其进行台架试验和田间试验, 结果表明: 振动式包衣直播机包衣合格率 > 85%, 播种合格率 > 85%, 变异系数 < 25%, 伤芽率 < 2%, 能够满足包衣和精量播种作业要求, 振动式包衣直播机能使催芽湿种子与种衣剂滚团粘附包膜包衣, 在播种作业时一次完成种子包衣、直播作业, 省去了包衣种子烘干、包装、贮存等过程。

**关键词:** 排种器; 水稻种子包衣; 直播机; 振动

**中图分类号:** S223.2<sup>+</sup>4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2003)03-0099-05

## 1 引言

水稻直播是将稻种用播种机直接播入大田的一种水稻栽培技术, 水稻直播不需育秧设备, 省去育秧、插秧等复杂程序, 可以实现水稻生产全过程机械化。美国水稻生产以直播为主, 近年来日本水稻直播面积逐年增加, 在水稻轻型栽培中直播是最简单的种植方式。

种子包衣技术是将含有植物药剂、生产调节剂、微肥等有效成分, 通过粘结剂均匀地包裹在种子表面缓慢释放供种子幼苗吸收利用<sup>[1]</sup>。国外种子包衣的开发研究较早, 20 世纪 50 年代就提出了薄膜种衣技术, 目前欧美各国的种子公司已各有自己的专利种衣剂, 种子包衣技术在发达国家已得到普遍应用, 20 世纪 80 年代日本对蔬菜种子进行工厂化包衣, 并将“水稻高精度包衣装置”作为“农机紧急开发项目”之一。我国自 1980 年起, 由北京农业大学在国内率先进行种衣剂系列产品配方、生产工艺及应用效果的系统研究。国内对小麦、玉米、大豆等种子包衣研究较多, 已取得了明显的成效, 而对水稻包衣尚处于试验阶段。

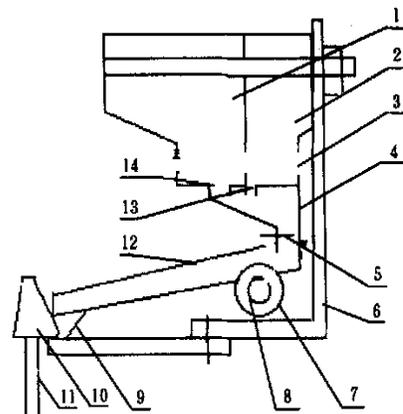
目前水稻包衣、播种常采用的方法为: 稻种先催芽后手工包衣, 因催芽种子易伤芽, 一般不用包衣机包衣。种子经包衣机包衣、烘干、加工成成品包衣种子, 再用播种机播种, 为了防止种衣剂流失, 此时包衣稻种一般不宜再进行浸种催芽处理<sup>[2]</sup>。以上两种方法中水稻包衣技术和催芽技术都相互矛盾, 因此水稻包衣在生产实践中一直难以推广和应用。振动式水稻包衣直播机以催芽种子为主要研究对象, 在播种作业时, 一次完成催芽种子包衣、播种作业, 根据播种面积现包即播, 该技术解决了稻种包衣技术和催芽技术的矛盾, 水稻包衣直播可以简化作业环节, 消除包衣种子的剩余浪费, 并能减少种子包衣、烘干、包装、贮存等过程, 节省用工, 降低成本。水稻包衣直播机是将种子包衣技术、水稻催芽直播栽培技术与其机械配套措施结合起来的一种先进技

术, 可以促进实现水稻栽培管理轻型化, 提高水稻生产机械化水平。

## 2 结构和工作原理

### 2.1 振动式包衣排种器的结构和工作原理

为了提高水稻发芽率, 农艺上要求水稻种子播种前先进行浸种、消毒、催芽等处理, 处理后的种子其表面湿润, 种子流动性差, 易架空伤芽, 因此水稻催芽直播机采用振动式排种器, 该排种器主要由种、粉定量装置和振动式包衣分种装置组成, 如图 1 所示。



1 种箱 2 粉箱 3 柔性连接 4 振动底箱 5 活门  
6 支架 7 传动齿轮 8 振动曲轴 9 支杆 10 接种口  
11 接种管 12 振动槽 13 排粉口 14 排种口

图 1 振动式包衣排种器结构简图

Fig 1 Structure of vibration seed-coating feeder

工作时, 排种装置依靠来自地轮的动力(旱直播机)或动力输出轴动力(水直播机)经过一定的传动比传给振动盘, 种箱内的湿种子在振动盘的振动和重力作用下, 通过箱底板上的排种定量孔定量地排出, 与此同时粉箱内的超细粉体种衣剂也通过箱底板上的排粉定量孔定量地排出, 使湿种子滚团粘附包裹, 实现种、粉初步包膜包衣。初步包衣的种子继续下移落入 V 型振动槽里, 振动槽由曲轴的圆周运动产生振动, 曲轴转动时槽内种子抖动、抛掷与种衣剂充分地混合包裹, 并沿 V 型槽均匀单粒排列向下运动, 排入接种口进入接种管播入

收稿日期: 2002-09-16 修订日期: 2003-02-18

基金项目: 安徽省教育厅资助项目

作者简介: 夏萍, 副教授, 合肥市 安徽农业大学工学院, 230036

土中。

振动盘由底盘、调节盘和搅拌杆组成。改变底盘、调节盘的相对位置即可调整排粉口、排种口开度,控制排种量。地头转弯时,关闭排种活门、排粉口和排种口。

## 2.2 水稻包衣水直播机

水稻水直播机采用机动插秧机机头或水田耕作机作为动力装置,排种器固定在船体支架上。主要由船体、排种装置、导种管、开沟、压种装置等。工作时动力机头牵引播种机前进,播种机由船体支承在田面滑行,船底板将田面耨平;拖沟器拖出浅畦沟,振动槽内的包衣种子在重力和振动作用下经接种管落入畦沟间的畦面,压种器将刚播下的种子轻压入泥。

包衣剂含有粘结剂等成分,包衣种子被压种器轻压入泥,若遇到田间明水将不会被冲刷掉。包衣剂将在种子表面缓慢释放,供种子幼苗吸收利用。

## 2.3 水稻包衣旱直播机

水稻包衣旱直播机,采用 2BJ-6 型播种机机架,配套动力为 9~18.5 kW 小四轮拖拉机,包衣直播时只需将种子箱、排种器、传动齿轮改装即可,工作时排种装置依靠地轮的动力采用二级齿轮变速,带动振动盘、振动槽高频振动,实现现包即播一次作业。

水稻包衣直播工艺流程见图 2。

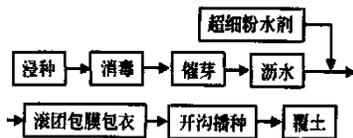


图 2 直播工艺流程

Fig. 2 Flow chart of direct seeding technology

**传动比的确定** 根据运动学基本原理,在考虑打滑的情况下,传动比为

$$i = n_1/n_d \quad (1)$$

$$n_d = v_j/(\pi D(1 + \delta)) \quad (2)$$

式中  $n_1$ ——振动频率;  $n_d$ ——地轮转速;  $v_j$ ——播种机前进速度;  $D$ ——地轮直径;  $\delta$ ——地轮滑移系数。设旱直播机滑移系数为 5%、振动频率为 1 000 r/m in、播种机前进速度为 7 km/h,即 116.7 m/m in,地轮直径为 0.38 m,按式(1)计算出水稻包衣旱直播机所需传动比  $i = 10.7$ 。

## 3 包衣种子的运动分析

### 3.1 种子在振动底板上的运动分析

种子运动分析的目的是建立种子运动的数学模型,全面地描述种子在排种器内运动的动态特性。分析时将种子运动视为微粒运动,设排种器振动底板在垂直面内振动,空气介质与种子运动的速度大小相等方向相同。作用于底板微粒种子的力有重力  $G = mg$ 、惯性力  $I = \pm ma$ ,因此作用于底板微粒种子的合力为

$$P = mg \pm ma \quad (3)$$

式中  $m$ ——单粒种子质量;  $g$ ——重力加速度;  $a$ ——

种子垂直方向加速度。

$a > g$  微粒与底板一起运动;  $a < g$  微粒在底板上作跳跃运动。为了使种子从出口均匀地流出,必须对振动频率、振幅及开口尺寸进行设计。设振动底板种子为散粒体,由资料可知<sup>[3]</sup>: 底板振幅影响微粒位移,种子流动性好所需振幅小;流动性差振幅大。底板振动频率增加种子流量均匀增加,但频率过大缩短了种子运动时间,流量反而减少。种子流量不仅与频率、振幅有关还与开口面积有关。根据资料<sup>[3]</sup>最适合的频率  $f$ 、流量  $Q$  由下式表示

$$f > \sqrt{1/(H/g)} \quad (4)$$

$$Q = \rho(CR^{2.5} \pm BR^2) \quad (5)$$

式中  $f$ ——振动频率;  $Q$ ——排种器流量;  $H$ ——落种高度(即振动板上种子跳跃的高度);  $\rho, C, B$ ——排种系数;  $R$ ——排种口半径。

粉箱内种衣剂的运动和振动分析与种子相同,此处不再叙述。由以上分析可知,振动式包衣排种器在一定频率、振幅下调整开口面积即可调整种子和种衣剂排量,该方法结构简单,调整方便。由于振动式水稻包衣直播机是以催芽种子为主要研究对象,种子流动性差,因此排种器设计频率、振幅偏高,在排种器基本参数不变的条件,对频率  $f = 500, 1000, 1500$  r/m in,振幅  $A = 1, 2, 3$  mm 分别进行了测试,综合种子和种衣剂振动特性,其中以  $f = 1000$  r/m in,  $A = 3$  mm 排种排粉性能较好。

### 3.2 种子在振动槽内运动分析

振动槽为曲柄-摆杆机构,曲柄与振动槽铰点处圆周运动,摆杆铰接处谷粒作往复运动,其余各点为复合运动。现选取质量为  $m$  的一粒种子为研究对象,种子在振动槽内的受力分析如图 3 示,作用于振动槽内微粒种子的力有重力  $G = mg$ 、振动槽表面的法向反力  $N$ 、惯性力  $I = ma$ 、种子沿锥筒表面的摩擦力  $F = \mu N$ ,物料沿振动槽垂直方向力为

$$N = mg \cos \beta - ma \sin \epsilon \quad (6)$$

式中  $\beta$ ——振动槽水平夹角;  $\epsilon$ ——谷粒惯性力与振动槽夹角;  $a$ ——谷粒惯性加速度;  $m$ ——单粒种子质量。

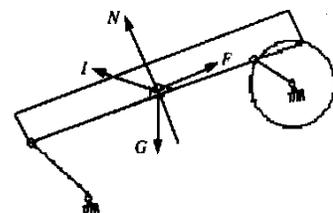


图 3 种子受力与运动

Fig. 3 Force and movement of seed

曲轴旋转时振动槽倾角随曲轴转动而变化,同一粒种子在不同周期内其夹角是不同,种子在槽内运动很复杂,由物料抛掷理论可知<sup>[5]</sup>,种子开始出现抛掷时,法向反力  $N = 0$ 。当曲轴旋转时,经初步包衣的种子在振动

力和重力作用下,在槽内滚动、滑动、抛掷与种衣剂充分地混合包裹,与此同时种子在槽内作向上向下运动,向下运动的速度大于向上运动,沿V型槽均匀单粒排列向下运动。对水稻种子进行多次实验,综合包衣和排种性能,本振动槽结构参数为振动槽初始倾角 $\alpha = 8^\circ$ 、曲轴半径 $r = 3\text{ mm}$ 、摆杆长 $l = 5\text{ mm}$ 、槽长 $L = 600\text{ mm}$ 。

## 4 试验设计与分析

### 4.1 试验设计

本试验分为台架试验和作物生长试验。台架试验在安徽农业大学农机实验室进行,分为包衣性能和排种性能试验。作物生长试验分为室内试验和田间试验,供试土壤采自农大水稻试验田,品种为籼稻协优57。种衣剂选用安徽农业大学研制的逸氧型超细粉体水稻种衣剂,主要成份有杀虫杀菌除草剂、活性成分、保水剂、过氧化钙、填料等,经研磨或粉碎过200目筛,根据农艺要求<sup>[4]</sup>取种药比为3:1。

### 4.2 包衣排种器台架试验

#### 4.2.1 填料对包衣性能的影响

水稻种衣剂含有杀虫杀菌除草剂、过氧化钙、填料等,其中填料占种衣剂含量60%以上,一般种衣剂中填料起填充、崩解、吸水等作用,填料的确定是以强度和崩溃度为选择依据<sup>[6,7]</sup>,振动式水稻包衣直播机边包衣边播种,因此包衣性能不应以强度和崩溃度为选择依据,而应以包裹均匀、多籽率低;原料来源方便、价格便宜;空隙度大、透气、保水、出苗率高为选择依据。本试验选用大白土、粉煤灰、滑石粉、膨润土等填料进行对比试验,共设五种处理,分别为处理1:杀虫杀菌除草剂+过氧化钙+载体物质膨润土。处理2:杀虫杀菌除草剂+过氧化钙+载体物质大白土。处理3:杀虫杀菌剂+过氧化钙+载体物质粉煤灰。处理5:杀虫杀菌剂+过氧化钙+载体物质滑石粉。处理5:杀虫杀菌剂+过氧化钙+载体物质膨润土或大白土与粉煤灰混合物。

表1为各种填料对包衣性能的影响,从表中可以看出:载体物质为膨润土、大白土种子包衣覆盖率比载体物质为粉煤灰、滑石粉高,包衣合格率顺序为膨润土>大白土>混合物>滑石粉>粉煤灰;载体物质为膨润土、大白土种子易粘结多籽率高;单籽率顺序为粉煤灰>混合物>滑石粉>大白土>膨润土。综合种子包衣合格率和单籽率指标,其中载体物质为膨润土或大白土与粉煤灰混合物包衣效果较好,包衣合格率大于85%,多籽率小于1.5%。

表1 填料对包衣性能的影响

Table 1 Effects of filler on seed coating property

处理	百粒重/g	合格率/%	多籽率/%	单籽率/%
膨润土	4.0	90.5	5.4	94.6
大白土	3.9	89.3	4.8	95.2
滑石粉	3.5	76.2	2.3	97.7
粉煤灰	3.4	55.3	0	100
混合物	3.8	85.7	1.5	98.5

注:随机抽样百粒种子进行测试,每种处理重复3次。

包衣合格率是指种子包裹面积占总面积的百分比。多籽率是指两粒以上种子占种子总数的百分比。单籽率是指单粒种子占种子总数的百分比。

本试验除对水稻进行包衣测试外,还分别对小麦、玉米、带绒棉籽等进行测试,其性能均能满足包衣要求。

#### 4.2.2 对播种性能的影响

播种试验分为室内台架试验和田间试验,台架试验在农机实验室进行,田间试验在水家湖农场水稻试验田进行,土壤为粘壤土。

为了模仿播种作业的真实环境,排种器振动底板和振动槽由电机驱动,频率为1000 r/min,电机同时也拖动帆布胶带匀速运动。

根据农艺要求,调整开口面积,得到3种排种量,分别为22.3粒/s、31.3粒/s、44.2粒/s,对帆布胶带各小段上种子的粒数进行测试分析,每种处理重复3次,得出振动式包衣排种器的播种性能。表2为不同排种量台架试验结果,从表2中可以看出,播种合格率为85.5%~93.0%;行内变异系数为13.4%~16.9%;重播率为4.7%~7.6%;种子在包衣过程中,由于受摩擦力作用和种子之间相互碰撞,造成种子幼芽损伤,伤芽率高达0.9%~1.6%。

表2 台架试验结果

Table 2 Results of lab-stand test

开口面积/mm	排种量/粒·s <sup>-1</sup>	合格率/%	重播率/%	漏播率/%	变异系数/%	伤芽率/%
50	22.3	93.0	4.7	2.3	13.4	1.6
70	31.3	90.7	5.5	3.8	15.8	1.0
100	44.2	85.5	7.6	6.9	16.9	0.9

注:种子间距在0.5~1.5倍理论株距范围内为合格株距,合格株距占总测定数的百分比为合格率。种子间距小于0.5倍理论株距为重播;种子间距大于1.5倍理论株距为漏播。变异系数是指种子间距标准差与种子平均间距之比。伤芽率是指伤芽种子占总测定种子的百分比。

表3 田间试验结果

Table 3 Results of field test

作业名称	作业速度/km·h <sup>-1</sup>	株距/mm	合格率/%	重播率/%	变异系数/%	出苗率/%
旱直播	5.2	20	81.2	6.2	20.3	84.5
	6.3	20	75.3	7.9	22.5	83.7
	7.5	20	72.4	9.5	24.9	83.4
水直播	3.2	20	89.4	4.8	14.8	86.4
	4.6	20	86.7	6.2	18.2	84.9
	5.3	20	77.5	8.4	18.7	84.1

田间试验按照《谷物条播机试验方法》的规定进行,表3为不同作业速度直播机田间试验结果,从表中可以看出,旱直播机播种合格率为72.4%~81.2%,水直播为77.5%~89.4%,旱直播播种合格率低于水直播,旱直播行内均匀性也不如水直播,其主要原因是旱直播机播量受地面不平产生的振动影响大,同时种子在硬沟内跳动、滚动易造成漏播、重播;而水直播机由于水田烂泥具有吸振作用,因此播种效果好。以上试验表明该排种器具有良好的行内播量均匀性和较高的发芽率,能满足精密播种要求<sup>[8-10]</sup>。

### 4.3 作物生长试验

#### 4.3.1 不同填料对水稻生长的影响

将稻种按农学标准浸种催芽包衣,与正常催芽种子对照,每组 100 粒,播种在培养皿中,种子上面覆盖一层泥水播深为 2 mm。填料共设 5 种处理,同表 1 处理相同,即 膨润土、大白土、滑石粉、粉煤灰、混合物,表 4 为不同填料对水稻生长的影响,从表 4 中可以看出:载体物质为膨润土或大白土与粉煤灰混合物其出苗率高于其它 4 种处理。原因为填料中只含有膨润土或大白土,其粘接力强包衣合格率较高但透气性差;而填料中只含有粉煤灰其空隙度大但包衣合格率低;填料为膨润土或大白土与粉煤灰混合物具有保水、透气、出苗率高等优点。从表 3 中还可以看,填料为膨润土或大白土,种子在早期发芽迟缓,出苗速度慢,说明种衣剂在秧苗生长前期对出苗和发育进程有一定抑制作用,但随着时间的推移,抑制作用能慢慢解除,最终包衣种子出苗率高于未包衣种子出苗率。

表 4 填料对水稻生长的影响

Table 4 Effects of filler on rice growth

处理	播种期 /月-日	竖芽始期 /月-日	全苗期 /月-日	出苗率 /%
膨润土	05-08	05-14	05-20	88.9
大白土	05-08	05-14	05-19	88.1
滑石粉	05-08	05-12	05-17	87.9
粉煤灰	05-08	05-11	05-16	86.9
混合物	05-08	05-12	05-16	91.7
CK	05-08	05-11	05-15	86.5

#### 4.3.2 不同播种深度对水稻生长的影响

将催芽包衣与催芽不包衣水稻种子分别播在不同深度的泥土中,实验器材为长 500 cm、宽 100 cm、高 20 cm 盆钵,每组 100 粒,每次重复 3 次观察出苗情况。处理 1: 水直播- 面播,即播在水面上不作塌谷处理,播深为 0 mm; 处理 2: 水直播- 浅播,即播在畦面轻压入泥,相当水直播机播种,播深为 2 mm; 处理 3: 水直播- 深播,播深为 5 mm。处理 4: 旱直播- 浅播,播深为 3 mm; 处理 5: 旱直播- 深播,播深为 6 mm。

表 5 播深对水稻生长性能的影响

Table 5 Effects of seeding depth on rice growth

作业名称	处理	播种期 /月-日	竖芽始期 /月-日	全苗期 /月-日	出苗率 /%
水直播	面播	05-08	05-11	05-16	80.6
	CK	05-08	05-10	05-14	78.2
	浅播	05-08	05-12	05-17	91.7
	CK	05-08	05-11	05-15	86.5
	深播	05-08	05-15	05-19	77.1
旱直播	CK	05-08	05-17	05-22	68.0
	浅播	05-08	05-11	05-17	92.2
	CK	05-08	05-10	05-15	87.3
	深播	05-08	05-12	05-18	80.7
	CK	05-08	05-11	05-17	69.6

表 5 为不同播深对水稻生长性能的影响,从表中可以看出,未包衣种子播种过浅或过深其出苗率低,而包衣种子播深对出苗率影响不大。主要原因是未包衣种子播种过浅,其芽鞘徒长,根不入泥,同时易遭受鸟雀的啄食;而播种过深其芽谷埋入泥中,易“闷死”。包衣种子外表裹有过氧化钙、保水剂、杀虫杀菌除草剂等,当播种过深时种子外表裹有的过氧化钙遇水放出氧气能促进幼苗生长防止“闷死”,外表裹有杀虫杀菌除草剂,可以避免杂草侵害;当播种过浅时种子外表裹有的保水剂能在种子周围及秧苗根部形成蓄水球囊,有利于扎根<sup>[4]</sup>。

### 5 结论

1) 水稻包衣直播机能够在播种作业时,一次完成催芽种子包衣、播种作业,解决了稻种包衣技术和催芽技术的矛盾。包衣直播机是将种子包衣技术、水稻催芽直播栽培技术与其机械配套措施结合起来的一种先进技术。该机尚处于部件试验阶段,有许多方面还须进一步改进。

2) 振动式水稻包衣直播机可以简化作业环节,根据播种面积现包即播,消除包衣种子的剩余浪费和环境污染,并能减少种子包衣、烘干、包装、贮存等过程,节省用工,降低成本。

3) 水稻种衣剂含有杀虫杀菌除草剂、过氧化钙、保水剂、填料等,过氧化钙遇水放出氧气能促进幼苗生长防止烂根,保水剂、填料在种子周围及秧苗根部形成蓄水球囊,具有良好的蓄水保水缓慢释放有效成分功效。水稻包衣直播机有效地解决了直播对田块平整度要求高,秧苗易烂根,杂草多等缺点。包衣直播机不仅可以用于水稻直播,而且还可用于小麦、玉米、油菜、带绒棉籽等农作物包衣播种。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张文明 种子包衣丸化技术[J] 种子, 1998, 94(2): 66~ 67.
- [2] 邱 兵, 陈忠慧 稻种包衣处理应用于工厂化育秧的试验研究[J] 农业工程学报, 2000, 16(3): 96~ 98
- [3] 张波屏编译 播种机械设计原理[M] 北京: 机械工业出版社, 1982
- [4] 徐卯村, 张洪熙, 黄年生, 等 高吸水种衣剂及其在水稻旱育秧上的应用技术[J] 种子, 1998, 94(2): 61~ 63
- [5] 陈 进, 李耀明 气吸振动式播种试验台内种子运动规律的研究[J] 农业机械学报, 2002, 33(1): 47~ 50
- [6] 杨家富 林木种子裹衣质量指标的研究[J] 林业机械与木工设备, 2001, 29 (2): 13~ 15
- [7] 吴文福, 照学笃, 马中苏, 等 种子包衣剂定量供给装置[J] 农业机械学报, 2000, 31(1): 42~ 44
- [8] Frank W F. 'Posi-Flow' planting system A SAE paper No. 91- 1012
- [9] Claude culpin. Fam machinery [M] London: Collins, 1986
- [10] 张得文 精密播种机械[M] 北京: 农业出版社, 1982

## Design and experimental study on a new rice seed-coating and direct sowing machine

Xia Ping, Zhang Jianhua, Ma Youhua, Fu Songlin

(College of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

**Abstract:** A new kind of rice seed coating and direct sowing machine was designed in order to solve the problems in rice seed-coating and bud-leaf accelerating. The structure and working principle of the feeder were described. This machine can coat the wet accelerated rice seed with superfine. The results from installation and field experiments indicated both of the correct rate of coating and sowing are over 85%. The inconstant coefficient rate is less 25% and the broken rate is less 2%. That can reach the requirements for coating and precision sowing. It can complete seed coating and sowing continuously without seed drying, packaging and storing process.

**Key words:** feeder; rice seed-coating; direct sowing machine; vibration

### 《农业工程学报》编辑部提请作者提高论文英文摘要的写作质量

编辑部为积极配合科协“提高学术期刊论文英文摘要写作质量及开展英文摘要达标荐优活动”(见 114 页“通知”),请作者进一步提高论文摘要的写作质量。编辑部已于 2002 年 10 月聘请一在京加拿大籍老师,审查修改拟发表论文的英文摘要。每期出刊后编辑部将向《中国学术期刊文摘》选送一篇优秀英文摘要。择优标准主要有:(1)论文优秀;(2)摘要包含目

的、方法、结果和结论四要素,内容独立完整,符合摘要写作的形式要求,每篇要有 10 个左右完整句子组成;(3)语句简练符合英文的表达习惯等。编辑部将综合审稿人意见、标准衡量及外教审查意见等遴选。选出的优秀英文摘要在上报的同时,也将在《农业工程学报》上公布,供广大作者学习参考。

(本 刊)