

水稻植质钵盘高强度结构与性能试验*

李连豪^{1,2} 张伟¹ 汪春¹ 张欣悦¹

(1. 黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319; 2. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘要: 针对水稻植质钵盘应用过程中存在的问题,对水稻植质钵盘结构进行改进设计。阐述水稻植质钵盘设计思想,探讨水稻植质钵盘结构改进设计思路及结构设计依据,分析改进前后的水稻植质钵盘结构强度,同时分别以改进前的水稻植质钵盘(CK1)、日本塑料钵盘(CK2)和平育秧盘(CK3)为水稻育秧载体,通过多年田间对比试验探讨改进后的水稻植质钵盘(CK)对水稻生产的影响。试验结果表明:改进后的水稻植质钵盘正应力较改进前水稻植质钵盘提高15.09%;CK和CK1秧苗移栽后均无缓苗期,CK2和CK3秧苗均需一定缓苗期;在生育期和收获期,CK和CK1秧苗素质均无显著差异,但均优于CK2和CK3秧苗素质;CK生产投入均低于CK1和CK2生产投入,但高于CK3生产投入;CK和CK1土壤有机质含量相同,在0~10 cm、10~20 cm和20~30 cm土层,CK土壤有机质含量分别较CK2和CK3土壤有机质含量提高7.06%、10.08%、2.53%、3.34%、0.48%、0.11%;CK和CK1对土壤容重影响程度相同,与CK2和CK3相比较,在相同土层,CK能够促使土壤容重减小;CK和CK1产量持平,较CK2和CK3,产量分别提高10.59%和13.54%。

关键词: 水稻 植质钵盘 高强度设计 性能试验

中图分类号: S223.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)11-0088-10

引言

水稻钵育栽培技术是提高我国水稻单产水平有效途径之一^[1]。目前日本钵育栽培技术在国际上处于领先地位^[2],其核心技术是围绕塑料钵盘展开研究,增产效果明显,但缺点在于其配套装备(专用精量播种机及移栽机)价格昂贵(25~30万元/套),我国水稻种植户很难接受,因此需进行新式钵育栽培技术研究。

依据钵育技术概念,钵育栽培技术首先应是开发育秧载体。20世纪70年代,国内外一些研究机构曾对钵育育秧载体展开研究,也取得一系列研究成果^[3-5]和较好的增产效果。虽然上述水稻钵育育秧载体价格有所降低,但其配套装备也普遍存在价格昂贵、操作复杂及可靠性低等问题。

在钵苗移栽方面,日本根据塑料钵盘结构特点开发出专属水稻移栽机,工作时水稻钵苗底部首先被顶起,然后在栽植机构作用下被移栽于大田^[6],该移栽机具有作业速度快、工作可靠及作业质量好

等特点,但价格昂贵制约其大面积推广应用。在国内,马瑞峻等提出了一种人机结合机械手式水稻钵苗移栽设计方案,该方案利用单片机控制的机械手自动完成水稻秧苗的有序移栽,具有自动化程度高等特点,但其秧夹开启时可靠性尚未得到进一步验证^[7];马守义及赵匀等对水稻钵育移栽机及分插机构进行探索,开发出一系列水稻钵育移栽机和分插机构^[8-9],目前在一些地方得到应用,但其主要适用于塑料钵育秧盘,对水稻植质钵苗移栽具有一定局限性。

21世纪初,黑龙江八一农垦大学有关科研人员利用水稻秸秆热压成型制备出一款新型水稻钵育育秧载体^[10-11],即水稻植质钵盘(经纬排列29×14),并研制出配套型孔板式精量播种装置^[12]和有序移栽装置^[13],田间试验证明其增产效果明显,但存在起盘时强度降低易断裂等问题。

基于以上问题,本文在前期研究基础上,针对水稻植质钵盘应用过程中出现的问题,对水稻植质钵盘结构进行改进设计,形成新型水稻植质钵盘。

收稿日期:2014-05-07 修回日期:2014-08-06

* 国家农业成果转化基金资助项目(2009GB2B200101)、高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(新教师类)(2011230512003)、农业部农产品加工质量监督检验测试中心博士后科研工作站(大庆)资助项目(LRH-413)、黑龙江八一农垦大学博士科研启动资金资助项目(2011YB-08)、黑龙江省教育厅面上资助项目(12531467)和黑龙江省高校创新团队建设计划资助项目(2014TD010)

作者简介: 李连豪,讲师,中国农业大学博士生,主要从事节水灌溉技术研究,E-mail: lianhao8002@126.com

通讯作者: 张伟,教授,博士生导师,主要从事水稻植质钵育机械化栽培技术研究,E-mail: zhang66wei@126.com

1 水稻植质钵盘设计思想

1.1 植质概念

“植质”是指新型育秧载体所选主体材料类型,“植”指选取植物残余物为主原料,“质”即腐殖质,是指选用植质残余物作为新型钵育载体制作材料,同时这些材料又要返回田地,在土壤中经微生物分解形成有机物质,如氮、磷、钾等,能够增进土壤肥力和改善土壤结构。

1.2 设计思想

传统水稻育秧采用平育秧方式,也就是利用带孔蜡纸作为育秧载体(平育秧盘),育秧时水稻种子、底土和表土按照不同层次均匀地铺洒于平育秧盘内,移栽时秧苗根部与育秧土相互盘结于一体,从而能够实现连续移栽。此种育秧方式存在的根本问题是移栽时秧针对秧苗根部损伤大,是提高水稻单产水平的一大障碍。

假设让一定量水稻种子生长在单一空间,秧苗根部只在单一空间内盘结,并以单一空间内所有秧苗为移栽单元,从而就能避免秧针对秧苗根部造成的损伤,即是水稻钵育技术。将众多单一空间利用一定技术手段组合起来便成为水稻钵育育秧载体。综合钵体(以稻草为主原料)和钵苗一体移栽,便是水稻植质钵盘设计思想。

2 改进前后水稻植质钵盘

2.1 改进前结构

改进前的水稻植质钵盘是参照日本塑料钵盘(图 1)结构参数经一定技术手段压制而成,其结构如图 2 所示。

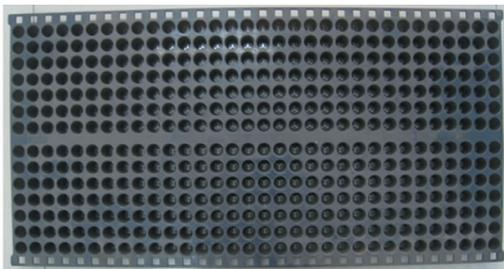


图 1 日本塑料钵盘

Fig. 1 Rice seedling-growing bowl tray made in Japan

改进前的水稻植质钵盘横向(相对于插秧机秧箱,下同)14孔,长度280cm;纵向29孔,长度600mm。

2.2 应用中存在的问题

由于改进前的水稻植质钵盘结构参数是完全参照日本钵盘结构参数制备而成,两者制备材料(稻草和塑料)强度差异很大。在实际应用过程中水稻

植质钵盘在育秧大棚湿热环境作用下(40~45d)强度降低,起盘时易断裂(图3)。

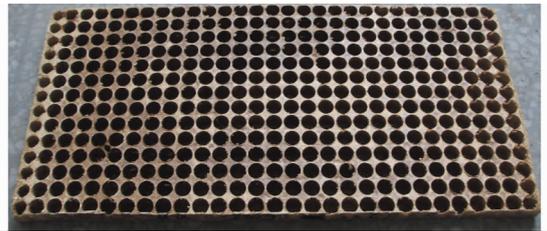


图 2 改进前的水稻植质钵盘

Fig. 2 Rice seedling-growing bowl tray made of paddy-straw before improvement



图 3 断裂后的水稻植质钵盘

Fig. 3 Crack riceseedling-growing bowl tray

为减小起盘时秧苗根部对水稻植质钵盘的牵拉作用,增强水稻植质秧盘强度,考虑将改进前的水稻植质钵盘整体结构缩小。

2.3 改进后的总体结构

依照水稻钵育理念,结合水稻农艺要求,改进后的水稻植质钵盘结构如图 4 所示。水稻植质钵盘主要包括钵孔、立边和通气及纵向进给孔等。钵孔是水稻种子生长空间;立边是相邻水稻植质钵钵孔联接部分(相邻钵孔共用 1 个立边),主要用来保持水稻植质钵盘完整;通气及纵向进给孔用来保证水稻植质钵盘底部空气流通及实现纵向有序移栽。

结合水稻农艺要求,水稻植质钵盘主要结构参数如表 1 所示。

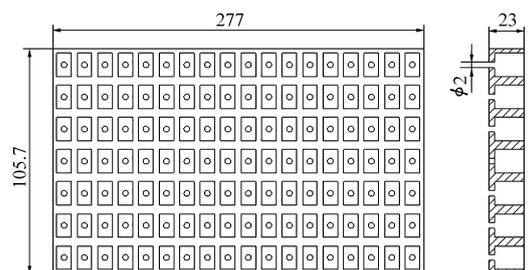


图 4 改进后的水稻植质钵盘结构示意图

Fig. 4 Rice seedling-growing tray made of paddy-straw by structure improvement

表 1 主要结构参数

Tab.1 Main structural parameters

参数	数值
单行钵孔总数/穴	18
钵孔总数/穴	126
单一钵孔播种量/粒	3~4
横向尺寸/mm	277
纵向尺寸/mm	105.7
钵孔深度/mm	20
厚度/mm	23

2.4 工作原理

播种前先将底土(4~5 mm)覆盖在水稻植质钵盘钵孔底面,然后利用精量播种技术及配套装置播种,保证每穴钵孔内播种3~4粒,然后在水稻种子表面覆盖表土。播种完毕后将水稻植质钵盘移送至育秧大棚育秧,利用传统育秧方法40~45 d培育出带蘖状苗。育秧期结束后,经过一定时期炼苗,将植质钵苗移送至插秧机移栽,移栽时钵体随植质钵苗一起移栽大田,水稻植质钵体在土壤生物作用下降解,释放出营养物质,促进水稻生长,从而结束1个水稻植质钵盘生命周期,也完成1次水稻生产过程。

3 主要结构设计依据

结合水稻农艺要求和实地试验,重点探讨改进后的水稻植质钵盘主要结构设计依据。

3.1 横向尺寸

水稻植质钵盘横向尺寸确定主要考虑以下因素:

(1)水稻植质钵盘是由水稻秸秆为主原料加工而成,试验证实育秧期间其横向易受育秧大棚湿热环境影响膨胀。

(2)目前市场上常用插秧机秧箱单一秧苗放置空格横向尺寸为285 mm^[14],即移栽前的水稻植质钵盘横向总尺寸(含膨胀量)不应超过285 mm。

基于以上考虑,水稻植质钵盘横向尺寸最大值计算式为

$$B = \frac{285}{1 - \delta} \quad (1)$$

式中 B ——水稻植质钵盘横向尺寸最大值,mm

δ ——水稻植质钵盘最大膨胀率,%

式中285为常用插秧机秧箱单一秧苗放置空格横向尺寸,mm。

结合常规育秧方法,在育秧大棚内对水稻植质钵盘横向尺寸膨胀规律实地观测,观测结果如表2所示。

表 2 水稻植质钵盘膨胀率观测结果

Tab.2 Observational results on expansion rate of rice seedling-growing bowl tray made of paddy-straw

生长期	育秧大棚	相对	膨胀率/%
	最高温度/℃	湿度/%	
种子根发育期(出苗期)	25	80~92	1.13~1.98
第一完全叶伸长期	28	80~90	1.57~2.01
离乳期	32	75~83	2.15~2.78
第四叶长出期	33	72~80	2.62~2.89

由表2可知,在育秧期间,水稻植质钵盘横向尺寸最大膨胀率为2.89%,因此,水稻植质钵盘横向尺寸最大值 $B=277$ mm。

3.2 单行钵孔总数

由于目前市场上常用插秧机分秧次数多为18次,为提高通用性,确定水稻植质钵盘单行钵孔总数为18穴。

3.3 单穴钵孔

3.3.1 最小横截面积

钵孔应为水稻种子提供最适宜生长空间。大量试验表明,水稻种子最适宜生长空间参数为:播种密度2.64粒/cm²,土壤厚度(含表土和底土)20 mm。因此,最小钵孔横截面面积为

$$S = \frac{S_1}{2.64} \quad (2)$$

式中 S ——钵孔横截面积,cm²

S_1 ——播种量,粒

式中2.64为单位面积最大播种量,粒/cm²。

根据水稻植质钵盘精量播种要求^[15-17],单穴钵孔内播种3~4粒,确定最小钵孔的横截面积 $S=1.14$ cm²和钵孔深度 $h=20$ mm。

3.3.2 钵孔截面

从加工角度考虑,一般选用方形孔和圆孔。

为恰当选择钵孔横截面形状,引入钵孔完整率概念。钵孔完整率是指水稻植质钵盘钵孔在移栽大田后的合格程度。根据植质钵苗移栽要求,移栽时秧针切割后的钵孔需同时满足以下条件方为合格钵孔:实际钵孔深度为理论钵孔深度(20 mm)1/2以上钵孔;钵孔深度(20 mm)1/2以下部位没有任何空隙。

故钵孔完整率为

$$K = \frac{K_1}{K_2} \times 100\% \quad (3)$$

式中 K ——钵孔完整率,%

K_1 ——合格钵孔数,个

K_2 ——试验钵孔总数,个

根据钵育移栽要求,钵孔完整率要达90%以

上,因此,使用水稻植质钵苗新型秧针(图 5)测试 2 种孔型(其中方形孔截面为圆形孔截面内接正四边形)满足钵育移栽要求的机率(移栽时单一水稻植质钵盘钵孔合格率达到 90%(含)以上的概率)。试验结果(样本数取 100 盘)为:方形孔截面为 0.91,圆形孔截面为 0.36。

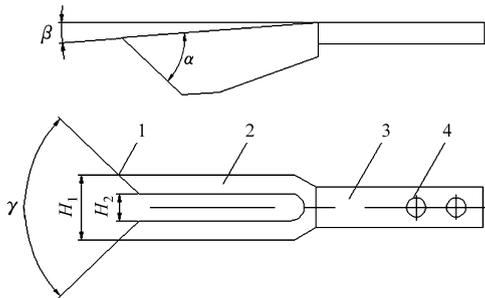


图 5 新型秧针

Fig. 5 Diagram of new seedling needle

1. 切割刃 2. 针体 3. 针柄 4. 安装孔

根据水稻植质钵苗移栽要求,钵孔截面为方形时其合格机率远大于钵孔截面为圆形时合格机率,此主要是由于截面为圆形时其立边厚度沿圆周逐渐减小,当秧针作用于立边时,极易使立边出现空隙(图 6),从而使钵孔完整率机率降低。



图 6 不合格钵孔实物图

Fig. 6 Unqualified bowl

3.4 立边厚度

3.4.1 立边厚度常规计算

立边厚度计算式为

$$b = \frac{B - 18l}{19} \quad (4)$$

式中 b ——立边厚度,mm

l ——钵孔正方形截面边长,mm

式中 18 和 19 分别表示横向单行钵孔总数和立边总数。

试验证实,立边越厚,改进后的水稻植质钵盘强度越大,为提高在移栽前水稻植质钵盘的完整性,在满足水稻农艺要求的前提下,应确保立边厚度最大,取 $B = 277$ mm 和 $l = 10.7$ mm,故 $b = 4.4$ mm。

3.4.2 立边厚度修正

根据植质钵苗移栽要求,需考虑以下问题:

在移栽时,新型秧针作用于纵向相邻 2 行钵孔中间位置,此作用点距离纵向相邻立边内侧面均为 2.2 mm;在移栽时,如果 1 个水稻植质钵盘最后 1 行

立边厚度为 4.4 mm,理论上秧针切割其中间部位,则还剩下 2.2 mm 残余立边,将影响后续作业。

因此,需对水稻植质钵盘纵向第 1 行和最后 1 行外侧立边厚度进行修正,将此种情况下立边厚度修正为 $b = 2.2$ mm,其余部位立边 $b = 4.4$ mm(最后 1 行钵孔移栽由纵向进给机构来实现),可有效解决上述问题。

3.5 纵向尺寸

实践证实,水稻植质钵盘不能过度卷曲,几何形心挠度不应超过许用挠度(图 7),即

$$y_c \leq [y_c] \quad (5)$$

式中 y_c ——几何形心 C 挠度,mm

$[y_c]$ ——几何形心 C 许用挠度,mm

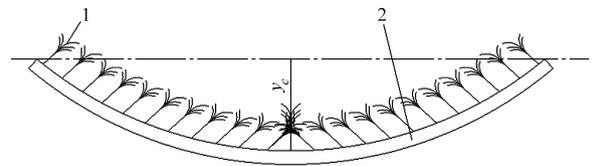


图 7 水稻植质钵盘弯曲变形示意图

Fig. 7 Flexibility of rice seedling-growing

bowl tray made of paddy-straw

1. 植质钵苗 2. 水稻植质钵盘

移栽时,在搬运水稻植质钵盘时可将水稻植质钵盘视作受均布载荷作用横梁,其几何形心 C 挠度计算式为

$$y_c = \frac{5qL^4}{384EI} \quad (6)$$

式中 q ——均布载荷,kN/m

L ——水稻植质钵盘纵向尺寸,m

E ——弹性模量,GPa

I ——惯性矩,mm

经试验得到许用挠度 $[y_c] = 4.2$ mm,因此只需计算出均布载荷 q 、弹性模量 E 和惯性矩 I 即可得水稻植质钵盘纵向尺寸最大值。

3.5.1 弹性模量

水稻植质钵盘弹性模量使用试件在试验机上测试得出。将试件做成标准试块(3 穴 \times 5 穴),由于与金属材料相比试块强度较小,所以本试验采用压缩方式测定弹性模量,如图 8 所示。在试验机上施加载荷,使试块在缓慢载荷作用下产生弹性变形,载荷去除后恢复原形。

弹性模量计算式为

$$\begin{cases} E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \\ \sigma = \frac{F}{A} \\ \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \end{cases} \quad (7)$$

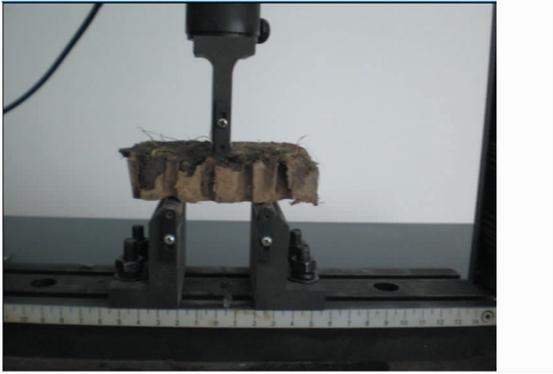


图8 弹性模量测量

Fig. 8 Measure of elasticity modulus

式中 σ ——应力, GPa ε ——应变
 A ——水稻植质钵盘横向横截面面积(去除钵孔面积), m^2
 F ——作用力, kN ΔL ——变形量, m
 经计算: $E = 5.49 \text{ GPa}$ 。

3.5.2 几何形心

计算水稻植质钵盘惯性矩, 应先确定其几何形心及其与弯曲底面距离。建立几何形心坐标轴线 X_1 和弯曲面坐标轴线 X_2 , 如图9所示。假设 C 点为横向截面几何形心, y_1 和 y_2 分别表示水稻植质钵盘弯曲底面和上表面与几何形心坐标轴距离。由于水

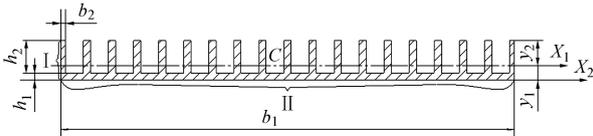


图9 横向截面坐标系

Fig. 9 Coordinate system of width cross section

稻植质钵盘横向截面特殊结构, 将其分为 I (立边截面) 和 II (底部截面) 2 部分。水稻植质钵盘几何形心 C 与弯曲面坐标 X_2 距离 y_1 为

$$y_1 = \frac{\sum Ay}{\sum A} = \frac{A_I y_I + A_{II} y_{II} N}{A_I + NA_{II}} \quad (8)$$

其中 $A_I = h_1 b_1$ $y_I = \frac{h_1}{2}$ $A_{II} = h_2 b_2$ $y_{II} = h_1 + \frac{h_2}{2}$

式中 A_I ——I 部分面积, mm^2
 y_I ——I 部分几何形心与弯曲坐标 X_2 距离, mm
 A_{II} ——II 部分面积, mm^2
 y_{II} ——II 部分几何形心与弯曲坐标 X_2 距离, mm

$N = 19$ 。经计算得: $y_1 = 9.18 \text{ mm}$ 。

3.5.3 惯性矩

惯性矩计算式为

$$I = \frac{b_1 h_1^3}{12} + A_I \left(y_1 - \frac{h_1}{2} \right)^2 + \left[\frac{b_2 h_2^3}{12} + A_{II} \left(y_2 - \frac{h_2}{2} \right)^2 \right] N \quad (9)$$

式中 b_1 ——截面横向尺寸, 取 $b_1 = 277 \text{ mm}$
 h_1 ——水稻植质钵盘底面厚度(不包括钵孔), 取 $h_1 = 3 \text{ mm}$
 b_2 ——立边厚度, 取 $b_2 = 4.4 \text{ mm}$
 h_2 ——钵孔深度, 取 $h_2 = 20 \text{ mm}$
 $y_1 + y_2$ ——水稻植质钵盘厚度, $y_1 + y_2$ 取 23 mm

经计算得: $I = 1.25 \times 10^5 \text{ mm}^4$ 。

3.5.4 纵向尺寸最大值

确定均布载荷 q , 视水稻植质钵盘本身质量均匀分布其底面。移栽前单一水稻植质钵盘质量组成为: 土壤 4 g, 种子 1.3 g, 水 10 g, 单一水稻植质钵盘 1 100 g。

故

$$q = \frac{[1.1 \times 9.8 + (4 + 1.3 + 10) \times 18 \times n \times 9.8] \times \frac{1}{1000}}{L} = \frac{10.89 + 2698.85n}{1000L} \quad (10)$$

其中

$$n = \frac{L \times 10^{-3}}{15.1}$$

式中 n ——单一水稻植质钵盘总行数, 行

综合式(5)和式(6)得: $L \leq 0.1057 \text{ m}$, 从应用经济性考虑, 取 $L = 105.7 \text{ mm}$ 。

3.6 通气及纵向进给孔

3.6.1 通气孔

为保证秧苗根部空气流通, 需要在水稻植质钵盘底部留有通气孔。通气孔孔径一方面影响着空气流量; 一方面由于秧苗根具有喜阴特性, 根部向下生长, 易通过通气孔扎入苗床, 在植质钵苗起盘时对根部损伤较大, 因此应选用合适通气孔孔径。

通过大量试验表明, 在通气孔孔径 $\Phi \leq 2 \text{ mm}$ 时均能保证充足空气流通, 也能使秧苗根部损伤最小, 因此在钵孔底部设计 $\Phi = 2 \text{ mm}$ 通气孔。

3.6.2 纵向进给孔

为保证纵向进给准确, 纵向进给量应保证在 15.1 mm , 由于纵向相邻通气孔间距是 15.1 mm , 再加上通过试验表明水稻植质钵盘在育秧期间纵向膨胀极小(最大 0.11%), 因此选用水稻植质钵盘横向边缘两侧通气孔作为纵向进给孔。通过田间试验, 纵向进给误差控制在 $\pm 0.5 \text{ mm}$, 能够满足植质钵苗移栽要求。

4 结构强度分析

实践证实, 改进前的水稻植质钵盘断裂多发生在起盘阶段, 此时其受力分析如图10所示。起盘时水稻植质秧盘一端(一般为水稻植质钵盘纵向)在

F_B 作用下缓慢抬起, 此时需要克服水稻植质钵盘重力、植质钵苗重力及育秧土重力(总称 P) 和秧根牵拉力 F_L 作用, 直到最后一列秧根(须根) 扯断后即可完成起盘作业。

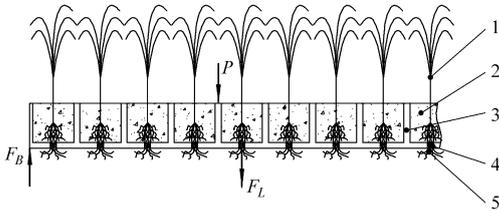


图 10 起盘受力分析示意图

Fig. 10 Force analysis of tilting rice seedling-growing bowl tray made of paddy-straw

1. 植质钵苗 2. 育秧土 3. 水稻植质钵盘 4. 通气孔 5. 须根

为便于对水稻植质钵盘进行结构强度分析, 需要对水稻植质钵盘起盘过程进行简化和假定:

(1) 假定水稻植质钵盘重力、植质钵苗重力及育秧土重力(总称 P) 为作用于水稻植质钵盘的均匀载荷。

(2) 假定同一水稻植质钵盘内的植质钵苗所有秧根所受牵拉力 F_L 相同, 并看作均匀载荷。

因此可将水稻植质钵盘起盘受力看作简单超静定梁^[18], 受力如图 11 所示。其弯矩图如图 12 所示。

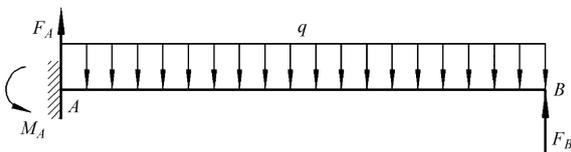


图 11 起盘过程简化受力图

Fig. 11 Simplify of the process of tilting rice seedling-growing bowl tray made of paddy-straw

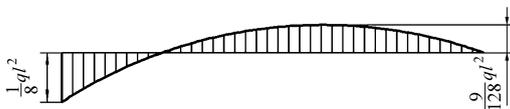


图 12 弯矩图

Fig. 12 Diagram of bending moment

对于改进后的水稻植质钵盘有

$$\sigma_{\max 18} = \frac{M_{\max 18} y_2}{I} \quad (11)$$

式中 $\sigma_{\max 18}$ ——改进后水稻植质钵盘最大正应力, MPa

$M_{\max 18}$ ——最大扭矩, $N \cdot m$

y_2 、 I 分别为几何形心与水稻植质钵盘表面距离(见图 9)和惯性矩, 由 3.5.3 节可知, $y_2 = 13.82 \text{ mm}$, $I = 1.25 \times 10^5 \text{ mm}^4$ 。可得 $\sigma_{\max 18} = 1.06 \text{ MPa} < [\sigma] = 1.13 \text{ MPa}$, 因此, 改进后的水稻植质钵盘强度能够满

足起盘要求。

同理改进前的水稻植质钵盘(改进前后水稻植质钵盘的力学参数如表 3 所示): $\sigma_{\max 14} = 1.22 \text{ MPa}$ 。

表 3 水稻植质钵盘力学参数

Tab. 3 Force parameters of rice seedling-growing bowl tray made of paddy-straw

参数	改进前	改进后
y_1/mm	6.11	9.18
y_2/mm	16.89	13.82
单一钵孔土苗总质量/g	17	15
单一钵孔秧根牵拉力/N	0.43	0.43
惯性矩/ mm^4	2.92×10^5	1.25×10^5
弹性模量/GPa	5.49	5.49

由于 $\sigma_{\max 18} < \sigma_{\max 14}$, 说明改进后的水稻植质钵盘强度得到改善, 经计算 σ_{\max} 提高 15.09%。

5 对水稻生产的影响分析

在水稻植质钵盘结构改进设计和强度分析的基础上, 通过冷压成型技术及配套装置使其成型, 以改进后的水稻植质钵盘为育秧载体, 结合精量播种技术和有序移栽技术, 形成水稻植质钵育苗机械化栽培技术(CK)。2009—2013 年在黑龙江省农垦总局云山农场进行田间应用, 采用相同的管理措施, 通过与改进前的水稻植质钵盘(CK1)、日本塑料钵盘(CK2)和国内水稻平育秧盘(CK3)比较, 考察改进后的水稻植质钵盘对水稻生产的影响(水稻品种均为垦鉴稻 10)。

5.1 缓苗期

缓苗期是指农作物等植物移栽后出现的一段适应环境的扎根活棵延缓生长的时间。一般要求尽量缩短缓苗期, 缓苗期与植物类型和环境等因素紧密相关。

对于 CK3, 其依靠秧根与育秧土相互盘结成为一体, 相邻秧苗根部盘结, 机插时一方面秧针撕裂育秧土, 对秧苗根部损伤严重, 一方面秧苗从育秧大棚到大田, 虽经炼苗处理, 但其大田生长环境仍与育秧大棚环境不同, 秧苗需要经过一定时间适应新环境才能继续生长。

对于 CK2, 相邻秧苗根部不盘结, 移栽时对秧苗根部损伤极小, 但其塑料钵盘不能与秧苗一起移栽大田, 其生长环境改变, 也需要一定缓苗期。

对于 CK1 和 CK, 植质钵苗移栽方式如图 13 所示, 在移栽时, 钵体随植质钵苗一起移栽大田。经过炼苗处理, 钵孔内生长环境与大田环境相似, 植质钵苗移栽大田后不需缓苗。经 2009—2013 年田间观测(表 4), 上述结论得到验证。

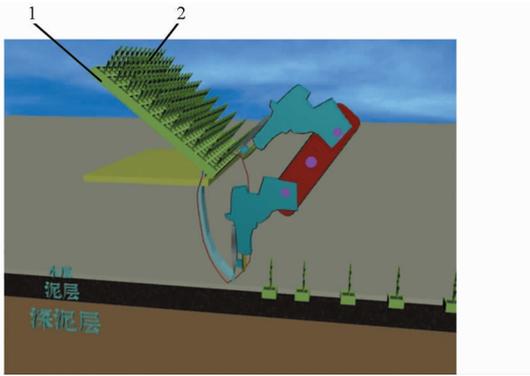


图 13 移栽作业

Fig. 13 Transplanting work

1. 植质钵盘 2. 植质钵苗

5.2 秧苗素质

从表 5 中可以看出,CK 和 CK1 秧苗素质整体差异较小,但均优于 CK2 和 CK3。CK 株高较 CK2 株高大 1.08 cm、较 CK3 株高大 1.35 cm;CK 叶龄较

表 5 秧苗素质试验结果

Tab.5 The questionnaire of rice-seedling qualities

技术类型	生育期					收获期					
	株高 /cm	叶龄 /叶	平均分蘖 数/个	平均根 数/个	平均 根长/cm	茎基 宽/cm	充实度 /(g·cm ⁻¹)	鲜质量/g		干质量/g	
								地上	地下	地上	地下
CK	15.2	4.3	0.37	19.2	4.6	3.52	0.36	19.78	14.12	5.51	3.14
CK1	15.1	4.5	0.36	19.5	4.8	3.48	0.36	19.88	14.08	5.60	3.17
CK2	14.12	4.1	0	18.2	4.12	3.32	0.29	18.65	13.21	4.12	3.01
CK3	13.85	3.9	0	9.2	3.98	2.35	0.27	15.76	9.78	3.79	2.45

在育秧期间虽然 CK1 较 CK 株距增大,空气流动性增强,但两者秧苗素质整体差异较小,这主要是由于 CK1 和 CK 制作材料中均含有适于水稻秧苗生长的缓释剂,缓释剂含量差异(0.2 g/盘)能够弥补株距差异造成的对秧苗素质的影响,这也是 CK1 和 CK 秧苗素质优于 CK2 和 CK3 秧苗素质的主要原因之一。

5.3 生产投入

生产投入主要包括育秧载体、播种机、栽植机、种子、人工以及机具折旧等投入。由表 6 可知,与 CK1 比较,CK 投入小于 CK1 投入,这主要是由于 CK 一方面便于运输,人工投入相对减少,一方面 CK 在移栽时不需要改动插秧机分插机构,因此相对 CK1 能够节省生产投入;与 CK2 比较,CK2 投入明显高于 CK 投入,一方面 CK2 目前市场价格为 17 元/个(600 个/hm²),在正常情况下使用 3 年左右,CK 市场价格为 0.11 元/个(2 400 个/hm²),一次性使用,另一方面 CK2 需要专属移栽机,其投入高于常用插秧机(含改进)投入;与 CK3 比较,CK 投入提高,这主要是由于 CK3 所用的平育秧盘市场价格为 0.09 元/个(600 个/hm²),可以多年使用,另一

表 4 缓苗期试验结果

Tab.4 The questionnaire of slow growth days d

技术类型	年份				
	2009	2010	2011	2012	2013
CK	0	0	0	0	0
CK1	0	0	0	0	0
CK2	5~7	5~7	6~8	5~7	5~7
CK3	7~9	8~10	7~9	9~10	7~9

CK2 叶龄平均增加 0.2 叶,较 CK3 叶龄增加 0.4 叶;CK 最佳性状是平均每株带有 0.37 个分蘖,根长较 CK2 根长大 0.48 cm,较 CK3 根长大 0.62 cm;CK 茎基宽较 CK2 茎基宽增加 0.2 cm,较 CK3 茎基宽增加 1.17 cm;CK 充实度较 CK2 充实度增加 0.07 g/cm,较 CK3 充实度增加 0.09 g/cm;CK 地上地下鲜质量较 CK2 地上地下鲜质量分别大 1.13 g 和 0.91 g,较 CK3 地上地下鲜质量分别大 4.02 g 和 4.34 g。

方面 CK3 人工或者半自动方式进行播种作业,CK 采用精量播种方式,需要专门的精量播种装置进行播种作业,投入有所增加;但由于 CK 采用精量播种,其播种量少,种子节约 120 元/hm²,另外稻草回收制作水稻植质钵盘收入可达 750 元/hm²,从而使 CK 投入减少。不同类型栽培方式其投入逐年增加,此与物价及人工费攀升紧密有关。

表 6 水稻生产投入

Tab.6 Input of rice production 元/hm²

技术类型	年份				
	2009	2010	2011	2012	2013
CK	6 286.8	6 356.7	6 446.9	6 578.6	6 645.2
CK1	6 676.3	6 766.8	6 778.3	6 832.4	6 888.9
CK2	8 728.1	8 906.2	9 060.2	9 245.1	9 405.3
CK3	5 884.8	5 944.3	6 159.9	6 285.6	6 480.3

5.4 土壤有机质质量比

由于土壤有机质形成较慢,因此选同一块田地 5 年作业前后比较有机质含量变化。由表 7 可知,CK 与 CK1 在 0~10 cm、10~20 cm 及 20~30 cm 土层有机质含量变化不大,这主要是由于两者秸秆还

表 7 土壤有机质质量比

Tab. 7 Organic matter in soil profile g/kg

土层深度/cm	5 年前	5 年后			
		CK	CK1	CK2	CK3
0 ~ 10	27.76	31.23	31.20	29.17	28.37
10 ~ 20	26.98	29.70	29.70	28.91	28.74
20 ~ 30	26.33	27.33	27.30	27.20	27.30

田量以及栽培模式相同;0 ~ 10 cm 土壤有机质含量 CK 较 CK2 提高 7.06%, 较 CK3 提高 10.08%; 10 ~ 20 cm 土壤有机质含量 CK 较 CK2 提高 2.53%, 较 CK3 提高 3.34%; 20 ~ 30 cm 土壤有机质含量 CK 较 CK2 提高 0.48%, 较 CK3 提高 0.11%。主要是由于 CK 钵体随秧苗一起移栽大田, 实现秸秆间接还

田, 在土壤微生物和环境作用下, 释放有机物质, 能够提高有机质含量。

5.5 土壤容重

为明确对土壤容重的影响, 每年秋季(11 月份)水稻收获后采集 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 土层进行容重比较, 5 年连续观察结果(如表 8 所示)表明, 在同土层, CK 与 CK1 作业后土壤容重基本保持一致, 这主要是由于 CK 与 CK1 栽培模式相同, 秸秆还田量差异很小, 因此对土壤容重影响效果相同; 与 CK2 及 CK3 相比, CK 使土壤容重减小, 这主要是由于 CK 实现带钵移栽和秸秆还田, 能够有效改善土壤团粒结构, 增强土壤透气性, 从而使土壤容重减小。

表 8 土壤容重

Tab. 8 Soil bulk densities

g/cm³

年份	0 ~ 10 cm				10 ~ 20 cm				20 ~ 30 cm			
	CK	CK1	CK2	CK3	CK	CK1	CK2	CK3	CK	CK1	CK2	CK3
2009	0.94	0.93	1.09	1.05	1.07	1.07	1.12	1.16	1.13	1.13	1.20	1.21
2010	0.96	0.96	1.09	1.07	1.05	1.05	1.15	1.17	1.13	1.13	1.21	1.21
2011	1.01	1.00	1.07	1.04	1.03	1.02	1.14	1.15	1.12	1.11	1.20	1.20
2012	0.97	0.97	1.08	1.06	1.06	1.06	1.11	1.16	1.11	1.11	1.20	1.22
2013	0.94	0.95	1.08	1.04	1.04	1.05	1.09	1.16	1.14	1.13	1.19	1.20

5.6 产量

由表 9 可知, CK 产量与 CK1 产量持平, 这主要是由于两者栽培模式相同, 其他条件也相同, 因此产量上差异不大; 2013 年, CK 产量较 CK2 产量提高为 10.59%, 较 CK3 产量提高为 13.54%, 这主要是由于一方面由于 CK 带钵移栽, 苗壮密植有利于提高水稻产量; 另一方面 CK 有利于提高地温和增强土壤空气流动, 促进根系生长, 实现水稻增产^[19-21]。

表 9 产量

Tab. 9 Yield

kg/hm²

技术类型	年份				
	2009	2010	2011	2012	2013
CK	8 157.16	8 323.63	8 950.14	9 323.06	10 245.12
CK1	8 152.22	8 333.57	8 959.17	9 327.54	10 237.76
CK2	8 026.43	8 190.23	8 443.54	8 615.86	9 264.36
CK3	7 702.66	8 023.59	8 445.89	8 680.26	9 023.14

6 结论

(1) 改进后的水稻植质钵盘正应力较改进前水稻植质钵盘提高 15.09%。

(2) 以改进前后的水稻植质钵盘为育秧载体, 水稻秧苗移栽大田后均无需缓苗期, 但以日本塑料

钵盘和平育秧盘为育秧载体, 水稻秧苗移栽大田后均需一定缓苗期。

(3) 改进前后的水稻植质钵苗素质无显著差异, 但均优于日本塑料钵盘和平育秧盘所培育出的秧苗素质。

(4) 以改进后的水稻植质钵盘为育秧载体, 其生产投入小于改进前的水稻植质钵盘和以日本塑料钵育秧盘为育秧载体的生产投入, 但高于平育秧盘为育秧载体的生产投入。

(5) 以改进前后的水稻植质钵盘为育秧载体其土壤有机质质量比相同; 在 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 土层, 以改进后的水稻植质钵盘为育秧载体的土壤有机质质量比较以日本塑料钵盘和平育秧盘为育秧载体的土壤有机质含量分别提高 7.06%、10.08%、2.53%、3.34%、0.48%、0.11%。

(6) 以改进前后的水稻植质钵盘为育秧载体, 其对土壤容重影响程度相同; 与日本塑料钵盘和平育秧盘比较, 在相同土层, 改进前后的水稻植质钵盘均能促使土壤容重减小。

(7) 以改进前后的水稻植质钵盘为育秧载体的产量持平, 与日本塑料钵盘和平育秧盘比较, 产量分别提高 10.59% 和 13.54%。

参 考 文 献

- 1 陈建能,黄前泽,王英,等. 钵苗移栽机非圆齿轮行星轮系栽植机构参数分析与反求[J]. 农业工程学报,2013,29(8):18-26.
Chen Jianneng, Huang Qianze, Wang Ying, et al. Parametric analysis and inversion of transplanting mechanism with planetary non-circular gears for potted-seedling transplanter [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(8): 18-26. (in Chinese)
- 2 王智才. 建设现代农业,加快推进农业机械化[J]. 农业机械学报,2004,35(3):154-157.
Wang Zhicai. Construction of a modern agriculture and boosting of farm mechanization [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(3):154-157. (in Chinese)
- 3 邓华,敖宁建,孙蓉,等. 利用秸秆纤维制备环境材料的研究进展[J]. 高分子材料与工程,2009,25(12):169-172.
Deng Hua, Ao Ningjian, Sun Rong, et al. Preparation of environment material made from straw fiber [J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2009, 25(12): 169-172. (in Chinese)
- 4 Pan Mingzhu, Zhou Dingguo, Zhou Xiaoyan, et al. Improvement of straw surface characteristic via thermo mechanical and chemical treatments [J]. Bioresource Technology, 2010,101(21): 7930-7934.
- 5 漆楚生,郭康权,顾蓉,等. 棉秆束/高密度聚乙烯定向复合板制备[J]. 农业工程学报,2010,26(12):265-270.
- 6 汪春,张锡志,丁元贺,等. 基于稻草制造钵育秧盘水稻栽植机的研究[J]. 农业工程学报,2005,21(8):66-69.
Wang Chun, Zhang Xizhi, Ding Yuanhe, et al. Research of rice transplanting machine using seedling-growing tray made of straw [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 66-69. (in Chinese)
- 7 马瑞峻,区颖刚,赵祚喜,等. 水稻钵苗机械手取秧有序移栽机的改进[J]. 农业工程学报,2003,19(1):113-116.
Ma Ruijun, Ou Yinggang, Zhao Zuoxi, et al. Development of the order throwing machine for rice seedlings sprouted in the cell-tray [J]. Transactions of the CSAE, 2003,19(1):113-116. (in Chinese)
- 8 俞高红,孙良,赵匀. 混合齿轮行星系分插机构的人机交互参数优化[J]. 农业机械学报,2008,39(2):47-50.
Yu Gaohong, Sun Liang, Zhao Yun. Parameters optimization based on human computer conversation of transplanting mechanism with planetary spur gears and elliptical gears [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(2):47-50. (in Chinese)
- 9 俞高红,赵凤芹,武传宇,等. 正齿行星轮分插机构的运动特性分析[J]. 农业机械学报,2004,35(6):55-57.
Yu Gaohong, Zhao Fengqin, Wu Chuanyu, et al. Analysis of kinematic property of separating-planting mechanism with planetary gears [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(6): 55-57. (in Chinese)
- 10 汪春,衣淑娟,郑桂萍,等. 水稻植质钵盘及其制备方法:中国专利:ZL200810137207[P],2011-12-21.
- 11 张欣悦,汪春,李连豪,等. 水稻植质钵盘制备工艺及参数优化[J]. 农业工程学报,2013,29(5):153-162.
Zhang Xinyue, Wang Chun, Li Lianhao, et al. Preparation technology and parameters optimization for seedling-growing bowl tray made of paddy straw [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(5): 153-162. (in Chinese)
- 12 张欣悦,李连豪,汪春,等. 2BS-420型水稻植质钵盘精量播种机[J]. 农业机械学报,2013,44(6):56-63.
Zhang Xinyue, Li Lianhao, Wang Chun, et al. Type 2BS-420 precision seeder for rice seeding-growing trary made of paddy-straw [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(6):56-63. (in Chinese)
- 13 陈恒高,汪春,张伟,等. 水稻植质钵育乳苗栽植机的研制[J]. 农业工程学报,2009,25(3):88-92.
Chen Henggao, Wang Chun, Zhang Wei, et al. Rice transplanting machine for young seedling of bowl-seedling tray made of plant [J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(3):88-92. (in Chinese)
- 14 赵匀,赵雄,张玮炜,等. 水稻插秧机现代设计理论与方法[J]. 农业机械学报,2011,42(3):65-68.
Zhao Yun, Zhao Xiong, Zhang Weiwei, et al. Modern design theory and method of rice transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(3):65-68. (in Chinese)
- 15 董春旺,毛树春,胡斌,等. 盘吸式穴盘播种机抛振系统运动分析与优化[J]. 农业工程学报,2010,26(6):124-128.
Dong Chunwang, Mao Shuchun, Hu Bin, et al. Motion analysis and optimization on ejection mechanism of air-suction tray seeder [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 124-128. (in Chinese)
- 16 韩豹,吴文福,王宏业. 水稻机摆钵育苗气吸滚筒式自动清堵排种器[J]. 农业工程学报,2009,25(9):96-99.
Han Bao, Wu Wenfu, Wang Hongye. Suction drum-type seed metering device with auto-cleaning block of transplanter for tray grown rice seedling [J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(9):96-99. (in Chinese)
- 17 刘彩玲,宋建农,张广智,等. 气吸式水稻钵盘精量播种装置的设计与试验研究[J]. 农业机械学报,2005,36(2):43-46.
Liu Cailing, Song Jiannong, Zhang Guangzhi, et al. Design and experimental study on ice precision suction seeder for pet seedling nursery box [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(2):43-46. (in Chinese)
- 18 孙训方,方孝淑,关来泰. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,2005:191-192.
- 19 杨春,桂凤仁,洪静,等. 水稻不同播量对秧苗素质及产量的影响[J]. 垦殖与稻作,2005,13(4):20-22.
Yang Chun, Gui Fengren, Hong Jing, et al. The different seeding quantity had the effect on seedling diathesis and yield [J]. Reclaim and Rice Cultivation, 2005, 13(4): 20-22. (in Chinese)
- 20 张文香,王成瓊,赵磊,等. 育苗方式对水稻产量及品质的影响[J]. 现代农业科技,2009(24):11-13.
Zhang Wenxiang, Wang Cheng'ai, Zhao Lei, et al. Effect of seedling-raising method on yield and quality of rice [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2009(24): 11-13. (in Chinese)
- 21 张国良,周青,韩国路,等. 三种育秧方式对水稻机插秧苗素质的影响[J]. 江苏农业科学,2005(1):19-20.

High Strength Structural Design and Influence Test for Rice Seedling-growing Bowl Tray Made of Paddy-straw

Li Lianhao^{1,2} Zhang Wei¹ Wang Chun¹ Zhang Xinyue¹

(1. College of Engineering, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China

2. College of Water and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to solve the problems of rice seedling-growing bowl tray made of paddy-straw in the process of application, the improved structural design was made for the early rice seedling-growing bowl tray made of paddy-straw. The paper explored its structural design principle and design process. Compared with the early rice seedling-growing bowl tray made of paddy-straw (CK1), rice bowl carrier of Japanese (CK2) and actual rice production of China (CK3), the paper discussed influence on rice production by field test with rice seedling-growing bowl tray made of paddy-straw after improvement (CK). The results with CK, CK1, CK2 and CK3 as rice seedling carrier respectively showed that: the max normal stress of CK was higher than that of CK1. The seedling with CK and CK1 need not slow growth days, but the seedling with CK2 and CK3 slow growth days when they were transplanted in rice field. Rice-seedling qualities was not significantly different between CK and CK1, but which were better than CK2 and CK3. Cost of production of CK was smaller than that of CK1 and CK2, but higher than that of CK3. Influence of CK and CK1 on organic matter in soil profile was the same. At the soil level of 0 ~ 10 cm, 10 ~ 20 cm and 20 ~ 30 cm, the organic matter in soil profile of CK were 7.06%, 10.08%, 2.53%, 3.34%, 0.48% and 0.11% higher than that of CK2 and CK3 respectively. Influence of CK and CK1 on dynamics of soil bulk densities was the same. Compared with CK2 and CK3, the CK could enable to reduce dynamics of soil bulk densities. The rice yield of CK was the same to that of CK1. Compared with CK2 and CK3, rice yield of CK was higher than by 10.59% and 13.54% respectively, which benefits to develop others bowl cultivation technology in China.

Key words: Rice Seedling-growing bowl tray made of paddy-straw High strength structural design Influence test

沉痛悼念曹崇文教授

我国农业工程学家、教育家、谷物干燥学著名专家、中国农业大学曹崇文教授因病于 2014 年 10 月 10 日 9 时 50 分在北京逝世,享年 87 岁。

曹崇文教授,男,1928 年 8 月生,河北省束鹿人。1950 年毕业于清华大学机械系;1950 年~1952 年在北京农业大学任教;1952 年起在北京农业机械化学院农机教研室任教,其间 1954 年~1958 年在苏联哈尔科夫工学院攻读研究生并获技术科学副博士学位,1982 年~1983 年在美国依阿华大学从事国际合作研究,并先后考察访问日本、英国、波兰等国;1998 年在中国农业大学退休。曾任中国农业大学学位委员会副主任、农产品加工工程博士学科点带头人,中国农业机械学会收获加工机械学会副主任委员、《农业机械学报》编委等学术职务。

曹崇文教授一生从事教学科研工作,是中国谷物干燥模拟技术研究的开拓者。开发了一系列的谷物干燥模拟软件,研制并开发了多种形式的粮食干燥设备,在国际谷物干燥领域具有一定影响。他学风严谨,淡泊名利,勤恳耕耘,硕果累累,培养了 40 多名研究生,深受师生拥戴。1962 年至 1966 年当选为北京市人民代表,1990 年获全国农业劳动模范称号,1998 年荣获中国农业机械学会农业机械发展贡献奖,科研成果荣获农业部科技进步二等奖和国家科技进步三等奖,享受政府特殊津贴。他为我国农机教育和科研事业,特别是在培养人才和推动中国干燥技术的发展等方面作出了重要贡献。

让我们共同缅怀曹崇文教授,学习他的高尚品质和科学精神,为我国农机教育事业和科研事业的发展贡献力量!