

水稻植质钵育秧盘制备工艺及参数优化

张欣悦¹, 汪春^{1*}, 李连豪^{1,2}, 张伟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:为实现适合中国国情的钵育栽植技术, 该文以水稻秸秆为主要原料, 配以热固性胶粘剂、固化剂和增强剂经热压制备水稻植质钵育秧盘, 采用正交试验设计分析成型配比(施胶量、固化剂量、增强剂量和混料量)和制备工艺(成型压力、模具温度和保压时间)对植质钵育秧盘性能影响。通过对试验结果分析得出制备植质钵育秧盘工艺优化参数为: 施胶量 0.9 kg、固化剂量 0.002 kg、增强剂量 0.09 kg、混料量 1.3 kg、成型压力 30 MPa、模具温度 120℃、保压时间 300 s, 优化后的工艺参数可满足实验室试验研究要求(钵孔率 99.46%, 膨胀率 1.12%), 为进一步研究和植质钵育秧盘产业化生产提供技术借鉴与参考。

关键词: 秸秆, 工艺, 优化, 钵育秧盘, 配比

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.05.021

中图分类号: S318

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-05-0153-10

张欣悦, 汪春, 李连豪, 等. 水稻植质钵育秧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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(5): 153-162. (in Chinese with English abstract)

0 引言

中国是农业大国, 每年收获后的各种农作物会产生大量的废弃秸秆, 每年达数亿吨^[1-2], 除了一小部分采取保护性耕作方式秸秆还田外, 其余大部分秸秆采用直接或间接地焚烧的处理方式, 直接就地焚烧不仅会带来安全隐患, 还会对周围环境造成极大地破坏, 同时也是对资源的一种浪费^[3]。近年来, 很多国家包括中国在内, 都在致力于研究废弃秸秆的综合利用问题, 很多研究技术成果已经趋于成熟, 例如: 生物质燃料替代传统资源, 能够缓解能源危机; 秸秆板材制备替代纯天然木材^[4], 减少天然木材的损耗等等。就水稻秸秆而言, 如何采取适合本地区生产特点解决此种废弃物再利用问题, 成为亟待解决的研究课题。

收稿日期: 2012-08-23 修订日期: 2013-01-21

基金项目: 国家农业科技成果转化项目(2009GB2B200101); 2011年度高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(新教师类)(20112305120003); 2009年度高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(博导类)(20092305110002); 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)资助课题(LRB11-413); 黑龙江八一农垦大学博士科研启动资金(2011YB-08)。

作者简介: 张欣悦(1981-)女, 黑龙江省大庆市人, 讲师, 工学博士, 主要从事水稻植质钵育机械化栽培技术研究。大庆 黑龙江八一农垦大学工程学院, 163319。Email: zxydeemail@126.com。

*通信作者: 汪春(1963-)男, 黑龙江省延寿县人, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事寒地水稻全程机械化栽培技术研究。大庆 黑龙江八一农垦大学工程学院, 163319。Email: wangchun1963@126.com

黑龙江省水稻生产, 其机械化程度为全国最高, 特别在黑龙江垦区, 近年来水稻种植面积呈增长趋势, 2010年垦区水稻种植面积, 占整个黑龙江省水稻种植面积的1/2, 目前已经基本上实现水稻机械化种植。由于黑龙江省地处高寒带地区, 属于一年一熟稻产区, 育秧期短, 水稻种植技术一直沿用传统育秧移栽模式^[5-6], 上世纪80年代引进日本钵育栽植技术, 其凭借秧苗生长空间相对独立、秧苗素质好、带土移栽、低节位蘖多、成穗率高等优势越来越被稻民所接受。目前适合钵育栽植技术的钵育盘大部分是由聚乙烯或聚氯乙烯制成, 还有一部分是由高成本树脂制成, 但其自身存在的配套性和经济性问题^[7-8], 制约着钵育栽植技术推广和应用。

基于上述问题, 本文主要探讨一种新型水稻植质钵育秧盘制备方法, 探索原材料与其他配料的成型配比和制备工艺对植质钵育秧盘性能影响。制备出的植质钵育秧盘为一次性水稻育秧载体, 其成本为市场上钵育秧盘(1.5~17元/个)的1/10, 配套设备价格为市场上钵育栽植技术配套设备(30~35万元/套)的1/15, 经济性明显。本技术可为植质钵育秧盘产业化生产提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料和设备

1.1.1 原材料

本试验所采用的水稻秸秆来自于大庆周边稻

田, 水稻秸秆要求含水率在 14%~16% (经烘干法测定)。先将水稻秸秆用铡刀切成 100~150 mm 的小段^[9], 再由粉碎机进行粉碎, 粉碎机筛网孔直径为 1.5 mm, 粉碎后的碎料筛选后经 12 h 高温 (高于 120℃) 灭菌处理后直接入袋, 备用。

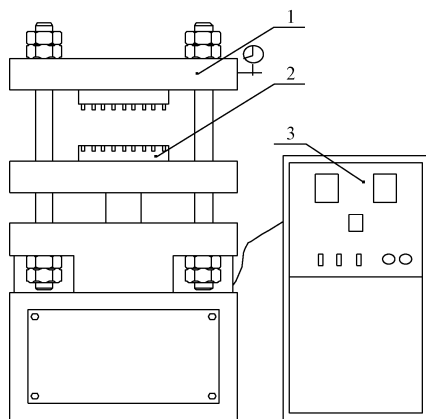
脱模剂为液体石蜡, 由山东玉皇化工有限公司生产。

胶粘剂是自制的缓释型热固性胶粘剂, 主要成分为酰胺基, 质量分数为 21%, 其能够在秧苗生长过程中遇水缓释出适合秧苗所需营养物质 (一般达到 150 d 左右), 能够有效解决由于钵孔中土壤少而造成营养成分减少的问题。自制的热固性胶粘剂在加热、固化剂 (主要成分为 NH_4Cl , 质量分数 21.3%) 和加压等作用下, 能够与稻草粉快速固化。

根据以往试验, 为增强植质钵育秧盘强度 (保证运输完整性) 和保证插秧取秧力最小, 需要在混料中添加增强剂^[10-11] (主要成分为淀粉, 质量分数为 16.7%)。

1.1.2 设备

本试验采用的试验设备为 RY-1000 型植质钵育秧盘成型机, 由浙江省台州市翔阳机械厂生产, 其结构如图 1 所示, 结构参数如表 1 所示。



1. 压力系统 2. 成型模具 3. 控制系统
1. Pressure system 2. Forming mould 3. Control system

图 1 RY-1000 型植质钵育秧盘成型机
Fig.1 RY-1000 type forming machinery of seedling-growing tray made of paddy-straw

表 1 RY-1000 型植质钵育秧盘成型机结构参数
Table 1 Structure parameters of RY-1000 type forming machinery of seedling-growing tray made of paddy-straw

项目	数值
标准压力/kN	1 000
行程/mm	300
加热功率/kW	≥5.6
上下模加热温度/℃	300
滑块回程速度/($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	≥1.68
模具外形尺寸(长×宽×高)/mm×mm×mm	667×450×380
工作效率/(盘·h ⁻¹)	12

1.2 研究方法

1.2.1 制备工艺流程

植质钵育秧盘制备工艺流程如图 2 所示。首先将成型所需各种材料混合搅拌均匀成混料, 在喂料前, 需要对模具表面均匀喷涂 3~5 mL 脱模剂^[12-15], 待混料在模具内平整铺装后闭合模具, 热固性胶粘剂在加热、固化剂和压力作用下固化, 在增强剂作用下使模具内的混料完整成型和增加强度, 达到保压时间后系统自行开模, 植质钵育秧盘脱模冷却后打捆。为了保证后续运输完整性, 打捆时还需要对植质钵育秧盘四角和上下层边缘采取防护措施。

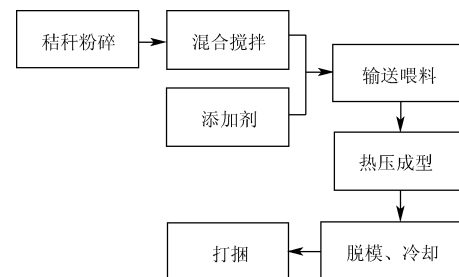


图 2 植质钵育秧盘制备工艺流程

Fig.2 Preparation processing of seedling-growing tray made of paddy-straw

1.2.2 植质钵育秧盘性能影响因素及考核指标

1) 影响因素

根据单因素试验研究结果得出植质钵育秧盘成型配比和制备工艺均影响植质钵育秧盘性能, 影响成型配比的 因素主要有施胶量 (指混料中添加的胶粘剂的质量, kg)、固化剂量 (指混料中添加的固化剂的质量, kg)、增强剂量 (指混料中添加的增强剂的质量, kg) 和混料量 (指稻草、添加的胶粘剂、固化剂和增强剂的质量总和, kg); 影响制备工艺的因素主要有成型压力, MPa、模具温度, ℃和保压时间, s。

2) 考核指标

成型性和抗水性是植质钵育秧盘性能 2 个重要评价指标。成型性是衡量植质钵育秧盘是基于育秧要求的评价指标, 成型性由钵孔率来衡量, 钵孔率越高, 成型性越好。抗水性是衡量水稻植质钵育秧盘是基于插秧要求的评价指标, 抗水性由膨胀率来衡量, 膨胀率越低, 抗水性越好。

钵孔率: 植质钵育秧盘制备过程中, 钵孔成型受各种因素影响, 单个钵孔深度不能完全达到理论设计尺寸 (17.8 mm), 因此, 合格钵孔定义为实际钵孔深度为理论设计钵孔深度 1/2 以上的钵孔, 以此来统计合格钵孔数, 故钵孔率由式 (1) 计算:

$$K = \frac{K_1}{406} \times 100\% \quad (1)$$

式中, K 为钵孔率, %; K_1 为实际钵孔深度为理论钵孔深度 1/2 以上的钵孔数, 个。(注: 406 为单个植质钵育秧盘的钵孔总数, 个。)

膨胀率: 定义为浸水后植质钵育秧盘宽度方向尺寸变化差值与原始宽度尺寸百分比。植质钵育秧盘原始尺寸: 长×宽×高=560 mm×265 mm×22 mm, 将植质钵育秧盘完全浸入水中, 经过 15 d 浸泡, 用直尺测量吸水膨胀后的植质钵育秧盘宽度方向尺寸变化量。膨胀率由式 (2) 计算:

$$P = \frac{P_1 - 265}{265} \times 100\% \quad (2)$$

式中, P 为膨胀率, %; P_1 为植质钵育秧盘完全膨胀后宽度方向尺寸, mm。(注: 265 为植质钵育秧盘宽度, mm。)

3) 试验设计

分别从影响植质钵育秧盘性能的成型配比和制备工艺 2 个方面进行试验。首先研究成型配比和制备工艺中单一因素对植质钵育秧盘性能影响; 然后结合单因素试验结果进行多因素正交试验, 试验采用 $L_9(3^4)$ 正交表^[16], 重复 3 次, 因素及水平如表 2 和表 3 所示。

表 2 成型配比正交试验因素及水平

Table 2 Factors and levels of orthogonal experiments of forming ratio

水 平	试 验 因 素			
	A	B	C	D
	施胶量/kg	固化剂/kg	增强剂/kg	混料量/kg
1	0.8	0.002	0.08	1.1
2	0.9	0.005	0.09	1.2
3	1.0	0.008	0.10	1.3

表 3 制备工艺正交试验因素及水平

Table 3 Factors and levels of orthogonal experiments of preparation process

水 平	试 验 因 素		
	A	B	C
	成型压力/MPa	模具温度/°C	保压时间/s
1	25.0	140	330
2	27.5	130	300
3	30.0	120	270

钵孔率和膨胀率是衡量植质钵育秧盘满足育秧和插秧性能要求的重要指标。根据先育秧后插秧的作业顺序, 按照先满足育秧性能要求后满足插秧性能要求的原则, 因此, 在工艺综合指标分析中, 钵孔率权重占 70%, 膨胀率权重占 30% (权重按照专家评定法确定^[17], 见表 4), 其中, 综合值=(钵孔率/钵孔率组中最大值)×70%+(膨胀率倒数/膨胀率倒数组中最大值)×30%。

表 4 指标权重专家评定结果

Table 4 Experts judgment result of index weight

指 标	专家 A 评定值	专家 B 评定值	专家 C 评定值	平均值
钵孔率	71	69	70	70
膨胀率	20	30	40	30

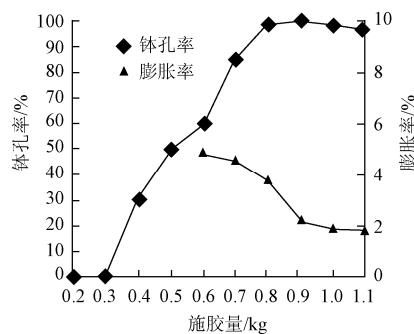
2 结果与分析

2.1 成型对比对植质钵育秧盘性能影响

结合前期试验, 选择初期制备工艺条件: 成型压力 27.5 MPa, 模具温度 130°C, 保压时间 330 s, 分析成型对比对植质钵育秧盘性能影响, 试验结果如图 3 所示。

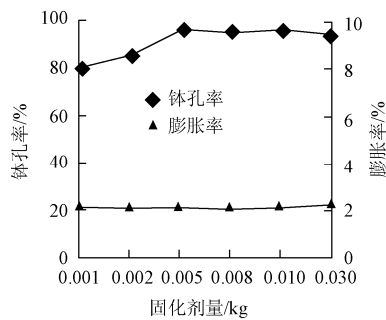
施胶量对钵孔率影响如图 3a 所示, 钵孔率随着施胶量增加而升高。当施胶量小于 0.3 kg 时, 钵孔率为零, 表明施胶量等于 0.3 kg 为植质钵育秧盘成型最小黏结用量。当施胶量大于 0.4 kg 时, 钵孔率随施胶量增加而升高。当施胶量大于 0.9 kg 时, 钵孔率随施胶量增加而降低, 主要是由于施胶量过多后, 易造成“跑胶”现象^[18-19], 过多的胶粘剂在压力作用下渗透到模具缝隙中, 当成型模具自动打开时, 模具缝隙中固化的胶粘剂对已成型的植质钵育秧盘侧边产生撕拉作用, 易造成植质钵育秧盘侧边钵孔的破损, 影响合格钵孔形成。因此, 为保证植质钵育秧盘成型性, 施胶量应控制在一定范围内。据试验观察, 胶粘剂对混料的流动性有很大影响, 胶粘剂较少时流动性较差, 胶粘剂较大时流动性较好。

施胶量对膨胀率影响如图 3a 所示, 当施胶量小于 0.5 kg, 膨胀率为零, 表明此时水稻植质钵育秧盘没有抗水性。这是由于当施胶量小于 0.5 kg 时, 混料在模具腔内流动性不好, 虽然植质钵育秧盘钵孔形成达到一定数目, 但钵孔内部没有充分粘结, 植质钵育秧盘吸水后钵孔全部散落, 起水后植质钵育秧盘不成型。在一定范围内, 膨胀率随施胶量增加而降低。当施胶量大于 1.0 kg 时, 膨胀率基本不变。



注: 固化剂量 0.005 kg, 增强剂 0.09 kg, 混料量 1.2 kg
Note: 0.005kg curing agent, 0.09 kg intensifier, 1.2 kg mixed materials

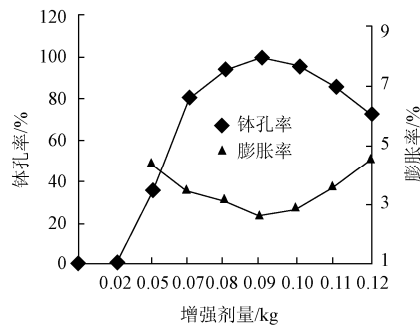
a. 施胶量对植质钵育秧盘性能影响
a. Effects of glue volume on performance of seedling-growing tray made of paddy-straw



注: 施胶量 0.9 kg, 增强剂 0.09 kg, 混料量 1.2 kg
Note: 0.9 kg glue, 0.09 kg intensifier, 1.2 kg mixed materials

b. 固化剂对植质钵育秧盘性能影响

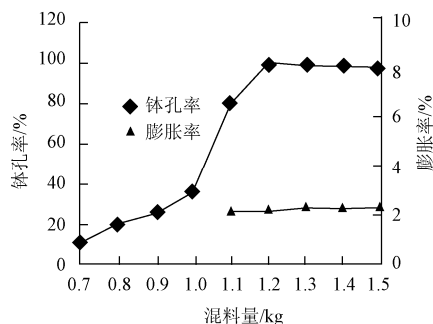
b. Effects of curing agent volume on performance of seedling-growing tray made of paddy-straw



注: 施胶量 0.9 kg, 固化剂 0.005 kg, 混料量 1.2 kg
Note: 0.9 kg glue, 0.005 kg curing agent, 1.2 kg mixed materials

c. 增强剂对植质钵育秧盘性能影响

c. Effects of intensifier volume on performance of seedling-growing tray made of paddy-straw



注: 施胶量 0.9 kg, 增强剂 0.09 kg, 固化剂 0.005 kg
Note: 0.9 kg glue, 0.09 kg intensifier, 0.005 kg curing agent

d. 混料量对植质钵育秧盘性能影响

d. Effects of mixed materials volume on performance of seedling-growing tray made of paddy-straw

图 3 成型配比对植质钵育秧盘性能的影响 (成型压力 27.5 MPa, 模具温度 130℃, 保压时间 330 s)

Fig.3 Effects of molding ratio on performance of seedling-growing tray made of paddy-straw (molding pressure 27.5 MPa, molding temperature 130℃, holding time 330s)

固化剂用于加快胶粘剂固化速度^[20-21]。固化剂对钵孔率影响如图 3b 所示, 当固化剂量等于 0.001 kg 时, 钵孔率最小, 在同等条件下, 固化剂量越少固化越不完全, 影响钵孔的形成, 使钵孔率

降低。当固化剂量大于 0.005 kg 时, 固化剂对钵孔率影响趋于平缓, 钵孔率基本没有变化。

固化剂对膨胀率影响如图 3b 所示, 随着固化剂量增加, 膨胀率没有变化。这是由于植质钵育秧盘抗水性主要与胶粘剂有关, 膨胀率受固化剂量影响很小。

增强剂对钵孔率影响如图 3c 所示, 钵孔率随增强剂增加先升高后降低。当增强剂小于 0.02 kg 时, 植质钵育秧盘不成型, 钵孔率为零。当增强剂在 0.02~0.09 kg 时, 钵孔率随增强剂增加而升高, 这是由于当增强剂与胶粘剂融合时, 能够使胶粘剂黏稠度^[22]升高, 在压力的作用下混料流动性增强, 钵孔率随之升高。当增强剂大于 0.09 kg 时, 钵孔率开始降低, 这是由于增强剂过多使胶粘剂黏稠度升高, 影响混料整体流动性, 使钵孔率降低。由上可知, 增强剂对植质钵育秧盘成型性影响明显^[23]。

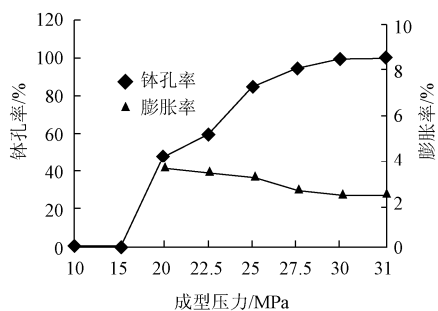
增强剂对膨胀率影响如图 3c 所示, 膨胀率随增强剂增加先降低后升高。这是由于随着增强剂增加, 没有出现“粉料”分离的现象^[24-25], 植质钵育秧盘整体成型完好, 使各个钵孔抗水性均匀一致, 膨胀率逐渐下降。当增强剂大于 0.09 kg 时, 增强剂本身具有亲水性^[26-28], 再加上增强剂添加过量可增加胶粘剂黏稠度, 弱化了混料流动性, 从而影响秧盘成型性, 使膨胀率升高。

混料量对钵孔率影响如图 3d 所示, 当混料量小于 0.7 kg 时, 钵孔率接近于零。随着混料量增加, 混料在模具压力作用下, 挤进钵孔成型销的间隙内, 挤进的混料越多, 成型性越好, 当混料充满间隙, 钵孔成型稳定, 开模后钵孔整体外观固定不变。当混料量大于 1.2 kg 时, 钵孔率降低。当混料量大于 1.5 kg 时, 会使植质钵育秧盘密度过大, 密度过大易使插秧取秧力过大, 也使植质钵育秧盘重量增大。因此, 混料量在保证钵孔充分成型的情况下, 尽量降低混料质量。

混料量对膨胀率影响如图 3d 所示, 混料量 0.7~1.1 kg 时, 植质钵育秧盘基本上没有抗水性, 这是由于混料量不足, 使混料在模具内无法保证基本成型需要, 影响抗水性。当混料量大于 1.1 kg 时, 膨胀率随混料量增加趋于稳定, 这是由于混料量在满足植质钵育秧盘成型需要后, 整体成型均匀稳定, 钵孔抗水性基本一致。

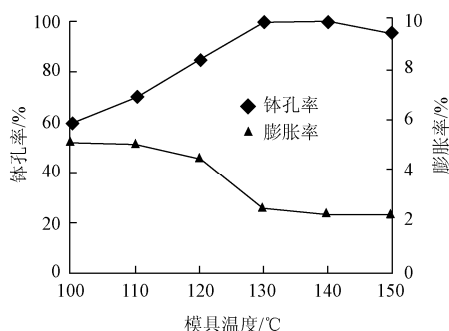
2.2 制备工艺对植质钵育秧盘成型性能影响

结合前期试验, 选择初期成型配比条件: 施胶量 0.9 kg, 固化剂 0.005 kg, 增强剂 0.09 kg, 混料量 1.1 kg, 分析制备工艺对植质钵育秧盘性能影响, 试验结果如图 4 所示。



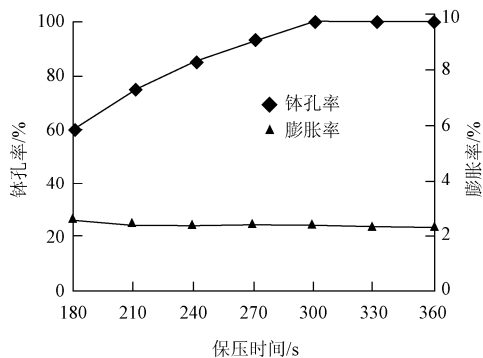
注：模具温度 130℃，保压时间 330s
Note: molding temperature 130 °C, holding time 330 s

a. 成型压力对植质钵育秧盘性能影响
a. Effects of molding pressure on performance of seedling-growing tray made of paddy-straw



注：成型压力 27.5 MPa，保压时间 330s
Note: molding pressure 27.5 MPa, holding time 330 s

b. 模具温度对植质钵育秧盘性能影响
b. Effects of molding temperature on performance of seedling-growing tray made of paddy-straw



注：成型压力 27.5 MPa，模具温度 130℃
Note: molding pressure 27.5 MPa, molding temperature 130℃

c. 保压时间对植质钵育秧盘性能影响
c. Effects of holding time on performance of seedling-growing tray made of paddy-straw

图 4 植质钵育秧盘制备工艺对成型性能的影响(施胶量 0.9 kg, 固化剂 0.005 kg, 增强剂 0.09 kg, 混料量 1.1 kg)
Fig4 Influence of preparation process on performance of seedling-growing tray made of paddy-straw (0.9 kg glue, 0.005 kg curing agent, 0.09 kg intensifier, 1.1kg mixed materials)

成型压力对钵孔率影响如图 4a 所示。当成型压力小于 15 MPa 时，钵孔率为零，这是由于随成型压力升高，混料受挤压程度越大，强化了混料流动性，

使混料充满型腔的概率增加^[29]，有利于植质钵育秧盘成型，从而使钵孔率升高。当成型压力在 30~31 MPa 时，钵孔率保持稳定。从考虑成本和保证成型的情况下，应将成型压力控制在一定范围内。

成型压力对膨胀率影响如图 4a 所示，当成型压力小于 20 MPa 时，使植质钵育秧盘没有充分压实，密度小，植质钵育秧盘易吸水膨胀，使植质钵育秧盘抗水性减弱，从而膨胀率较大。当成型压力大于 20 MPa 时，膨胀率降低，这是由于随成型压力增加，植质钵育秧盘成型稳定，抗水能力逐渐增强直至保持不变^[30]。

模具温度对钵孔率影响如图 4b 所示，当模具温度较低时，钵孔率较低。随着模具温度升高，混料流动性增强，固化速度加快，从而使钵孔率升高。当模具温度 130℃ 时，钵孔率最大。试验表明，模具温度不高时需要适当延长保压时间，当模具温度升高，模具腔内温度过高时会使混料发生炭化现象，易使钵孔率降低。在考虑生产效率和成本的情况下，模具温度不宜过高，保证植质钵育秧盘成型即可。

模具温度对膨胀率影响如图 4b 所示，膨胀率随模具温度升高而降低。在模具温度较低时，混料受热不均匀，固化效果差，从而使植质钵育秧盘成型性差，导致抗水性差，使得膨胀率升高。当模具温度在 120~130℃ 时，可使混料迅速均匀固化，从而使抗水性增强，膨胀率降低。当模具温度大于 130℃ 时，可使植质钵育秧盘出现不同程度的炭化现象，据试验观察，“炭化”现象有助于增强植质钵育秧盘抗水性^[31]，使得膨胀率保持稳定。

保压时间对钵孔率影响如图 4c 所示，随保压时间增长钵孔率升高。当保压时间较短时，混料中胶粘剂固化不完全，使得钵孔率较低。当保压时间 360 s 时，植质钵育秧盘表面个别部分颜色较深，表明植质钵育秧盘在模具内时间过长，出现不同程度炭化现象，但在此保压时间内成型性能没有发生较大变化，钵孔率恒定。为避免出现极度炭化而影响钵孔率，在保证满足成型性要求情况下尽量缩短保压时间。

保压时间对膨胀率影响如图 4c 所示，随保压时间变化，膨胀率基本保持恒定。这是由于在满足固化温度和成型压力后，植质钵育秧盘已基本成型，植质钵育秧盘各个钵孔的抗水性基本一致。试验表明，当植质钵育秧盘在模具中取出后需要放置一段时间，要求干燥通风，有利于提高植质钵育秧盘抗水性。

2.3 工艺参数优化

为对制备过程工艺参数进行优化分析，在以上试验基础上，以钵孔率和膨胀率为考核指标，设计正交试验，并进行方差、极差分析和权重综合值分析^[32-33]，试验结果如表 5 和表 6 所示。

表 5 成型配比正交试验结果

Table 5 Orthogonal experiments results of forming ratio

编号	施胶量/ kg	固化 剂量/kg	增强 剂量/kg	混料量/ kg	钵孔率/ %	膨胀率/ %	综合值
1	0.8	0.002	0.08	1.1	75.51	5.44	0.649
2	0.8	0.005	0.09	1.2	84.19	5.31	0.714
3	0.8	0.008	0.10	1.3	22.49	7.37	0.245
4	0.9	0.002	0.09	1.3	99.25	2.15	0.996
5	0.9	0.005	0.10	1.1	97.75	3.03	0.899
6	0.9	0.008	0.08	1.2	73.37	4.28	0.666
7	1.0	0.002	0.10	1.2	95.58	2.12	0.974
8	1.0	0.005	0.08	1.3	98.51	2.16	0.989
9	1.0	0.008	0.09	1.1	95.78	2.42	0.938

注: 制备工艺条件: 成型压力 27.5MPa, 模具温度 130℃, 保压时间 330s; 综合值=(钵孔率/钵孔率组中最大值)×70%+(膨胀率倒数/膨胀率倒数组中最大值)×30%。

Note: the preparation process: molding pressure 27.5 MPa, molding temperature 130℃, holding time 330 s; Comprehensive value=[(the percent of pass)/Max(the percent of pass)]×70%+[(the expansion ratio)/Max(the expansion ratio)]×30%.

表 6 制备工艺正交试验结果

Table 6 Orthogonal experiments results of preparation process

编号	成型压 力/MPa	模具温度/ ℃	保压时间/ s	钵孔率/ %	膨胀率/ %	综合值
1	25.0	140	330	85.59	1.25	0.866
2	25.0	130	300	59.38	1.15	0.705
3	25.0	120	270	39.28	1.12	0.571
4	27.5	140	300	89.06	1.10	0.927
5	27.5	130	270	63.72	1.18	0.728
6	27.5	120	330	96.57	1.12	0.974
7	30.0	140	270	76.16	1.13	0.828
8	30.0	130	330	99.26	1.13	0.991
9	30.0	120	300	99.46	1.12	0.992

注: 成型配比条件: 施胶量 0.9 kg, 固化剂量 0.002 kg, 增强剂量 0.09 kg, 混料量 1.3 kg; 综合值=(钵孔率/钵孔率组中最大值)×70%+(膨胀率倒数/膨胀率倒数组中最大值)×30%。

Note: the forming ratio: 0.9 kg glue, 0.002 kg curing agent, 0.09 kg intensifier, 1.3 kg mixed materials; Comprehensive value=[(the percent of pass)/Max(the percent of pass)]×70%+[(the expansion ratio)/Max(the expansion ratio)]×30%.

2.3.1 优化原则

1) 以钵孔率和膨胀率为指标首先进行极差分析, 得出较优成型配比参数, 在此基础上, 结合权重综合值分析, 对植质钵育秧盘成型配比参数进行最优分析;

2) 在成型配比参数优化基础上, 参照 1) 对植质钵育秧盘制备工艺参数进行最优分析。

2.3.2 成型配比优化

在以往试验的基础上, 在成型压力 27.5 MPa, 模具温度 130℃, 保压时间 330 s 条件下植质钵育秧盘成型效果较好, 因此, 以此为制备工艺条件进行试验, 试验结果如表 5。以钵孔率为指标, 通过方差分析表明(见表 7), 各因素对钵孔率影响极显著, 对植质钵育秧盘成型性影响的显著程度依次为: 施胶量、固化剂量、增强剂量、混料量。对正交试验结果进行极差分析(见表 8), 通过极差分析法确定优化方案组合为 $A_3B_2C_2D_1$ 。同样, 以膨胀率为指标, 通过方差(见表 7)分析可知, 施胶量和固化剂量对膨胀率的影响极显著, 增强剂量膨胀率的影响显著, 混料量对吸水膨胀率没有显著影响, 对植质钵育秧盘抗水性影响的显著程度依次为: 施胶量、固化剂量、增强剂量、混料量, 通过极差分析(见表 8)可知, 通过极差分析确定优化方案组合为 $A_3B_1C_2D_1$ 。

按照综合值最终确定优化方案组合为 $A_2B_1C_2D_3$ 。

试验结果得到性能指标: 钵孔率为 99.25%, 膨胀率为 2.15%, 能够满足育秧和插秧需要。

2.3.3 制备工艺优化

取综合值 0.996 对应成分配比方案组合, 以钵孔率为指标, 通过方差分析表明(见表 9), 各因素对钵孔率影响不显著。对正交试验结果进行极差分析(见表 10), 各因素对植质钵育秧盘成型性能影响的显著程度顺序为: 模具温度、成型压力、保压时间, 通过极差分析确定优化组合方案为 $A_3B_1C_1$ 。同样, 以膨胀率为指标, 通过方差(见表 9)分析可知, 各因素对膨胀率无影响。通过极差分析(见表 10), 对植质钵育秧盘抗水性影响的显著程度依次为: 保压时间、成型压力、模具温度, 通过极差分析确定优化方案组合为 $A_3B_2C_3$ 。

对影响因素进行权重综合值分析(见表 6), 综合值最大值为 0.992, 故最终优化方案组合为 $A_3B_3C_2$ 。

表 7 成型配比方差分析

Table 7 Variance analysis of forming ratio

方差来源	钵孔率					膨胀率				
	偏差平方和	自由度	方差	F 值	显著性	偏差平方和	自由度	方差	F 值	显著性
施胶量	6 583.4	2	3 291.7	172.3	**	71.1	2	35.5	218.8	**
固化剂量	4 726.3	2	2 363.1	123.7	**	10.8	2	5.41	33.3	**
增强剂量	2 009.3	2	1 004.6	52.6	**	3.7	2	1.8	11.6	*
混料量	1 238.1	2	619.0	32.4	**	0.4	2	0.2	13	—
误差	343.7	18	19.1	172.3		2.9	18	0.1		
总和	14 900.8					88.9				

表 8 成型配比极差分析
Table 8 Range analysis of forming ratio

		钵孔率				膨胀率			
		施胶量	固化剂量	增强剂量	混料量	施胶量	固化剂量	增强剂量	混料量
总 和	K ₁	546.5600	811.0000	742.1500	807.1000	54.3500	29.1200	35.6400	32.6700
	K ₂	811.0900	841.3200	837.6400	759.4100	28.3900	31.4800	29.6300	35.1200
	K ₃	869.6000	574.9300	647.4600	660.7400	20.0800	42.2200	37.5500	35.0300
均 值	K ₁	60.7289	90.1111	82.4611	89.6778	6.0389	3.2356	3.9600	3.6300
	K ₂	90.1211	93.4800	93.0711	84.3789	3.1544	3.4978	3.2922	3.9022
	K ₃	96.6222	63.8811	71.9400	73.4156	2.2311	4.6911	4.1722	3.8922
极大值		96.6222	93.4800	93.0711	89.6778	6.0389	4.6911	4.1722	3.9022
极小值		60.7289	63.8811	71.9400	73.4156	2.2311	3.2356	3.2922	3.6300
极差 R		35.8933	29.5989	21.1311	16.2622	3.8078	1.4556	0.8800	0.2722
调整 R'		32.3279	26.6587	19.0321	14.6468	3.4295	1.3110	0.7926	0.2452

表 9 制备工艺方差分析
Table 9 Variance analysis of preparation process

方差来源	钵孔率					膨胀率				
	偏差平方和	自由度	方差	F 值	显著性	偏差平方和	自由度	方差	F 值	显著性
成型压力	4 367.5	2	2 183.7	241.9	*	0.0113	2	0.0056	0.5718	—
空白列	405.5	2	202.7			0.0090	2	0.0045		
模具温度	5 434.6	2	2 717.3	301.1	*	0.0089	2	0.0044	0.4502	—
保压时间	248.5	2	124.2	13.7	*	0.217	2	0.0108	1.0975	—
误差	162.4	18	9.1			0.1885	18	0.2394		
总和	10 618.5					0.4347				

表 10 制备工艺极差分析
Table 10 Range analysis of preparation process

		钵孔率				膨胀率			
		成型压力	空 列	模具温度	保压时间	成型压力	空 列	模具温度	保压时间
总 和	K ₁	552.8000	752.4600	844.3100	746.3400	10.5900	10.4700	10.5300	10.6800
	K ₂	748.0900	667.1400	743.7200	696.3900	10.2100	10.4200	10.1300	10.2300
	K ₃	824.6800	705.9700	537.5400	682.8400	10.1900	10.1000	10.3300	10.0800
均 值	K ₁	61.4222	83.6067	93.8122	82.9267	1.1767	1.1633	1.1700	1.1867
	K ₂	83.1211	74.1267	82.6356	77.3767	1.1344	1.1578	1.1256	1.1367
	K ₃	91.6311	78.4411	59.7267	75.8711	1.1322	1.1222	1.1478	1.1200
极大值		91.6311	83.6067	93.8122	82.9267	1.1767	1.1633	1.1700	1.1867
极小值		61.4222	74.1267	59.7267	75.8711	1.1322	1.1222	1.1256	1.1200
极差 R		30.2089	9.4800	34.0856	7.0556	0.0444	0.0411	0.0444	0.0667
调整 R'		27.2081	8.5383	6.3547	30.6997	0.400	0.0370	0.0400	0.0600

2.4 试验验证

为验证所选优化方案组合的正确性，按选取的最佳工艺参数组合进行验证试验，试验结果为：钵孔率为 99.46%±0.13%，膨胀率 1.12%±0.017%，能够满足育秧和插秧试验要求。成品如图 5 所示，育秧效果如图 6 所示。

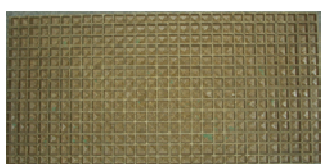


图 5 成品
Fig.5 Final product



图 6 育秧效果
Fig.6 Seedling effect

3 产业化及应用前景分析

3.1 产业化分析

项目组以以上试验结果为基础，对水稻植质钵育秧盘产业化实现进行充分论证分析和实践，在黑

龙江省胜利农场、858 农场和 290 农场建立 3 个产业化生产基地, 实践表明, 试验优化结果能够完全满足产业化生产的技术要求, 能够实现植质钵育秧盘产业化生产。

3.2 成本分析

1) 原料成本: 按照目前市场价原料成本为 100 元/t。

2) 生产成本: 单班生产工人配置为 11 人, 人员工资为 80 元/(人·d)计; 电价为 0.60 元/(kW·h), 水价按 1 元/t, 由此所得生产成本 894.9 元/万片。

3) 折旧及其他: 厂房按照 30a 折旧, 设备按照 15a 折旧计算, 所得到的折旧费为 63.2 元/万片, 车间运输费用为 34.7 元/万片。

4) 总成本: 由上述计算可得每万片成品的成本为 1 121.4 元。

3.3 应用前景

经过近 6 a 的技术研发和推广应用, 实践表明, 以水稻植质钵育秧盘为水稻育秧载体, 较常规育秧载体而言, 增产幅度达到 13%~20%, 净收益较常规育秧增加 3780 元/hm², 稻米品质显著提高。

2006—2012 年间, 水稻植质钵育秧盘在黑龙江垦区示范推广应用 4 万 hm², 得到广大农户的认可。

由上分析可知, 随着消费水平的日益提高和对稻米品质需要的提升^[34], 水稻植质钵育秧盘具有广阔的应用前景。

4 结 论

1) 分析得出植质钵育秧盘性能影响因素, 确定了影响因素的取值范围, 通过优化分析得出最佳工艺参数为: 施胶量 0.9 kg、固化剂量 0.002 kg、增强剂量 0.09 kg、混料量 1.3 kg、成型压力 30 MPa、模具温度 120℃、保压时间 300 s。

2) 通过对制备出的水稻植质钵育秧盘田间验证试验, 得出钵孔率为 99.46%±0.13%, 膨胀率为 1.12%±0.017%, 其完全能够满足后期育秧和插秧要求。

[参 考 文 献]

[1] 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 with English abstract)

[2] Pan Mingzhu, Zhou Dingguo, Zhou Xiaoyan, et al. Improvement of straw Surface characteristic via thermo mechanical and chemical treatments[J]. Bioresearch Technology, 2010, 101(21): 7930—7934.

[3] Sun R, Fang J M, Row lands P, et al. Agric Food Chen [J]. 1998, 46(12): 2804—2807.

[4] 凌楚生, 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.
Qi Chusheng, Guo Kangquan, Gu Rong, et al. Preparation technology of oriented cotton stalk bunches/high density polyethylene composite panels[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(12): 265—270. (in Chinese with English abstract)

[5] 陈恒高. 水稻钵育机械化栽培技术研究[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2007: 18—19.

[6] 相俊红. 农作物秸秆综合利用机械化技术推广研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005: 23—24.
Xiang Junhong. Study on Popularization for Mechanization of Comprehensive Utilization of Crop Straw[D]. Beijing: Agricultural University, 2005: 23—24. (in Chinese with English abstract)

[7] 何春霞, 侯人鸾, 薛娇, 等. 不同模压成型条件下聚丙烯木塑复合材料性能[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 145—148.
He Chunxia, Hou Renluan, Xue Jiao, et al. Performances of PP wood-plastic composites with different processing methods[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(15): 145—148. (in Chinese with English abstract)

[8] 郑丁科, 李志伟. 水稻育秧软塑穴盘播种设备研究[J]. 农机化研究, 2002, 11(4): 42—45.
Zheng Dingke, Li Zhiwei. Study on equipment of rice seeder for soft hill seedling nursery box[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2002, 11(4): 42—45. (in Chinese with English abstract)

[9] 师建芳, 刘清, 刘晶晶, 等. 连续式秸秆发酵饲料制备机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 33—38.
Shi Jianfang, Liu Qing, Liu Jingjing, et al. Development and experiment of continuous producing machine for fermented straws feed[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(10): 33—38. (in Chinese with English abstract)

[10] 陈恒高, 汪春, 张吉军. 水稻植质钵育栽培技术的探讨[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2004, 16(3): 38—41.

[11] 陈恒高, 董晓威, 张吉军. 水稻植质钵育秧盘的研制[J]. 现代化农业, 2005, 15(9): 31—32.

[12] 杨晓丽, 那明君, 李元强, 等. 新型水稻钵体摆栽秧盘及秧盘注塑模具的设计[J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(3): 370—372.
Yang Xiaoli, Na Mingjun, Li Yuanqiang, et al. Design of new-type transplanted seeding tray for rice bowl and the

- injection mould for seeding tray[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2006, 37(3): 370—372. (in Chinese with English abstract)
- [13] 薛仁辉. 纸浆模塑制品成型机理及过程控制的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2002: 10—11.
Xue Renhui. Study on the Mechanism of Pulp Molding and Process Control[D]. Harbin: Northeast forestry university, 2002: 10—11. (in Chinese with English abstract)
- [14] 李建萍. 植物纤维与废弃聚丙烯复合板材的制备[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007: 43—44.
- [15] 宋琳莹, 辛寅昌. 反应型防水剂的制备及对中密度纤维板防水性能的评价[J]. 化工学报, 2007, 58(12): 3202—3205.
Song Linying, Xin Yinchang. Synthesis of reactive waterproofing agent and evaluation of MDF properties[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2007, 58(12): 3202—3205. (in Chinese with English abstract)
- [16] 杨德. 试验设计与分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 34—42.
- [17] 李智广, 刘淑珍, 张建国, 等. 我国冻融侵蚀的调查方法[J]. 中国水土保持科学, 2012: 10(4): 1—5.
Li Zhiguang, Liu Shuzhen, Zhang Jianguo, et al. Survey method of freeze-thaw erosion in China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2012: 10(4): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [18] 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 with English abstract)
- [19] 薛全义, 荆宇, 邓丽. 稻草复种模式下水稻不同品种不同播种量秧苗素质分析[J]. 辽宁农业科学, 2006, 12(3): 39—40.
Xue Quanyi, Jing Yu, Dengli. Effect of different varieties and seeding amount on rice seedling under the pattern of duplicate cropping of rice and herbage[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2006, 12(3): 39—40. (in Chinese with English abstract)
- [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, 21(24): 11—13.
Zhang Wenxiang, Wang Chengai, Zhao Lei, et al. Effect of seedling-raising method on yield and quality of rice[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2009, 21(24): 11—13. (in Chinese with English abstract)
- [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.
- [22] 杨安中. 不同育秧方式对水稻秧苗素质及抗逆性的影响[J]. 安徽技术师范学院学报, 2004, 18(1): 39—41.
Yang Anzhong. Comparative study on physiological characters of different nursery seedlings[J]. Journal of Anhui Technical Teachers College, 2004, 18(1): 39—41. (in Chinese with English abstract)
- [23] 王澜, 董洁, 卜雅萍. 聚氯乙烯/稻壳粉末发泡制品的研究[J]. 塑料, 2006, 34(5): 1—7.
Wang Lan, Dong Jie, Bu Yaping. PVC/Rice husk powder WPC foamed product[J]. Plastics, 2006, 34(5): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [24] Guan J, Milford A H. Functional properties of extruded foam composites of starch acetate and corn cob fiber[J]. Industrial Crops and Product, 2004, 19(3): 255—269.
- [25] Glenn G M, Imam S H, Orts W J, et al. Fiber reinforced starch foams[C]//Paris, ANTEC, Conference Proceedings, 2004: 2484—2488.
- [26] 王体朋, 毛志怀, 梁凌云, 等. 发泡剂对玉米秸秆基聚氨酯泡沫性能影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 185—188.
Wang Tipeng, Mao Zhihui, Liang Lingyun, et al. Effects of Blowing agent on the properties of polyurethane foams based on corn Stover[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(1): 185—188. (in Chinese with English abstract)
- [27] Ahmad A L, Wong S S, Teng T T, et al. Optimization of coagulation-flocculation process for pulp and paper mill effluent by response surface methodological analysis[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 145(7): 162—168.
- [28] 张东辉, 何春霞, 刘军军. 稻秸秆粉/聚丙烯复合材料力学性能[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 380—384.
Zhang Donghui, He Chunxia, Liu Junjun. Mechanical properties of straw-powder/PP composites[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(7): 380—384. (in Chinese with English abstract)
- [29] 曾晶, 龚大春, 田毅红, 等. 碱法—酶法处理麦秆木质纤维素的工艺研究[J]. 农产品加工·学刊, 2007(10): 7—9.
Zeng Jing, Gong Dachun, Tian Yihong, et al. Study on the process of pretreatment and hydrolysis of lignocellulosic wheat straw through alkali-enzymatic method[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2007(10): 7—9. (in Chinese with English abstract)
- [30] Zhu Sheng dong, Wu Yuanxin, Yu Ziniu, et al. Pretreatment by microwave/alkali of rice straw and its enzymic hydrolysis[J]. Process Biochemistry, 2005, 40(9): 3082—3086.
- [31] 徐新刚, 王纪华, 黄文江, 等. 基于权重最优组合和多时相遥感的作物估产[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 137—142.
Xu Xingang, Wang Jihua, Huang Wenjiang, et al. Estimation of crop yield based on weight optimization combination and multi-temporal remote sensing data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(9): 137—142. (in Chinese with English abstract)
- [32] 刘沫茵, 郭蕴涵, 赵翠萍, 等. 二氧化碳辅助发酵葡

- 萄的干制和发酵工艺优化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 269—272.
- Liu Moying, Guo Yunhan, Zhao Cuiping, et al. Drying and fermentation process optimization of grapes pre-fermented with carbon dioxide[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(12): 269—272. (in Chinese with English abstract)
- [33] 张继义, 蒲丽君, 李根. 秸秆生物碳质吸附剂的制备及其吸附性能[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊 2): 104—109.
- Zhang Jiyi, Pu Lijun, Li Gen. Preparation of biochar adsorbent from straw and its adsorption capability[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(Supp.2): 104—109. (in Chinese with English abstract)
- [34] 韩永俊, 陈海涛, 刘丽雪, 等. 水稻秸秆纤维制取工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 281—286.
- Han Yongjun, Chen Haitao, Liu Lixue, et al. Optimization of technical parameters for preparing fiber from rice straw [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(4): 281—286. (in Chinese with English abstract)

Preparation technology and parameters optimization for seedling-growing bowl tray made of paddy straw

Zhang Xinyue¹, Wang Chun^{1*}, Li Lian hao^{1,2}, Zhang Wei¹

(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: The establishment of rice seedlings is most important in cold regions in order to promote the desired rice yield. Planting technology of the seedling-growing bowl tray made of paddy straw is an effective way to promote the desired rice yield in cold regions. The preparation process of the seedling-growing bowl tray made of paddy straw is the main technique for the seedling growing tray to improve the planting technology of the seedling-growing in china. Therefore, the study explored the preparation technique of the seedling-growing bowl tray, which was the combination of hot-setting glue, curing agent, and intensifier through hot pressing. The study analyzed the performance influence of several factors on seedling-growing bowl tray made of paddy straw, and confirms the major factors and the ranges of value with single factor experiments.

This study also analyzed the performance influence of the forming ratio (the quantity of glue, the quantity of curing agent, the quantity of intensifier and the quantity of mixed materials) and the preparation process (the forming pressure, the forming temperature, and the holding time) to seedling-growing bowl tray with orthogonal experiments. The optimal parameters through the analysis of the results were found 0.9 kg glue, 0.002 kg curing agent, 0.09 kg intensifier, 1.3 kg mixed materials, and the forming pressure, the forming temperature and holding time were 30 MPa, 120°C and 300 s, respectively. The optimized parameters could support the findings of the laboratory research requirements (the percent of pass was and the expansion ratio was 99.46%, 1.12% respectively), and the industrialized production, which provides the technical findings for the further research and exactly permissive for the industrialization production. The preparation technique also provides a new ways for the high value-added use of paddy straw and significance to insure food security and to promote high quality of rice production in china.

Key words: straw, processing, optimization, seedling-growing bowl tray, ratio