

膜下滴灌水稻穴直播机研究

牛 琪¹ 王士国² 陈学庚²

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 新疆农垦科学院机械装备研究所, 石河子 832000)

摘要: 根据水稻膜下滴灌穴直播的农艺要求, 分别设计了不同种植模式下适用的膜下滴灌水稻播种机, 并对关键部件滚筒式穴播器和覆土装置进行分析; 通过正交试验确定了影响其播种性能的因素依次为成穴鸭嘴长度、滚筒式穴播器的滚筒直径和行走速度, 影响其覆土性能的因素依次为导土板螺旋升角、覆土滚筒直径和行走速度。在较优参数组合鸭嘴长度 28 mm、穴播滚筒半径 180 mm、覆土滚筒螺旋升角 35°、覆土滚筒直径 360 mm、播种机行走速度 0.65 m/s 时, 膜下滴灌水稻播种机播种深度合格率为 92.6%, 穴粒合格率为 94.7%, 覆土合格率为 91.2%, 空穴率为 1.8%, 平均产量达 10 500 kg/hm², 该播种机能满足膜下滴灌水稻播种的技术要求。

关键词: 膜下滴灌水稻; 旱作; 播种机; 种植模式

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0090-06

Design of Rice Planter with Plastic Film Mulched Drip Irrigation

Niu Qi¹ Wang Shiguo² Chen Xuegeng²

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Mechanical Equipment Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000, China)

Abstract: The rice planting area in China accounts for 21% of world's planting area, but there is only 6% of water resource of the world. Water consumption of traditional rice planting was about 12 000 m³/hm² in the whole growing period, which made a difficulty in planting rice at large scale in cold and arid region of China. In order to enlarge rice planting area and improve the level of mechanization in aerobic soil with plastic film mulching, planters were designed in different planting patterns to meet the agronomic requirements for rice cultivation with plastic film mulched drip irrigation. The parameters of key components (drum-type dibbler and covering device) were determined by dynamics and kinematics analyses. Besides, the factors that affected sowing performance were confirmed as sowing roller's radius (R), length of duckbilled soil opener of drum-type dibbler (H) and walking speed (v), factors that affected mulching performance were diameter of mulching roller (D), lift helix angle (β) and walking speed (v) of planter. According to orthogonal test, the three factors and four levels orthogonal optimal experiments were carried out, which indicated the importance of the three factors for sowing performance were in the order as $H > R > v$. Meanwhile, for the mulching performance, the importance of the three factors were in the order as $\beta > D > v$. When the length of duckbilled soil opener was 28 mm, radius of sowing roller was 180 mm, lift helix angle was 35°, diameter of mulching roller was 360 mm, and walking speed was 0.65 m/s, the qualified rate of sowing depth was 92.6%, qualified rate of sowing number per hole was 94.7%, qualified rate of mulching was 91.2% and vacancy rate was 1.8%. The rice yield was 10 500 kg/hm², the average spike number per hectare was 3.25 million. The performance of this planter could meet the technical requirement for rice sowing with plastic film mulched drip irrigation.

Key words: rice with plastic film mulched drip irrigation; dry farming; planter; planting pattern

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-22

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2011AA100508)

作者简介: 牛琪(1992—),女,博士生,主要从事农业机械设计研究,E-mail: causeven@163.com

通信作者: 王士国(1977—),男,副研究员,主要从事农业机械设计与装备生产研究,E-mail: wansg@163.com

引言

中国水稻种植面积约占全国谷物面积的 40%，占世界水稻面积的 21%，我国的水稻生产在国内外都有重要地位^[1]。传统水稻种植全生育期耗水量约在 12 000 m³/hm² 以上，即生产 1 kg 水稻耗水超过 1.5 m³，而我国人均水资源占有量少，全国正常年份农业缺水量约 300 亿 m³，干旱缺水耕地面积占 60% 以上，尤其新疆水资源总量为全国倒数第 3，若采用传统的水稻种植方式或水稻旱种漫灌方式，则很难在西北旱区及其他半干旱区大面积推广种植水稻^[2]。

膜下滴灌水稻穴直播技术是将地膜覆盖、滴灌技术、机械精量播种等技术有机结合的一种全新水稻种植模式^[3]，可减少水稻育秧、插秧、人工施肥等多项工序，同时覆膜具有良好的保水增温效果，利于水稻根系生长，可节约播种时间、提高水稻的出苗率及土地利用率，相比传统水稻种植方式节水约 60%、节肥约 10%^[4]，从而为实现干旱、半干旱地区高产、高效、优质、节能的大面积种植水稻奠定坚实基础。日本最先将水稻直播技术与地膜覆盖技术相结合^[5]，实行旱地水稻种植；欧美国家的覆膜播种机^[6-7]主要用于蔬菜种植，在水稻密植方面的应用较少。我国于 20 世纪 70 年代开始水稻覆膜旱地栽培技术研究，并在东北、西北等干旱、寒冷地区推行了适宜的栽培模式及相关播种机具^[8]，播种机多采用外槽轮式排种器，难以满足膜下滴灌栽培“窄行距、小株距”的农艺要求，而现有铺膜铺管播种机^[9]主要用于棉花、玉米等作物，每穴播量小、膜面种行少，不符合干旱区水稻高密度种植要求，降低了旱作水稻产量。

因此，针对我国西北冷凉、干旱地区大面积种植优质高产水稻难、旱作覆膜水稻播种机械不适宜的现状，新疆农垦科学院利用其他作物覆膜节水的研究经验，根据滴灌水稻栽培高密度的农艺要求，设计相应的膜下滴灌水稻播种机具，以期为大面积种植旱作水稻提供理论与装备支撑。

1 设计原理及结构

1.1 膜下滴灌水稻种植模式

新疆水稻种植区无霜期短、积温低，水稻分蘖效果差，成穗依靠基本苗，文献[10]选用粳稻 T-43 进行多次株距、行距配置模式试验，在保证每公顷地种植早稻 450 000 ~ 495 000 穴的条件下，确定了 3 种高密度膜下滴灌水稻的种植模式。其中播种深度以 20 ~ 25 mm 为宜，下种粒数为 6 ~ 8 粒/穴，单穴

播种量过小或过大，均会降低水稻单产。

一膜一管四行(图 1a)，其中膜宽 0.9 m，株距 10 ~ 13 cm，膜内窄行 15 cm，宽行 30 cm，膜间接行 45 cm，适宜无霜期较长、积温较高的地区。

一膜两管八行(图 1b)，其中膜宽 1.5 m，株距 10 ~ 12 cm，膜内窄行 10 cm，宽行 27 cm，膜间接行 45 cm，适宜无霜期短、积温低的地区。

一膜三管十二行(图 1c)，其中膜宽 2.20 m，株距 9 ~ 14 cm，膜内窄行 10 cm，宽行 26 cm，膜间接行 50 cm，适宜无霜期短、积温低的地区。

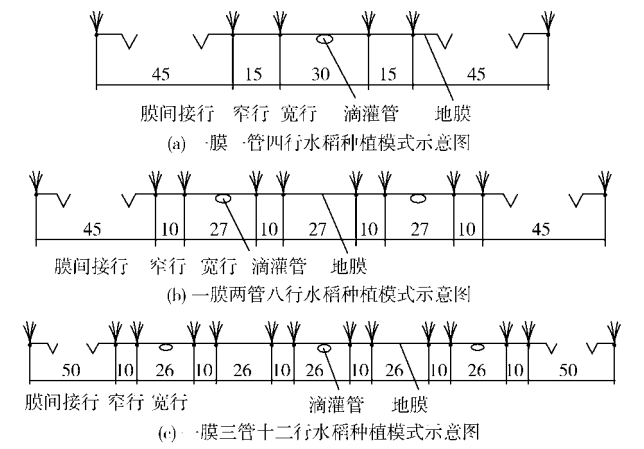


图 1 膜下滴灌水稻种植模式示意图

Fig. 1 Diagrams of planting pattern for rice with plastic film mulched drip irrigation

1.2 总体设计

膜下滴灌水稻穴直播机(图 2)主要由地表平整、地膜铺设、滴灌带铺设、播种覆土和镇压 5 部分组成，可一次完成平地、铺膜、铺管、播种、覆土、镇压等多项作业。地表平整部分包括平土框、镇压辊；地膜铺设部分包括铺膜框架、四杆仿形机构、开沟圆盘、展膜辊、压膜轮、膜边覆土圆盘、挡土板、膜捆盘架等；滴灌带铺设部分包括滴灌管架、滴灌带开沟器等；播种覆土部分包括滚筒式穴播器、膜上覆土圆盘、覆土滚筒等^[9]。

作业时，平土框与镇压辊先对表土进行平整、镇压，滴灌带铺设装置在预定位置开沟、铺管；开沟圆盘开出 5 ~ 6 cm 深的膜沟，地膜经导膜杆、展膜辊平铺在整后的畦面上，压膜轮将膜边压入膜沟并横向拉展地膜，膜边覆土圆盘进行覆土；滚筒式穴播器在膜上滚动打孔、投种；膜上覆土圆盘将土翻入覆土滚筒内，经导流板将细碎土壤送到种行覆盖种孔，镇压辊对种行进行镇压。

针对不同种植模式，通过调整机具各部件参数设计了以下 3 种膜下滴灌水稻穴直播机，主要技术参数如表 1 所示。

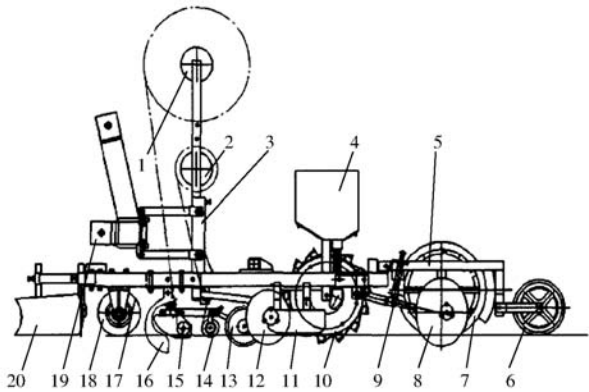


图2 膜下滴灌水稻穴直播机结构示意图

Fig.2 Structure diagram of rice planter with plastic film mulched drip irrigation

1. 滴灌管架 2. 膜捆盘架 3. 仿形机构 4. 种箱 5. 覆土滚筒框架 6. 镇压轮 7. 覆土滚筒 8. 膜上覆土圆盘 9. 膜上覆土牵引杆 10. 滚筒式穴播器 11. 挡土板 12. 膜边覆土圆盘 13. 压膜轮 14. 展膜辊 15. 滴灌带开沟器 16. 开沟圆盘 17. 铺膜框架 18. 镇压辊 19. 悬挂主梁 20. 平土框

表1 膜下滴管水稻穴直播机主要技术参数

Tab.1 Main technical parameters of rice planter with plastic film mulched drip irrigation

参数	机具型号		
	3膜12行	3膜24行	1膜12行
适宜水稻种植模式	一膜一管 四行	一膜两管 八行	一膜三管 十二行
外形尺寸/cm	292×480×245	292×560×342	315×295×162
幅宽/cm	225	498	223
速度/(km·h ⁻¹)	3~4	3~4	3~4
行数/行	12	24	12
播深/cm	1.5~2.5	1.5~2.5	1.5~2.5
株距/cm	10	10	10
膜宽/cm	90	150	220
动力/kW	≥45	≥55	≥55

2 关键部件设计

2.1 滚筒式穴播器

滚筒式穴播器^[9]常用于棉花膜下滴管播种机上,破膜效果好、排种精度高,且水稻种子与棉花种子外形相似,均呈卵形,因此膜下滴灌水稻穴播机采用滚筒式穴播器(图3a),主要由进种管、成穴鸭嘴、导种盘等组成。但水稻种植每穴粒数较多,若采用气吸式或指夹式取种,每穴粒数稳定性不高,故选用带翼勺式取种器完成取种作业,成穴器内可均放6~8粒稻种(图3b),多余种子可由毛刷刮除。

工作时,穴播器在地面上滚动,勺式取种器取种后向上转动过程中多余的种子刮落回穴播滚筒底部,转至排种区域时,取种器内的种子可沿取种器背部的滑槽落入成穴鸭嘴端部,鸭嘴依次戳破地膜压

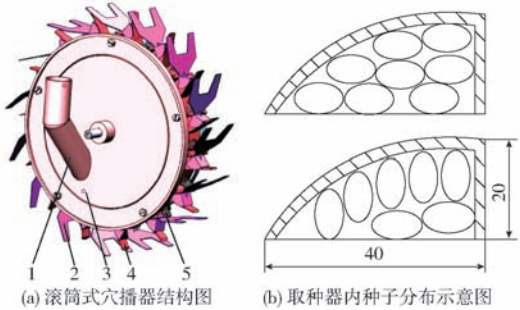


图3 滚筒式穴播器

Fig.3 Diagram of drum-type dibbler

1. 进种管 2. 动鸭嘴 3. 导种盘 4. 定鸭嘴 5. 弹簧

入土中,在膜上打孔并挤压出一定深度的坑穴,当鸭嘴入土最深时,活动鸭嘴因地面的反作用力打开使种子落入种穴。

穴播滚筒的半径与滚筒转速呈反比关系,滚筒转速过高不利于充种、取种,而半径过大则会增加投种难度和机具质量,则滚筒半径^[11]为

R=Zt(1-δ)/2π (1)

式中 R——穴播滚筒半径,mm

Z——成穴器数目

t——株距,mm δ——滑移率

当前水稻培育模式下要求株距t为10cm,即成穴器顶圆的节距为10cm^[12],考虑到穴播滚筒滚动时的平稳性及播种效果,取Z=13,δ=0.02,试验播种时穴播滚筒半径R取180~220mm。

成穴鸭嘴结构参数决定了成穴效果、膜孔尺寸以及播种深度^[13],成穴鸭嘴近似垂直地表插入形成穴孔时,可较好地避免土壤进入鸭嘴。为保证排种顺利、鸭嘴工作时不堵塞、不挂膜,取固定鸭嘴和活动鸭嘴压力角为17°,开口尺寸为(1.2~1.5)d_{max}(d_{max}为种子最大尺寸),固定鸭嘴的成穴边线与底部和滚筒中心连线的夹角α取38°。活动鸭嘴的长度不仅影响播种深度还影响出土时的尖端刮土效果,鸭嘴长度过短,难以破膜成穴;鸭嘴长度过长,容易挂膜,破坏膜孔形状,影响水稻自行出苗活动鸭嘴长度计算式为

H=khcos(90°-α) (2)

式中 H——活动鸭嘴长度,取25~30mm

k——地表含杂系数,取1.5~2.0

h——播种深度,为25mm

α——固定鸭嘴的成穴边线与底部和滚筒中心连线的夹角,取38°

2.2 种行覆土装置

种行覆土装置由膜上覆土圆盘和覆土滚筒组成,其主要作用是将膜上覆土圆盘取出的土经导土

板输送到种行,形成土带覆盖种孔。其中覆土圆盘直径过小取土不足,直径过大则圆盘入土较深,圆盘倾角越大种孔覆土厚度越大^[14],综合考虑取圆盘直径为 320 mm,倾角为 20°~30°;覆土滚筒由驱动爪、导土板、中轴、滚筒、排杂口组成,如图 4 所示。驱动爪可保证滚筒转动的平稳性,防止碾压地膜,避免种孔错位。导土板为螺旋结构,可实现膜上横向远距离输送土壤,螺旋升角 β 决定了膜上覆土厚度及均匀性。若采用单一覆土滚筒对 12 行水稻覆土,易出现土量不均的现象,故 1 膜 12 行水稻穴直播机采用双覆土滚筒前后配置的方式进行覆土。第 1 个覆土滚筒对中间 6 道种行进行覆土,第 2 个覆土滚筒对左右两侧的 6 道种行进行覆土,滚筒上的条孔与种行相对应。

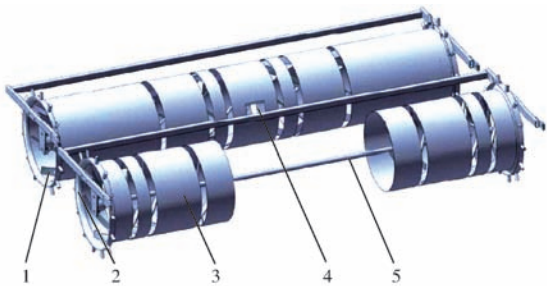


图 4 覆土滚筒结构图

Fig. 4 Structure diagram of covering roller

1. 导土板 2. 驱动爪 3. 滚筒 4. 排杂口 5. 中轴

随着覆土滚筒的转动,土壤运动是一个空间运动,绕螺旋轴转动的同时,也沿轴线做直线运动,现将土壤简化为质点,且土壤内部不产生相对滑移,取距离螺旋轴轴线 r 处导土板上土粒 M 为研究对象,对其进行动力学分析^[15]。

土粒 M 在水平面内受力及速度分解如图 5 所示,覆土滚筒展开时,螺旋形导土板用斜直线表示,由于切向摩擦力 F_f 的存在,使得土粒的法向推力 F_a 和绝对速度 v_a 存在一个偏角 ρ ,忽略导土板表面粗糙度的影响,则偏离的角度近似等于土粒的外摩擦当量角 ρ 。由图 5 可知轴向分力 F_z 与周向分力 F_r 为

$$\begin{cases} F_z = F \cos(\beta + \rho) \\ F_r = F \sin(\beta + \rho) \end{cases} \quad (3)$$

其中 $\beta = \arctan(P/(2\pi r))$ $\rho = \arctan\mu$

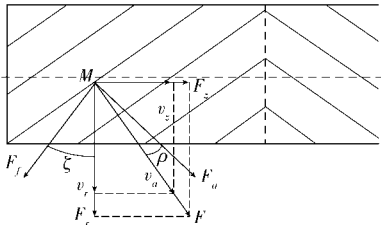


图 5 土粒水平面受力及运动分析

Fig. 5 Force and motion analyses of soil on horizontal plane

式中 β ——螺旋升角, (°)
 P ——导土板螺距, mm
 r ——土粒距螺旋中心的半径, mm
 μ ——土粒与导土板表面的摩擦因数
由图 5 及速度三角形原理可知轴向速度 v_z 与轴向速度 v_r 为

$$\begin{cases} v_z = \frac{nP}{60} \frac{1 - \mu \frac{P}{2\pi r}}{1 + \left(\frac{P}{2\pi r}\right)^2} \\ v_r = \frac{nP}{60} \frac{\mu + \frac{P}{2\pi r}}{1 + \left(\frac{P}{2\pi r}\right)^2} \end{cases} \quad (4)$$

由式(3)可知,螺旋升角 β 越小,轴向分力 F_z 越大,覆土过程中土壤的轴向移动距离越大,进行宽膜覆土时就越有利于中间种行的覆土均匀性;而轴向分力 F_r 越大,土壤沿导土板从滚筒条孔中越易转出,但 F_r 增大到一定程度,土壤所受摩擦力与其自重无法平衡时,则土壤易被甩出,所以试验播水稻种子时,螺旋升角 β 取 30°~40°。由式(4)可知,当导土板螺距 P 、摩擦因数 μ 及土粒距螺旋中心半径 r 一定时,播种机行走速度则对覆土性能起主要作用,而旱作水稻要求浅播,行走速度过快覆土量过大则会严重影响水稻出苗率,故播种试验时,机具行走速度取 0.55~0.75 m/s。

3 试验与结果分析

2015 年 4 月在新疆石河子天业生态园膜下滴灌水稻示范园进行田间试验(图 6),试验样机为 1 膜 12 行水稻穴直播机,试验地土壤为壤土。试验用水稻品种为“秋田小町”,千粒质量为 23.68 g,种子含水率为 16%,破碎率 0.3%,休止角 27.96°,试验前按农艺要求对稻种进行除芒。



图 6 膜下滴灌水稻机械化播种现场

Fig. 6 Planting situation of rice planter with plastic film mulched drip irrigation

3.1 播种性能试验

为探索滚筒式穴播器的鸭嘴长度 H 、穴播滚筒

半径 R 以及播种机行走速度 v 对播种性能的影响,采用三因素三水平的正交试验^[16]进行分析,试验因素与水平如表 2 所示。参照 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》^[17]及 NY/T 1559—2007《滴灌铺管铺膜精密播种机质量评价技术规范》^[18],试验中播种机往返 3 次,每次行走 150 m,每行任取 3 个测点,每个测点为 2.2 m×2.2 m 的方块,用播深测定装置测量播种深度,统计每穴稻种粒数,并计算播种深度合格率 Y_1 和穴粒数合格率 Y_2 为

$$Y_1 = \frac{N_0}{N_Z} \times 100\%$$

(5)

$$Y_2 = \frac{N_1}{N_Z} \times 100\%$$

(6)

式中 N_0 ——满足播种深度要求的穴数,即播种深度为 2.0~2.5 cm 的穴数,穴
 N_1 ——满足穴播种粒数要求的合格穴数,即每穴种数为 6~8 粒的种穴数,穴
 N_Z ——试验总穴数,穴

表 2 试验因素与水平

Tab.2 Factors and levels of experiment

编码	因素		
	鸭嘴长度 H / mm	穴播滚筒半径 R /mm	播种机行走速度 v /($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
-1	26	180	0.55
0	28	200	0.65
1	30	220	0.75

试验结果及分析如表 3 所示, A 、 B 、 C 分别为滚筒式穴播器的鸭嘴长度 H 、穴播滚筒半径 R 以及播种机行走速度 v 的因素编码。从中可得到,膜下滴灌水稻播种深度合格率和穴粒数合格率的最佳组合方案均是 $A_2B_1C_2$,即滚筒式穴播器的鸭嘴长度 $H=28$ mm、穴播滚筒半径 $R=180$ mm、播种机行走速度 $v=0.65$ m/s。

3.2 覆土性能试验

为探索覆土滚筒导土板螺旋升角 β 、覆土滚筒直径 D 以及播种机行走速度 v 对覆土性能的影响,采用三因素三水平的正交试验进行分析,试验因素与水平如表 4 所示。参照 NY/T 1559—2007《滴灌铺管铺膜精密播种机质量评价技术规范》^[18],试验取 200 m² (100 m×2.2 m) 试验田为测试区,每穴为一个测试点,用游标卡尺和直尺手工测量种孔覆土的厚度,并计算覆土合格率 Y_3 为

$$Y_3 = \frac{N_2}{N_Z} \times 100\%$$

(7)

式中 N_2 ——满足覆土厚度要求的合格穴数,即覆土厚度为 10~15 mm 的穴数,穴

表 3 正交试验设计结果及极差分析

Tab.3 Result of orthogonal experiment and range analysis

	编号	A	B	C	$Y_1/\%$	$Y_2/\%$
播种深度合格率	1	-1	-1	-1	76.2	88.7
	2	-1	0	0	80.3	91.2
	3	-1	1	1	68.7	81.2
	4	0	-1	0	88.3	94.5
	5	0	0	1	69.1	84.3
	6	0	1	-1	77.4	88.4
	7	1	-1	1	61.2	78.2
	8	1	0	-1	68.9	83.6
	9	1	1	0	64.8	84.6
极差	k_1	75.067	75.233	74.167		
	k_2	78.267	72.767	77.800		
	k_3	64.967	70.300	66.333		
较优水平	A_2		B_1	C_2		
	主次因素		A 、 C 、 B			
穴粒数合格率	k_1	87.033	87.133	86.900		
	k_2	89.067	86.367	90.100		
	k_3	82.133	84.733	81.233		
极差	A_2		B_1	C_2		
	较优水平		C 、 A 、 B			
	主次因素					

表 4 试验因素与水平

Tab.4 Factors and levels of experiment

编码	因素		
	螺旋升角 β / ($^\circ$)	覆土滚筒直径 d /mm	播种机行走速度 v /($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
-1	30	360	0.55
0	35	400	0.65
1	40	440	0.75

试验结果及分析如表 5 所示, D 、 E 、 F 分别为覆土滚筒螺旋升角 β 、覆土滚筒直径 d 以及播种机行走速度 v 的因素编码。从中可得到,膜下滴灌水稻播种时覆土合格率的最佳组合方案是 $D_2E_1F_2$,即覆土滚筒导土板螺旋升角 $\beta=35^\circ$ 、覆土滚筒直径 $d=360$ mm、播种机行走速度 $v=0.65$ m/s。

3.3 田间验证试验

为检验性能试验结果的正确性,在天业生态园膜下滴灌水稻示范园的 26.8 hm² 试验田内,应用膜下滴灌水稻穴直播机播种时的最佳参数组合:滚筒式穴播器的鸭嘴长度 $H=28$ mm、穴播滚筒半径 $R=180$ mm、覆土滚筒螺旋升角 $\beta=35^\circ$ 、覆土滚筒直径 $D=360$ mm、播种机行走速度 $v=0.65$ m/s,进行了 3 次重复验证试验,田间试验结果表明播种深度合格率为 92.6%,穴播粒数合格率为 94.7%,覆土合格率为 91.2%,伤种率为 0.2%,空穴率为 1.8%,满足播种机性能要求。

表 5 正交试验设计结果及极差分析

Tab.5 Result of orthogonal experiment and range analysis

	编号	D	E	F	Y ₃ /%
	1	-1	-1	-1	87.8
	2	-1	0	0	91.4
	3	-1	1	1	85.1
	4	0	-1	0	93.2
	5	0	0	1	91.3
	6	0	1	-1	92.6
	7	1	-1	1	81.3
	8	1	0	-1	83.4
	9	1	1	0	84.1
覆土合格率	k ₁	88.100	88.767	87.933	
	k ₂	93.700	88.700	90.900	
	k ₃	82.933	87.267	85.900	
	极差	10.767	1.500	5.000	
	较优水平	D ₂	E ₁	F ₂	
	主次因素	D、F、E			

田间播种试验全过程中,机具工作正常,播种深度、穴播粒数与覆土厚度均满足膜下滴灌水稻种植的技术要求,伤种率、空穴率低,可保证规模化生产的要求。2015 年 9 月对测区进行产量测试,平均每公顷收获穗数 325 万,平均产量达 10 500 kg/hm²,与天业生态园常规淹灌种植水稻^[19]相比,每穗粒数

高约 30%,产量增幅约为 15%,结实率高 5.3%,有效穗数少 17.8%,采用膜下滴灌种植产量较高主要原因是该技术可根据水稻生育期需水量和需肥量,定期适量进行滴灌,保证了水稻生长过程中所需的水分和养分。

4 结论

(1)将膜下滴灌技术用于水稻种植,扩大了水稻的种植模式及区域,并设计了不同种植模式下的膜下滴灌水稻穴播机,采用滚筒式穴播器可实现每穴 6~8 粒种子的膜下浅播,利用覆土圆盘与覆土滚筒配合完成宽膜种孔的均量覆土,可一次完成铺管、铺膜、水稻播种等多项作业。

(2)以滚筒式穴播器的鸭嘴长度、穴播滚筒半径、覆土滚筒螺旋升角、覆土滚筒直径和播种机行走速度为因素,播种深度合格率、穴粒数合格率及覆土合格率为指标进行正交试验分析,确定了穴播机的播种、覆土性能最优时的参数组合。

(3)田间验证试验表明,膜下滴灌穴直播机的播深合格率为 92.6%,穴播粒数合格率为 94.7%,覆土合格率为 91.2%,空穴率为 1.8%,采用膜下滴灌种植水稻,平均产量达 10 500 kg/hm²。

参 考 文 献

1 白人朴. 关于水稻生产机械化技术路线选择的几个问题[J]. 中国农机化学报,2011(1):15-18.
BAI Renpu. Several issues on the route choice of mechanization of rice production technology [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2011(1): 15-18. (in Chinese)

2 胡成成,陈林,银永安,等. 膜下滴灌水稻栽培技术在江苏南通地区推广前景分析[J]. 北方水稻,2014,44(5):76-78.
HU Chengcheng, CHEN Lin, YIN Yongan, et al. Analysis of extending and applying on drip irrigation under plastic mulch in Nantong area[J]. North Rice, 2014, 44(5): 76-78. (in Chinese)

3 陈学庚,胡斌. 旱田地膜覆盖精量播种机械的研究与设计[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2010:78-111.

4 罗锡文,王在满. 水稻生产全程机械化技术研究进展[J]. 现代农业装备,2014(1):23-29.

5 赵其良,肖明贤. 日本东北地区水稻旱种地膜覆盖栽培技术[J]. 辽宁农业科学,1982(8):52-66.

6 HOCHMUTH G J, HOCHMUTH R C, OLSON S M. Polyethylene mulching for early vegetable production in North Florida [J]. Acta Endocrinologica,1958(2):163-168.

7 LAWRENCE M J, BUCKMASTER D R, LAMONT W J. A pneumatic dibbling machine for plastic mulch [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2007, 23(4): 419-424.

8 田立权,王金武,唐汉,等. 螺旋槽式水稻穴直播排种器设计与性能试验[J]. 农业机械学报,2016,47(5):46-52.
TIAN Liquan, WANG Jinwu, TANG Han, et al. Design and performance experiment of helix grooved rice seeding device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5):46-52. (in Chinese)

9 陈学庚,赵岩. 棉花双膜覆盖精量播种机的研制[J]. 农业工程学报,2010,26(4):106-112.
CHEN Xuegeng, ZHAO Yan. Development of double-film mulch precision planter for cotton seeding[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(4): 106-112. (in Chinese)

10 胡成成,银永安,陈林,等. 膜下滴管不同水稻播种量对水稻产量构成要素的影响[J]. 大麦与谷类科学,2015(3):7-10.
HU Chengcheng, YIN Yongan, CHEN Lin, et al. Effects of different sowing rates on rice yield components under mulched drip irrigation conditions[J]. Barley and Cereal Sciences, 2015(3):7-10. (in Chinese)

11 王士国,康建明,颜利民. 2BM-12 型旱作水稻铺膜铺管播种机的研制[J]. 中国农机化学报,2012(3):74-77.
WANG Shiguo, KANG Jianming, YAN Limin. Design and experiment on 2BM-12 upland rice planter of the development of pipe-laying laying[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2012(3): 74-77. (in Chinese)

- 16 SHAHGOLI G, SAUNDERS C, DESBIOLLES J, et al. An investigation into the performance of vibratory tillage using straight and bent leg tines[J]. Soil Management for Sustainability, Advances in Geoecology, 2006, 39: 21 – 30.
- 17 POJE T. Changes in soil physical status in an orchard following passage of a vibrating subsoiler[J]. SAD, Revija Za Sadjarstvo, Vinogradnistvo in Vinarstvo, 2005, 16(2): 26 – 27.
- 18 NAGASAKI Y, OKAZAKI K, MIYAZAKI M. Development of working system for subsurface tillage. Part 1. Working characteristics of vibrating subsoiler[J]. Bulletin of the Shikoku National Agricultural Experiment Station, 1996, 60: 89 – 104.
- 19 邱立春, 李宝筏. 自激振动深松机减阻试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 72 – 75.
QIU Lichun, LI Baofa. Experimental study on self-excited vibration subsoiler for reducing draft force[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(6): 72 – 75. (in Chinese)
- 20 王雪艳. 振动深松技术与关键部件研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
WANG Xueyan. Study on vibrating subsoiling technology and its key parts[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 21 机械设计手册编委会. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- 22 张嘉昆. 深松(中耕)追肥多功能作业机具关键部件研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
ZHANG Jiakun. Research on the key components of the subsoiling (intertill) topdressing multifunction machine[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- 23 袁志发, 周静芊. 试验设计与分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- ~~~~~

(上接第 95 页)

- 12 陈学庚, 康建明. 水稻膜下滴灌种植与播种机的研究开发[J]. 农机化研究, 2013(3): 2627 – 2631.
CHEN Xuegeng, KANG Jianming. Rice drip irrigation under plastic film cultivation and research development of planter[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013(3): 2627 – 2631. (in Chinese)
- 13 卢勇涛, 陈学庚, 李亚雄. 鸭嘴滚筒式气吸精量穴播器的设计与试验[J]. 中国农机化, 2012(1): 104 – 106.
LU Yongtao, CHEN Xuegeng, LI Yaxiong. Design and experiment on air-suction cotton precision dibbler with duckbilled roller [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2012(1): 104 – 106. (in Chinese)
- 14 王景立. 精密播种机覆土与镇压过程对种子触土后位置控制的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
WANG Jingli. The research of position control after seed contacting soil in the process of soil covering and rolling with precision seeder [D]. Changchun: Jilin University, 2012. (in Chinese)
- 15 张东海. 螺旋输送机的优化研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
ZHANG Donghai. The optimization research of screw conveyer [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2006. (in Chinese)
- 16 马旭, 邝健霞, 齐龙, 等. 水稻田间育秧精密播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(7): 32 – 37.
MA Xu, KUANG Jianxia, QI Long, et al. Design and experiment of precision seeder for rice paddy field seeding [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7): 32 – 27. (in Chinese)
- 17 GB/T6973—2005 单粒(精密)播种机试验方法[S]. 2005.
GB/T6973—2005 Testing method of single seed drills (precision drills) [S]. 2005. (in Chinese)
- 18 NY/T1559—2007 滴灌铺管铺膜精密播种机质量评价技术规范[S]. 2007.
NY/T1559—2007 Technical specification for quality evaluation of pipelaying and film-covering precision drill [S]. 2007. (in Chinese)
- 19 陈林, 程莲, 李丽, 等. 水稻膜下滴灌技术的增产效果与经济效益分析[J]. 中国稻米, 2013, 19(1): 41 – 43.