

同步铺膜铺管旱作水稻播种机的设计与试验

康建明 王士国 陈学庚* 颜利民

(新疆农垦科学院 机械装备研究所,新疆 石河子 832000)

摘要 针对目前旱作水稻不易大规模推广的难题,研制开发一种旱作水稻铺膜铺管播种机。根据旱作水稻种植农艺要求,采用滑刀式开沟器,在距种行水平距离110~130 mm处开出宽45 mm,深20 mm的沟,将滴灌带铺设于沟内;地膜通过随动仿形机构铺设于地表;通过改变容腔容积调整机械翼勺式排种器下种量大小;螺旋导土板将土壤送至种行完成覆土。以杂交稻种“秋田小町”为播种对象,采用3因素4水平的正交试验设计方法,研究播种机前进速度、容种腔长度和种面高度对播种性能的影响。试验结果表明,影响合格指数和重播指数的主次因素为:播种机前进速度>容种腔长度>种面高度;影响漏播指数的主次因素为:容种腔长度>播种机前进速度>种面高度;当播种机前进速度1.0 m/s,容种腔长度14 mm,种面高度140 mm时,播种机播种性能最为优良,此时合格(6~8粒/穴)指数为86.5%,漏播(<6粒/穴)指数为10.2%,重播(>8粒/穴)指数为3.3%,满足旱作水稻农艺种植要求。

关键词 旱作水稻;播种机;排种器;正交试验

中图分类号 S 223.2

文章编号 1007-4333(2016)02-0124-08

文献标志码 A

Design and experiment of synchronous laying membrane and irrigation pipe for dry-land rice planter

KANG Jian-ming, WANG Shi-guo, CHEN Xue-geng*, YAN Li-min

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

Abstract Aiming at the problem of difficulty in large-scale promotion of dry-land rice, a rice membrane laying machine was developed. Based on dry-land rice agronomic requirements, using slide knife type opener, the index of the machine are: 1) Line level distance from 110 mm to 130 mm in trenching 45 mm wide, deep groove of 20 mm and drip irrigation belt laid within the groove; 2) Mulch laid on the surface through follow-up profiling device; 3) By changing the wing teaspoons of vessel volume to adjust the mechanical scoop seeding quantity of wing; 4) Spiral guide plate take soil covering the line. Taking “Akita small town” as sowing object and using 3 factors 4 levels orthogonal experiment design method, we investigated the speed of planter, the opening size of holding tank and seed level effect on the performance of seeding performance. Test results showed that: The primary and secondary factors affecting the index of qualified and replay were the speed of planter, the opening size of holding tank and seed level. The primary and secondary factors affecting leak seeding index were: the opening size of holding tank and the speed of planter and seed level. When the speed of planter was 1.0 m/s, the opening size of holding tank was 14 mm, the seed level was 140 mm, the qualified (6-8 grain/hole) index was 86.5%, the miss-seeding (less than 6 grain/hole) index was 10.2%, and the reseeding (greater than 8 grain/hole) index was 3.3%, the requirement of dry land agricultural planting rice was fully satisfied.

Keywords rice; planter; metering device; orthogonal test

收稿日期: 2015-03-22

基金项目: 国家“863”计划(2011AA100508)

第一作者: 康建明, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事农业机械装备研究, E-mail: kjm531@sina.com

通讯作者: 陈学庚, 院士, 主要从事农业机械装备研究, E-mail: 362256015@qq.com

随着水资源的日益短缺和世界人口的快速增长,传统的水稻生产面临着越来越严重的干旱威胁。膜下滴灌技术与水稻种植技术相结合,产生了水稻膜下滴灌栽培技术。近年来随着此项技术的大面积推广,彻底打破了水稻淹水种植的栽培模式,但目前缺少与该种植技术相配套使用的水稻铺膜播种机^[1-2]。国外的水稻旱直播机主要采用气力取种,无铺膜铺管装置,排种器结构复杂,整机价格昂贵^[3-4]。国内华南农业大学对水稻旱直播技术进行了深入研究,但存在下种量偏大,伤种率高等问题,且以上旱直播技术均不适合于膜下滴灌栽培农艺要求^[5-6]。现有的膜下滴灌播种机主要针对棉花、玉米等作物,采用气吸或窝眼取种的方式,下种量为 1~2 粒,不符合干旱区水稻高密度种植要求^[7-8]。

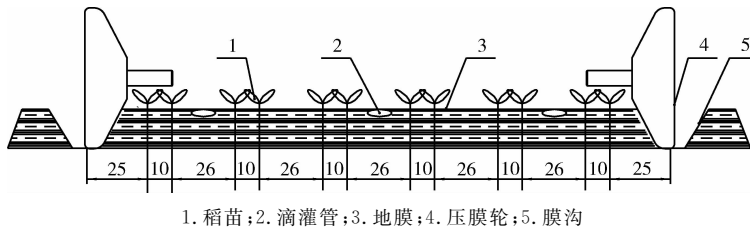
干旱区通常是指降水量 < 200 mm 的地区,该地区光照强,热量充足,利用膜下滴灌技术可有效避免土肥流失,提高农作物产量。针对我国干旱区水稻滴灌高密度种植农艺技术要求,陈学庚^[9]等在棉

花膜下滴灌、膜上播种的基础上,提出了旱作水稻膜下滴灌技术,研制了与该技术配套使用的 2BM-12 型旱作水稻铺膜铺管播种机,该机可一次性完成铺膜、铺管、播种等作业。本研究旨在设计同步铺膜铺管旱作水稻播种机,通过田间试验验证其可行性。

1 同步铺膜铺管旱作水稻播种机工作过程与总体结构

1.1 同步铺膜铺管旱作水稻播种机工作过程

同步铺膜铺管旱作水稻种植模式见图 1。拖拉机牵引播种机在旋耕平整后的土地行驶,畦面整形装置对种床进行清理镇压,浅埋滴灌开沟器开出 1 条 20 mm 深的小沟,滴管带在引导轮的作用下铺入小沟,同时膜边开沟原片开出膜沟,地膜在展膜辊的作用下平铺在地面上,压膜轮将膜边压靠在两侧膜沟内,排种器在地膜上滚筒,完成打膜成穴、播种,随后覆土滚筒将碎土送至种行,完成种行覆土。



1. 稻苗; 2. 滴灌管; 3. 地膜; 4. 压膜轮; 5. 膜沟
1. Rice seedling; 2. Drip irrigation pipe; 3. Mulch; 4. Film pressured wheel; 5. Membrane channel

图 1 1 膜 12 行种植模式示意图

Fig. 1 Sketch of 1 membrane 12 row planting pattern

该种植模式具有以下特点: 1) 根据水稻不同生育阶段对水份的需求, 调节土壤含水量, 实现水稻生长的各生育期均无水层, 使水稻整个生育期用水量控制在 700~800 m³/hm², 达到节水增产的目的。 2) 采用机械直播技术, 将水稻旱作铺管、铺膜、播种一体机械作业相结合, 穴数可达 465 000~495 000 穴/hm², 达到干旱区水稻高密度种植农艺技术要求。

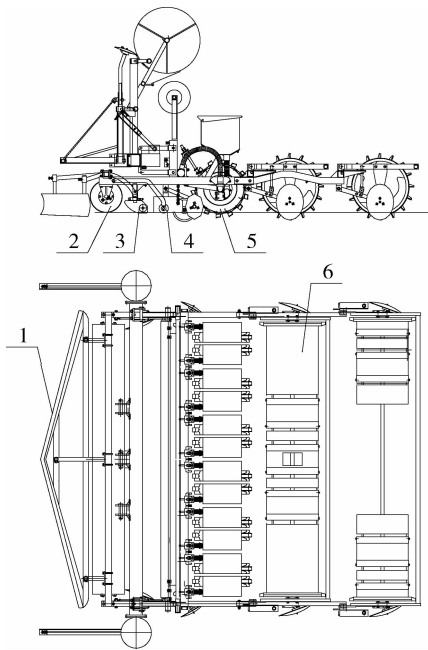
1.2 同步铺膜铺管旱作水稻播种机总体结构

根据旱作水稻膜下滴灌种植技术要求, 课题组研制了 3 种针对不同气候条件的播种机 (2BM-3/24、2BM-3/12 和 2BM-12), 本研究以 2BM-12 型膜下滴灌水稻播种机为例, 阐述其结构及工作原理。本机采用拖拉机 3 点悬挂, 中心对称布置, 可一次完成畦面整形镇压、滴管带浅埋铺设、地膜随动仿形铺设、膜上成穴播种、种行覆土镇压等工序, 整机技术参数见表 1, 总体结构见图 2。

表 1 旱作水稻播种机技术参数

Table 1 Technology parameters of rice planter

参数 Parameter	数值 Value
外形尺寸(长×宽×高)/mm Overall dimensions (length×width×height)	2 945×2 934×1 615
作业幅宽/mm Working width	2 650
作业效率/(hm ² /h) Working efficiency	0.95~1.06
播种深度/mm Sowing depth	20~30
配套动力/kw Fitted power	≥58.8
播种形式 Planting form	穴播
播种行数 Planting rows	12
行距配置/mm Row spacing	100+260



1. 畦面整形装置; 2. 种床镇压装置; 3. 滴管带浅埋铺设装置;
4. 随动仿形铺膜装置; 5. 膜上成穴播种装置; 6. 种行覆土镇压装置
1. Strip surface cleaning equipment; 2. Bed suppression device;
3. Drip irrigation pipe laying device; 4. Profiling membrane device;
5. Seeding apparatus; 6. Covering suppression device

图2 2BM-12型膜下滴灌水稻播种机结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of type 2BM-12 film with drip irrigation of rice planter

2 关键部件设计

2.1 滴管带浅埋开沟器

2.1.1 结构设计

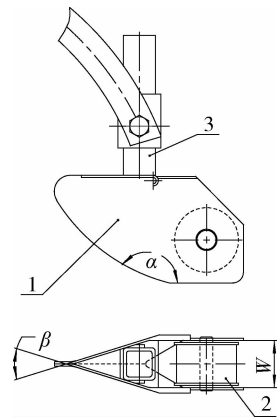
根据滴管带浅埋铺设农艺要求,本机选用入土能力强,结构紧凑,具有回土功能的滑刀式开沟器,通过改变调节杆的位置,实现开沟深度的调节,开沟器内部的导向轮将滴管带铺设于沟底。

2.1.2 参数分析及确定

1) 滑刀入土角 α 。滑刀入土角 α 为开沟器工作面与水平面之间的夹角(图3)。入土角 α 的大小影响开沟器的入土性能和前进阻力。 α 过小,滑刀的滑切作用减弱; α 过大,会造成翻土,回土效果减弱。为减小开沟阻力且保证沟土回流,根据已有研究成果及开沟深度要求^[9],确定入土角 α 为 145° 。

2) 滑刀刃口角 β 。刃口角 β 与开沟宽度 W 和工作阻力成正比,为使刀刃将土壤切开,并减小其工作阻力,根据开沟宽度要求,确定滑刀刃口角 β 为 35° 。

3) 开沟宽度 W 。开沟器幅宽对阻力的影响很



1. 开沟器; 2. 引导轮; 3. 调节杆

1. Ditching; 2. Guide wheel; 3. Adjust lever

α 为滑刀入土角, ($^\circ$); β 为滑刀刃口角, ($^\circ$); W 为开沟宽度, mm。

α is angle of slide knife into soil, ($^\circ$); β is angle of slide blade, ($^\circ$); W is furrow width, mm.

图3 滴管带浅埋铺设开沟器结构示意图

Fig. 3 Structure diagram of ditching for drip irrigation pipe buried

大,随着幅宽的增加,阻力明显增大。减小幅宽,有利于减小阻力,根据浅埋滴灌农艺要求,幅宽取 45 mm。

2.2 随动仿形铺膜装置

随动仿形铺膜装置主要由展膜辊吊臂、展膜辊、压膜轮牵引杆、压膜轮等部件组成(图4)。展膜辊吊臂通过销轴与机架相连,使展膜辊在工作过程中呈浮动状态,随地面仿形,压膜轮将膜边压入膜沟,将地膜固定。

2.2.1 展膜辊长度 L_1 的确定

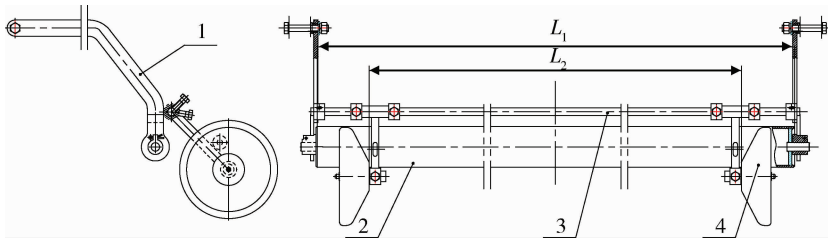
展膜辊由直径为 80 mm 的薄壁钢管制成,其长度与种植模式及地膜宽度 L 有关,展膜辊长度 $L_1 = L + 20$ mm。本机适应的旱作水稻种植模式农艺要求地膜宽度为 2 220 mm,因此,展膜辊长度 L_1 为 2 240 mm。

2.2.2 压膜轮位置 L_2 的确定

压膜轮的作用是将膜边压入沟底,轮面一般呈凹面圆弧形,直径为 200 mm,其位置也与种植模式及地膜宽度有关,内端面距离 $L_2 = L - 200$ mm。因此,当 $L = 2 220$ mm 时, $L_2 = 2 020$ mm。

2.3 排种器

排种器是播种机的核心部件,其性能的好坏直接决定播种机的播种质量。由于稻谷呈细长型,两端尖细,外部有凸棱,与大豆等圆粒状种子相比更难



1. 展膜辊吊臂;2. 展膜辊;3. 压膜轮牵引杆;4. 压膜轮
1. Connection frame of exhibition film roll;2. Exhibition film roll;
3. Traction rod of film pressured wheel;4. Film pressured wheel

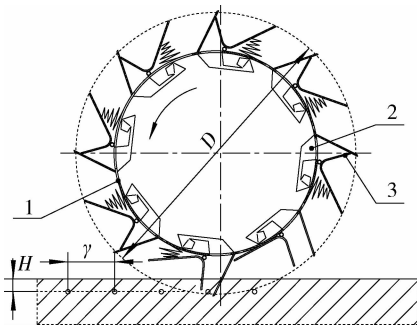
L_1 为展膜辊长度,mm; L_2 为压膜轮位置,mm。

L_1 is length of exhibition film roll,mm; L_2 is position of film pressured wheel,mm.

图 4 展膜辊结构示意图

Fig. 4 Structure diagram of exhibition film roll

充进排种轮的型孔中。根据滴灌水稻每穴 6~8 粒的农艺要求,本机采用机械翼匀滚筒式排种器,主要由排种器壳体、取种勺、鸭嘴式成穴器等组成(图 5)。



1. 排种器壳体;2. 取种器;3. 成穴器

1. Shell of metering device;2. Seed taken device;3. Cavitation device
 H 为播种深度,mm; γ 为播种株距,mm; D 为排种器直径,mm。

H is depth of sowing,mm; γ is distance between seeds,mm;

D is diameter of metering device,mm.

图 5 排种器结构及参数示意图

Fig. 5 Structure and parameters of metering device

2.3.1 排种器直径 D

排种器的直径 D 主要与播种株距 γ 、播种深度 H 及成穴器个数 P 有关,单圈成穴器分布越多,直径越大,反之越小。直径过小,穴播器的滑移率就会增加,影响播种性能。在不考虑滑移率的条件下,排种器直径 D 可根据以下公式计算^[9]:

$$D = \frac{Z\gamma}{\pi} - 2H$$

根据膜下滴灌旱作水稻种植农艺要求,播种株距 γ 取 102 mm,吸孔数 Z 取 13,播种深度 H 取 30 mm,可得排种器直径 D 为 362 mm。

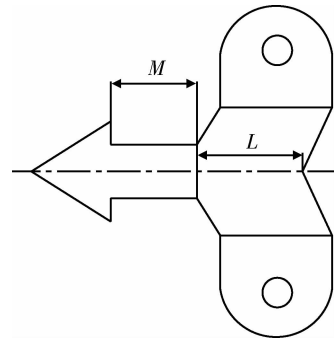
2.3.2 取种器侧孔及容腔长度

工作时,取种器完成充种和分种,当作业速度降低时,取种器通过种子群的时间相对延长,这就有可能使部分种子直接滑入排种口,穴播量增大。根据生产经验及现有成果^[10],取种器侧孔长度 M 和容腔长度 L 分别为:

$$M = (1.5 - 2)d_{\max}$$

$$L = (1.2 - 1.5)d_{\max}$$

式中: d_{\max} 为稻种最大长度,mm。当 d_{\max} 为 8 mm 时, M 为 12~16 mm, L 为 9.6~16 mm,本设计取 $M=14$ mm, $L=14$ mm。



M 为侧孔长度,mm; L 为容腔长度,mm。

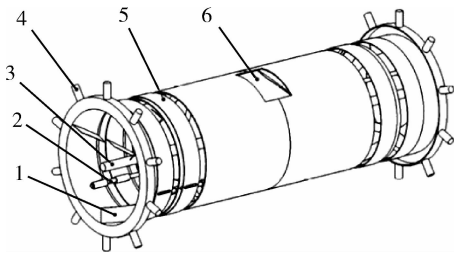
M is the length of side hole,mm; L is the length of vessel,mm.

图 6 取种器结构和参数示意图

Fig. 6 Structure and parameters of seed taken device

2.4 覆土滚筒

覆土滚筒由导土板、驱动抓、调节板、除杂口等组成(图 7),其作用是依靠滚筒内壁上螺旋状的导土板,将膜边的土壤输送至种行,提高种子的出苗率及地膜的抗风吹能力。



1. 导土板;2. 连接销;3. 中轴;4. 驱动抓;5. 调节板;6. 除杂口
1. Soil delivery device; 2. Connecting pin; 3. Intermediate shaft; 4. Drivers caught; 5. Adjustment plate; 6. Windows for impurities rule out

图7 覆土滚筒结构示意图

Fig. 7 Structure diagram of covering roller

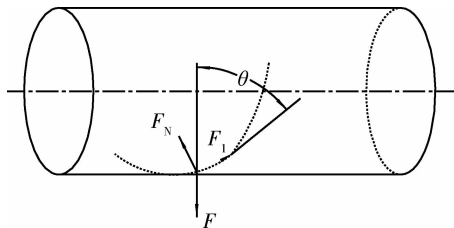
2.4.1 导土板轴向输送土壤的条件

当覆土滚筒沿地面滚动时,进入滚筒的土壤在滚筒内壁摩擦力和导土板的作用下,随着滚筒内壁上升,并在导土板的引导下产生轴向移动。假设导土板上某点的土壤处于临界滑动状态,此时有如下受力关系(图8):

$$F_N = F \cdot \sin\theta \quad (1)$$

$$F_1 = F_N \cdot \tan\varphi \quad (2)$$

式中: F 为土壤自身重力及其他作用力的合力,N; F_1 为土壤与导土板间摩擦力,N; F_N 为导土板对土壤的支撑作用力,N; θ 为 F 与螺旋切线夹角, $(^\circ)$; φ 为导土板表面与土壤的摩擦角, $(^\circ)$ 。



F 为土壤自身重力及其它作用力的合力,N; F_1 为土壤与导土板间摩擦力,N; F_N 为导土板对土壤的支撑作用力,N; θ 为 F 与螺旋切线夹角, $(^\circ)$ 。

F is resultant force of own gravity and other forces, N; F_1 is friction between soil and guide plate, N; F_N is support force of soil to spiral batten, N. θ is angle of F and spiral tangent, $(^\circ)$.

图8 导土板上土壤受力分析

Fig. 8 Force analysis of soil on spiral batten

土壤沿导土板螺旋面滑动条件为:

$$F \cdot \cos\theta > F_1 \quad (3)$$

由式(1)~(3)得: $\theta < \frac{\pi}{2} - \varphi$ 。本设计中, $\varphi = 30^\circ$,因此 $\theta < 60^\circ$ 。

2.4.2 导土板最佳螺旋角 α 的确定

当覆土滚筒转动时,土壤沿导土板轴向运动的速度愈高,其输送土壤的量就愈大,根据土壤运动特点,土壤沿着导土板轴向运动的加速度为 \ddot{z} ,则:

$$m\ddot{z} = N\cos\theta - F_1\sin\theta$$

$$\ddot{z} = \frac{1}{2} \frac{F}{m} (\sin 2\varphi - \tan\varphi \sin^2\theta)$$

令 $\frac{d\ddot{z}}{d\theta} = 0$,则 $\cos 2\theta - \sin 2\theta \tan\varphi = 0$,即 $\alpha = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$ 。

本设计中, $\varphi = 30^\circ$,因此, $\alpha = 30^\circ$ 。

3 田间试验及结果分析

3.1 试验条件及试验指标

2014年5月,课题组对2BM-12型膜下滴灌水稻播种机进行了田间试验。试验选用种子为“秋田小町”,其物料特性为:千粒重23.68g,休止角 27.96° ,含水率16%。

试验参照GB/T 6973—2005《单粒(精量)播种机试验方法》^[11],连续记录50m内播种机稳定工作时排出的600穴种子(每行取50穴),记录每穴的粒数和穴距。各试验指标的计算公式如下:

合格指数

$$Q = \frac{n_1}{600} \times 100\%$$

漏播指数

$$M = \frac{n_2}{600} \times 100\%$$

重播指数

$$R = \frac{n_3}{600} \times 100\%$$

式中: n_1 为穴播量6~8粒/穴时的总穴数; n_2 为穴播量 <6 粒时的总穴数; n_3 为穴播量 >8 粒时的总穴数。

3.2 试验方法及结果分析

通过前期的试验观察和分析,影响排种器排种性能的主要因素是播种机前进速度、容种腔长度和排种器中种面高度。播种机前进速度越快,作业效率越高,但翼勺充种时间减少,漏播指数升高,故设定播种机前进速度范围为0.6~2.0m/s;依据不同品种稻种长度,设计容种腔长度为10~16mm;当种面高度 <90 mm时,翼勺无法充种, >160 mm时,清种时间缩短,重播指数升高,故试验时取种面高度为90~160mm。为明确三者对排种性能的影响

响,以漏播指数、重播指数、合格指数为试验指标,选择 3 因素 4 水平正交表 $L_{16}(4^3)$ 进行试验^[12-15],试验

因素水平见表 2,正交试验方案设计见表 3,试验结果分析见表 4。

表 2 试验因素及水平

Table 2 Levels and factors of experiment

水平 Level	因素水平 Factor level		
	A,播种机前进速度/(m/s)	B,容种腔长度/mm	C,种面高度/mm
	Machine speed	Opening size of volume	Length of seed volume
1	0.6	10	90
2	1.0	12	120
3	1.4	14	140
4	2.0	16	160

表 3 正交试验方案与结果

Table 3 Scheme and results of experiment

试验号 Test number	因素水平 Factor levels					试验结果 Test results		
	A	B	C	对照 1	对照 2	合格指数 Q/% Qualified index	漏播指数 M/% Leak seeding index	重播指数 R/% Replay index
				Contrast 1	Contrast 2			
1	1	1	1	1	1	82.4	7.58	8.36
2	1	2	2	2	2	80.6	9.54	9.86
3	1	3	3	3	3	88.5	7.24	5.42
4	1	4	4	4	4	80.2	8.17	11.6
5	2	1	2	3	4	85.6	8.42	5.98
6	2	2	1	4	3	88.5	9.34	6.58
7	2	3	4	1	2	85.6	7.21	7.19
8	2	4	3	2	1	88.6	7.08	5.21
9	3	1	3	4	2	78.5	9.04	15.8
10	3	2	4	3	1	80.7	10.25	9.05
11	3	3	1	2	4	80.2	8.12	8.62
12	3	4	2	1	3	84.5	9.04	6.46
13	4	1	4	2	3	78.5	8.57	11.4
14	4	2	3	1	4	75.4	8.52	13.4
15	4	3	2	4	1	78.5	7.59	9.88
16	4	4	1	3	2	75.8	10.86	13.3

注:A、B、C 为正交试验因素,定义见表 2。

Note:A、B、C are factors of orthogonal test,definitions are shown in table 2.

表4 试验结果极差分析
Table 4 Results of range analysis

指标 Index	合格指数 Q/% Qualified index			漏播指数 M/% Leak seeding index			重播指数 R/% Replay index		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
K_1	331.7	325.0	326.9	32.5	33.6	35.9	35.3	41.6	36.9
K_2	348.3	325.2	329.2	32.1	37.7	34.6	25.0	38.8	32.2
K_3	323.9	332.8	331.0	36.5	30.2	31.9	39.9	31.1	39.8
K_4	308.2	329.1	325.0	35.5	35.2	34.2	48.0	36.6	39.3
极差 T Rang T	40.1	7.8	6.0	4.4	7.5	4.0	23.1	10.5	7.6
较优水平 Optimal level	$A_2B_3C_3$			$A_2B_3C_3$			$A_2B_3C_2$		
主次因素 Primary and secondary factors	$A>B>C$			$B>A>C$			$A>B>C$		

注: $K_i (i=1,2,3,4)$ 表示任一列上水平号为 i 时, 所对应的试验结果之和。极差 $T = \max\{K_1, K_2, K_3, K_4\} - \min\{K_1, K_2, K_3, K_4\}$ 。

Note: $K_i (i=1,2,3,4)$ represents the sum of corresponding test results, while i is number of any horizontal. Range $T = \max\{K_1, K_2, K_3, K_4\} - \min\{K_1, K_2, K_3, K_4\}$.

由表4可见,影响合格指数和重播指数的主次因素为:播种机前进速度>容种腔长度>种面高度;影响漏播指数的主次因素为:容种腔长度>播种机前进速度>种面高度,较优水平为 $A_2B_3C_3$,对于合格指数和漏播指数的较优水平为 $A_2B_3C_3$,重播指数的较优水平为 $A_2B_3C_2$ 。结合旱作水稻播种的实际生产要求,播种机在田间工作时应在保证合格率的同时,降低漏播指数和重播指数,因此时根据极差分析的结果确定较为适宜的播种条件为 $A_2B_3C_3$,即播种机前进速度 1.0 m/s,容种腔长度 14 mm,种面高度 140 mm。

采用 $A_2B_3C_3$ 的播种条件进行验证试验,所得结果为:当播种机前进速度 1.0 m/s,容种腔长度 14 mm,种面高度 140 mm 时,排种器合格(6~8 粒/穴)指数为 86.5%,漏播(<6 粒/穴)指数为 10.2%,重播(>8 粒/穴)指数为 3.3%,平均株距为 102 mm。相比 $A_2B_3C_2$ (播种机前进速度 1.0 m/s,容种腔长度 14 mm,种面高度 140 mm)所得合格指数为 82.5%,漏播指数为 9.7%,重播指数为 5.8%的试验结果,前者的播种效果更适应于旱作水稻田间播种的实际生产,满足膜下滴灌水稻种植农艺要求。

4 结论

1)本研究设计的同步铺膜铺管旱作水稻播种机,采用滑刀式开沟器,将滴灌带铺设于沟内;通过随动仿形机构将地膜铺设于地表;采用容积可变式容腔调整机械翼勺式排种器下种量大小,可一次性完成开沟、铺膜、铺滴管带、播种、覆土、种行镇压等工序。

2)田间试验结果表明,当播种机前进速度为 1.0 m/s,容种腔长度 14 mm,种面高度 140 mm 时,播种机播种性能最为优良,此时合格指数为 86.5%,漏播率指数为 10.2%,重播指数为 3.3%,平均株距为 102 mm,各项指标均能满足干旱区水稻滴灌高密度种植农艺技术要求。

致谢 2BM-12 型铺膜铺管旱作水稻播种机从方案的设定、整机及关键部件的结构设计和参数确定,以及田间试验得到了课题组成员和科神公司样机制作班的大力支持。感谢周敦兴、黄春辉、曹宇航、李其军在样机制作及田间试验过程中提供的帮助!感谢陈其兵、李新辉在排种器设计过程中提供的宝贵经验!

参 考 文 献

- [1] 岳绚丽, 陈林. 水稻膜下滴灌栽培的农艺与农具配套技术研究[J]. 新疆农机化, 2013(3): 9-10
Yue X L, Chen L. Research of film with drip irrigation cultivation of rice agriculture and agricultural machinery matching technology [J]. *Xinjiang Agricultural Mechanization*, 2013(3): 9-10 (in Chinese)
- [2] 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): 74-78
Chen X G, Kang J M. Research and development of rice drip irrigation under plastic film planter [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2013(3): 7478 (in Chinese)
- [3] Singh R C, Singh G, Saraswat D C. Optimization of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds [J]. *Biosystems Engineering*, 2005, 92(4): 429-438
- [4] Zaki D H, Minaei S, Yousefzadeh T M R. Improvement of vacuum-precision planter by development and application of a pneumatic seed knockout device[J]. *Journal of Agricultural Science*, 2008, 18(2): 220-230
- [5] 曾山, 汤海涛, 罗锡文, 马国辉, 王在满, 臧英, 张明华. 同步开沟起垄施肥水稻精量旱穴直播机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(20): 12-19
Zeng S, Tang H T, Luo X W, Ma G H, Wang Z M, Zang Y, Zhang M H. Design and experiment of precision rice hill-drop drilling machine for dry land with synchronous fertilizing[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(20): 12-19 (in Chinese)
- [6] 罗锡文, 刘涛, 蒋恩臣, 李庆. 水稻精量穴直播排种轮的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 108-112
Luo X W, Liu T, Jian C E, Li Q. Design and experiment of hill sowing wheel of precision rice direct-seeder[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(3): 108-112 (in Chinese)
- [7] 史嵩, 张东兴, 杨丽, 崔涛, 张瑞, 殷小伟. 气压组合孔式玉米精量排种器设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 10-18
Shi G, Zhang D X, Yang L, Cui T, Zhang R, Yin X W. Design and experiment of pneumatic maize precision seed-metering device with combined holes[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(5): 10-18 (in Chinese)
- [8] 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 X G, Zhao Y. Development of double-film mulch precision planter for cotton seeding [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(4): 106-112 (in Chinese)
- [9] 陈学庚, 胡斌. 旱田地膜覆盖精量播种机的研究与设计[M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2010
Chen X G, Hu B. *Research and Design of Dry Field Mulching Film of Precise Seeder* [M]. Urumqi: Xinjiang science and technology press, 2010
- [10] 张学军, 杨莹, 周岭. 滚筒式穴播器的重要参数选择与确定[J]. 农业机械学报, 1998, 29(Z1): 63-66
Zhang X J, Yang Y, Zhou L. Selection and definitiveness on main parameters of bunch planting cylinder [J]. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery*, 1998, 29(Z1): 63-66 (in Chinese)
- [11] GB/T 6973—2005 单粒(精量)播种机试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005
GB/T 6973—2005 Single (Precision) seeder experimental method [S]. Beijing: China Standard Press, 2005-10-24 (in Chinese)
- [12] 祁兵, 张东兴, 刘全威, 杨丽, 史嵩, 崔涛. 集排式精量排种器清种装置设计与性能试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 20-27
Qi B, Zhang D X, Liu Q W, Yang L, Shi G, Cui T. Design and experiment of cleaning performance in a centralized pneumatic metering device for maize [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(1): 20-27 (in Chinese)
- [13] 祁兵, 张东兴, 崔涛. 中央集排气送式玉米精量排种器设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 8-15
Qi B, Zhang D X, Cui T. Design and experiment of centralized pneumatic seed metering device for maize [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(18): 8-15 (in Chinese)
- [14] 张顺, 夏俊芳, 周勇, 崔建波, 郭洋民, 张秀梅, 吴昊. 气力滚筒式水稻直播精量排种器的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 11-19
Zhang S, Xia J F, Zhou Y, Zhai J B, Guo Y M, Zhang X M, Wu H. Design and experiment of pneumatic cylinder-type precision direct seed-metering device for rice [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(1): 11-19 (in Chinese)
- [15] 梁宝忠, 赵永亮, 赵金英, 朱孔欣. 水稻直播机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(Z1): 63-66
Liang B Z, Zhao Y L, Zhao J Y, Zhu K X. Design and test of rice direct seeder [J]. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2012, 43(Z1): 63-66 (in Chinese)