

单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机工作参数优化

辛尚龙¹, 戴飞¹, 石林榕¹, 赵武云¹, 刘凤军², 辛兵帮², 宋广龙²

(1. 甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 酒泉市铸陇机械制造有限公司, 甘肃 酒泉 735000)

摘要: 为获得单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机的最佳工作参数, 通过改变单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机播种作业性能指标的 4 个主要参数: 机具前进速度、旋耕刀组刀头线速度、搅龙轴转速和覆土圆盘倾角, 以播种合格率、膜上覆土厚度为评价指标进行马铃薯播种试验。结合正交试验, 应用综合评分法得出了该机具作业时各参数的最优组合: 机具前进速度为 $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、旋耕刀组刀头线速度为 $0.90\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、搅龙轴转速为 $950\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 、覆土圆盘倾角为 35° 。根据该最优组合作业参数进行试验验证, 试验结果表明, 在此优化试验条件下, 作业机播种合格率均值可达 92.6%, 膜上覆土厚度均值为 40.1 mm, 符合马铃薯种植机质量评价技术规范要求。

关键词: 马铃薯; 播种; 试验; 参数优化

中图分类号: S223.2 **文献标志码:** A

Optimization of working parameters of potato planter with fertilizer and mulching

XIN Shang-long¹, DAI Fei¹, SHI Ling-rong¹, ZHAO Wu-yun¹, LIU Feng-jun², XIN Bing-bang², SONG Guang-long²

(1. School of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Jiuquan Zhulong Machinery Manufacturing Co., Ltd., Jiuquan, Gansu 735000, China)

Abstract: In order to obtain the optimal working parameters of the potato seeder with fertilization and mulching, a study of performance was carried out through changing the 4 major operational parameters as machine speed, line speed of rotary blade, speed of auger shaft and angle of disk coverer. The seeding rate and the thickness of the covering soil with plastic film were evaluated. Combined the orthogonal experiment, the optimal combination of each working parameter was obtained by applying the comprehensive evaluation method. The machine advancing speed of $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, line speed of rotary blade of $0.90\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, speed of auger shaft of $950\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$, angle of disk coverer of 35° were the optimal combination of operating parameters. According the optimal combination of operating parameters, the experiment results showed that under the optimized test conditions the average seeding was 92.6% and the average thickness of the covering soil by plastic film was 40.1 mm, which meets the technical specifications of quality evaluation of potato seeder with fertilization and mulching.

Keywords: potato; sow; experiment; parameter optimization

马铃薯是高产粮食作物之一, 目前, 我国的马铃薯种植面积居世界首位, 并保持逐年增长的趋势^[1-3]。马铃薯机械化播种是马铃薯生产过程中的关键环节之一, 直接影响着马铃薯的种植作业效率与产量。近年来, 甘肃省广泛推广的种植模式是大垄双行马铃薯栽培技术, 即在一条大垄上种植两行马铃薯, 大垄宽度为 1.1 ~ 1.4 m。目前, 有些地区仍然采用的是人工种植的方式, 种植过程中膜上覆土也由人工进行, 无形中增加了马铃薯的种植成本^[4]。马铃薯膜上覆土就是马铃薯出苗前在地膜上

覆盖适当厚度的土壤, 根据土壤压力让幼苗自行冲破地膜出苗。实践证明, 马铃薯膜上覆土可以提高马铃薯播种效率、减少青薯率以及增加产量^[5-6]。马铃薯膜上覆土厚度会直接影响到马铃薯的播种深度, 进而影响马铃薯的生长。因此, 研究马铃薯膜上覆土厚度对马铃薯的种植具有重要的意义^[7-11]。

为解决膜上覆土厚度问题, 减少工时, 自行研制了集施肥、播种、覆膜、覆土为一体的马铃薯播种机。本文主要通过改变单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机的主要作业参数, 进行整机作业性能(播种合格率、

收稿日期: 2016-07-02 修回日期: 2016-09-22
基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503105); 甘肃省科技重大专项计划项目(143NKDJ018)
作者简介: 辛尚龙(1990—), 男, 甘肃秦安人, 硕士, 研究方向为农业工程技术与装备。E-mail: 528980725@qq.com。
通信作者: 赵武云(1966—), 男, 甘肃兰州人, 教授, 博导, 主要从事农业工程技术与装备方面的研究。E-mail: zhaowuy@gsau.edu.cn。

膜上覆土厚度)研究,以期获得该机具关键设计参数的最优组合。

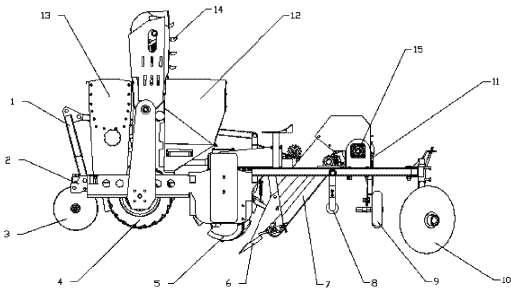
1 试验设备与方法

1.1 整机结构及工作原理

单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机如图 1 所示。主要由悬挂架、机架、肥箱、种箱、土壤升运器、旋耕刀组、取土铲、挂膜装置、搅龙轴、覆土槽、圆盘覆土器等部件组成。

在田间作业时,机具采用四轮拖拉机后置悬挂

方式,通过动力输入变速箱传动刀轴带动旋耕刀组将种床土壤旋耕疏松,随着整机的前进,取土铲完成开沟起垄,地轮分别将动力传递给排肥机构和排种机构的转轴,驱动排肥链轮和排种链轮的转动,完成施肥与播种,同时地膜随挂膜装置的转动前行覆膜。作业机在旋耕刀组和取土铲的共同作用下将土壤送至土壤升运器,在覆土装置的作用下土壤经搅龙轴打碎再顺着覆土槽流下完成膜上覆土,圆盘覆土器完成两侧膜边的覆土作业。



(a) 结构图 Structure diagram



(b) 实物图 Physical model

1. 悬挂架; 2. 机架; 3. 施肥开沟器; 4. 地轮; 5. 旋耕刀组; 6. 取土铲; 7. 土壤升运器; 8. 挂膜装置; 9. 压膜轮; 10. 圆盘覆土器; 11. 覆土槽; 12. 种箱; 13. 肥箱; 14. 取种勺; 15. 搅龙轴

1. Suspension bracket; 2. Frame; 3. Applicator boot; 4. Land wheel; 5. Rotary blade; 6. Clay digger; 7. Soil elevator; 8. Film hanging device; 9. Film pressing wheel; 10. Disk coverer; 11. Soil trough; 12. Seed box; 13. Fertilizer box; 14. Seed spoon; 15. Auger shaft

图 1 单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机结构图和实物图

Fig.1 Structure diagram and physical model of potato seeder with fertilization and mulching on single ridges

1.2 机具结构参数

单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机主要结构参数如表 1 所示。

表 1 马铃薯施肥覆膜播种机结构参数

Table 1 Structure parameters of potato seeder with fertilization and mulching

参数名称 Parameter name	单位 Unit	数值 Value
外形尺寸(长×宽×高) Outline size(length×width×height)	mm	2740×1540×1420
结构质量 Architecture quality	kg	560
配套动力 Auxiliary power	kW	22.10~29.41
生产率 Productivity	hm ² ·h ⁻¹	0.13~0.20
作业速度 Operational speed	m·s ⁻¹	0.55~0.95
播种行数 The number of rows	行	2
工作幅宽 Working width	mm	1000
行距 Row spacing	cm	20
株距 Plant spacing	cm	18~25
种植深度 Planting depth	cm	8~15
起垄高度 Ridging height	cm	30
起垄宽度(上顶) Ridging width (top)	cm	40±5

1.3 工作参数分析

针对甘肃省马铃薯的种植特点,杨来胜等人提出了“马铃薯垄作膜上覆土自然出苗栽培技术”,并给出了膜上覆土厚度的范围为 30~50 mm。课题组前期通过人工膜上不同厚度覆土对马铃薯出苗率及产量影响进行试验研究与验证,进一步得出膜上最佳覆土厚度为 38~42 mm 时种植效果最为适宜。因此,后续正交试验参数优化时,覆土厚度以此为指标。

单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机垄体的耕整、铺设是在作业机具工作过程中先由旋耕刀组和取土铲的共同作用下获取覆膜土壤,即随土壤升运器将覆膜土壤输送至覆土装置,并在覆土槽与覆土圆盘的共同作用下来完成覆膜作业。通过对单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机的改进,设计样机关键部件排肥装置、播种装置已能保证样机田间作业时顺利施肥播种,所起的垄宽与垄高符合农艺技术要求,但地膜上覆土的厚度、播种合格率仍是制约作业机工作性能优劣的核心问题。

因此,除地膜自身质量的优劣外,作业机前进速度 v_1 、旋耕刀组刀头线速度 v_2 、搅龙轴转速、覆土圆盘倾角均与膜上覆土厚度、播种合格率相关。

2 试验设计与分析

2.1 试验条件

单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机田间试验在甘肃酒泉铸陇机械制造有限公司试验田内进行,试验田面积 0.27 hm^2 ,地势平坦,壤土,其含水率为 $15.3\% \sim 16.2\%$ 。试验田依照有关农艺要求,通过变换作业机不同工作参数进行作业,所用地膜为甘肃省政府招标地膜,厚度为 0.01 mm ^[12-13]。

2.2 试验方法

根据作业机的覆土特点,以播种合格率、覆土厚度为评价指标。测定计算单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机的播种合格率(播种合格率包括播深、重播和漏播)和覆土厚度。机具作业后,每隔 10 m 计算 9 个长方形测区($10\text{ m} \times 1\text{ m}$)的马铃薯播种合格率、膜上覆土厚度的数据,再对 9 组数据取平均值。

2.3 单因素试验

考察作业机前进速度、旋耕刀组刀头线速度、搅龙轴转速、覆土圆盘倾角对播种合格率、膜上覆土厚度的影响:(1)设定作业机具的前进速度为 $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,旋耕刀组刀头线速度为 $0.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,覆土圆盘倾角为 45° ,搅龙轴转速分别设为 $650、750、850、950、1050\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$;(2)保持旋耕刀组刀头线速度、覆土圆盘倾角不变,搅龙轴转速取由第 1 组试验得出的较佳值 $950\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,机具前进速度分别取 $0.55、0.65、0.75、0.85、0.95\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;(3)保持机具前进速度 $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,覆土圆盘倾角为 45° ,搅龙轴转速为 $950\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,分别取旋耕刀组刀头线速度为 $0.65、0.75、0.85、0.95、1.05\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;(4)旋耕刀组刀头线速度取由第 3 组试验得出的较佳值 $0.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,机具前进速度 $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,搅龙轴转速为 $950\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,分别取覆土圆盘倾角为 $35^\circ、45^\circ、55^\circ$,观察并记录试验数据^[14]。

2.3.1 搅龙轴转速对播种合格率、膜上覆土厚度的影响 当作业机具的前进速度为 $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,旋耕刀组刀头线速度为 $0.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,覆土圆盘倾角为 45° ,搅龙轴转速分别设为 $650、750、850、950、1050\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 时,播种合格率、膜上覆土厚度随搅龙轴转速的变化如图 2 所示。

由图 2 可以看出,当搅龙轴转速从 $650\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 变化到 $1050\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 时,膜上覆土厚度呈逐渐增加的趋势,因为当搅龙轴转速较低时,从土壤升运器输送上来的土壤不能完全从覆土槽槽口流出,在搅龙

轴轴箱内还保留有一部分的土壤,随着机具的前进,落在膜上的土壤的量会减少,进而影响膜上覆土厚度,相反,搅龙轴转速越高,被搅龙轴打碎的土壤越容易从覆土槽槽口流出,此时膜上覆土厚度也会相应的增加。整个过程中,搅龙轴转速对播种合格率基本没有影响,故只需考虑搅龙轴转速对覆土厚度的影响,而转速过高会导致膜上覆土的厚度过大,综合考虑,取搅龙轴转速为 $950\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

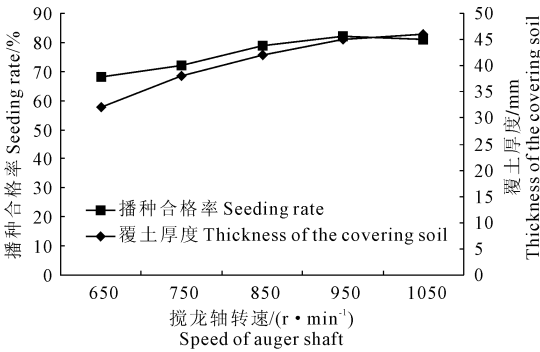


图 2 不同搅龙轴转速对播种合格率和膜上覆土厚度的影响
Fig.2 Influence of different speed of auger shaft on the seeding rate and the thickness of the covering soil with plastic film

2.3.2 机具前进速度对播种合格率、膜上覆土厚度的影响 当旋耕刀组刀头线速度为 $0.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,搅龙轴转速为 $950\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,覆土圆盘倾角为 45° ,机具前进速度分别取 $0.55、0.65、0.75、0.85、0.95\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,播种合格率、膜上覆土厚度随机具前进速度变化如图 3 所示。

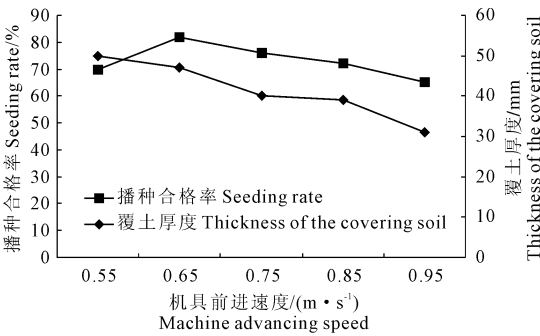


图 3 不同机具前进速度对播种合格率和膜上覆土厚度的影响
Fig.3 Influence of different machine advancing speed on the seeding rate and the thickness of the covering soil with plastic film

由图 3 可以看出,随着机具前进速度的增加,播种合格率增大。当机具前进速度为 $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,播种合格率最高;但是,当机具前进速度继续增加时,播种合格率逐渐降低,而且随着机具前进速度的增加膜上的覆土厚度越来越薄,因此,在综合考虑播种合格率、膜上覆土厚度这两因素的基础上,取机具

前进速度为 $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

2.3.3 旋耕刀组刀头线速度对播种合格率、膜上覆土厚度的影响 当作业机具的前进速度为 $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,搅龙轴转速为 $950\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,覆土圆盘倾角为 45° ,旋耕刀组刀头线速度分别取为 0.65 、 0.75 、 0.85 、 0.95 、 $1.05\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,播种合格率、膜上覆土厚度随旋耕刀组刀头线速度的变化如图 4 所示。

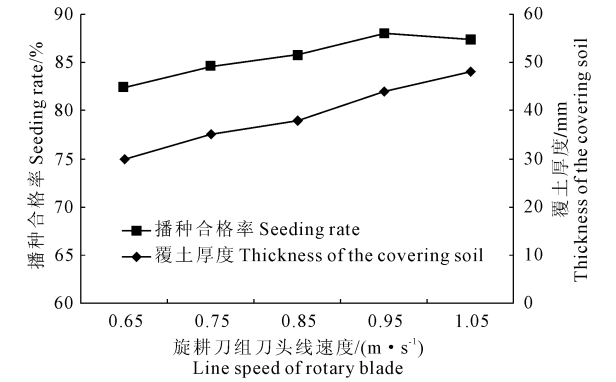


图 4 不同旋耕刀组刀头线速度对播种合格率和膜上覆土厚度的影响

Fig.4 Influence of different line speed of rotary blade on the seeding rate and the thickness of the soil covered with plastic film

由图 4 可以看出,随着旋耕刀组刀头线速度的增加,播种合格率、膜上覆土厚度均有所增大,当旋耕刀组刀头线速度为 $0.95\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,播种合格率最高,膜上覆土厚度也符合厚度基本要求;当旋耕刀组刀头线速度大于 $0.95\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,播种合格率有所下降;综合考虑,取旋耕刀组刀头线速度为 $0.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时较合适。

2.3.4 覆土圆盘倾角对播种合格率、膜上覆土厚度的影响 当作业机具的前进速度为 $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,旋耕刀组刀头线速度为 $0.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,搅龙轴转速为 950

$\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$,覆土圆盘倾角分别取 25° 、 35° 、 45° 、 55° 、 65° 时,播种合格率、膜上覆土厚度随覆土圆盘倾角的变化如图 5 所示。

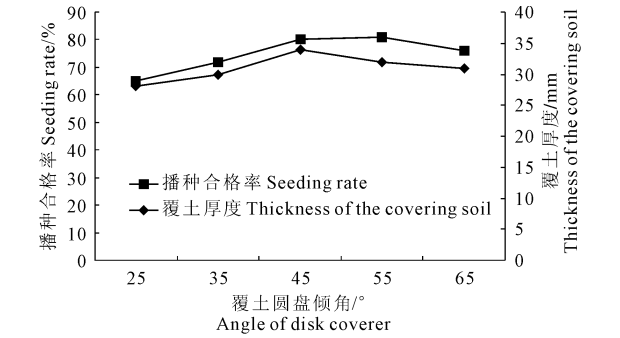


图 5 不同覆土圆盘倾角对播种合格率和膜上覆土厚度的影响
Fig.5 Influence of different angle of disk coverer on the seeding rate and the thickness of the soil covered with plastic film

由图 5 可以看出,随着覆土圆盘倾角的增加,播种合格率、膜上覆土厚度均有所增大,当覆土圆盘倾角为 45° 时,播种合格率最高,此时,对应的膜上覆土厚度也符合厚度要求;当覆土圆盘倾斜角大于 45° 时,播种合格率有所下降;故取覆土圆盘倾角为 45° 较合适。

2.4 正交试验设计及结果分析

依照上述单因素试验,单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机性能试验过程中,选取机具前进速度、旋耕刀组刀头线速度、搅龙轴转速和覆土圆盘倾角 4 个参数作为试验因素。通过改变拖拉机档位和油门的大小来改变播种机的前进速度,覆土圆盘倾角值可手动调节,旋耕刀组刀头线速度及搅龙轴转速均由拖拉机输出轴及传动变速机构控制其大小,试验因素及水平见表 2。

表 2 试验因素及水平
Table 2 Test factors and levels

水平 Levels	因素 Factors			
	A. 机具前进速度 /(m·s ⁻¹)	B. 旋耕刀组刀头线 速度/(m·s ⁻¹)	C. 搅龙轴转速 /(r·min ⁻¹)	D. 覆土圆盘倾角 /(°)
	Machine advancing speed	Line speed of rotary blade	Speed of auger shaft	Angle of disk coverer
1	0.55	0.8	850	35
2	0.65	0.9	950	45
3	0.75	1.0	1050	55

采用四因素三水平正交试验设计,应用综合评分法进行计算分析,得到单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机关键参数的最优组合^[15-16],试验重复 3 次,试验结果如表 3 所示。

由表 3 的试验结果可以看出,通过改变影响播种机作业性能指标的 4 个主要参数,作业机的播种合格率在 $81.4\% \sim 92.4\%$ 之间,膜上覆土厚度控制在 $30.5 \sim 50.1\text{ mm}$ 之间。

表 3 播种机作业性能试验方案与结果

Table 3 Performance testing scheme and testing results of the seeding machine

试验号 Test number	因素 Factors				试验评价指标 Evaluating indicator	
	机具前进速度 /(m·s ⁻¹) Machine advancing speed	旋耕刀组刀头线 速度/(m·s ⁻¹) Line speed of rotary blade	搅龙轴转速 /(r·min ⁻¹) Speed of auger shaft	覆土圆盘倾角 /° Angle of disk coverer	膜上覆土厚度 /mm Thickness of covering soil	播种合格率 /% Seeding rate
1	0.55	0.8	850	35	46.4	83.2
2	0.55	0.9	950	45	47.2	89.5
3	0.55	1.0	1050	55	50.1	87.7
4	0.65	0.8	950	55	44.6	90.3
5	0.65	0.9	1050	35	45.8	92.4
6	0.65	1.0	850	45	41.3	89.3
7	0.75	0.8	1050	45	30.5	81.4
8	0.75	0.9	850	55	34.2	82.1
9	0.75	1.0	950	35	35.3	85.4

对于多指标实验分析应用综合评分法,其中因素 A:机具前进速度(m·s⁻¹)、因素 B:旋耕刀组刀头线速度(m·s⁻¹)、因素 C:搅龙轴转速(r·min⁻¹)、因素 D:覆土圆盘倾角(°);试验指标为播种合格率 Y (%)、膜上覆土厚度 X (mm)。对于马铃薯机械化播种而言,提高播种合格率(包括播深、重播和漏播)是马铃薯播种的关键所在。播种合格率的重要性比膜上覆土厚度的重要性大。因此,按照播种合格率、膜上覆土厚度的权重,若将膜上覆土厚度(X)评 1 分,则播种合格率(Y)评 4 分。每项试验总分应用式(1)进行计算,最优方案参数应结合式(2)计算评分进行极差比较选取。

$$P_i = X + 4Y_i$$

(1)

$$P_A = \max\{P_i\}$$

(2)

式中, P_A 为试验最优参数得分; P_i 为第 i 次试验总分, $i = 1,2,\cdots,9$; X 为第 i 次试验膜上覆土厚度(mm), $i = 1,2,\cdots,9$; Y 为第 i 次试验播种合格率(%), $i = 1,2,\cdots,9$ 。

通过应用综合评分法,由表 4 中极差大小可以得出,影响单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机作业性能的因素主次顺序是:机具前进速度、搅龙轴转速、旋耕刀组刀头线速度、覆土圆盘倾角;播种机作业时各参数的最优组合为: $A_2B_2C_2D_1$,即机具前进速度为 $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,旋耕刀组刀头线速度为 $0.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,搅龙轴转速为 $950\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,覆土圆盘倾角为 35° 。

由各因素的极差可以得出,对影响单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机作业性能最为关键的作业因素是机具前进速度,对试验指标的影响最大,搅龙轴转速、旋耕刀组刀头线速度对试验指标的影响次之,覆

土圆盘倾角对马铃薯播种合格率、膜上覆土厚度的影响最小。因此,在该机具的后续研究过程中,需进一步探明机具前进速度与搅龙轴转速、旋耕刀组刀头线速度之间的相互作用关系。

3 试验验证

为进一步验证正交试验结果所得到的作业机性能参数可靠性,对上述优化方案进行验证试验,将样机覆土圆盘倾角调整为 35° ,控制机具前进速度为 $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、搅龙轴转速为 $950\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 、旋耕刀组刀头线速度 $0.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,进行田间播种作业性能试验验证,仍然按照 2.2 试验方法,试验重复 3 次。试验结果表明,应用最优组合参数进行试验时,马铃薯播种合格率为 92.6% ,膜上覆土厚度均值为 40.1 mm ,符合作业性能要求,说明该优化方案可靠。

4 结 论

1) 为了改善马铃薯种植条件,提高马铃薯的播种合格率及播种效率,对单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机进行了试验研究。其中,机具前进速度、旋耕刀组刀头线速度、搅龙轴转速、覆土圆盘倾角 4 个因素均是影响马铃薯播种合格率、膜上覆土厚度的关键因素。

2) 结合正交试验,通过改变单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机的前进速度、旋耕刀组刀头线速度、搅龙轴转速、覆土圆盘倾角,以马铃薯播种合格率、膜上覆土厚度为评价指标,应用综合评分法得出该机具作业时各参数的最优组合,即机具前进速度为 $0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,旋耕刀组刀头线速度为 $0.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,搅龙轴转速为 $950\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,覆土圆盘倾角为 35° 。

表 4 综合评分法试验结果

Table 4 Test results of comprehensive evaluation method

试验号 Test number	因素 Factors				试验评价指标结果 The test results of evaluation index		综合评分(<i>P</i>) Comprehensive score
	1	2	3	4	膜上覆土厚度(<i>X</i>) Thickness of covering soil	播种合格率(<i>Y</i>) Qualified rate	
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	46.4	83.2	379.2
2	1	2	2	2	47.2	89.5	405.2
3	1	3	3	3	50.1	87.7	400.9
4	2	1	2	3	44.6	90.3	405.8
5	2	2	3	1	45.8	92.4	415.4
6	2	3	1	2	41.3	89.3	398.5
7	3	1	3	2	30.5	81.4	356.1
8	3	2	1	3	34.2	82.1	362.6
9	3	3	2	1	35.3	85.4	376.9
k1	395.1	380.4	380.1	390.5			
k2	406.6	394.4	395.9	386.6			
k3	365.2	392.1	390.8	389.8			
极差 Range	41.1	14.0	15.8	3.9			
最优方案 Optimal scheme	A ₂	B ₂	C ₂	D ₁			

3) 应用最优组合参数进行试验验证,作业机播种合格率均值为 92.6%,膜上覆土厚度均值为 40.1 mm,各项评价指标均符合马铃薯种植机质量评价技术规范相关要求,表明优化后的最优组合参数可以作为单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机田间作业的最佳依据。

参 考 文 献:

[1] 宋言明,王芬娥.国内外马铃薯机械的发展概况[J].农机化研究,2008,(9):224-227.

[2] 王 丽,孙秀俊,王忠伟,等.我国马铃薯机械化种植的现状 & 前景分析[J].农业科技与信息,2011,28(23):51-53.

[3] 刘全威,吴建民,王 蒂,等.马铃薯播种机的研究现状及进展[J].农机化研究,2013,(6):238-241.

[4] 高 波,王昕炜,李 洋,等.1220B 型宽垄双行马铃薯联合作业机的研制[J].农机化研究,2013,(3):121-125.

[5] 杨来胜,席正英,李 玲,等.马铃薯高垄黑膜覆土栽培技术[J].甘肃农业科技,2008,(7):63-64.

[6] 陈建保,张祚恬,郝伯为,等.膜上覆土对旱作覆膜马铃薯生长的影响[J].农业科技通讯,2013,(4):55-58.

[7] 陈 强,韩文贺,王国红,等.春马铃薯膜上覆土技术的应用研究[J].农学报,2015,5(1):1-4.

[8] 刘中良,高俊杰,郑建利,等.二季作早熟马铃薯膜上覆土高产栽培技术[J].长江蔬菜,2016,(1):33-34.

[9] 杨来胜,席正英,李 玲,等.马铃薯高垄膜上覆土自然破膜出苗栽培技术[J].中国蔬菜,2010,(11):47-48.

[10] 马海艳,李国强,安修海,等.马铃薯膜上覆土最佳厚度和时间[J].中国马铃薯,2015,(2):85-87.

[11] 陈建保,张祚恬,郝伯为,等.膜上覆土对旱作覆膜马铃薯生长的影响[J].农业科技通讯,2013,(4):55-58.

[12] NY/T986 – 2006 铺膜机作业质量[S].2006.

[13] DB62/T1935 – 2010 全膜双垄沟铺膜机操作规程及作业质量验收[S].2010.

[14] 戴 飞,赵武云,马明义,等.双垄耕作施肥喷药覆膜机工作参数优化[J].农业机械学报,2016,47(1):83-90.

[15] 陈 魁.实验设计与分析[M].北京:清华大学出版社,2011.

[16] 李云雁,胡传荣.实验设计与数据分析[M].北京:化学工业出版社,2008.