

# 旱塘瓜开沟施肥覆膜覆土复式作业机 设计与试验

刘德江, 龚艳, 王果, 缪友谊, 陈晓, 张晓, 卢鑫羽

(农业农村部南京农业机械化研究所, 江苏南京 210014)

**摘要:**设计了旱塘瓜开沟施肥覆膜覆土复式作业机,突破了化肥精量深施、开沟入土部件节能降耗、沟底无损覆膜等技术难题,可实现旱塘瓜田的化肥深施、开沟起垄、沟底覆膜、膜上覆土的机械化复式作业。该机由机架、三点悬挂机构、传动机构、开沟起垄机构、施肥机构、覆膜机构等组成,可完成侧条施肥深度10~15 cm,施肥量2.7~4.1 kg·hm<sup>-2</sup>精量可调,满足了西北旱塘瓜的化肥深施农艺要求;沟底覆盖的农膜无损伤,且与沟底、沟壁贴合,不仅起到了增温保墒的作用,并有效抑制了杂草生长,使得旱塘瓜全生育期无需施用除草剂;整机功耗<40 kW。该机具经过田间性能试验验证,当作业地块平整,机具行进速度为匀速0.5 m·s<sup>-1</sup>左右时,采光面机械破损程度为41.6 mm·m<sup>-2</sup>,膜边覆土厚度27.3 mm,膜边覆土宽度44.6 mm,膜边覆土厚度合格率96.1%,膜边覆土宽度合格率95.6%,地膜纵向拉伸率92.3%,排肥均匀性变异系数5.6%,开沟深度32.5 cm。试验结果表明相关性能指标均已达到国家标准以及农艺要求,能够实现旱塘瓜开沟施肥覆膜覆土机械化作业,适宜推广应用。

**关键词:**开沟;覆膜;施肥;覆土;复式作业机;旱塘瓜;设计;试验

**中图分类号:**S22;S65 **文献标志码:**A

## Design and test of a compound machine for fertilization, mulching and soil covering in ridge-furrow planting of melon

LIU Dejiang, GONG Yan, WANG Guo, MIU Youyi, CHEN Xiao, ZHANG Xiao, LU Xinyu

(Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing, Jiangsu 210014, China)

**Abstract:** A machine for furrow-ditching, fertilization, and mulching in melon farming was designed. The soil-covering compound operation machine breaks through technical difficulties such as deep application of chemical fertilizers, energy conservation, and reduction of ditching components, non-destructive mulching at the bottom of the ditch, and can realize deep application of fertilizers, ditching, ditch-bottom mulching, as well as mechanized double operation of covering soil with film. The machine consisted of a frame, a three-point suspension mechanism, a transmission mechanism, a ditching ridge mechanism, a fertilizing mechanism, and a film covering mechanism. It can complete the side strip fertilizing depth of 10~15 cm, and the fertilizing amount can be adjusted to 2.7~4.1 kg·hm<sup>-2</sup> accurately. It meets the agronomic requirements of deep-fertilization of chemical fertilizers in ridge-furrow planting of melon in northwestern China. The ditch bottom was covered with film without damage, and fitted with the ditch bottom and ditch wall, which not only played a role in increasing temperature and maintaining water, but also effectively inhibited weed growth in order to eliminate herbicide application during the whole growth season of melons. The power consumption of the whole machine was less than 40 kW. The equipment was verified by field performance tests. When the work area was flat and the machine traveled at a constant speed of about 0.5 m·s<sup>-1</sup>, the degree of mechanical damage to the lighting surface was 41.6 mm·m<sup>-2</sup>, the thickness of the film edge was 27.3

mm, and the width of the film edge was 44.6 mm. The qualified rate of the thickness of the soil on the edge of the film was 96.1%, the qualified rate of the width of the soil on the edge of the film was 95.6%, the longitudinal elongation of the film was 92.3%, the coefficient of variation of the uniformity of fertilizer discharge was 5.6%, and the depth of the trench was 32.5 cm. The test results showed that the relevant performance indicators reached national standards and agronomic requirements, and can realize mechanized operation of fertilizing, mulching, and mulching on soil in ridge-furrow planting of melon.

**Keywords:** furrowing and mulching; fertilization and soil covering; multiple operation machine; ridge-furrow planting of melon; design; experiment

甘肃河西地区是我国西瓜、甜瓜的优势主产区,盛产西瓜、哈密瓜、白兰瓜等优质西甜瓜。由于河西地区为大陆沙漠干旱型气候,降水量小、蒸发量大,为了节约水资源以及确保瓜的品质,该地区露地西、甜瓜通常采用垄作、沟灌的旱塘种植模式,即对瓜田开沟起垄(塘),种瓜于垄顶边缘,结瓜于垄顶中部,沟底灌溉时,既可确保根系充分吸收水分,又可避免瓜果淹水而腐烂。为了集水保墒,需在垄沟及垄顶边缘覆盖整张的塑料地膜,并在垄沟底部的地膜上打孔覆土,使得沟中的灌溉水或蓄集的雨水通过膜孔渗入到膜下并向西甜瓜根系周围的土壤扩散,以此避免土壤中水分的蒸发,此为河西地区独有的垄膜沟灌种植技术。此前种植过程中起垄(塘)的具体步骤为:起垄(塘)前先采用旋耕机进行耕地、整地,按 1.8~2.4 m 的间距预划灌溉沟的中心线,通过人工将基肥均匀条施在灌溉沟中心线两侧 50 cm 的地表处,施肥后沿灌溉沟中心线用铧式犁开沟起垄(塘),将基肥掩埋于从垄(塘)沟中新翻出的土壤下。覆膜的具体步骤为:用耢或耙将垄沿刮平,用幅宽 140 cm 的地膜覆盖垄沟及垄顶边缘的种植带,然后在垄沟底部的地膜上每

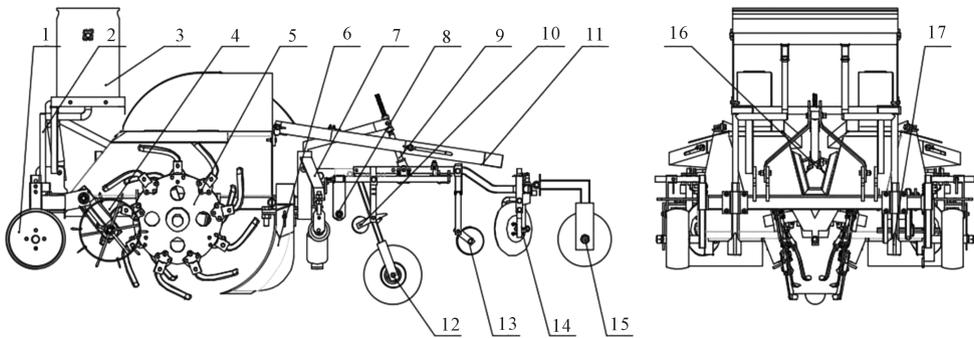
隔 10 cm 打一孔,孔径为  $\phi 2$  cm,最后在垄沟底部覆土。目前的种植过程除用铧式犁开沟器机械化开沟外,播种前刮平垄沿、覆膜、地膜上打孔以及覆土都需要大量人工作业。而现有技术装备均为在平地上覆膜或是起垄后在垄上覆膜,均不符合河西旱塘瓜的种植农艺要求<sup>[1-7]</sup>。

为此,本研究针对旱塘瓜种植模式下劳动强度大、机械化程度低、化肥深施难度大等问题,按照性能稳定、结构简单的技术思路和总体方案,研制了与中小型拖拉机配套的旱塘瓜开沟施肥覆膜覆土复式作业机。

## 1 整机结构与工作原理

### 1.1 结构与参数

根据旱塘瓜垄膜沟灌的种植模式,为一次性达到完成化肥深施、开沟(灌溉沟)、沟沿镇压、沟底覆膜及打孔、膜上覆土等旱塘瓜整地起塘全流程的机械化作业,研制旱塘瓜开沟施肥覆膜覆土复式作业机,该机主要由机架、三点悬挂机构、传动机构、开沟起垄机构、施肥机构、覆膜机构等组成,整机二维图如图 1,三维图如图 2 所示。



1.限深轮; 2.施肥管; 3.施肥箱; 4.施肥地轮; 5.圆盘式开沟器; 6.沟沿成形机构; 7.沟沿镇压机构; 8.挂膜架; 9.压膜管;

10.后机架调节杆; 11.输土机构; 12.沟底压膜轮; 13.垄上压膜轮; 14.膜边覆土机构; 15.垄面镇压辊; 16.变速箱; 17.开沟施肥犁

1. Depth-limit wheel; 2. Fertilizer tube; 3. Fertilizer box; 4. Disc opener; 6. Groove edge forming mechanism; 7. Ditch edge suppression mechanism;

8. Film hanger; 9. Film pressing tube; 10. Rear frame adjustment rod; 11. Soil transport mechanism; 12. Film pressing wheel at the bottom of the ditch;

13. Film pressing wheel on ridge; 14. Film edge covering mechanism; 15. Ridge surface pressure roller; 16. Gearbox; 17. Ditching and fertilizing plow

图 1 旱塘瓜开沟施肥覆膜覆土复式作业机二维总装图

Fig.1 Two-dimensional assembly drawing of the compound machine for covering soil and applying fertilizer in ridge-furrow planting of melon

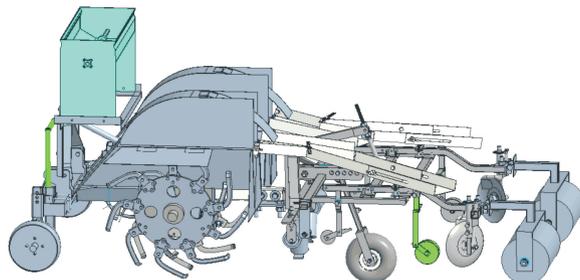


图 2 早塘瓜开沟施肥覆膜覆土复式作业机三维装配图

Fig.2 Three-dimensional assembly drawing of the compound machine for covering soil with fertilizer and mulching in ridge-furrow planting of melon

该机具的机架顶部设有三点悬挂机构和传动机构,机架底部设有开沟起垄机构,开沟起垄机构包括刀轴以及设于刀轴两端的铣抛刀盘;后机架上设有沟底覆土机构,沟底覆土机构包括沟底覆土滑板以及两个分别设于所述铣抛刀盘顶部的上集土罩,上集土罩后侧为出土口,出土口处铰接有出土口调节板,沟底覆土滑板为上宽下窄的梯形槽状结构,沟底覆土滑板顶端与上集土罩的出土口相连、顶端中部设有延伸至底端的“Λ”型分土板,机架最后面带有镇压辊,负责将沟沿压实;后机架通过悬挂架与覆膜机构相连,覆膜机构所覆地膜位于所述沟底覆土滑板下侧,悬挂架中部牵引连接有压膜打孔机构,压膜打孔机构沿覆膜机构所覆地膜表面的中部行走。

整机主要技术参数如表 1 所示。

## 1.2 工作原理

该机具能一次性完成开沟、施肥、覆膜、覆土等工序,按照早塘瓜施肥与种植农艺要求,该机具能满足施肥深度 10~15 cm,施肥量  $2.7 \sim 4.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,精量可调;沟底覆膜农膜无损伤,且与沟底、沟壁贴合,可起到增温保墒和抑制杂草生长的作用。

工作时,开沟施肥覆膜机与配套的四轮拖拉机悬挂连接,施肥沟开沟时,开沟犁在拖拉机的带动下先开出 2 条施肥沟,随着机具的前地轮随拖拉机前进滚动前行,通过和轮毂连接的链轮和传动链带动施肥箱里的排肥机构运动,从而将肥料排进施肥管,均匀播撒在沟沿两侧 10~15 cm 深度处,完成施肥;灌溉沟在开沟犁和双圆盘开沟器的作用下,开出上宽 45~50 cm、下宽 25 cm 左右、深度 30 cm 的沟,双圆盘式开沟器科学利用开沟器铣抛盘高速旋转运动对土堡的切削及升土、抛土作用,将抛土直接输送至沟底与沟沿;覆膜覆土装置中悬挂在挂膜架上的地膜滚筒也随之滚动,随着机具的前进将地

表 1 早塘瓜复式作业机主要技术参数表

Table 1 Main technical parameters of double working machine for ridge-furrow planting of melon

主要参数 Main parameters	单位 Unit	数值 Data
长×宽×高 Length×width×height	mm	3250×1550×1577
拖拉机动力 Tractor power	kW	40
行进速度 Travel speed	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	0.6~0.9
开沟器布置形式 Opener layout form		双圆盘式 Double disc
刀盘转速 Cutter speed	$\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	1500
刀盘回转半径 Turning radius of cutter head	mm	900
覆膜宽度 Film width	m	1.4 m
开沟刀数 Number of ditching tools	个 Number	24
旋耕深度 Rotary tillage depth	mm	50
施肥量 Fertilizer amount	$\text{kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$	40~60 可调 40~60 adjustable
施肥深度 Fertilization depth	mm	100~150

膜覆下,在开沟器抛出土的重力作用下将地膜压下与沟底贴合,分土装置将抛出的土引导至沟沿,将地膜压牢与沟沿贴合,随后的镇压辊将沟沿的土压实,完成覆膜覆土,整个过程即为垄膜沟灌早塘瓜种植模式,种植模式图如图 3 所示。使得沟中的灌溉水或蓄集的雨水通过膜孔渗入到膜下并向西、甜瓜根系周围的土壤扩散,以此避免土壤中水份的蒸发。

## 2 关键部件设计与分析

早塘瓜开沟施肥覆膜覆土复式作业机可实现一个拖拉机手、一个作业流程即可完成化肥深施、开沟(灌溉沟)、沟沿镇压、沟底覆膜及打孔、膜上覆土等早塘瓜整地起塘全流程的机械化作业。整机主要由机架、三点悬挂机构、传动机构、开沟起垄机

构、施肥机构、覆膜机构等部分组成。

### 2.1 开沟装置

开沟装置是该机具的主要工作部件之一,包括开沟犁(施肥沟)、开沟铲,双圆盘式开沟器,其结构如图 4~6 所示。在实际作业时,可以根据开沟宽度及深度的不同要求,更换不同开沟刀或在原有开沟刀的安装位置附加 1 个刀座,即可实现不同沟尺寸的便捷式调节;双圆盘式开沟刀盘上左右开沟刀交错排列减少了开沟阻力,同时科学利用双圆盘式开沟器铣抛盘高速旋转运动对土垡的切削及升土、抛土作用,将抛土直接输送至沟底与沟沿,其中切削线速度为  $10.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,刀盘转速为  $220 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ [8-11]。

该复式作业机开沟施肥、覆膜覆土的过程中,绝大部分功率消耗都在旋耕刀组开沟过程中。为确保复式作业机配套动力合理,需要对旋耕刀组功率消耗进行校核计算

$$P = 0.1K_{\xi}v_1bh \quad (1)$$

$$b = 2b_1 + b_2 \quad (2)$$

式中, $P$  为旋耕刀组功率(kW); $K_{\xi}$  为旋耕比阻,取  $6.5 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-2}$ [12]; $v_1$  为机具前进速度,依据相关数据双垄耕作施肥喷药覆膜机工作参数优化结果,取速

度为  $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $b$  为旋耕刀组开沟宽度(m); $h$  为开沟深度,取 30 cm; $b_1$  为灌溉沟的上宽,依据旱塘瓜种植农艺栽培模式要求,取 50 cm; $b_2$  为灌溉沟的下宽,依据旱塘瓜种植农艺栽培模式要求,取 25 cm。

由上式计算得出: $b = 1.25 \text{ m}$ , $P = 12.19 \text{ kW}$ ,满足拖拉机 40 kW 的动力要求。

开沟犁(施肥沟)采用靴犁式设计,入土角大于  $90^\circ$ ,工作阻力较大,但在附加力的作用下能切入土壤,完成开沟,肥料通过施肥器进入排肥管,再通过开沟犁的进肥口进入土壤里,此种开沟犁开出的沟深一致,有利于作物生长过程中均匀吸收养分[11-15]。

开沟铲采用翼铲式设计,由侧板、安装板、加强板及刀片组成,工作时土壤在铲前凸起,铲的刀片挤压土壤从而开沟,开沟器离开后土壤回落两侧,工作阻力较小[16]。

双圆盘式开沟器有 2 个边缘锋利的倾斜圆盘,刀口交于一点,并形成一夹角,开沟作业时两圆盘沿中间轴转动,靠开沟刀锋利的刀口将土壤切开使土壤沿倾斜圆盘两边移动,并通过输土盘将土直接输送至沟底与沟沿。双圆盘式开沟器开沟整齐,开出的沟宽度较小[16-17]。

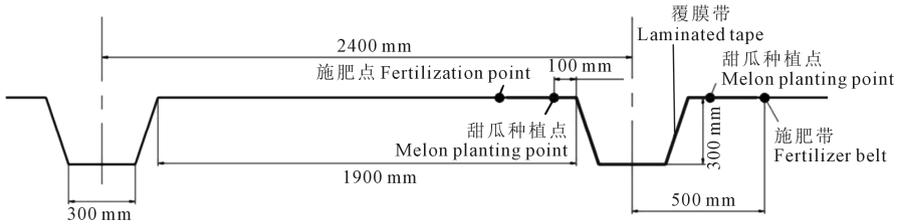


图 3 旱塘瓜种植模式

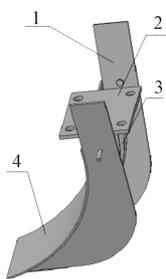
Fig.3 Pattern of ridge-furrow planting of melon



- 1. 进肥口; 2. 开沟犁片
- 1. Inlet of fertilizer;
- 2. Ditching blade

图 4 开沟犁(施肥沟)

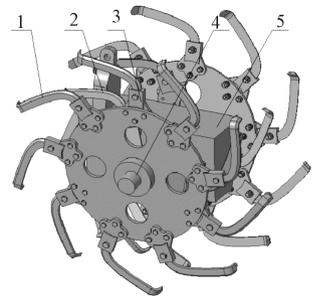
Fig.4 Furrow plough



- 1. 开沟铲侧板; 2. 安装板;
- 3. 开沟铲加强板; 4. 开沟铲刀片
- 1. Ditching shovel side plate; 2. Mounting plate;
- 3. Ditching shovel strengthening plate;
- 4. Ditching shovel blade

图 5 开沟铲

Fig.5 Trenching shovel



- 1. 前开沟刀; 2. 后开沟刀; 3. 开沟刀盘;
- 4. 传动轴; 5. 传动箱
- 1. Front ditching knife; 2. Back ditching knife;
- 3. Grooving knife cutter head; 4. Transmission shaft;
- 5. Transmission case

图 6 双圆盘式开沟器

Fig.6 Double disc type opener

## 2.2 施肥装置

施肥装置主要由施肥箱、排肥管、搅拌轴、调节肥量把手等组成,其结构如图7所示。施肥作业时,机具前进带动限深地轮的转动,从而带动地轮链轮同时转动,地轮链轮再通过链传动带动肥料箱中的搅拌轴将肥料连续均匀地输送到排肥管中,实现施肥作业。根据早塘瓜种植农艺要求,施肥量在 $2.7\sim 4.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 可调,施肥深度在 $10\sim 15\text{ cm}$ ,施肥装置简图如图7所示。

根据生产率计算公式可知:

$$Q = vg/L \quad (3)$$

式中, $Q$ 为生产率; $v$ 为机具前进速度( $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ); $g$ 为单株平均施肥量( $9.5\text{ kg}\cdot\text{株}^{-1}$ ); $L$ 为开沟施肥机前进距离(1 m)。

搅拌轴转速为:

$$n = Q/(47D^2\gamma\Phi)$$

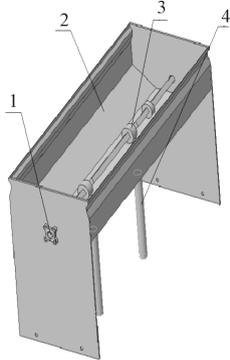
式中, $D$ 为搅拌轴直径(0.2 m); $\gamma$ 为物料的容重( $0.7\text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$ ); $\Phi$ 为充满系数(0.8)。

将 $Q$ 代入搅拌轴转速公式得 $n = vg/L(47D^2\gamma\Phi)$ ,计算得出搅拌轴转速 $n = 45\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

## 2.3 导土装置

导土装置结构如图8所示,主要由上导土板、下导土板、导土分流拉杆、铰链、蝶形锁紧螺母等组成。当作业机前进时,带动开沟器铰抛盘高速旋转,高速旋转运动的刀盘刀片对土堡产生切削及升土、抛土作用,将抛土直接输送至导土装置上,通过导土板将土引导至沟底与沟沿,对地膜起到压紧作用。

该导土装置采用沟底沟沿分流落土的方式,沟沿落土位置可根据实际情况进行适当调节,通过下导土板伸缩可实现调节。作业过程中,要确保落入沟底以及沟沿的土适量,不能太多也不能太少,沟沿



1. 调节肥量把手;2. 施肥箱;3. 搅拌轴;4. 排肥管  
1. Adjust handle for the fertilizer amount; 2. Fertilizer box;  
3. Mixing shaft; 4. Fertilizer discharge pipe

图7 施肥装置

Fig.7 The structure of fertilizer application

的土要足够压住地膜边缘,沟底的土要能保证将地膜压下去与沟底贴合,沟底导土口宽度为 $160\text{ mm}$ ,沟沿导土口宽度为 $200\text{ mm}$ ,下导土板可调伸缩距离为 $250\text{ mm}$ 。

机具作业过程中沟底压膜及沟沿压膜都需要输入一定量的土,输土量计算公式如下:

$$M = M_1 + M_2 + M_3 \quad (5)$$

式中, $M$ 为总输土量(kg); $M_1$ 为左侧压膜导土量(kg); $M_2$ 为右侧压膜导土量(kg); $M_3$ 为沟底压膜导土量(kg)。

由机具导土结构可知,左右输土量对称相等,则有

$$M_1 = M_2 = rH_1B_1h \quad (6)$$

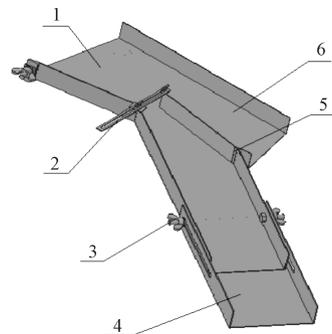
$$M_3 = rH_1B_2h \quad (7)$$

式中, $r$ 为土壤容重(沙土),取 $1\ 300\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;  $H_1$ 为种植施肥沟间隔距离( $1\ 900\text{ mm}$ ); $B_1$ 为膜边覆土宽度( $44.6\text{ mm}$ ); $B_2$ 为沟底覆土宽度( $80\text{ mm}$ ); $h$ 为覆土厚度( $25\text{ mm}$ )。

计算得出 $M_1 = M_2 = 2.755\text{ kg}$ , $M_3 = 4.94\text{ kg}$ ,从而总的覆土量 $M = 10.448\text{ kg}$ 。

## 2.4 沟型滚轮装置

沟型滚轮装置由滚轮架横杆,上、下滚轮,上、下滚轮拉杆等组成,上、下滚轮的外形尺寸由种植沟截面以及地膜宽度而定,上滚轮主要挤压沟沿上平面,下滚轮主要挤压沟侧面,以此来稳固沟型。上滚轮直径为 $115\text{ mm}$ ,长度为 $300\text{ mm}$ ,下滚轮直径也为 $115\text{ mm}$ ,长度为 $150\text{ mm}$ 。沟型滚轮的安高度根据实际开沟深度决定,但需使上滚轮的下边缘低于开沟铲的底部位置。沟型滚轮装置三维图如图9所示。



1. 上导土板;2. 导土板分流拉杆;3. 蝶形锁紧螺母;  
4. 下导土板;5. 铰链;6. 沟底导土出口

1. Upper soil guide plate; 2. Soil guide plate diversion rod;  
3. Butterfly lock nut; 4. Lower soil guide plate; 5. Hinge;  
6. Soil guide outlet at the bottom of the trench

图8 导土装置

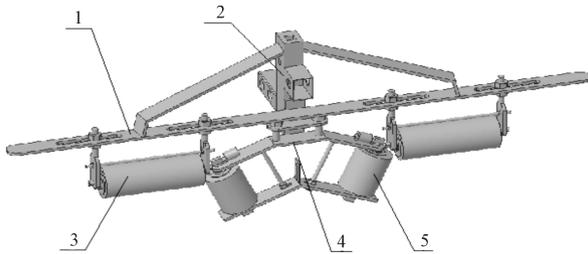
Fig.8 Soil guide device

### 2.5 覆膜覆土装置

覆膜装置主要由挂膜架、展膜架、机架、沟底以及沟沿压膜轮、覆土盘等组成,如图 10 所示。挂膜架是地膜在机具上的安装支架,挂膜架滚轮长度由所覆地膜宽度决定,此处采用地膜宽度为 1 200 mm,所以挂膜架上滚轮长度 1 400 mm。沟底压膜轮可保证膜和沟底贴合良好,展膜架上挂的展膜辊可使地膜适当展开,沟沿压膜轮确保地膜平整铺展在沟沿,覆土盘的作用是挂起地表少量的土壤,将覆在沟沿部分的地膜压紧。该部分设计的覆土盘覆土角度、高度,以及其他部件的安装位置均是可调的,方便在作业过程中适时调整。

### 2.6 镇压辊部件

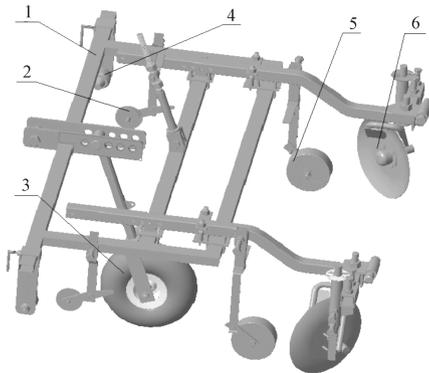
镇压辊由镇压辊安装支架、镇压辊等组成,镇压辊的作用是使得落在沟沿上的土更加紧实地压住沟沿上的地膜,根据实际需要镇压辊直径为 300 mm,镇压辊长度为 520 mm。镇压辊部件图如图 11 所示。



1. 滚轮架横杆; 2. 滚轮架连接梁; 3. 上滚轮; 4. 下滚轮架; 5. 下滚轮  
 1. Roller rack cross bar; 2. Roller rack connecting beam;  
 3. Upper roller; 4. Lower roller frame; 5. Lower roller

图 9 沟型滚轮装置

Fig.9 Groove roller device



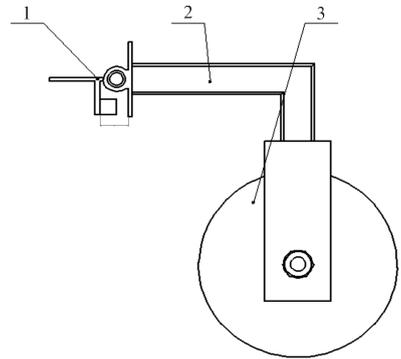
1. 覆膜装置机架; 2. 展膜辊挂架; 3. 沟底压膜轮;  
 4. 挂膜架; 5. 沟沿压膜轮; 6. 覆土盘  
 1. Laminating device frame; 2. Film spreading roller hanger;  
 3. Ditch bottom film pressing wheel; 4. Film hanger;  
 5. Ditch edge pressing film wheel; 6. Soil covering plate

图 10 覆膜覆土装置

Fig.10 Film-covered soil-covering device

### 2.7 机架设计

机架是使各个零件连接成一个整体的重要部件,悬挂式机具的机架是将这个整体与动力机械连接的关键组成。机架设计的过程中不仅要考虑本身的连接功能,还应根据具体作业环境和开沟覆膜机的性能要求考虑以下几个方面:(1) 机架设计主要应保证刚度、强度及稳定性要求;(2) 机架结构设计应尽量简单并且合理,便于与动力机械结合及其他零部件的拆装;(3) 机架设计应预留调整零部件的安装空间,如螺纹孔等,当开沟尺寸发生变化时,零部件应能较好变换位置;(4) 机架的耐腐蚀性和抗震性应该较好。本文中的机具机架主要由方钢焊接而成,前机架呈箱体式结构,后机架呈框架式结构,结构简单,方便开沟器、施肥器、覆膜覆土装置、地轮、镇压辊等零部件的安装。前机架三维图如图 12 所示,后机架三维图如图 13 所示。



1. 镇压辊连接板; 2. 镇压辊安装支架; 3. 镇压辊  
 1. Pressure roller connecting plate;  
 2. Pressure roller mounting bracket; 3. Pressure roller

图 11 镇压辊部件

Fig.11 Roller components

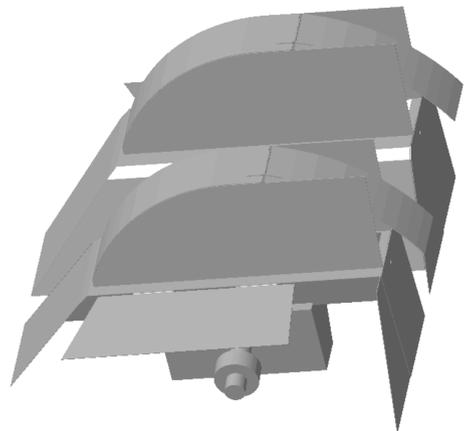


图 12 前机架

Fig.12 Front rack

### 3 田间试验与结果分析

#### 3.1 试验条件与材料

2019年3月,在甘肃省张掖市高台县早塘瓜种植试验基地进行了早塘瓜开沟施肥覆膜覆土复式作业机的田间作业性能试验。试验地土壤为沙土,土壤含水率为9.9%~15.3%,取样深度为5~40 cm对应土壤硬度为17~368 MPa。试验时田间较平整,土壤疏松,无作物与杂草。进行试验前,对复式作业机进行调试。如图14所示,在施肥箱中倒入颗粒化肥,通过施肥量调节把手将施肥调整至4.1 kg·hm<sup>-2</sup>,在覆膜装置的挂膜架上安装地膜,地膜厚度为0.03 mm,并将地膜拉至展膜辊下铺在预先挖好的沟里并在膜边缘盖上土,机具动力源配套拖拉机动力为40 kW 约翰迪尔3B-554型轮式拖拉机,试验时速度为0.5 m·s<sup>-1</sup>。机具现场作业效果图如图14所示。

#### 3.2 试验方法

按照JB/T-7732-2006铺膜机标准、JB/T8401.1-2007旋耕施肥机作业标准、JB/T11908-2014农用圆盘开沟机的要求<sup>[18-20]</sup>,计算早塘瓜开沟施肥覆膜覆土复式作业机田间作业后的以下几项指标:采光面机械破损程度、膜边覆土厚度和宽度及合格率、地膜纵向拉伸率、开沟深度、排肥稳定性变异系数等<sup>[13]</sup>。



图13 后机架  
Fig.13 Rear frame



图14 现场作业效果  
Fig.14 Field operation demonstration

采光面机械破损程度展开度的测定方法<sup>[13]</sup>为:以1.2 m(地膜宽度)×5 m(测试区域长度)的面积为1个测试小区,在小区各个测试点处用钢尺进行人工测量以得到各测试区内的采光面地膜上所有机械破损部位的边长或者缝长(当 $S_c \leq 50 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$ 复式作业机性能符合要求),以2个小区的测定平均值为测试结果。采光面地膜机械破损程度计算公式如下:

$$S_c = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{lb} \quad (8)$$

式中, $S_c$ 为采光面地膜机械破损程度( $\text{mm} \cdot \text{m}^{-2}$ ); $l_i$ 为测试区内第*i*个机械破损部位的边长或者缝长(mm); $n$ 为测试区内出现机械破损部位的个数; $l$ 为测试区长度(m); $b$ 为测区内采光面地膜宽度平均值(m)。

膜边覆土厚度和宽度的测试方法<sup>[14-19]</sup>如下:在测试小区内,测试膜边覆土宽度和厚度(标准规定:膜边覆土宽度 $\geq 35 \text{ mm}$ ,膜边覆土厚度 $\geq 25 \text{ mm}$ ),按下式分别计算膜边覆土宽度和厚度的合格率:

$$\theta = \frac{g}{G} \times 100 \quad (9)$$

式中, $\theta$ 为膜边覆土宽度或膜边覆土厚度合格率; $G$ 为小区内各性能指标分别测定的总数量(个); $g$ 为膜孔全覆土数量(个)。

地膜纵向拉伸率测试方法:在测试小区内,铺膜后,测量地膜的纵向程度增量与地膜原宽度之比即为地膜纵向拉伸率:

$$\xi = \frac{b}{b_0} \times 100\% \quad (10)$$

式中: $b$ 表示铺膜后地膜的纵向增量(m); $b_0$ 表示地膜原长度,本文中地膜宽度为1.2 m。

开沟深度测试方法<sup>[14]</sup>为:测量2个作业行程,每个作业行程长度不小于30 m,沿行程方向等间距测4处开沟的深度,共测8处,测试前先清除沟底及抛洒在沟旁边的土块,用深度测量仪测试沟底距离地平面的距离,作为该测试点的开沟深度,按下式计算得出平均开沟深度:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{N} \quad (11)$$

式中, $h$ 表示平均开沟深度(cm); $h_i$ 表示第*i*个测试点的开沟深度值(cm); $N$ 表示测试小区内选定的测量点个数, $N = n = 8$ 。

排肥稳定性测试,测试方法为先计算出施肥

量,再根据实际施肥量计算出排肥稳定性变异系数<sup>[14]</sup>。施肥量计算如下:

$$Q = \frac{10q}{\pi DnaM} \quad (12)$$

式中, $Q$ 表示实际排肥量( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ); $q$ 表示地轮旋转  $n$  转所测定的排肥口排肥量的平均值( $\text{kg}$ ); $D$ 表示地轮直径( $\text{m}$ ); $a$ 表示平均行距( $\text{m}$ ); $M$ 表示试验机具的作业行数。

排肥稳定性变异系数测试,试验时,肥箱内的肥料应加入不少于箱内容量的一半,并设置不低于 30 m 的作业测试区<sup>[14-15]</sup>,按下式计算:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (13)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n - 1}} \quad (14)$$

$$V = \frac{S}{x} \quad (15)$$

式中, $x_i$ 表示每次总的排肥量( $\text{g}$ ); $x$ 表示每次总排肥量的平均值( $\text{g}$ ); $S$ 表示总排肥量稳定性的标准差( $\text{g}$ ); $V$ 表示总排肥量稳定性的变异系数( $\%$ ); $n$ 为总的测定次数。

### 3.3 试验结果与分析

旱塘瓜开沟施肥覆膜覆土复式作业机田间试验结果如表 2 所示,由试验结果可知,试验各项性能指标均达到相关标准要求。

表 2 田间试验结果

Table 2 Result of field experiment

作业性能指标 Performance index	单位 Unit	标准 Standard	试验测量值 Test measurement value
采光面机械破损程度 Mechanical damage degree of daylighting surface	$\text{mm} \cdot \text{m}^{-2}$	$\leq 50$	41.6
膜边覆土厚度 Thickness of covering soil	mm	$\geq 25$	27.3
膜边覆土宽度 Width of film edge covering	mm	$\geq 35$	44.6
膜边覆土厚度合格率 Qualified rate of thickness of covering soil	%	$\geq 95$	96.1
膜边覆土宽度合格率 Qualified rate of width of membrane edge covering soil	%	$\geq 95$	95.6
地膜纵向拉伸率 Longitudinal stretch rate of mulch film	%	$\geq 90$	92.3
排肥均匀性变异系数 Coefficient of variation of fertilizer uniformity	%	$\leq 7.8$	5.6
开沟深度 Trench depth	cm	30 左右 (农艺要求) Around 30 (agronomic requirements)	32.5

试验时,当地块平整且土质疏松的时候,作业机平稳前行,样机各关键部件性能稳定时,作业效果质量都是最佳的。若田间地块不平整或者前进速度不稳定,会引起对地膜的过分拉扯和施肥量的不稳定,从而造成覆盖的地膜与沟底沟沿贴合不紧实而出现垄沟地膜架空,施肥深度达不到 10~15 cm,施肥量不均匀。当土壤硬度或者土壤含水率过大时,粘滞的土壤则会影响到圆盘开沟器抛土量以及覆土装置输土部件的输土量,导致沟沿膜边压土量不足,沟底输土量过少也会造成地膜与沟底贴合不实。因而在作业时,应首先把地块整平,然后将急剧作业行进速度控制稳定,以此确保开沟刀组与田间实际状况最佳时作业,以获取最高质量的作业效果。

机具性能试验表明,机具各项性能指标均达标,开沟深度 32.5 cm 满足旱塘瓜种植农艺要求,膜边覆土厚度 27.3 mm,膜边覆土宽度 44.6 mm,合格率分别达到了 96.1% 和 95.6%,地膜纵向拉伸率 92.3%,排肥均匀性系数 5.6%,均已达到标准要求。

## 4 结 论

1) 针对旱塘瓜垄膜沟灌种植模式下化肥利用率低,化肥深施、开沟覆膜等减肥增效农艺技术缺乏配套机械化装备的现状,研发了旱塘瓜开沟施肥覆膜覆土复式作业机,对样机的开沟装置、施肥装置、覆膜覆土部件、镇压装置等关键部件进行了设计与选型,并根据相关作业质量要求完成了对部分关键部件的参数设计与分析;

2) 该机具结构紧凑、调试方便,一个作业流程即可完成化肥深施、开 30 cm 灌溉沟、沟沿镇压、沟底覆膜及打孔、膜上覆土等旱塘瓜整地起塘全流程的机械化作业,减少机具进地次数、提高作业效率和质量、减轻劳动强度,作业效率是人工的 10 倍以上,符合旱塘瓜垄膜沟灌的农艺种植要求。

3) 经过田间性能试验验证,采光面机械破损程度为  $41.6 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-2}$ ,膜边覆土厚度 27.3 mm,膜边覆土宽度 44.6 mm,膜边覆土厚度合格率 96.1%,膜边覆土宽度合格率 95.6%,地膜纵向拉伸率 92.3%,排肥均匀性变异系数 5.6%,开沟深度 32.5 cm。试验结果表明相关性能指标均已达到国家标准以及农艺要求,能够实现旱塘瓜开沟施肥覆膜覆土机械化作业,适宜推广应用。

## 参考文献:

- [1] 常有宏,吕晓兰,蔺经,等.我国果园机械化现状与发展思路[J].中国农机化学报,2013,34(6):21-26.
- [2] 苏子昊,兰峰,黎子明,等.国内外果园开沟施肥机械现状分析[J].农业机械,2014,(8):134-137.
- [3] 张琦,王伟,廖结安.国内外果园施肥开沟机的研究现状[J].农机化研究,2016,38(5):264-268.
- [4] 路宗尧,孙友谊,任连志,等.全膜双垄沟旋耕起垄覆膜机的设计和试验研究[J].甘肃农业大学学报,2015,(5):161-165.
- [5] 罗海玉,张纯杰.小动力全膜双垄沟覆膜机关键技术分析[J].农业技术与装备,2014,(4):4-5,7.
- [6] 罗海玉,汪利林,折立旺.小动力全膜双垄沟覆膜机设计与试验[J].农业机械,2013,(10):142-145.
- [7] 申屠留芳,张炎,唐立杰,等.新型地膜覆膜机的研制[J].中国农机化学报,2016,37(10):33-35,226.
- [8] 安世才,张勇,王赞,等.起垄全铺膜联合作业机的设计与试验研究[J].中国农机化,2009,(6):73-76.
- [9] 孙伟,刘小龙,张华,等.马铃薯施肥播种起垄全膜覆盖种行覆土一体机设计[J].农业工程学报,2017,33(20):14-22.
- [10] 赵立军,周福君.2BF-1400型水稻覆膜播种机整地覆膜机构设计[J].农机化研究,2010,32(9):118-121.
- [11] 朱继平,袁栋,丁艳,等.超大圆盘开沟机抛土特性的研究及参数选择[J].农机化研究,2012,34(4):46-50,57.
- [12] 戴飞,赵武云,史瑞杰,等.横腰带覆土式全膜双垄沟覆膜联合作业机设计与试验[J].农业机械学报,2019,(6):130-139.
- [13] 李光新,刘建成,官鑫,等.果园开沟施肥覆土机的设计与试验[J].甘肃农业大学学报,2017,52(3):154-160.
- [14] 夏瑞花,吴董军,蒙贺伟.2FPG-40型葡萄开沟施肥机的设计与试验[J].中国农机化学报,2018,39(12):36-40.
- [15] 张园,欧忠庆,崔振德,等.双辊组合式菠萝叶粉碎还田机的设计与试验分析[J].中国农业科技导报,2017,19(7):78-86.
- [16] 朱利元.2CM--2马铃薯起垄覆膜播种机的研制与试验[D].咸阳:西北农林科技大学,2017.
- [17] 史增录,赵武云,马海军,等.全膜双垄沟播起垄施肥铺膜机的研制[J].干旱地区农业研究,2012,30(2):169-174.
- [18] 中华人民共和国工业和信息化部.JB/T-7732-2006 铺膜机标准[S].北京:机械工业出版社,2006.
- [19] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.JB/T8401.1-2007 旋耕施肥机作业标准[S].北京:机械工业出版社,2007.
- [20] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.JB/T11908-2014 农用圆盘开沟机标准[S].北京:机械工业出版社,2014.

(上接第197页)

## 参考文献:

- [1] 王隆.土壤有机质及其与土壤肥力的关系[J].山西农业科学,1983,11:15-26.
- [2] 杨景成,韩兴国,黄建辉,等.土壤有机质对农田管理措施的动态响应[J].生态学报,2003,23(4):787-796.
- [3] 李巧玲,阎欣,吴秀芝,等.荒漠草原沙漠化对土壤无机碳和有机碳的影响[J].水土保持学报,2019,33(1):98-103,110.
- [4] 张凯,徐慧敏,李秧秧.坡向与植物群落对水蚀风蚀交错带土壤有机碳氮的影响[J].水土保持学报,2018,32(6):156-165.
- [5] 孟凡乔,吴文良,辛德惠.高产农田土壤有机质、养分的变化规律与作物产量的关系[J].植物营养与肥料学报,2000,6(4):370.
- [6] 向蕊,伊文博,赵薇,等.间作对土壤团聚体有机碳储量的影响及其氮调控效应[J].水土保持学报,2019,33(5):303-308.
- [7] 刘德辉,郭巧生,孙玉华,等.苏北中药材种植地土壤肥力衰退原因及其恢复对策[J].土壤通报,2000,31(2):76-78.
- [8] Mabit L, Bernard C. Spatial distribution and content of soil organic matter in an agricultural field in eastern Canada, as estimated from geostatistical tools [J]. Earth Surface Processes & Landforms, 2010, 35(3):278-283.
- [9] Marchetti A, Piccini C, Francaviglia R, et al. Spatial distribution of soil organic matter using geostatistics: a key indicator to assess soil degradation status in central Italy [J]. Pedosphere, 2012, 22(2):230-242.
- [10] 吴才武,夏建新,段峥嵘.土壤有机质预测性制图方法研究进展[J].土壤通报,2015,46(1):239-247.
- [11] 段丽君,张海涛,郭龙,等.典型柑橘种植区土壤有机质空间分布与含量预测[J].华中农业大学学报,2019,38(1):73-81.
- [12] 陈慕松,范晓晖,吴寿华.基于不同空间插值类型的耕地土壤有机质空间变异性分析[J].江西农业学报,2018,30(10):55-59.
- [13] 徐苏源,衣华鹏,闫潍虹,等.南长山岛土壤理化因子空间分布特征[J].水土保持通报,2018,38(2):110-114.
- [14] 陈芳,盖艾鸿,李纯斌.甘肃省土壤有机碳储量及空间分布[J].干旱区资源与环境,2009,23(11):176-181.
- [15] 王桂琴.陇西县耕地土壤养分状况评价[J].甘肃农业,2013,(13):25-27.
- [16] 陇西县志编撰委员会.陇西县志[M].兰州:甘肃人民出版社,1990:1-116.
- [17] 鲍士旦.土壤化学分析[M].北京:中国农业出版社,1980:19-79.
- [18] 蒋文惠.地形和土地利用对山区土壤养分空间变异的影响[D].泰安:山东农业大学,2014.
- [19] 孙忠祥,李勇,赵云泽,等.旱作区土壤有机质密度空间分布特征与其驱动力分析[J].农业机械学报,2019,50(1):255-262.
- [20] 王丽华,薛晶月,谢雨,等.不同气候类型下四川草地土壤有机碳空间分布及影响因素[J].植物生态学报,2018,42(3):297-306.
- [21] 刘立文,徐立帅,段永红,等.山西农谷土壤养分空间特征分布研究[J].山西农业科学,2018,46(11):1882-1886.
- [22] 张城,王绍强,于贵瑞,等.中国东部地区典型森林类型土壤有机碳储量分析[J].资源科学,2006,28(2):97-103.
- [23] 曾希柏.耕地质量培育技术与模式[M].北京:中国农业出版社,2014:55-56.