

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.053

# 嫁接夹自动排序供夹装置设计\*

姜凯<sup>1</sup> 张骞<sup>2</sup> 王秀<sup>1</sup> 冯青春<sup>1</sup> 郭瑞<sup>1</sup>

(1.北京农业智能装备技术研究中心,北京100097;2.北京农业信息技术研究中心,北京100097)

**【摘要】** 设计了可对嫁接夹自动排序的供夹装置。以嫁接夹排序和自动上夹为研究对象,建立了嫁接夹在振动盘中的力学模型,确定了嫁接夹在输送过程中产生跳跃和连续滑移的条件。当顶盘加速度  $a_2 \geq 2.37g$  时,嫁接夹便产生腾空跳跃;当顶盘加速度临界值  $a_{1l} = 0.47g$ 、 $a_{2l} = 0.41g$  时,嫁接夹可实现连续滑移。该装置包括振动盘送料器和自动上夹机构,振动盘采用逆时针输料和调频控制,自动上夹机构的推夹和上夹采用气缸驱动。试验结果表明:在振频 48 Hz、排夹滑道倾角  $45^\circ$  和推夹压力 0.4 MPa 条件下,振动盘排料速度为 60 只/min,上夹成功率为 96%,能够满足 TJ-800 型嫁接机上夹要求。

**关键词:** 嫁接夹 振动排序 供夹装置 力学模型

**中图分类号:** S233.74; S24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0256-06

## Design for Automatic Sequencing and Supplying Device for Grafting Clips

Jiang Kai<sup>1</sup> Zhang Qian<sup>2</sup> Wang Xiu<sup>1</sup> Feng Qingchun<sup>1</sup> Guo Rui<sup>1</sup>

(1. Beijing Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing 100097, China

2. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

### Abstract

Based on studies of automatic sequencing and supplying of grafting clips, the mechanical model of clips in disc-shaped vibratory feeder was established. The conditions of clip bouncing and sliding in delivering were determined. When disc acceleration  $a_2$  was larger than 2.37 g, clips began to bounce. When  $a_{1l}$  was 0.47g,  $a_{2l}$  was 0.41g, perfect state continuous sliding of clips could be achieved. The device included disc-shaped vibratory feeder and automatic clip-delivering mechanism. The disc was controlled by the adoption of anticlockwise clip-delivering and frequency adjustment. The automatic clip-delivering mechanism was driven by cylinder. Experiments showed that when vibration frequency was 48 Hz, the angle of slideway was  $45^\circ$ , clip-pushing pressure was 0.4 MPa, delivering speed was 60 clips per minute, and success average of clipping was 96%, which could meet the need of the type TJ-800 grafting machine.

**Key words** Clip, Vibratory sequencing, Clip-delivering mechanism, Mechanical model

### 引言

在嫁接育苗实际生产中,秧苗切口对接处需夹持物进行快速固定,减少切口在空气中的暴露时间,有利于嫁接苗的成活。现有夹持物主要有塑料夹、橡胶夹、套管、陶瓷针等<sup>[1-4]</sup>,塑料夹固定嫁接苗在

我国应用最为广泛,而人工上夹环节耗费的时间占整个嫁接过程的 30%,限制了嫁接速度,制约了嫁接育苗技术的发展。因此,嫁接夹自动排序供夹装置的研制是提高嫁接机器人生产效率的关键。

日本、韩国的嫁接机研究已实现了商品化,而我国的嫁接机研究仍处于样机阶段<sup>[5-16]</sup>。国内外科

收稿日期:2012-06-29 修回日期:2012-07-16

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAF07B02)和国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA101903)

作者简介:姜凯,助理研究员,主要从事农业生物生产机器人技术研究,E-mail:jiangk@nercita.org.cn

通讯作者:王秀,研究员,主要从事智能农业装备相关技术研究,E-mail:wangx@nercita.org.cn

研人员对该领域做了许多研究工作,但对嫁接夹自动排序供给装置的研究鲜有报道<sup>[17-18]</sup>,制约了嫁接机技术的推广应用。

本文针对 TJ-800 型嫁接机的上夹作业要求,采用振动排序原理进行嫁接夹的定向排序,对嫁接夹在振动盘中振动模型进行力学分析,并对自动上夹机构进行三维仿真设计,设计一种适用于塑料夹的自动排序供夹装置,并进行排夹速度和上夹试验。

## 1 总体结构和工作原理

针对贴接法嫁接实际生产中广泛使用的塑料嫁接夹特点,以及 TJ-800 型嫁接机作业过程对嫁接夹定向排序要求,嫁接夹自动排序供给装置如图 1 所示。

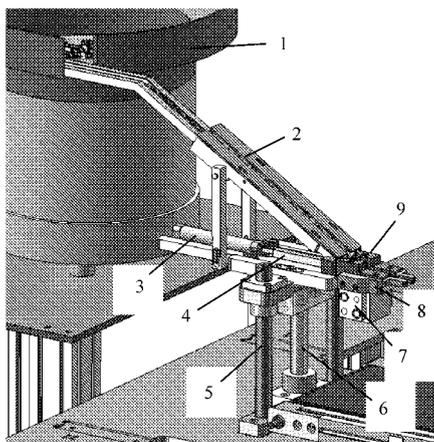


图 1 自动排序供夹装置示意图

Fig. 1 Automatic clip-delivering device

1. 振动盘 2. 排夹滑道 3. 推夹气缸 4. 推夹杆 5. 导杆
6. 调节杆 7. 上夹气缸 8. 夹子手爪 9. 送夹滑道

该装置主要包括振动盘送料器和自动上夹机构两部分,上夹机构由排夹滑道、推夹气缸、推杆、导杆、调节杆、上夹气缸、夹子手爪和送夹滑道等组成。振动盘送料器实现嫁接夹方向一致性调整,以及嫁接夹的连续供给;而上夹机构用于实现将位于送夹滑道内的嫁接夹推送至夹苗位置,完成嫁接苗切口对接处的固定作业。

工作时,首先通过振动盘的振动作业,使嫁接夹从群体中逐个分离并沿振动盘的分离料道前进,进入调向料道后,嫁接夹夹口朝前逐一排序,未被调向的嫁接夹落入回料口重新排序;嫁接夹从排料口进入排夹滑道,此时第一个嫁接夹位于送夹滑道内,并处于水平状态,之后的嫁接夹在排夹滑道内完成依次排序;当接穗和砧木对接作业完成时,推夹气缸带动推杆伸出将位于送夹滑道内的嫁接夹推入夹子手爪内,嫁接夹尾部被手爪挤压,克服弹簧力使夹子处于张开状态;最后,上夹气缸带动夹子手爪张开,夹

子在弹簧力的作用下复位,夹持住接穗和砧木的切口对接处,完成夹持作业,依次循环。

为实现振动盘与上夹机构的联动控制,在排夹滑道上设置了一组对射型光纤传感器,当夹子排满整个排夹滑道时,上部的夹子会遮挡住光纤传感器的光束,发出夹子排满信号,使振动盘停止;相反,当嫁接夹被使用,光纤传感器的光信号接通,发出缺夹信号,使振动盘启动。

## 2 关键部件设计分析

### 2.1 振动排序机理

振动盘供料器由弹簧片、电磁铁、外罩、顶盘、排料口、回料斗、可动框架、控制器、减振胶垫组成,如图 2 所示。

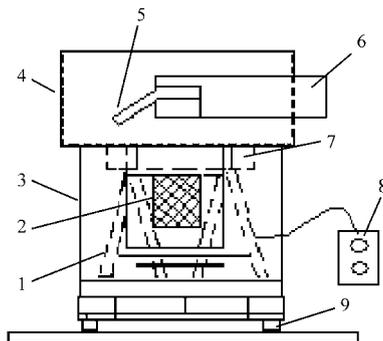


图 2 振动盘供料器示意图

Fig. 2 Disc-shaped vibratory feeder

1. 弹簧片 2. 电磁铁 3. 外罩 4. 顶盘 5. 排料口
6. 回料斗 7. 可动框架 8. 控制器 9. 减振胶垫

振动盘供料器借助电磁力产生微小的振动,依靠惯性力和重力的综合作用驱使物料沿料道向上、向前送进,并在送料过程中自动调向,成单行或多行按规定的方向和位置排列送出。振动盘上料具有以下优点:送料和定向过程中没有机械搅动、撞击和强烈的摩擦作用,因此一般不会破坏物料的精度和加工表面,也不会产生堵塞现象;定向容易,通用性强,输送形状特征不相同的物料,只要更换定向元件,其他结构都可采用;送料率高,且送料速度易于调整;结构简单,易于维护。

利用调频控制器产生与系统固有频率相同的脉冲电流使电磁铁励磁后,系统发生共振。振动盘可使顶盘在垂直方向上下振动,由于弹簧片的倾斜,使顶盘绕其垂直轴做往复扭转式振动,顶盘内的嫁接夹由于受到这种振动,而沿螺旋轨道上升,通过设置适应夹体特性的调向滑槽,调整夹体方向。嫁接夹在振动盘内的运动可看作是简谐振动,即看作匀速圆周运动沿正交的两个方向的分解,其中任意一个方向的运动都是简谐运动。振动盘在匀速圆周运动作正交分解的过程中,原来大小不变的向心力,变成

大小和方向都作周期性变化的回复力,使顶盘内的嫁接夹平滑移动。根据嫁接机的布局设计和嫁接夹输料速度的要求,振动盘输料方式采用逆时针输料、调频控制,振动底盘直径选为  $\phi = 250 \text{ mm}$ 。

## 2.2 嫁接夹力学分析

嫁接夹结构包括塑料夹体和弹簧圈,塑料夹体为整体式结构,嫁接夹的结构如图3所示。

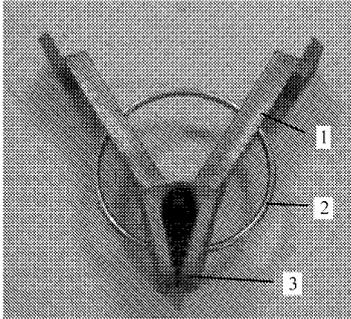


图3 塑料嫁接夹

Fig.3 Plastic grafting clip

1. 夹子尾部 2. 弹簧圈 3. 夹口

通过控制挤压塑料夹体的尾部,使弹簧圈受力张开,进而夹口张开;当挤压力释放,夹口在弹簧圈复位力的作用下闭合,并对嫁接苗的切口对接处进行固定夹持。

为使振动盘供料器完成嫁接夹自动排列和定向供料的功能,分析嫁接夹在振动盘中的受力情况及运动状态。如2.1节所述,在振动盘的顶盘料道上的嫁接夹受到高速、高频、微幅的振动。它既受重力和料道的反力作用,又受摩擦力和惯性力的作用。而嫁接夹的惯性力、嫁接夹与料道的摩擦力的大小和方向与电磁铁的电流情况有关。

当电磁铁的电流  $I \leq 0$  时,顶盘料道在弹簧片力的作用下,以加速度  $a_1$  向左上方运动,而此时嫁接夹的受力刚好与顶盘料道方向相反,嫁接夹受力如图4所示。

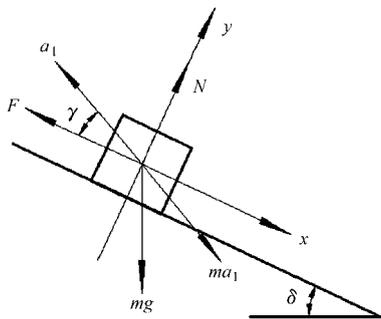


图4  $I \leq 0$  时嫁接夹受力图

Fig.4 Free-body diagram of clip when  $I \leq 0$

根据力平衡原理,可知  $\sum F_x = 0$ ,即

$$ma_1 \cos \gamma + mg \sin \delta = F = \mu N \quad (1)$$

由  $\sum F_y = 0$  得

$$ma_1 \sin \gamma + mg \cos \delta = N \quad (2)$$

式中  $F$ ——嫁接夹与顶盘料道之间的摩擦力

$m$ ——嫁接夹的质量

$a_1$ ——顶盘料道向左上方运动的加速度(其方向线与支承弹簧片中线垂直)

$g$ ——重力加速度

$N$ ——顶盘料道的反力

$\mu$ ——顶盘料道摩擦因数

当电磁铁的电流  $I > 0$  时,顶盘料道在电磁力的吸引作用下,以加速度  $a_2$  向右下方运动。此时嫁接夹的受力同样与料道相反,嫁接夹受力如图5所示。

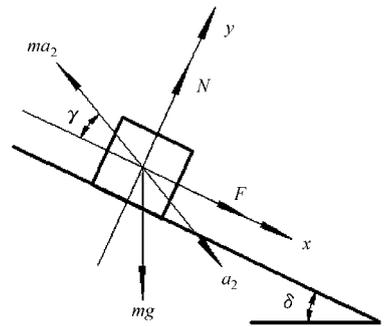


图5  $I > 0$  时嫁接夹受力图

Fig.5 Free-body diagram of clip when  $I > 0$

根据力平衡原理,可知  $\sum F_x = 0$ ,即

$$ma_2 \cos \gamma - mg \sin \delta = F = \mu N \quad (3)$$

由  $\sum F_y = 0$  得

$$ma_2 \sin \gamma - mg \cos \delta = -N \quad (4)$$

式中  $a_2$ ——顶盘料道向右下方运动的加速度(其方向线与支承弹簧片中线垂直)

## 2.3 嫁接夹运动状态分析

嫁接夹输料产生跳跃的情况,发生在电流  $I > 0$  时,顶盘料道在电磁力的吸引下,向右下方加速运动时,由于嫁接夹受惯性力作用而脱离料道,作瞬时微小的跳跃。产生跳跃的条件可从式(4)导出。由于顶盘料道突然离开嫁接夹,向右下方运动,使式(4)中  $N \leq 0$  时,嫁接夹便产生腾空现象。此时式(4)改写为

$$ma_2 \sin \gamma - mg \cos \delta \leq 0 \quad (5)$$

所以,嫁接夹产生跳跃的条件为

$$a_2 \geq g \cos \delta / \sin \gamma \quad (6)$$

通常顶盘料道的螺旋升角  $\delta$  为  $1^\circ \sim 3^\circ$ ,嫁接夹的抛射角  $\gamma$  为  $15^\circ \sim 25^\circ$ ,则  $a_2 \geq 2.37 g$  时,嫁接夹便产生腾空跳跃。顶盘料道的运动规律受电磁力的制约,将顶盘料道的运动看作是简谐振动,其运动方程式为:

位移  $h = A_z(1 - \cos(2\pi ft))/2$

速度  $v = dh/dt = \pi f A_z \sin(2\pi ft)$

加速度  $a = d^2h/dt^2 = 2\pi^2 f^2 A_z \cos(2\pi ft)$

式中  $A_z$ ——顶盘料道的振幅, 一般为  $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$

$f$ ——顶盘料道的振动频率, Hz

$t$ ——时间, s

顶盘料道的最大速度  $v_{\max} = \pi f A_z$ ; 顶盘料道的最大加速度  $a_{\max} = 2\pi^2 f^2 A_z$ 。而只有当  $a_{\max} = 2\pi^2 f^2 A_z = a_2 \geq 3.86 g$  时, 嫁接夹才会产生跳跃前进的现象。

嫁接夹在料道上连续滑移的条件, 可从两方面来讨论:

(1) 当电流  $I \leq 0$  时, 在弹簧片力的作用下, 顶盘料道向左上方运动, 产生加速度  $a_1$ 。嫁接夹受惯性力  $ma_1$  的作用, 有下滑趋势。但只要  $a_1$  小于等于某一临界值, 嫁接夹就不会下滑而与顶盘料道同步向左上方运动。

(2) 当电流  $I > 0$  时, 在电磁力吸引的作用下, 顶盘料道向右下方运动, 产生加速度  $a_2$ 。嫁接夹受惯性力  $ma_2$  的作用, 有继续向上滑动的趋势, 所以只要  $a_2$  大于等于某一临界值, 嫁接夹就能克服摩擦力而连续向上滑移。当然  $a_2$  不能太大, 否则就会使嫁接夹产生跳跃。

联解式(1)、(2)可得  $a_1$  的临界值

$$a_{1l} = g(\sin\delta - \mu\cos\delta)/(\mu\sin\gamma) - \cos\gamma \quad (7)$$

如果取  $\delta = 2^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$ ,  $\mu = 0.41$  代入式(7)得  $a_{1l} = 0.47g$ 。

$a_1$  与支承弹簧片的刚性有关, 支承弹簧片的刚性越大,  $a_1$  值越大。因此, 支承弹簧片的尺寸和截面形状应合理选择。

联解式(3)、(4)可得  $a_2$  的临界值

$$a_{2l} = g(\sin\delta + \mu\cos\delta)/(\mu\sin\gamma) + \cos\gamma \quad (8)$$

如果取  $\delta = 2^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$ ,  $\mu = 0.41$  代入式(8)得  $a_{2l} = 0.41g$ 。

$a_2$  的大小与电磁铁的吸力有关, 吸力越大,  $a_2$  值越大。因此, 电磁铁的吸力大小必须正确计算。由上可知, 只要合理设计, 嫁接夹就能获得连续滑移的理想运动状态。

## 2.4 上夹机构

上夹机构包括推夹气缸、调节杆、排夹滑道、送夹滑道、夹子手爪、上夹气缸、推夹杆、基座, 如图6所示。结构安装与特征: 排夹滑道上部通过两个调节杆、导轨安装于基座上, 排夹滑道下部与送夹滑道入口对接, 通过两调节杆可实现排夹滑道的倾角调整, 便于嫁接夹顺利输送至送夹滑道内; 基于嫁接夹的结构特点, 在送夹滑道和夹子手爪的内部设有导槽, 嫁接夹的弹簧圈可在导槽内通过;

推夹杆一端设有螺纹孔与推夹气缸活塞杆固定安装, 另一端设有豁口用于在推夹过程中卡住嫁接夹的弹簧圈。

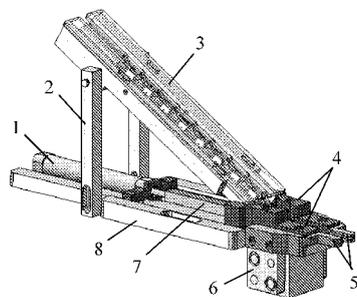


图6 上夹机构结构示意图

Fig. 6 Structure of clip-delivering mechanism

1. 推夹气缸 2. 调节杆 3. 排夹滑道 4. 送夹滑道  
5. 夹子手爪 6. 上夹气缸 7. 推夹杆 8. 基座

工作原理: 首先通过排夹滑道接收振动盘排出的嫁接夹, 使嫁接夹首尾依次相接形成整列排序, 为连续上夹做准备, 第一个嫁接夹位于送夹滑道内处于水平状态; 随后推夹气缸伸出带动推夹杆将嫁接夹从送夹滑道内推送至对接工位, 即夹子手爪内, 此时夹子尾部被夹子手爪挤压, 嫁接夹的夹口处于张开状态; 最后上夹气缸伸出带动夹子手爪张开, 嫁接夹在弹簧圈力的作用下复位, 夹持住接穗和砧木的切口对接处, 完成上夹作业。

根据推夹杆作业行程和嫁接夹上夹要求, 推夹气缸选用 SMC CDJ2B16-75-B 型单杆气缸, 上夹气缸选用 TPC NFW2-12A-W9HS-T 型大开口气动手指。

## 3 试验

针对塑料嫁接夹的振动排序和上夹环节, 考察不同条件下排夹速度和上夹成功率, 在 TJ-800 型嫁接机上进行试验, 如图7所示。试验影响因素分别确定为振动盘振频、排夹滑道倾角和推夹气缸的

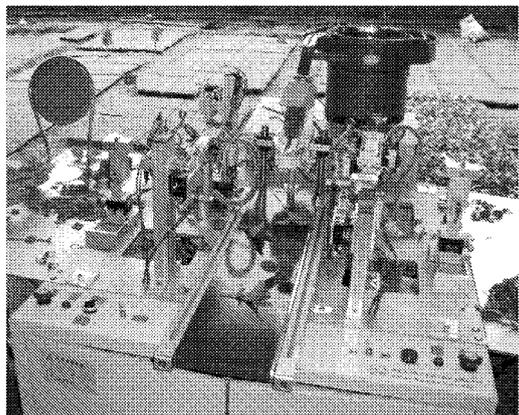


图7 TJ-800型嫁接机上夹试验装置图片

Fig. 7 Clip-delivering experiment of type TJ-800 grafting machine

推夹压力,影响因素的3个水平分别确定为:振频为43、48、53 Hz;排夹滑道倾角为30°、45°、60°;推夹压力为0.3、0.4、0.5 MPa,选用 $L_9(3^4)$ 型正交表。

根据振动盘排料和上夹作业特性,按照表1进行试验安排,每组试验进行100只嫁接夹的排夹和上夹作业,用秒表记录每组试验的排夹时间和成功上夹的数量,并计算出排夹速度,将嫁接夹从送夹滑道推送至夹子手爪内视为上夹成功,出现卡夹视为上夹失败。

表1 排夹速度与上夹作业试验数据

Tab.1 Delivering speed and clipping test

试验 序号	影响因素				排夹速度 /只·min <sup>-1</sup>	上夹成 功率/%
	振频 A	空列	排夹滑道倾 角B	推夹压力 C		
1	1	1	1	1	50	92
2	1	2	2	2	45	96
3	1	3	3	3	48	94
4	2	1	2	3	58	95
5	2	2	3	1	62	93
6	2	3	1	2	60	95
7	3	1	3	2	46	95
8	3	2	1	3	48	94
9	3	3	2	1	46	92
$K_1$	282	282	281	277		
$K_2$	283	282	283	286		
$K_3$	282	281	282	283		
R	0.4	0.2	1.0	24.0		

由表1极差分析可知,上夹成功率的影响因素主次排列为C、B、A,上夹成功与否与振动盘的振频A无关,只与排夹滑道倾角B和推夹压力C有关,排夹速度只与振频A有关。在 $C_2B_2A_1$ 组合条件下出现上夹成功率96%为最高,振动频率为48 Hz时排夹稳定,排夹平均速度为60只/min。上夹失败的原因分析:排夹滑道倾角B在30°、60°条件下,当推夹压力C在0.3 MPa时,推夹杆缩回速度慢使嫁接夹落入送夹滑道内时未处于水平状态,推夹杆再次推夹时,嫁接夹的弹簧圈未能进入导槽,使得嫁接夹在推夹杆和送夹滑道之间卡死;当推夹压力C在0.6 MPa时,由于推夹杆伸出速度过快使嫁接夹产生跳跃,同样导致嫁接夹的弹簧圈未能进入导槽而卡死。因此,需对送夹滑道的结构尺寸进行优化以及增设嫁接夹水平处理机构,以提高上夹成功率。

## 4 结论

(1)对嫁接夹在振动盘中的振动模型进行了力学分析和运动条件分析,得出:当顶盘加速度 $a_2 \geq 2.37g$ 时,嫁接夹将产生腾空跳跃;当顶盘加速度临界值 $a_{11} = 0.47g$ 、 $a_{21} = 0.41g$ 时,嫁接夹将实现连续滑移的理想运动状态。

(2)振动底盘直径选为 $\phi = 250$  mm,采用逆时针输料和调频方式控制,振频调至48 Hz时接近系统共振频率,排料速度可达60只/min。

(3)试验得出:排夹滑道倾角45°、推夹气缸的推夹压力0.4 MPa时,上夹成功率为96%,满足TJ-800型嫁接机的上夹要求。

## 参 考 文 献

- 刘凯,初麒,辜松,等.茄科蔬菜自动嫁接机的研究现状[J].农机化研究,2011,33(2):230~233.  
Liu Kai, Chu Qi, Gu Song, et al. Research development of solanaceae vegetables automatic grafting machines[J]. Journal of Agricultural Mechanization, 2011, 33(2): 230~233. (in Chinese)
- 辜松.蔬菜工厂化嫁接育苗生产装备与技术[M].北京:中国农业出版社,2006.
- 谭妮克,张铁中,杨丽.蔬菜嫁接机器人砧、穗木套管式接合装置的设计[J].中国农业大学学报,2005,10(5):85~88.  
Tan Nike, Zhang Tiezhong, Yang Li. Tube jointing device of grafting robot[J]. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(5): 85~88. (in Chinese)
- 李晓燕.针式嫁接机器人研究[D].北京:中国农业大学,2005.
- 辜松,李恺,初麒,等.2JP-M系列蔬菜嫁接切削器作业试验[J].农业工程学报,2012,28(10):27~32.  
Gu Song, Li Kai, Chu Qi, et al. Experiment of 2JP-M series vegetable cutting devices for grafting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(10): 27~32. (in Chinese)
- 姜凯,郑文刚,张骞,等.蔬菜嫁接机器人研制与试验[J].农业工程学报,2012,28(4):8~14.  
Jiang Kai, Zheng Wen'gang, Zhang Qian, et al. Development and experiment of vegetable grafting robot[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(4): 8~14. (in Chinese)
- 别之龙.我国西瓜甜瓜嫁接育苗产业发展现状和对策[J].中国瓜菜,2011,24(2):68~71.
- 罗军,高英武,何幸保.自动嫁接机的研究现状与展望[J].湖南农机,2010,37(3):1~2.  
Luo Jun, Gao Yingwu, He Xingbao. The research status and development trend of automatic grafting machine[J]. Hunan Agricultural Machinery, 2010, 37(3): 1~2. (in Chinese)

- 9 姜凯,乔晓军,王成. 蔬菜自动嫁接机在设施生产中的研究与应用[J]. 农业工程技术·温室园艺,2009(1):16~17.
  - 10 别之龙. 我国瓜类作物嫁接育苗生产的现状、问题与对策[J]. 长江蔬菜,2009(2b):1~5.  
Bie Zhilong. Present status, problem and countermeasures of grafted cucurbit seedlings production in China[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2009(2b):1~5. (in Chinese)
  - 11 尚庆茂,张志斌. 构建工厂化育苗网络促进现代蔬菜产业发展[J]. 中国蔬菜,2008(6):1~4.  
Shang Qingmao, Zhang Zhibin. Establishing factory seedling nursing network to promote the development of modern vegetable industry[J]. China Vegetables, 2008(6):1~4. (in Chinese)
  - 12 辜松,江林斌. 国内外蔬菜嫁接机的发展现状[J]. 东北农业大学学报,2007,38(6):847~851.  
Gu Song, Jiang Linbin. Development of domestic and foreign vegetable grafting robot[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2007,38(6):847~851. (in Chinese)
  - 13 辜松,姜凯. 中国野菜接ぎ木苗生産の発展[J]. 農作業研究,2007,42(3):179~182.  
Gu Song, Jiang Kai. Development of vegetables grafting in China[J]. Japanese Journal of Farm Work Research, 2007, 42(3):179~182. (in Japanese)
  - 14 初麒,姜凯,辜松. 2JC-600型自动嫁接机的试验研究[J]. 农机化研究,2011,33(1):183~185.  
Chu Qi, Jiang Kai, Gu Song. Experimental study on 2JC-600 automatic grafting machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization, 2011, 33(1):183~185. (in Chinese)
  - 15 杨丽,张铁中. 西红柿嫁接机控制系统的设计[J]. 农机化研究,2008,30(12):79~82.  
Yang Li, Zhang Tiezhong. Design and realization of control system for tomato grafting robot[J]. Journal of Agricultural Mechanization, 2008,30(12):79~82. (in Chinese)
  - 16 赵颖,孙群,张铁中. 营养钵茄苗嫁接机器人控制系统设计[J]. 农业机械学报,2007,38(12):225~228.
  - 17 张秀芳. 蔬菜嫁接机嫁接夹液力排序及送夹装置研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2007.
  - 18 张琳琳. 电磁振动给料系统结构动力学研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2006.
- 

(上接第 241 页)

- 6 陈业高,海丽娜,毕先均. 微波辐射在天然药用活性成分提取分离中的应用[J]. 微波学报,2003,19(2):85~89.  
Chen Yegao, Hai Li'na, Bi Xianjun. Application of microwave radiation in the extraction of natural active principles[J]. Journal of Microwaves,2003,19(2):85~89. (in Chinese)
- 7 姜绍通,邵平,赵妍嫣. 小麦胚芽 VE 微波提取工艺和神经网络模型的研究[J]. 食品科学,2005,26(2):25~28.  
Jiang Shaotong, Shao Ping, Zhao Yanyan. Study on microwave-assisted extraction of vitamin E from wheat germ and neural network model[J]. Food Science,2005,26(2):25~28. (in Chinese)
- 8 李辉,林河通,袁芳,等. 荔枝果肉微波真空干燥特性与动力学模型[J]. 农业机械学报,2012,43(6):107~112.  
Li Hui, Lin Hetong, Yuan Fang, et al. Microwave-vacuum drying characteristics and kinetics model of litchi pulp[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(6):107~112. (in Chinese)
- 9 赵俊敏. 食品微波干燥杀菌的探讨[J]. 天津科技,2008(5):101~102.  
Zhao Junmin. Study on food bactericidal in microwave drying[J]. Tientsin Science and Technology, 2008(5):101~102. (in Chinese)
- 10 刘志伟,文南,郑梦云. 微波萃取在食品化学中的应用[J]. 武汉工业学院学报,2002(2):18~21.  
Liu Zhiwei, Wen Nan, Zheng Mengyun. The application of microwave-assisted extraction technique in food chemistry[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University,2002(2):18~21. (in Chinese)
- 11 周洁,孔晓玲,高楠. 微波与热风组合干燥对板栗干燥特性的影响[J]. 包装与食品机械,2009,27(2):15~17.  
Zhou Jie, Kong Xiaoling, Gao Nan. Effects of combination of microwave and hot-air drying on characteristics of chestnuts [J]. Packaging and Food Machinery, 2009,27(2):15~17. (in Chinese)