

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.10.010

移栽机行星轮转臂式栽植器运动分析与试验^{*}

胡建平 张建兵 何俊艺 严宵月

(江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013)

摘要: 提出了一种行星轮多转臂式栽植器, 阐述了其结构及工作原理, 建立了栽植器末端运动轨迹方程, 并引入特征系数 λ , 得出不同 λ 时栽植器末端运动轨迹。以单个鸭嘴栽植器为研究对象, 建立了由行星轮栽植器、钵体、苗茎及地面组成的虚拟样机模型, 以栽植频率 30 株/min 为设计参数, 仿真分析了特征系数 λ 在 0.90、1.00、1.18、1.24 和 1.28 时前、后鸭嘴末端运动轨迹及鸭嘴开合落苗情况。仿真结果表明: λ 为 0.90、1.00 时, 后鸭嘴避苗不及时, 对钵苗产生挂带, 使钵苗向前移动甚至倒伏; λ 为 1.18、1.24 时, 前、后鸭嘴避苗都较充分, 对钵苗不会产生挂带作用; λ 为 1.28 时, 后鸭嘴避苗空间更充分, 但前鸭嘴避苗空间不足, 对钵苗产生挂带作用。在自制土槽试验台上, 以 λ 为 0.90、1.00、1.22 为试验参数, 对苗龄为 20 d 的黄瓜钵苗进行样机试验, 结果表明 λ 为 1.22 时钵苗直立度最好, 优良率达到 86.7%, λ 为 0.90 时最差, 优良率为零, 试验结果与仿真结果吻合。

关键词: 移栽机 行星轮栽植器 特征系数 仿真 试验

中图分类号: S223 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)10-0057-05

Motion Analysis and Experiment for Planting Mechanism with Planetary Gears of Transplanting Machine

Hu Jianping Zhang Jianbing He Junyi Yan Xiaoyue

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: A planting mechanism with planetary gears of transplanting machine was put forward. Its structure and working principle were expounded and motion trajectory equation was established. The characteristic coefficient λ was introduced and planting mechanism end's motion trajectory was obtained with the different λ . Taking a single duck mouth planting mechanism as the research object, the virtual prototype was established, which was composed of planetary gears, seedling and the surface. The planting frequency of 30 plants/min was set as the design parameter. The former and latter duck mouth ends' motion trajectory and the duck mouth's opening, felling seedling situations were simulated when the λ was 0.90, 1.00, 1.18, 1.24 and 1.28. The simulation results showed that when λ was 0.90 and 1.00, the latter duck mouth avoiding seedling was not in time and making the seedling moving forward even lodging. When λ was 1.18 and 1.24, the former and the latter duck mouth avoiding seedling were full and the seedling won't be interfered. When λ was 1.28, the latter duck mouth avoiding seedlings' space was more fully, but the former duck mouth avoiding seedlings' space was insufficient and the seedling was interfered. When the characteristic coefficient λ was 0.90, 1.00 and 1.22, the prototype experiment was carried out on cucumber seedling of 20 d in the homemade soil bin. The results showed that for λ of 1.22, the upright degree of seedling was the best. The excellent-good rate was up to 86.7%. For λ of 0.90, the upright degree of seedling was the worst and the excellent-good rate was 0. The test results and simulation results were consistent.

Key words: Transplanting machine Planting mechanism with planetary gears Characteristic coefficient Simulating Experiment

收稿日期: 2012-10-19 修回日期: 2012-11-30

^{*} 江苏省科技支撑计划(农业部分)资助项目(BE2012381)、江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏财教[2011]8号)和江苏省青蓝工程资助项目(苏教师[2010]27号)

作者简介: 胡建平, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械设计及试验研究, E-mail: hujp@ujs.edu.cn

引言

移栽机吊杯式和鸭嘴式栽植器能满足垄上移栽和膜上打穴移栽要求,其应用越来越多^[1]。封俊等针对吊杯式栽植器,分析了吊杯的运动轨迹,引入并证实了特征系数 $\lambda > 1$ 是吊杯式栽植器设计的基本依据和正常工作的必要条件;王文明等针对圆盘吊杯式 2ZT-2 型甜菜移栽机进行研究,分析了不同 λ 下鸭嘴运动轨迹与纸筒苗相对位置^[2~3]。但吊杯式栽植器的栽植频率较低,且结构比较复杂;日本洋马、井关等公司研制的鸭嘴式栽植器能满足垄上移栽和膜上打穴移栽要求,但总体结构复杂,且整机价格较高,在我国推广应用较困难。

本文基于垄上移栽和膜上打穴移栽要求,且考虑栽植器结构尽量简单的前提下,提出一种行星轮多转臂式栽植器,论述其工作原理,建立栽植器、钵体及地面的虚拟模型,对不同特征系数 λ 下的钵苗栽植过程进行仿真分析,得出钵苗栽植直立度较好时的 λ 值,并进行试验验证。

1 栽植器总体结构及工作原理

如图 1 所示,栽植器主要由行星轮机构、凸轮开合机构、鸭嘴和转臂等组成。其中,中心轮固定不动,行星架安装在中心轮轴上;安装在行星架上的 3 组行星轮、惰轮呈对称分布;转臂固定在行星轮上,随行星轮一起自转;推杆、前、后开合板、前、后鸭嘴等整体联接于转臂上;凸轮空套在行星轮的转轴上并固定在行星架上,凸轮和推杆始终保持接触。为了保证转臂旋转时始终保持水平状态,中心轮、惰轮及行星轮的模数及齿数需全部相等。工作时,栽植器随移栽机整体向前移动,同时主轴带动行星架转动,行星架带动惰轮和行星轮旋转,安装在行星轮上的转臂作平动;凸轮随行星架绕中心轮中心转动,同时定时推动推杆作来回间歇移动,推杆又推动前、后开合板以及前、后鸭嘴作开合运动,实现鸭嘴栽植器打穴、栽植动作。

栽植器针对株距为 200 ~ 350 mm 的蔬菜作物,其栽植株距 l 为

$$l = \frac{2\pi v_t}{N\omega} = \frac{2\pi v_t}{3\omega}$$

式中 N ——栽植器数量

v_t ——移栽机前进速度

ω ——行星架旋转角速度

栽植器主要结构参数:齿轮模数 $m_2 = m_3 = m_4 = 2.5\text{ mm}$,齿数 $z_2 = z_3 = z_4 = 36$,中心轮中心到行星轮中心距离 R 为 180 mm,凸轮轮廓按二次多项式运动

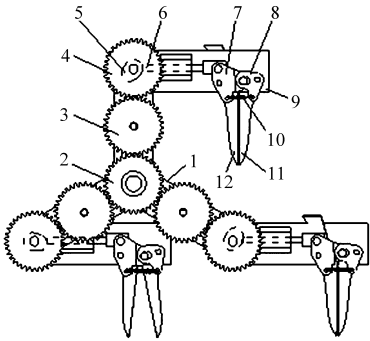


图 1 行星轮栽植器结构简图
Fig.1 Structure diagram of planting mechanism with planetary gears

1. 行星架 2. 中心轮 3. 惰轮 4. 行星轮 5. 凸轮 6. 推杆
7. 后开合板 8. 前开合板 9. 转臂 10. 拉簧 11. 前鸭嘴
12. 后鸭嘴

规律设计,其基圆直径为 25 mm,推程为 4 mm,远休止角 107°、近休止角 172°,鸭嘴水平开合距离为 60 mm。

2 栽植器分析

由栽植器工作原理知,栽植器末端执行器鸭嘴既随转臂一起作平动,又随移栽机作匀速前进运动,鸭嘴的运动规律对保证栽植质量起关键作用。栽植器鸭嘴的开、合通过凸轮机构实现,当行星架由初始位置顺时针转过 180°到最低位置时,凸轮推动推杆使鸭嘴打开,钵苗下落栽植,随着行星架的继续转动,鸭嘴在拉簧作用下逐渐闭合,准备下次栽植。

由于 3 对鸭嘴结构相同,间隔 120°对称布置,现取其中一对鸭嘴进行分析,建立如图 2 所示坐标系,并引入特征系数 λ ^[2~4],则鸭嘴顶端的运动轨迹方程为

$$\begin{cases} x = L + v_t t + \frac{\lambda v_t}{\omega} \sin \omega t \\ y = \frac{\lambda v_t}{\omega} \cos \omega t - h \end{cases} \quad (1)$$

其中 $\lambda = \frac{R\omega}{v_t} \quad (2)$

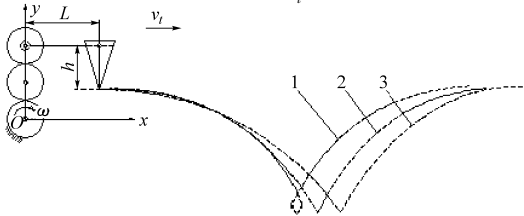


图 2 行星轮栽植器运动轨迹示意图
Fig.2 Motion trajectory of planting mechanism with planetary gears

1. 余摆线 2. 摆线 3. 短摆线

式中 L ——转臂长度 h ——鸭嘴高度
 t ——时间

由式(1)可得: λ 取小于 1、等于 1 和大于 1 3 种情况时,鸭嘴顶端的轨迹分别为短摆线、摆线和余摆线,不同的轨迹对钵苗栽植直立度产生极大影响;在中心轮中心到行星轮中心距离 R 和栽植频率(也即行星架旋转速度 ω) 确定的情况下, λ 主要由移栽机前进速度决定。

3 栽植器运动仿真分析

3.1 不同 λ 值下栽植过程仿真分析

λ 值不同,鸭嘴顶端动轨迹不同,钵苗栽植后的效果也不同,所以首先对 $\lambda < 1$ 、 $\lambda = 1$ 、 $\lambda > 1$ 3 种情况下的钵苗栽植过程进行仿真分析。

由于栽植器为 3 对鸭嘴的行星轮式栽植器,且每对鸭嘴的结构形式及栽植轨迹一样,为了便于仿真,现仅对 1 对鸭嘴的栽植过程进行仿真,其仿真结果适用于其他 2 对鸭嘴。

为了便于在 ADAMS 中进行运动学分析,特将幼苗钵体及茎近似为刚体,忽略苗叶部分(该部分为柔性体),使用 SolidWorks 建立栽植器、钵体、茎及地面的三维模型并导入 ADAMS 中^[5-12]。其中,建立的 128 孔穴盘黄瓜钵体苗为上端面直径 30 mm、下底直径 15 mm、高为 44 mm 的圆锥体,幼苗茎秆为直径 3 mm、高度 40 mm 的圆柱体。添加各零件之间的运动副;添加钵体与前鸭嘴、后鸭嘴及地面之间的接触副。

根据设计,在 R 为 180 mm,栽植频率为 30 株/min 时,对移栽机不同前进速度 v_t 下钵苗栽植过程进行仿真分析。

当 $v_t = 630$ mm/s,即 $\lambda = 0.90 < 1$ 时仿真结果如图 3 所示。

由图 3 可见,前、后鸭嘴顶端动轨迹为短摆线,其上无水平零速投苗点,且落苗后,后鸭嘴避苗空间不充分,对钵苗产生向前挂带,使钵苗向前倒伏。

当 $v_t = 565$ mm/s,即 $\lambda = 1.00$ 时仿真结果如图 4 所示。

由图 4 可见,前鸭嘴顶端动轨迹为短摆线,后鸭嘴顶端动轨迹为摆线,在仅有的水平零速点落苗后,由于惯性使钵苗紧贴后鸭嘴内壁,后鸭嘴避苗不及时,对钵苗产生向前挂带,使钵苗向前移动一距离,实际作业时易造成倒伏。

当 $v_t = 480$ mm/s,即 $\lambda = 1.18 > 1$ 时仿真结果如图 5 所示。

由图 5 可见,前鸭嘴顶端动轨迹为短摆线,后鸭嘴顶端动轨迹为余摆线,钵苗在零速点落苗后,前、

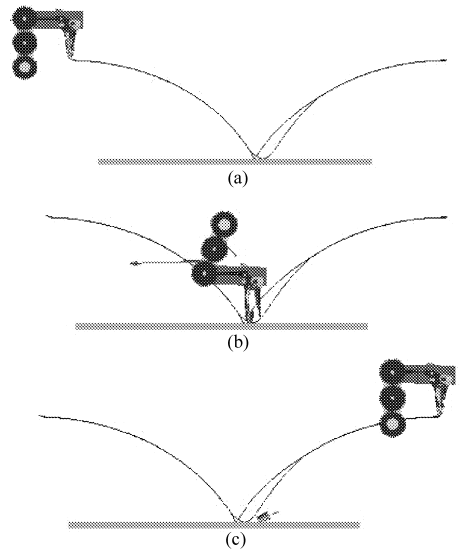


图 3 $\lambda = 0.90$ 时的栽植仿真过程

Fig. 3 Planting simulation process at $\lambda = 0.90$

(a) 栽植开始位置 (b) 落苗栽植位置 (c) 最终栽植位置

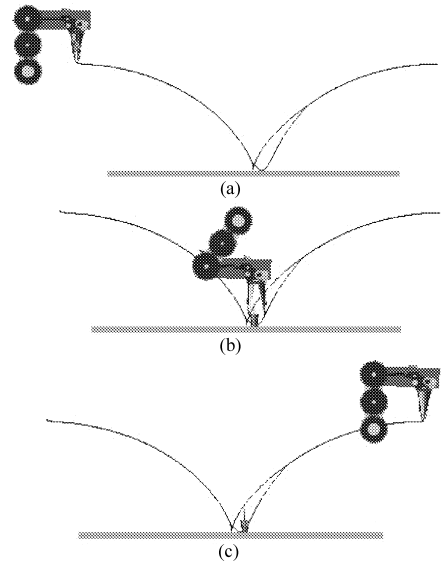


图 4 $\lambda = 1.00$ 时的栽植仿真过程

Fig. 4 Planting simulation process at $\lambda = 1.00$

(a) 栽植开始位置 (b) 落苗栽植位置 (c) 最终栽植位置

后鸭嘴避苗空间相对较充分,不会产生挂带苗现象,钵苗直立度接近垂直。

综合上述仿真可看出,在特征系数 λ 取 0.90、1.00、1.18 3 种情况下,前鸭嘴避苗都较充分; λ 为 0.90、1.00 时,后鸭嘴避苗不充分; λ 为 1.18 时前、后鸭嘴避苗都较充分。

3.2 λ 为 1.24 和 1.28 时仿真分析

由上述仿真可见, $\lambda > 1$ 时钵苗才能获得较好的栽植直立度,为了对 $\lambda > 1$ 下的栽植规律进行进一步研究,继续调节前进速度进行仿真。

当 $v_t = 455$ mm/s,即 $\lambda = 1.24$ 时仿真结果如图 6 所示。

由图 6 见,当 λ 为 1.24 时前鸭嘴刚好避开钵

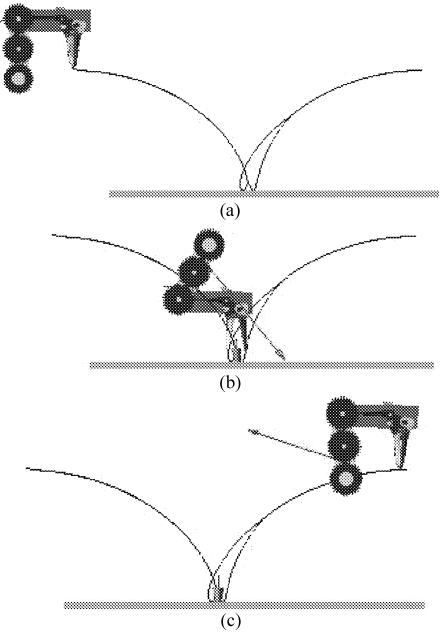


图 5 $\lambda = 1.18$ 时的栽植仿真过程

Fig. 5 Planting simulation process at $\lambda = 1.18$
(a) 栽植开始位置 (b) 落苗栽植位置 (c) 最终栽植位置

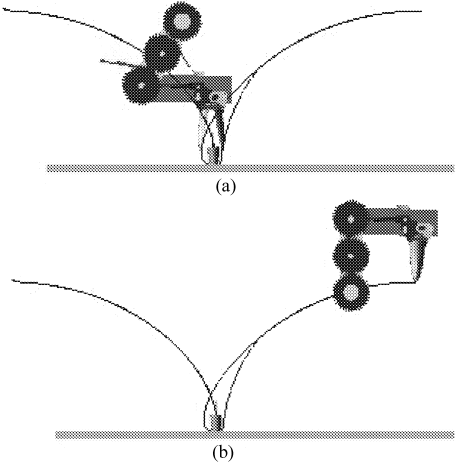


图 6 $\lambda = 1.24$ 时的栽植仿真过程

Fig. 6 Planting simulation process at $\lambda = 1.24$
(a) 落苗栽植位置 (b) 最终栽植位置

苗,且相对 λ 为 1.18 时,后鸭嘴顶端轨迹的余摆线环扣更大,避苗空间更充分,栽植完成后钵苗接近垂直。

当 $v_t = 440 \text{ mm/s}$, 即 $\lambda = 1.28$ 时仿真结果如图 7 所示。

由图 7 可见, λ 为 1.28 时,虽然后鸭嘴避苗空间更充分,但落苗后前鸭嘴和钵苗产生干涉,使钵苗向后移动甚至产生倒伏。所以为了保持钵苗栽植后的直立度, λ 值不能超过 1.28。

综合上述仿真, λ 为 1.24 时,比 λ 为 1.18、1.28 情况下更能保证钵苗栽植的直立度。考虑到实际栽植时,很难把 λ 调到某一非常精确的值,所以 λ 在 1.24 左右时基本都可以保证栽植的直立度。

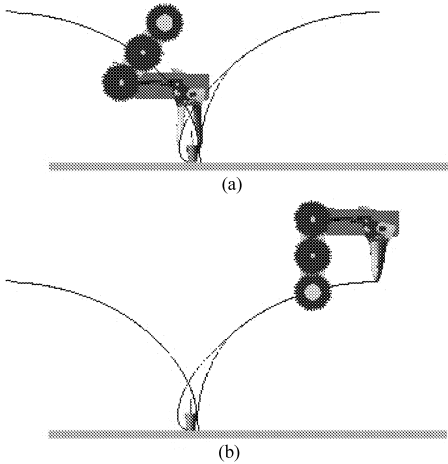


图 7 $\lambda = 1.28$ 时的栽植仿真过程

Fig. 7 Planting simulation process at $\lambda = 1.28$
(a) 落苗栽植位置 (b) 最终栽植位置

4 试验

为了对行星轮转臂式栽植器的实际栽植效果进行验证,制作了试验台并进行了试验。移栽机的前进速度由牵引机上的调速器来调节,栽植频率通过变频器来调节,试验在江苏大学农机实验室土槽上进行,以苗龄为 20 d 的黄瓜钵苗为试验对象。

根据旱地栽植机械行业标准 JB/T 10291—2010,以秧苗主茎与地面夹角 A 为评价指标,规定 $A \leq 30^\circ$ 为倒伏, $A > 30^\circ$ 为合格, $A > 70^\circ$ 为优良。调节变频器,使栽植频率为 30 株/min,改变移栽机前进速度,在能精确调到的 λ 值 0.90、1.00、1.22 下进行栽植试验,每组栽植 15 颗钵苗,试验结果如表 1 所示。

表 1 钵苗直立度统计

Tab.1 Statistics of seedling' perpendicularity						
v_t /mm·s ⁻¹	λ	倒伏 株数	合格 株数	优良 株数	合格 率/%	优良 率/%
630	0.90	14	1	0	6.67	0
565	1.00	2	8	5	86.7	33.3
460	1.22	0	2	13	100	86.7

试验结果表明: λ 为 1.22 时钵苗直立度最好,合格率为 100%,优良率为 86.7%; λ 为 1 时钵苗直立度略差,但大部分能满足大于 30° 的合格要求;当 λ 为 0.90 时,钵苗直立度非常差,很多钵苗甚至直接被鸭嘴带到垄面上。

5 结论

(1)设计了一种由行星轮机构、凸轮开合机构、鸭嘴和转臂等组成的行星轮多转臂式栽植器。栽植器呈对称布置,栽植轮旋转一周,鸭嘴式栽植器可实

现多次打穴、栽植,工作效率高。

(2)建立了鸭嘴式栽植器末端运动轨迹方程,并引入特征系数 λ ,得出 $\lambda < 1$ 、 $\lambda = 1$ 、 $\lambda > 1$ 时栽植器末端运动轨迹方程分别为短摆线、摆线和余摆线形状。

(3)通过对不同特征系数 λ 下的钵苗栽植过程的运动仿真分析,发现不同特征系数下前鸭嘴、后鸭嘴末端动轨迹各不相同。当 $\lambda \leq 1$ 时前鸭嘴有一定

的避苗空间,但后鸭嘴不能及时避苗,会对钵苗产生挂带作用;当 $\lambda > 1$ 且在 1.24 附近时,前、后鸭嘴均具有充足的避苗空间,对钵苗不会产生挂带作用。

(4)以黄瓜钵苗为对象,进行性能试验,结果表明 λ 为 1.22 时钵苗直立度最好,合格率达 100%,优良率达 86.7%; λ 为 0.90 时钵苗直立度非常差,基本都呈倒伏状态,试验结果与仿真结果吻合。

参 考 文 献

- 1 张会娟,胡志超,吴峰,等. 国内育苗移栽机械概况与发展思考[J]. 江苏农业科学,2010(6):570~572.
- 2 封俊,秦贵,宋卫堂,等. 移栽机的吊杯运动分析与设计准则[J]. 农业机械学报,2002,33(5):48~50.
Feng Jun, Qin Gui, Song Weitang, et al. The kinematic analysis and design criteria of the dibble-type transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(5): 48~50. (in Chinese)
- 3 王文明,窦卫国,王春光,等. 2ZT-2 型甜菜移栽机栽植系统的参数分析[J]. 农业机械学报,2009,40(1):69~73.
Wang Wenming, Dou Weiguo, Wang Chunguang, et al. Parameter analysis of the planting process of 2ZT-2 beet transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 69~73. (in Chinese)
- 4 何岳平,陈青春,何瑞银,等. 大蒜栽植机栽植系统优化设计与运动分析[J]. 农业机械学报,2011,42(2):88~94.
He Yueping, Chen Qingchun, He Ruiyin, et al. Optimal design and kinematic analysis for planting system of garlic planting machinery [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 88~94. (in Chinese)
- 5 陈达,周丽萍,杨学军. 移栽机自动分钵式栽植器机构分析与运动仿真[J]. 农业机械学报,2011,42(8):54~58.
Chen Da, Zhou Liping, Yang Xuejun. Mechanism analysis and motion simulation of planting apparatus with automatic distributing bowl mechanism for transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 54~58. (in Chinese)
- 6 俞高红,刘炳华,赵匀,等. 椭圆齿轮行星轮系蔬菜钵苗自动移栽机构运动机理分析[J]. 农业机械学报,2011,42(4):53~57.
Yu Gaohong, Liu Binghua, Zhao Yun, et al. Kinematic principle analysis of transplanting mechanism with planetary elliptic gears in automatic vegetable transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 53~57. (in Chinese)
- 7 刘发. 蔬菜钵苗移栽机栽植机构设计[D]. 镇江:江苏大学,2011.
Liu Fa. The design of vegetable seedling transplanter's planting mechanism [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2011. (in Chinese)
- 8 金鑫,李树君,杨学军,等. 膜上移栽钵苗栽植机构运动分析与参数优化[J]. 农业机械学报,2012,43(10):29~34.
Jin Xin, Li Shujun, Yang Xuejun, et al. Motion analysis and parameter optimization for pot seedling planting mechanism based on up-film transplanting [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 29~34. (in Chinese)
- 9 崔巍,赵亮,宋建农,等. 吊杯式移栽机栽植器运动学分析与试验[J]. 农业机械学报,2012,43(10):35~38.
Cui Wei, Zhao Liang, Song Jiannong, et al. Kinematic analysis and experiment of dibble-type planting devices [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 35~38. (in Chinese)
- 10 龚永坚,刘丽敏,俞高红,等. 水稻插秧机后插式分插机构运动分析与试验[J]. 农业机械学报,2005,36(9):41~43.
Gong Yongjian, Liu Limin, Yu Gaohong, et al. Study on rearward separate-planting mechanism of rice transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(9): 41~43. (in Chinese)
- 11 胡军,封俊,曾爱军. 大葱移栽机的设计与试验研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2006,18(2):42~45.
Hu Jun, Feng Jun, Zeng Aijun. Design and experimental research of scallion transplanter [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2006, 18(2): 42~45. (in Chinese)
- 12 Liu Fa, Hu Jianping, Huang Yingsa, et al. Design and simulation analysis of transplanter's planting mechanism [C] // The 4th IFIP International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture and the 4th Symposium on Development of Rural Information, 2010: 456~463.