

苹果苗木机械化起苗技术研究进展

吕孟宽, 杨欣*, 霍鹏, 王鹏飞, 李建平

(河北农业大学机电工程学院, 河北保定 071000)

摘要: 苹果苗木的根系质量直接影响苗木栽植建园后的生长发育, 机械化起苗能有效保证苗木根系完整、规格一致, 近年来成为实现苗木高标准生产的重要措施。对机械化起苗技术与装备研究进行整理总结, 包括应用三维数字建模技术与仿真技术对起苗机关键部件进行结构设计与优化, 借鉴细观力学分析土壤结构破坏原理, 总结联合起苗机国内外发展情况, 通过田间起苗试验标准分析起苗作业质量等, 最后提出苹果苗圃机械化起苗技术的发展方向。为了培育标准化优质大苗和实现苗圃机械化生产, 适应苹果产业矮密集约栽培新业态需求, 起苗装备应该向着多功能、智能化、高效率的方向发展。

关键词: 苹果苗木; 起苗机; 起苗技术

中图分类号: S661.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2021)04-0592-11

Research progress in mechanized lifting technology of apple seedlings

LÜ Mengkuan, YANG Xin*, HUO Peng, WANG Pengfei, LI Jianping

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: The cultivation of apple trees in China has gradually shifted from the traditional mode of tall trees to the intensive dwarf and high-density planting mode. The cultivation of apple seedlings has gradually become standardized on a large-scale. The nursery of seedlings is the last step of the nursery work. A good nursery technology can shorten the post-planting slow-seedling period, enhance the resistance of seedlings, and increase the survival rate of seedlings. As the key equipment for the nursery stocks, the seedling lifter plays an important role in the process of seedling cultivation. The seedling lifter is a machine that separates the seedlings from the growing soil in the nursery through the tractor. The seedling lifter can be divided into four types: ridge type, bed type, comprehensive type and large seedling type. The application of the seedling lifter avoids the disadvantages of manual lifting of seedlings, such as high intensity, repeated operations, and easy damage to the roots of the seedlings. It greatly improves working conditions, increases labor productivity, and reduces production costs. It is of great significance to accelerate the development of the fruit industry. There will be greater market demand in the future. The development of foreign seedling lifting machines started early, and the whole process of seedling lifting operations has basically been mechanized. It can complete multiple processes such as seedling lifting, soil shaking, transportation, and collection at one time. It has better product performance advantages in the market, but the cost of the machine is also higher. After continuous optimization and innovation of domestic seedling lifters, a variety of models such as vibrating seedling lifters, large seedling lifters, and flip double-side seedling lifters have emerged, which have been able to complete operations such as seedling lifting soil shaking and so forth. The key parts of the seedling machine mainly include the seedling shovel and the vibrating screen. The seedling shovel is mainly responsible

收稿日期: 2020-10-26 接受日期: 2020-12-09

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-27); 河北省农业科技成果转化资金专项(19827201D); 河北农业大学社科基金和理工基金(ZD201701、LG201703)

作者简介: 吕孟宽, 男, 在读硕士研究生, 主要从事农业机械设计。Tel: 18830030408, E-mail: 1209579370@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 15933459619, E-mail: yangxin@hebau.edu.cn

for cutting off the root system of the seedlings. At present, most domestic seedling shovel uses high-quality carbon steel 65Mn as a material. After innovating and optimizing the structure of the seedling shovel, it is realized that the seedling shovel is lightweighted, the resistance of the seedling shovel to cutting soil and cutting roots is reduced, and the operating speed of the seedling shovel increases, which are the direction of the optimization design of the seedling shovel, and the seedlings will be raised in the future. In the optimization of the shovel structure, a bionic structure can be added to further reduce the working resistance of the seedling shovel and improve the working efficiency of the seedling machine. During the working process of the seedling lifter, the seedling shovel is responsible for cutting the root system of the seedlings, and a vibrating screen will be added to realize the crushing and separating the root from soil on the seedlings. At present, most domestic seedling lifters use grid-shaped vibrating screens to complete the root and soil separation. The power source is driven by a cam linkage mechanism or a hydraulic device. Optimizing the structural parameters and vibration frequency of the root-soil separation device can not only greatly improve the efficiency of seedling operation, but also reduce labor costs and intensity. The trend of future development is as follows. The ideal effect of separating the seedlings from the soil cannot be achieved only through the seedling spatula and vibrating screen. The emergence of the combined seedling lifter is a major breakthrough in the development of the seedling lifter. The combined seedling lifter refers to a multifunctional seedling lifter that can complete the processes of seedling lifting, soil shaking, transportation and collection simultaneously, which can greatly reduce labor costs and intensity. With the improvement of domestic seedling lifting equipment and the performance of soil shaking operations, the development of multifunctional combined seedling lifting machine has become the trend of future development of seedling lifting machine. In the subsequent development, we can learn from the foreign relevant technical experience, combined with the actual domestic work site and market demand, so that the seedling lifter will be developed in the direction of higher efficiency, automation and diversified functions.

Key words: Apple seedlings; Seedling lifter; Seedling lifting technology

我国苹果栽培正处于从树体高大的传统乔化栽培模式向集约高效的矮砧密植栽培模式过渡的时期。苹果苗木的培育也随之趋于标准化、规模化^[1-2], 实现苗木生产机械化对促进苹果产业持续健康发展具有重要意义^[3]。在苹果苗木培育过程中,起苗是直接影响到苗木质量和规格的重要环节,进而影响苗木栽植后的生长发育情况和幼树管理成本,苹果的苗木质量成为苹果早丰产、早受益的重要基础^[4-8]。机械化起苗技术与装备能够确保苗木根系完整、规格一致,栽植成活率高,同时提高生产效率、降低人工成本,对促进苹果产业发展具有重大意义^[9]。国外苗木起苗装备发展较早,基本实现了机械化起苗作业,主要装备有简易型起苗铲、振动式起苗机、多功能联合起苗机等,其中联合起苗机可一次性完成起苗、抖土、输送、收集等多道工序,在市场上拥有更好的产品性能优势^[10],但其造价也较高。国内苗木机械化起苗技术与装备经过不断研发、优化

和创新,涌现出单铲式起苗机、振动式起苗机、翻转双侧起苗机等多种机型^[11-12],已经可以完成起苗、抖土操作,起苗效率在逐渐提高。笔者对机械起苗技术与装备研究进展进行整理分析,结合苹果产业对高质量优质大苗培育的技术要求,提出今后机械起苗技术的重点研究方向和装备研发有待突破的关键技术,为促进苹果苗木标准化生产和机械化起苗提供借鉴。

1 机械起苗技术背景

1.1 苹果苗木培育

随着苹果产业转型升级,苗木培育行业重要性在品种和砧木利用、繁殖方式和技术方面有了明显提升^[13],传统乔化栽培模式由于树体高大、通风透光不良、管理费时费力等缺陷,逐渐被以矮砧密植集约为主的多元栽培模式所取代,矮砧密植栽培具有树冠小、便于管理操作、节省人力、通风透光、果实品质

优良、便于标准化和机械化生产等优点,在世界苹果生产先进国中被普遍采用,也是我国现代苹果产业发展的方向。

苹果苗木培育一般采用嫁接进行繁殖,由砧木和接穗组成。苹果苗木依繁育类型可分为砧木苗和品种苗,品种苗木可分为自根砧苗(乔化自根砧木和矮化自根砧木)和中间砧品种苗。目前,国内主要使

用矮化中间砧苗木和乔化砧苗木,矮化自根砧苗是几家龙头企业从国外引进,在山东、陕西等地开展本地化繁育,是苗木培育的发展趋势。在矮化中间砧培育过程中,根据所需的年限不同,可分为二年生和三年生苗木,其中三年生苗木培育占主导地位,其技术流程如图1所示。

第一年主要是实生砧苗的培育,即在春季播种

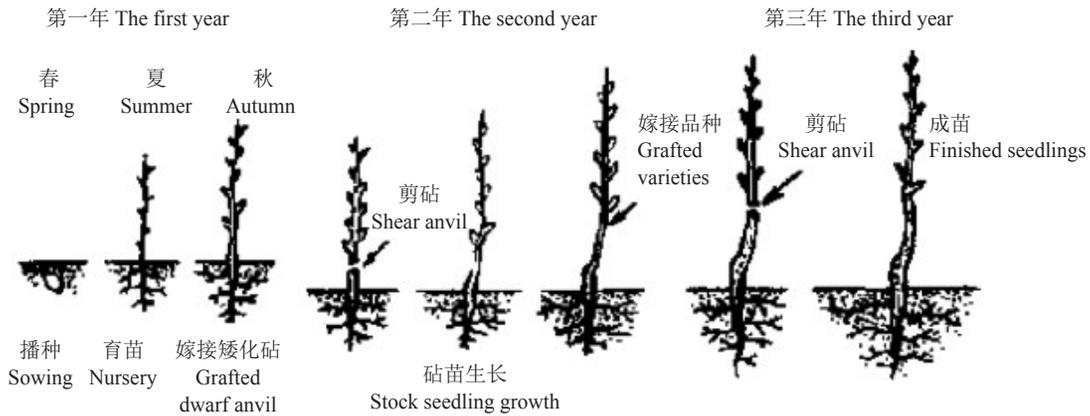


图1 3 a 生中间砧苗木培育流程

Fig. 1 3-years-old seedling cultivation process

基础,第一年8—9月份芽接矮化砧接穗(也可在翌年枝接矮化砧);第二年8月份在中间砧上用单芽枝接法嫁接苹果优良品种接穗,第三年春季萌芽时剪除中间砧,促进苹果品种芽的萌芽,生长1年,于当年11月份或翌年春季成苗出圃^[14]。

苹果砧木苗与成品苗相比,苗木较小,起苗时主要采用人工作业,有的苗圃基地采用了简易的改装犁或自制铲挖掘果树苗木,也出现了相关起苗机械,如内蒙古赤峰农林机械制造厂制造出的一种床式振动起苗机,如图2所示。该机具悬挂于拖拉机后部,通过拖拉机后部的动力输出轴带动抖动物器振动,松

土效果较为明显,该机可挖掘各种药材,也可挖掘树苗,但只适用于挖掘小苗,不适用于1 a 以上成品苗的挖掘。

1.2 机械起苗技术要求

起苗作为苗木培育的最后一个重要环节,其作业质量直接影响苗木后期的生长发育能力。粗壮完整的根系对果树吸收、贮藏和合成营养物质等功能有重大影响,根系还兼有繁殖和更新的机能。机械起苗作业的技术要求主要包括:

(1)起苗深度应符合果树根系的生长和植树的要求,一般为25~35 cm。

(2)起苗时只许切开带苗土堡和适度破碎根部土壤,不得产生土堡翻转和较大移动,以免埋没或损伤苗木。

(3)起苗铲的刃口应锋利,入土切口整齐,工作阻力小,能够适度抬起并提升带苗土堡,避免造成根系撕断等损伤。

(4)起苗铲后部可以设置根土分离装置,提高苗木根部去土率,便于苗木收集。

(5)机具整体结构配置应合理,机组作业中应受力平衡,机手易于操作,不得碰伤苗木。

机械起苗作业工艺图如图3所示,如果苗圃田



图2 床式振动起苗机

Fig. 2 Bed type vibrating seedling lifter

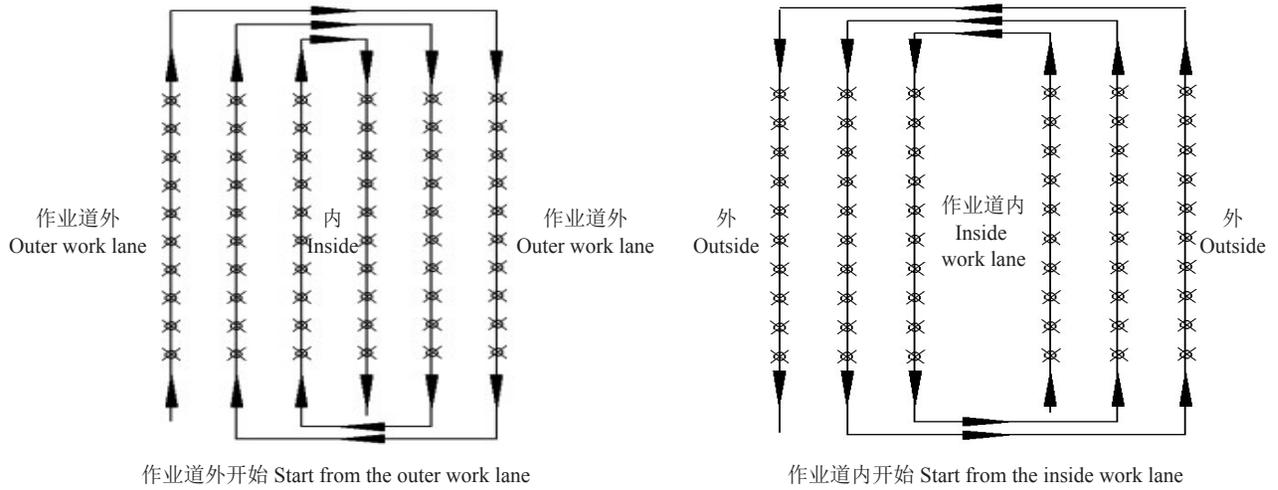


图3 机械起苗作业工艺图

Fig. 3 Mechanical seedling operation process

间外侧留有作业道,机组从外侧开始,由外到内逐行进行挖掘;如果苗圃田间中间留有作业道,机组从中间开始,由内到外逐行进行挖掘。

2 起苗机研究历程及现状

起苗机是在苗圃中通过拖拉机提供动力,将苗木和生长土壤分离的机械,可以分为垄作型、床作型、综合型和大苗型4种类型^[15]。起苗机的应用避免了人工挖掘苗木中作业强度大、重复操作多、苗木根系易损伤的弊端,大大提高了起苗作业效率^[16],起苗机作业过程示意图如图4所示。

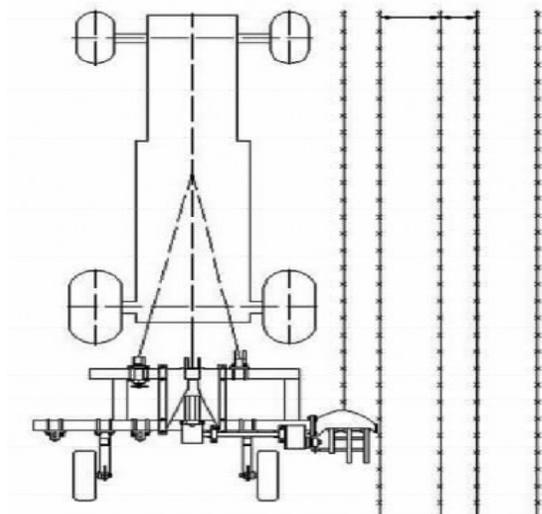
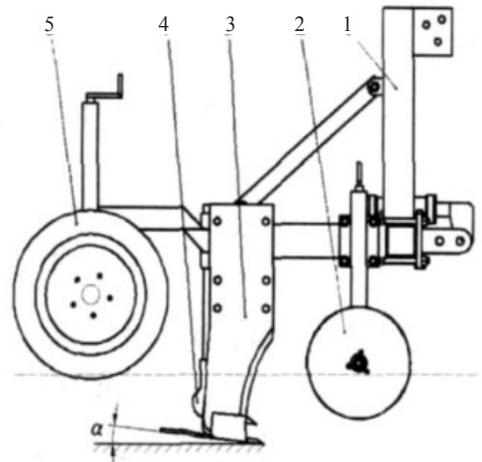


图4 起苗机作业过程示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the operation

起苗机由起苗铲、振动筛、限深轮、阻力铲和机架等组成,结构如图5所示,工作时起苗铲将苗木根部和土垄一块抬起,限深轮控制起苗铲入土深度,振



1. 机架;2. 圆梨刀;3. 起苗铲;4. 阻力铲;5. 限深轮。
1. Frame; 2. Round pear knife; 3. Seedling shovel; 4. Drag shovel; 5. Depth limit wheel.

图5 起苗机结构图

Fig. 5 Seedling lifter structure diagram

动筛连接在起苗铲之后,通过振动将苗木根部土壤抖掉,苗木散落在地上,人工进行捡拾整理。在起苗机另一侧安装阻力铲,使整机受力处于平衡状态,保证拖拉机直线行驶。

我国起苗机研制从20世纪70年代开始,早期的起苗机出现了起苗犁、螺旋弧形起苗犁、振动式起苗机、悬挂式起苗机等基本类型^[17-20],在理论方面,初步开始对起苗机进行受力变形分析与结构优化设计^[21],但整体起苗效果并不十分理想,仍需人工高强度的配合。进入21世纪后,随着理论研究的深入与机械制造工艺的不断提高,起苗机得到了迅速发展。目前市场上的起苗机能满足起苗、抖土的基本要求,很多科研单位和高校对起苗机进行了研究,包

括关键部件的优化设计,主要围绕起苗铲和振动筛两部分,也出现了多功能联合起苗机、起苗机作业质量标准等方面的理论研究,具体研究情况如图6所示。

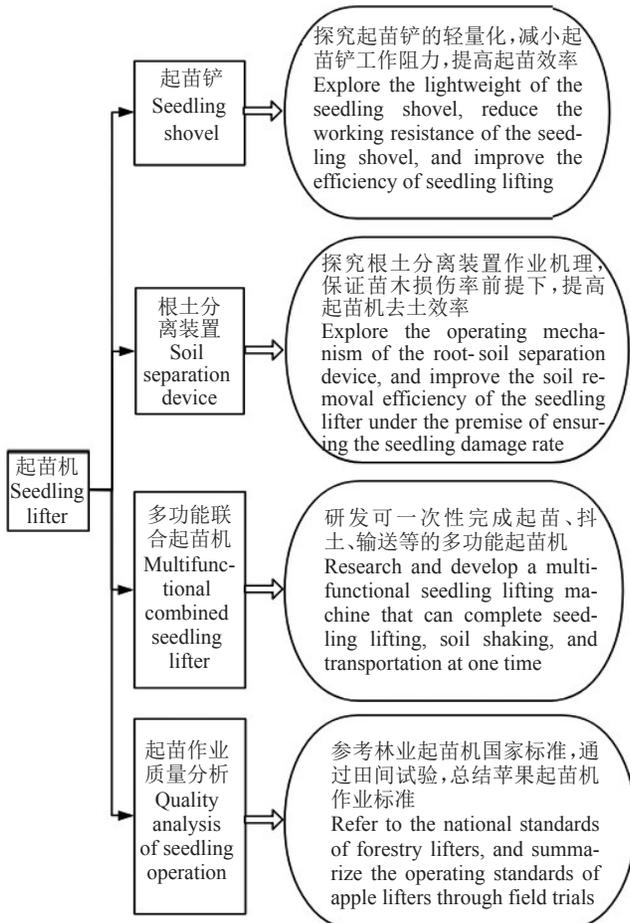


图6 现有起苗机研究情况

Fig. 6 Research status of existing seedling lifters

2.1 起苗铲的研究

起苗铲是起苗机实现起苗功能的关键部件,主要负责切断苗木根系,通常亦被称为起苗刀,目前国内起苗铲大多选用优质碳素钢65Mn作为材料。对起苗铲进行结构创新与优化,实现起苗铲的轻量化,减小起苗铲切土切根阻力,提高起苗机作业速度,是起苗铲优化设计的方向。

目前关于起苗铲的研究已经比较深入,主要通过三维数字模型和仿真技术,结合田间试验,对起苗铲的结构和尺寸参数进行改进优化,根据铲体形状不同,分为L形铲、L形曲面铲、梯形铲、U形铲、螺旋弧形铲等,不同铲形起苗示意图如图7所示。

杨欣等^[22]为提高苹果成品苗起苗机工作性能,解决其在工作过程中阻力偏大、起苗质量不够理想的问题,使用AIP软件及内嵌的ANSYS技术对起苗铲进行了三维模型的建立和有限元分析,对起苗铲结构尺寸进行了调整,将L形起苗铲进行尺寸优化,仿真变形量如图8所示。改进后的起苗铲减小了工作阻力,提高了作业效率,但对苗木根部根土分离没有考虑。

曾剑锋等^[23]基于ANSYS对联合起苗机梳齿式U形起苗铲进行优化设计。应用Pro/E和ANSYS分别对起苗铲进行三维模型建立和有限元仿真,根据多目标优化设计方法,对起苗铲进行结构尺寸优化。最终优化结果减小了起苗铲铲壁和铲底厚度,节省了材料,起苗铲安全系数和最大变形量在合适

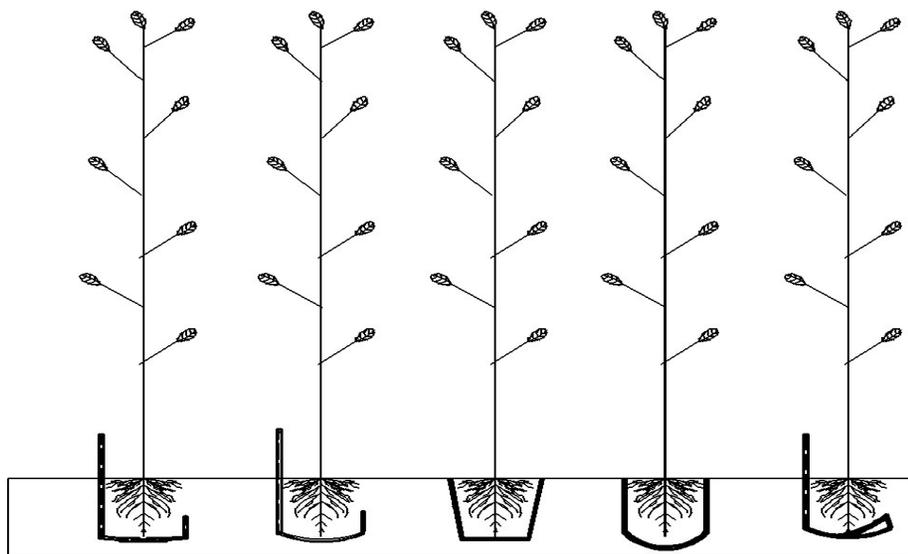


图7 不同类型起苗铲起苗示意图

Fig. 7 Schematic diagram of different types of seedling shovel excavation

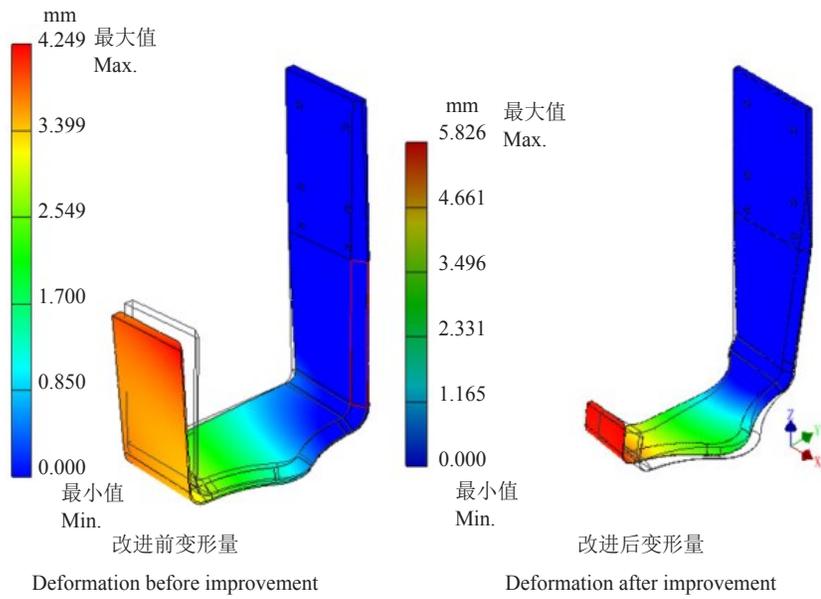


图 8 起苗铲改进前后变形量对比

Fig. 8 Comparison of deformation before and after improvement of seedling shovel

范围内。

梳齿式U形起苗铲结构尺寸与L形起苗铲优化后仿真数据对比如表1所示。相比于梳齿式U形起苗铲,L形起苗铲体积质量更小,在起苗作业中承受更小的切土阻力,起苗速度更快,起苗效果更加理想,后续在铲后安装根土分离装置,提高根土分离性能。梳齿式U形起苗机尾部的梳齿结构更有利于苗木根部土壤的脱落,两种起苗铲最小安全系数和最大变形量都在合适范围内,可满足起苗作业的要求。

表 1 起苗铲优化后仿真数据对比

Table 1 Simulation data comparison after optimization of the seedling shovel

| 参数 Parameter | L形起苗铲 L-shaped seedling shovel | 梳齿式U形起苗铲 Comb tooth U-shaped seedling shovel |
|--|--------------------------------------|---|
| 起苗铲总质量 Total mass of seedling shovel/kg | 116.880 | 34.248 |
| 起苗铲总体积 Total volume of seedling shovel/ m ³ | 0.015 | 0.004 |
| 最大变形 Maximum deformation/mm | 5.820 | 4.163 |
| 最小安全系数 Minimum safety factor | 3.422 | 3.795 |

除了L形和U形起苗铲之外,还存在L形曲面组合铲、螺旋弧形铲等多种起苗铲,起苗效率得到了提升,如图9所示。L形曲面组合铲在L形起苗铲基

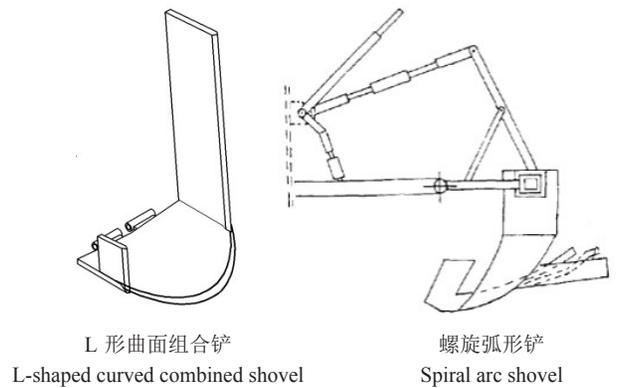


图 9 起苗铲类型

Fig. 9 Seedling shovel type

础上,将铲刃设计成圆弧状,减小了起苗铲对苗木根土的正切割阻力,提高了起苗机起苗作业性能。螺旋弧形铲铲底是圆弧形,并与铲的二侧边自然过渡组合,整个刀面平滑,在刀身长度相等的情况下,刀内所包含的土壤质量较小,并减少了土壤在起苗铲滑移面的堆积量,减小了起苗铲工作阻力,也不对苗木的根系切割造成影响,是比较理想的起苗铲类型。

除了对起苗铲结构尺寸进行优化之外,对土壤参数和起苗铲与土壤相互作用关系的研究也十分重要,曾剑锋等^[23]通过理论数据研究结合试验,对不同类型土壤抗剪力、附着力、摩擦力等进行了总结计算,得出起苗机作业过程中起苗铲与土壤的相互作用关系,为起苗铲结构优化设计提供了重要参考依

据。

在起苗铲的优化设计中,土壤参数是一个重要研究指标^[24-25]。深入研究起苗铲参数、起苗铲性能参数和土壤参数之间的关系,对提高起苗铲的作业效率和质量有重要意义。

除以上方面,在未来的起苗铲结构优化中,可加入仿生结构,进一步减小起苗铲工作阻力,提高起苗机工作效率。

2.2 振动筛的研究

在起苗机工作过程中,起苗铲负责把苗木根系切断,后面会加上振动筛来实现苗木根土的破碎与分离。目前,国内起苗机大多采用栅格状振动筛完成根土分离工作,动力来源有凸轮连杆机构传动或者液压装置传动。振动筛的优化设计不仅能大大提高起苗作业效率,还能降低人工成本和劳动强度,是未来发展的趋势。

李建平等^[26]为降低断根后的苗木出土强度,设计了曲柄摇杆式振动筛来实现苗木根系与黏结土壤的分离。应用 AIP 草图的计算机辅助几何设计 (CAGD) 功能来选择合适的传动零部件参数,最终确定曲柄摇杆式传动机构,三维模型如图 10 所示。在制造样机的田间试验中,作业效率得到了明显提升,达到了降低断根苗木出土强度的目的。

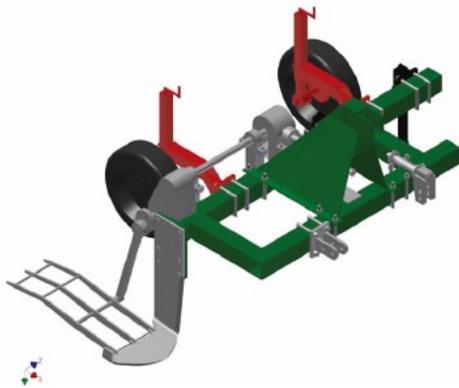


图 10 曲柄摇杆振动式起苗机三维模型

Fig. 10 Vibrating screen type fruit tree seedling lifter digital prototype

王双成等^[27]对凸轮曲柄机构的曲柄进行了优化改进,设置为可调(65~140 mm),应用 AIP 和 ANSYS Workbench 分别对改进后的模型进行建模和运动仿真,符合实际运动要求,并且测得机构固有频率 106.07~307.79 Hz 比较密集,振动对机构会产生较大的影响,为以后起苗机设计优化提供了参考,避免

共振造成损坏。

振动筛的类型还有其他几种,如 2011 年河北农业大学路志坤^[28]采用抖动振动筛进行根土分离,黑龙江省林业机械研究所采用 4QSZ-550B 型双振动起苗机^[16],东北林业大学曾剑锋^[29]采用振动筛进行根土分离等,其作业机制大致相同。

曾剑锋^[29]从细观力学角度对根土分离进行了描述,采用有限元法求解根土复合体的细观应力^[30-32],计算结果显示,去掉苗木根部的土壤,并不是对土壤结构进行整体破坏,而是破坏苗木和土壤之间接触的界面。

苗木振动筛的设计离不开理论方面的研究。一直以来,苗木根土复合体模型的建立始终是一个难点,曾剑锋^[29]对于苗木根土复合体模型的建立和仿真分析,为苗木分离装置的研究提供了重要参考,在苗木分离理论方面奠定了一定的基础。

如今,起苗机突出的问题在于振动筛作业效果不理想,在起苗作业中,起苗机受拖拉机牵引向前运行,振动筛对于苗木根部土壤的去除受到时间和空间位置的影响。

2.3 联合起苗机的研究

联合起苗机是指能一次性完成起苗、抖土、输送和收集等工序的多功能起苗机,在起苗机中加入夹持装置,通过夹持装置与振动筛配合作业,提高起苗机对苗木根部的去土效率,提高起苗机作业效率和质量,降低劳动成本和劳动强度。工序图如图 11 所示。随着国内起苗机装备起苗、抖土作业性能的日益完善,多功能联合起苗机成为未来起苗机发展的趋势。

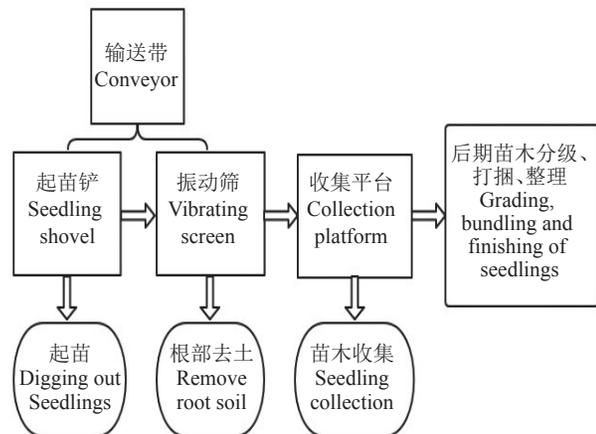


图 11 联合起苗机作业工序图

Fig. 11 Operation process diagram of combined seedling lifter

联合起苗机与传统起苗机相比,增加了传送带输送部件,部分联合起苗机还增加了收集平台。传送带部件能够将苗木抬出土壤并输送到收集区域,苗木被抬起大大提高了振动筛的去土效率,苗木根系土壤基本无残留,无需人工再去拔起苗根、去除土壤,大大提高了起苗机作业效率。但联合起苗机对起苗铲、振动筛以及传送带等部件的作业性能和配合作业有更高的要求,需要进一步的结构设计和产品研制。

曾剑锋^[29]从理论层面设计了一种联合起苗机,可完成起苗、输送、松土等多道工序。对起苗机的输送装置进行了参数设计,拓宽了起苗机的工作范围。东北农业大学李树森等^[33]发表了一种单垄起苗机发明专利,该起苗机包括底架、起苗铲、倾斜输送装置、水平输送装置、工作人员行走板、抖土装置、存苗装置和连接架,达到了一次性实现起苗、抖土、输送、收集的作业要求。此外,张忠友^[34]的联合起苗机发明专利同样满足多工序起苗要求,为起苗机装备制造生产提供了重要参考价值。

国外起苗机发展较早,一些林业较发达国家,如加拿大、德国、俄罗斯等,为了提高林业生产效率,降低生产过程中的人力成本,从20世纪40年代便开始了起苗机的研制。到20世纪80年代,伴随着液压技术、电子计算机技术、传感器技术、自动控制等技术的发展成熟,各国将其液压、自动控制等技术加入到起苗机中,大大拓宽了起苗机的工作范畴。

比利时 Carolus 育苗公司与 Class 农机公司合作研制了联合起苗机,用于大规模育苗场的起苗工作。图12为该联合起苗机的工作过程。联合起苗



图12 Carolus 公司的联合起苗机

Fig. 12 Carolus' combined seedling lifter

机采用液压驱动,传送带夹持苗木向后输送的同时,振动筛通过左右摇摆,敲掉苗木根系残余土壤,最终收获的苗木根系破损率低且土壤残留量少。在输送带后面配有收集平台,工作人员在平台上接受由传送带输送过来的苗木,进行收集与分级打捆。整个起苗过程紧凑高效,而且大大降低了人工作业强度。2016年宝鸡华圣果业有限公司引进意大利的KNIP起苗机,首次投入矮砧苹果苗圃起苗作业,每天起苗约3万株,效率是人工起苗的20倍,极大地降低了生产成本。

荷兰 Verbeek 公司生产的联合起苗机,在国内中林丰沃育苗场中得到了应用。该起苗机采用高效、标准化的机械起苗,不伤根系,保证了成活率,百万株的两年生苹果种苗仅需28 d即可从大田起完。起苗机如图13所示。



图13 Verbeek 公司联合起苗机

Fig. 13 Verbeek company combined seedling lifter

2.4 起苗机作业标准与实验分析

随着起苗装备的不断发展成熟,起苗机作业质量分析与标准也在不断完善。苹果起苗机可参考林业起苗机标准。林业起苗机最新国家标准 LY/T 1432—2013 已于2013年10月17日发布,并于2014年1月1日正式实施,关于起苗机的国家标准自1987年首次发布,经历了1999年和2001年两次修订^[35]。在 LY/T 1432—2013 国家标准中^[15],起苗机的主要性能指标如表2所示,与 LY/T 1432—2001^[35]相比,2013年的起苗机主要性能指标首先对起苗机机型进行了分类,不同机型确定不同性能指标,更加精细明确,起苗机2001年和2013年标准其他方面变化有以下几点:

表2 起苗机的主要性能指标

Table 2 The main performance indicators of the seedling lifter

| 类型 Type | 垄作型 Ridge cropping | 综合型 Comprehensive | 大苗型 Large seedling |
|---|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| 起苗深度变化范围 Variation range of seedling depth/mm | 0~60 | 0~50 | 0~60 |
| 入土行程 Entry stroke/mm | ≤2000 | ≤2000 | ≤2500 |
| 伤苗丢苗率 Injury seedling loss rate/% | ≤3 | ≤3 | ≤3 |
| 运输间隙 Transport clearance/mm | ≥250 | ≥250 | ≥300 |

(1)修改了起苗机的型号编制方法,并给出了起苗机的基本参数。

(2)删除了“主要零部件要求”中部分加工工艺的要求。

(3)增加了安全要求及其检验方法的内容。

(4)修改了可靠性的要求,将“起苗机的结构可靠性系数”的要求修改为起苗机“首次故障前平均工作时间”及“平均故障间隔时间”的要求。

李建平等^[6]在河北蠡县苹果苗圃实验中,通过起苗机的入土行程、起苗深度、生产率等方面的数据,从起苗机实验原理、起苗机作业质量分析和实验数据分析整理等方面对苹果果园起苗机的作业情况进行了系统计算,为优化配备拔苗分级假植等人员数量提供了技术依据,也为起苗机作业标准和未来的发展优化提供了重要数据参考。

3 机械化起苗技术发展趋势

相比于国外起苗技术和装备,国内起苗技术在单工序作业方面已基本成熟,起苗装备拥有良好的产品性能和作业效果,但是在未来的发展中,多工序联合起苗机械将比单工序有更大的优势和市场前景,在起苗装备进一步研制优化过程中,应加深以下几个方面的研究:

(1)起苗铲结构进一步优化,借鉴工程仿生学原理,进行起苗铲轻量化设计,减小起苗铲切根切土阻力,提高起苗铲切根切土效率,提高起苗质量。

(3)在起苗装备中加入夹持装置,研制出集切根、松土、传送、收集等工序为一体的联合起苗装备,进一步简化人工作业工序,减少用工量。

(2)优化振动筛机械传动结构,通过动力学仿真

与试验相结合的方法,探究起苗机夹持装置与振动筛配合作业机制,提高根系去土率,降低苗木根茎损伤率。

(4)利用液压技术、导航技术、传感器技术、自动控制技术等,提高起苗机作业性能和智能化程度,进一步降低劳动强度。

4 结束语

苗木出圃是育苗工作的最后一个重要环节,起苗装备作为苗木出圃的重要工具,在未来将会有更大的市场需求。目前我国传统起苗装备重点为机械结构的设计与优化,能满足基本起苗要求,但振动筛在工作过程中受到时间和空间影响,苗木根部去土效果不理想。在今后机械化起苗技术及装备发展中,可在起苗装备中设计夹持装置,探究夹持装置与振动筛配合作业机制,优化夹持装置和振动筛结构参数,提高起苗装备根部去土率。在后续研究中,可借助导航技术和智能化技术改进起苗作业性能和质量,进一步减少人工作业工序和降低劳动强度,提高作业效率。

参考文献 References:

- [1] 程存刚,赵德英.新形势下我国苹果产业的发展定位与趋势[J].中国果树,2019(1):1-7.
CHENG Cungang, ZHAO Deying. Development orientation and trend of the apple industry under the new situation[J]. China Fruits, 2019(1):1-7.
- [2] 王大江, BUS VINCENT G M, 王昆, DAYATILAKE G A, 高源, 刘立军, 李连文, 朴继成. 新西兰苹果生产现状和新品种简介[J].中国果树,2019(3):113-116.
WANG Dajiang, BUS VINCENT G M, WANG Kun, DAYATILAKE G A, GAO Yuan, LI Lijun, LI Lianwen, PIAO Jicheng. New Zealand apple production status and introduction of new varieties[J]. China Fruits, 2019(3):113-116.
- [3] 牛萌萌, 段洁利, 方会敏, 杨洲, 朱正波. 果园施药技术研究进展[J]. 果树学报, 2019, 36(1):103-110.
NIU Mengmeng, DUAN Jieli, FANG Huimin, YANG Zhou, ZHU Zhengbo. Research progress in orchard chemical spraying technology[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(1): 103-110.
- [4] 吕志华, 王福民, 陈建宁. 果树苗木出圃技术要点[J]. 中国果菜, 2006(1):11.
LÜ Zhihua, WANG Fumin, CHEN Jianning. Technical points of fruit tree seedlings out of nursery[J]. China Fruit & Vegetable, 2006(1): 11.
- [5] 李国华, 尹志欣. 苗木出圃栽植前的技术处理[J]. 林业机械与木工设备, 2008(1):42-43.

- LI Guohua, YIN Zhixin. Technical treatment of nursery stock before planting[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2008(1): 42-43.
- [6] 刘俊峰, 李建平, 杨欣, 刘洪杰, 冯晓静. 苹果成品苗起苗机的设计与试验[C]//纪念中国农业工程学会成立 30 周年暨中国农业工程学会 2009 年学术年会(CSAE 2009)论文集. 中国农业工程学会, 2009: 3.
- LIU Junfeng, LI Jianping, YANG Xin, LIU Hongjie, FENG Xiaojing. Design and experiment of the apple plantlet uprising machine [C]//Proceedings to commemorate the 30th anniversary of the founding of the Chinese Society of Agricultural Engineering and the 2009 Annual Conference of the Chinese Society of Agricultural Engineering (CSAE 2009). Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009: 3.
- [7] 宋春晖, 余拱鑫, 张庆伟, 刑利博, 宋晓敏, 赵彩平, 韩明玉, 李高潮. 苹果苗木类型和栽植时间对幼树生长特性的影响[J]. 果树学报, 2013, 30(1): 81-87.
- SONG Chunhui, YU Gongxin, ZHANG Qingwei, XING Libo, SONG Xiaomin, ZHAO Caiping, HAN Mingyu, LI Gaochao. Effects of nursery type and planting date on vegetative growth characteristics of the young apple tree[J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30(1): 81-87.
- [8] 张庆伟, 韩明玉, 赵彩平. 苹果苗木及幼树促分枝技术研究进展[J]. 果树学报, 2011, 28(1): 108-113.
- ZHANG Qingwei, HAN Mingyu, ZHAO Caiping. Research progress in promoting branching techniques in apple nursery and young tree[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(1): 108-113.
- [9] 张普照. 林业机械化的发展与展望[J]. 农村实用科技信息, 2012(3): 61.
- ZHANG Puzhao. Development and prospect of forestry mechanization[J]. Rural Practical Scientific and Technological Information, 2012(3): 61.
- [10] 吴兆迁. 我国经济调整转型中的苗圃机械化[C]//全国林业机械新产品新技术示范推介会暨第三届全国林业机械发展论坛论文集. 中国林业机械协会, 2014: 4.
- WU Zhaoqian. China nursery mechanization in economic adjustment and transformation[C]//Proceedings of the National Forestry Machinery Conference and the Third National Forestry Machinery Development Forum. China National Forestry Machinery Association, 2014: 4.
- [11] 马凤财. 4QYS-600C 型液压翻转双侧起苗机性能先进[J]. 农机科技推广, 2008(1): 60.
- MA Fengcai. 4QYS-600C hydraulic flip double-sided seedling lifter has advanced performance[J]. Agriculture Machinery Technology Extension, 2008(1): 60.
- [12] 任永进. 4QD-46A 型起苗机[J]. 农机具之友, 2004(2): 40.
- REN Yongjin. 4QD-46A seedling lifting machine[J]. Friends of Farm Machinery, 2004(2): 40.
- [13] 韩立新, 郝贝贝, 瞿振芳, 刘振西. 豫西豫北区域苹果苗木繁育发展情况调查报告[J]. 现代园艺, 2019(21): 62-63.
- HAN Lixin, HAO Beibei, QU Zhenfang, LIU Zhenxi. Investigation report on the development of apple seedlings in the north of Henan province[J]. Xiandai Horticulture, 2019(21): 62-63.
- [14] 徐金涛. 2 年生苹果苗木圃内促分枝与初整形技术研究[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2010.
- XU Jintao. Research of promoting branching and early shaping technology for 2 year old apple seedling in nursery[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2010.
- [15] 北京市大东流苗圃. 悬挂式起苗机[J]. 林业科技通讯, 1975(1): 15.
- Beijing Dadong Nursery. Suspended seedling lifter[J]. Forest Science and Technology, 1975(1): 15.
- [16] 黑龙江省林业机械研究所. DQ-45 型大苗起苗机[J]. 林业科技通讯, 1977(6): 15.
- Heilongjiang Forestry Machinery Research Institute. DQ-45 large seedling lifting machine[J]. Forest Science and Technology, 1977(6): 15.
- [17] 郎惠明. 联合起苗机[J]. 林业机械, 1982(4): 50.
- LANG Huiming. Combined seedling lifter[J]. Forestry Machinery, 1982(4): 50.
- [18] 洪庆. 4QZ-130 型振动式起苗机的研制[J]. 林业机械, 1987(6): 29-30.
- HONG Qing. Development of 4QZ-130 vibrating seedling lifting machine[J]. Forestry Machinery, 1987(6): 29-30.
- [19] 刘淑清, 王世勋. 4QD-56 系列起苗机损坏变形原因及使用要点[J]. 林业机械, 1992(4): 28-29.
- LIU Shuqing, WANG Shixun. Reasons for damage and deformation of 4QD-56 series seedling lifters and key points of use[J]. Forestry Machinery, 1992(4): 28-29.
- [20] 国家林业局. 林业机械-苗圃起苗机: LY/T 1432—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- State Forestry Bureau. Forestry machinery-nursery seedling lifter: LY/T 1432—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.
- [21] 谭兴宇. 4QSZ-550B 型双振动起苗机的研究与应用[J]. 农业科技与装备, 2015(11): 34-36.
- TAN Xingyu. Research and application of type 4QSZ-550B double vibration plant lifter[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2015(11): 34-36.
- [22] 杨欣, 刘俊峰, 李建平, 许述财, 冯晓静, 刘洪杰. 苹果起苗铲有限元分析与结构设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(2): 84-87.
- YANG Xin, LIU Junfeng, LI Jianping, XU Shucan, FENG Xiaojing, LIU Hongjie. Tructural design and finite element analysis of apple seedling lifter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 84-87.
- [23] 曾剑锋, 李树森, 朱赞彬, 彭程, 马文龙. 基于 ANSYS 的联合起苗机梳齿式 U 型起苗刀的优化设计[J]. 现代科学仪器, 2012(6): 117-121.
- ZENG Jianfeng, LI Shusen, ZHU Zanbin, PENG Cheng, MA Wenlong. Optimization design of the comb-type and U-shape

- seedling lifter of the combine plant lifter based on ANSYS[J]. *Modern Scientific Instruments*, 2012(6): 117-121.
- [24] LIU Y, QIAN J, YANG X, DI B, ZHOU J. Study on measurement method for apple root morphological parameters based on labview[J]. *Plant Methods*, 2019, 15(1): 1-11.
- [25] COLOMBI T, KIRCHGESSNER N, ISESKOG D, ALEXANDERSSON S, LARSBO M, KELLER T. A time-lapse imaging platform for quantification of soil crack development due to simulated root water uptake[J]. *Soil & Tillage Research*, 2021, 205: 104769.
- [26] 李建平, 刘俊峰, 杨欣, 王鹏飞. 苹果苗木根系土壤振动分离装置设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(S1): 57-62.
LI Jianping, LIU Junfeng, YANG Xin, WANG Pengfei. Design for soil separating device from apple seedling root[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(S1): 57-62.
- [27] 王双成, 刘俊峰, 李建平. 果树苗木起苗机苗土分离机构改进与模态分析: 基于 ANSYS Workbench[J]. *农机化研究*, 2015, 37(12): 38-42.
WANG Shuangcheng, LIU Junfeng, LI Jianping. Improvement and modal analysis of seedling: Soil separation mechanism of fruit tree seedlings lifter machine[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Reserch*, 2015, 37(12): 38-42.
- [28] 路志坤. 果树苗木起苗机的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2011.
LU Zhikun. Research of fruit tree seedlings lifter machine[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2011.
- [29] 曾剑锋. 联合起苗机起苗刀性能参数优化及根土分离的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
ZENG Jianfeng. The optimization of performance parameters of the seedling lifter in the combine plant lifter and the research of the separation from roots and soil[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013.
- [30] TALIERCIO A. Generalized plane strain finite element model for the analysis of elastic-plastic composites[J]. *International Journal of Solids and Structures*, 2005, 42(8): 2361-2379.
- [31] EKANAYAKE J C, PHILLIPS C J. A method for stability analysis of vegetated hill slopes an energy approach[J]. *Canadian Geotechnical Journal*, 1999, 36(6): 1172-1184.
- [32] EKANAYAKE J C, PHILLIPS C J. Slope stability thresholds for vegetated hill slopes a composite model[J]. *Canadian Geotechnical Journal*, 2002, 39(4): 849-864.
- [33] 李树森, 刘彦利, 潘春阳, 任毅. 一种单垄起苗机[P]. 黑龙江: CN105557455A, 2016-05-11.
LI Shusen, LIU Yanli, PAN Chunyang, REN Yi. A kind of single ridge seedling lifting machine[P]. Heilongjiang: CN105557-455A, 2016-05-11.
- [34] 张忠友. 起苗机[P]. 安徽省: CN109220691A, 2019-01-18.
ZHANG Zhongyou. Seedling lifter[P]. Anhui: CN109220691A, 2019-01-18.
- [35] 国家林业局. 起苗机: LY/T 1432—2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
State Forestry Bureau. Seedling lifter: LY/T 1432—2001[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [36] 李建平, 刘俊峰. 果树苗木起苗机起苗作业质量分析[J]. *农机化研究*, 2012, 34(3): 75-78.
LI Jianping, LIU Junfeng. Quality analysis of seedling lifting operation of fruit tree seedling lifting machine[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Reserch*, 2012, 34(3): 75-78.