

振动技术在农业生产中的应用进展

王应彪 赵学观 徐丽明* 侯兴杰

(中国农业大学 工学院/农业部土壤-机器-植物系统技术重点实验室,北京 100083)

摘要 从振动技术原理出发,介绍了国内外振动技术在现代农业生产中的研究进展;从农作物播种、种子加工、果实收获、农业物料定向排序等方面,总结了振动技术的应用现状,重点阐述了农业物料在振动作用下的排序及定向原理。研究认为,由于农业物料种类繁多,外观特征复杂,形状不规则,质地不均匀,物理参数难于测定,给振动力学和数学模型的建立增加了难度,应加大对农业物料优化设计和物料力学特性的基础性研究,建立振动力学和数学模型。总之,振动技术与农业生产的物料特性相互融合,可以实现作物播种、收获、种子定向排序、施肥、耕作等作业的机械化和自动化,为全面提升农业生产耕种收综合机械化水平提供新的技术支撑。

关键词 振动技术;农业生产;振动排种器;农业物料定向排序;自动化

中图分类号 S 220.1

文章编号 1007-4333(2013)06-0231-06

文献标志码 A

Progress of vibration technology application in agricultural production

WANG Ying-biao, ZHAO Xue-guan, XU Li-ming*, HOU Xing-jie

(College of Engineering/Key Laboratory of Soil-Machine-Plant System Technology, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract This paper introduced the national and international research progress of vibration technology in modern agricultural production, and summarized the application of vibration technology in cropping seeds, seed processing, fruit harvest, farming materials ordering etc. The discussions were mainly focused on the effect of vibration on agricultural material selection. Due to the wide variety of agricultural materials, and their complex appearance, irregular shape, uneven texture, it was difficult to determine physical parameters for vibration mechanics and mathematical modeling. So the suggestion that the paper gave was to increase the optimal design and basic research for mechanical properties of agricultural materials. In a word, the integration between the vibration technology and agricultural production material properties could achieve mechanization and automation of agricultural production of crop planting, harvesting, seed directional sorting, fertilizing and tillage operations, and provide a new technical support for enhancing the agricultural mechanization level.

Key words vibration technology; agricultural production; vibrated seeding apparatus; orienting and ordering of agricultural material; automation

随着各学科领域的发展和学科技术的交叉融合,振动技术作为一种动力源已广泛应用于冶金、矿山、煤炭、化工和轻工部门等行业,如电磁振动给料机、振动输送机、电磁振动筛、振动落砂机等,其应用领域已渗透到各个学科,并取得了较好的应用效果。

农业机械化是农业现代化和农村经济社会发展的重要标志,近年来世界各国都加大了对农机科研的投资和开发力度,快速提升了农业机械化技术和装备水平。为了进一步提高农业生产作业效率、农业生产自动化程度和减少动力消耗,振动技术也开始融

收稿日期:2013-04-08

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金课题(20120008110045);中央高校基本科研业务费专项资金资助(2012YJ105)

第一作者:王应彪,博士研究生,E-mail:wymbjob@163.com

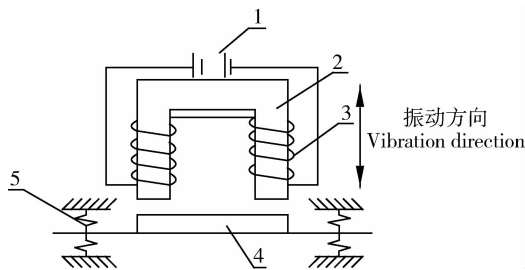
通讯作者:徐丽明,教授,主要从事生物生产自动化技术和装备研究,E-mail:xlmoffice@126.com

入到农业机械和装备中,通过对农业机械的工作过程施加振动,可以达到减少工作阻力、改善作业效果和um提高作业效率的目的。本研究通过介绍国内外振动技术在农业生产领域中的研究进展,分析其存在的问题和难点,以期能为振动技术在现代农业中的应用提供参考。

1 振动原理及分类

振动又称振荡,有广义定义和狭义定义,广义定义是指任何一个物理量在某一量值附近发生周期性的变化。狭义定义是指物体在一定位置附近的往返运动,也叫机械振动。振动的不同分类方法从不同的角度反应了振动的特性,本研究仅按照激振源,将振动分为电磁振动和机械振动。

电磁振动是由电磁激振器产生的。电磁激振器(图1)主要由电磁铁、衔铁、线圈、弹簧等组成,线圈中通入交流电后而产生变化磁场,电流经半波整流,在电流的正半周,衔铁和铁芯之间产生一对大小相等的脉冲电力,脉冲力使衔铁向下或向上运动并拉伸或压缩弹簧,使弹簧发生变形,储存了一定的势能;在负半周,电磁力消失,由弹簧储存的势能被释放,产生了周期变化的电磁力,该电磁力作为激振力就可以维持持久而稳定的振动。



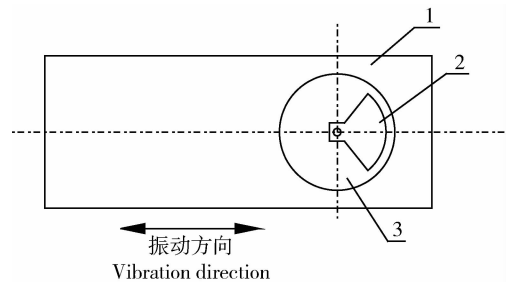
1. 电源 Power; 2. 铁心 Iron core; 3. 线圈 Coil;
4. 衔铁 Armature; 5. 弹簧 Spring。

图1 电磁激振器工作原理

Fig. 1 Working principle of electromagnetic exciter

机械振动一般通过机械结构实现,如偏心电机、曲柄滑块、偏心轴等,其中偏心电机是通过转子轴两端各安装1组可调偏心块,利用偏心块的高速旋转产生离心力,从而得到激振力。不同的机械机构可产生不同的振动轨迹,从而有效地完成各种作业。振动电机(图2)是实现机械振动的一种,在其上下轴两端对称的位置上各安装质量相等、位置可调的扇形偏心块,2块为1组,由罩壳密封在内,通过调

整每组偏心块的相对夹角,可实现激振力和振幅的无级调整。



1. 设备 Equipment; 2. 偏心块 Eccentric block; 3. 电机 Motor。

图2 振动电机工作原理

Fig. 2 Working principle of vibration motor

电磁振动操作简单,体积小、重量轻,无传动零件、无需润滑、噪音低、磨损小,并且振幅和频率容易调节,便于实现自动控制,多用于颗粒状物料的输送;但机械振动惯性力大,磨损严重,频率较低,功耗较大,多用于尺寸较大且质量较大的物料输送,以及振动收获等需较大激振力的作业。

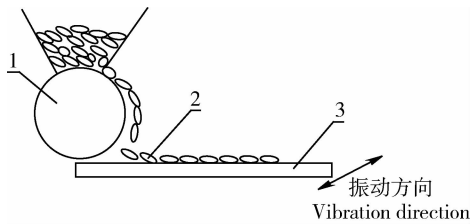
2 振动技术在农业生产中的应用

随着现代农业的快速发展,对农业生产机械化和自动化技术的需求也越来越迫切,振动技术以其独特的技术特性,开始进入农业生产领域,已取得了较好的应用效果。

2.1 播种及种子加工

振动可以减小物料之间的摩擦,增加其流动性。在振动输送过程中,由于物料之间互相挤压,造成物料堆积,易于堵塞,利用振动技术和物料自重,可以使物料向四周均匀散开,促进物料之间的离散与分层。基于此特性,国内学者把振动技术与水稻育秧结合起来,从而实现水稻的精准化播种。

在国内,李志伟等针对水稻育秧穴盘播种过程中播种量精确调整的需求,采用电磁振动排种的方式,由调速电动机控制外槽轮的转速,实现定量供种,并分析了电压和频率对水稻种子输送速度的影响^[1]。郑丁科等将外槽轮定量排种与电磁振动精密排种相结合,设计了组合式毯状秧苗精密排种器(图3),种子经外槽轮排到振动排种板上,在振动排种板的振动作用下形成单列排序,从而实现精密播种。试验结果表明,排种的合格率、均匀性和稳定性都得到了显著提高^[2]。此外,为了提高气吸式播种机的播种性能,赵立新等把电磁振动应用于气吸式播种

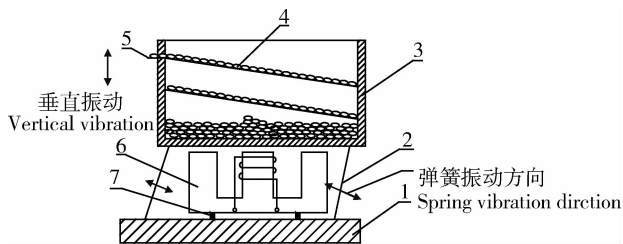


1. 外槽轮 External geneva wheel; 2. 水稻种子 Rice;
3. 振动排种板 Vibration platoon.

图3 组合式毯状秧苗精密排种器

Fig. 3 Composite blanket seeding metering device

机上,设计了气动振动式气吸播种机,电磁振动使种子在种子盘内产生抛掷运动,提高了排种盘的吸种和固种的能力^[3-4]。杨明金等通过分析影响水稻种子排种性能的因素,设计了扭摆式电磁振动排种器(图4),由机架、弹簧板、排种盘和铁芯线圈等组成,铁芯线圈使排种盘产生垂直振动,而排种盘受到弹簧板的牵制,形成特殊的扭摆振动,使种子均匀排出,不伤种子,并且可以通过调节电压的大小,来控制种子的流动速度,提高排种器的排种速率^[5]。陈进等利用计算机仿真技术,采用 EDEM 软件对水稻种群在振动激励下的运动规律进行模拟仿真研究,分析了不同频率、振幅、种层厚度对种群空间分布密度的影响,确定了振动排种盘的最佳参数组合^[6]。Ma Xu 和 Zuo Yan jun 采用多层交叉导种板和 V 型槽式播种盘,研究出振动流动式水稻播种器,实现了种子在播种时的流动、筛选、分离和播种,突破了传统水稻播种器采用强制排种机构来分离种子的思路,减少了种子在分离过程中的损伤^[7]。杨坚等对电磁振动式拌浆育秧水稻芽种播种机进行试验和分析,建立了挡种板开口高度、行走速度、振动速度和



1. 机架 Rack; 2. 弹簧板 Spring plate; 3. 排种盘 Planter plate;
4. 水稻种子 Rice; 5. 排种口 Planter outlet;
6. 铁芯线圈 Iron core coil; 7. 调整螺栓 Adjusting bolt.

图4 扭摆式电磁振动排种器

Fig. 4 Pendulous electromagnetic vibration seeding metering device

隔振橡胶垫刚度 4 个因素与播种量和播种合格率的数学模型,得到各参数与播种合格率之间的相关关系^[8-9]。Shao xiuping 等采用离散单元法 (DEM) 对电磁振动式圆筒种箱中的种子供给过程进行了仿真分析。结果表明,振动频率对排种有较大影响,当振动频率小于 10 Hz 时,种子不能排出;当振动频率等于 40 Hz 时,排种效果最佳^[10]。刘彩铃通过对水稻种盘的振动试验分析,研究了振动对水稻精量播种装置吸种性能的影响,结果表明各因素对吸种率的影响顺序为:弹簧刚度>偏心距>电机转速^[11]。

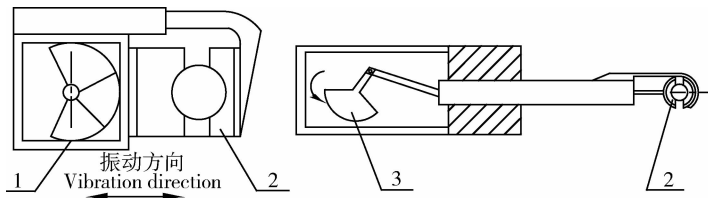
在国外, Li J 等提出了基于离散单元法 (DEM) 建模技术,在振动筛选过程中,对农作物种子的分离过程进行了二维数值模拟,结果表明,种床的深度对筛分效率有至关重要的影响,通过 DEM 的模拟,确定了筛选临界操作参数^[12]。Ilea R 等研究了振动清选时的种子颗粒在水平筛上的运动状态,种子在振动筛上的持续位移随筛面倾角的增加而减少,随种子喂入量的增加而增加^[13]。Ilea R 等对施加振动条件下摩擦平面上的颗粒模型和种子的运动状态进行了分析,在振动环境中,种子有向前或向后滑动的运动状态,并找到了种子振动撞击分离的原因^[14]。

振动技术可以有效地促使堆积种子的分散和按序流动,有利于实现种子的精密播种,减少种子的机械损伤。

2.2 果实收获

振动式收获技术能够快速、有效地分离成熟果实,减少果实损伤。目前国内外已广泛运用振动技术对果实采摘机械进行研究和设计,如葡萄、花椒、橄榄、柑橘、芒果、杏和红枣等。在发达国家,果园果实的收获多采用振动式采收机,基本原理可以分为两大类:一类是振动摇推式(图5),由偏心振动电机、夹持器和曲柄滑块机构组成,夹持器固定在树干上,偏心振动电机驱动曲柄滑块机构做周期往复运动,曲柄滑块机构带动夹持器产生振动,从而摇推果树,使果实脱离植株落下来;另一类是振动撞击式,通过振动激励撞击果实,使得果柄断裂实现收获。

国外 Sessiz 和 Ozcan 利用振动技术对橄榄果实的收获进行研究,振动频率对橄榄果实的机械收获效率有一定的影响^[15]。Polat 等进行了不同的振动频率和幅度对开心果果实的机械化收获效果试验,研究了频率和振幅对采收效率的影响^[16-17]。Pezzi 和 Caprara 在葡萄藤的不同位置设置了加速



1. 振动电机 Vibration motor; 2. 夹持器 Holder; 3. 曲柄滑块机构 Slider crank mechanism.

图5 偏心振动式推摇器

Fig. 5 Eccentric vibrating wiggler

度传感器,用来测量植株的振动响应,分析了接触式葡萄收获机的工作性能。研究表明,振幅强度越大,果实的收集越困难,果实的损伤也越严重^[17-18]。De Queiroz 对巴西咖啡豆在振动激励下的收获过程进行了试验分析,振幅调节范围为 7.5~15.0 mm,频率范围为 13.33~26.67 Hz,研究结果表明,当振幅为 15 mm、频率为 26.67 Hz 时,收获效率最佳^[19]。此外,Voicu G 等对收获机的筛分面进行运动学和动力机理分析,确定了筛分面的运动学和动力学参数,通过振动激励,保证了谷物层沿筛面方向运动,使物料间产生相对运动,提高了作业效率^[20]。

国内张日红等应用 Solid Works 对花生联合收获机清选系统中的振动筛进行了运动仿真分析,适当增大曲柄长度和曲柄输入转速,能明显提高筛分效率^[21]。吴海平等采用铲筛一体的振动式挖掘铲结构,设计了 4S-80 马铃薯挖掘机,并进行了牵引阻力测试,结果表明,振动可显著降低挖掘铲作业时的牵引阻力^[22]。此外,果实采摘机采用直流或交流电磁铁,铁芯产生的磁力驱动刀片产生振动切断果柄,实现采摘;河南洛阳、甘肃及宁夏等地利用电磁振动原理开发了花椒采摘机和山芋荚采摘机^[23]。

振动技术通过调节频率和振幅能有效地分离果实与植株,提高收获效率、降低作业成本,减少果实损伤,是未来果实自动化收获技术的发展方向之一。

2.3 农业物料定向排序

电磁振动给料装置作为工业制造领域中工件自动组装或自动加工机械的辅助送料设备,已经得到广泛应用,并可以根据工件的形状和物理特点,设计定向机构,实现各类工件的有序排列。基于此原理,根据农业物料的外观及力学特性,将此技术引入与农业物料相关的农业机械设备的研发中,可以完成对农业物料的特殊定位和排序要求。田耘等以电磁振动为动力,根据松子外观的结构特征,研发了松子破壳机单粒定向喂入装置,实现了松子果实的单向

定位和定向破壳,并对松子破壳机单粒定向喂入装置进行了试验分析,确定了主要结构技术参数^[24-25]。俞亚新等根据稻种沿其长短轴两个方向摩擦角不同的特性,提出了超级稻种按胚胎部位定向排列播种的思想,以电磁振动为动力,设计出了超级稻定向排序装置(图 6),包括激振源、振动板和导向板。激振源设置在振动板和导向板的下方,在振动板上放置附有高摩擦系数的导向板。激振源启动,水稻种子在振动板上受到牵连惯性力 F_s 、重力 G 、振动板摩擦力 F_{fsb} 和导向板摩擦力 F_{fsl} 的综合作用(图 7),产生摩擦阻力矩 M_f ,稻种质心合力矩 M_o 为:

$$M_o = M_f - F_{fsl} \times r = M_f - \tan\varphi_2 \cdot F_{sd} \times r \quad (1)$$

式中: r 为稻种椭圆短半轴, φ_2 为稻种在导向板上的摩擦角;当质心点合力矩 M_o 足够大时,其转向力矩

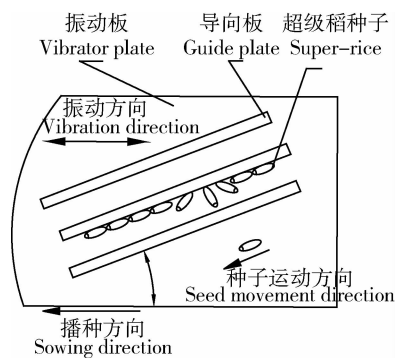


图6 超级稻定向排序装置

Fig. 6 Rice seed orienting equipment

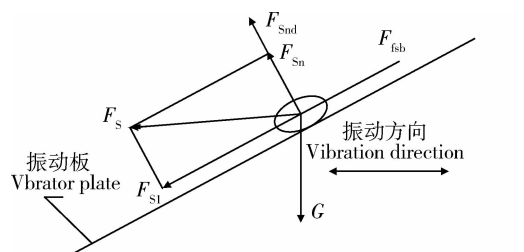


图7 稻种在振动板上的受力分析

Fig. 7 Mechanical analysis of rice seed on vibrator

大于稻种摩擦力矩,稻种沿着导向板转向(图 8),从而实现转向并定向排列^[26]。在此基础上,俞亚新等对振动式排种器中稻种的有序排列进行了动力学和运动学分析,建立了稻种运动的特征值和运动速度的动力学方程,试验得出了超级稻运动速度与振幅频率之间的关系^[27]。俞亚新等又对振动式超级稻排种器进行了计算机模态分析和试验研究,得出了排种器的固有频率^[28]。杨艳丽等利用电磁振动料盘排序原理,设计了大粒种子调向精量播种机,使南瓜等大粒种子的长轴方向保持一致,实现定向排序,试验得出了播种机的频率与电压等的最佳参数组合^[29]。此外,振动技术也应用于其他农业物料生产自动化设备的研发中,实现物料的自动定向和分类,如振动式鱼类自动投料机,采用振动输送的方式把鱼体送入定向机构,实现鱼头和鱼腹的定向排列。国内的高星星等根据鲢鱼的摩擦特性,利用偏心振动电机作为激振源,设计了淡水鱼头尾与腹背定向试验台,定向排序原理见图 9,通过对鱼体施加振动,鱼体在激振力、摩擦力和重力等综合作用下,使鱼头在下滑过程中产生旋转力矩从而发生转动,保证了鱼头朝前,完成定向排序。利用试验台对振动电机的转速和振幅、筛面倾角、滑道夹角等进行了试验,得到了参数的最佳组合;试验结果表明,头尾总定位率为 97.53%,腹背定位的总定位率为 97.5%^[30]。

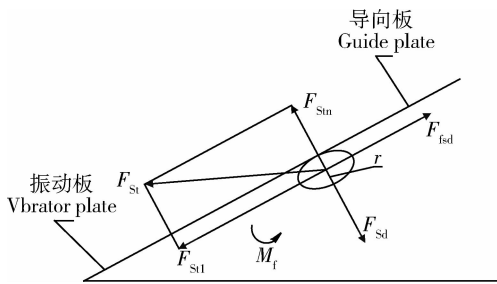


图 8 稻种在导向板方向上的受力分析

Fig. 8 Mechanical analysis of rice seed on guide plate

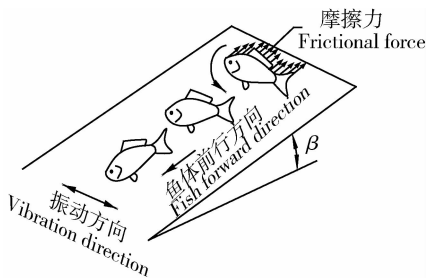


图 9 鱼体振动定向排序原理

Fig. 9 Directional ordering principle of fish body

农业物料种类繁多,有其独特的外形结构和物理特性,在激振力、重力、摩擦力等综合作用下,可根据作业要求,实现定向排列,提高了作用精度和作业效率,实现物料的自动化作业。

2.4 其他方面

振动技术与耕、整地机械相结合,可改善深松机的作业性能,防止缠草和粘土,减少牵引阻力。目前振动深松机有强迫振动和自激振动两种形式,强迫振动机主要是由拖拉机的动力输出轴 PTO 提供的动力,通过振动机构带动深松铲产生振动,由于降低了牵引阻力,可大大改善拖拉机的牵引性能。自激振动主要是深松机自身在作业时,切削土壤具有负阻尼特性,由此产生自激振动。深松机的自激振动和强迫振动都具有减阻效果,可降低了能耗。Speko 等利用土壤弹塑性的力学性质,将振动位移置于弹塑性变形区,使其阻力小于塑性变形的最大阻力,降低了牵引阻力;Eggenmulelr 等采用力学分析方法提出了垂直于切削方向的振动减阻机理,施加振动以后的水平阻力远远小于不振动犁的水平阻力,从而达到了减阻的目的^[31]。国外的振动深松机已经形成了多种产品,如罗马尼亚的 MAS-60 型振动深松铲、意大利的 MORO 型振动深松铲、法国 ARPON 振动深松铲、德国生产的 TLG-12 型振动深松机、匈牙利的 FVA-3 型振动深松犁等^[32]。国内类似的产品有河北华勤机械股份有限公司的 1SZ-360 型振动式深松机、黑龙江省水利科学研究所的 1SZ-140(210)型多功能振动式土壤改良机、沈阳农业大学研究的 1ZS-2 型振动式深松机、西安大洋农林科技公司的 1S-7 型深松机、北京银华春翔农机公司的 1SQ-250 型深松机等^[33]、中国农业大学的 1SZ-460 型振动深松机^[34]等。此外,在粮食加工机械中,振动技术也得到广泛应用,如自稳振动筛、去石机、重力分级机、清粉机、振动卸料器等^[35]。

3 研究展望

振动技术在工业制造领域已经得到了广泛应用。随着现代农业的快速发展,已渗透到现代农业生产中,提高了农业生产机械技术装备的机械化和自动化水平。因为电磁振动能达到很高的振动频率,并且调节方便,目前国内外利用电磁振动技术在农业播种、种子加工等方面的研究比较广泛,取得了较好的作业效果。果实振动收获机械和振动深松机需要的振动力比较大,多利用拖拉机来提供动力;而

对于农业物料而言,由于其独特的外形特性,形状不规则,质地不均匀,物理参数复杂,给振动力学和数学模型的建立增加了难度,需要对农业物料进行优化设计,并进行物料力学特性的基础性研究,才可以实现农业物料的定向排序,以满足其进一步深加工或排种作业的特殊需求。总之,振动技术与农业生产中的物料特性相互融合,产生了新型交叉技术,可以实现作物播种、收获、种子定向排序、施肥、耕作等作业的机械化和自动化,为全面提升农业生产耕种收综合机械化水平提供了新的技术支撑,具有良好的生产应用前景。

参 考 文 献

- [1] 李志伟,邵耀坚.电磁振动式水稻穴盘精量播种机的设计与试验[J].农业机械学报,2000,31(5):32-34
- [2] 郑丁科,李志伟,区颖刚.电磁振动组合式毯状秧苗播种装置的设计与试验[J].华南农业大学学报,2004,25(1):103-106
- [3] 赵立新,郑立允,刘志民,等.气动振动器气吸播种机的种子振动性能研究[J].农业工程学报,2005,21(7):65-68
- [4] 王淑铭,魏天路,周海波.气动振动式精密排种器工作参数的分析与仿真[J].农业工程学报,2010,26(S1):56-60
- [5] 杨明金,杨玲,李庆东.摆摆式电磁振动排种器设计及其试验研究[J].农机化研究,2007(11):109-111
- [6] 陈进,周韩,赵湛,等.基于EDEM的振动种盘中水稻种群运动规律研究[J].农业机械学报,2011,42(10):79-83
- [7] Ma Xu, Zuo Yanjun, Qi Long. Research on rice seed-metering device of vibration-flow type [J]. American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting, 2010(2):2560-2566
- [8] 杨坚,杨望,王高峰,等.电磁振动式拌浆育秧水稻芽种播种机优化试验[J].农业工程学报,2012,28(6):32-38
- [9] 董艳.电磁振动排种器振动上板子系统的建模与模态分析[J].农业技术与装备,2010(20):12-14
- [10] Shao Xiuping, Hu Jianping, Huang Yingsa. DEM simulation and analysis of seeds supply by the vibrating seed box of magnetic cylinder seeder [J]. Computer and Computing Technologies in Agriculture IV IFIP Advances in Information and Communication Technology, 2011(344):401-408
- [11] 刘彩铃,宋建农.种盘振动对气吸振动式精量播种装置工作性能的影响[J].中国农业大学学报,2004,9(2):12-14
- [12] Li J, Webb C, Pandiella S S, et al. A numerical simulation of separation of crop seeds by screening-effect of particle bed depth[J]. Food And Byproducts Processing, 2002, 80(2):109-117
- [13] Ilea R, Tonea C, Dragoi G, et al. Research concerning plane sieves working of machines for seed cleaning and sorting[J]. Cercetari Stiintifice-Facultatea de Horticultural, 2002, 19(2):293-298
- [14] Ilea R, Tonea C, Popa D. Dynamic model for seed separation and sorting on vibrating flat sieves[J]. Journal of Horticulture Forestry and Biotechnology, 2010, 14(2):158-162
- [15] Sessiz A, Ozcan M T. Olive removal with pneumatic branch shaker and abscission chemical [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(2):148-153
- [16] Polat R, Gezer I, Guner M, et al. Mechanical harvesting of pistachionuts[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(4):1131-1135
- [17] 陈度,杜小强,王书茂,等.振动式果品收获技术机理分析及研究进展[J].农业工程学报,2011,27(8):195-200
- [18] Pezzi F, Caprara C. Mechanical grape harvesting: Investigation of the transmission of vibrations[J]. Biosystems Engineering, 2009, 103(3):281-286
- [19] Queiroz D M, Santos F L, Assis F. Analysis of coffee harvesting process by vibration [J]. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007, 76(2):148-153
- [20] Voicu G, Casandroi T, Toma T. Predictions regarding the influence of the material movement along the sieve on seeds separation in cleaning systems from the cereal combine[J]. Proceedings 35th International Symposium 'Actual tasks on Agricultural Engineering, 2007, 122(2):155-166
- [21] 张日红,朱立学.花生联合收获机清选系统振动筛运动仿真分析[J].仲恺农业工程学院学报,2010,23(4):39-41
- [22] 吴海平,侯建丽,郝琴,等.4S-80马铃薯振动挖掘机牵引阻力的测试分析[J].山西农业大学学报:自然科学版,2009,29(4):351-354
- [23] 李树森,张晓明.振动技术在营林机械上的应用[J].林业机械与木工设备,1996(6):27-28
- [24] 田耘,盛江源,于津寿.松子破壳机单粒定向喂入装置的研究[J].粮油加工与食品机械,1993(5):11-13
- [25] 田耘,栾玉振,黄桂琴,等.松籽破壳部件的试验研究[J].农业工程学报,1996,12(2):171-176
- [26] 俞亚新,赵匀,张斌,等.基于稻种胚胎定向排列的排种器及参数优化[J].江苏大学学报:自然科学版,2008,29(3):195-197
- [27] 俞亚新,张斌,赵匀,等.振动式排种器上稻种有序排列运动分析[J].浙江大学学报:工学版,2009,43(5):902-906
- [28] 俞亚新,李剑敏,邵鑫超,等.振动式排种器的模态分析与试验研究[J].浙江理工大学学报,2011,28(1):69-72
- [29] 杨艳丽,辜松,潘汝琼,等.大粒种子调向精量播种机构的设计[J].农机化研究,2009,31(12):68-70
- [30] 高星星,谭鹤群.淡水鱼头尾与腹背定向装置的设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(5):342-347
- [31] 王雪艳.振动深松技术与关键部件研究[D].北京:中国农业大学,2005
- [32] 张璐,于路路,张强.振动式深松机的研究进展[J].安徽农业科学,2011,39(27):17079-17080
- [33] 杨光明,朱云,张瑞勤,等.我国深松机械的研究现状和发展趋势[J].湖南农机,2009,36(9):7-10
- [34] 付俊峰,张东兴,李霞,等.振动深松机的改进设计与试验研究[J].中国农业大学学报,2011,16(6):158-162
- [35] 朱华里,杨玉民,赵平,等.振动电机及其在粮食机械中的应用[J].郑州粮食学院学报,1997,18(2):76-80