

钵体苗活动苗盘的结构设计

吴明亮^{1,3,4}, 颜波^{1,3}, 冯世杰^{1,2}, 张文韬^{1,3}

(1.湖南农业大学工学院, 湖南 长沙 410128; 2.信阳农林学院园艺学院, 河南 信阳 464000; 3.南方粮油作物协同创新中心, 湖南 长沙 410128; 4.湖南现代农业装备工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

摘要:为解决钵苗基质与钵盘间因接触面积大而导致其黏附力大、取苗时钵苗基质破损率高的问题,将现有油菜钵体苗育苗盘设计成由齿形侧板、矩形侧板、扭力弹簧和支撑轴等组成的钵穴形状可变的钵体活动苗盘。借助 Admas 软件模拟仿真钵体活动苗盘的开启过程及侧板上的受力情况,得到开启矩形侧板、齿形侧板的作用力峰值分别为 4.28 和 9.22 N,作用力峰值出现时的位移间隔为 25 mm。在万能材料力学试验机上对钵体活动苗盘开启过程及侧板上的受力进行检测,得到开启矩形侧板、齿形侧板的作用力峰值分别为 4.72 和 9.96 N,其作用力峰值出现时的位移间隔为 24.3 mm,位移误差为 2.8%。结果表明,钵体活动苗盘的开启过程中作用力峰值变化趋势一致,所设计的钵体活动苗盘开启过程各侧板开启位置及开启时间与设计目标一致,能实现有序打开。

关键词:钵体苗;活动苗盘;结构设计

中图分类号: S223.2

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2018)06-0666-06

Design of movable tray for bowl seedlings

WU Mingliang^{1,3,4}, YAN Bo^{1,3}, FENG Shijie^{1,2}, ZHANG Wentao^{1,3}

(1.College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Gardening College, Xinyang College of Agriculture and Forestry, Xinyang, Henan 464000,China; 3.Southern Regional Collaborative Innovation Center for Grain and Oil Crops in China, Changsha, Hunan 410128, China; 4.Hunan Provincial Engineering Technology Research Center for Modern Agricultural Equipment, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: In order to solve the substrate breakage problem caused by the strong adhesive force due to the large contact area between bowl seedling substrate bowl tray, which have an effect on bowl seedlings quality, the existing tray for rape bowl seedlings was designed as a operable bowl holes movable tray, which was composed of a toothed side plate, a rectangular side plate, a torsion spring and a supporting shaft. The movable tray opening process and side plate force condition were simulated by Adams software. The peak force of rectangular side plate and toothed side plate was 4.28 N and 9.22 N respectively, and the displacement interval of the peak force was 25 mm. Finally, the tray opening process force test was carried on the universal material mechanics experiment machine. The results showed that the peak force of rectangular side plate and toothed side plate was 4.72 N and 9.96 N, respectively, and the displacement interval of the peak force was 24.3mm and the displacement error was 2.8%. It is found that there is a same variation trend of peak force with the synchronized opening process for simulation and experiment. The movable tray opening process is consistent with the design goal and the side plates can be opened in order.

Keywords: bowl seedlings; movable tray; structure design

集中育苗有利于幼苗的管理,保证幼苗的质量,提高作物产量^[1-5]。幼苗移栽实质上是缩短了作物在大田的生长时间,因而可缓解多熟制种植模

式下前后作物茬口的矛盾^[6-10]。为培育适合移栽的高素质幼苗,常采用钵体苗、毯苗、钵毯苗的育苗方式,其中钵体苗育苗具有苗间不窜根,取苗时不

伤根、少伤根，且根系上附着较完整的原有基质，移栽至大田后返青期短的优点，而成为当前集中育苗的主要方式^[11]。

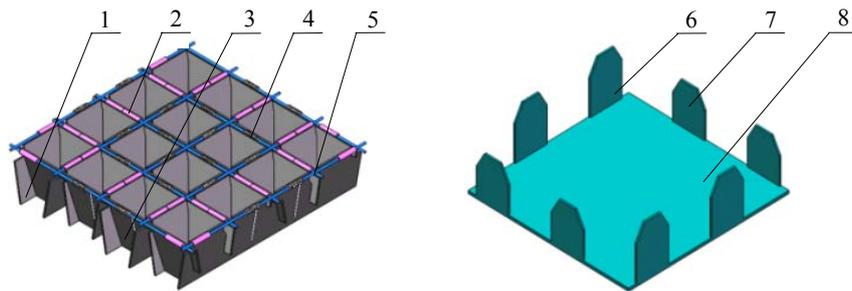
为了充分利用钵体苗育苗的优势，移栽取苗时应尽可能降低钵体苗基质破损率。现有钳夹式、顶出式的取苗方式易导致基质破损，主要原因是根系的结合力小于苗钵与钵穴间的黏附力与摩擦力^[12-16]。钱定华等^[12]、张际先等^[17]研究土壤对固体材料黏附和摩擦性能时，发现土壤与固体表面间的黏附力、摩擦力与其正压力存在线性增加的关系，其黏附力增加是由于土壤受正压力作用产生形变，导致土壤与物体表面实际接触面积增加的缘故。可见减少钵体苗基质与苗盘的实际接触面积，则可减小黏附力与摩擦力，实现减轻钵体苗基质破损的目的。为此，笔者设计了一款能改变取苗过程中苗体与钵穴接

触面积的活动苗盘，对苗盘进行开启可靠性仿真和台架试验，以期为研制幼苗移栽机械的取送苗装置提供依据。

1 活动苗盘的总体结构及工作原理

1.1 总体结构

活动苗盘主要由齿形侧板、矩形侧板、支撑轴、扭力弹簧、套筒和取苗辅助机构苗盘开启机构组成，如图 1 所示。支撑轴穿过与侧板固连的套筒及扭力弹簧，按纵横交错布置的节点固连，支撑矩形侧板的支撑轴位于支撑齿形侧板的支撑轴的上方。矩形侧板上部设有限制齿形侧板倾斜角度的矩形槽，开启机构底架四周固连有分别推动矩形侧板和齿形侧板开启的不同长度的短推杆和长推杆。



1 矩形侧板；2 套筒；3 齿形侧板；4 扭力弹簧；5 支撑轴；6 长推杆；7 短推杆；8 底板。

图1 活动苗盘及开启机构的结构

Fig.1 Structure diagram of movable tray and opening device

1.2 工作原理

取苗时，苗盘输送系统将活动苗盘输送至取苗位置，苗盘开启机构相对苗盘竖直向上运动，开启机构的各个短推杆的 2 个倾斜面最先接触到矩形侧板，推动矩形侧板绕支撑轴转动，矩形侧板与齿形侧板彻底分离；随后，各个长推杆的 2 个倾斜面推动齿形侧板转动；最后，原四棱台型钵穴变形为四棱柱型，侧板与钵体苗基质接触面逐渐变小直至为零，此时，钵体苗摆脱苗盘各侧板的约束成为独立单元，等待取苗机构取苗。取苗后，开启机构向下回位，活动苗盘逐渐失去各推杆的作用，各侧板相继回位，钵穴由打开时的四棱柱形恢复至四棱台形，完成 1 次钵体苗取苗，同时，活动苗盘完成 1 次变形。

2 关键部件的设计

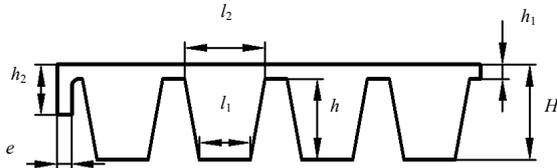
2.1 苗盘侧板

依据市场现有 50 穴方孔苗盘的上口径(边长)为 50 mm、下口径(边长)为 25 mm、孔深 45 mm 等参数，设计活动苗盘尺寸为钵穴上口径(边长)60 mm、钵穴下口径(边长)35 mm、钵穴深 65 mm。由几何关系可知，苗盘侧板与竖直方向的夹角 $\beta=10.5^\circ$ 。

为实现苗盘的四棱台型钵穴变形为四棱柱型钵穴，需要相互交叉组合的两侧板转动；为此，分别将苗盘侧板设计成齿形侧板和矩形侧板，将套筒固联于各侧板，同时使上边缘与套筒轴线共面，如图 2 所示。结合钵穴的结构参数，材料选用厚度为 2 mm 普通钢板，表面进行喷涂防锈处理。

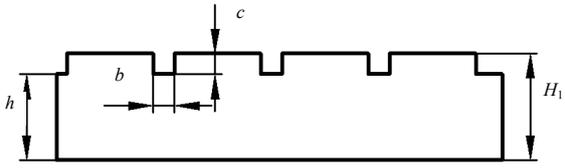
2.1.1 齿形侧板

齿形侧板如图 2 所示。 l_1 为钵穴下口径边长, 取值 35 mm ; l_2 为钵穴中填充基质上部边长, 取值 55 mm ; h 为钵穴中基质填充高度, 取值 55 mm ; H

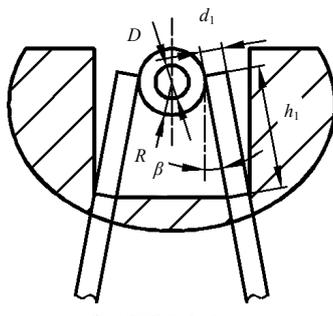


齿形侧板

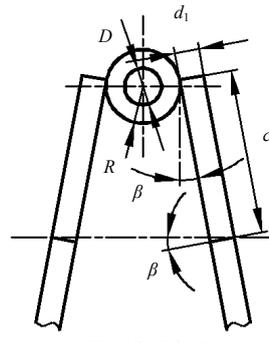
为侧板高度, 取值 66 mm ; h_1 为连接板高度, 取值 10 mm ; h_2 为承载推板高度, 取值 35 mm ; e 为承载推板长度, 取值 10 mm。



矩形侧板



齿形侧板闭合状态



矩形侧板闭合状态

图 2 苗盘侧板及侧板闭合状态

Fig.2 Structure diagram of diagram of side plate of tray and side plate closed state

2.1.2 矩形侧板

矩形侧板如图 2 所示。由图 1 可知, 如需维持活动苗盘形状稳定, 则齿形侧板和矩形侧板旋转到最大角度时应有限位, 其中, 矩形侧板的旋转角度已由齿形侧板的梯形齿斜边限位, 为此, 在矩形侧板上设置长为 b 、高为 c 的矩形槽来限制齿形侧板的旋转角度。相邻 2 齿形侧板完全打开的间距即为钵穴上口径, 取值 60 mm。

由图 2 的齿形侧板闭合状态和矩形侧板闭合状态可知, 苗盘维持四棱台型时, 侧板倾角达到最大, 此时齿形侧板外边沿与矩形侧板上的矩形槽相接触, 即:

$$b = 2R \cos \beta + h_1 \sin \beta + \frac{d_1}{\cos \beta} \quad (1)$$

$$c \cos \beta - (d_1 + R) \sin \beta = h_1 \cos \beta + D - R \sin \beta \quad (2)$$

式中: R 为套筒半径, 取值 3 mm ; h_1 为齿形侧板连接部高度 ; d_1 为侧板厚度, 取值 2 mm ; β 为侧板倾角 ; D 为转轴直径, 取值 3 mm。

由式(1)、式(2)可求得 $b=13.6$ mm , $c=13.4$ mm , 确定 $b=14$ mm , $c=13.5$ mm , 矩形侧板高度 $H_1=h+c=69.5$ mm。

2.2 扭力弹簧

扭力弹簧维持活动苗盘钵穴孔型, 由支撑轴穿过弹簧中心孔, 安装于相邻的同型号侧板之间, 活动苗盘模型各侧板上分别安装 2 根同型号扭力弹簧。因同一苗盘中矩形侧板自重大于齿形侧板, 分析时以矩形侧板为研究对象, 对已育苗的活动苗盘的矩形侧板和钵苗分别进行受力分析, 如图 3 所示。矩形侧板受自身重力 m_2g 、4 个苗钵基质对侧板的侧压力 F_2 、2 根扭力弹簧的扭力矩 M 以及支撑轴作用于侧板固联的轴套上的支撑力 F_x 和 F_y 的作用, 处于平衡状态。钵苗受到自身重力 m_1g , 4 个侧板分别对苗钵基质的侧压力 F_1 的作用(假设各侧板对

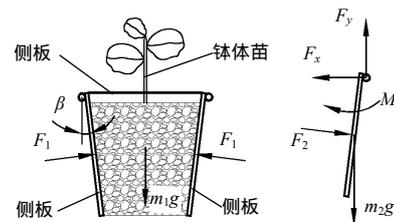


图 3 苗钵及侧板的受力分析

Fig.3 Schematic drawing of force analysis for bowl seedlings and side plate

钵苗的作用力相等)而处于平衡状态。因钵苗基质与侧板处于相对静止状态,故基质与侧板间摩擦力和黏附力均忽略不计。

分析钵苗的受力状况,可得:

$$4F_1 \sin\beta - m_1 g = 0 \quad (3)$$

$$M - y_1 F_2 - y_2 m_2 g \sin\beta = 0 \quad (4)$$

式中: F_2 为4个苗钵基质对侧板的侧压力,则 $F_2=4F_1$; y_1 为钵苗侧边中心到转轴中心的距离; y_2 为侧板质心到转轴中心的距离。

经测定,钵苗质量 $m_1=93\text{ g}$, 矩形侧板质量 $m_2=303\text{ g}$, 钵苗基质高度 $h=55\text{ mm}$, 矩形侧板高度为 69.5 mm (含钵穴高度 56 mm 及矩形槽深度 13.5 mm), 套筒半径为 3 mm , 由几何关系有 $y_1=39\text{ mm}$, $y_2=33\text{ mm}$ 。

由式(4)可得,扭力弹簧的扭力矩 M 为 $212.90\text{ N}\cdot\text{mm}$, 即单个扭力弹簧的扭力矩大于 $106.45\text{ N}\cdot\text{mm}$ 。

综合考虑扭力弹簧的安装位置和相互作用部件间的结构参数,初选材质为 SUS304-WPB 不锈钢,中径 $D_M=5\text{ mm}$, 线径 $d=1.8\text{ mm}$, 扭力弹簧的两脚初始夹角 $\delta_0=50^\circ$, 力臂长度 $L=55\text{ mm}$, 弹簧所提供的扭力矩与结构参数的关系应满足公式(5)^[18]。

$$M_1 = \frac{\pi \cdot E \cdot d^4}{64 \times 180 \cdot D_M \cdot N} \left(\frac{\delta_0}{2} - \beta \right) > 106.45 \quad (5)$$

式中: E 为拉伸弹性模量取值 $19\ 000$; N 为扭力弹簧圈数。

由式(5)可求得弹簧圈数 $N < 11.6$, 取弹簧圈数 $N=10$ 。

2.3 苗盘开启机构

苗盘开启机构是活动苗盘取苗辅助机构,实现活动苗盘矩形侧板和齿形侧板按先后次序缓慢打开并回位。苗盘开启机构主要由长推杆、短推杆和承载长推杆和短推杆的底板组成。苗盘开启机构与各侧板之间的作用力通过推杆斜面与各侧板的底边的接触副传递,因此,要保证各侧板能自由运动,斜面倾角应不产生自锁,同时,推杆顶部梯形上底宽应不大于钵穴下口径,取值 35 mm , 下底宽应不大于钵穴上口径,取值 60 mm 。

由于钵盘侧板材料及推杆材料为普通钢材,推杆倒梯形倾角 α 须大于摩擦角,其摩擦系数 $f=0.30$, 则 $\alpha = \arctan f = \arctan 0.30 = 17^\circ$ 。

推杆倒梯形倾角 α 决定了苗盘打开时间及推杆的竖直方向位移和推杆对侧板的作用力,为避免开启时间过短,降低侧板打开竖直方向受力,需尽量增大推杆倒梯形角,故取 $\alpha=60^\circ$ 。

为避免齿形侧板开启时在其结构上存在应力集中,齿形侧板上设计有高度小于矩形侧板、用于承受长推杆作用的承载推板,因此,矩形侧板和齿形侧板承受推杆作用力的位置不在同一水平面上,设计上存在高度差 $h=H-h_2 \cos\beta=32\text{ mm}$ 。

矩形侧板完全打开时,矩形侧板底端与承载推板底端的距离在竖直方向为 32 mm , 即矩形侧板完全打开与齿形侧板开始打开时,长短推杆的作用位置上存在有 32 mm 的高度差。

为减小矩形侧板与齿形侧板完全打开时,开启机构上行位移量,通过设置长、短推杆分别打开齿形侧板与矩形侧板。

为防止底板与苗盘底部接触以及方便后续取苗部件的安装,长推杆矩形边高度应不小于 Δh , 则长推杆应满足 $H_3 - \frac{l_4 - l_3}{2} \cdot \tan\beta + 32 = 54\text{ mm}$ 。因苗盘开启后应维持一定的时间开启状态,用于后续取苗机构取苗,则长推杆还需继续上行一段距离,故设计长推杆高度为 $H_3=85\text{ mm}$ 。

因承载推板高度短于矩形侧板高度,在侧板倾角相同的条件下,承载推板相对于矩形侧板开始接触推杆斜边的作用点间水平距离增加,则承载推板与长推杆斜边开始接触点在长推杆斜边上的位置有所降低,如图4所示。承载推板于长推杆斜边 C 点处开始接触,则齿形侧板从接触 C 点至完全打开时,推杆上行的距离 $l_{CEy} = l_{CE} \sin\alpha = h_2 \sin\beta \tan\alpha = 11\text{ mm}$ 。

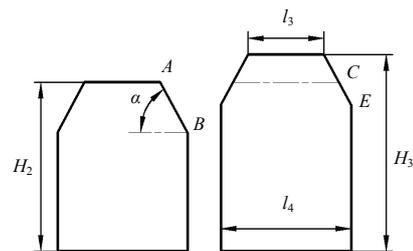


图4 开启机构的推杆

Fig.4 Push rode of opening device

为使矩形侧板和齿形侧板相继打开时间缩短，减少开启机构运行空行程，同时使矩形侧板完全打开与齿形侧板开始打开时间错开，减少冲击振动，使长推杆相对短推杆增加高度差 Δh_1 ，以及短距离空行程 s ，则 $h_1+s= h-l_{CD_3}=21\text{ mm}$ 。 Δh_1 取值 12 mm， s 取值 9 mm，即矩形侧板完全打开后，开启机构上行 9 mm，齿形侧板才开始打开，则短推杆高度 $H_2=73\text{ mm}$ 。

3 活动苗盘打开可靠性仿真试验

借助 ADAMS 软件，仿真分析活动苗盘在开启机构作用过程中推杆与承载推板间的作用力。将活动苗盘与开启机构的 solidworks 三维模型导入 ADAMS 中，按苗盘结构对模型添加约束，并为开启机构加载 5 mm/s 的上行速度，仿真分析推杆与侧板接触点的竖直分力随时间的变化，如图 5 所示。

结果表明，开启机构加载速度为 5 mm/s，至 0.7 s，推杆与承载推板间作用力突然发生变化，表明短推杆开始接触矩形侧板；到 4.8 s 时，作用力加大至第 1 个峰值，达 4.48 N，短推杆斜边与矩形侧板接触并持续至矩形侧板完全打开；至 7.0 s 时，作用力再次突然产生变化，表明长推杆开始接触齿形侧板；到 9.8 s 时，作用力加大至第 2 个峰值，为 9.22 N，长推杆斜边与齿形侧板接触并持续至齿形侧板完全打开。2 个作用力峰值间隔为 5.0 s，即位移间隔为 25 mm，表明矩形侧板完全打开后，推杆继续上行后齿形侧板开始打开。

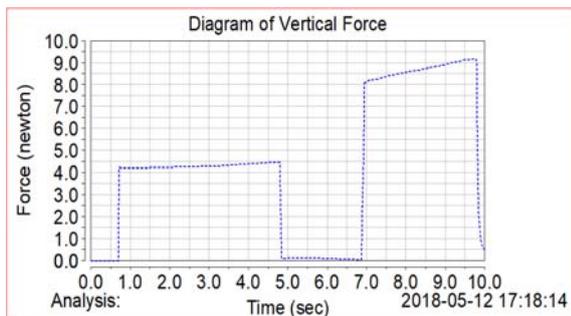


图5 仿真试验中苗盘开启过程侧板竖直方向受力
Fig.5 Force variation during opening of seedling tray in simulation test

4 台架试验验证

为测试活动苗盘打开的可靠性，根据活动苗盘

结构和工作要求，将自制的开启机构挂接在深圳 SANS 材料检测有限公司生产的 SANS-CMT6104 型微机控制万能试验机横梁传感器夹具上，将所研制的活动苗盘模型(空盘)倒置在万能试验机载物台上，使活动苗盘与开启机构对齐，由微机控制开启机构以 5 mm/s(300 mm/min)加载速度打开苗盘侧板，研究完全将苗盘打开所需的作用力，得到作用力与位移的关系图，如图 6 所示。

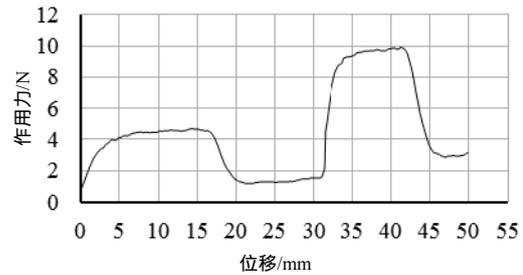


图6 台架试验中苗盘打开所需作用力
Fig.6 Force required for tray opening in bench test

从图 6 可知，在 0 mm 位移时，即矩形侧板开始打开，到 17.2 mm 处，作用力增大至第 1 个峰值，为 4.72 N，表明该位置矩形侧板完全打开；在位移 31.4 mm 时，即齿形侧板开始打开；到 42.5 mm 处，作用力增大至第 2 个峰值，达 9.96 N，表明该位置矩形侧板完全打开。2 次作用力出现峰值之间位移为 24.3 mm，与仿真结果的 25 mm 的误差为 2.8%，表明先打开矩形侧板，后打开齿形侧板；作用力峰值与 Admas 仿真的结果相差 0.44~0.74 N，也在允许误差范围内。

本试验结果表明：活动苗盘的开启过程中作用力出现峰值的变化趋势一致，开启过程同步，所设计的活动苗盘开启过程与设计目标一致，能实现有序打开。

参考文献:

[1] 何亚凯, 李树君, 杨学军, 等. 凸轮摆杆式移栽机构运动分析及性能研究[J]. 农业工程学报, 2016, 32(6): 34-41.

[2] 刘存祥, 李晓虎, 岳修满, 等. 我国旱地移栽机的现状与发展趋势[J]. 农机化研究, 2012(11): 249-253.

[3] 刘明峰, 胡先朋, 廖宜涛, 等. 不同油菜品种适栽期机械化移栽植株形态特征研究[J]. 农业工程学报, 2015, 31(增刊 1): 79-88.

[4] 徐玉娟, 吴明亮, 向伟, 等. 油菜钵苗移栽机送苗系

- 统设计与验证[J]. 中国农学通报, 2016, 32(16): 185-192.
- [5] 寻真福, 孙松林, 张武金, 等. 穴盘苗取投苗装置的设计与试验[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2015, 41(6): 680-684.
- [6] 于晓旭, 赵匀, 陈宝成, 等. 移栽机械发展现状与展望[J]. 农业机械学报, 2014, 45(8): 44-53.
- [7] 卢永涛, 李亚雄, 刘洋, 等. 国内外移栽机及移栽技术现状分析[J]. 新疆农机化, 2011(3): 29-32.
- [8] 罗江河, 孙松林, 肖名涛, 等. 基于 Matlab 的油菜移栽机栽植机构运动学建模与分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2013, 39(6): 693-698.
- [9] 肖名涛, 孙松林, 李凯, 等. 油菜移栽机槽轮间歇式送苗机构的优化设计[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(2): 211-215.
- [10] 张冕, 姬江涛, 杜新武. 国内外移栽机研究现状与展望[J]. 农业工程, 2012, 2(2): 21-23.
- [11] 张学志, 王玉武. 五图河农场麦茬水稻钵苗机插栽培技术初探[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(增刊 1): 138-139.
- [12] 钱定华, 张际先. 土壤对金属材料粘附和摩擦研究状况概述[J]. 农业机械学报, 1984, 11(1): 69-78.
- [13] 王蒙蒙, 宋建农, 刘彩玲, 等. 蔬菜移栽机曲柄摆杆式夹苗机构的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 49-57.
- [14] 金鑫, 杜新武, 杨传华, 等. 蔬菜移栽穴盘苗自动输送装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 103-111.
- [15] 高捷, 马亚朋, 胡斌, 等. 基于射流冲击的穴盘立式取苗器取苗过程的分析研究[J]. 农机化研究, 2016(3): 47-50.
- [16] 韩绿化, 毛罕平, 严蕾, 等. 穴盘苗移栽机两指四针钳夹式取苗末端执行器[J]. 农业机械学报, 2015, 46(7): 23-30.
- [17] 张际先, 桑正中, 高良润. 土壤对固体材料粘附和摩擦性能的研究[J]. 农业机械学报, 1986, 13(1): 32-40.
- [18] 刘鸿文. 材料力学教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993: 72-73.

责任编辑: 罗慧敏
英文编辑: 吴志立