

基于活动苗盘的钵苗脱盘基质损失的试验研究

冯世杰^{1,2}, 颜波¹, 全伟¹, 吴明亮^{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.湖南现代农业装备工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 针对穴盘苗脱盘过程中基质损失导致取苗成功率降低的问题, 以活动苗盘所育油菜钵苗为研究对象, 选取苗盘锥角角度(7°、9°、11°)、基质压实度(1.0、1.1、1.2)、基质含水率(55%、60%、66%)为试验因素, 以钵苗基质损失率为试验指标值, 进行正交试验, 研究钵苗脱盘过程中各因素对钵苗基质损失率的影响。结果表明: 穴盘苗脱盘过程中, 钵苗基质平均损失率为 3.09%; 苗盘锥角角度和基质压实度对基质损失率的影响极显著, 基质含水率对基质损失率的影响显著; 各因素对钵苗基质损失率影响大小依次为基质压实度、苗盘锥角角度、基质含水率; 当苗盘锥角角度为 11°、基质压实度为 1.2、基质含水率为 66%时, 钵苗基质损失率最小, 为 2.62%。

关 键 词: 活动苗盘; 钵苗; 脱盘; 基质损失; 粘附力

中图分类号: S223.1 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2019)06-0669-05

Experimental study on matrix loss in the process of pot seedling detaching from the movable tray

FENG Shijie^{1,2}, YAN Bo¹, QUAN Wei¹, WU Mingliang^{1,3*}

(1.College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.College of Horticulture, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang, Henan 464000, China; 3.Hunan Provincial Engineering Technology Research Center for Modern Agricultural Equipment, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: In order to solve the problem that the success rate of pot seedling picking decreased due to the matrix loss in the process of the seedling detaching from the tray, orthogonal tests were carried out to study the influence of the cone angle of seedling tray(7°, 9°, 11°), compaction degree of matrix(1.0, 1.1, 1.2) and the moisture content of matrix(55%, 60%, 66%) on matrix loss rate of pot seedling during the process of pot seedling detaching from the movable tray. The test results showed that the average matrix loss rate was 3.09% in the process of pot seedling detaching from the movable tray. The influence of experimental factors on the matrix loss rate were the compaction degree of matrix, the cone angle of seedling tray and the moisture content of matrix from large to small. The optimal combination of experimental factors was as follow: the cone angle of seedling tray was 11°, the compaction degree of matrix was 1.2 and the moisture content of matrix was 66%, which achieved the lowest matrix loss rate of 2.62% in the process of pot seedling detaching from the movable tray.

Keywords: movable tray; seedling pot; detaching from the tray; matrix loss rate; adhesion force

作物钵苗自动化移栽可以大幅提高移栽作业效率, 降低劳动强度, 但钵苗移取过程中, 钵苗受到取苗末端执行器的作用, 易发生破损, 导致基质损失增加, 取苗成功率下降^[1-2]。钵苗基质的损失

还使幼苗根系外漏和受损, 幼苗成活率受到影响。研究表明: 移栽时根系受损的幼苗缓苗期将延长 3~5 d, 根系外漏的幼苗缓苗期将延长 1~3 d, 取苗过程中钵体基质损失率越小, 则移栽质量越好^[3-4]。

收稿日期: 2019-05-08

修回日期: 2019-09-15

基金项目: 湖南省政府重大专项(湘府阅[2014]35 号); 湖南省科学技术厅重点研发项目(2017NK2131); 湖南农业大学“双一流”建设项目(SYU201802018)

作者简介: 冯世杰(1979—), 男, 河南信阳人, 博士研究生, 讲师, 主要从事移栽机械研究, fsj_6688@126.com; *通信作者, 吴明亮, 博士, 教授, 主要从事农业机械创新设计研究, mlwu@hunau.edu.cn

1.2.2 试验因素的选取

由于苗盘锥角角度决定了苗钵的体积及苗盘与苗钵接触的面积,根据文献^[18-19]的研究结果,苗盘锥角角度对苗钵脱盘时基质损失的影响较大,因此选取苗盘锥角角度作为苗钵脱盘基质损失率试验因素之一,结合生产中现有苗盘锥角角度值为 8°~11.3°的现状^[11-12,20],设置苗盘的锥角角度为 7°、9°、11°。

根据文献^[21],苗钵与苗盘间粘附力具有随基质含水率增大先增大后减小的特点,选取基质含水率作为另一个因素,结合油菜生长过程中对水分的需求特点^[22],采用烘干称重法^[23]测算苗钵基质含水率,取整后得 66%、60%、55%,作为基质含水率的 3 个水平。

随着苗盘钵穴内基质压实度的增大,苗钵基质间的孔隙减小,苗钵表层基质发生塑性形变,使苗钵与苗盘之间实际接触面积增大,苗钵与苗盘间粘附力变大^[21]。同时随着基质压实度增大,基质与油菜根系之间接触更加紧密,使苗钵内部粘聚力相应增大。结合土壤粘附产生的力学条件^[18,24],选取基质压实度(基质体积与钵穴体积的比值)作为苗钵脱盘基质损失率试验的第 3 个因素。由于压实度对钵苗根系体积分布影响较大^[25],试验中基质压实度取 1.0、1.1、1.2。

1.2.3 试验设计

选用苗盘锥角角度、基质含水率和基质压实度进行 3 因素 3 水平正交试验,采用正交表 $L_9(3^4)$ 设计试验方案,如表 1 所示。

表 1 正交试验因素与水平

Table 1 Orthogonal experiment factors and level			
水平	苗盘锥角角度/(°)	基质含水率/%	基质压实度
1	7	66	1.0
2	9	60	1.1
3	11	55	1.2

2 结果与分析

2.1 极差分析

为降低随机误差对试验指标的影响,选用长势较好的油菜钵苗进行试验,每组重复 10 次。试验过程中苗钵脱盘成功率 100%,无苗钵开裂、散坨、变

形等现象。正交试验钵苗基质损失率列于表 2。

表 2 正交试验的钵苗基质损失率

Table 2 Orthogonal test of pot seedling matrix loss rate				
试验号	苗盘锥角角度/(°)	基质含水率/%	基质压实度	基质损失率/%
1	7	66	1.0	3.79
2	7	60	1.1	3.40
3	7	55	1.2	3.02
4	9	66	1.1	3.10
5	9	60	1.2	2.76
6	9	55	1.0	3.18
7	11	66	1.2	2.62
8	11	60	1.0	3.19
9	11	55	1.1	2.73
k_1	3.40	2.98	3.39	
k_2	3.01	3.12	3.08	
k_3	2.85	3.17	2.80	
R	0.55	0.19	0.59	

由表 2 可知,苗盘锥角角度的 $k_1 > k_2 > k_3$,极差 0.55,苗盘锥角角度对苗钵基质损失率的影响随锥角角度的增大而减小,最优苗盘锥角角度为 11°。钵苗脱盘过程中,活动苗盘在开启部件作用下,“Ω”形侧板和“T”形侧板依次开启,“Ω”形侧板先与苗钵分离,此时“T”形侧板对苗钵作用,使苗钵与苗盘之间保持相对静止;因此,苗钵在与钵穴壁分离过程中钵体只受到钵穴壁对其产生的粘附力的作用。

基质含水率的 $k_3 > k_2 > k_1$,极差 0.19,最优基质含水率为 66%。苗钵基质损失率随着基质含水率的升高呈上升趋势。随含水率的增加,在苗钵与苗盘间的粘附界面上形成的水膜数量增多、半径增大,两者之间的粘附力增大,脱盘时基质损失率变大。这与含水率处于塑限和液限之间时土壤粘附力变化趋势相一致^[18]。

压实度的 $k_1 > k_2 > k_3$,极差 0.59,压实度为 1.2 时,苗钵脱盘过程中基质损失率最小,即试验中苗钵基质损失率随压实度的增大而减小。随着基质压实度的增加,钵体基质内部的间隙变小,使基质颗粒之间的间隙变小,基质与基质之间、基质与根系之间的内聚力变大,钵体内聚力的增加值大于由压实度增加而引起的钵体与苗盘间粘附力的增加值,使苗钵脱盘时基质损失率下降。

试验中最优水平组合:基质压实度为 1.2;苗盘锥角为 11°;基质含水率为 66%。此时苗钵脱盘基质损失率最小,为 2.62%。

2.2 方差分析

方差分析结果如表 3 所示。压实度的 $F > F_{0.01}(2, 2)=99, P < 0.01$, 表明苗钵基质压实度对苗钵基质损失率的影响极显著; 苗盘锥角的角度 $F > F_{0.01}(2, 2)=99, P < 0.01$, 表明苗盘锥角角度对苗钵基质损失率的影响极显著; 基质含水率的 $F > F_{0.05}(2, 2)=19, P < 0.05$, 表明基质含水率对脱盘过程中基质损失率影响显著。

各试验因素对苗钵基质损失率的影响大小依次为基质压实度、苗盘锥角角度、基质含水率。在苗钵基质压实度一定的情况下, 为降低苗钵脱盘基质损失率, 在不影响钵苗生长和移栽质量的前提下, 可以选用锥角角度较大的苗盘育苗。

表 3 基质损失率的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方和	F	P
苗盘锥角角度	0.490	2	0.245	227.206	< 0.01
基质含水率	0.060	2	0.030	27.753	< 0.05
基质压实度	0.517	2	0.259	239.763	< 0.01
误差	0.002	2	0.001		
总和	1.069	8			

2.3 苗盘锥角角度对基质损失率影响的力学分析

由表 2 可知, 基质损失率随苗盘锥角角度增大而减小。为进一步研究苗盘锥角对钵苗脱盘基质损失率的影响, 对苗钵和钵穴壁(苗盘侧板)进行静力学分析, 如图 2 所示。 f_1 为钵穴壁对钵体产生的粘附力; F_1 为钵穴壁对钵体基质的作用力; F_2 为苗钵基质对钵穴壁的压力; mg 为钵苗的自身重力; θ 为苗盘锥角。

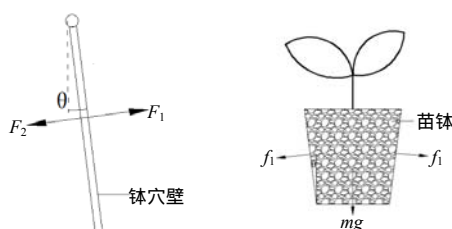


图 2 活动苗盘及苗钵的受力分析

Fig.2 Force analysis of movable tray and seedling pot

苗盘 y 向受力方程:

$$y=4F_1\sin\theta-mg \quad (1)$$

设苗钵基质密度为 ρ , 钵体上端面边长为 L , 根据式(1)得苗钵对钵穴一侧的法向压力 F_2 。

$$F_2=\rho g L^3(1+\frac{4}{3}\sin^2\theta-2\sin\theta)\cot\theta \quad (2)$$

利用 MATLAB 软件分析 θ 和 F_2 关系, 发现在 θ 取值范围内, θ 与 F_2 呈负相关关系。由于土壤粘附力随着法向压力增大而增大^[18], 可知随着苗盘锥角增大苗钵基质损失率呈下降趋势, 与极差分析所得结论一致。

2.4 苗钵脱盘基质损失的力学分析

由表 2 可知, 试验中苗钵基质平均损失率为 3.09%, 低于传统苗盘育苗钵苗脱盘时的基质损失率^[8-9]。对钵苗不同脱盘方式的苗钵进行力学分析, 如图 3 所示。 F_3 为夹取式苗钵受到的向上的合力; F_4 为顶出式苗钵底部受到的推力; f_2 为脱盘时苗钵受到的切向粘附力; f_3 为脱盘时苗钵受到摩擦力; f_4 为苗钵与钵穴底部的粘附力。

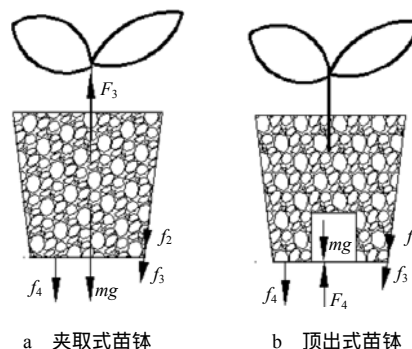


图 3 苗钵脱盘的受力分析

Fig.3 Force analysis of pot seedling detaching from movable tray

由图 3 可知, 传统穴盘钵苗脱盘时, 钵穴壁对钵体的作用力有沿苗钵钵体侧面的切向粘附力 f_2 、两者间的摩擦力 f_3 、钵体与钵穴底面间的法向粘附力 f_4 (苗钵 4 个侧面受力相同)。

本试验用钵苗为可开式单钵活动苗盘培育, 钵苗脱盘时, 钵穴壁依次与苗钵分离, 在脱盘过程中苗钵受到的外力仅有钵穴对其产生的法向粘附力 f_1 , 如图 2 所示。由于同一接触面上切向粘附力值可以用法向粘附力值来表示, 所以在材质相同、钵穴体积相等的情况下, 苗钵所受法向粘附力 f_1 等于切向粘附力 f_2 , 即基于活动苗盘所育钵苗脱盘时钵体所受粘附力小于传统穴盘苗脱盘时所受的切向粘附力 f_2 、法向粘附力 f_4 及摩擦力 f_3 的合力, 因此活动苗盘所育钵苗脱盘时基质损失率也相对较低。而传统穴盘钵苗脱盘时顶杆或取苗爪末端执行器对苗钵的作用力破坏了苗钵的内聚力, 使钵苗脱盘基质损失率升高。

3 小结

活动苗盘油菜苗钵脱盘试验中最优水平组合为基质压实度 1.2, 苗盘锥角 11° , 基质含水率 66%, 此时苗钵脱盘基质损失率最小, 为 2.62%。

苗钵基质压实度和苗盘锥角对苗钵基质损失率影响极显著, 基质含水率对苗钵基质损失率影响显著; 基质损失率影响因素大小依次为压实度、苗盘锥角角度、基质含水率。在确定苗钵基质压实度的情况下, 改变苗盘锥角角度, 可以降低苗钵脱盘过程中的基质损失率。

基于活动苗盘的钵苗脱盘基质损失率平均值为 3.09%, 低于传统苗盘钵苗脱盘时的基质损失率。

参考文献:

- [1] 韩绿化, 毛罕平, 缪小花, 等. 基于穴盘苗力学特性的自动取苗末端执行器设计[J]. 农业机械学报, 2013, 44(11): 260–265.
- [2] JIN Xin, DU Xinwu, JI Jiangtao, et al. Mechanical property experiment of plug seeding with pots gripping-picking[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2015, 24(4): 24–33.
- [3] 王跃勇, 于海业. 穴盘幼苗机械手取苗基质完整率影响因素试验与分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 65–71.
- [4] 胡敏娟, 尹文庆. 穴盘苗变形滑针式取苗器的研究[J]. 浙江农业学报, 2011, 23(1): 154–158.
- [5] 王跃勇. 基于机器视觉和仿真试验的蔬菜穴盘幼苗移栽关键技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [6] 高国华, 冯天翔, 李福. 斜入式穴盘苗移栽手爪工作参数优化及试验验证[J]. 农业工程学报, 2015, 31(24): 16–22.
- [7] 韩绿化, 毛罕平, 严蕾, 等. 穴盘育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.
- [8] 韩长杰, 杨宛章, 张学军, 等. 穴盘苗移栽机自动取喂系统的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 51–61.
- [9] 李华, 曹卫彬, 李树峰, 等. 辣椒穴盘苗自动取苗机构运动学分析与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 20–27.
- [10] JIANG Z, HU Y, JIANG H, et al. Design and force analysis of end-effector for plug seedling transplanter[J]. Plos One, 2017(5): 1–15.
- [11] 刘姣娣, 曹卫彬, 田东洋, 等. 基于苗坨力学特性的自动移栽机执行机构参数优化试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(16): 32–39.
- [12] 刘洋, 毛罕平, 徐静云, 等. 机械移栽黄瓜穴盘苗育苗品质评价与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(增刊): 75–82, 163.
- [13] 刘洋, 毛罕平, 韩绿化, 等. 基于 Micro-CT 的黄瓜苗坨夹取破损检测及取苗参数优化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(12): 27–34.
- [14] 吴明亮, 颜波, 冯世杰, 等. 一种活动苗盘: ZL201710224848.6[P]. 2018–03–13.
- [15] 吴明亮, 颜波, 冯世杰, 等. 钵体苗育苗活动苗盘结构设计[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(6): 666–671.
- [16] 冯世杰, 颜波, 全伟, 等. 活动苗盘脱苗力学分析及粘附力影响因素试验研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(12): 21–28.
- [17] YANG Y, TING K C, GIACOMELLI G A. Factors affecting performance of sliding-needles gripper during robotic transplanting of seedlings[J]. Transactions of the ASAE, 1991, 7(4): 493–498.
- [18] 任露泉. 土壤粘附力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [19] 李因武, 李建桥, 任露泉, 等. 模型铲刀表面的法向压力及其土壤粘附[J]. 农业机械学报, 2002, 33(6): 100–102.
- [20] 廖庆喜, 胡先朋, 张照, 等. 油菜移栽机分苗装置分苗过程与钵钵体完整性分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(16): 22–29.
- [21] 缪小花, 毛罕平, 韩绿化, 等. 黄瓜穴盘苗拉拔力及钵体抗压性能影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊 1): 27–32.
- [22] 王琼, 张春雷, 李光明, 等. 渍水胁迫对油菜根系形态与生理活性的影响[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(2): 157–162.
- [23] 张学礼, 胡振琪, 初士立. 土壤含水量测定方法研究进展[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 118–123.
- [24] 贾贤, 任露泉, 陈秉聪. 土壤对固体材料粘附力的理论分析[J]. 农业工程学报, 1995, 11(4): 5–9.
- [25] 徐静云. 基于苗钵-根系综合分析的取苗末端执行器设计及育苗工艺优化[D]. 镇江: 江苏大学, 2017.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立