

烟草托盘育苗钵苗力学性能试验

尚 蕾¹, 宋占华¹, 李玉道¹, 王丽军¹, 李法德^{1,2*}

(1. 山东农业大学机械与电子工程学院, 山东 泰安 271018; 2. 山东省园艺机械与装备重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘 要: 为设计机械化取苗机构, 以山东农业大学温室大棚培育的“革新一号”移栽期烟草钵苗为试验材料, 在万能试验机上对烟苗进行了钵苗拔取、烟苗茎秆拉伸、压缩、弯曲和剪切力学性能试验。结果表明, 营养基质含水率为 $(52.70 \pm 6.50)\%$ 时, 烟苗拔取力为 $(2.09 \pm 1.28) \text{ N}$; 烟苗茎秆含水率为 $(85.15 \pm 2.21)\%$ 时, 烟苗茎秆抗拉强度为 $(1.96 \pm 0.68) \text{ MPa}$; 烟苗茎秆径向抗压强度以及底部、中部的轴向抗压强度分别为 (0.096 ± 0.043) 、 (1.20 ± 0.34) 、 $(1.28 \pm 0.28) \text{ MPa}$; 简支梁、悬臂梁弹性模量分别为 (0.0042 ± 0.0018) 、 $(0.0130 \pm 0.0062) \text{ MPa}$; 剪切强度为 $(1.64 \pm 0.39) \text{ MPa}$ 。此结果为机械化取苗机构的设计提供了理论依据。

关键词: 烟草钵苗; 拔取力; 抗拉强度; 抗压强度; 弹性模量; 剪切强度

中图分类号: S572.043

文章编号: 1007-5119(2014)03-0099-05

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2014.03.020

Mechanics Characteristics of Tray Nursery of Tobacco Seedlings

SHANG Lei¹, SONG Zhanhua¹, LI Yudao¹, WANG Lijun¹, LI Fade^{1,2*}

(1. Mechanical and Electrical Engineering College, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China;

2. Shandong Province Key Laboratory of Horticultural Machineries and Equipments, Taian, Shandong 271018, China)

Abstract: In order to design a mechanized seedlings pickup machine, ‘Gexin 1’ tobacco seedlings, which was in nurture transplanting period, were taken from the greenhouses of Shandong Agricultural University as test material. Some mechanical properties of the seedlings such as plucking force, tension and compression intensities of the seedlings stem, bending intensity, and shearing intensity were carried out with a universal test machine. The results showed that the plucking force of tobacco seedlings was $(2.09 \pm 1.28) \text{ N}$ when the nutrient substrate moisture content was of $(52.70 \pm 6.50)\%$; the stem tension intensity was of $(1.96 \pm 0.68) \text{ MPa}$ when the moisture content of the tobacco seedlings stem was of $(85.15 \pm 2.21)\%$; the stem radial compression intensity and the axial compression intensity of the stem at the bottom and the central part were of (0.096 ± 0.043) , (1.20 ± 0.34) , $(1.28 \pm 0.28) \text{ MPa}$, respectively; the charpy elastic modulus and the cantilever elastic modulus were of (0.0042 ± 0.0018) , $(0.0130 \pm 0.0062) \text{ MPa}$; the shear intensity was of $(1.64 \pm 0.39) \text{ MPa}$. The results provide a theoretical basis for the design of mechanized seedlings pickup machine.

Keywords: tobacco seedlings; plucking force; tension intensity; compression intensity; elastic modulus; shear intensity

目前我国烟草移栽机仍停留在半机械化作业水平, 移栽过程中需要人工从育苗盘中取苗并投入移栽机水平转动的喂入器中, 劳动强度大, 移栽效率低^[1]。虽然国内有学者对取苗末端执行器进行了研究, 但是主要集中在对蔬菜花卉取苗机构的研发上^[2-5], 并没有将取苗机构与蔬菜花卉的机械物理特性参数有效的结合起来进行分析设计, 更没有研究烟苗的机械物理特性参数。国内研发的取苗末端执行器的工作原理主要为, 在驱动和传动机构的作用

下, 执行机构在适当的位置插入育苗盘的穴腔、夹紧基质、拔出秧苗、运动至投苗点松开基质, 从而达到自动取苗投苗的目的。但是, 由于作业对象的柔嫩性、不规则性和环境的复杂多变性^[6-7], 以及移栽期的烟苗具有只有侧根、无明显主根且易受损的特征, 在机械化取苗过程中, 如果取苗机构设计不当, 容易造成对烟草钵苗的机械损伤, 从而影响烟苗移栽后的成活率。因此, 为保证烟苗移栽质量, 确保烟苗不受伤害, 必须对烟草钵苗的机械物理特

基金项目: 中国烟草总公司山东省公司科技重大专项和重点项目(KN216)

作者简介: 尚 蕾, 女, 硕士, 主要从事农业机械化研究。E-mail: sl0418@sina.com。*通信作者, E-mail: lifade@sdau.edu.cn

收稿日期: 2013-03-26

修回日期: 2013-11-12

性参数进行试验研究,这些参数主要包括烟苗拔出穴腔所需的拔取力、烟苗茎秆拉断力、抗压强度等。通过研究分析,为机械化取苗投苗部件设计提供基础和依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用烟苗品种为“革新一号”,取自山东农业大学温室大棚。根据农艺要求,烟草钵苗取出后置于空旷通风处3~4 d进行炼苗^[8]。移栽前16 h给烟草钵苗浇水。试验用烟苗高度为(169.09±54.4) mm。营养基质表面以上4 cm处茎秆直径为(4.55±0.55) mm,茎秆的含水率为(85.15±2.21)%。营养基质含水率为(52.70±6.50)%。单株叶数6~8片,根系发达。钵盘共100孔穴,尺寸为605 mm×330 mm,高度为45 mm,穴腔上、下口直径分别为44 mm和12 mm。测试地点为山东农业大学机电学院实验室,室内温度25℃左右。

1.2 试验仪器设备

WDW-5E型微机控制电子式万能试验机(济南试金集团有限公司)、DZF-605型真空干燥箱(上海博讯实业有限公司)、JA5003A型电子天平(0.001 g,上海精天电子仪器有限公司)以及游标卡尺等。

1.3 试验方法

在试验前的第3天对钵苗进行第1次浇水;试验前的第2天进行第2次浇水,试验前1 d的下午进行最后1次浇水^[9],以确保试验期间烟苗营养基质足够湿润,烟苗容易拔出。

在进行烟苗拔取、拉伸、压缩等力学性能试验时,万能试验机以均匀速率加载荷,在1.5~2 min内使试样破坏^[10],依此确定每种试验万能试验机的加载速率。由于烟苗茎秆直径较小,且相邻烟苗烟叶交错,为保证试验结果准确性,试验前利用剪刀对烟苗进行手工去叶处理。测量营养基质的含水率前,将烟苗茎秆从营养基质表面处用剪刀剪断,然后把营养基质从穴腔中全部取出并将营养基质里面的烟苗根部手工去掉。

试样(烟苗茎秆、营养基质)的含水率测定采用烘干法。取样后立即称量并填入记录表,将同组试样一并放入干燥箱内,在(105±2)℃的温度下干燥8 h后,从中选定2~3个试样进行第1次称量,以后每隔2 h称量1次,至最后2次称量之差不超过0.002 g时,即认为试样达到全干。然后将试样从干燥箱内取出放入装有干燥剂的玻璃干燥器中,盖好干燥器盖,待试样冷却至室温后,取出称量,然后计算含水率^[11]。

1.3.1 烟苗拔取力和拉断力试验 取生长状况良好且营养基质未与钵盘脱离的钵苗在万能试验机上进行钵苗拔取试验,测量试样的高度、直径以及含水率。试验前,利用万能试验机的夹具夹持烟苗茎秆的上端,人工手持秧苗钵盘,启动万能试验机,以100 mm/min速度加载,将烟苗连同营养基质一同拉出穴腔,同时,测量并记录拔取力的大小。

拔取力试验完成后,重新选样,从烟苗营养基质表面向上取80 mm,制成烟苗拉断试验试样。为防止试验时试样被夹持部位受损,首先对烟苗试样两端进行包裹软纸处理。试验中利用万能试验机的夹具夹持在试样两端,以100 mm/min速度加载,同时记录载荷的大小。

烟苗抗拉强度计算式为

$$\sigma_p = \frac{4p}{\pi D^2} \quad (1)$$

式中:——抗拉强度,MPa

——破坏载荷,N

——试样直径,mm

1.3.2 烟苗径向压缩试验 从烟苗营养基质表面向上取40 mm长茎秆,制成烟苗径向压缩试验试样。测量试样的直径和含水率。试样夹具采用平面压块,将试样置于球面滑动支座中心位置。以10 mm/min速度加载,记录破坏载荷。

烟苗径向抗压强度计算式为

$$\sigma = \frac{p}{Dl} \quad (2)$$

式中:——抗压强度,MPa

——试样长度,mm

1.3.3 烟苗轴向压缩试验 烟苗轴向压缩试验取样如图 1 所示。测量试样的直径和含水率。试样夹具采用平面压块，将试样置于球面滑动支座中心位置，以 10 mm/min 速度加载，记录破坏载荷。

烟苗轴向抗压强度计算式为

$$\sigma=\frac{4p}{\pi D^2}\qquad(3)$$

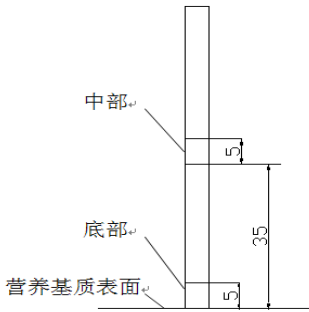


图 1 烟苗试样取样图
Fig. 1 Sampling plan of tobacco seedlings

1.3.4 烟苗弯曲试验 从烟苗营养基质表面向上取 100 mm，分别采用三点弯曲方法（图 2）和悬臂弯曲方法（图 3）进行试验。采用三点弯曲法时，两支座间距离为 60 mm，压头在茎秆的中部施加压力；采用悬臂弯曲法时，压头与支座的水平距离为 30 mm。试验装置的支座及压头端部的曲率半径均为 10 mm，以 50 mm/min 速度加载。

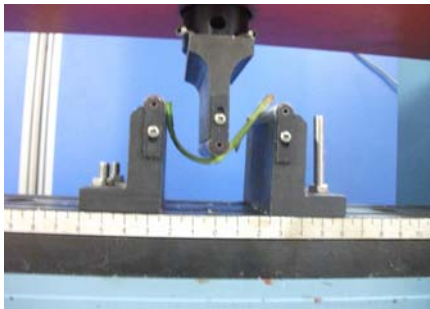


图 2 简支梁试验
Fig. 2 Simply supported beam test

1.3.5 烟苗剪切试验 从烟苗营养基质表面向上取 70 mm，制成烟苗剪切试验试样。测量试样的直径和含水率。将试样置于 V 型夹具上，剪切试样中部。以 50 mm/min 速率加载，记录破坏载荷。烟苗剪切试验示意图如图 4 所示。

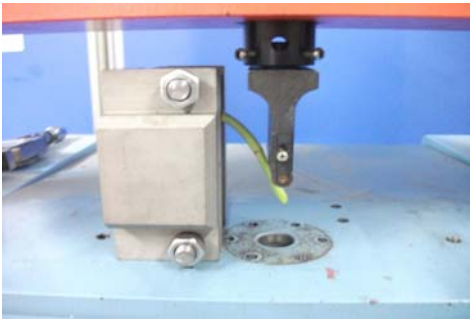


图 3 悬臂梁试验
Fig. 3 Cantilever beam test

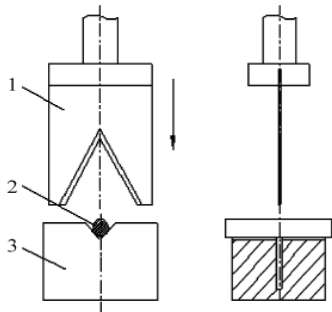


图 4 剪切试验示意图
Fig. 4 Schematic diagram of shearing test
注：1.刀具，2.试样，3.定位块。

烟苗剪切强度计算式为：

$$\sigma_{\tau}=\frac{4p}{\pi D^2}\qquad(4)$$

式中：——剪切强度，Mpa

2 结 果

2.1 烟苗拔取力和拉断力

从图 5 可以看出，单株烟苗拉断力（31.49±12.08）N 远远大于从穴盘中拔出烟苗所需的拔取力（2.09±1.28）N，故采用拔取的方式将烟苗从穴盘中拔出是可行的；烟苗拔取力因为营养基质与穴盘的黏连程度不同会有较大变化。从图 6 可以看出，随营养基质含水率的升高，拔取力有下降趋势，当营养基质含水率达到 58.50%时，拔取力达到最小值，当营养基质含水率继续增加时，营养基质粘滞力增大，拔取力显著增大。因此，为了更好地从穴盘中拔取烟苗并保证营养基质的完整性，营养基质的含水率应控制在 55%~60%。

2.2 烟苗茎秆压缩

由图 7 可知,在一定加载速率下(10 mm/min)压力随着位移先是缓慢升高,然后急剧上升,最后达到平稳。在此过程中,烟苗茎秆首先发生弹性形变,当位移在 0.5~1 mm 时,烟苗茎秆表皮组织被破坏,随着位移继续增大,当压力达到 120 N 时,烟苗茎秆芯部组织被破坏。

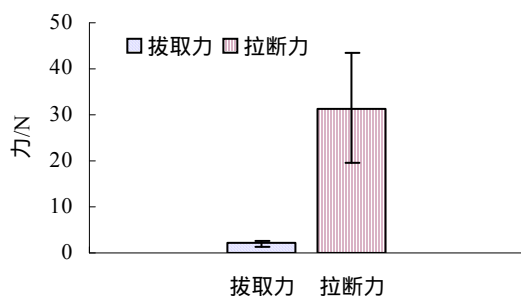


图 5 拔取力和拉断力

Fig. 5 The plucking force and the broken pulling force

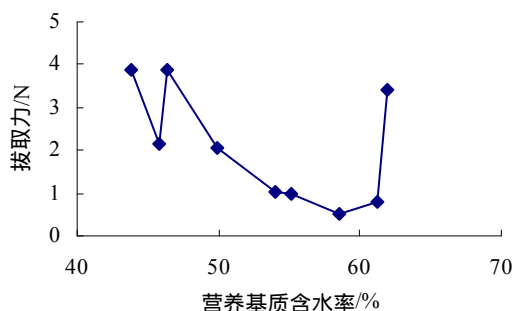


图 6 拔取力与营养基质含水率

Fig. 6 Relationship between the plucking force and the moisture content

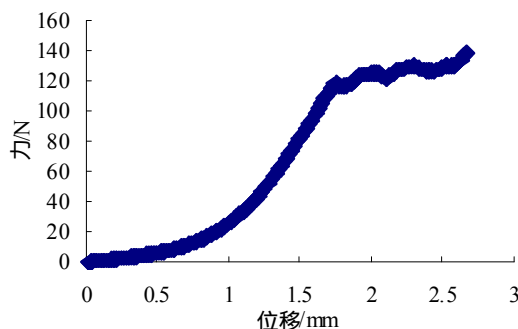


图 7 烟苗压缩试验

Fig. 7 The relationship between the deformation and the compression

从图 8 可以看出,在相同的加载速率条件下,烟苗茎秆的抗拉强度较大,其径向抗压强度显著低于轴向抗压强度 ($p < 0.01$)。并且,烟苗茎秆下部和中部的轴向抗压强度没有显著性差异 ($p > 0.05$)。当采用机械化取苗装置从穴腔中拔取烟苗时,对烟苗茎秆施加的夹紧强度应小于 (0.096 ± 0.043) MPa。

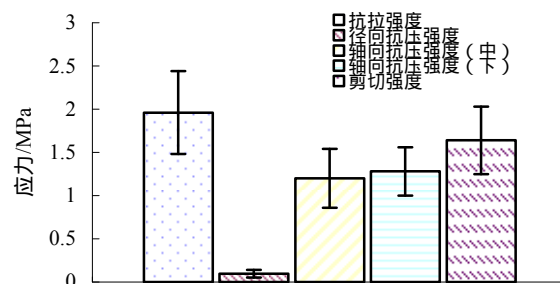


图 8 烟苗的力学物理特性

Fig. 8 The mechanical properties of the tobacco seedlings

2.3 烟苗茎秆弯曲

在相同的加载速率条件下,测试简支梁试验、悬臂梁试验中烟苗茎秆的弹性模量。由图 9 可知,力均随位移先增大后减小,且曲线走向一致。由图中直线段斜率计算得烟苗茎秆简支梁试验、悬臂梁试验的弹性模量分别为 (0.0042 ± 0.0018) MPa、 (0.0130 ± 0.0062) MPa。简支梁弯曲试验中对烟苗茎秆的两端仅用支座进行简单支撑,在力的作用下很容易产生位移,而悬臂梁弯曲试验中烟苗茎秆的一端被支座夹紧固定,在力的作用下不容易产生位移,故烟苗茎秆简支梁试验弹性模量显著低于悬臂梁试验弹性模量 ($p < 0.01$)。

由图 3、4 可以看出,烟苗茎秆挠度较大,试验中并没有出现烟苗茎秆被折断的情况。这与前人的研究结果是一致的,即烟苗茎秆柔韧性好,可绕指^[12]。

2.4 烟苗茎秆剪切

从图 10 可知,剪切强度随着位移变化平缓上升后迅速下降。烟苗茎秆在剪切力的作用下首先发生弹性变形,至烟苗茎秆组织被破坏后剪切强度骤减。位移为 2 mm 时,烟苗茎秆在剪切力的作用下,

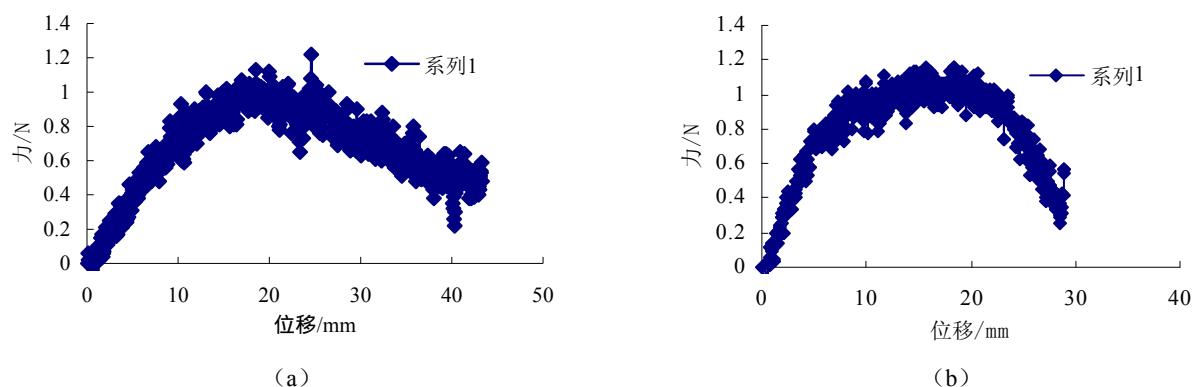


图9 弯曲试验力-位移曲线

Fig. 9 The relationship between the deformation and the compression force during bending test

注: (a) 简支梁, (b) 悬臂梁。

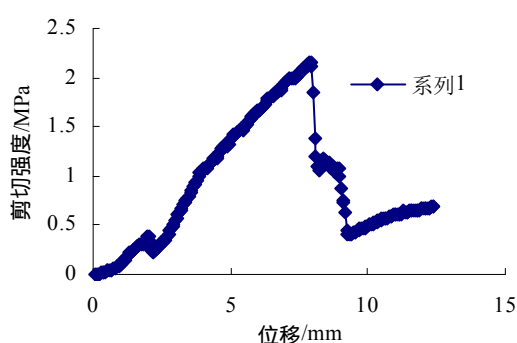


图10 烟苗剪切试验

Fig. 10 The shear test of tobacco seedlings

被剪切部位下凹, 茎秆两端翘起, 使得剪切强度有小幅下降趋势。烟苗茎秆被切断时剪切强度较大, 可见烟苗茎秆柔韧性好, 不易切断。

3 小 结

研究表明, 烟苗拔取力随营养基质含水率的增加逐渐降低, 当含水率达到 58.5% 时, 烟苗拔取力达到最小值 (2.09 ± 1.28) N, 当营养基质的含水率超过 60% 后, 烟苗拔取力迅速增大; 移栽时为更好地从穴盘中拔出烟苗, 营养基质的含水率应控制在 55% ~ 60%。

烟苗的拉断力为 (31.49 ± 12.08) N, 远大于从穴盘中拔出烟苗所需的拔取力, 故采用拔取的方式将烟苗从穴盘中拔出是可行的。

烟苗茎秆抗拉强度为 (1.96 ± 0.68) MPa; 径向抗压强度为 (0.096 ± 0.043) MPa; 烟苗茎秆轴向抗压强度中部为 (1.20 ± 0.34) MPa、下部为 (1.28 ± 0.28) MPa; 烟苗茎秆简支梁、悬臂梁试验弹性模量分别为 (0.0042 ± 0.0018) MPa、(0.0130 ± 0.0062) MPa;

剪切强度为 (1.64 ± 0.39) MPa。因此, 为保证烟苗不受损伤, 当采用机械化取苗装置拔烟苗时, 对烟苗茎秆施加的夹紧强度应小于 (0.096 ± 0.043) MPa。

参考文献

- [1] 尹国洪, 陈巧敏, 张瑞林. 旱地育苗栽植机械现状、发展趋势和前景[J]. 中国农机化, 1997 (5): 9-11.
- [2] 张丽华, 邱立春, 田素博, 等. 指针夹紧式穴盘苗移栽爪设计[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(2): 235-237.
- [3] 孙国祥, 汪小昆, 何国敏, 等. 穴盘苗移栽机末端执行器设计与虚拟样机分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 48-53.
- [4] 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.
- [5] 叶秉良, 俞高红, 陈志威, 等. 偏心齿轮-非圆齿轮行星系取苗机构的运动学建模与参数优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(12): 7-12.
- [6] 刘继展, 李萍萍, 李智国. 番茄采摘机器人末端执行器的硬件设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 109-112.
- [7] 李秦川, 胡挺, 武传宇, 等. 果蔬采摘机器人末端执行器研究综述[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 175-179.
- [8] 惠东志. 烟草自动移栽机取苗机构设计与试验研[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.
- [9] 邓明军. 烟草的炼苗、拔苗和移栽[J]. 农家参谋, 2006 (3): 10.
- [10] 李玉道, 杜现军, 宋占华, 等. 棉花秸秆剪切力学性能试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 124-128.
- [11] 杜现军, 李玉道, 颜世涛, 等. 棉秆力学性能试验[J]. 农业机械学报, 2011 (4): 87-91.
- [12] 李世祥, 丁伟, 朱忠彬, 等. 烟叶基础设施信息化管理系统的设计与实现[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(2): 99-103.