

嫁接幼苗正压气流导向方法及参数优化

初 麒¹, 辜 松^{1,2*}, 杨 意¹, 胡俊生¹, 黎 波¹,
吕亚军¹, 谢忠坚¹, 杨艳丽³

(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642;
3. 广州实凯机电科技有限公司, 广州 510642)

摘 要: 负压吸附把持手具有对幼苗苗径变化适应性强、减少幼苗把持损伤的优点, 但其难以实现对弯曲幼苗的自动吸附把持。针对上述问题, 该研究提出了一种利用正压气流对弯曲幼苗进行导向的作业方法。以常见嫁接用黄瓜幼苗为代表进行研究, 考察正压气流对纤细幼苗导向效果。首先进行了弯曲应力测定, 结果表明, 对于长轴平均直径为 (1.82 ± 0.07) mm、短轴平均直径为 (1.47 ± 0.02) mm的黄瓜幼苗在10 mm长度上矫正5 mm弯曲偏差时所需最大弯曲力平均值为 (0.082 ± 0.005) N; 针对黄瓜幼苗进行了单管正压气流导向试验并进行高速摄影记录, 结果表明, 当正压气管内径为4 mm, 负压把持手吸嘴口与正压气管口间距为25~30 mm, 导向气压为0.3 MPa时, 导向成功率为93.3%; 为改善导向效果, 对黄瓜幼苗进行双管正压气流导向试验, 结果表明, 在正压气管内径4 mm条件下, 当负压把持手吸嘴口与正压气管口间距为20~25 mm、导向气压为0.3 MPa时, 黄瓜幼苗导向成功率为100%。该研究结果可为基于气流导向方法的幼苗把持作业提供技术参考。

关键词: 机械化; 压力; 嫁接; 幼苗; 正压气流; 导向; 负压吸附

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.003

中图分类号: S233.74

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2017)-07-0020-08

初 麒, 辜 松, 杨 意, 胡俊生, 黎 波, 吕亚军, 谢忠坚, 杨艳丽. 嫁接幼苗正压气流导向方法及参数优化[J]. 农业工程学报, 2017, 33(7): 20—27. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.003 <http://www.tcsae.org>

Chu Qi, Gu Song, Yang Yi, Hu Junsheng, Li Bo, Lü Yajun, Xie Zhongjian, Yang Yanli. Positive airflow guidance method and parameter optimization for grafting seedlings[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(7): 20—27. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.07.003 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

目前园艺产业规模在不断扩大, 而中国设施园艺机械化水平相对较低, 仅为32.5%^[1-2], 因此所需劳动力数量日益增加。随着工资水平的不断攀升, 2001至2010年, 园艺生产人工成本年均上涨14.6%^[3-4], 人工作业成本在总生产成本中所占比例越来越大^[5-7]。美国作为园艺产业强国, 2014年在园艺生产中劳动力成本占总生产成本比例仍然超过40%^[8]。因此中国已对多方面园艺生产自动化装备展开研究^[9-11]。

对于园艺种苗自动化设备开发, 如何保证幼苗在把持和传递过程中不受损伤是需要克服的重要课题之一。为适应幼苗个体差异, 避免幼苗夹持损伤, 1987年日本早稻田大学三輪敬之采用记忆合金技术, 开发出组培苗把持手^[12], 通过改变合金温度实现对组培苗的把持与脱

开功能, 但其加温等辅助装置需占用一定空间。1990年东京大学同样使用记忆合金研制了一种钛镍记忆合金柔性组培苗把持手, 通过对记忆合金丝通断电实现把持手开闭, 该把持手可实现0.1 N微力柔性夹持^[13-15], 但机构非常复杂, 技术难度较大。2012以来国内学者提出了柔性气流把持方法, 利用负压吸附的方式实现对幼苗的柔性捡拾与把持。楼建忠等^[16-17]在开发嫁接机时提出利用负压吸附接穗苗子叶的方法把持接穗苗, 作业时人工将接穗苗子叶与把持手吸嘴口贴合实现吸附把持, 该方式可避免机械夹持对幼苗叶片造成损伤; 贾冬冬等^[18-20]设计了一种负压把持手, 人工上苗后利用负压吸附幼苗茎秆, 可实现幼苗的柔性力定位吸附把持; 杨艳丽等^[21-22]针对瓜类嫁接的砧木子叶展开环节, 提出了利用负压吸附砧木子叶的方法, 人工上砧木苗后将子叶展平吸附于砧木夹上, 便于进行插接式嫁接作业; 李恺等^[23-24]针对条状组培苗设计了负压把持手, 该负压把持手通过机器视觉识别定位组培苗茎段后自动拾取, 把持作业性能稳定, 可有效避免组培苗受损, 但视觉识别定位过程复杂, 成本较高。

由于机械式柔性把持手结构复杂, 占用空间较大, 且技术要求较高; 而柔性负压把持手虽可有效适应幼苗苗茎差异, 实现柔性把持, 但真空吸附把持需幼苗与负压把持手吸嘴口准确对位才能保证把持成功, 因此需采

收稿日期: 2017-01-11 修订日期: 2017-04-10

基金项目: 国家“863”计划资助项目(2013AA10240603); 高等学校博士学科点专项科研基金(20124404110004)

作者简介: 初 麒, 男(汉), 黑龙江人, 博士生, 主要从事现代园艺生产智能装备的研究。广州 华南农业大学工程学院, 510642。

Email: yourschuqi2005@163.com

*通信作者: 辜 松, 男, 博士生导师, 教授, 博士, 主要从事现代园艺生产智能装备的研究。广州 华南农业大学工程学院, 510642。Email: sgu666@sina.com
中国农业工程学会会员: 辜 松(E041200242S)

用人工对位上苗或通过机器视觉进行复杂的判断后进行定位拾取。目前采用柔性负压把持手的自动化设备难以实现幼苗快速自动拾取及传递作业, 主要问题是幼苗在把持手间自动传递过程中, 在无外力辅助条件下, 幼苗弯曲偏差极易造成其与负压把持手吸嘴口难以贴合, 把持成功率无法保证。针对上述问题, 本文提出一种针对幼苗的气力导向方法, 即设计一种正压气管, 利用正压气管中喷射的正压气流与负压把持手上的导向翅配合, 将幼苗推送至与负压把持手吸嘴口贴合, 辅助负压把持手完成对弯曲幼苗的把持。本文以常见嫁接用黄瓜幼苗为代表进行研究, 考察正压气流对纤细幼苗导向效果。在避免使用复杂的拢苗机构, 节省空间, 矫正损伤率低的基础上, 以期达到正压气流导向方式辅助负压把持手克服自身难以适应幼苗弯曲偏差的问题。

1 黄瓜幼苗弯曲应力测定

幼苗气力导向主要是利用正压气流矫正幼苗与负压把持手吸嘴口间位置偏差, 当气力能够满足矫正幼苗弯曲所需的矫正力时, 可将幼苗推送至负压把持手吸嘴口, 但需避免气力过大对幼苗造成损伤。

为考察矫正黄瓜幼苗弯曲偏差的适宜矫正力, 通过力学测定平台进行幼苗弯曲应力测定。如图 1 所示, 力学测定平台采用美国 MARK-10M4-05 型测力计及电动测量台, 测力计精度为 0.001 N, 测量范围为 0~2.5 N, 电动测量台运行速度范围为 0.5~1 100 mm/min。

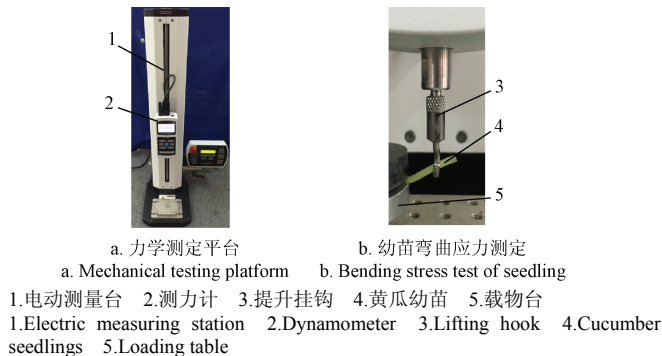


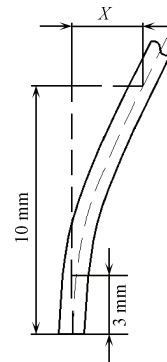
图 1 力学测定平台及幼苗弯曲应力测定

Fig.1 Mechanical testing platform and bending stress test of seedling

在幼苗把持传递过程中, 为保证把持稳定性, 茎段把持长度为 3~4 mm, 在接穗切削倾角 25°时, 切刀所需垂直作业空间约 4 mm^[25], 为避免切刀与把持手干涉, 幼苗 2 传递把持点高度差至少为 10 mm。幼苗 2 把持点距离越大, 幼苗弯曲度也随之增加, 会加大幼苗弯曲矫正难度。因此本研究中将幼苗传递把持点高度定为 10 mm, 测定目标为黄瓜幼苗在 10 mm 长度上的弯曲应力。

选用嫁接期黄瓜幼苗 30 株进行尺寸参数及弯曲应力测定。如图 2 所示, 将幼苗拍照后, 从幼苗底部开始每 10 mm 进行测量, 沿茎秆选取 3 mm 幼苗把持长度视为直线段并将其延长, 测定延长线在 10 mm 高度处与幼苗偏差距离即为弯曲偏差 X , 按此方法向上选择下一 10 mm

茎段进行测量, 直至整株幼苗全部测量完成。测得 10 mm 高度上最大弯曲偏差为 3.83 mm, 若对幼苗进行弯曲矫正, 所需矫正力至少应克服幼苗被矫正 3.83 mm 弯曲偏差时产生的弯曲应力。因此测定时测力计提拉距离定为 5 mm, 即以矫正幼苗 5 mm 弯曲偏差时所需提拉力作为气流导向力参考, 可保证弯曲偏差在 3.83 mm 范围内幼苗导向成功。



注: X 为 10 mm 高度上幼苗茎秆弯曲偏差, 3 mm 为茎段把持高度。

Note: X is bending deviation of seedling stems at 10 mm height, 3 mm is hold height of stem.

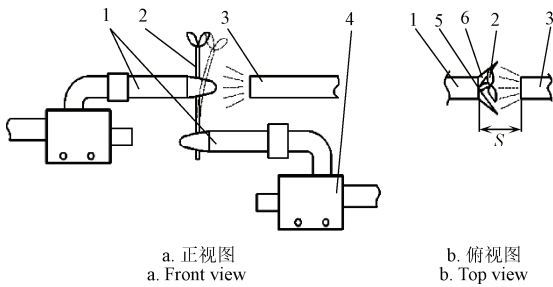
图 2 弯曲偏差测量方法示意图

Fig.2 Sketch map of measuring method for bending deviation

为排除幼苗自身重力对弯曲应力测定影响, 将幼苗子叶部分去除, 留幼苗底部 20 mm 茎段进行弯曲应力测定。通过对黄瓜幼苗茎段中点位置尺寸参数测定, 幼苗长轴平均直径为 (1.82 ± 0.07) mm, 短轴平均直径为 (1.47 ± 0.02) mm。电动测量台提升速度设为 5 mm/min, 测定时将黄瓜幼苗茎段水平放置在载物台上, 一端固定, 另一端通过提升挂钩在相距幼苗固定点 10 mm 处进行提拉。提拉前将拉力计清零, 设定电动测量台在提升挂钩与幼苗接触产生力达到拉力计可设置最小值 0.001 N 时停止运动, 以此作为弯曲应力测定的提拉初始点, 测力计再次清零后提升挂钩提升 5 mm, 提取测定过程中最大值代表幼苗矫正 5 mm 时弯曲应力并求取平均值。测定结果显示, 黄瓜幼苗在 10 mm 长度上提拉 5 mm 时产生的最大弯曲应力的平均值为 (0.082 ± 0.005) N。其值可为与黄瓜幼苗测定条件相同情况下弯曲应力相似的纤细幼苗在进行气力导向作业时的适宜导向作业条件选择提供参考。

2 正压气流导向方法作业原理

在自动传递把持过程中, 幼苗被 1 个负压把持手传递到交接位置, 幼苗未把持部分处于自由状态, 当苗茎存在弯曲度时, 待把持的负压把持手吸嘴口处负压气流难以将偏离吸嘴口的幼苗吸附至贴合状态, 本研究设计通过正压气流与负压把持手上的导向翅共同作用方式, 将偏离负压把持手吸嘴口的幼苗推送至负压把持手吸嘴口位置。如图 3 所示为采用正压气流导向、2 负压把持手交替把持幼苗的过程, 正压气管采用常见不锈钢圆管。传递作业时 1 个负压把持手把持幼苗后, 正压气管中气流与导向翅配合作用, 将与另 1 个负压把持手吸嘴口偏离的幼苗导向至负压把持手吸嘴口位置并贴合。



1. 负压把持手 2. 幼苗 3. 正压气管 4. 真空发生装置 5. 吸嘴口 6. 导向翅
1. Negative pressure holding hands 2. Seedling 3. Positive pressure tube
4. Vacuum generating device 5. Suction nozzle 6. Guide wings

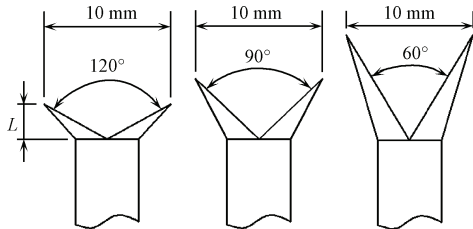
注: S 为负压把持手吸嘴口与正压气管口间距 (简称嘴管间距), mm。
Note: S is distance between negative pressure holding hands suction nozzle and positive pressure tube nozzle (referred to as nozzle tube space), mm.

图 3 正压气流导向作业原理

Fig.3 Operating principle of positive pressure airflow guiding

导向翅结构参数会对正压气流导向作业效果产生较大影响, 由于幼苗在 10 mm 高度范围内偏差不大于 4 mm, 为保证导向翅范围可包容幼苗偏差, 导向翅顶点间距离取为 10 mm。

如图 4 所示, 随着导向翅夹角变小, 导向翅顶点与吸嘴口间垂直距离 L 逐渐增大, 导向翅占用空间增加; 但导向翅夹角大于 90° 后, 正压气流导向力沿导向翅方向分力逐渐变小, 而将幼苗抵靠在导向翅上的力不断增加, 导致幼苗与导向翅间摩擦力加大, 不利于幼苗沿导向翅向吸嘴口滑动, 综合以上因素导向翅夹角定为 90° 。



注: L 为导向翅顶点与吸嘴口间垂直距离, mm。
Note: L is vertical distance between vertex of guide wings and suction nozzle, mm.

图 4 导向翅结构示意图

Fig.4 Sketch structure of guide wings

3 单管正压气流导向试验

为考察正压气流导向作业方法对幼苗导向作业效果, 需对该方法进行导向作业性能试验, 以确定适宜的导向气压及负压把持手吸嘴口与正压气管口间距。

3.1 材料与方法

在幼苗正压气流导向过程中, 正压气管内径变化会改变气流的作用范围, 并且影响正压气管内气体流量, 因此正压气管内径是影响气流导向效果的一个重要因素, 同时在保证导向效果的前提下, 应尽可能减小管径, 以节省作业空间。

正压气流经过圆形正压气管出口后会形成圆锥形射流轨迹, 因此负压把持手吸嘴口与正压气管口间距 (简称嘴管间距) 会影响气流对幼苗导向的作用效果。导向气压相同情况下, 嘴管间距较小时正压射流在吸嘴

口截面处扩散的范围较小, 易导致气流无法作用到偏离吸嘴口较远的幼苗上, 随着嘴管间距的增加, 正压射流在吸嘴口截面处扩散范围逐渐扩大, 但对于偏离吸嘴口较远的幼苗主要受射流边缘较弱气流导向作用, 气流有效作用力较小, 因此选择合适的嘴管间距有助于提高气流导向效果。

正压气管中导向气流压力是影响导向作业效果的重要因素, 当导向气压过小时气流对幼苗导向力不强, 对弯曲度较大且偏离吸嘴口较远的幼苗难以保证导向效果, 而导向力过大易导致幼苗出现损伤甚至折断。

综合以上分析, 试验以导向成功率为目标函数, 以正压气管内径 D 、嘴管间距 S 及导向气压 P 为影响因素, 按 3 因素 3 水平全排列方案设计试验, 共计 27 组, 试验中幼苗被正压气流导向后与负压把持手吸嘴口稳定贴合, 且幼苗茎秆未被把持手薄壁所损伤为成功。由于 2 负压把持手高度差设置为 10 mm, 因此正压气管内径不宜过大, 为方便与常用直径 6 mm 气管对接, 采用外径 6 mm、内径 5 mm 不锈钢圆管进行初步导向试验, 当导向气压达到 0.4 MPa 时, 黄瓜幼苗出现折断现象, 为避免幼苗导向时受损, 正压气管内径 D 应小于 5 mm, 因此选择 2、3 和 4 mm 3 个水平, 导向气压 P 选择 0.1、0.2 和 0.3 MPa 3 个水平; 根据流体力学理论, 圆管射流发散角度约为 25° , 当嘴管间距为 20 mm 时, 正压气管口与导向翅顶点截面距离为 15 mm, 内径为 2 mm 正压气管射流在导向翅顶点截面处扩散直径可达 8.6 mm 以上, 射流范围可基本覆盖导向翅区域, 因此嘴管间距 S 选择 20、25 和 30 mm 3 个水平。

试验选用苗嫁接期黄瓜幼苗, 长轴平均直径为 (1.82 ± 0.07) mm, 为了提高导向成功率的表现力每组条件下采用不同幼苗进行 30 次试验。如图 5 所示, 负压把持手 1 和 2 垂直高度差设置为 10 mm, 2 负压把持手吸嘴口位置保证幼苗被引导至与吸嘴口贴合时为幼苗为竖直状态, 正压气管水平与负压把持手 1 同轴。对于单管射流, 其中心区域流速最大, 幼苗处于负压把持手 1 导向翅中心区域时较易导向成功, 而与负压把持手 1 导向翅贴合的幼苗由于处在射流边缘区域较难导向, 因此需重点考察在该情况下的气流导向效果。实际作业时, 负压把持手 2 把持的幼苗在传递过程中其茎秆弯曲方向为随机状态, 负压把持手 1 到达把持位置时幼苗可能与导向翅贴合, 当幼苗茎秆弯曲最大部位在远离负压把持手 1 吸嘴口方向上与一侧导向翅贴合时, 幼苗与正压气流中心偏离位置最大, 且距吸嘴口最远, 此位置导向难度最大, 因此试验时黄瓜幼苗吸附在负压把持手 2 后, 将幼苗弯曲最大位置与一侧导向翅贴合, 对该状态下幼苗进行单管正压气流导向效果测试 (如图 5c)。为对幼苗的正压气流导向过程进行观察分析, 使用高速摄影方法对各工况下气流引导过程进行记录, 高速摄影系统由中国合肥君达高科信息技术有限公司生产的 1F005 型 COMS 高速摄像机、USB3.0 图像采集线、光源和计算机系统组成。高速摄像机试验帧率设为 500 帧/s。

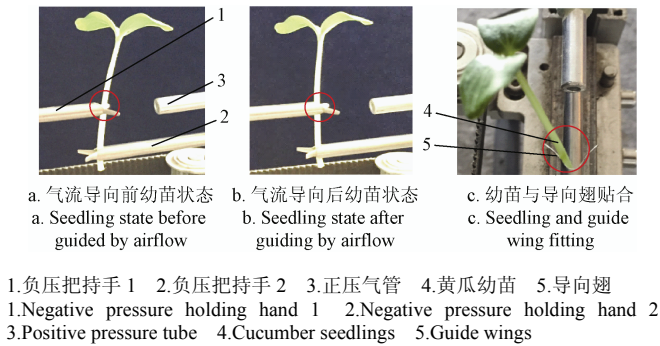


图 5 黄瓜单管正压导向幼苗试验

Fig.5 Experiment of single tube positive pressure guiding for cucumber seedlings

3.2 结果与分析

黄瓜幼苗单管正压气流导向试验结果如表 1。

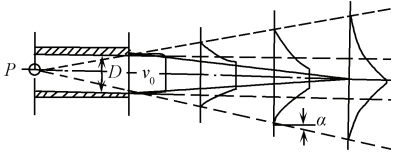
表 1 黄瓜幼苗单管正压气流导向试验结果

Table 1 Experimental results of single tube positive pressure airflow guiding for cucumber seedlings

编号 No.	正压气管内径 Inside diameter of positive tube D/mm	嘴管间距 Nozzle space S/mm	导向气压 Guiding pressure P/MPa	导向成功率 Success rate of guiding/%
1	2	20	0.1	0
2	2	20	0.2	0
3	2	20	0.3	0
4	2	25	0.1	0
5	2	25	0.2	10.0
6	2	25	0.3	13.3
7	2	30	0.1	20.0
8	2	30	0.2	20.0
9	2	30	0.3	23.3
10	3	20	0.1	20.0
11	3	20	0.2	20.0
12	3	20	0.3	46.7
13	3	25	0.1	30.0
14	3	25	0.2	66.7
15	3	25	0.3	80.0
16	3	30	0.1	23.3
17	3	30	0.2	76.7
18	3	30	0.3	83.3
19	4	20	0.1	30.0
20	4	20	0.2	63.3
21	4	20	0.3	73.3
22	4	25	0.1	33.3
23	4	25	0.2	90.0
24	4	25	0.3	93.3
25	4	30	0.1	36.7
26	4	30	0.2	93.3
27	4	30	0.3	93.3
k_1	9.6	28.1	21.5	/
k_2	49.6	46.2	48.9	/
k_3	67.4	52.2	56.3	/
R	57.8	24.1	34.8	/

由表 1 可知，极差 R 大小次序为正压气管内径 (D) > 导向气压 (P) > 嘴管间距 (S)，即正压气管内径及导向气压对幼苗导向成功率影响较大。原因主要是正压气管内径及导向气压大小直接影响射流对幼苗的有效作用力，在嘴管间距相同情况下，正气压管内径及导向气压越大，幼苗越易被导向成功。

表 1 显示，正压气管内径为 2 mm 时导向成功率最高仅为 23.3%，主要由于射流对幼苗有效作用气流较少，其边缘区域气流对幼苗产生导向力较弱，难以将幼苗导向至负压把持手吸嘴口位置，在选取的嘴管间距内，当导向气压增至 0.3 MPa，部分幼苗仅出现了晃动现象，无法稳定导向。如图 6 所示，根据圆形管孔射流理论，喷射出的气流发散角度 2α 约为 25° ，在正压气管口处的气流速度 v_0 基本保持是均匀的，随射流层不断向外扩散，流速降低且射流中心与边缘速度梯度变大^[26-27]。



注： P 为导向气流压力，MPa； D 为正压气管内径，mm； v_0 为正压气管口气流流速， $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ； α 为射流边缘与射流轴心夹角， $(^\circ)$ 。

Note: P is guiding airflow pressure, MPa; D is inner diameter of positive pressure tube, mm; v_0 is airflow velocity of positive pressure tube nozzle, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; α is angle between jet edge and jet axis, $(^\circ)$.

图 6 圆形孔口气体自由射流示意图

Fig.6 Sketch of airflow of circular orifice free jet

正压气管内径为 2 mm、嘴管间距为 20 mm 时，射流范围刚好可覆盖导向翅区域，当幼苗位置相对吸嘴口偏移距离较大时，幼苗处于射流边缘气流非常薄弱区域，由于边缘气流作用力衰减，难以将幼苗导向负压把持手吸嘴口并稳定贴合。随着嘴管间距增加，射流扩散范围会完全包容幼苗，作用在幼苗上的有效气流量增加，但仍无法满足幼苗导向所需导向力，因此导向成功率很低。

正压气管内径 3 mm 时，与内径为 2 mm 时相比，射流作用范围加大，随着嘴管间距的增加、导向气压增大，整体导向效果大幅提高，在嘴管间距 30 mm、导向气压为 0.3 MPa 时最高导向成功率可达 83.3%。

当正压气管内径为 4 mm 时，射流作用范围再次加大，气流对幼苗的作用力加大，随着嘴管间距的增加、导向气压增大，导向成功率进一步提高，当嘴管间距为 30 mm 时最高导向成功率达 93.3%。失败主要原因是导向气压较大时作用在幼苗上的有效气流作用力过大时，造成了幼苗折断损伤。

根据以上分析，正压气管内径及导向气压会直接影响正压气流作用在幼苗上的有效作用力，对引导效果有很大影响。最高为 93.3% 导向成功率结果也显示单管正压气流进行气力导向难以保证幼苗导向效果，该方式对正压气管与负压把持手之间的相对位置精度要求较高，且导向气压大小不易把握。

3.3 基于高速摄影的单管气力导向过程分析

高速摄像技术是综合光、机、电、光电传感器与计

算机等一系列技术的特殊摄影,能够捕捉各作业环节中细微动作过程,目前在农业装备开发中已广泛应用^[26-28]。

通过对单管正压气流导向试验的高速摄影观察可以看出,正压气流导向幼苗的过程主要可分为:启动,靠近吸嘴口,贴合吸嘴口,贴合后茎秆断裂4个阶段,图7为正压气流导向过程中4个具有代表性的幼苗位置点。

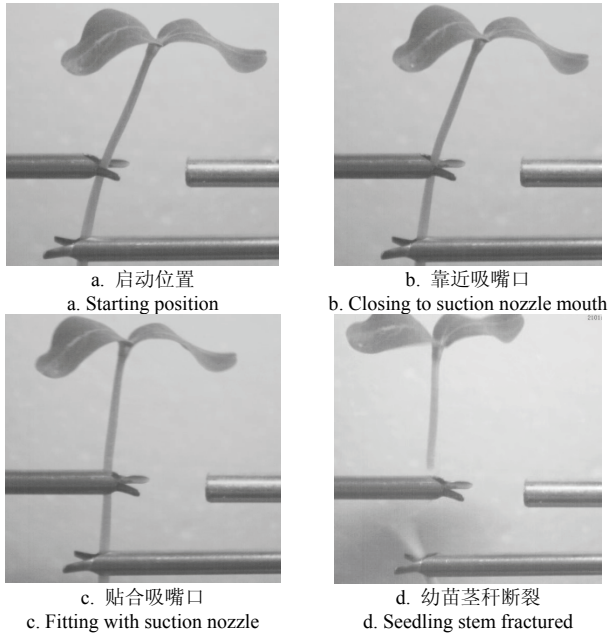


图7 黄瓜幼苗正压气流导向过程

Fig.7 Positive airflow guiding process of cucumber seedling

当引导气流的有效作用范围能够覆盖幼苗所在位置时,幼苗会受正压气流作用由图7a启动位置向图7b位置移动,由于幼苗自身存在弯曲,在气流导向过程中幼苗首先会与负压把持手吸嘴口下边缘接触,之后以下边缘为支撑点,上部茎秆继续被导向至图7c位置与吸嘴口贴合;幼苗与把持手吸嘴口贴合后由于气流产生的导向力无法准确与幼苗导向时所需导向力平衡,因此幼苗无支撑部位会被气流继续推送而发生弯曲,当气流导向力过大时,会出现如图7d所示的茎秆断裂现象。

幼苗导向失败主要有3种情况:1)气流对幼苗有效作用力微弱,导向过程中幼苗几乎不动或产生晃动但无法到达图7b位置;2)气流对幼苗产生的有效作用力不足以将幼苗与吸嘴口紧密贴合,幼苗到达图7b或7c位置后处于小范围晃动状态;3)导向气流压力过大导致幼苗弯曲过度,造成幼苗如图7d中断裂或表皮损伤现象。

4 双管正压气流导向试验

通过黄瓜幼苗的单管正压气流导向试验可看出,圆型管口射流边缘气流速度较小,难以保证弯曲偏差较大幼苗稳定导向,为进一步改善正压气流导向效果,将单管气流改为双管气流形式进行幼苗导向试验,考察引导效果稳定性,以获取合理作业参数。

4.1 材料与方法

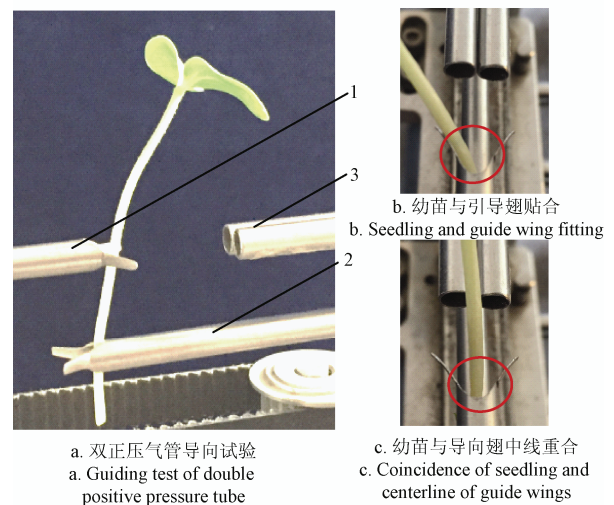
根据单管正压气流导向试验结果,正压气管内径对导向成功率影响较大,内径越大其射流有效作用面积越

大,有利于幼苗导向,因此本次试验双圆管均选用内径4 mm 不锈钢管,将双管水平并列排布以实现对称射流,其余机构设置与单管正压气流导向试验相同。

试验以导向成功率为目标函数,以导向气压(P)和嘴管间距(S)作为影响因素,按2因素3水平全排列方案设计试验。由于双管射流较单管射流会产生更大的作用面积,在嘴管间距较近时射流扩散角度仍可覆盖较大范围,因此相对于单管射流,嘴管间距可相应减小,嘴管间距 S 选择15、20和25 mm 3个水平,导向压力 P 与单管正压气流导向试验相同,仍选择0.1、0.2和0.3 MPa 3个水平。

试验用黄瓜幼苗及负压把持手位置设置与单管正压气流导向试验相同,采用不同幼苗每组条件下进行30次试验。

如图8所示,双正压气管与负压把持手1在同一水平面内相对其对称布置。因2个正压气管射流中心均已偏离负压把持手1中线,因此导向翅中线区域气流为射流边缘低速气流,需考虑该区域幼苗的导向情况。因此黄瓜幼苗吸附在负压把持手2上后,分为将幼苗弯曲偏差最大位置与负压把持手1导向翅贴合(图8b)和与导向翅中线重合并弯向正压气管(图8c)2种状态进行试验。



1.负压把持手1 2.负压把持手2 3.正压气管
1.Negative pressure holding hand 1 2.Negative pressure holding hand 2
3.Positive pressure tubes

图8 黄瓜幼苗双管正压导向试验

Fig.8 Guiding test of double positive pressure tube for cucumber seedlings

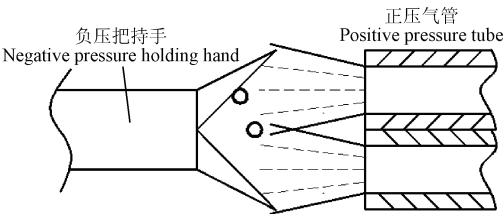
4.2 结果与分析

黄瓜幼苗双管正压导向试验结果及极差分析如表2。极差大小顺序均为导向气压 P >嘴管间距 S ,幼苗的导向成功率主要取决于导向气压大小。由于正压气管内径为4 mm,双管射流最小有效作用宽度已达到8 mm,当射流在管口处以25°角射出时,在试验选择的嘴管间距条件下双管射流区域可完全覆盖幼苗所在区域,因此嘴管间距对幼苗导向成功率影响不大,主要取决于导向气压能否满足导向要求。

表 2 黄瓜幼苗双管正压导向试验结果
Table 2 Experimental results of double tube positive pressure guiding for cucumber seedlings

编号 No.	嘴管间距 S Nozzle space S/mm	导向气压 P Guiding pressure P/MPa	导向成功率 Success rate of guide/%	
			幼苗与导向翅 贴合 Seedling and guide wing fitting	幼苗与导向翅 中线重合 Coincidence of seedling and centerline of guide wings
1	15	0.1	76.7	23.3
2	15	0.2	96.7	60
3	15	0.3	83.3	96.7
4	20	0.1	73.3	43.3
5	20	0.2	100	96.7
6	20	0.3	100	100
7	25	0.1	60	43.3
8	25	0.2	83.3	93.3
9	25	0.3	100	100
幼苗与 导向翅 贴合	k_1	85.6	70	/
	k_2	91.1	93.3	/
	k_3	81.1	94.4	/
	R	10	24.4	/
幼苗与 导向翅 中线重 合	k_1	60	36.6	/
	k_2	80	53.3	/
	k_3	78.9	98.9	/
	R	20	62.3	/

嘴管间距为 15 mm 时，与导向翅贴合状态下的幼苗导向成功率随导向气压增加先升高后降低，而与导向翅中线重合状态的幼苗导向成功率随导向气压增加呈单调上升趋势。如图 9 所示，由于正压气管射流中心区域均偏离把持手中心，而与贴合在导向翅上的幼苗所在区域大部分重合，因此对于幼苗导向气力较强，随着导向气压增大，幼苗导向成功率随之增加，但导向气压达到 0.3 MPa 时，由于导向气力过大，部分幼苗出现折断或表皮损伤的情况，因此幼苗导向成功率降低。与导向翅中线重合的幼苗受 2 个正压气管射流外围区域较弱气流的合力作用，气流较弱时难以保证幼苗与负压把持手吸嘴口贴合，导向成功率较低。随着导向气压增大，气流作用效果增强，因此幼苗导向成功率不断提高。



注：图中圆形代表 2 种试验状态幼苗所在位置。
Note: Round figures represent seedling position in 2 test.

图 9 双管射流在引导区域幼苗示意图
Fig.9 Sketch map of seedlings in guiding area of jet

嘴管间距 S 为 20 mm，与 S 为 10 mm 相比嘴管间距增大，导向气流对幼苗的作用力有所减弱，导向时未对幼苗造成损伤，当压力为 0.3 MPa 时，2 种状态下的幼苗导向成功率均达到了 100%。当嘴管间距 S 为 25 mm 时，情况与 S 为 20 mm 时基本相同，但由于正压气管口与幼苗距离增大，气压较低时，易出现幼苗与吸嘴口贴合不稳定的情况。对黄瓜幼苗进行双路正压气流导向时，应

保证幼苗在 2 种状态下均可达到较高导向成功率，因此当吸嘴口与正压气管口间距 S 为 20~25 mm 时，气压可选为 0.3 MPa，导向成功率为 100.0%。

5 结 论

本文针对负压把持手难以克服幼苗弯曲所造成的吸附位置偏差问题，以黄瓜幼苗为研究对象，提出一种正压气流导向方法，利用正压气流将幼苗推送至与负压把持手吸嘴口贴合，辅助负压把持手完成对弯曲幼苗的把持。

1) 对黄瓜幼苗进行了弯曲应力测定，测得处于嫁接期长轴平均直径为 (1.82 ± 0.07) mm、短轴平均直径为 (1.47 ± 0.02) mm 的黄瓜幼苗在 10 mm 长度上矫正 5 mm 弯曲偏差产生的弯曲应力平均值为 (0.082 ± 0.005) N。

2) 对黄瓜幼苗采用单管形式进行了正压气流导向试验。结果表明正压气管内径及导向气压对正压气流导向成功率影响较大。当正压气管内径为 4 mm、正压气管口与负压把持手吸嘴口间距为 25~30 mm、导向气压为 0.3 MPa 时，黄瓜幼苗导向成功率为 93.3%，单管正压气流导向模式导向效果不稳定。幼苗导向失败主要由于正压气流有效作用力过小无法将幼苗与负压把持手吸嘴口稳定贴合或幼苗与负压把持手吸嘴口贴合后，气力过大造成幼苗损伤。

3) 为改善导向作业效果，采取双管形式对黄瓜幼苗进行了正压气流导向试验，结果表明，在正压气管内径 4 mm 条件下对黄瓜幼苗进行正压气流导向作业，当负压把持手吸嘴口与正压气管口间距为 20~25 mm 时，适宜导向气压为 0.3 MPa，此时黄瓜幼苗导向成功率为 100%。

[参 考 文 献]

[1] 李中华, 孙少磊, 丁小明, 等. 我国设施园艺机械化水平现状与评价研究[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(6): 1143—1148.
Li Zhonghua, Sun Shaolei, Ding Xiaoming, et al. Research on the present situation and evaluation of protected horticulture mechanization level in China[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2014, 51(6): 1143—1148. (in Chinese with English abstract)

[2] 辜松, 杨艳丽, 张跃峰. 荷兰温室盆花自动化生产装备系统的发展现状[J]. 农业工程学报, 2012, 28(19): 1—8.
Gu Song, Yang Yanli, Zhang Yuefeng. Development status of automated equipment systems for greenhouse potted flowers production in Netherlands[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(19): 1—8. (in Chinese with English abstract)

[3] 金三林, 朱贤强. 我国劳动力成本上升的成因及趋势[J]. 经济纵横, 2013(2): 37—42.

[4] 林炜. 企业创新激励: 来自中国劳动力成本上升的解释[J]. 管理世界, 2013, 10: 95—105.

[5] 宿飞飞, 吕典秋, 邱彩玲, 等. 脱毒马铃薯组培工厂化育苗成本核算[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(2): 120—124.
Xu Feifei, Lü Dianqiu, Qiu Cailing, et al. Cost calculation of factory seedling of virus-free potato tissue culture seedlings[J].

- Chinese Potato Journal, 2010, 24(2): 120—124. (in Chinese with English abstract)
- [6] 陈钦. 脱毒马铃薯种薯快繁技术推广研究-以汉中地区为例[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- Chen Qin. Rapid Propagation of Virus-free seed Potato in Promoting Research Taking Han zhong District as an Example[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [7] 闫东升. 马铃薯脱毒种薯行业发展前景分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2012.
- [8] 刘珊. 2014 年美国农业部园艺产业专项调查要点探析[J]. 温室园艺农业工程技术, 2016, (4): 60—62.
- [9] 辜松, 李恺, 初麒, 等. 2JX-M 系列蔬菜嫁接切削器作业试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 27—32.
- Gu Song, Li Kai, Chu Qi, et al. Experiment of 2JX-M series vegetable cutting devices for grafting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(10): 27—32. (in Chinese with English abstract)
- [10] 邱景图. 斜插式蔬菜嫁接机器人嫁接机理与关键机构的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- Qiu Jingtu. Study on the Key Mechanism of Oblique Inserting Vegetable Grafting Robot[D]. Hongzhou: Zhejiang University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [11] 彭玉平, 辜松, 初麒, 等. 茄果类嫁接机砧木上苗装置设计[J]. 农业工程学报, 2016, 32(11): 76—82.
- Peng Yuping, Gu Song, Chu Qi, et al. Design of stock feeding device of grafting robot for solanaceae [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(11): 76—82. (in Chinese with English abstract)
- [12] Aitkenchristir J, Kozai T, Smith M A L. Automation and Environmental Control in Plant Tissue Culture[M]. Dordrecht Netherlands: Springer Science + Business Media, 1995.
- [13] 岡本嗣男, 趙春山, 實山安英, 等. サトウキビ培養苗増殖ロボットに関する研究[J]. 農業機械学会誌, 1998, 60(6): 71—77.
- [14] 岡本嗣男, 木谷収, 鳥居徹. ロボットによる植物組織培養移植操作の自動化に関する研究-形状記憶合金アクチュエータのファジィ制御[C]//農業機械学会第 49 (1990) 回大会: 277—278.
- [15] 海津裕. 組織培養苗の自動選別及びハンドリングに関する研究[D]. 東京: 東京大学, 2003.
- [16] 楼建忠, 李建平, 朱盘安, 等. 斜插式蔬菜嫁接机穗木气吸吸头优化设计[J]. 农业机械学报, 2013(2): 63—68.
- Lou Jianzhong, Li Jianping, Zhu Pan'an, et al. Optimization of suction head of scion clamping mechanism for vegetable grafting machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013(2): 63—68. (in Chinese with English abstract)
- [17] 楼建忠. 斜插式瓜类蔬菜嫁接装置机理研究及优化设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- Lou Jianzhong. Mechanism Study and Optimization Design of Inclined-insert Grafting Device of Cucurbita Vegetable[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [18] 贾冬冬, 辜松, 杨艳丽, 等. 种苗负压夹持手的设计与试验[J]. 农机化研究, 2013, 35(9): 198—201.
- Jia Dongdong, Gu Song, Yang Yanli, et al. Design and test of seedling negative pressure adsorption hands[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(9): 198—201. (in Chinese with English abstract)
- [19] 贾冬冬. 种苗负压气吸夹设计与试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- Jia Dongdong. Design and Test of the Negative Pressure Holding Hands of Seedlings[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [20] 杨艳丽. 组培苗自动化生产系统关键技术的研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2014.
- Yang Yanli. The Research of Key Technologies of Automatic Production Systems for Tissue Culture Seedlings[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [21] 杨艳丽, 李恺, 初麒, 等. 斜插式嫁接机砧木子叶气吸夹结构及作业参数优化试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4): 25—31.
- Yang Yanli, Li Kai, Chu Qi, et al. Air suction clamp structure of rootstock cotyledons for inclined inserted grafting machine and its optimized experiment of operation parameters[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(4): 25—31. (in Chinese with English abstract)
- [22] 初麒, 姜凯, 刘凯, 等. 2JC-600 型自动嫁接机的试验研究[J]. 农机化研究, 2011, 33(1): 183—185.
- Chu Qi, Jiang Kai, Liu Kai, et al. Experimental study on 2JC-600 automatic grafting machine[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2011, 33(1): 183—185. (in Chinese with English abstract)
- [23] 李恺, 辜松, 杨艳丽, 等. 条状组培苗负压拾取手设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(2): 29—36.
- Li Kai, Gu Song, Yang Yanli, et al. Design and experiment on vacuum pickup hand for banding tissue culture seedlings[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(2): 29—36. (in Chinese with English abstract)
- [24] 李恺. 组培苗茎段移植机器人系统关键技术研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2015.
- Li Kai. The Research on Key Technologies of Transplant Robotic System for Tissue Culture Seedling Section[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [25] 初麒. 瓜类斜插式嫁接机设计与研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2012.
- Chu Qi. Study on Oblique Hole Insertion Grafting Machine for Gourd Vegetables[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [26] 蔡增基, 龙天渝. 流体力学泵与风机[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 158—159.

- [27] 李植. 流体动力学第五版[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013: 166—167.
- [28] 王静, 廖庆喜, 田波平, 等. 高速摄像技术在我国农业机械领域的应用[J]. 农机化研究, 2007(1): 184—186.
Wang Jing, Liao Qingxi, Tian Boping, et al. The Present and development tendency of high-speed photography applied on agricultural machinery[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2007(1): 184—186. (in Chinese with English abstract)
- [29] 师清翔, 刘师多, 姬江涛. 控速喂入柔性脱粒机理研究[J]. 农业工程学报, 1996, 12(2): 173—176.
Shi Qingxiang, Liu Shiduo, Ji Jiangtao. Studies on the mechanism of speed-controlled feeding and soft threshing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1996, 12(2): 173—176. (in Chinese with English abstract)
- [30] 高建民, 区颖刚. 甘蔗螺旋扶起机构的理论研究及虚拟样机仿真[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 1—5.
Gao Jianmin, Ou Yinggang. Theoretical study on spiral sugarcane-lifting mechanism of sugarcane harvester and virtual prototype simulation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(3): 1—5. (in Chinese with English abstract)

Positive airflow guidance method and parameter optimization for grafting seedlings

Chu Qi¹, Gu Song^{1,2*}, Yang Yi¹, Hu Junsheng¹, Li Bo¹, Lü Yajun¹, Xie Zhongjian¹, Yang Yanli³

(1.College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2.Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

3.Guangzhou Sky Mechanical & Electrical Technology Co., Ltd. Guangzhou 510642, China)

Abstract: At present, in the facilities of horticultural production, how to avoid seedling damage is one of the important problems that need to be solved, and the flexible holding technology that uses the principle of vacuum adsorption is an effective method to prevent seedling damage. But in this case without external assistance, the vacuum adsorption holding hand in the operation is difficult to overcome the holding position deviation caused by variation of seedlings. Such variation in individual seedlings will lead to no fit of holding hands and seedlings, resulting in not stable holding hand to hold seedlings. The solution to this problem is to use the manual operation or through complex machine vision for seedling position judgment, but the manual operation leads to a lower degree of automation, and the structure of machine vision is complex and the machine calibration can consume more time. Aiming at the above problems, in this study, we proposed a method using positive pressure airflow to guide the seedling, it was through the positive pressure airflow to correct the deviation between the seedling and the holding hand so that seedlings and holding hand suction mouth could fit. In this paper, the cucumber seedlings were used as the object for research. First of all, the size parameters and mechanical properties were measured for cucumber seedlings, the results showed that the average max bending force of cucumber seedlings with mean long axis diameter was (1.82 ± 0.07) mm and mean short axis diameter was (1.47 ± 0.02) mm. It was (0.082 ± 0.005) N when bending 5 on 10 mm length. In order to investigate the effect of positive pressure airflow guiding operation, an experiment of single tube positive pressure guiding for cucumber seedlings was carried out, and a high-speed photographic recording was performed during the experiment, so that the details of the guiding operation could be observed. During the experiment, the height difference between the two holding hands was set to 10 mm, the position of the holding hand suction nozzle mouth could ensure that the seedlings were upright after the seeding was guided, and the positive pressure airway was coaxial with one holding hand. The results showed that the highest success rate of up to 93% when the inner diameter of the positive pressure airway was 4 mm, the distance between the air outlet of positive pressure airway and suction nozzle mouth of the negative pressure holding hand was 25-30 mm, and the guiding air pressure was 0.3 MPa. The guide effect was instable for operation method of single tube positive pressure guiding for cucumber seedlings, the relative position of the positive pressure guide tube and the holding hand was required to be high, and the air pressure was difficult to be accurately controlled. Seedlings may easily be damaged or could not fit the suction nozzle mouth of negative pressure holding hand. In order to further improve the guiding effect, an experiment of double tube positive pressure guiding for cucumber seedlings was carried out, using the same test method with the experiment of single tube positive pressure guiding, but the two positive pressure guide tubes were arranged symmetrically with respect to one holding hand. The results showed that under the condition of 4 mm inner diameter of positive pressure airway, when the distance between the air outlet of positive pressure airway and suction nozzle mouth of the negative pressure holding hand was 20-25 mm, and the guiding air pressure was 0.3 MPa, the success rate of cucumber seedling that was guided could reach 100%, in the case of low guide pressure, the cucumber seedlings and the suction nozzle mouth was difficult to fit, so seedlings appeared shaking. Results of this study can provide technical reference for seedling hold operations based on airflow guidance method.

Keywords: mechanization; pressure; grafting; seedling; positive pressure airflow; guidance; negative pressure adsorption