

# 顶芽斜插嫁接时砧木插孔角度的确定

马稚昱<sup>1</sup>, 韦鸿钰<sup>1</sup>, 牟英辉<sup>2</sup>, 辜松<sup>3\*</sup>

(1. 仲恺农业工程学院机电学院, 广州 510225; 2. 华南农业大学农学院, 广州 510642;  
3. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642)

**摘要:**在顶芽斜插嫁接机械作业中, 砧木插孔角度是保证嫁接苗质量、嫁接苗成活率及嫁接机器人作业稳定性的重要因素。因此该文以瓜类嫁接栽培常用砧木和接穗——南瓜、黄瓜、西瓜等为研究对象, 对斜插嫁接机的砧木插孔角度进行了研究分析。该文首先在瓜类蔬菜嫁接常用砧木和接穗在嫁接适宜期间的形态结构参数进行测量基础上, 利用图像分析技术对砧木生长点处的内部结构进行研究, 构建了砧木苗生长点内部髓腔结构模型, 并结合顶芽斜插嫁接工艺要求: 砧木打孔作业时插签既要避免损坏子叶也不要避免进入髓腔, 经研究确定砧木插孔角度最大为 75°。基于上述研究构建了顶芽斜插嫁接试验台, 试验台的砧木插孔角度为 45°~75°可调, 并以黑子南瓜和黄瓜幼苗为嫁接对象, 设定砧木插孔角度分别为 45°、50°、55°、60°、62°、65°及 70°, 进行了嫁接作业性能实测。试验结果表明: 当砧木插孔角度为 60°时, 插入砧木髓腔的比率较低, 同时机械化嫁接作业稳定性高, 嫁接成功率最高, 且嫁接苗的成活率可达 91%。

**关键词:**嫁接; 农业机械; 试验; 蔬菜; 机械嫁接; 顶芽斜插; 插签角度

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.03.006

中图分类号: S233.74; S606.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-03-0043-07

马稚昱, 韦鸿钰, 牟英辉, 等. 顶芽斜插嫁接时砧木插孔角度的确定[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 43—49.  
Ma Zhiyu, Wei Hongyu, Mu Yinghui, et al. Determination of insertion angle of hole-insertion grafting method by grafting machine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(3): 43—49. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

随着设施农业的快速发展, 蔬菜嫁接苗生产逐渐呈现出以下特点: 集中化、规模化、批量化生产, 另一方面嫁接生产又具有时令性强、作业强度大、技术性高的特点<sup>[1-4]</sup>, 目前嫁接苗生产主要存在的问题是劳动力需求紧张、嫁接苗价格高、嫁接效率低下<sup>[2,5-8]</sup>。因而近年来关于如何实现嫁接机械化生产的相关研究引起各国研究者的注意<sup>[9-12]</sup>。

瓜类嫁接苗的嫁接方法有几十种, 大体可以归纳为插接、劈接、靠接和贴接法, 并由此衍生出许多新的嫁接方法。其中顶芽斜插法具有操作简单、无需夹持固定物、切口结合紧密, 是目前在瓜类作物生产中主要采用的嫁接方法<sup>[13-17]</sup>。

由于在瓜类蔬菜嫁接生产中常用南瓜苗砧木,

采用顶芽斜插法嫁接西瓜、黄瓜等。瓜类蔬菜嫁接用苗存在以下特征: 一是砧木与接穗下胚轴直径的差值比较大, 二是砧木下胚轴内部中间存在髓腔, 一旦接穗苗插接过程中进入砧木髓腔, 愈合过程中接穗苗会沿砧木髓腔产生自根, 导致嫁接失败。因此要保证顶芽斜插嫁接成功, 接穗避开砧木髓腔而插入生长点内成为一个关键性因素<sup>[18-19]</sup>。因此明确顶芽斜插嫁接过程中砧木插孔的合适角度, 是要保证在机械嫁接过程中, 避免插签下插时破坏砧木子叶或下插过深而进入髓腔, 从而提高嫁接质量<sup>[20-22]</sup>。

在本文中针对顶芽斜插过程中的砧木插孔角度进行了研究分析。首先利用图像分析技术对瓜类常用砧木及接穗苗的外部几何形态尺寸及砧木生长点内部几何结构进行了测量研究, 在此基础上构建了斜插嫁接试验台, 以南瓜和黄瓜幼苗为嫁接对象, 在不同插孔角度下对顶芽斜插嫁接性能进行了研究分析, 为嫁接机的设计提供基础参考数据。

## 1 外部形态及内部髓腔结构分析

### 1.1 试验材料与方法

试验用砧木品种为山东苍山县金利达种子公司的云南黑籽南瓜和白籽南瓜(京欣砧四号), 接

收稿日期: 2013-06-27 修订日期: 2013-12-23

基金项目: 广东省农业机械化科研课题-瓜类蔬菜机械化嫁接加工技术集成与示范(2013年)

作者简介: 马稚昱(1974—), 女(汉), 黑龙江, 副研究员, 博士, 现代设施农业装备研究。广东省仲恺农业工程学院机电学院, 510225。  
Email: mazhiyu2002@hotmail.com

\*通信作者: 辜松(1963—), 男(汉), 广东, 教授, 博士生导师, 主要从事现代园艺生产装备研究。广州 华南农业大学工程学院, 510642。Email: sug666@sina.com

穗品种为沈阳圣地亚农业高科技有限公司的西瓜（大花龙）和黄瓜（早丰 35）。

砧木育苗：将黑籽南瓜和白籽南瓜种子置于 50~55℃ 的温水中浸泡 12 h，然后用清水洗净种子表面的黏液，之后放入 28℃ 的恒温箱中催芽。待种子根长至 0.5~1 cm 时播种于 72 穴孔育苗盘内，放入人工气候育苗室内进行育苗。人工气候育苗室内栽培环境设置为温度为 24°，光照时间为 8:00~18:00，光照周期为 10 h。

接穗育苗：方法同砧木育苗，但接穗要比砧木晚 1 个星期播种。

砧木苗生长到 2 片子叶完全展平，出现第 2 片真叶，接穗苗子叶完全展开第 1 片真叶刚刚露出芽时是嫁接作业适宜期。本节研究针对嫁接作业适宜期间内的砧木苗和接穗苗的株高、下胚轴长、子叶跨度和宽度进行了测量分析，并在背投光源下利用显微镜分别对砧木苗和接穗苗下胚轴横向和沿砧木下胚轴中心线纵向剖开后剖面进行了观察。

1.2 结果与分析

由图 1（1a、1b）和表 1 可知，黑籽南瓜和白籽南瓜的胚轴横断面形状为椭圆形，椭圆形的短轴平均直径为 2.1~2.8 mm，长轴平均直径为 2.8~3.8 mm；黄瓜的胚轴横断面形状为四边形（图 1c），短边平均长度为 1.469 mm，长边平均长度 1.73 mm；西瓜的胚轴横断面为椭圆形（图 1d），椭圆形的长轴平均为 2.008 mm 短轴平均值为 1.4 mm。由表 1 可知砧木苗的子叶跨度平均值为 73~83 mm，子叶宽度平均值为 26~31 mm。在瓜类蔬菜斜插嫁接作业过程中，为了将砧木生长点去除干净，需要把砧木的生长点完全露出，并且砧木的子叶要压平固定，以便于进行砧木打孔和砧穗对插作业，上述砧木和接穗形态结构尺寸为砧木夹持、子叶展平固定及打孔机构的设计提供参考数据。接穗子叶的跨度为 26~51 mm，标准偏差为 0.2~0.3 mm，品种间考虑嫁接用苗个体的几何尺寸差异，使夹持机构的具体执行零件与接穗接触的部位具有一定弹性及自适应性。

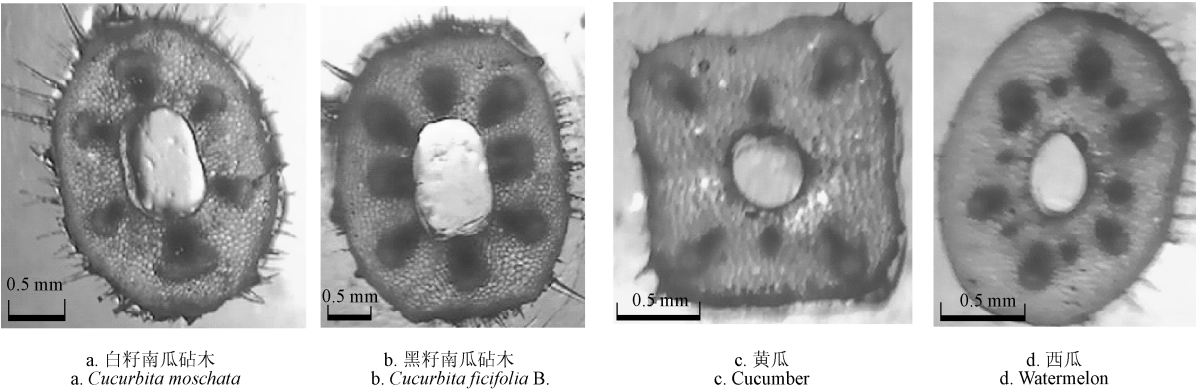


图 1 嫁接用苗的断面显微镜图片  
Fig.1 Cross section microscope images of grafting seedlings

表 1 砧接穗的结构参数  
Table 1 Structure parameters of grafting seedlings

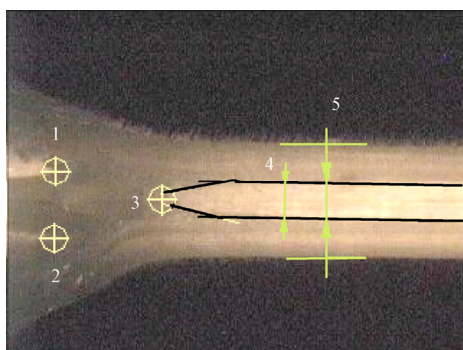
		育苗 天数 Days/ d	株高 Height/mm	下胚轴长 Axis height/mm	子叶 Cotyledon/mm		下胚轴直径 Hypocotyl diameter/mm		髓腔结构 Structure of hypocotyl cavity					
					跨度 Span	宽 Width	长轴 Fetus long axis	短轴 Fetus Short axis	髓腔直径 Hypocotyl cavity diameter/ mm	生长点 1 坐标 Growth point 1/pixel		生长点 2 坐标 Growth point 2/pixel		生长点与 顶点夹角 $\alpha$ Angle/(°)
										$Y_1$	$X_1$	$Y_2$	$X_2$	
砧木 Root stock	黑籽南瓜 <i>Cucurbita ficifolia</i> B.	20	89.05±1.31	73.43±1.18	83.47±1.27	26.34±0.53	3.76±0.04	2.82±0.03	0.80±0.17	24.63	-96.41	-21.24	-103.30	75.32
	白籽南瓜 <i>Cucubita moschata</i>	20	78.98±1.08	68.11±1.02	72.94±1.56	30.75±0.53	2.8±0.043	2.12±0.03	0.42±0.01	17.16	-89.24	-18.50	-85.48	78.46
接穗 Scion	黄瓜 Cucumber	14	72.41±0.94	62.16±0.94	51.61±1.22	15.06±0.33	1.73±0.02	1.47±0.02						
	西瓜 Watermelon	14	81.40±1.4	81.40±1.45	26.22±0.79	9.70±0.24	2.01±0.04	1.40±0.02						

注：±表示标准偏差；坐标系以南瓜苗髓腔顶点为原点。  
Note: ± means standard deviation; The origin of coordinates is the peak of pumpkin hypocotyl cavity.

在适于嫁接作业期间内利用显微镜对嫁接砧木的下胚轴沿中心轴剖开后内部髓腔结构进行观

察，并利用背投光源法对剖面进行图像采集，然后利用 In-sight Explorer4.1.0 图像处理软件对采集后

的图像中的特征点：右生长点（点1）、左生长点（点2）、髓腔顶点（点3）、髓腔内径(4)及下胚轴外径(5)进行测量分析，图像测量分析结果如图2所示。计算出砧木髓腔的平均内径及嫁接砧木生长点处结构特征参数，利用统计分析软件 StatView5.0 对各测量结果进行分散分析，结果如表1所示。



1. 右生长点 2. 左生长点 3. 髓腔顶点 4. 髓腔内径 5. 下胚轴外径  
1. Right growth point 2. Left growth point 3. Peak of hypocotyl cavity  
4. Hypocotyl cavity diameter 5. Hypocotyl diameter

图2 嫁接砧木生长点剖面图

Fig.2 Growing point cross section of rootstock

从表1可以看出，黑籽南瓜的下胚轴外径及髓腔直径最大，分别为3.76和0.801 mm，白籽南瓜下胚轴外径为2.8 mm，髓腔内径为0.4 mm。根据上述两种砧木生长点内部参数，以髓腔顶点3为原点构建坐标系，在该坐标系内分别构建2种砧木的左右生长点1、点2的坐标，可得到2种砧木在顶芽斜插作业过程中插签的作业范围，如图3所示。在左右生长点之间及髓腔顶点以上的范围是插签的适宜插入范围，超出该范围就会导致插签插入左右子叶上，破坏子叶；或因插入过深而进入髓腔，图中原点即为髓腔顶点，其正下方即为砧木髓腔（图3）。

顶芽斜插嫁接方法的操作过程如图4所示，首先去除砧木生长点和真叶，用插签由砧木一片子叶中脉和子叶节交接处穿进，斜插到另一子叶下方0.2 cm处，其深度以手指触到竹签尖端，透过砧木表皮能看到竹签尖端而未插透为佳；用刀片沿接穗子叶下0.3 cm处斜向下将接穗下胚轴切削成一斜面；从砧木中拔出插签，将接穗斜面向下插入砧木的插签孔内，完成嫁接。根据这一嫁接工艺要求：一是避免插接时破坏子叶，因此插孔时插签插入点必须在左右生长点之间，表明砧木左右生长点1、2即为插签插入的临界点；二是避免接穗插入髓腔，即如图3所示插孔要保证在髓腔顶点（坐标原点）的上方；三是保证接穗插入时砧木与接穗接合面长度尽可能长，以增大砧木和接穗愈合接触面的面积，提高嫁接苗愈合成活率，也就是要求插孔的长

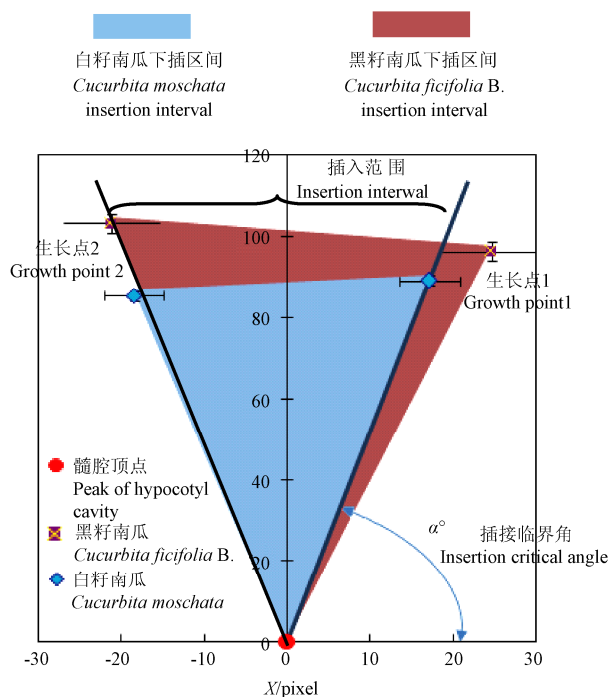


图3 嫁接砧木苗木生长点内部结构示意图

Fig.3 Internal structure of rootstock growing point

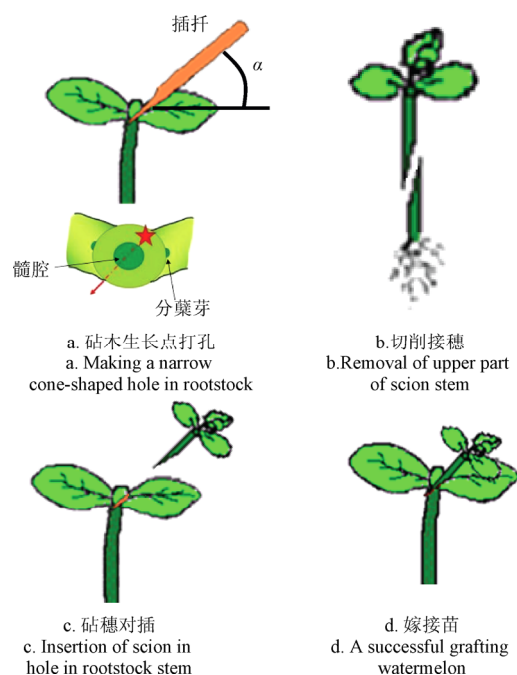


图4 顶芽斜插嫁接方法

Fig.4 Hole-insertion grafting method

度极大<sup>[23]</sup>。因此根据上述作业工艺要求，由图3可以发现在顶芽斜插作业时，插签插入临界点与髓腔顶点连线即为插接的临界边界，当超出该边界时，插签会进入髓腔，导致嫁接失败。因此在本研究中将插接临界点与髓腔顶点该连线与水平轴夹角定义为插接临界角 $\alpha$ ，黑籽南瓜的插接临界角度

为  $75.317^\circ$ ，白籽南瓜的临界角度约为  $78.455^\circ$ 。综上所述，我们可以画出插接嫁接时的不同品种的瓜科砧木插入区间范围（图 3）。通过瓜类砧木的插入区间的交集可求得顶芽斜插嫁接作业时插孔的作业区间，而瓜科插接时下插角度不易大于  $75^\circ$ 。并且发现顶芽插接嫁接过程中，与直插方式比较采用斜插方式嫁接更容易避免插入髓腔，同时还可以避免损坏子叶。

## 2 顶芽斜插嫁接插入角度分析

### 2.1 试验台的构建

通过对瓜类蔬菜顶芽斜插嫁接作业插入角度的分析，可发现在顶芽斜插嫁接作业过程中最大斜插角度约为  $75^\circ$ 。本研究中所指插入角度即为插签与砧木两子叶展平后的水平面的夹角。为确定瓜类顶芽斜插机械嫁接最适宜的斜插角度，本研究搭建了顶芽斜插嫁接试验台，该试验台三维仿真示意图如图 5 所示，试验台是由砧木夹持旋转、砧木打孔、接穗夹持和接穗切削机构组成。在试验台的设计中为实现顶芽斜插作业要求，同时兼顾操作人员作业的方便性及机构的精简性，采取了只倾斜砧木夹持机构来保证斜插角度，而其他各机构均为垂直作业的方式设计整机。并通过 PLC 控制步进电机带动砧木夹持机构旋转，从而实现对砧木夹持机构倾斜角度的调整，已满足顶芽斜插试验中对不同斜插角度的要求。并以瓜类蔬菜嫁接常用的南瓜砧木和黄瓜接穗为嫁接对象，进行机械嫁接作业。分析在插孔角度对机械嫁接作业的稳定性及嫁接苗成活率等主要性能指标的影响。

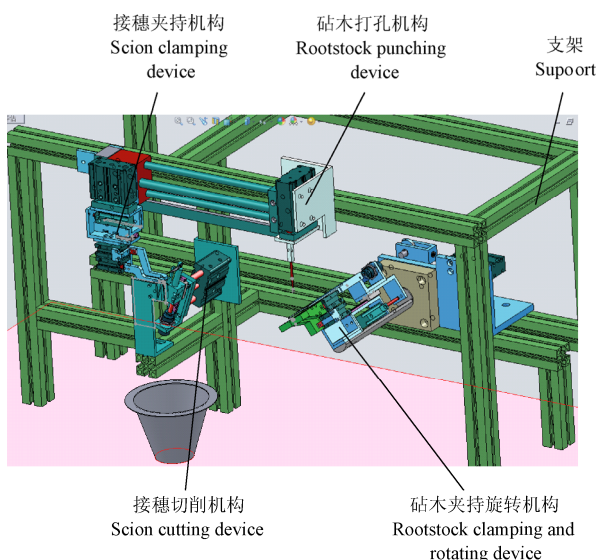


图 5 顶芽斜插式嫁接装置  
Fig.5 Hole-insertion grafting machine

### 2.2 试验方法及数据采集

根据目前人工顶芽斜插嫁接过程中，插杆插孔角度一般控制在  $40\sim 45^\circ$ <sup>[17,20,24]</sup>；同时结合第 1 节的研究结果，在本次顶芽斜插嫁接试验中插孔角度共设置了 7 组值，分别为  $45^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $62^\circ$ 、 $65^\circ$ 、 $70^\circ$ 。试验用苗的栽培方法同第 1 节相同，在嫁接试验台上进行机械嫁接作业，每组试验砧木苗、接穗苗样本各取 100 株。

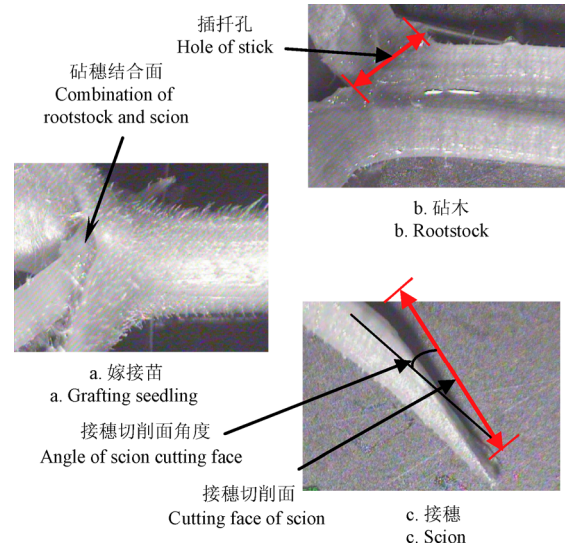


图 6 嫁接苗形态结构剖面图  
Fig.6 Morphological structure of grafted plants

顶芽斜插嫁接试验台正常运转状态下，操作人员连续在砧木和接穗夹持供苗工位上苗，观察试验中接穗苗的切削、砧木打孔和砧穗贴合情况。完成嫁接后，将嫁接苗沿砧穗下胚轴中心线剖开，利用显微镜在背投光源下获取砧木生长点处插杆孔形态特征图像，图 6a 为嫁接后嫁接苗插接部位图，图 6b 砧木生长点插孔部位图，图 6c 接穗切削部位图。采用 In-sight Explorer4.1.0 图像软件对采集到的图像进行分析并测量砧木生长点处的插杆孔的长度及位置（髓腔顶点到插签孔的距离）、接穗下胚轴切削面的形状（切削面与下胚轴的角度）和尺寸（切削面长度），计算嫁接装置稳定性（接穗成功插入砧木插孔内的苗木株数的比率，不论是否进入髓腔的嫁接苗株数占总数的百分比）和嫁接成功率（接穗成功插入砧木插孔内完全密切配合，且接穗苗插成功避开髓腔的嫁接苗株数占总数的百分比），统计以上各指标，并记录导致未插入及插入髓腔的原因，并利用 StatView5.0 对数据进行统计分析，结果见表 2。

### 2.3 试验结果与分析

由表 2 可知，试验中砧木的下胚轴平均直径为  $4.583\text{ mm}$ 、髓腔平均内径  $1.216\text{ mm}$ ，接穗的下胚轴



平均直径为 2.25 mm，接穗切削面角度平均值为 15.291°，切削面长度变化范围为 6.5~8.184 mm。在不同插孔角度的试验中，在砧木生长点处形成插孔的长度变化范围在 3.21~5.341 mm，可见插孔角度对砧木插孔长度的影响不较大，随着插孔角度增

加，形成插孔长度增大。接穗切削面平均长度是砧木髓腔长度的 1.7 倍，说明如果嫁接装置能够根据顶芽斜插嫁接法要求完成打孔和切削，则切削后接穗的切削面具有足够的长度与砧木内孔紧密配合，保证两者愈合面的贴合效果，提高嫁接苗的愈合率。

表2 斜插嫁接装置的作业试验结果

Table 2 Operation test data of hole-insertion grafting mechanism

插接 角度/ Angle/ (°)	砧木 Stock seedling			接穗 Scion			髓腔顶点 到插孔距离 Distance from cavity point to hole/mm	嫁接装置 稳定性 Operation stability/%	嫁接成功率 Success rate of grafting/%
	外径 Hypocotyl diameter /mm	髓腔内径 Hypocotyl cavity diameter /mm	插孔长度 Hole length /mm	外径 Hypocotyl diameter /mm	切削角度 Cutting angle /mm	切口长度 Cutting length /mm			
45			3.21±0.16			8.18±0.43	0.93±0.04	85	100
50			3.85±0.17			6.35±0.20	0.69±0.05	80	100
55	4.58±0.07	1.22±0.04	4.10±0.15	2.25±0.06	15.29±0.77	6.83±0.17	0.45±0.047	80	100
60			3.92±0.18			7.30±0.13	0.52±0.05	100	100
65			4.23±0.19			7.07±0.15	0.41 ±0.06	90	76
70			5.34±0.12			6.50±0.21	0.09 ±0.02	100	10

根据顶芽斜插法的嫁接工艺要求，砧木打孔时要避免破坏砧木子叶，所以在嫁接作业过程中要求插签以砧木生长点外右角点为插入点，且以一定角度斜向下插入，从插入点对面子叶下方穿出，插签头露出位置应保证在左侧子叶环下方而不破坏子叶（如图 1）<sup>[25-29]</sup>，因此进行试验之前根据上述要求调整好砧木打孔机构的位置，保证插签插入点的位置控制在砧木生长点外右角点以内且尽量靠近右角点，然后锁死砧木打孔机构，进行实际嫁接作业试验，试验结果见表 2。

由表 2 可知，随着插孔角度的增加，髓腔顶点到插孔的距离逐渐变小，在插入角度为 45°时髓腔顶点到插孔的距离最远 0.93 mm，这时接穗进入髓腔的几率为零；而当插入角度增大到 70°时，髓腔顶点到插孔距离为 0.09 mm，接穗临近插入髓腔，导致插入砧木髓腔内部的可能性增大，而造成嫁接成功率的下降，尤其是当插签角度大于 60°时，髓腔顶点到插孔距离快速下降，造成嫁接失败的几率迅速增大。另一方面，随着插孔角度的增大，斜插嫁接机的作业稳定性提高，在插孔角度低于 60°时，嫁接机的作业稳定性在 90% 以下，而插孔角度高于 60°时，嫁接机的作业稳定性迅速达到 90% 以上。

### 3 嫁接成活率的试验分析

#### 3.1 试验材料与方法

由第 1 节、第 2 节的研究结果，本试验中选用黑籽南瓜作为砧木，黄瓜作为接穗，如 1 节所述对砧木和接穗的幼苗进行精心育苗在斜插嫁接试验台上以插孔角度为 60°进行嫁接作业成活率测试试验。操作人员作业过程与第 2 节相同，机械嫁接作

业后得到的嫁接苗如图 7a 所示，接穗子叶与砧木子叶方向垂直，呈十字形，接穗下胚轴紧实插入砧木且接穗子叶斜靠在砧木子叶上具有固定效果。符合上述情况就认为嫁接成功，选取嫁接成功的苗 100 株进行嫁接成活率观测试验。

a. 嫁接成功的苗木  
a. Successful grafting seedlingb. 愈合成活的苗木  
b. Healing survival seedling

图7 嫁接在砧木上的黄瓜

Fig.7 Grafting cucumber onto resistant rootstock

嫁接苗愈合成活率试验在育苗气候室内进行，愈合环境控制条件<sup>[25,30-36]</sup>如下：愈合前 3 天避光，白天温度控制在(27±1)℃，夜间(20±1)℃，相对湿度保持在 95% 以上；3 d 后开始通风，降低温度、湿度，白天温度(24±1)℃，夜间温度不变，相对湿度逐渐降低到 80%，并逐渐增加光照时间；第 4 天光照时间为 2 h，以后每天增加 2 h，1 周后光照时间逐渐延长进入正常苗的光温管理(光照周期为 8 h)，并记录成活苗株数。成苗标准如图 7b 所示接穗坚挺，长出新叶，叶色浓绿。

#### 3.2 试验结果

根据上述试验结果表明：在插孔角度为 60°进行顶芽斜插嫁接作业后，嫁接苗成活率达 91%。通

过对没成活的嫁接苗进行分析,其原因主要有 2 点:一是砧木生长点去除不净,导致出现假嫁接现象;二是砧穗插接接口处腐烂,导致接穗苗枯萎死亡。但是,所有供试嫁接苗中,均未出现接穗插入砧木髓腔,产生自生根的假嫁接的现象。上述试验结果表明,在斜插角度为  $60^\circ$  时斜插嫁接装置嫁接苗成活性比较高。

## 4 结 论

1) 通过对砧木和接穗苗基本形态参数的测定,分析研究了瓜类蔬菜嫁接常用品种砧木的生长点内部髓腔结构,确定了顶芽斜插机械化作业过程中,砧木插孔角度不宜大于  $75^\circ$ 。

2) 对顶芽斜插式嫁接主要工艺进行分析,当砧木顶芽斜插砧木插孔角度为  $60^\circ$  时,插扦沿砧木右侧子叶柄斜向下插入过程中进入髓腔的比率较低,嫁接装置的稳定性为 100%,嫁接成功率最高为 100%。

3) 通过对顶芽斜插嫁接作业插孔角度的研究发现插孔角度  $60^\circ$  时,机械化嫁接苗的成活率可达 91%,且可以很好地避免接穗进入髓腔发生假嫁接现象,保证嫁接装置的作业性能。

### [参 考 文 献]

- [1] Lee J M, Kubota C. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation[J]. *Scientia Horticulturae*, 2010(127): 93—105.
- [2] 别之龙. 我国西瓜甜瓜嫁接育苗产业发展现状和对策[J]. *中国瓜菜*, 2011(2): 68—71.
- [3] 别之龙, 朱进, 黄远. 黄瓜断根嫁接工厂化穴盘育苗技术[J]. *中国蔬菜*, 2006(8): 48—49.
- [4] 华斌, 别之龙. 西瓜甜瓜嫁接育苗进展[J]. *上海交通大学学报: 农业科学版*, 2008(5): 363—368.
- [5] 别之龙. 我国瓜类作物嫁接育苗生产的现状、问题与对策[J]. *长江蔬菜*, 2009(2): 1—5.  
Bie Zhilong. Present status, problem and countermeasures of grafted cucurbit seedlings production in China[J]. *2009(2):1—5. (in Chinese with English abstract)*
- [6] 别之龙. 国家西甜瓜产业技术体系启动大会和全国瓜类作物嫁接育苗研究与应用研讨会在武汉召开[J]. *长江蔬菜*, 2009(7): 15.
- [7] 别之龙. 2011 年蔬菜嫁接国际会议在意大利举行[J]. *中国瓜菜*, 2011(6): 69—70.
- [8] 别之龙. 国际蔬菜嫁接新趋势与我国蔬菜嫁接发展若干问题探讨——“2011 蔬菜嫁接国际会议”的启示[J]. *中国蔬菜*, 2012(11): 1—4.
- [9] Chiu Y C, Chen S, Chang Y. Development of a tubing-grafting robotic system for fruit-bearing vegetable seedlings[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2010, 26(4): 707—714.
- [10] Van Henten E J. Greenhouse mechanization: State of the art and future perspective[J]. *Acta Horticulturae*, 2006, 710: 55—69.
- [11] Yi-Chieh Chang, Yung-Chiung, Chen Suming. Growth and union acclimation process of sweet pepper grafted by a tubing-grafting robotic system[J]. *Hort Environ Biotechnol*, 2012, 53(2): 93—101.
- [12] 西浦芳史, 穗波信雄, 平 知明. 接ぎ木生産の機械化に関する研究(第四報)ー接ぎ木操作の自動機械化[J]. *日本農業機械学会誌*, 1999, 61(6): 103—112.  
Yoshifumi Nishiura, Nobuo Honami, Tomoaki taira, Development of a new grafting mothod(part 4)-Robotization of grafting operation[J]. *Journal of the Japanese Scoiety of Agricultural Machinery*, 1999, 61(6): 103—112. (in Japanese with English abstract)
- [13] 李红岭, 陈一峰. 用黑籽南瓜伤根顶芽斜插法嫁接黄爪的育苗技术[J]. *中国蔬菜*, 1997 (2):39-41.
- [14] 西浦芳史, 穗波信雄, 平知明. 接ぎ木生産の機械化に関する研究(第一報)ープラグ・イン法の提案[J]. *日本農業機械学会誌*, 1998, 61(6):35~43.  
Yoshifumi Nishiura, Nobuo Honami, Tomoaki taira, Development of a new grafting mothod(part 1)-Propsol of “Plun-in method”[J]. *Journal of the Japanese Scoiety of Agricultural Machinery*, 1998, 61(6):35 ~ 43. (in Japanese with English abstract)
- [15] Kent Cushman. Grafting techniques for watermelon[J]. HS1075-University of Florida IFAS Extension, 2006(10): 1—5.
- [16] 郑权富, 华瑞清, 张平法. 培育苦瓜嫁接壮苗的技巧[J]. *上海蔬菜*, 2012(2): 67—68.
- [17] Louws F, Rlvard C L, Kubota C. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds[J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 127: 127—146.
- [18] 王娟, 王秀峰, 崔秀敏. 瓜类蔬菜嫁接方法对接穗不定根产生及长势的影响[J]. *山东农业科学*, 2001(4): 25—26.
- [19] 王振学, 史红志, 王启丽. 温室越冬黄瓜嫁接苗常出现的异状以及综合防治技术[J]. *长江蔬菜*, 2012(3): 49—51.
- [20] 张艳, 杨博文. 用黑籽南瓜伤根顶芽斜插嫁接黄爪的育苗试验[J]. *上海蔬菜*, 2004(3): 32.
- [21] 吴翠云, 阿依买木, 程奇, 等. 不同嫁接方法对黄瓜成活率及幼苗生长的影响[J]. *塔里木农垦大学学报*, 2003, 15(3): 1—3.  
Wu Cuiyun, A. Yimaimu, Cheng Qi. How Different grafting methods affect the survial rate and seedling growth of cucumber[J]. *Journal of Tarim University of Agricultural Reclamation*, 2003, 15(3): 1—3. (in Chinese with English abstract)
- [22] 猪之奥康治, 鈴木正肚, 小林研. ウリ科野菜接ぎ木装置の開発(第 4 報)[J]. *日本農業機械学会誌(Journal of the Japanese Scoiety of Agricultural Machinery)*, 1996, 58(3): 59—68.
- [23] 楼建忠, 李建平, 朱盘安等. 斜插式蔬菜嫁接机砧木夹持机构研制与试验[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(7): 30—35.  
Lou Jianzhong, Li Jianping, Zhu Panan et al. Design and test of stock clamping mechanism for vegetable grafting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(7): 30—35. (in Chinese with English abstract)
- [24] 曹守山, 苏浴源, 栗淑芳等. 瓜类快速嫁接与管理技术[J]. *蔬菜*, 2012(1): 11—13.
- [25] 刘秀英. 瓜的插接嫁接方法[P]. CN102293105A, 2011-12-28.
- [26] 王朋成, 张其安, 严从生. 瓜类改良插接法嫁接技术[J]. *中国瓜菜*, 2012(5): 53—54.

- [27] 西浦芳史, 穗波信雄, 平知明. 接ぎ木生産の機械化に関する研究(第三報)ー活着・順化装置の試作とプラグ・イン接ぎ木苗の特性[J]. 日本農業機械会誌, 1999, 61(6): 91-101.  
Yoshifumi Nishiura, Nobuo Honami, Tomoaki taira, Development of a new grafting mothod(part3)-Fabrication of an acclimatization system and characteristics of Plug-in grafted seedlings[J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 1999, 61(6): 91-101. (in Japanese with English abstract)
- [28] 杨仕伟. 两种嫁接方式对夏秋黄瓜生理的影响[D]. 西南大学, 中国, 重庆, 2012.  
Yang Shiwei. The influence of two kinds of grafting methods to physiology of summer-autumn cucumber[D]. 2012. (in Chinese with English abstract)
- [29] 大棚瓜苗双断根嫁接新技术[J]. 山东蔬菜, 2013(1): 6-7.
- [30] 辜松, 江林斌, 崔凤有. 蔬菜工厂化嫁接育苗系统关键设备的试验研究[C]//中国农业机械学会 2006 年学术年会, 镇江:中国农业机械学会, 2006.
- [31] 李应超. 一种培育嫁接黄瓜强大根系的栽培方法[P]. CN102132653A, 2011-07-27.
- [32] 李应超, 郭颜辉. 一种甜瓜断根嫁接方法 [P]. CN102356729A, 2012-02-22.
- [33] 毛诗友, 赵宗权, 帅远琴等. 西瓜大苗活体茎尖嫁接栽培技术[J]. 长江蔬菜, 2010(3): 27-28.
- [34] 乜兰春, 孙建设. 弹性嫁接夹 [P]. CN201591037U, 2010-09-29.
- [35] 钱伟, 蒋有条. 嫁接瓜类生理性急性凋萎的发生原因及防治[J]. 中国西瓜甜瓜, 1994(2): 14.

## Determination of insertion angle of hole-insertion grafting method by grafting machine

Ma Zhiyu<sup>1</sup>, Wei Hongyu<sup>1</sup>, Mu Yinghui<sup>2</sup>, Gu song<sup>3\*</sup>

(1. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Faculty of Mechanica and Electrical Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. South China Agricultural University, College of Agriculture, Guangzhou 510642, China; 3. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Hole-insertion grafting method is widely used for cucurbit crops. The method establishes a very strong graft union without grafting clips. The key of successful grafting is to make hole at an optimal angle in the removed bud region so that the edge where the tool comes out through hypocotyls was below the opposite cotyledon. So during the hole-insertion grafting, the insertion angle is an important factor for the quality and survival of grafting plants, and mechanical stability. This study aimed to assess common rootstock and scion grafting cultivation in pumpkin, cucumber and watermelon, and investigated the effect of the insertion angle on the grafting mechanize. To achieve the objectives, structure parameters of rootstock and scion were measured, internal structure of hypocotyl growing point was analyzed by image analysis technique. The model was developed. The maximal insertion angle (75°) was determined by the grafting requirement that the insertion should avoid damaging cotyledon and entering hypocotyl cavity.

The results showed that the insertion angle of perforate stick was not more than 75° for avoiding the insertion into the hypocotyls cavity. The aim of this study was to develop the semi-automatic grafting mechanism for grafted seedling on the basis of the hole-insertion grafting method and the insertion angle, which the grafting mechanism was adjustable in the range of 45°-75°. The experiment was carried out for researching the insertion angle of pumpkin and cucumber seedling using the grafting mechanism. In this experiment, the insertion angles were respectively set at 45°, 50°, 55°, 60°, 62°, 65°, 70°. In this grafting processing, the rootstock seedling and scion seedling were placed respectively in the rootstock clamping device and scion clamping device by operator, the grafting mechanism automatically completed clamping, punching, cutting and inserting. This report investigated shaping position and matching between the scion and the rootstock base on the structure for grafted seedlings by using image analysis technique. In this grafting method, grafted cuttings will be rooted and inserted in a new tray containing well watered medium, and healed at the same time inside a healing chamber. It is important to keep grafting seedling in a high moisture environment during the formation of the grafting union and healing period. In this experiment, grafted seedlings were placed in 95% humidity, temperature 26-28℃ during day and 19-21℃ during night, and complete darkness for initial 3 days. After 3 days of darkness, light was added. The experiment results showed that the rate of scion inserted into the rootstock cavity was low with the insertion angle of 60°, the successful ratio of grafting mechanism was high, and grafting survival rate was 91%. This method was effective in the view of punching, cutting and grafting process.

**Key words:** graft; agricultural machinery; experiment; vegetable; grafting machine; hole-insertion grafting; insertion angle

(责任编辑: 刘丽英)