

马铃薯组培苗自动取苗机构设计与试验^{*}

杨 丽 来杭生 张东兴 和贤桃 崔 涛 王粮局
(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 根据马铃薯组培苗的特点及其培养环境,设计了一套将整瓶马铃薯组培苗一次性无损伤全部取出的取苗机构。该取苗机构包括母瓶机械手和取苗手爪,取苗手爪伸入培养基从根部夹持住组培苗并保持静止不动,母瓶机械手夹住母瓶后退,实现培养瓶和培养苗的相对运动,最终使组培苗的大部分茎秆伸出瓶外,而培养基卡在瓶口处,便于后续苗株的顺利剪切。分析并确定了取苗机构的关键参数。为了明确2对取苗爪片间距离 k 、每个培养瓶中组培苗数量 n 、母瓶机械手速度 v 、培养瓶摆动频率 f 等因素对取苗效果的影响,以取苗后培养基的倾斜程度为测试指标进行了正交试验。试验结果表明:2对爪片间距离 k 是影响取苗后培养基倾斜度的主要因素,而每个培养瓶中组培苗数量 n 、母瓶机械手速度 v 和培养瓶摆动频率 f 没有显著性影响;当2对爪片间距离为26 mm,每瓶苗数为45~55株,母瓶速度为25 mm/s,摆动频率为2 Hz时,取苗后培养基倾斜度最小,取苗效果最好。

关键词: 马铃薯组培苗 母瓶机械手 取苗手爪 正交试验

中图分类号: S223.93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)10-0024-07

Design and Experiment of Picking Seedling Machinery for Potato Tissue Culture Seedlings

Yang Li Lai Hangsheng Zhang Dongxing He Xiantao Cui Tao Wang Liangju
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: According to the characteristics of potato tissue culture seedlings and their culture environments, a picking seedling machinery which can pick seedlings out of bottle without damage in one time was designed. It included a manipulator of mother bottle and a seedling grasper. The seedling grasper was used for holding the root of potato seedlings stationarily, meanwhile the manipulator moved backward with the mother bottle. The potato seedlings and the bottle moved relatively and then most part of the seedlings' stems were out of the bottle, which provided good basis for the next operation in the automated micropropagation. The key parameters of picking seedling machinery were analyzed. In order to find the effect of the distance between the two pairs of claws, the number of each bottle, speed of manipulator and the swing frequency of mother bottle on the result of picking seedlings, orthogonal experiments were done. The index was inclination of culture medium after picking seedlings. The result showed that the distance between the two pairs of claws exerted the greatest effect on the inclination of culture medium, and other factors such as the number of each bottle, speed of manipulator and the swing frequency of mother bottle had no significant effects. As the distance between the two pairs of claws was 26 mm, the number of potato seedlings in each bottle was 45 ~ 55, the speed of manipulator was 25 mm/s, and swing frequency of mother bottle was 2 Hz, the minimum inclination of culture medium can be obtained by using the designed seedling mechanism for potato tissue culture seedlings.

Key words: Potato tissue culture seedling Manipulator of mother bottle Seedling grasper Orthogonal experiment

引言

我国马铃薯的单产水平极低,远低于欧美等发达国家。其中一个重要的原因是马铃薯在种植过程中极易感染病毒,并且在繁殖过程中逐渐积累,导致马铃薯薯种的退化。通过茎尖分生组织培养获得脱毒植株,经后期的良繁体系可成为脱毒种薯,经实践证明脱毒种薯的使用可以使马铃薯的产量增加 30% ~ 50%^[1]。但是脱毒种薯的应用在我国不到 30%,远低于发达国家的 90%^[2],其主要原因是脱毒种薯较高的价格无法让薯农承受,马铃薯脱毒苗组培过程需要大量劳动力是制约脱毒种薯价格下降的一个重要因素^[3],因此急需实现马铃薯组培苗移植过程的机械化作业。

马铃薯脱毒苗移植过程中,取苗结果能直接影响后续切苗等作业,对于取苗机构国内外多数采用机械手加机器视觉系统^[4-7]。台湾国立中兴大学研发了一套条状苗的自动化系统,利用取苗夹爪将苗卡住,分株机构将苗切断^[8]。研究的作业对象多数为单株苗,由机器视觉对取苗点进行识别,由机械手完成取苗作业^[8-12],这样的取苗机构一次只能完成一株苗的移植,效率较低。目前,自动化取苗机构的研发主要针对蔬菜钵苗移栽作业,其末端执行器的设计原理主要有钳夹式和顶穴式等^[13-18],针对组培苗的取苗机构研究较少。

本文提出一种基于整瓶移植的马铃薯组培苗取苗机构,该机构可以一次性将整瓶马铃薯组培苗取出培养瓶外,而固体培养基卡在培养瓶口处,保证随后切苗动作的顺利进行。

1 马铃薯组培环境

工厂化生产中,马铃薯组培苗生长在透光性好的玻璃瓶中,提供其生长的营养物质主要为 MS 固体培养基(提供植物生长的养料,包括植物所需的无机养分、琼脂和蔗糖)。所用的培养瓶形状如图 1 所示,其具体参数如表 1 所示。

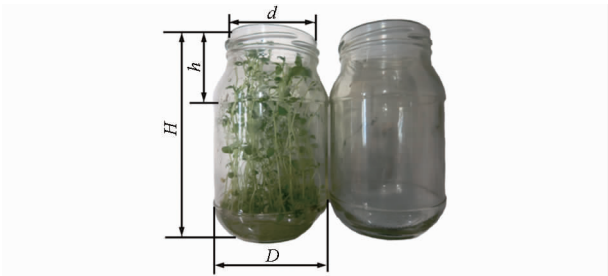


图 1 马铃薯组培苗培养瓶

Fig. 1 Bottle of potato tissue culture seedlings

表 1 培养瓶参数	
Tab. 1 Bottle parameters	
参数	数值
瓶口内径 d	50
瓶体直径 D	73
瓶口椎体高度 h	42
瓶高 H	104

对 25 瓶希森三和马铃薯有限公司提供的“大西洋”马铃薯组培苗进行测量统计,得出马铃薯组培苗的一些基本参数如表 2 所示。

表 2 马铃薯组培苗参数	
Tab. 2 Parameters of potato tissue culture seedlings	
参数	数值
组培苗根部直径 d'/mm	0.9 ~ 1.5
生长高度/mm	95 ~ 104
密度/(株·瓶 ⁻¹)	30 ~ 55

2 取苗机构及其工作过程

取苗机构包括取苗手爪和母瓶机械手两部分,其整体结构实物及示意图如图 2 所示。

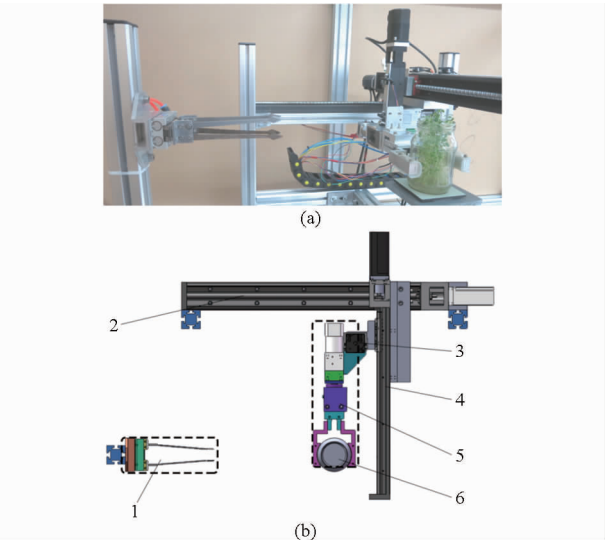


图 2 取苗机构实物及三维示意图

Fig. 2 Sketch map and photograph of picking seedling machinery

1. 取苗手爪 2. X 轴线性模组 3. Z 轴线性模组 4. Y 轴线性模组 5. 母瓶手爪 6. 培养瓶

整个取苗机构中包含 2 个气动元件和 4 个电动机,其中 X、Y、Z 3 轴为伺服交流电动机,母瓶机械手手腕为减速步进电动机。该机构的具体作业过程可描述如下:

取苗开始时,母瓶机械手手爪合拢夹紧母瓶。在 Z 轴电动机的驱动下,母瓶机械手上升,当高度与取苗手爪一致时停止转动;X 轴电动机正转,使母瓶靠近取苗手爪,与此同时母瓶机械手手腕电动机

正转 90°,母瓶横置使瓶口对准取苗爪片;当母瓶瓶口接近取苗爪片时,母瓶机械手腕电动机来回转动,使母瓶瓶口上下微幅摆动,此时 X 轴电动机继续正转,使取苗爪片进入母瓶至组培苗根部,此时母瓶机械手腕电动机停止摆动;取苗爪片合拢夹住组培苗根部;组培苗和固体培养基在取苗爪片的夹持作用下静止不动,X 轴电动机反转,使母瓶机械手夹持母瓶沿 X 轴后退,培养瓶和组培苗相对运动,于是培养基脱离瓶底,组培苗被取出瓶外,当培养基接近瓶口时,电动机停止转动;取苗爪片松开组培苗;X 轴电动机继续反转,当组培苗离开取苗爪片后,电动机停止转动,取苗作业结束。

3 关键机构参数设计

3.1 取苗手爪

取苗手爪具体结构如图 3 所示,由两对平行设

置的取苗爪片组成,取苗爪片的闭合和松开由滑轨型平行机械夹驱动^[18]。

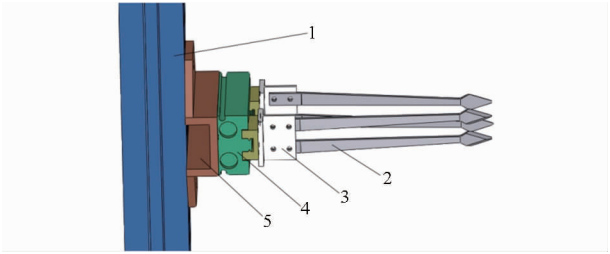


图 3 取苗手爪示意图

Fig. 3 Sketch map of seedling grasper

1. 支撑杆 2. 取苗爪片 3. 取苗爪片连接件 4. 滑轨型平行机械夹 5. 机械夹连接件

取苗手爪在作业时松开和夹紧的状态如图 4 所示,当取苗手爪松开时,两取苗夹持面之间的距离为 w_3 ,当手爪夹紧时,两取苗夹持面之间留有一定间隙 s 。

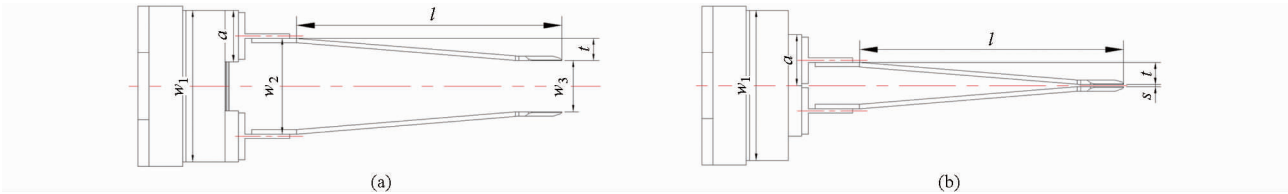


图 4 取苗手爪松开和夹紧示意图

Fig. 4 Sketch map of loosened and clamped seedling grasper

由于组培苗的根部生长活性较低,一般不作为培养下一代的母本,故可以接受轻微的夹痕,取 $s = 0.6d'$,取苗爪片由钣金加工而成,具有一定的韧性,在夹紧组培苗时,有一部分夹持力作用在爪片上使其发生一定形变,所以取 $s = 0.5 \text{ mm}$ 。

取苗手爪作业时,取苗爪片需进入培养瓶内,其末端到达组培苗根部,非常接近培养基的位置,所以取苗爪片长度 l 大于培养瓶高度 104 mm ,但若 l 过长,在取苗时可能会降低其夹持力,故取 $l = 110 \text{ mm}$ 。

选择滑轨型平行机械夹作为取苗夹持的动力,主要根据工作行程来选择其型号。根据两滑轨中心距及培养瓶内径 $d = 50 \text{ mm}$,确定机械夹规格为 HDF12 $\times$ 24st,其工作行程为 $R = 24 \text{ mm}$ 。

取苗手爪在松开时,如图 4a 所示,可以得出

$$\begin{cases} w_1 = w_2 + a \\ w_2 = w_3 + 2t \\ w_3 = R + s \end{cases} \quad (1)$$

式中 w_1 、 a ——机械夹固有尺寸,分别为 $w_1 = 52 \text{ mm}$, $a = 8.5 \text{ mm}$

w_2 ——取苗爪片连接件之间的距离

w_3 ——取苗手爪松开时爪片末端内侧的距离

t ——取苗爪片折弯距离

R ——机械夹的工作行程,取 $R = 24 \text{ mm}$

s ——取苗手爪闭合时爪片末端内侧的间距,取 $s = 0.5 \text{ mm}$

将各个参数值代入式(1)中得 $t = 9.5 \text{ mm}$, $w_3 = 24.5 \text{ mm}$ 。

取苗爪片末端具体形状如图 5 所示,其主要参数为宽度 b 和尖锐角度 α ,宽度 b 主要影响取苗过程中,取苗爪片合拢后能抓取组培苗的数量。

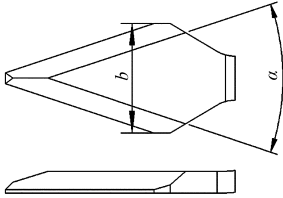


图 5 取苗爪片末端形状

Fig. 5 Shape of claw's end

拉拔力主要来自于培养基与培养瓶之间的粘附作用,通常取决于培养基的含水率、苗的根系情况等^[19-20]。在取苗时,2 对取苗爪片至少要各自夹持住 2 株组培苗,才能保证取苗时培养基受力均匀,且具有足够的力使培养基能顺利与瓶底脱离,平稳地被取至瓶口处。通常一瓶组培苗内生长 30 ~ 55 株苗左右,取 30 株苗为例,其在培养瓶内的生长分布如图 6 所示。

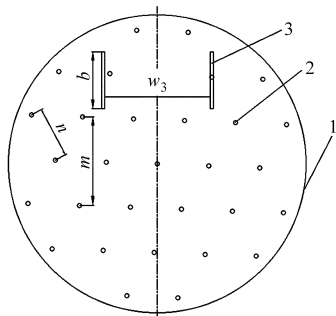


图 6 组培苗在培养瓶内生长分布

Fig. 6 Growth distribution of seedlings in bottle

1. 培养瓶边界 2. 组培苗 3. 取苗爪片末端

2 株相邻组培苗之间最小距离 $n = 10\text{ mm}$, 最大距离 $m = 21\text{ mm}$, 均小于机械夹松开时爪片末端内间距 $w_3 = 24.5\text{ mm}$, 由图 6 可知只要爪片末端宽度 $b \geq 10\text{ mm}$, 即可保证取苗爪片伸入培养瓶后, 爪片末端夹持面之间的组培苗等于或多于 2 株。考虑到组培苗在培养瓶中生长分布不完全均匀, 取 $b = 12\text{ mm}$ 。

爪尖张开角度 α 在参数 b 确定的条件下, 影响取苗爪片尖端的长度及其尖锐程度, α 过小会导致取苗爪片尖端过长且较为尖锐, 其进入培养瓶较为容易, 但夹持住苗的部分较长, 对苗的损害较大; α 过大则取苗爪片在进入培养瓶时容易被组培苗缠绕而将组培苗压弯导致取苗失败。根据整体尺寸结构确定 $\alpha = 30^\circ$ 。

机械手爪夹持住母瓶上下摆动, 与此同时向取苗爪片方向移动。假设取苗爪片进入母瓶时, 摆动角度到达极限, 即母瓶摆动到达上下极限时, 瓶口内侧一点与取苗爪片接触, 其示意图如图 7 所示, 其平衡位置的轴线在水平方向上。机械手夹持的位置位于母瓶的重心位置, 记为点 O , 记母瓶在下极限位置的接触点为 A , 绕 O 点顺时针摆动, 经平衡位置的 A' 到达上极限位置 A'' , 培养瓶摆动角度为 2θ 。以 O 为原点建立直角坐标系如图所示, 做垂线 $A'B$ 垂直与 x 轴于点 B 。在直角三角形 $OA'B$ 中, 有

$$\begin{cases} L_{OB}^2 + L_{A'B}^2 = L_{A'O}^2 \\ \tan \angle A'OB = \frac{L_{A'B}}{L_{OB}} \end{cases} \quad (2)$$

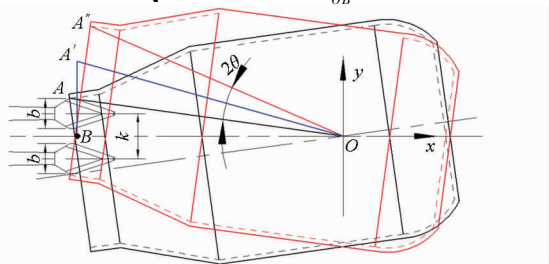


图 7 取苗爪片进入培养瓶示意图

Fig. 7 Sketch map of claws entering bottle

式中 L_{OB} ——母瓶重心到瓶口的距离, 取 80 mm

$L_{A'B}$ ——母瓶瓶口内半径, 为 25 mm

在如图 7 所示的直角坐标系中, A' 为点 A 在摆动时的平衡位置, 所以 $L_{OA'}$ 为 $\angle AOA''$ 的角平分线, 可得

$$\begin{cases} \angle AOA' = \frac{1}{2} \angle AOA'' \\ y_{A'} = L_{A'B} \\ y_A = L_{OA} \sin \angle AOB \\ \angle AOB = \angle A'OB - \angle A'OA \end{cases} \quad (3)$$

其中

$$L_{OA} = L_{OA'} = L_{OA''}$$

式中 $\angle AOA''$ ——点 A 绕 O 点旋转到点 A'' 的旋转角度, 为 2θ

$y_{A'}$ ——点 A' 的 y 轴坐标

y_A ——点 A 的 y 轴坐标

L_{OA} ——点 O 与点 A 之间的距离

由图 7 可以看出

$$L_{AB} = \frac{k}{2} + \frac{b}{2} + y_A - y_{A'} \quad (4)$$

式中 k ——2 对取苗爪片之间的距离

b ——取苗爪片末端的宽度, 为 12 mm

由式(2)~(4)可以得出 k 与 θ 之间的数量关系为

$$\frac{k}{2} + 7 = 83.5 \sin(17.35^\circ - \theta) \quad (5)$$

式(5)仅在培养瓶摆动到极限位置时成立。从图 7 可看出 k 的取值范围 $b \leq k \leq D - b$, 即 $12\text{ mm} \leq k \leq 38\text{ mm}$, 根据式(5)得出 $0 \leq \theta \leq 8.4^\circ$ 。2 对取苗爪片之间的距离 k 增大, 则组培苗越不容易被爪片压弯, 爪片进入培养瓶越顺利; 摆动角度 θ 越大, 则培养瓶振幅越大, 取苗爪片拨开组培苗顶部越充分, 进入培养瓶越顺利, 故需要选择一个合适的 k 和 θ 值。经初步试验发现, 当 $k \geq 20\text{ mm}$ 时, 培养苗基本不会因 2 对爪片距离太近而被压弯, 当 $k = 20\text{ mm}$, 根据式(5)得出 $\theta = 5.6^\circ$, 考虑到后续取苗试验中以 k 为因素, 需要有一定的变化范围, 故取 $\theta = 3.5^\circ$ 。

3.2 母瓶机械手设计

母瓶机械手为直角坐标机械臂上的末端执行器。直角坐标机械臂的 X 、 Y 、 Z 3 轴选用市场上的线性模组, 该线性模组将滚珠丝杠和线性滑轨整合在一起, 能够满足取苗所需的精度和行程要求, 其具体参数如表 3 所示。

母瓶机械手中的具体机构如图 8 所示。采用电动机直连的方式将减速步进电动机的动力经联轴器输送给机械夹, 实现机械夹的旋转, 从而实现培养瓶横置及摆动。

表 3 各轴线性模组参数
Tab.3 Parameters of linear modules

轴	行程 /mm	精度 /mm	最大速度 /(mm·s ⁻¹)	导程 /mm	启动扭矩 /(N·m)
X	410	±0.01	790	10	7
Y	310	±0.01	790	10	7
Z	220	±0.01	270	2	2

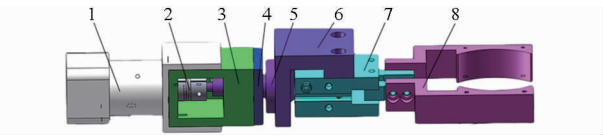


图 8 母瓶机械手示意图

Fig.8 Sketch map of manipulator of mother bottle
1. 减速步进电动机 2. 联轴器 3. 旋转法兰 4. 法兰端盖
5. 旋转连接件 6. 机械夹连接件 7. HDS-20 型机械夹 8. 机械手爪片

为使机械手爪片紧密贴合培养瓶,所设计机械手爪片内侧为圆弧形,圆弧直径为培养瓶的外径 73 mm。为使机械手爪片在夹紧培养瓶时减少与培养瓶的冲击,同时增加爪片与培养瓶的摩擦力,在爪片的内侧包裹硅胶。

由于气动元件便于控制,且结构简单紧凑^[21],故机械夹采用的是具有一定开闭角度的两指夹持式气动机械夹,通过培养瓶所需的夹持力与机械夹所能提供的夹持力对比来选取适合的机械夹。培养瓶所需夹持力

$$F_1 = mg/f \tag{6}$$

式中 m ——培养瓶的质量,取 250 g
 g ——重力加速度,取 9.8 m/s²
 f ——硅胶与培养瓶之间的摩擦因数

如图 9 所示,机械夹提供的夹持力与夹持力臂 L 有关,而夹持力臂 L 与所设计的机械手爪片形状有关,故初步选取 HDS-20 型机械夹,其缸径为 20 mm,按前述设计机械手爪片确定夹持力臂 $L = 80$ mm。

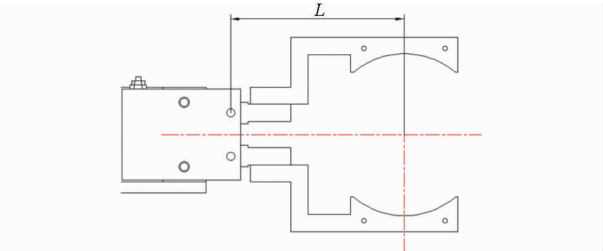


图 9 母瓶机械手二维示意图

Fig.9 Sketch map of claws of mother bottle' manipulator

空压机的输出气压为 0.6 ~ 0.8 MPa,故取空压机输出气压为 0.6 MPa。查表可知,当夹持力臂为 80 mm 时,该机械夹提供的夹持力 $F_2 \geq 10$ N。硅胶

与其他材料的摩擦因数在 0.3 ~ 0.8 之间^[22],取最小值 0.3,由式(6)知 $F_1 = 8.17$ N < F_2 ,能提供的力大于所需要的力,所选的机械夹能提供足够的夹持力。

4 试验

4.1 试验方法

采用 $L_9(3^4)$ 正交表安排试验,4 个因素 A 、 B 、 C 、 D 分别为 2 对取苗爪片之间的距离 k 、每瓶培养瓶中组培苗的数量、取苗过程中母瓶机械手的速度和取苗过程中培养瓶摆动频率。试验因素水平编码如表 4 所示。

表 4 试验因素水平
Tab.4 Coding of testing factors and levels

水平	因素			
	A/mm	$B/\text{株}$	$C/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	D/Hz
1	20	25 ~ 35	25	1
2	23	35 ~ 45	35	2
3	26	45 ~ 55	45	3

本试验在实验室环境下进行,采用希森三和马铃薯有限公司提供适宜快繁作业的“大西洋”马铃薯脱毒苗。将马铃薯脱毒苗按每瓶数量分为 3 组,每组 9 瓶,正交试验中,每组取苗 3 瓶,取其平均值作为结果数据。

4.2 试验指标

目前没有对马铃薯苗取苗成功与否的具体依据,本文取苗成功与否主要考虑取苗作业完成后是否有利于后续的切苗等操作。

取苗作业完成后,组培苗及培养基在培养瓶中的状态大致如图 10 所示,苗的大部分已经处于培养瓶外,培养基产生一定倾斜。以培养瓶瓶口为基准,以培养瓶底部为正方向建立 y 轴。培养基底部最上方的点记为 A ,与瓶口距离为 d_2 ;培养基底部最下方的点记为 B ,与瓶口距离为 d_1 。

$d_2 - d_1$ 代表培养基的倾斜程度,由于组培苗为直立生长, $d_2 - d_1$ 越小,培养基越不倾斜,则苗束与培养瓶轴线 y 轴夹角越小,有利于将苗平行切断,苗段长度较一致,因此取苗效果也就越好,故将 $d_2 - d_1$ 作为试验指标。

4.3 结果与分析

对 27 瓶马铃薯组培苗进行试验,其结果如表 5 及图 11 所示。

根据各因素的 k 值确定最优组合为 $A_3B_3C_1D_2$,即当 2 对取苗爪片距离 k 为 26 mm,每瓶苗为 45 ~ 55 株,母瓶的速度为 25 mm/s,摆动频率为 2 Hz

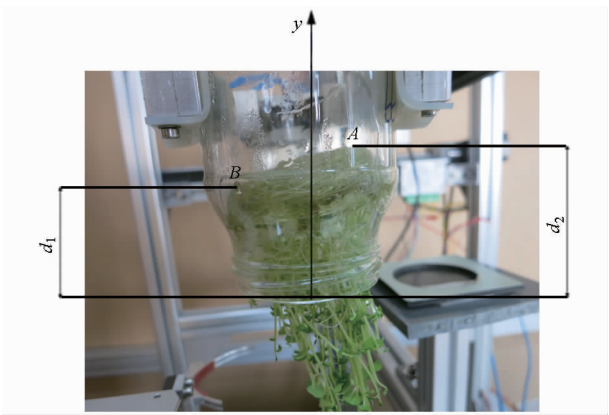


图 10 取苗效果

Fig. 10 Result of picking seedlings out of bottle

时,取苗后,培养基的倾斜程度最小,取苗效果最好。根据 R 值确定因素的主次为 A 、 B 、 C 、 D 。

因素 D 的偏差平方和最小,所以以 D 的偏差平方和做为误差平方和,进行方差分析,其结果如表 6 所示。结果表明 2 对取苗爪片之间的距离 k 对取苗后培养基的倾斜度有显著性影响,每瓶苗的数量和母瓶机械手的取苗速度对取苗结果没有统计学显著

性影响。

表 5 试验方案与结果
Tab. 5 Experimental program and range analysis of results

列号	因素				指标
	A	B	C	D	$d_2 - d_1 / \text{mm}$
1	1	1	1	1	51.0
2	1	2	2	2	43.3
3	1	3	3	3	42.0
4	2	1	2	3	34.0
5	2	2	3	1	41.3
6	2	3	1	2	15.0
7	3	1	3	2	28.7
8	3	2	1	3	20.3
9	3	3	2	1	12.7
k_1	45.40	37.90	28.77	35.00	
k_2	30.10	34.97	30.00	29.00	
k_3	20.57	23.23	37.33	32.10	
R	24.87	14.67	8.57	6.00	
最优组	A_3	B_3	C_1	D_2	

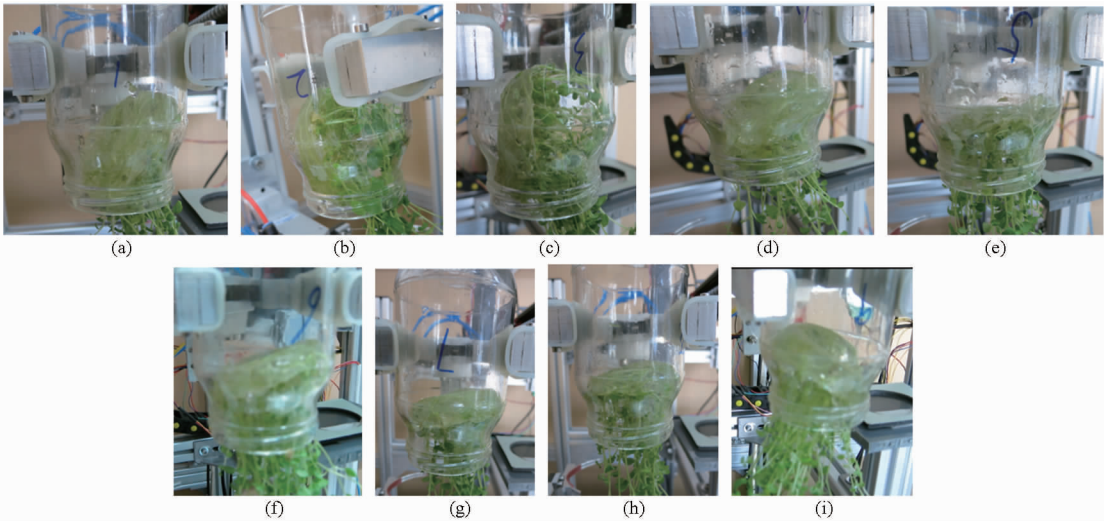


图 11 正交试验取苗结果

Fig. 10 Photographs of orthogonal experiments' result for picking seedlings

表 6 方差分析结果

Tab. 6 Results of variance analysis

方差来源	平方和	自由度	F	$F_{0.1}$	显著性
A	944.3	2	17.48	9.00	*
B	361.4	2	6.69	9.00	
C	128.7	2	2.38	9.00	
误差	54.0	2			
总和	1488.4	8			

2 对取苗爪片之间距离能显著影响取苗效果,可能原因是 k 越大,则被夹取的组培苗越分散,培养基在取苗过程中受力越均匀,不易倾斜。从正交试验直观分析中看出,每瓶苗的数量越多,取苗效果相

应会有一定改善,原因可能是组培苗吸收培养基中的养分和水生长,组培苗越多则培养基中的养分和水越少,培养基与培养瓶之间的粘接力越小,培养基越容易与培养瓶脱离。因素 C 和 D 主要是影响取苗爪片能否不压弯苗而顺利进入培养瓶,在本试验中,由于大多数组培苗的生长高度低于瓶盖,没有形成在瓶口处相互缠绕的现象,所有试验中,取苗爪片均能顺利进入培养瓶中而没有将组培苗压弯。

根据最优组合条件 $A_3B_3C_1D_2$,进行验证试验,取苗 3 组,其结果如图 12 所示 $d_2 - d_1$ 的平均值为 9.67 mm,均小于正交试验中各组结果数据。

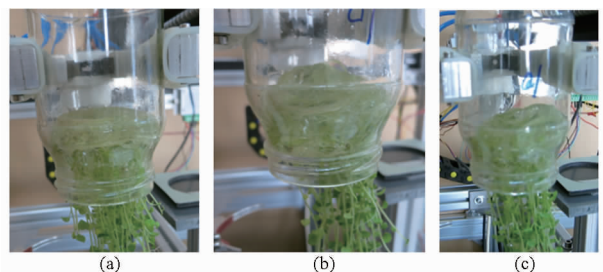


图12 验证试验结果

Fig. 12 Photograph of verification test experiments' result

5 结论

(1) 设计的取苗机构能够将整瓶马铃薯组培苗一次性无损伤全部取出。当2对爪片间距离为26 mm,每瓶苗数为45~55株,母瓶速度为25 mm/s,摆动频率为2 Hz时,取苗后培养基倾斜度最小,取苗

效果最好。

(2) 2对爪片间距离 k 是影响取苗后培养基倾斜度的主要因素。2对爪片间距离越大,在取苗过程中培养基受力越均匀,越不易产生倾斜,因此在保证取苗爪片能顺利伸入培养瓶的前提下,尽量取较大的 k 值。

(3) 每个培养瓶中的苗株数量越多,培养基与培养瓶之间的粘接力越小,培养基越容易与培养瓶脱离,取苗效果越好。

(4) 在取苗爪片伸入培养瓶的过程中,母瓶机械手采用边前进边摆动的方式,能够保证取苗爪片在不损伤苗株的情况下顺利进入培养瓶。但若苗株太长,在瓶口处相互缠绕,则不能实现无损顺利取苗。因此,为了保证良好的取苗效果,应将培养25~30 d内的组培苗尽快移植,不宜使苗株过量生长。

参 考 文 献

- 李东方,张爱萍,陈英. 马铃薯脱毒快繁及工厂化生产技术[J]. 黑龙江农业科学, 2013(7): 27-30.
Li Dongfang, Zhang Aiping, Chen Ying. Technique of virus-free rapid propagation and factory of potato[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2013(7): 27-30. (in Chinese)
- 李春华,王菊英,和忠,等. 马铃薯组培苗低成本高效生产技术试验[J]. 中国马铃薯, 2008, 22(3): 164-167.
- 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.
- Heinemann P, Walker P. Machine vision and robotics for the separation and regeneration of plant tissue cultures[M]//Gupta S D, Yasuomi Lbaraki. Plant Tissue Culture Engineering. New York: Springer-Verlag, 2006:253-272.
- Miwa Y, Kushihashi Y, Kozai T. Mechanical engineering approaches to plant biotechnology[M]//Aitken-Christie J, Kozai T, Smith M A L. Automation and Environmental Control in Plant Tissue Culture. New York: Springer, 2010:125-143.
- Otte C, Schwanke J, Jensch P F. Automatic micropropagation of plants[C]//Photonics East'96. International Society for Optics and Photonics, 1996:80-87.
- Holdgate D P, Zandvoort E A. Automated micropropagation and the application of a laser beam for cutting[C]//Transplant Production Systems: Proceedings of the International Symposium on Transplant Production Systems, 1992:297-311.
- 张立伟. 条状组织培养苗分株扦插系统之研究[D]. 台中:国立中兴大学, 2000.
- Kurata K. Transplant production robots in Japan[C]//Transplant Production Systems, 1992:313-329.
- Brown F R. Robotics and image analysis applied to micropropagation[C]//Transplant Production Systems, 1992:283-296.
- 杨丽. 组培苗分割移植机器人系统的研究[D]. 北京:中国农业大学, 2005.
- 杨丽,张铁中,张凯良. 组培苗移植机器人移苗作业规划[J]. 农业机械学报, 2008, 39(9): 112-117.
Yang Li, Zhang Tiezhong, Zhang Kailiang. Trajectory planning of tissue culture plantlet transplanting robot in transporting seedling[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9): 112-117. (in Chinese)
- 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.
Yu Gaohong, Liu Binghua, Zhao Yun, et al. Kinematic principle analysis of transplanting mechanism with planetary elliptic gears in automatic vegetable transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 53-57. (in Chinese)
- Shaw L N. Removing and handling modular vegetable seedling from nursery trays[C]//Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 1999, 112: 153-155.
- 崔巍,方宪法,赵亮,等. 齿轮-五杆取苗装置机构优化与试验验证[J]. 农业机械学报, 2013, 44(8): 74-77.
Cui Wei, Fang Xianfa, Zhao Liang, et al. Structural optimization and experimental verification of geared five-bar linkage seedling pick up device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 74-77. (in Chinese)
- 陈科,杨学军,颜华,等. 基于Matlab的全自动移栽机取苗机构设计与参数优化[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊1): 24-26, 32.
Chen Ke, Yang Xuejun, Yan Hua, et al. Design and parameter optimization of seedling pick-up mechanism based on Matlab[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 24-26, 32. (in Chinese)

- 9 苗峻齐,罗锡文,张智刚,等.无人驾驶水稻精量穴直播机的自动控制系统设计[C]//中国农业工程学会 2011 年学术年会, 2011.
- 10 胡炼,罗锡文,张智刚,等.基于 CAN 总线的分布式插秧机导航控制系统设计[J].农业工程学报,2009,25(12):88-92.
Hu Lian, Luo Xiwen, Zhang Zhigang, et al. Design of distributed navigation control system for rice transplanters based on controller area network[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 88-92. (in Chinese)
- 11 罗锡文,张智刚,赵祚喜,等.东方红 X-804 拖拉机的 DGPS 自动导航控制系统[J].农业工程学报,2009,25(11):139-146.
Luo Xiwen, Zhang Zhigang, Zhao Zuoxi, et al. Design of DGPS navigation control system for Dongfanghong X-804 tractor[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 139-146. (in Chinese)
- 12 吴晓鹏,赵祚喜,张智刚,等.东方红拖拉机自动转向控制系统设计[J].农业机械学报,2009,40(增刊):1-5.
Wu Xiaopeng, Zhao Zuoxi, Zhang Zhigang, et al. Development of automatic steering control system based on Dongfanghong tractor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(Supp.): 1-5. (in Chinese)
- 13 张智刚,罗锡文,赵祚喜,等.基于 Kalman 滤波和纯追踪模型的农业机械导航控制[J].农业机械学报,2009,40(增刊):6-12.
Zhang Zhigang, Luo Xiwen, Zhao Zuoxi, et al. Trajectory tracking control method based on Kalman filter and pure pursuit model for agricultural vehicle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(Supp.): 6-12. (in Chinese)
- 14 新华龙电子有限公司. C8051F04x 系列混合信号 ISP FLASH 微控制器数据手册[M]. 新华龙电子有限公司, 2004.
- 15 力姆泰克(北京)传动设备有限公司. 力姆泰克产品目录[M]. 力姆泰克(北京)传动设备有限公司, 2012.
- 16 朱盈,朱俊. 多种 PID 控制及其仿真比较[J]. 工业控制计算机, 2010, 23(1): 53-54.
Zhu Ying, Zhu Jun. Several kinds of PID control and simulation comparison[J]. Industrial Control Computer, 2010, 23(1): 53-54. (in Chinese)
- 17 孙跃光,林怀蔚,周华茂,等. 基于临界比例度法整定 PID 控制器参数的仿真研究[J]. 现代电子技术, 2012, 35(8): 192-194.
Sun Yueguang, Lin Huaiwei, Zhou Huamao, et al. Simulation study on setting of PID controller parameters according to critical proportioning method [J]. Modern Electronics Technique, 2012, 35(8): 192-194. (in Chinese)
- 18 曾贵娥,邱丽,朱学峰. PID 控制器参数整定方法的仿真与试验研究[J]. 石油化工自动化, 2005, 20(4): 20-23.
Zeng Guie, Qiu Li, Zhu Xuefeng. The simulation and experiment on the parameter-tuning methods of PID controllers [J]. Automation in Petro-Chemical Industry, 2005, 20(4): 20-23. (in Chinese)
-

(上接第 30 页)

- 17 叶秉良,李丽,俞高红,等.蔬菜钵苗旋转式取苗机构动力学分析与试验[J].农业机械学报,2014,45(6):70-78.
Ye Bingliang, Li Li, Yu Gaohong, et al. Dynamics analysis and test of rotary pick-up mechanism for vegetable pot-seedling[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(6): 70-78. (in Chinese)
- 18 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.
Han Changjie, Yang Wanzhang, Zhang Xuejun, et al. Design and test of automatic feed system for tray seedlings transplanter [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(8): 51-61. (in Chinese)
- 19 段运红. 基于整瓶移植的马铃薯快繁机器人关键机构研究[D]. 北京:中国农业大学, 2012.
- 20 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.
Han Lühua, Mao Hanping, Miao Xiaohua, et al. Design of automatic picking up seedling end-effector based on mechanical properties of plug seedlings[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(11): 260-265. (in Chinese)
- 21 韩绿化,毛罕平,胡建平,等.穴盘苗自动移栽钵体力学特性试验[J].农业工程学报,2013,29(2):24-28.
Han Lühua, Mao Hanping, Hu Jianping, et al. Experiment on mechanical property of seedling pot for automatic transplanter [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(2): 24-28. (in Chinese)
- 22 刘伟,刘继展.穴盘苗移栽机器人末端执行器综述[J].农机化研究,2013(7):6-10.
Liu Wei, Liu Jizhan. Review of end-effectors in tray seedlings transplanting robot[J]. Agricultural Mechanization Research, 2013(7): 6-10. (in Chinese)
- 25 成大先. 机械设计手册[M]. 北京:化学工业出版社, 2008.