

整瓶马铃薯组培苗剪切机构设计与试验*

屈哲 来杭生 崔涛 张东兴 杨丽 段运红

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 针对在马铃薯组培苗繁育过程中存在的人工作业效率低和污染严重等问题,设计了一种基于整瓶移植的马铃薯组培苗剪切机构,用于将取苗机构取出的整瓶马铃薯组培苗聚拢、剪切并导入分散于子培养瓶中,进入下一代快繁培养,实现马铃薯组培苗拢苗、切苗过程的低污染、高效率和高质量的机械化作业。通过分析计算确定了拢苗爪片、切刀和集苗漏斗的关键结构参数。分别以拢苗角速度和切苗角速度为试验因素进行了拢苗效果和切苗效果的单因素试验,确定了最佳的拢苗角速度为 3.16 rad/s,切苗角速度为 10.26 rad/s。在该工作参数下,对设计的组培苗剪切机构进行了验证试验,试验结果表明:拢苗合格率 99.13%、拢苗损伤率 0.79%、切苗成功率 100%、切苗损失率 1.37%、集苗成功率 97.53%,完成一瓶马铃薯组培苗剪切所需的时间为 48.67s,各项试验指标均达到设计要求。

关键词: 马铃薯组培苗 快速繁育 剪切机构

中图分类号: S223.93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)09-0039-08

Design and Experiment of Shear Mechanism for Potato Tissue Culture Seedlings in Whole Bottle

Qu Zhe Lai Hangsheng Cui Tao Zhang Dongxing Yang Li Duan Yunhong

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Aiming at the problems of low efficiency of artificial operation and serious pollution during the propagation of potato tissue culture seedlings, a shear mechanism for potato tissue culture seedlings with the whole bottle transplantation was designed. The proposed mechanism can make the potato tissue culture seedlings in whole bottle which were taken from the picking seedling machinery gather, shear and import dispersion in the sub culture bottle, then get into the next generation of rapid propagation culture, and finally realize the mechanized operation of gathering seedlings and cutting seedlings process with low pollution, high efficiency and high quality. The key structural parameters of claws, cutting knife and collecting seedling funnel were determined through analysis and calculation. Taking gathering seedlings speed and cutting seedlings speed as experimental factors, the single factor experiments for analyzing the effects of gathering seedlings and cutting seedlings were carried out. The optimal gathering seedlings speed and cutting seedlings speed were determined as 3.16 rad/s and 10.26 rad/s, respectively. A verified test of the designed shear mechanism with the above optimal parameters was conducted. The test results showed that the qualified rate of gathering seedlings was 99.13%, the damage rate of gathering seedlings was 0.79%, the success rate of cutting seedlings was 100%, the loss rate of cutting seedlings was 1.37%, and the success rate of collecting seedlings was 97.53%. Time for completing the process of potato tissue culture seedlings in whole bottle was only 48.67 s and all the test indexes met the design requirements. The designed mechanism can provide a reference for the research of potato rapid propagation robot.

Key words: Potato tissue culture seedlings Rapid propagation Shear mechanism

收稿日期: 2015-06-02 修回日期: 2015-07-03

* 国家自然科学基金资助项目(51205399)和农业部土壤-机器-植物系统技术重点实验室资助项目

作者简介: 屈哲, 博士生, 主要从事农业装备及其自动化研究, E-mail: 458365685@qq.com

通讯作者: 杨丽, 副教授, 博士生导师, 主要从事智能农业装备研究, E-mail: yl_hb68@126.com

引言

为避免病毒积累于块茎中造成马铃薯种薯退化,目前常采用茎尖脱毒和组织培养技术繁育脱毒种薯,以提高马铃薯产量。脱毒种薯的生产包括茎尖剥离、组培苗繁育、种薯诱导和大田栽培等环节。在马铃薯组培苗繁育过程中,操作员剪取组培养瓶中组培苗的带叶茎段,插扦于带有培养基的子培养瓶中进行快速繁育,经过数代扩繁,即可使组培苗数量成倍增加,极大地缩短了马铃薯繁育时间并节约了材料成本^[1-6]。

马铃薯组培苗快速繁育过程多为人工操作,存在劳动强度大、作业效率低、作业一致性差、污染率高等问题,因此急需实现马铃薯组培苗快繁过程的机械化。20 世纪 90 年代,以日本为主的发达国家针对马铃薯、菊花等条状组培苗研制了多种快繁机器人。日本早稻田大学研制了菊花快繁机器人可完成切割和移植作业^[7]。日本 Toshiba 公司研制了条状组培苗快繁机器人^[8]。英国相关研究机构在 1990 年初步探讨了一种针对菊花等条状组培苗的自动快繁系统^[9-10]。荷兰 Phytonova 公司利用激光切割组培苗技术并研究开发出了条状组培苗快繁自动化生产线^[11]。澳大利亚 ForBio 公司在 1997 年研制了第一台用于商业的自动化快繁机器人^[12]。国立台湾大学对百合快繁过程的鳞球剥瓣、移植操作环节的机械化进行了研究^[13-14]。国立中兴大学首次研制了用于蝴蝶兰的夹持移植操作系统^[15-18]。中国农业大学初步研制了一种适用于条状组培苗的分割移植机器人^[19-21]。这些研究的共同点是:以单棵组培苗为作业对象,由机器视觉对苗株进行识别,由机械手完成取苗、切苗和插植作业,作业效率低,不能满足实际生产需求。

针对以上问题,本文设计一种以整瓶组培苗为作业对象马铃薯组培苗剪切机构,用于将取苗机构取出的整瓶马铃薯组培苗聚拢、剪切并分散于子培养瓶中,进入下一代快繁培养。

1 作业对象基本参数

在工厂化育苗中,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为固态培养基。试验中采用希森三和马铃薯有限公司提供的“大西洋”马铃薯组培苗。培养瓶、培养基和马铃薯组培苗的形状和尺寸如图 1a 所示,其中培养瓶小口内径 d_1 为 50 mm。

在剪切作业前,取苗机构一次性将整瓶马铃薯组培苗的茎秆拉出培养瓶外,而固态培养基卡在培

养瓶口处,如图 1b 所示。

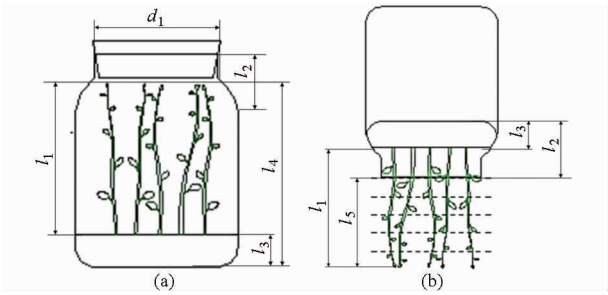


图 1 培养瓶及马铃薯组培苗尺寸参数
Fig. 1 Parameters of culture bottle and potato tissue culture seedlings

由图 1a 可知,组培苗总长度

$$l_1 = l_4 - l_3 \tag{1}$$

由图 1b 可知,组培苗漏出瓶口长度

$$l_5 = l_1 - (l_2 - l_3) \tag{2}$$

式中 l_2 ——固态培养基卡在瓶口处时,培养基底部与瓶口的距离,取 42 mm
 l_3 ——固态培养基的高度,取 20 mm
 l_4 ——固态培养基底部到组培苗顶端的距离,取 124 mm

由式(1)、(2)可以得出:组培苗总长度 $l_1 = 104$ mm;组培苗漏出瓶口长度 $l_5 = 82$ mm。

2 组培苗剪切结构及其工作原理

如图 2 所示,剪切机构主要包括拢苗单元、切苗单元和集苗漏斗。其中拢苗单元主要由拢苗气爪和拢苗爪片组成,其作用是将培养瓶外分散的组培苗聚拢成一束,使组培苗束完全处于切苗单元的剪切范围内;切苗单元主要由切苗气爪和切刀组成,其作用是将聚拢后的组培苗剪切成一定长度的苗段;集苗漏斗主要作用是将剪切后的苗段集中并送入其正下方的子培养瓶中,避免苗段飞溅。该机构的具体作业过程如下:

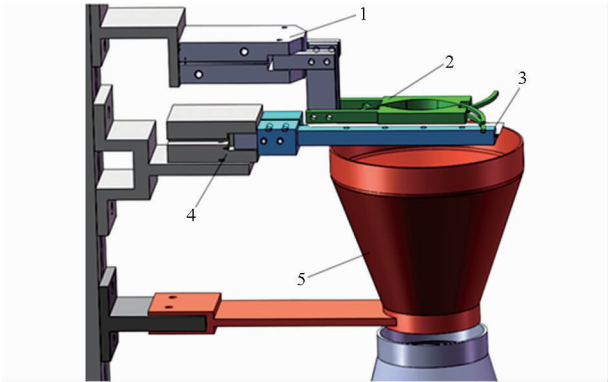


图 2 剪切机构结构图
Fig. 2 Structure drawing of shear mechanism
1. 拢苗气爪 2. 拢苗爪片 3. 切刀 4. 切苗气爪 5. 集苗漏斗

取苗机构完成取苗后,母瓶在母瓶机械手手腕电动机驱动下倒置,并在直角坐标机械臂的驱动下被输送至拢苗单元的正上方,拢苗气爪带动拢苗爪片闭合,将分散的组培苗聚拢成一束,切苗气爪带动切刀闭合将组培苗切断;母瓶机械手夹持母瓶向下运动一段距离,剪切机构进行再次剪切,直至将瓶口外的组培苗剪切完。在剪切过程中,切刀闭合角速度低时不能将组培苗束有效切断,因此需要提高切刀闭合角速度以达到完全切断组培苗的良好效果;但切刀闭合角速度快时易造成被切掉的苗段向四周飞溅,因此在切刀下方设置集苗漏斗,使剪切后的苗段经由漏斗落入下方的子培养瓶中,进入下一代的培养。

3 关键机构参数设计

3.1 拢苗单元

拢苗单元的作用是将培养瓶外分散的马铃薯组培苗聚拢成一束,使聚拢后的组培苗束在切刀的工作范围内,从而实现作业过程中不漏切。拢苗单元的拢苗轨迹和拢苗爪片闭合后形成的拢苗形状是影响拢苗、切苗效果的关键因素。拢苗轨迹决定能否将组培苗完全聚拢,拢苗形状决定聚拢后的苗束是否在切刀的剪切范围内。本文设计的拢苗单元结构如图3所示。

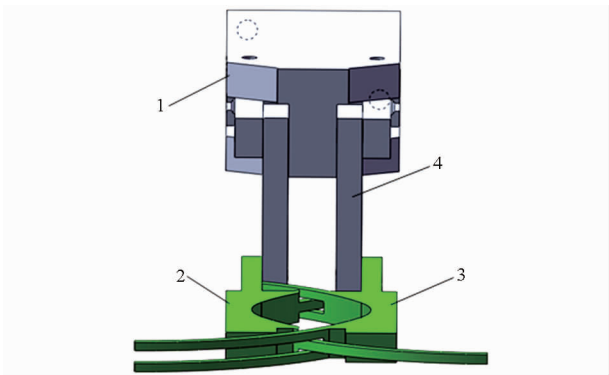


图3 拢苗单元结构图

Fig. 3 Structure drawing of gathering seedlings unit

1. 拢苗气爪 2. 拢苗爪片 a 3. 拢苗爪片 b 4. 爪片连接片

3.1.1 拢苗气爪选型

由于拢苗爪片需要较大的开闭范围才能把分散的组培苗聚拢成一束,因此拢苗气爪的开闭角度要尽可能大,才能满足拢苗时不漏苗的作业要求。平行开闭型气爪行程小而不宜采用;支点开闭型气爪可以通过加长力臂以获得较大的开闭范围,但会使机构尺寸变大;综合考虑拢苗作业要求和整机结构,选择180°开闭型气爪作为拢苗气爪。该气爪在完全张开时两爪间的夹角可以达到180°,完全满足拢苗作业要求。

由于组培苗非常柔嫩,将分散的组培苗聚拢在一起所需的拢苗作用力很小,因此选择最小缸径为16 mm的气爪以满足要求。

3.1.2 拢苗爪片

拢苗爪片的形状可采用圆弧或其他弧状曲线。当采用圆弧时,拢苗爪片闭合后形成的内部空间为圆形,径向尺寸较大,不利于苗株聚拢;当采用椭圆上曲率半径较小的一部分弧形时,爪片闭合后形成的内部空间为窄长条形,苗株聚拢效果较好,有利于后续的苗株剪切作业。因此将拢苗爪片设计成椭圆弧曲线形状。

拢苗爪片由爪片a和爪片b组成,2个爪片除了在厚度上有一定区别外,其他形状、尺寸均相同。当2个爪片张开时,组培苗被送入2个爪片之间的空间中;当2个爪片闭合时,爪片a插入到爪片b的开口中,2个拢苗爪片处于同一个水平面上,将组培苗聚拢。拢苗爪片上下端点A、B在椭圆上的具体位置是决定拢苗效果的关键因素。拢苗爪片的椭圆形状以及A、B点的位置如图4所示。

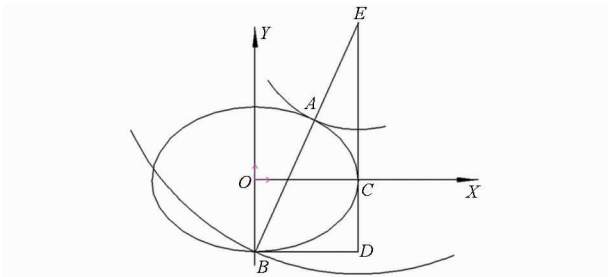


图4 拢苗爪片两端点运动轨迹示意图

Fig. 4 Sketch map of moving track between two end points of claw

以椭圆中心为原点,建立直角坐标系。为了使拢苗爪片与组培苗相接触时,拢苗爪片对组培苗的作用力尽量朝Y轴正方向,故取拢苗爪片下端点B为椭圆上曲率半径最大的点,连接BE(点E为拢苗爪片旋转中心点)交椭圆于点A,线段AB为拢苗爪片的工作范围。设椭圆的长半轴长为a,短半轴长为b,则各点坐标为B(0, -b),C(a, 0),D(a, -b),E(a, L_{CE}),椭圆的数学表达式为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \tag{3}$$

直线BE的方程式为

$$\frac{y+b}{x} = \frac{L_{CE}+b}{a} \tag{4}$$

L_{CE}为拢苗爪片闭合后,其内部中心位置与旋转中心E在Y轴方向上的距离。该距离由拢苗气爪和拢苗爪片的尺寸确定,为一个已知数,设为h,故式(4)可变形为

$$y=kx-b \tag{5}$$

其中
$$k=\frac{h+b}{a}$$

由式(3)、(5)联立可得 A 点和 B 点的坐标分别为

$$\begin{cases} x_A=\frac{2kba^2}{b^2+a^2k^2} \\ y_A=\frac{2bk^2a^2}{b^2+a^2k^2}-b \end{cases} \tag{6}$$

$$\begin{cases} x_B=0 \\ y_B=-b \end{cases} \tag{7}$$

则线段 AB 的长度

$$L_{AB}=\sqrt{(x_A-x_B)^2+(y_A-y_B)^2} \tag{8}$$

将式(6)、(7)代入式(8)得

$$L_{AB}=\frac{2b(h+b)\sqrt{a^2+(b+h)^2}}{b^2+(b+h)^2} \tag{9}$$

需要满足 $L_{AB}>d_0$ (d_0 为拢苗前组培苗的最大直径), 根据前期试验测试, 其 d_0 大小一般为 60 ~ 65 mm。考虑到拢苗爪片的尺寸不能过大, 设计 $h=70$ mm; 综合考虑拢苗后爪片内部空间与集苗漏斗、子瓶瓶口相匹配的问题, 选择长半轴 $a=50$ mm、短半轴 $b=35$ mm 椭圆的一部分弧 ACB 作为拢苗爪片的形状, 实物如图 5 所示。将 a 、 b 的值代入式(9)中, 得 $L_{AB}=69.8$ mm, 满足条件 $L_{AB}>d_0$ 。

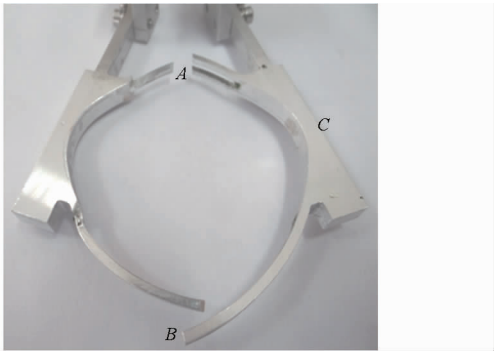


图5 拢苗爪片实物图
Fig.5 Photo of claw

3.2 切苗单元

切苗单元包括切苗气爪、刀槽、刀片和支撑手指, 结构如图 6 所示。其主要作用是对聚拢后的组培苗进行剪切。

3.2.1 切苗气爪选型

切苗气爪主要作用是驱动刀槽和刀片共同完成对组培苗的剪切。其中刀片剪切力决定了组培苗是否能够顺利被切断, 其大小与切苗气爪夹持力和刀片剪切速度有关。切苗气爪夹持力是指气爪稳定夹持工件时施加到工件上的力^[22], 随着气爪夹持力和刀片剪切速度的增大, 剪切力随之增大, 组培苗被切

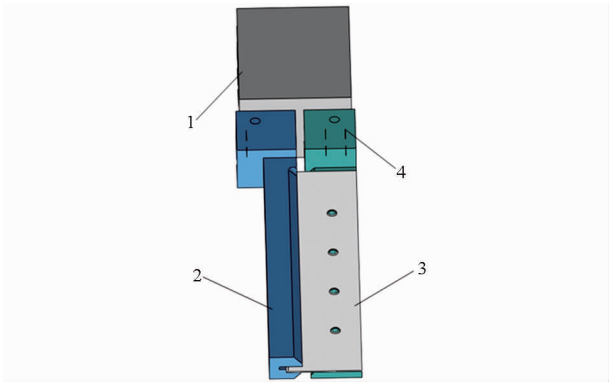


图6 切苗单元结构图
Fig.6 Structure drawing of cutting seedlings unit
1. 切苗气爪 2. 刀槽 3. 刀片 4. 支撑手指

断概率就越大。根据前期试验结果, 本文选定缸径为 16 mm 的 Y 型气爪作为切苗气爪, 夹持力为 8 N; 该气爪在完全张开时两气爪间的夹角为 30°, 能够将聚拢后的组培苗束容纳其中, 满足对组培苗束的剪切要求。

3.2.2 切刀

刀槽和刀片是切苗单元中对组培苗束进行剪切的关键部件。为了保证剪切效果, 本设计采用双支点剪切, 刀槽与刀片分别固定于切苗气爪左右两支撑手指上, 刀槽为组培苗剪切时提供双点支撑。

切苗单元参数计算如图 7 所示, 在图 7a 中, A、E 分别为刀槽和刀片的旋转中心, O_1O_2 为切苗气爪对称轴, AB、EF 分别为左、右气爪手指中心线, CD 为刀槽的边缘线, GH 为刀片的刀刃线, ABCD 与 EFGH 关于 O_1O_2 对称。在图 7b、7c 中 $AB_1C_1D_1$ 、 $EF_1G_1H_1$ 与 $AB_2C_2D_2$ 、 $EF_2G_2H_2$ 分别为切苗单元完全张开与闭合时刀槽与刀片所在位置。设 φ_1 为剪切过程中刀槽完全张开时的角度。

由图 7c、7d 及几何关系可知, 刀片进入刀槽的深度 m 为

$$m=L_{BC}+L_{FG}-n \tag{10}$$

式中 L_{BC} ——线段 BC 的长度, 取 15 mm
 L_{FG} ——线段 FG 的长度, 取 15 mm
 n ——刀槽和刀片的旋转中心 A、E 间的距离, 取 24 mm

以上数值代入式(10)可得: 刀片进入刀槽的深度 $m=6$ mm, 据此本文设计刀槽深度为 8 mm。

为了保证被拢苗爪片聚拢后的组培苗束都在切刀的剪切范围内, 由图 7d 及几何关系分析可知, 所需刀片的长度 L_{GH} 为

$$L_{GH}=\frac{2(L_{AO}-L_{EF}\cos\varphi-L_{FG}\sin\varphi)}{\cos\varphi} \tag{11}$$

式中 L_{AO} ——刀槽和刀片旋转中心 A、E 到拢苗爪片中心 O 的距离, 取 80 mm

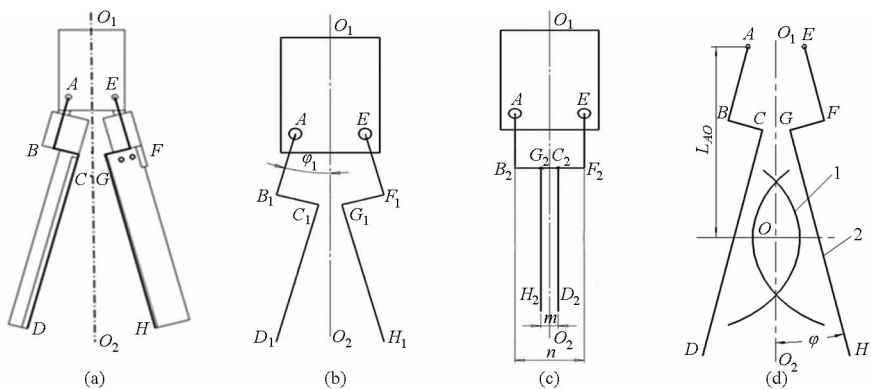


图 7 切苗单元简化图

Fig. 7 Simplified diagram of cutting seedlings unit

1. 挠苗爪片 2. 刀片

L_{EF} ——线段 EF 的长度,取 32 mm
 L_{FG} ——线段 FG 的长度,取 15 mm
 φ ——切刀完全张开时刀片 GH 与 O_1O_2 的夹角,取 15°
将以上数值代入式(11)计算可得:刀片的长度 $L_{GH} = 93.6 \text{ mm}$;选用义乌市开拓五金有限公司生产的刀片,其长度为 100 mm,满足设计要求。

刀槽宽度根据刀片厚度设计,刀槽宽度不宜过大,否则在剪切速度较慢时会出现把组培苗夹到刀槽里不能有效切断的情况,刀片厚度为 0.36 mm,因此刀槽宽度设计为 1 mm。

3.3 集苗漏斗

组培苗被切苗单元剪切成一段一段的苗段时,苗段会大范围散落、飞溅,导致部分苗段不能落入子培养瓶中,因此设计了一个集苗漏斗安装在切苗单元正下方,用于将散落、飞溅的苗段聚拢,并顺利导入子培养瓶。集苗漏斗的主要结构参数有漏斗高度 H ,漏斗倾斜角度 α ,漏斗大口内径 D 和小口内径 d ,结构如图 8 所示。

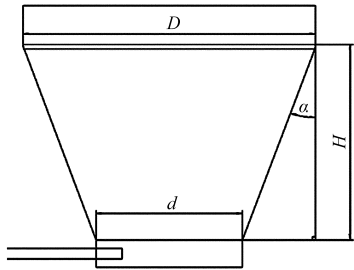


图 8 集苗漏斗结构图

Fig. 8 Structure drawing of collecting seedlings funnel

漏斗小口贴近子瓶瓶口,要使苗段经由漏斗小口全部落入子培养瓶中,漏斗小口内径 d 要略小于子瓶瓶口的内径,即 $d \leq 50 \text{ mm}$ 。漏斗大口内径 D 与切刀和漏斗之间的距离 S 有关,距离 S 越大,则苗段下落过程中越分散,所需漏斗大口内径 D 就越大,因此要尽可能减小 S ,以减小 D 的大小。在避免切

刀与漏斗机构干涉的前提下,将 S 设计为最小值 4 mm。当 $S = 4 \text{ mm}$ 时,选取 $D = 100 \text{ mm}$ 几乎能够将所有苗段承接到集苗漏斗内。倾斜角度 α 的大小影响苗段能否顺利沿着漏斗倾斜面落下。 α 越大,斜面越平坦,苗段越不容易滑落; α 越小,斜面越陡,苗段滑落越顺利。根据图中的直角三角形关系,倾斜角度可表达为

$$\tan \alpha = \frac{D - d}{2H} \tag{12}$$

根据物体在斜面上的力学分析可知,当 $\tan \alpha \leq 1$ 时,物体放在斜面上能顺利下滑。考虑到组培苗含有大量水分,在被剪切成苗段时还会有一定的水分溅出,导致苗段有可能会被粘在漏斗内部的斜面上,减小 $\tan \alpha$ 的值可以降低苗段被粘住的概率。因此选取 $\tan \alpha = 0.35$,代入式(12)中,得 $H = 71.4 \text{ mm}$,圆整后选取 $H = 70 \text{ mm}$ 。在后期试验中发现,极少出现苗段被粘在漏斗内壁上的现象,苗段基本上都能顺利滑落到子培养瓶中。

4 试验与结果分析

4.1 试验设备与材料

2015 年 5 月在自制的无菌室中进行了马铃薯组培苗剪切机构的性能试验,试验装置如图 9 所示。



图 9 剪切机构试验装置

Fig. 9 Experiment device of shear mechanism

试验材料为北京希森三和马铃薯有限公司提供的适宜快繁作业的“大西洋”马铃薯组培苗,每瓶组培苗的株数为 32 ~ 52 株,苗株高度为 93 ~ 102 mm。

4.2 试验指标

该剪切机构在工作时分为拢苗和切苗两个过程,因此选取拢苗合格率 S_L 、拢苗损伤率 R_L 、切苗成功率 S_Q 、切苗损失率 R_Q 为试验指标,并以子培养瓶中集苗成功率 S_J 和剪切机构对整瓶组培苗完成拢苗、切苗的总时间 T 作为整个剪切机构的试验指标。各指标定义如下:

拢苗合格率 $S_L = \frac{W_L}{W_Z} \times 100\%$ (13)

拢苗损伤率 $R_L = \frac{W_R}{W_Z} \times 100\%$ (14)

切苗成功率 $S_Q = \frac{W_Q}{W_Z} \times 100\%$ (15)

切苗损失率 $R_Q = \frac{W_{Qs}}{W_Q} \times 100\%$ (16)

集苗成功率 $S_J = \frac{W_J}{W_L} \times 100\%$ (17)

式中 W_L ——被拢苗爪片聚拢到一起且没有受到损伤的组培苗数,株
 W_Z ——整瓶中组培苗总株数,株
 W_R ——在拢苗过程中,受到损伤的组培苗数,株
 W_Q ——被切刀完全有效切断的组培苗数,株
 W_{Qs} ——在剪切过程中,因飞溅、散落等造成损失的苗段数,个
 W_J ——落入到子培养瓶中的苗段数,个

4.3 试验方法

分别以拢苗角速度 ω_L 和切苗角速度 ω_Q 为变量对拢苗和切苗效果进行单因素试验,每组试验设置 5 个水平,每个水平重复 3 次并取平均值,试验安排如表 1 所示。通过单因素试验,选出最优的拢苗角速度和切苗角速度参数组合,对整个剪切机构进行验证试验。

表 1 单因素试验安排

Tab.1 Arrangement of single factor test rad/s

水平	试验因素	
	拢苗角速度 ω_L	切苗角速度 ω_Q
1	0.15	0.2
2	0.83	2.67
3	1.74	6.48
4	2.33	10.26
5	3.16	15.71

4.4 试验结果与分析

拢苗与切苗作业效果如图 10、11 所示。



图 10 拢苗效果

Fig. 10 Effect of gathering seedlings

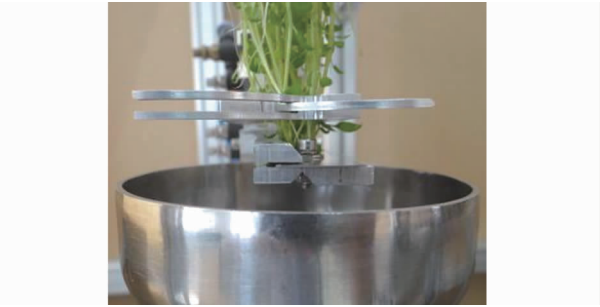


图 11 切苗效果

Fig. 11 Effect of cutting seedlings

拢苗和切苗过程的试验结果如表 2、3 所示。

表 2 拢苗试验结果

Tab.2 Result of gathering seedlings test

水平	试验因素	试验指标	
	拢苗角速度	拢苗合格率	拢苗损伤率
	$\omega_L / (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$	$S_L / \%$	$R_L / \%$
1	0.15	98.56	0
2	0.83	97.69	0.33
3	1.74	97.13	0.78
4	2.33	97.46	0.96
5	3.16	97.33	1.15

表 3 切苗试验结果

Tab.3 Result of cutting seedlings test

水平	试验因素	试验指标	
	切苗角速度	切苗成功率	切苗损失率
	$\omega_Q / (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$	$S_Q / \%$	$R_Q / \%$
1	0.20	33.67	1.30
2	2.67	52.33	2.47
3	6.48	73.33	2.91
4	10.26	99.34	3.35
5	15.71	100.00	9.89

由试验结果可知:

(1)在拢苗过程中,随着拢苗角速度的增大,拢苗合格率最小值为 97.13%,最大值可达 98.56%,趋势平稳,拢苗合格率变化不大;当拢苗角速度较低时,拢苗损伤率为 0,随着拢苗角速度的增大,拢苗爪片对组培苗的损伤呈略微增大的趋势,最大损伤率为 1.15%,都能满足拢苗要求。

(2)在切苗过程中,随着切苗角速度的增大,切

苗成功率呈明显的上升趋势,当切苗角速度较低时,切苗成功率最低仅为 33.67%,当切苗角速度较高时,切苗成功率可达 100%,组培苗被全部切断;但是随着切苗角速度的增大,由于高速运动下切刀的张开和闭合会对苗段造成飞溅、散落等损失,导致切苗损失也呈现上升的趋势,其切苗损失率最大可达 9.89%。

为了明确拢苗角速度和切苗角速度对试验指标的影响显著性,对各个试验指标进行了单因素方差分析,方差分析结果如表 4、5 所示。

表 4 拢苗角速度对试验指标影响方差分析
Tab.4 Variance analysis of effects of gathering seedling speed on test indexes

试验指标	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
拢苗合格率 S_L	3.709	4	0.927	0.666	0.63	
拢苗损伤率 R_L	2.663	4	0.666	32.509	1.05×10^{-5}	*

注:显著性水平 $\alpha = 0.05$; $P > 0.05$,影响不显著; $P < 0.05$,影响显著,用 * 表示,表 5 同。

表 5 切苗角速度对试验指标影响方差分析
Tab.5 Variance analysis of effects of cutting seedling speed on test indexes

试验指标	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
切苗成功率 S_Q	10 166.97	4	2 541.741	822.799	1.53×10^{-12}	*
切苗损失率 R_Q	137.797	4	34.449	53.871	9.91×10^{-7}	*

由表 4 可知:拢苗角速度对拢苗合格率影响不显著,对拢苗损伤率影响显著。由表 5 可知:切苗角速度对切苗成功率和切苗损失率均有显著性影响。

综上所述,在拢苗过程中应选择较低的拢苗角速度以取得良好的拢苗效果,但是考虑到要提高拢苗效率,选取最优的拢苗角速度为 3.16 rad/s。在切苗过程中,要保证较高切苗成功率的同时尽量降低切苗损失率,选取最优的切苗角速度为 10.26 rad/s。

根据拢苗和切苗单因素试验选取的最优工作参数:拢苗角速度为 3.16 rad/s、切苗角速度为 10.26 rad/s,对整个剪切机构进行验证试验,重复 6 次取平均值,各试验指标结果如表 6 所示。

由表 6 可知:在拢苗角速度为 3.16 rad/s、切苗角速度为 10.26 rad/s 的条件下,拢苗合格率、拢苗损伤率、切苗成功率、切苗损失率均达到了最优效果,集苗成功率达 97.53%,完成一瓶马铃薯组培苗剪切所需的时间为 48.67 s,满足组培苗移植作业要

求,集苗效果如图 12 所示。

表 6 验证试验结果
Tab.6 Results of verified test

序号	试验指标	试验结果
1	拢苗合格率 $S_L/\%$	99.13
2	拢苗损伤率 $R_L/\%$	0.79
3	切苗成功率 $S_Q/\%$	100.00
4	切苗损失率 $R_Q/\%$	1.37
5	集苗成功率 $S_f/\%$	97.53
6	剪切总时间 T/s	48.67



图 12 集苗效果
Fig.12 Effect of collecting seedlings

5 结论

(1)研究设计的马铃薯组培苗剪切机构能够将整瓶组培苗聚拢、剪切并将剪切后的苗段顺利导入子培养瓶中,使组培苗段进入下一代的培养,实现马铃薯组培苗快繁过程的标准化、机械化和高效化作业。

(2)拢苗角速度是影响拢苗效果的主要因素。随着拢苗角速度增大,拢苗合格率略有下降,但其对拢苗合格率的影响不显著;随着作业速度的升高,拢苗损伤率增大,其对拢苗损伤率的影响显著。综合考虑拢苗效果和作业效率,选取最优的拢苗角速度为 3.16 rad/s。

(3)切苗角速度对切苗成功率和切苗损失率均有显著性影响。随着切苗角速度的增大,切苗成功率呈明显的上升趋势;但随着切苗角速度的增大,剪切时苗段飞溅、散落等损失严重,导致切苗损失也呈现上升的趋势。为了保证较高的切苗成功率同时尽可能降低切苗损失率,选取最优的切苗角速度为 10.26 rad/s。

(4)在拢苗角速度为 3.16 rad/s、切苗角速度为 10.26 rad/s 条件下进行验证试验,拢苗合格率 99.13%、拢苗损伤率 0.79%、切苗成功率 100%、切苗损失率 1.37%、集苗成功率 97.53%、完成一瓶马铃薯组培苗剪切所需的时间为 48.67 s,满足剪切机构的设计要求。

参 考 文 献

- 1 柳俊. 我国马铃薯产业技术研究现状及展望[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(5): 13–18.
Liu Jun. Research status and prospects of potato industry in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2011, 13(5): 13–18. (in Chinese)
- 2 杨帅, 闵凡祥, 高云飞, 等. 新世纪中国马铃薯产业发展现状及存在问题[J]. 中国马铃薯, 2014, 28(5): 331–316.
Yang Shuai, Min Fanxiang, Gao Yunfei, et al. Statusquo and challenges of China potato industry of the 21st century[J]. China Potato Journal, 2014, 28(5): 331–316. (in Chinese)
- 3 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.
- 4 李东方, 张爱萍, 陈英, 等. 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, et al. Technique of virus-free rapid propagation and factory production of potato[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2013(7): 27–30. (in Chinese)
- 5 董越, 张丹, 靖凯. 浅谈马铃薯脱毒苗组培快繁技术[J]. 园艺与种苗, 2012(2): 17–18, 31.
Dong Yue, Zhang Dan, Jing Kai. Discussion about tissue culture and rapid propagation on virus-free potato seedling[J]. Horticulture & Seed, 2012(2): 17–18, 31. (in Chinese)
- 6 宿飞飞. 马铃薯组培快繁技术体系简化的研究[J]. 黑龙江农业科学, 2009(6): 10–11.
Xu Feifei. Research on simplification of potato tissue culture and rapid propagation system[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2009(6): 10–11. (in Chinese)
- 7 Miwa Y, Kushihashi Y, Kozai T. Mechanical engineering approaches to plant biotechnology[M] // Jenny Aitken-Christie, Toyoki Kozai, Smith M A L. Automation and Environmental Control in Plant Tissue Culture, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1995: 125–143.
- 8 Kurata K. Transplant production robots in Japan[M] // Kurata K, Kozai T. Transplant Production Systems, Berlin: Springer Netherlands, 1992: 313–329.
- 9 Tillett R D, Brown F R, McFarlane N J B, et al. Image-guided robotics for the automation of micropropagation[C] // IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems'90. Towards a New Frontier of Applications, 1990, 1: 265–270.
- 10 Brown F R. Robotics and image analysis applied to micropropagation[M] // Kurata K, Kozai T. Transplant Production Systems. Berlin: Springer Netherlands, 1992: 283–296.
- 11 Holdgate D P, Zandvoort E A. Automated micropropagation and the application of a laser beam for cutting[M] // Kurata K, Kozai T. Transplant Production Systems, Berlin: Springer Netherlands, 1992: 297–311.
- 12 Sobey P J, Harter B, Hinsch A. Automated micro-propagation of plant material[C] // Proceedings of the Fourth Annual Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, 1997.
- 13 謝清祿. 百合組織培養小鱗球增殖作業機械化之研究[D]. 台北: 國立臺灣大學, 2000.
- 14 樂家敏, 彭文泓, 洪錫鵬. 機器人應用在組織培養作業上的試驗研究[J]. 農業機械學刊, 1996, 5(1): 41–53.
- 15 張立偉. 條狀組織培養苗分株扦插系統之研究[D]. 台中: 國立中興大學, 2000.
- 16 魏毅倫. 蝴蝶蘭組織培養苗夾持機構之研製[D]. 台中: 國立中興大學, 2004.
- 17 黃膺任. 蝴蝶蘭組織培養苗自動夾持作業之研究[D]. 台中: 國立中興大學, 2008.
- 18 Huang Y, Lee F. An automatic machine vision-guided grasping system for *Phalaenopsis* tissue culture plantlets[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 70(1): 42–51.
- 19 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.
Yang Li. Study on robot system for tissue culture plantlet cutting and transplanting[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 20 杨丽, 张凯良, 张铁中. 培养瓶内黄杨苗位置的机器视觉识别方法[J]. 农业机械学报, 2008, 39(10): 124–128.
Yang Li, Zhang Kailiang, Zhang Tiezhong. Position recognition method of Japan Euonymus plantlets in bottle based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(10): 124–128. (in Chinese)
- 21 杨丽, 刘恩托, 张铁中. 组培苗移植机器人机械臂的设计[J]. 农机化研究, 2009, 31(1): 103–105.
Yang Li, Liu Entuo, Zhang Tiezhong. Design on manipulator of tissue culture plantlet transplanting robot[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(1): 103–105. (in Chinese)
- 22 秋先峰. 机械手爪滑觉检测与夹持力控制研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2013.
Qiu Xianfeng. The mechanical gripper slipping detection and the clamping force control study[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2013. (in Chinese)