

徐涛,段宏兵,蔡兴奎,等.激光切割对马铃薯组培苗移栽后生长指标的影响[J].华中农业大学学报,2021,40(4):80-84.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.04.010

激光切割对马铃薯组培苗移栽后生长指标的影响

徐涛¹,段宏兵^{1,2},蔡兴奎¹,杨锐¹,姚飞虎¹,严福勇¹

1.华中农业大学工学院,武汉 430070; 2.农业农村部马铃薯生物学与生物技术重点实验室,武汉 430070

摘要 以机械剪切方式作为对照,使用以 CO₂ 激光器在垂直照射、离焦量 12 mm、光输出功率 10 W 的条件下的激光,对马铃薯组培苗进行无接触式切割,并对激光切割和机械剪切后马铃薯组培苗的生长情况进行对比试验。试验结果显示:使用激光进行马铃薯组培苗切割不会影响其生物活性;在培养 21 d 后,无论是单切口茎段还是双切口茎段,激光切割马铃薯组培苗的存活率、株高、节间数、节间长度、茎粗、根长、去根鲜质量等生长指标均优于机械剪切方式。试验结果表明,以激光切割方式代替传统机械剪切方式进行马铃薯组培苗的无接触式切割,极大简化了组培苗移栽时的动作,能有效避免组培苗交叉感染,促进移栽的组培苗茎段成活。

关键词 马铃薯; 组培苗; 激光切割; 机械化移栽; 机械剪切; 无接触式切割

中图分类号 S 530.045 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)04-0080-05

优质马铃薯脱毒种薯的利用是解决马铃薯病毒感染、提高马铃薯品质和产量的有效途径^[1-2]。而脱毒种薯较低的生产效率以及较难控制的种薯质量成为了影响其推广使用的主要原因^[3]。马铃薯脱毒种薯的生产通常分为 3 个阶段,即组培苗移栽、组培苗日常管理、脱毒种薯收获,其中组培苗移栽阶段最为关键^[4]。目前马铃薯组培苗移栽生产仍以人工作业为主,具有成本高、劳动强度大、作业过程枯燥重复的特点,其人工成本占总成本的 80% 以上^[5]。另外,由于人为因素如操作不当、携带病毒等的影响,导致马铃薯组培苗移栽质量控制困难^[6]。以机械代替人工作业方式实现马铃薯组培苗移栽是降低马铃薯脱毒种薯生产成本的可行性措施,对提高脱毒种薯的生产效率以及种薯质量都具有重要意义。因此,亟需实现马铃薯组培苗移栽过程的机械化、自动化作业^[7]。

现有的马铃薯组培苗切割均采用机械剪切方式,即用剪刀从马铃薯组培苗的基部剪断^[8]。为了避免交叉感染,每切割 1 盒马铃薯组培苗,往往需要用 75% 乙醇或 1% 高锰酸钾溶液对剪刀进行 1 次消毒^[9]。以该方式进行马铃薯组培苗切割,存在生产

效率低、乙醇等消毒用品处理不当易造成环境污染等问题。与机械剪切方式相比,激光切割技术最大的特点在于通过高能激光束的聚焦实现无接触式切割,广泛应用于金属和非金属材料加工^[10-12]。当激光对马铃薯组培苗进行照射时,马铃薯组培苗切口处形成碳化层。碳化层阻碍了病菌对切口内部的入侵,从而减少了马铃薯组培苗的病毒感染概率,也有利于切口愈合,促进移栽的马铃薯组培苗成活。因此,将激光应用于马铃薯组培苗的切割可以有效避免切割工具所造成的组培苗交叉感染。针对机械剪切方式存在的问题,本研究提出了一种基于激光的马铃薯组培苗无接触式切割方法,旨在为马铃薯组培苗的机械化移栽提供一种新的方法。

1 材料与方法

1.1 激光切割原理

与常见的金属和非金属材料不同,植物茎秆具有复杂的组织构造,如保护组织、输导组织、营养组织、机械组织、分生组织等,在激光切割时会产生不同的温度响应^[13-14]。激光光斑中心处的温度可近似表示为^[15]:

收稿日期: 2021-03-01

基金项目: 国家马铃薯现代农业产业技术体系项目(CARS-09-P08); 湖北省现代农业产业技术体系项目(HBHZD-ZB-2020-005-08)

徐涛, E-mail: 897676074@qq.com

通信作者: 段宏兵, E-mail: duanhb@mail.hzau.edu.cn

$$T = \frac{2 \times 10^3 A \rho_0}{\lambda} \sqrt{\frac{at}{\pi}} \quad (1)$$

式(1)中, T 为激光光斑中心处的温度,K; A 为物料对激光的吸收率,%; ρ_0 为焦斑热功率密度, W/mm^2 ; λ 为物料的导热系数, $W/(m \cdot K)$; a 为物料的热扩散率, mm^2/s ; t 为照射时间,s。

不考虑马铃薯组培苗茎秆表面粗糙度对激光吸收率的影响,吸收率可近似表达为:

$$A = 1 - \left[\frac{\cos\varphi - \frac{n_1}{n_2} \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin\varphi\right)^2}}{\cos\varphi + \frac{n_1}{n_2} \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin\varphi\right)^2}} \right]^2 \quad (2)$$

式(2)中, φ 为激光入射角, $(^\circ)$; n_1 为入射介质的折射率; n_2 为折射介质的折射率。

焦斑热功率密度计算公式为:

$$\rho_0 = \frac{P}{\pi r^2} \quad (3)$$

式(3)中, P 为光输出功率,W; r 为束半径,mm。

热扩散率计算公式为:

$$a = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (4)$$

式(4)中, λ 为导热系数, $W/(m \cdot K)$; c 为比热容, $J/(kg \cdot ^\circ C)$; ρ 为密度, kg/m^3 。

由式(1)~(4)可知,当马铃薯组培苗这一物料确定,物料对激光的吸收率、物料的导热系数和物料的热扩散率便已确定。当确定马铃薯组培苗折射率、导热系数、比热容、密度等数据时便可近似计算马铃薯组培苗激光切割中心温度。由于马铃薯组培苗含水率高达92%,可以使用水的折射率(1.333)、导热系数(0.62 $W/(m \cdot K)$)、比热容(4.2 $\times 10^3$ $J/(kg \cdot ^\circ C)$)进行近似计算^[13]。由计算可得,马铃薯组培苗激光切割中心温度约为678 K。

1.2 马铃薯组培苗激光切割方法

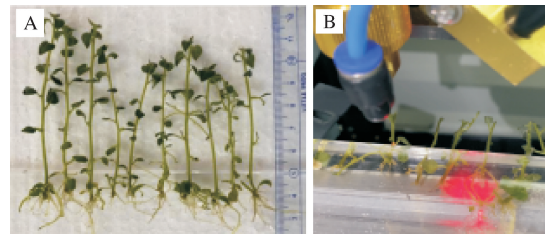
1) 试验设备及材料。HB-4060型100 W的CO₂激光切割机,聊城市绘邦激光科技有限公司;水分测定仪,奥豪斯MB45;Ti300红外热成像仪,福禄克。马铃薯组培苗选用农业农村部马铃薯生物学与生物技术重点实验室“华恩1号”。

2) 组培苗激光切割中心温度测量。取马铃薯组培苗20棵,去根后置于水分测定仪内进行含水率测定,测定组培苗含水率为92%。将马铃薯组培苗置

于离焦量12 mm处用CO₂激光切割机进行切割,CO₂激光切割机光输出功率为10 W,切割速度为24 mm/s^[16]。使用红外热像仪进行马铃薯组培苗激光切割点最高温度测定,录像后进行逐帧分析得出激光切割点最高温度为615 K,与计算所得马铃薯组培苗激光切割中心温度近似。

3) 组培苗的切割方法。试验组马铃薯组培苗采用激光切割方式,对照组采用机械剪切方式。试验组与对照组的马铃薯组培苗数量均为200棵。

试验组:将马铃薯组培苗每10棵分为1组,根部对齐,平铺在双层亚克力板中间。马铃薯组培苗根部在亚克力板范围内约10 mm,如图1A所示。将固定好的亚克力板置于激光头下部,设置离焦量为12 mm,CO₂激光切割机光输出功率调整为10 W,切割速度为24 mm/s,对马铃薯组培苗进行切割,如图1B所示。



A: 组培苗根部固定 Tissue culture seedling root fixation; B: 组培苗切割 Tissue culture laser cutting.

图1 马铃薯组培苗激光切割

Fig.1 Potato tissue culture laser cutting

在实际生产中,为提高马铃薯组培苗的利用率,对较长的马铃薯组培苗进行多段分割,分割产生单切口与双切口2种茎段。针对该情况,分别对马铃薯组培苗进行单切口茎段(图2A)和双切口茎段(图2B)试验。直接在马铃薯组培苗的根部以上约15 mm处切断形成单切口茎段。在马铃薯组培苗的根部以上约15 mm处和35 mm处切断形成双切口茎段(马铃薯组培苗长度大于35 mm)。在切割中,保证马铃薯组培苗每段至少有1个以上的芽点(保证马铃薯组培苗能正常生长)。

对照组:按照试验组的同样要求,用剪刀剪切马铃薯组培苗,形成单切口茎段(图2C)和双切口茎段(图2D)。每切割完1盒马铃薯组培苗时,用75%乙醇消毒剪刀,重复进行。保证切割后马铃薯组培苗茎段长度与激光切割茎段长度基本相等。



A: 激光切割单切口 Single incision after laser; B: 激光切割双切口 Double incision after laser; C: 机械剪切单切口 Single incision after mechanical shear; D: 机械剪切双切口 Double incision after mechanical shear.

图 2 2 种不同切割方式切割后的组培苗茎段

Fig.2 Tissue culture seedling stem segment after cutting

1.3 组培苗培养

在华中农业大学农业农村部马铃薯生物学与生物技术重点实验室,将切好的 2 组马铃薯组培苗按照相同的农艺要求进行扦插。在相同培养条件下培养 21 d 后,统计马铃薯组培苗的存活率,测量其株高、节间数、节间长度、茎粗、根长、去根鲜质量等数据。培养条件为光周期 16 h/8 h,光强度为 2 500~3 000 lx,培养温度(20±1) °C,第 5 天开始通气,通气时间 12 h/d(每隔 15 min,通气 15 min),通气流量为(2.4±0.2) L/min。

2 结果与分析

培养 21 d 后,统计马铃薯组培苗存活率,即存活的马铃薯组培苗占每组实验马铃薯组培苗总数量的百分比;统计马铃薯组培苗节间数,即基部叶片至顶芽以下成熟叶片之间的节间数量(图 3)。使用直尺(精度 1 mm)测量马铃薯组培苗株高、节间长度和根长;使用卡夫威尔的电子游标卡尺(精度 0.01 mm)测量马铃薯组培苗的茎粗;使用东莞市苦竹电子有限公司的电子天平(精度 0.01 g)测量马铃薯组培苗去根鲜质量。

从表 1 可以看出,激光切割单切口茎段移栽苗的平均株高为 73.59 mm,远高于机械剪切移栽苗的

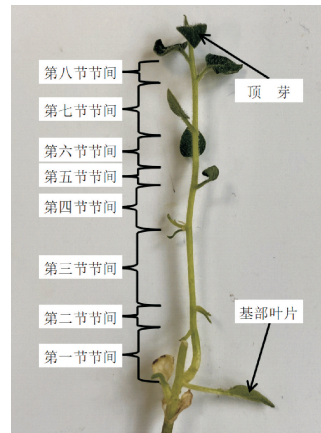


图 3 组培苗节间示意图

Fig.3 Schematic diagram of tissue culture seedling's internodes

61.56 mm;激光切割单切口茎段移栽苗的平均茎粗为 0.93 mm,平均去根鲜质量为 0.18 g,也明显优于机械剪切移栽苗,但平均根长却低于机械剪切方式。培养过程中还观察到,激光切割单切口茎段移栽苗成活率达 99%,高于机械剪切单切口茎段移栽苗的 90%。

从表 2 可以看出,激光切割双切口茎段移栽苗的平均株高和平均根长与机械剪切方式之间差异不大,但平均茎粗为 0.71 mm,平均去根鲜质量为 0.11 g,均优于机械剪切方式;激光切割双切口茎段移栽苗的平均节间数为 4.07,也显著高于机械剪切移栽苗的 3.53。

综上所述,使用激光进行马铃薯组培苗切割一定程度上可以促进移栽的马铃薯组培苗茎段成活。依据切割后移栽苗植株的生长指标,无论是单切口茎段,还是双切口茎段,激光切割方式的移栽苗质量显著高于机械剪切方式。说明 CO₂ 激光切割适于马铃薯组培苗的切割。

3 讨论

本研究使用激光代替传统机械剪切方式进行马铃薯组培苗的无接触式切割,能有效避免切割工具所造成的马铃薯组培苗交叉感染。马铃薯组培苗切口的碳化,也促进了移栽的马铃薯组培苗茎段成活,显著提高了马铃薯组培苗移栽后的种苗质量。

试验结果表明,无论是单切口茎段,还是双切口茎段,使用激光进行马铃薯组培苗切割,从马铃薯组培苗常见生长指标的角度来评价,均优于机械剪切方式,如株高、节间数、节间长度、茎粗、根长、去根鲜质量等均有不同程度的提高。

表1 机械剪切和激光切割对马铃薯组培苗单切口茎段生长的影响

Table 1 The growing influence of laser cutting and mechanical shearing on tissue culture potato seedlings single cut stem segment

指标 Growth indicators	机械剪切 Mechanical shearing	激光切割 Laser cutting	t 值 Student's t test
存活率/% Survival rate	90	99	/
株高/mm Plant height	61.56±18.30	73.59±22.78	-3.57**
节间数 Internode number	8.07±2.67	8.62±2.94	-1.18
节间长度/mm Internode length	第一节 First	8.74±5.13	-3.92**
	第二节 Second	5.10±3.89	-0.32
	第三节 Third	4.68±3.90	-0.31
茎粗/mm Stem diameter	0.85±0.15	0.93±0.20	-2.92**
根长/mm Root length	52.65±22.39	40.58±20.82	3.41**
去根鲜质量/g Fresh weight without root	0.12±0.07	0.18±0.11	-3.75**

注:表中数据为平均值±标准偏差;*表示0.05水平显著;**表示0.01水平显著。下同。Note:The data are displayed as mean±standard deviation;* means significance at the level of 0.05;** means significance at the level of 0.01.The same as below.

表2 机械剪切和激光切割对马铃薯组培苗双切口茎段生长的影响

Table 2 The growing influence of laser cutting and mechanical shearing on tissue culture potato seedlings double cut stem segment

指标 Growth indicators	机械剪切 Mechanical shearing	激光切割 Laser cutting	t 值 Student's t test
存活率/% Survival rate	97	98	/
株高/mm Plant height	49.72±19.32	45.44±15.32	1.62
节间数 Internode number	3.53±1.22	4.07±1.77	-2.33*
节间长度/mm Internode length	第一节 First	7.90±4.15	4.41**
	第二节 Second	11.53±5.59	1.71*
	第三节 Third	10.44±4.84	1.10
茎粗/mm Stem diameter	0.61±0.16	0.71±0.16	-3.91**
根长/mm Root length	31.80±15.51	34.76±16.40	-1.23
去根鲜质量/g Fresh weight without root	0.09±0.05	0.11±0.07	-2.65**

本研究结果表明,应用激光进行马铃薯组培苗切割的技术具有可行性和特殊优势。使用激光进行马铃薯组培苗切割对比机械剪切有较大的优势。但激光切割导致马铃薯组培苗生长优势的原因尚未明确,其中的作用机制也亟需探索研究。同时,激光切割作为农业领域的新型切割方式,在其他作物组培苗的适应性尚待验证。

参考文献 References

- [1] SEVOSTYANOVA E P, AKIMOVA S V, SEVOSTYANOV M, et al. Obtaining micro cuttings of potatoes by clonal micro-propagation[J/OL]. IOP conference series: earth and environmental science, 2021, 663(1): 012061 [2021-04-26]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/663/1/012061>. DOI:10.1088/1755-1315/663/1/012061.
- [2] 冯洁,曹琳琳,王越,等.无糖组织培养技术在马铃薯种苗快繁中的应用[J].华中农业大学学报,2019,38(6):62-69.FENG J, CAO L L, WANG Y, et al. Application of sugar-free micro-propagation on potato seedlings rapid propagation [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2019, 38(6): 62-69 (in Chinese with English abstract).
- [3] 初麒,辜松,杨意,等.马铃薯组培苗气力引导式移植手设计与试验[J].农业工程学报,2017,33(12):40-47.CHU Q, GU S, YANG Y, et al. Design and experiment on pneumatic guide transplanting hand for potato tissue culture seedlings [J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(12): 40-47 (in Chinese with English abstract).
- [4] 江苏省质量技术监督局.脱毒马铃薯微型种薯生产技术规程:DB32/T 2402—2013[S].南京:江苏省质量技术监督局,2014. Jiangsu Provincial Bureau of Quality and Technical Supervision. The technical regulation of the certified seed potatoes: DB32/T 2402-2013 [S]. Nanjing: Jiangsu Provincial Bureau of Quality and Technical Supervision, 2014 (in Chinese).
- [5] 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):27-31.LI D F, ZHANG A P, CHEN Y, et al. Technique of virus-free rapid propagation and factory production of potato [J]. Heilongjiang agricultural sciences, 2013(7): 27-31 (in Chinese with English abstract).
- [6] FAGERIA M, NIE X Z, GALLAGHER A, et al. Mechanical-transmission of potato virus Y(PVY) through seed cutting and plant wounding[J]. American journal of potato research, 2015, 92(1): 143-147.
- [7] 李文华,吕典秋,闵凡祥.中国、荷兰和比利时马铃薯生产概况对比分析[J].中国马铃薯,2018,32(1):54-60.LI W H, LÜ D Q, MIN F X. Comparative analysis of potato among China, Holland and Belgium [J]. Chinese potato journal, 2018, 32(1): 54-60 (in Chinese with English abstract).
- [8] 屈哲,来杭生,崔涛,等.整瓶马铃薯组培苗剪切机构设计与试验[J].农业机械学报,2015,46(9):39-46.QU Z, LAI H S, CUI

- T, et al. Design and experiment of shear mechanism for potato tissue culture seedlings in whole bottle[J]. Transactions of the CSAM, 2015, 46(9): 39-46 (in Chinese with English abstract).
- [9] NELSON G A, HARPER F R. Factors affecting ring rot development in root-inoculated potato plants originating from stem cuttings[J]. American potato journal, 2008, 50(10): 365-370.
- [10] FERRAZ A C O, MITTAL G S, BILANSKI W K, et al. Mathematical modeling of laser based potato cutting and peeling[J]. BioSystems, 2007, 90(3): 602-613.
- [11] 肖红伟, 林海, 高振江, 等. 板栗激光划口机设计[J]. 农业机械学报, 2010, 41(11): 138-141. XIAO H W, LIN H, GAO Z J, et al. Design of chestnut shell-cutting machine using laser[J]. Transactions of the CSAM, 2010, 41(11): 138-141 (in Chinese with English abstract).
- [12] 刘继展, 徐秀琼, 李萍萍. 果实采摘中果梗激光切割分析与实验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 59-64. LIU J Z, XU X Q, LI P
- P. Analysis and experiment on laser cutting of fruit peduncles [J]. Transactions of the CSAM, 2014, 45(1): 59-64 (in Chinese with English abstract).
- [13] 马云海. 农业物科学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015. MA Y H. Agricultural materials science[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2015 (in Chinese).
- [14] NIEMZ M H. 激光与生物组织的相互作用——原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005. NIEMZ M H. Laser interaction with biological tissue: principles and applications[M]. Beijing: Science Press, 2005 (in Chinese).
- [15] 路建, 倪晓武, 贺安之. 激光与材料相互作用物理学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996. LU J, NI X W, HE A Z. Physics of laser-material interaction [M]. Beijing: China Machine Press, 1996 (in Chinese).
- [16] KNAUER D. Matching the intensity of the laser to the speed [J]. Laser technik journal, 2018, 15(3): 59-61.

Effect of laser cutting on growth indexes of potato tissue cultured seedlings after transplanting

XU Tao¹, DUAN Hongbing^{1,2}, CAI Xingkui¹, YANG Rui¹, YAO Feihu¹, YAN Fuyong¹

1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Key Laboratory of Potato Biology and Biotechnology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, China

Abstract At present, the method of cutting potato tissue culture seedling is still using scissors to cut. This method has low efficiency of production and is easy to cause virus infection, which makes it difficult to control the quality of transplanting seedling. To solve the problems mentioned above, using laser to cut potato tissue culture seedlings without contact was proposed. The growth of potato tissue culture seedlings after laser cutting and mechanical shearing was compared. The experimental group used CO₂ laser to cut potato tissue culture seedlings under the conditions of vertical irradiation, defocus of 12 mm and light output power of 10 W, while the control group used mechanical shearing. Results showed that potato tissue culture seedlings cut with laser did not affect its biological activity. After 21 days of culture, the survival rate, plant height, number of internodes, internode length, stem diameter, root length and fresh weight of root removal of laser cutting were better than those of mechanical shearing for both single-incision and double-incision stems. It is indicated that the non-contact cutting of potato tissue culture seedlings by laser cutting instead of traditional mechanical shearing greatly simplifies the transplantation of tissue culture seedlings, effectively avoids cross-infection of the tissue culture seedlings, and promotes the stem survival of transplanted tissue culture seedlings.

Keywords potato; tissue culture seedling; laser cutting; mechanized transplantation; mechanical shearing; non-contact cutting

(责任编辑: 陆文昌)