

不同基质和激素对野生欧洲李绿枝扦插繁殖的影响

耿文娟, 颀刚刚, 欧阳丽婷, 经建永, 马百强

(新疆农业大学林学与园艺学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要:为掌握野生欧洲李较优扦插繁殖方法, 提高其扦插成活率, 采用绿枝扦插的方式, 研究不同基质、不同种类和浓度的激素、激素处理时间对野生欧洲李扦插繁殖的影响。结果表明: 适合绿枝扦插的较优基质为珍珠岩+草炭(1:1), 成活率最高达 80.00%。经不同激素处理后, 野生欧洲李插穗的生根率均有所提高, 最高生根率达 76.67%。适合野生欧洲李绿枝扦插的较优激素是 400 mg/L(NAA+IBA)(1:1)。适合野生欧洲李绿枝扦插的较优激素处理时间为 90 s。

关键字:野生欧洲李; 绿枝扦插; 基质; 激素

中图分类号: S662.3

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)02-0076-06

Effects of Different Substrates and Hormones on Green Branches Cutting Propagation of *Prunus Domestica*

GENG Wenjuan, XIE Ganggang, OUYANG Liting, JING Jianyong, MA Baiqiang

(Xinjiang Agricultural University of Forestry and Horticulture, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to master the better cutting propagation methods of *Prunus domestica* and improve the survival rate of the cuttings, the effects of hormone and hormone treatment time on the cuttage of *Prunus domestica* were studied by green branches cutting. The results showed that the preferred substrate for green branches cutting was perlite + peat (1:1), and the survival rate was up to 80.00%. After treatment with different hormones, the rooting rate of *Prunus domestica* cuttings was increased, and the highest rooting rate reached 76.67%. The optimal hormone for green cutting of wild *Prunus domestica* was 400 mg/L (NAA + IBA)(1:1). The optimal hormone treatment time for green branches cutting of wild *Prunus domestica* was 90 s.

Key words: *Prunus domestica*; Green branches cutting; Medium; Hormone

野生欧洲李(*Prunus domestica* L.)为灌木或小乔木, 性喜温暖湿润, 树势抗性较弱, 种壳坚硬, 种子萌发率不高, 实生繁殖困难, 自然状态下主要依赖根蘖苗进行繁殖。野生欧洲李数量很少, 且仅分布于我国新疆伊犁野果林中, 受人为活动和自然灾害的影响, 其种群数量和分布面积正急剧减少, 濒临灭绝, 急需保护^[1-3]。在快繁技术中, 无性繁殖能够保持母本的优良性状^[4], 其中嫁接繁殖成本较高, 组培繁殖技术周期长、成本高、较为复杂, 而扦插繁殖具有育种周期短、操作方便、效率高、成本低等优点, 生根率较高, 可作为果树

快速繁育的方法^[5-8]。扦插繁殖是植物主要育苗方式之一, 包括扦插繁殖技术在内的无性繁殖技术在种群保护和扩繁等方面具有十分重要的意义^[9-11]。研究表明, 扦插技术在很多树种上都可用于繁育苗木^[12-13]。李志良等^[14]通过对药用植物梅片树进行扦插育苗试验, 筛选出较优的扦插基质和生长调节剂浓度。史锋厚等^[15]对插穗保留叶片数量和生长调节剂设置不同处理, 研究叶片保留数对南京椴嫩枝扦插生根的影响。

近年来, 针对野生欧洲李的研究也在逐渐增多, 但主要集中在不同居群亲缘关系的SSR分析、种子萌发特性和组织培养等方面^[16-18], 对于野生欧洲李资源保护和繁育方面的研究并不多见。鉴于此, 本文通过采用绿枝扦插繁殖方式, 分别研究不同基质、不同生长激素(种类、浓度、处理时间、相互组合)对野生欧洲李扦插繁殖效果的影响, 旨在筛选出适合野生欧洲李扦插繁殖的最佳

收稿日期: 2019-01-11

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0501504); 国家自然科学基金项目(31560545); 新疆维吾尔自治区园艺重点学科项目(2016-10758-3)

作者简介: 耿文娟(1983-), 女, 副教授, 博士, 研究方向为果树资源。

处理方法,以期快速大量繁殖野生欧洲李苗木提供理论依据和技术支持,从而为保护和扩大濒危野生欧洲李资源奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试插穗采自伊犁新源阿勒玛勒乡改良场三队核桃园山庄内3~4年生的同一基因型的不同个体植株。绿枝扦插于2018年6月底进行,在野生欧洲李原生分布地采集无病虫害并且生长健壮的枝条带回试验地备用。具体扦插方法参照乔峰等人在新疆野生櫻桃李上的操作方法^[9]。

1.2 试验设计

扦插基质筛选。采用珍珠岩、蛭石、珍珠岩+蛭石+河沙(珍+蛭+沙)1:1:1、珍珠岩+草炭(珍+草)1:1、草炭+河沙(草+沙)1:1及黑土(对照组)共6种基质,将剪好的插穗用浓度为300 mg/L NAA处理60 s后分别扦插于6种基质中,每种基质扦插30个插穗,重复3次。

激素种类及浓度筛选。选用NAA(100、200、300、400 mg/L)、IBA(100、200、300、400 mg/L)、ABT(400、600、800、1 000 mg/L)、NAA+IBA(100、200、300、400 mg/L)以及清水对照组(CK)共4种激素17个处理,分别将不同激素浓度处理60 s的插穗扦插于珍珠岩+蛭石+河沙(珍+蛭+沙)1:1:1的基质中,每个处理扦插30个插穗,重复3次。

激素处理时间筛选。将插穗分别于400 mg/L ABT生根粉溶液中浸泡0 s、30 s、60 s、90 s,然后扦插于珍珠岩+蛭石+河沙(珍+蛭+沙)1:1:1的基质中,每个处理扦插30个插穗,重复3次。

1.3 数据处理

扦插完30 d统计成活率、生根率、单株最长根长、单株最粗根粗、生根数量等数据,采用Microsoft Excel 2010和SPSS 19.0对数据进行统计分析,

并对相关指标进行单因素方差分析^[20]。

2 结果与分析

2.1 不同因素对绿枝扦插生根率的影响

如表1所示,不同基质、激素种类和浓度以及处理时间对野生欧洲李绿枝扦插生根率均有较大影响。在不同基质中,插穗成活率在36.67%~80.00%,愈伤率在10.00%~26.67%,生根率在20.00%~53.33%,不同基质插穗成活率差异较大,扦插于珍珠岩+草炭中的插穗成活率最高达80.00%,生根率最高为53.33%,其次为扦插于草炭+河沙中的插穗成活率较高为56.67%,生根率较高为40.00%,扦插于珍珠岩的插穗成活率为56.67%,生根率较低为36.67%。而扦插于黑土中的插穗成活率、生根率均最低,分别为36.67%和20.00%,生根率不及珍珠岩+草炭的1/2,差异较大。此外,扦插于珍珠岩的插穗最大值根长最长达187.63 mm,最大值根粗最粗为2.87 mm;其次为扦插于珍珠岩+草炭中的插穗最大值根长较长为144.76 mm,最大值根粗较粗为2.84 mm,扦插于草炭+河沙中的插穗最大值根长和最大值根粗均小于前两者,但最大值生根数最多为17.00条。

在4种激素的16个浓度处理中,800 mg/L ABT生根粉处理的插穗成活率最高达80.00%,其次为300 mg/L NAA处理的插穗成活率较高为73.33%,200 mg/L(NAA+IBA)处理的插穗成活率最低仅为30.00%,不足最高成活率的一半。同样800 mg/L ABT生根粉处理的插穗生根率最高达76.67%,其次为400 mg/L(NAA+IBA)处理的插穗生根率较高为63.33%。16组激素处理的插穗中生根率超过50%的共有9组,说明各种激素在一定程度上对生根率均有提高;CK生根率为40.00%,说明不经激素处理野生欧洲李绿枝扦插也可以生根,但生根率不高,而ABT生根粉处理

表1 不同因素对绿枝扦插生根率的影响

因素	处理	成活率(%)	愈伤率(%)	生根率(%)	最大值根长(mm)	最大值根粗(mm)	最大值生根数(条)
基质	珍珠岩	56.67	20.00	36.67	187.63	2.87	7.00
	蛭石	60.00	26.67	33.33	55.26	2.19	5.00
	黑土	36.67	16.67	20.00	55.11	2.4	4.00
	珍+蛭+沙	40.00	10.00	30.00	74.62	2.36	6.00
	珍+草	80.00	26.67	53.33	144.76	2.84	7.00
	草+沙	56.67	16.67	40.00	105.14	1.68	17.00
NAA	100 mg/L	40.00	13.33	26.67	41.84	2.05	5.00
	200 mg/L	56.67	20.00	36.67	83.38	2.27	6.00
	300 mg/L	73.33	16.67	56.67	114.96	2.84	7.00

续表 1

因素	处理	成活率(%)	愈伤率(%)	生根率(%)	最大值根长(mm)	最大值根粗(mm)	最大值生根数(条)	
NAA	400 mg/L	63.33	10.00	53.33	100.06	2.18	6.00	
	100 mg/L	46.67	16.67	30.00	67.68	2.11	4.00	
IBA	200 mg/L	53.33	10.00	43.33	91.96	2.16	6.00	
	300 mg/L	60.00	3.33	56.67	90.94	2.39	7.00	
	400 mg/L	70.00	10.00	60.00	107.38	2.19	7.00	
	100 mg/L	43.33	10.00	33.33	151.61	2.38	6.00	
	NAA+	200 mg/L	30.00	6.67	23.33	94.03	2.01	7.00
IBA	300 mg/L	63.33	6.67	56.67	87.78	2.83	7.00	
	400 mg/L	66.67	3.33	63.33	136.16	2.66	12.00	
	400 mg/L	56.67	16.67	40.00	124.17	2.20	7.00	
	600 mg/L	70.00	13.33	56.67	70.15	2.43	6.00	
	800 mg/L	80.00	3.33	76.67	85.93	2.31	7.00	
ABT	1 000 mg/L	60.00	6.67	53.33	72.19	2.2	7.00	
	CK	0	53.33	13.33	40.00	74.31	2.17	7.00
	30	63.33	20.00	43.33	96.43	3.18	8.00	
时间(s)	60	60.00	13.33	46.67	90.25	2.64	7.00	
	90	76.67	16.67	60.00	102.65	2.91	13.00	

的插穗生根率均在40%以上,并且随生根粉浓度的增加生根率先逐渐增大然后变小,说明低浓度的生根粉能促进根系的形成,高浓度的生根粉反而会抑制根系的形成。此外,800 mg/L ABT生根粉处理的插穗生根率最高而愈伤率仅为3.33%,200 mg/L(NAA+IBA)处理的插穗生根率最低,愈伤率也仅为6.67%,两者差异不大,说明野生欧洲李愈伤率与生根率相关性不明显。在根系生长方面,不同激素处理的插穗最大值根长在41.84~151.61 mm,其中100 mg/L(NAA+IBA)处理的插穗最大值根长最长为151.61 mm,而100 mg/L NAA处理的插穗最大值根长仅为41.84 mm,两者差异较大;单株最大生根量在4.00~12.00条,400 mg/L(NAA+IBA)处理的插穗生根量最大为12.00条,100 mg/L IBA处理的插穗单株最大值生根数最少为4.00条,生根量仅为前者1/3,说明不同的激素种类及浓度对根系生长影响较大。不同激素处理时间对插穗生根率的影响差异也较大,其中400 mg/L ABT生根粉处理90 s的插穗成活率最高为76.67%,生根率也最高达60.00%。单株最大值根长达到102.65 mm,根粗为2.91 mm,最大生根量多达13.00条,明显多于其余两组处理,说明400 mg/L ABT生根粉处理90 s是野生欧洲李绿枝扦插的最佳激素处理时间。

2.2 不同基质对绿枝扦插根系的影响

由表2可知,6种基质对野生欧洲李绿枝扦插

根系的影响差异较大,单株最长根在35.25~120.62 mm,扦插于珍珠岩+草炭中的插穗单株最长根最长为120.62 mm,其次为扦插于草炭+河沙中的插穗单株最长根较长为103.67 mm,两者根长差异不显著;扦插于蛭石、黑土中的插穗单株最长根较短,尤其是扦插于黑土中的插穗单株最长根仅为35.25 mm,为珍珠岩+草炭中插穗单株最长根的1/3左右,两者差异性极显著;扦插于珍珠岩+草炭中的插穗与扦插于蛭石、黑土基质中的插穗差异性极显著;各基质中插穗的单株最粗根在1.29~2.25 mm,其中扦插于珍珠岩+草炭中的插穗单株最粗根为2.25 mm,而扦插于珍珠岩中的插穗单株最粗根仅为1.29 mm,扦插于珍珠岩的插穗单株最粗根与3种混合基质的插穗单株最粗根差异性均极显著,与蛭石差异性不显著;不同基质的生根数量在3.00~8.20条之间,根系数量差异较大,其中扦插于珍珠岩的插穗生根数最大为8.20条,其次为扦插于珍珠岩+草炭中的插穗生根数较大为5.60条,扦插于黑土中的插穗生根数量最少仅为3.00条。扦插于珍珠岩中的插穗生根数与扦插于珍珠岩+草炭、草炭+河沙中的插穗生根数差异性显著,说明不同基质对插穗生根数量影响较大,基质是影响野生欧洲李绿枝扦插生根率的主要因素之一。综合比较各基质中插穗生根情况可知,适合野生欧洲李绿枝扦插的较优基质为草炭+珍珠岩的混合基质。

表2 不同基质对绿枝扦插根系的影响

基质	单株最长根(mm)	单株最粗根(mm)	平均根长(mm)	平均根粗(mm)	生根数量(条)
珍珠岩	59.48±23.78BbC	1.29±0.21Bb	22.64±12.49BbC	0.75±0.19Cc	7.20±4.45Aa
蛭石	38.49±9.89bC	1.74±0.25AaBb	28.37±13.73ABbC	1.02±0.35BCc	3.20±1.17Bb
黑土	35.25±9.07bC	1.90±0.34AaB	21.96±6.37Cb	0.93±0.19BCc	3.00±0.93Bb
珍+蛭+沙	57.67±11.82BbC	2.05±0.26Aa	26.83±9.88ABCb	1.13±0.41BbCc	4.40±1.02Bb
珍+草	120.62±40.41Aa	2.25±0.57Aa	53.67±11.41AaB	2.00±0.25Aa	5.60±1.02ABb
草+沙	103.67±44.22AaB	2.05±0.43Aa	55.07±26.59Aa	1.53±0.51ABb	5.33±1.33ABb

注:同列不同小写字母表示在同一水平下差异性显著($P<0.05$),不同大写字母表示在同一水平下差异性极显著($P<0.01$),下同

2.3 激素种类及浓度对绿枝扦插根系的影响

由表3可知,就激素种类而言,4种激素对野生欧洲李绿枝扦插根系生长的影响差异较大,不同浓度NAA处理的插穗单株最长根在27.29~61.76 mm,单株最粗根粗度在1.78~2.30 mm,而IBA处理的插穗单株最长根在41.21~70.57 mm,单株最粗根在1.73~1.82 mm,其中400 mg/LIBA处理的插穗单株最长根较长为70.57 mm,800 mg/L ABT生根粉处理的插穗单株最长根根长达76.78 mm,单株最粗根粗为1.92 mm,ABT生根粉虽然有利于单株最长根根长的生长,但根系较细,生根数量较少,根系生长效果不明显;NAA处理的插穗单株最长根要小于IBA处理,但单株最粗根粗度明显要大于后者;NAA处理的插穗生根数量在

2.60~4.80条,而NAA+IBA处理的插穗生根数量在4.00~6.29条,两者差异较大,NAA+IBA更有利于插穗生根。就激素浓度而言,100 mg/L IBA处理的插穗单株平均根长与400 mg/L IBA处理差异性极显著;100 mg/L NAA处理最粗根与300 mg/L NAA处理差异性极显著;100 mg/L IBA处理的插穗生根数为2.00条,而400 mg/L IBA处理的生根数达5.25条,说明不同浓度的激素对野生欧洲李绿枝扦插影响也较大。综上所述,IBA更有利于野生欧洲李根系的生长生长,NAA更有利于根系增粗生长,而400 mg/L(NAA+IBA)不仅有利于根系数量的增多,在单株最长根、单株最粗根的生长方面效果也较好,更适合于野生欧洲李绿枝扦插。

表3 激素种类及浓度对绿枝扦插根系的影响

激素种类	浓度(mg/L)	单株最长根(mm)	单株最粗根(mm)	平均根长(mm)	平均根粗(mm)	生根数量(条)
NAA	100	27.29±8.98Ab	1.78±0.18CDde	17.88±6.32ABbc	0.68±0.34Fg	2.60±1.36BCde
	200	53.19±20.28Aab	2.07±0.15AaBbCcDd	34.61±18.84AaBbc	1.31±0.52ABbCcDdEe	4.17±1.46AaBbCcde
	300	61.76±29.85Aab	2.30±0.26AaBb	31.06±25.49AaBbc	1.80±0.46Aa	4.80±1.66AaBbCcde
	400	58.95±26.49Aab	1.97±0.18ABbCcDde	40.11±18.06AaBbc	1.43±0.27AaBbCcDdEe	4.00±1.53AaBbCcde
IBA	100	41.21±18.67Aab	1.77±0.27CDde	12.55±2.75Bc	0.83±0.34EFfg	2.00±0.63Ce
	200	51.39±22.21Aab	1.82±0.23BCcDde	34.18±12.32AaBbc	0.95±0.33DEeFfg	3.40±1.62ABbCcde
	300	49.77±25.66Aab	1.78±0.3CDde	31.70±18.59AaBbc	1.33±0.25ABbCcDdEe	4.30±1.55AaBbCcde
	400	70.57±30.08Aa	1.73±0.3CDde	53.65±26.70Aa	1.43±0.36AaBbCcDdEe	5.25±1.64AaBbc
NAA+IBA	100	49.84±22.12Aab	2.36±0.42Aa	29.70±21.53AaBbc	1.71±0.41ABCcDdEef	4.57±1.68AaBbc
	200	69.00±17.71Aa	1.67±0.21Dde	40.97±13.30AaBb	1.28±0.16CDEefg	4.00±2.19ABCcde
	300	55.47±21.9Aab	2.05±0.21AaBbCcDde	44.51±20.85AaBb	1.19±0.18AaBbc	5.67±1.37AaBbCcde
	400	71.93±29.07Aa	2.20±0.26AaBbCc	43.98±18.09AaBb	1.61±0.43ABCcDdEef	6.29±2.81AaBbCc
ABT	400	68.23±34.32Aa	1.65±0.27Dde	39.37±21.75AaBbc	1.14±0.28BCcDdEeFf	3.73±1.84ABbCcde
	600	53.34±15.88Aab	1.81±0.33BCDde	27.72±10.74AaBbc	1.00±0.24CDdEeFfg	3.00±1.53BCcde
	800	76.78±37.72Aa	1.92±0.27ABCcDde	43.36±25.94AaBb	1.53±0.34AaBbCcD	3.90±1.22ABbCcde
CK	0	48.40±13.44Aab	1.84±0.40BCcDde	38.40±10.40AaBbc	1.19±0.25ABCcDdEeFf	5.20±1.47AaBbc
CK	0	58.36±15.29Aab	1.83±0.34BCcDde	39.93±16.25AaBbc	1.17±0.31BCcDdEef	5.00±1.41AaBbCc

2.4 ABT生根粉处理不同时间对绿枝扦插根系的影响

由表4可知,不同ABT生根粉处理时间对绿枝扦插根系的影响在单株最长根、单株最粗根、

表4 激素处理不同时间对绿枝扦插的影响

时间(s)	单株最长根(mm)	单株最粗根(mm)	平均根长(mm)	平均根粗(mm)	生根数量(条)
30	48.13±28.86Aa	2.29±0.69Aa	20.20±9.17Bb	1.46±0.35Ab	4.43±2.32Aa
60	55.60±25.64Aa	2.15±0.53Aa	38.88±26.98Aa	1.60±0.61Aab	5.86±3.27Aa
90	69.89±15.66Aa	2.30±0.36Aa	50.64±19.14Aa	1.88±0.48Aa	5.50±1.80Aa

平均根粗以及生根数量方面差异不显著,只在平均根长上有差异,且ABT生根粉处理30s的平均根长与处理90s差异性极显著。ABT生根粉处理90s的插穗单株最长根为69.89mm,平均根长为50.64mm,而处理30s的插穗单株最长根为48.13mm,平均根长仅为20.20mm,差异较大。在生根数量方面,ABT生根粉处理60s的插穗生根数量最大为5.86条,而处理30s的生根数量最少为4.43条。处理90s的生根数量虽然略低于处理60s的插穗,但在其余生长指标方面明显大于后者,试验结果表明,ABT生根粉处理90s时根系各项指标较高,更有利于根系的生长。

3 讨论与结论

影响插穗生根效果的因子有很多,如温度、水分、扦插时间、基质等,其中基质的保温性能、水分和通气性直接影响插穗根系生长^[21]。不同扦插基质对插穗的生根率及生根效果的影响也存在较大差异^[22-23]。研究发现,300mg/L NAA处理的插穗在不同基质中的生根率及根系生长情况差异较大,黑土的透气性较差,不利于插穗不定根的形成,生根率较低,而草炭+珍珠岩中的插穗成活率较高,是由于珍珠岩和草炭本身是一种保温材料,而且透气性好,再加上珍珠岩有较好的透水性,能够避免因基质积水过多而导致插穗腐烂。此外,混合基质的生根率及根系生长整体优于单一基质,主要原因是混合基质能够兼顾保水和透气,具有双重优势,而单一基质的优势有限,黑土虽然能够为插穗提供一定的养分,但透气性较差,含水量一高就容易造成插穗腐烂。珍珠岩虽然具有较好的透气保水能力,但其缺乏营养且离子交换能力差^[24]。除扦插基质对生根率有影响,激素种类及浓度对插穗生根率影响也不同^[25-26]。激素浓度过低起不到促进生根的作用,过高则抑制插穗生根,此结论与邓文韬等^[27]在非油果嫩枝扦插上的研究结果相似。

本研究结果表明,适合绿枝扦插的较优基质为珍珠岩+草炭(1:1),成活率最高达80.00%。400mg/L(NAA+IBA)处理的插穗生根率达63.33%,根

系长势也较好,是适合野生欧洲李绿枝扦插的较优激素;当激素浓度相同时,野生欧洲李绿枝插穗的生根率、单株最大值根长、单株最大值根粗、最大值生根数等在一定范围内呈现随激素处理时间的增加而增大的趋势,当激素处理时间为90s时根系生长最好。

参考文献:

- [1] 邱晨,廖康,孙琪,等.野生欧洲李根蘖苗自然分布规律研究[J].新疆农业科学,2014,51(3):431-436.
- [2] 欧阳丽婷,颜刚刚,谢军,等.野生欧洲李原生分布土壤养分分布特征[J].经济林研究,2018,36(3):120-126.
- [3] 耿文娟,吴玉霞,袁海英,等.野生欧洲李组织培养技术[J].经济林研究,2009,27(1):45-48.
- [4] 申展,李铁华,文仕知,等.不同因素对闽楠嫩枝扦插生根的影响[J].中南林业科技大学学报,2013,33(1):63-67.
- [5] 赵坤,吴际友,程勇,等.楸树无性系嫩枝扦插繁殖的研究[J].中南林业科技大学学报,2010,30(7):66-69.
- [6] 张猛,王丹,任少雄,等.不同基质和植物生长调节剂对费约果嫩枝扦插生根的影响[J].中国南方果树,2009,38(4):47-49.
- [7] 王海南,沈海龙,杨立学.紫椴嫩枝扦插繁殖技术研究[J].经济林研究,2012,30(3):106-110.
- [8] 董胜君,刘明国,戴菲,等.山杏嫩枝扦插生根过程中插穗内源激素含量的变化[J].经济林研究,2013,31(4):108-114.
- [9] 曾晶珏,张成,李志辉.不同生根剂及处理枝条方式对钩栗扦插生根的影响[J].中南林业科技大学学报,2016,36(6):56-60.
- [10] 刘洪章,姚秀莲,李亚东,等.ABT生根粉促进醋栗硬枝扦插生根试验初报[J].吉林农业科学,1995(1):83-85.
- [11] 温四民,张桂玲,戚家栋,等.不同磁化水处理对13种园林植物硬枝扦插生根的影响[J].东北农业科学,2020,45(1):39-44.
- [12] 郭素娟.林木扦插生根的解剖学及生理学研究进展[J].北京林业大学学报,1997,19(4):64-69.
- [13] Palanisamy K, Ansari S A, Kumar P, et al. Adventitious rooting in shoot cuttings of *Azadirachta indica* and *Pongamia pinnata* [J]. New Forests, 1998, 16(1): 81-88.
- [14] 李志良,陈聪,罗万业,等.药用植物梅片树扦插繁育技术研究[J].中南林业科技大学学报,2016,36(9):19-23.
- [15] 史锋厚,郑晨,罗帅,等.南京椴嫩枝扦插技术研究[J].中南林业科技大学学报,2017,37(8):6-10.
- [16] 吴玉霞,袁海英,曹恒,等.野生欧洲李试管苗生根与移栽技术研究[J].新疆农业科学,2009,46(1):87-90.

- [17] 耿文娟, 廖康, 刁永强, 等. 野生欧洲李不同居群亲缘关系的SSR分析[J]. 园艺学报, 2012, 39(增刊): 2602.
- [18] 耿文娟, 冯贝贝, 梅轩, 等. 野生欧洲李种子萌发特性[J]. 经济林研究, 2017, 35(1): 20-25.
- [19] 乔峰, 李虎, 朱翔, 等. 新疆野生樱桃李扦插繁殖不定根的形成及生长调节剂对扦插成活率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(5): 73-79.
- [20] 盖钧镒. 试验统计方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 7-12.
- [21] 邱凤英, 温世钊, 章挺, 等. 不同基质对黄樟扦插繁殖的影响[J]. 经济林研究, 2017, 35(4): 43-48.
- [22] 戴菲, 董胜君, 单守田, 等. 不同基质及生长调节剂对山杏扦插生根的影响[J]. 北方园艺, 2012(13): 32-34.
- [23] 柯存祥. 不同处理对四季秋海棠扦插生根的影响研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(4): 331-334.
- [24] 张树振, 金樑, 周虹, 等. 生长调节剂和基质对紫花苜蓿扦插繁殖效率的影响[J]. 草业科学, 2013, 30(6): 874-879.
- [25] 魏书, 司静. 桃硬枝扦插繁殖技术研究进展[J]. 果树科学, 1994, 11(3): 186-189.
- [26] 马明呈, 雷建元, 杨海文, 等. 不同基质和不同浓度的生根剂对文冠果的扦插育苗的影响[J]. 园艺园林科学, 2006, 22(2): 310-313.
- [27] 邓文韬, 张日清, 袁德义, 等. 植物生长调节剂对非油果嫩枝扦插生根的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(3): 160-163.

(责任编辑:王昱)

(上接第65页)及正交试验分析得知,其最适产酶条件为:初始pH 6.0,碳源淀粉,氮源酵母粉,培养时间3 d,摇床转速140 r/min,培养温度35 ℃,装液量125 mL,接种量2.0%。比较试验显示优化后CMC酶活是优化前的1.26倍。三角瓶与发酵罐产酶结果显示,发酵罐的酶活相对较低,可能是因为机械损伤较大等原因,其产酶比较结果与别人研究有所不同^[19],因此还有待进一步研究。

对酶学性质的研究得出:酶活性最适温度为30 ℃,最适pH为4.0,Na⁺、Cl⁻、NO₃⁻、CH₃COO⁻对CMC酶活均有一定的激活作用,K⁺、Mg²⁺对CMC酶活均产生抑制作用。尿素、EDTA、SDS对CMC酶活均产生抑制作用,EDTA的抑制作用最强。

参考文献:

- [1] Hasunuma T, Okazaki F, Okai N. A review of enzymes and microbes for lignocellulose biorefinery and the possibility of their application to consolidated bioprocessing technology[J]. Bioprocess Technology, 2013, 135: 513-522.
- [2] Nogawa M, Goto M, Okada H, et al. L-Sorbose induces cellulase gene transcription in the cellulolytic fungus *Trichoderma reesei*[J]. Current Genetics, 2001, 38(6): 329-334.
- [3] Lin Y S, Lie P Y. Separate and screen fungus which can biodegrade cellulose and assay its enzyme activity[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2004, 43: 82-85.
- [4] Yoon J J, Kim Y K. Degradation of crystalline cellulose by the brown-rot basidiomycete *Fomitopsis palustris*[J]. Journal of Microbiology, 2005, 43(6): 487-492.
- [5] 刘爽. 中低温秸秆降解菌的筛选及其秸秆降解效果研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [6] 魏艳红, 熊鹰, 袁永泽, 等. 纤维素酶产生菌HS-F9的筛选鉴定和产酶条件优化[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(2): 274-278.
- [7] 余婷婷, 葛骁, 李买军, 等. 秸秆污泥堆肥产纤维素酶细菌的筛选及产酶条件优化[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(6): 768-772.
- [8] 王影. 纤维素降解菌的分离筛选、酶学性质及其液体发酵条件的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013.
- [9] 范艳丽. 纤维素降解菌的筛选及特性研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2004.
- [10] 刘建国, 韩梅. 一株低温产纤维素酶细菌的筛选及其发酵产酶条件的优化[J]. 食品与发酵科技, 2014(1): 38-41.
- [11] 陈朋, 韩跃武, 胡先望. α-葡萄糖苷酶菌株的选育及发酵条件的研究[J]. 工业微生物, 2007, 37(6): 49-52.
- [12] 黄春凯, 左小明, 王红蕾, 等. 一株产纤维素酶菌株的分离、鉴定及产酶特性[J]. 微生物学通报, 2015, 42(4): 646-653.
- [13] Nagendran S, Hallen-Adams H E, Paper J M, et al. Reduced genomic potential for secreted plant cell-wall-degrading enzymes in the ectomycorrhizal fungus *Amanita bisporigera*, based on the secretome of *Trichoderma reesei*[J]. Fungal Genetics and Biology, 2009, 46(5): 427-435.
- [14] 杨艳. 纤维素降解菌的筛选、鉴定及发酵产酶特性研究[D]. 南充: 西华师范大学, 2016.
- [15] 郑丽, 张海鹏, 宋艳培, 等. 纤维素降解菌的筛选、鉴定和糖化水平研究[J]. 广东农业科学, 2017, 44(2): 104-111.
- [16] 张喜庆, 勾长龙, 娄玉杰, 等. 高效纤维素分解菌的分离鉴定及堆肥效果研究[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(2): 380-386.
- [17] 熊娟, 龚玉杰, 程志强, 等. 三种不同天然木质纤维素材料降解过程中物种种类、组成和多样性的对比分析[J]. 东北农业科学, 2018, 43(5): 31-37.
- [18] 迟畅, 李洋, 沙洪林, 等. 纤维素厌氧降解菌的分离筛选及复合菌系构建研究[J]. 东北农业科学, 2014, 39(2): 87-92.
- [19] 康东亮, 吕世峰, 阎振丽, 等. 里氏木霉R3液体深层发酵产纤维素酶工艺优化研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2006, 27(5): 47-50.

(责任编辑:王昱)