

doi:10.11937/bfyy.20181421

枸杞玻璃化组培苗恢复技术

刘 静^{1,2}, 施 明^{1,2}, 乔 改 霞^{1,2}

(1. 宁夏林业研究院股份有限公司, 宁夏 银川 750004; 2. 种苗生物工程国家重点实验室, 宁夏 银川 750004)

摘 要:以枸杞不同程度玻璃化组培苗为试材,采用组织培养法,研究了不同基本培养基、外源添加物、添加聚丙烯酰胺、改变培养条件及玻璃化苗脱水处理在玻璃化组培苗恢复中的作用,探索出最佳的枸杞玻璃化组培苗恢复方法。结果表明:1/2MS+6-BA 0.5 mg·L⁻¹+活性炭 0.5 g·L⁻¹为枸杞轻度玻璃化苗恢复最佳培养基,适宜枸杞中度玻璃化苗恢复培养基为 1/4MS+6-BA 0.5 mg·L⁻¹+活性炭 1.0 g·L⁻¹。当添加聚丙烯酰胺 8.16 g·L⁻¹,枸杞轻度、中度玻璃化苗恢复率均达到最高,聚丙烯酰胺对枸杞玻璃化的组培苗有明显的逆转效果,逆转后的组培苗生长良好。经过脱水处理后,玻璃化苗明显得到恢复。脱水 2 d 轻度玻璃化苗的恢复率可达 77.61%。随着脱水的天数增加,枸杞中度玻璃化苗恢复率逐渐提高,当脱水天数达 3 d 时,恢复率最高达 71.24%。培养期间增强封口膜的透气性和光照强度能有效提高枸杞玻璃化苗恢复率。

关键词:枸杞;组培苗;玻璃化恢复

中图分类号:S 567.1⁺9 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2019)03-0138-06

试管苗玻璃化是指试管苗半透明状,外观形态异常的现象,是植物组织培养中普遍发生的一种生理失调或生理病变,其症状为试管苗矮小,茎叶肿胀畸形,组织半透明水浸状。玻璃化苗不易分化和生根,移栽成活率很低,且很难恢复正常,严重影响组培快繁体系的稳定性^[1]。由于试管苗玻璃化现象的普遍性及危害性,玻璃化发生的原因、防止及恢复措施逐渐受到广泛的注意和研究。

罗青等^[2]以‘宁杞 3 号’茎段为外植体诱导丛生芽,研究 6-BA 浓度、蔗糖浓度、琼脂浓度、培养温度、光照时间对枸杞丛生芽增殖玻璃化的影响,但关于枸杞组培苗玻璃化恢复鲜见报道。该研究以枸杞‘宁杞 8 号’玻璃化组培苗为试验材料,研究不同基本培养基、外源添加物、培养条件及玻璃化苗脱水处理对枸杞玻璃化组培苗恢复的作用,

探索玻璃化苗向正常苗转变的最佳条件,以期为解决枸杞高质量组培苗生产中的苗木玻璃化问题提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为枸杞新品种‘宁杞 8 号’的玻璃化组培苗,分 2 种不同程度:轻度玻璃化苗,上部叶片玻璃化,呈现半透明水浸状,叶色黄绿或白绿,茎未发生玻璃化;中度玻璃化苗,部分叶片和茎上部小于 1/3 玻璃化,呈现透明肿胀。

1.2 试验方法

1.2.1 不同基本培养基及外源添加物对枸杞玻璃化组培苗恢复的影响

对 6-BA(0.5、1.0、1.5 mg·L⁻¹)、基本培养基(MS、1/2MS、1/4MS)及活性炭(0、0.5、1.0 g·L⁻¹)进行 L₉(3⁴)正交实验设计(表 1),研究不同基本培养基及外源添加物在枸杞不同程度玻璃化组培苗恢复中的作用。取轻度和中度玻璃

第一作者简介:刘静(1989-),女,硕士,助理研究员,现主要从事生物技术等研究工作。E-mail:1137416502@qq.com。

基金项目:宁夏自然科学基金资助项目(NZ16216)。

收稿日期:2018-07-12

表1 不同基本培养基及外源添加物处理
Table 1 Different treatment of basic medium and
exogenous additives

编号 No.	6-BA ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	基本培养基 Basic medium	活性炭 Activated carbon/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
1	0.5	MS	0
2	0.5	1/2MS	0.5
3	0.5	1/4MS	1.0
4	1.0	MS	0.5
5	1.0	1/2MS	1.0
6	1.0	1/4MS	0
7	1.5	MS	1.0
8	1.5	1/2MS	0
9	1.5	1/4MS	0.5

化苗,剪成2.0~2.5 cm的小段,接种到各处理中,每处理6瓶,每瓶接5株,重复3次。培养25 d后,统计玻璃化苗恢复率。

1.2.2 添加聚丙烯酰胺对枸杞玻璃化组培苗恢复的影响

比较不同浓度的聚丙烯酰胺(PAM)对枸杞不同程度玻璃化组培苗恢复的影响。试验采用单因素试验设计,设置PAM浓度梯度为0(CK)、8、16、24 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的培养基中,培养基为1/2MS+蔗糖35 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ +琼脂6.5 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ +6-BA 0.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ +NAA 0.1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。将轻度和中度玻璃化组培苗剪切成2.0~2.5 cm的小段,接种于各处理中,每处理6瓶,每瓶5株,3次重复。培养30 d后,统计玻璃化苗恢复率、芽增殖系数、苗高。

1.2.3 培养条件对枸杞玻璃化组培苗恢复的影响

在不同培养条件下进行枸杞玻璃化组培苗恢复试验,采用二因素重复试验,分得出最适宜枸杞玻璃化组培苗恢复的培养条件。将轻度和中度玻璃化组培苗剪切成2.0~2.5 cm的小段,接种于筛选出最佳恢复培养基中,分别以透气膜直径为1.0、3.0 cm封口膜封口,放置在不同光照强度下培养,光照强度设置为6 000、8 000 lx。共8个处理,每处理6瓶,每瓶5株,3次重复。培养30 d后统计玻璃化苗恢复率、芽增殖系数、苗高。

1.2.4 失水处理对枸杞玻璃化组培苗恢复的影响

将枸杞轻度和中度玻璃化苗整株放入无菌培养瓶内,每瓶放30株,封口置培养室,分别放置0(CK)、1、2、3 d后取出,剪切成2.0~2.5 cm的小

段接种于枸杞增殖培养基中:MS+6-BA 0.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ +NAA 0.1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ +蔗糖35 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ +琼脂6.5 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。每处理6瓶,每瓶5株,3次重复,培养25 d后统计其恢复率。

1.3 项目测定

玻璃化苗恢复率(%)=已恢复的正常苗数/总苗数 $\times 100$,芽增殖系数=有效不定芽总数/接种的不定芽数。

1.4 数据分析

采用DPS数据处理系统进行数据分析,运用Duncan新复极差检验法进行差异分析。

2 结果与分析

2.1 不同基本培养基及外源添加物对枸杞玻璃化组培苗恢复的影响

根据表2中K值的大小,通过6-BA、基础培养基、活性炭各因素水平间的比较,6-BA在0.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时为最优,基础培养基1/2MS时为最优,活性炭在0.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时为最优,可得出枸杞轻度玻璃化苗恢复最佳组合为处理2,即1/2MS+6-BA 0.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ +活性炭0.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,在此处理条件下,枸杞轻度玻璃化苗恢复率最高,恢复效果最佳,为72.23%,这一结果与K值分析结果一致。综合以上分析结果,确定枸杞轻度玻璃化苗恢复最佳组合1/2MS+6-BA 0.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ +活性炭0.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

处理3的枸杞中度玻璃化苗恢复率最高,为67.78%,中度玻璃化组培苗恢复效果最佳。由K'值的大小可知,处理3,即6-BA在0.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、基础培养基1/4MS、活性炭在1.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时为最优,与试验数据所得结果一致,是枸杞中度玻璃化苗恢复最优配方。

根据R值可知,3个因素对枸杞轻度玻璃化苗恢复的影响由大到小依次为6-BA、基本培养基、活性炭,可见细胞分裂素对轻度玻璃化试管苗恢复的影响较大。由R'值分析可得各因素对枸杞中度玻璃化苗恢复的影响:活性炭>基本培养基>6-BA,活性炭对中度玻璃化苗恢复效果显著。

表2 枸杞玻璃化组培苗恢复正交实验结果

Table 2 Results of orthogonal test on the induction rates of vitrified plantlets of *Lycium barbarum*

编号 No.	6-BA ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	基本培养基 Basic medium	活性炭 Activated carbon ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	轻度玻璃化苗恢复率 Recovery rate of mild vitrified seedlings/%	中度玻璃化苗恢复率 Recovery rate of moderate vitrified seedlings/%
1	0.5	MS	0.00	48.89cdDE	31.10fE
2	0.5	1/2MS	0.50	72.23aA	48.89cC
3	0.5	1/4MS	1.00	63.33aAB	67.78aA
4	1.0	MS	0.50	39.33eEF	35.55eE
5	1.0	1/2MS	1.00	58.89bBC	56.67bB
6	1.0	1/4MS	0.00	55.09bcCD	41.11dD
7	1.5	MS	1.00	37.78eF	45.56cCD
8	1.5	1/2MS	0.00	44.44deEF	32.20eFE
9	1.5	1/4MS	0.50	42.22deEF	54.44bB
K_1	62.59	51.32	41.48		
K_2	42.22	58.52	54.65		
K_3	49.47	51.48	54.43		
R	21.10	16.30	4.96		
K_1'	49.26	44.44	44.07		
K_2'	37.40	45.92	54.44		
K_3'	34.80	46.29	56.67		
R'	5.19	17.04	21.86		

注:不同小写字母表示 $P=0.05$ 水平差异显著性,不同大写字母表示 $P=0.01$ 水平差异极显著性,下同。 K 、 R 为轻度玻璃化苗分析值; K' 、 R' 为中度玻璃化苗分析值。下同。

Note: Different letters mean significance difference at 0.05 level, different capital letters mean significance difference at 0.01 level. The following K and R are the values of mild vitreous seedlings, while K' and R' are moderate values of moderate vitrified seedlings. The same below.

2.2 不同浓度的聚丙烯酰胺(PAM)对枸杞不同程度玻璃化组培苗恢复的影响

从表3可以看出,PAM添加物对于枸杞玻璃化组培苗恢复有明显的作用,添加不同浓度梯度的PAM处理组与不含PAM添加物的处理组相比恢复率显著提高。轻度玻璃化苗、中度玻璃化苗随着PAM的升高,组培苗恢复率提高,当浓度超过 $16 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,恢复率均呈现下降趋势,玻璃化苗出现萎蔫死亡现象,恢复正常组培苗叶片颜色呈现黄绿色,生长情况不

佳。综上所述,当PAM为 8 、 $16 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,分别为枸杞轻度、中度玻璃化苗恢复最佳处理。

2.3 不同培养条件对枸杞玻璃化组培苗恢复的影响

由表4可知,枸杞轻度、中度玻璃化苗使用直径 3.0 cm 的透气膜,在 8000 lx 光强下放置玻璃化苗恢复率均达到最高,芽增值系数最高,恢复苗生长健壮。说明适当提高光照强度、增加玻璃化苗与外界的通风换气,有利于枸杞玻璃化苗恢复。

表3 添加PAM对枸杞不同玻璃化程度组培苗恢复的影响

Table 3 Effect of different PAM on vitrified plantlets of *Lycium barbarum*

枸杞组培苗玻璃化苗程度 Degree of vitrification of <i>Lycium barbarum</i> in tissue culture seedlings	处理 Treatments	PAM ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	玻璃化苗恢复率 Recovery rate of vitrified seedlings/%	芽增殖系数 Shoot proliferation rate	平均苗高 Average height of seedlings/cm
轻度玻璃化苗 Mild vitrified seedlings	1	0	57.78bBC	4.7bAB	5.53cB
	2	8	74.44aA	5.57aA	6.43aA
	3	16	63.33bAB	4.00cBC	5.90bB
	4	24	47.78cC	3.20dC	5.60cB
	5	0	37.78dC	2.76dC	5.50cC
中度玻璃化苗 Moderate vitrified seedlings	6	8	46.67cB	3.76cB	5.47cC
	7	16	67.78aA	4.77aA	6.12aA
	8	24	62.22bA	4.30bAB	5.77bB

表 4 不同培养条件对枸杞玻璃化组培苗恢复的影响

Table 4 Effects of different culture conditions on the recovery of *Lycium barbarum* vitrification tissue culture plantlets

枸杞组培苗玻璃化苗程度 Degree of vitrification of <i>Lycium barbarum</i> in tissue culture seedlings	处理 Treatments	透气膜直径 Permeable membrane diameter/cm	光照强度 Light intensity /lx	玻璃化苗恢复率 Recovery rate of vitrified seedlings/%	芽增殖系数 Shoot proliferation rate of plantlets	平均苗高 Average height of seedlings/cm
轻度玻璃化苗 Mild vitrified seedlings	1	3.0	6 000	57.78bcBC	5.50bcAB	5.04cB
	2		8 000	73.33aA	6.20aA	5.85aA
	3	1.0	6 000	53.33cC	5.10bcAB	4.65dB
	4		8 000	61.11bB	5.87abAB	5.51bA
中度玻璃化苗 Moderate vitrified seedlings	5	3.0	6 000	51.11cBC	4.57bBC	4.92cB
	6		8 000	68.88aA	5.33aA	5.76aA
	7	1.0	6 000	45.55cC	4.13cC	4.53dC
	8		8 000	58.89bB	4.87bB	5.44bA

2.4 枸杞不同程度玻璃化组培苗失水处理恢复的影响

将脱水不同天数的玻璃化苗转接到增殖培养基上培养后发现,经过脱水处理后,玻璃化苗明显得到恢复。由表 5 可知,脱水 2 d 轻度玻璃化苗的恢复率可达 77.61%,但脱水 3 d 轻度玻璃化苗

由于过量失水,造成永久萎蔫而死亡,恢复率降低。枸杞中度玻璃化苗随着脱水的天数增加,恢复率提高,当脱水天数达 3 d 时,恢复率最高,达 71.24%。经最佳脱水天数处理后,轻度、中度枸杞玻璃化苗转接入增殖培养基上培养,恢复苗生长状况良好,与正常苗几乎无差异。

表 5 失水处理对枸杞不同玻璃化程度组培苗恢复的影响

Table 5 Effect of dehydration treatment on the recovery of tissue culture seedlings of *Lycium barbarum* with different vitrification degree

枸杞组培苗玻璃化苗程度 Degree of vitrification of <i>Lycium barbarum</i> in tissue culture seedlings	处理 Treatments	失水处理天数 Dehydration days/d	玻璃化苗恢复率 Recovery rate of vitrified seedlings/%
轻度玻璃化苗 Mild vitrified seedlings	1	0	12.06dC
	2	1	63.38cB
	3	2	77.61aA
	4	3	67.60bB
	5	0	10.49dD
中度玻璃化苗 Moderate vitrified seedlings	6	1	57.96cC
	7	2	67.62bB
	8	3	71.24aA

3 讨论与结论

在枸杞组织培养过程中,常常出现玻璃化现象而很难控制,在生产中玻璃化苗往往被丢弃,增加了生产成本,对于玻璃化现象采取预防和修复 2 种措施:一种是加强对材料玻璃化的预防,另一种则是将已经玻璃化的组培苗进行恢复处理。在研究玻璃化试管苗恢复技术的过程中有研究发现,适当延长培养时间可以使部分玻璃化苗转变为正常苗,但是恢复率较低并且试管苗的长势不佳,所以仍需改善培养条件以及培养基成分以获得正常试管苗^[3]。戴丽娜等^[4]研究发现,降低

MS 培养基中的大量元素,添加适量的活性炭、聚乙烯吡咯烷酮对已经玻璃化的薰衣草组培苗有显著的逆转作用,且组培苗粗壮,这与该试验枸杞轻度玻璃化苗恢复最佳组合 1/2MS + 6-BA 0.5 mg · L⁻¹ + 活性炭 0.5 mg · L⁻¹,枸杞中度玻璃化苗恢复最佳组合 1/4MS + 6-BA 0.5 mg · L⁻¹ + 活性炭 1.0 mg · L⁻¹ 的结果一致。光照强度的增加,可能会促进细胞叶绿体的形成,促进光合作用的进行,合成更多的有机物,有利于细胞壁、细胞器形态的建成,从而减少玻璃化的发生^[5]。透气膜作为培养瓶封口材料时有利于玻璃化率的降低。密闭的封口容器,加快了细胞分裂速度,加剧瓶内气体组成的改

变,不利于培养材料的蒸腾失水和瓶内外气体交换,从而影响培养材料的正常生长^[6]。该试验发现,枸杞轻度、中度玻璃化苗使用直径30cm的透气膜,在8000lx光强下放置枸杞玻璃化苗恢复率最高,这与上述结论一致。该试验研究得出,枸杞轻度组培苗脱水2d,中度枸杞组培苗脱水3d,有利于枸杞玻璃化苗的恢复,王宏伟^[7]在探讨豆梨玻璃化苗恢复方法时发现,对玻璃苗进行3d的脱水处理可以起到很好的效果,此结论与该试验相同。由于植物种类不同,适用的最佳恢复技术也不尽相同,有必要通过具体试验来明确最佳恢复措施。不同方式的处理对枸杞玻璃化恢复率的影响不一,且同一处理在不同品种间也会存在差异,其它枸杞品种的组培苗玻璃化恢复还有待进一步研究。在枸杞组培苗的培养中,应在早期预防玻璃化的发生,中期制止玻璃化的扩大,后期注重玻璃化的恢复,在最大程度上减少玻璃化带来的经济损失。虽然枸杞玻璃化组培苗通过改善培养条件、调节激素、琼脂及蔗糖等方法得到控制,但采用预防措施仍然不能完全避免枸杞玻璃化的发生,所以不应局限于防止枸杞玻璃化苗的出现,而是对其进行逆转,使其恢复为正常苗,也能有效减少损失。通过试验研究筛选并建立了枸杞玻璃化试管苗恢复技术体系,为解决枸杞高质量组培苗生产中的苗木玻璃化问题提供技术支持。该研究结果表

明,枸杞轻度玻璃化苗恢复最佳组合1/2MS+6-BA 0.5 mg·L⁻¹+活性炭0.5 mg·L⁻¹,枸杞中度玻璃化苗恢复最佳组合1/4MS+6-BA 0.5 mg·L⁻¹+活性炭1.0 mg·L⁻¹。添加8、16 g·L⁻¹ PAM时,分别为枸杞轻度、中度玻璃化苗恢复最佳处理。枸杞轻度、中度玻璃化苗使用直径30cm的透气膜,在8000lx光强下放置枸杞玻璃化苗恢复率最高。枸杞轻度组培苗脱水2d,中度枸杞组培苗脱水3d,有利于枸杞玻璃化苗的恢复。

参考文献

- [1] 胡彦,赵艳.植物组织培养技术的应用以及在培养过程中存在的问题[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2004(32):130-134.
- [2] 罗青,张曦燕,李晓莺,等.不同培养条件对枸杞组培苗玻璃化的影响[J].安徽农业科学,2008(22):9400-9401.
- [3] 蔡祖国,徐小彪,周会萍.植物组织培养中的玻璃化现象及其预防[J].植物技术通讯,2005,16(3):35-31.
- [4] 戴丽娜,于志鹏,吕国华,等.薰衣草玻璃化组培苗逆转技术研究[J].新疆农业科学,2012,49(11):2054-2061.
- [5] 齐红岩,贾卓男,陈岩.网纹甜瓜试管苗玻璃化成因研究[J].河南农业科学,2009(3):86-88.
- [6] 王丽华.银胶菊组培技术及玻璃化防治措施研究[D].雅安:四川农业大学,2005.
- [7] 王宏伟.豆梨组织培养过程中玻璃化形成机制及其恢复技术研究[D].南京:南京农业大学,2011.

Restoration of Vitrified Test-tube Plantlets of *Lycium barbarum*

LIU Jing^{1,2}, SHI Ming^{1,2}, QIAO Gaixia^{1,2}

(1. Ningxia Forestry Institute Co. Ltd., Yinchuan, Ningxia 750004; 2. State Key Laboratory of the Seedling Bioengineering, Yinchuan, Ningxia 750004)

Abstract: The effects of different basic medium, exogenous additives, adding polyacrylamide, different culture conditions and shoots of dehydration on vitrification shoots recovery by different vitrified seedlings of *Lycium barbarum* as explants for tissue culture were studied. The main purpose of the study was explore the measures of which make the vitrification shoots recovery. The results showed that 1/2 MS+6-BA 0.5 mg·L⁻¹+activated carbon 0.5 g·L⁻¹ was the best medium for the mild vitreous seedlings recovery of *Lycium barbarum*. It was suitable for the moderate vitrified seedlings recovery of *Lycium barbarum* 1/4 MS+6-BA 0.5 mg·L⁻¹+activated carbon 1.0 g·L⁻¹. When polyacrylamide 8 g·L⁻¹ and 16 g·L⁻¹ were added, the recovery rate of mild vitreous and moderate vitrified seedlings of *Lycium barbarum* was the highest. It not only could significantly inhibit the generation of vitrification of *Lycium barbarum*, but also had significant reversal effect with vitrified tissue-culturing plantlets, which grew well after reverse. After dehydration treatment, the vitrified

doi:10.11937/bfyy.20182862

金针菇、杏鲍菇菌丝对四种重金属 耐受和富集特性的研究

黄晓辉¹, 王春晖¹, 徐 宁¹, 彭运祥¹, 姜性坚¹, 黄凤兰²

(1. 湖南省食用菌研究所, 湖南 长沙 410013; 2. 宜章县福城生物科技有限公司, 湖南 郴州 424211)

摘 要:以金针菇和杏鲍菇菌为试材,在平板培养基和液体发酵培养基中添加不同浓度梯度 Pb、Cd、As、Hg 重金属,通过测量菌丝日均生长速度、菌丝体干质量、菌丝体及发酵液中重金属含量等指标,进行重金属富集模型建模,研究不同菌类对不同种类重金属耐受及富集特征,以期为菌类富集重金属机理提供参考依据。结果表明:重金属 Pb、Cd、As、Hg 对菌丝生长及菌丝球量表现为低浓度(低于 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)促进、高浓度(高于 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)抑制,适宜浓度($1 \sim 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度)的重金属 Pb、Cd、As 对菌丝的生长有一个明显前期抑制后期菌丝恢复正常生长的现象。金针菇和杏鲍菇菌丝体均表现为对重金属 Cd 和 Pb 高度富集,最大富集量分别达到 Cd $619,424 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}$ 以及 Pb $449,844 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}$,对重金属 As 和 Hg 富集量较小,最大富集量分别为 As $49,21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}$ 以及 Hg $44,40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}$ 。不同菌类菌丝体对同一种重金属的富集饱和点不同,如金针菇菌丝体对 Pb 的富集饱和点是 $452 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}$,杏鲍菇菌丝体对 Pb 的富集饱和点是 $902 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}$ 。同一菌类对不同重金属的富集饱和点差异较大,如杏鲍菇对 Cd 的富集饱和点为 $429 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}$,对 As 的富集饱和点为 $22.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}$ 。

关键词:重金属;杏鲍菇;金针菇;菌丝体;耐受;富集

中图分类号:S 646.1⁺5 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2019)03-0143-08

伴随我国城市化、工业化进程,土壤及水体中重金属污染问题已经成为不容忽视的环境问

第一作者简介:黄晓辉(1984-),女,硕士,助理研究员,现主要从事食用菌副产业循环利用及农业微生态修复等研究工作。E-mail:38534098@qq.com.

基金项目:国家科技计划课题资助项目(2013BAD16B04);湖南省重点研发资助项目(2016NK2054)。

收稿日期:2018-10-17

题^[1]。重金属作为一种重要的环境污染物质,不能被生物降解,可在各种环境介质间循环运动,形成对环境的永久性污染,严重危害生态环境及人类安全。生物吸附技术,尤其是以微生物和大型真菌作为重金属的生物吸附剂以缓解重金属毒性或从废水中回收有用的重金属得到了越来越多的关注。大型真菌菌丝体对重金属具有高富集特性,尤其在土壤、水体等受污染区域生长的大型

seedlings were obviously recovered. The recovery rate of light vitrified seedlings of dehydrated 2 days could reach 77.61%. With the increase of the number of days of dehydration, the recovery rate of medium vitrified seedlings of *Lycium barbarum* was gradually increased. When the number of dehydration days reached 3 days, the highest recovery rate could reach 71.24%. Enhancing membrane permeability and light intensity could also raise the recovery rate of vitrified seedlings.

Keywords: *Lycium barbarum*; tissue-culturing seedling; vitrification recovery