

油莎豆组织培养和快速繁殖技术研究

程 艳¹, 张海燕¹, 张 健¹, 刘佳遥¹, 魏尊苗¹, 金羽琨¹, 钱雪艳^{1*}, 齐高娃², 李红岩², 于世超²

(1. 吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心), 长春 130033; 2. 内蒙古兴安盟突泉县农业技术推广中心, 内蒙古兴安盟 137500)

摘 要: 为建立油莎豆离体再生体系, 以油莎豆顶芽为外植体, 选用MS为基础培养基, 采用正交试验设计研究6-BA、TDZ、ZT组合对油莎豆丛生芽增殖的影响。研究表明, 3种植物生长调节剂对丛生芽增殖影响的顺序为6-BA>TDZ>ZT, 最佳丛生芽诱导培养基为MS+0.5 mg/L 6-BA+0.5 mg/L TDZ+0.7 mg/L ZT。最佳不定根诱导培养基为不添加任何激素的MS培养基, 生根率可达100%, 平均生根数为5.7条。本研究为高效培育油莎豆优质种苗和优化种质资源提供了重要技术支撑。

关键词: 油莎豆; 组织培养; 再生体系; 正交试验; 生根

中图分类号: S565.9

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2025)04-0075-06

Tissue Culture and Rapid Propagation Techniques of *Cyperus esculentus* L.

CHENG Yan¹, ZHANG Haiyan¹, ZHANG Jian¹, LIU Jiayao¹, WEI Zunmiao¹, JIN Yukun¹, QIAN Xueyan^{1*}, QI Gaowa², LI Hongyan², YU Shichao²

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences(Northeast Agricultural Research Center of China), Changchun 130033; 2. Agricultural Technology Promotion Center of Tuquan County, Hinggan League 137500, China)

Abstract: To establish an in vitro regeneration system for *Cyperus esculentus* L., its apical buds were used as explants, and MS was selected as the basic medium. An orthogonal experimental design was adopted to study the effects of 6-BA, TDZ, and ZT combinations on the proliferation of cluster buds of *Cyperus esculentus* L. The results showed that the order of influence of the three plant growth regulators on the proliferation of cluster buds was 6-BA > TDZ > ZT. The optimal medium for cluster bud induction was MS + 0.5 mg/L 6-BA + 0.5 mg/L TDZ + 0.7 mg/L ZT. The optimal medium for adventitious root induction was hormone-free MS medium, with a rooting rate of 100% and an average of 5.7 roots per explant. This study provides important technical support for the efficient cultivation of high-quality seedlings and the optimization of germplasm resources of *Cyperus esculentus* L.

Key words: *Cyperus esculentus* L.; Tissue culture; Regeneration system; Orthogonal experiment; Rooting

食用植物油脂是人们生活不可或缺的食物来源, 是战略性保障物资。近年来, 随着国内需求量的显著增加, 再加上消费结构的升级, 一方面, 国产食用植物油产出总量不足、应用效能不高; 另一方面, 国内可替代性资源发掘不足、生产开

发技术缺乏, 导致我国食用植物油脂进口总量连年保持高位增长, 发展不平衡不充分的矛盾更加突出^[1-2]。根据国家粮油信息中心数据, 2022年全国45%以上的食用植物油来源于大豆, 而国产大豆仅为2 028万t, 进口大豆为9 108万t, 进口依存度高达82%以上, 严重超过国际安全警戒线。为确保我国食用油安全, 《全国“十四五”种植发展规划》明确提出多油并举的综合措施, 扩大油莎豆等新油源作物种植面积, 填补国内食用油消费市场供应需求缺口。政府相关部门高度重视油莎豆产业的发展, 将其油产品认证为无公害农产品、有机产品, 并在2015年和2016年相继发布了相关政策文件, 鼓励示范推广油莎豆等油料作

收稿日期: 2024-05-30

基金项目: 吉林省农业科技创新工程项目(CXGX2023RCG018); 吉林省科技厅重点研发计划项目(20250202023NC); 吉林省现代农业产业技术体系建设示范项目(JLARS-2025-100202)

作者简介: 程 艳(1989-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事油莎豆栽培育种研究。

通信作者: 钱雪艳, E-mail: xueyanqian@126.com

物,增加新型油源的供应^[3]。

油莎豆(*Cyperus esculentus* L.)又被称为油莎草、地下板栗、虎坚果,属于莎草科莎草属植物,地上茎叶含粗脂肪、糖、粗蛋白质、粗纤维等,可作为优良的牧草。油莎豆是一种集油料、粮食和饲料于一体的新兴、高效经济作物,主要以块茎进行繁殖^[4-6],具有较强的适应性和抗逆性,适宜沙壤土种植^[7-8]。

油莎豆作为新兴经济作物,品种的更新换代和产业发展存在紧密联系,国内在育种方面研究较少。目前,油莎豆以无性繁殖为主,但这种繁殖方式容易导致品种退化、适应能力下降、病毒积累和传播,进而造成产品质量和产量下降^[9-11]。植物组织培养技术不仅可以实现快速繁殖,同时也是培育优良品种的有效手段之一^[12-14]。通过组织培养技术能够实现种苗的规模化生产。然而,关于油莎豆的组织培养和快速繁殖技术的研究仍显不足。鉴于此,本研究以油莎豆顶芽为外植体,接种于MS或1/2MS基础培养基中,通过调节6-BA、TDZ、ZT等植物激素的浓度,进行丛生芽及根的诱导培养,以此探索出更有效的离体培养体系以促进油莎豆的快速繁殖,从而为实现油莎豆种苗的高效培育提供有力支撑,也为种质资源的优化奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料及处理

以吉林省农业科学院选育的“吉莎2号”为试验材料。

选取芽眼完整、表面无虫洞、质地饱满的块茎,自来水中浸泡24 h,置于35℃恒温培养箱中进行催芽,芽长1~3 cm从块茎上切下,剔除顶芽基部的鳞片,注意不能伤害到顶芽基部。自来水下冲洗2 h,用1 000倍液多菌灵浸泡杀菌10 min,超净工作台内用无菌水冲洗5次,接着浸泡于0.1%的HgCl₂溶液中7 min,再次用无菌水冲洗5次,最后放置在无菌纸上吸干表面水分,接种到配置好的培养基中。

1.2 丛生芽增殖培养

以MS为基本培养基(蔗糖3%、卡拉胶0.67%、pH=5.8),采用L₉(3⁴)正交试验设计,根据表1用量添加生长调节剂。生长调节剂分别为6-BA、TDZ、ZT,每种生长调节剂设定3个浓度水平:6-BA浓度分别为0.3、0.5、0.7 mg/L;TDZ浓度分别为0.3、0.5、0.7 mg/L;ZT浓度分别为0.3、0.5、0.7 mg/L。每个处理接种20瓶,重复3次。培养室每天的光照时长16 h,温度25℃。接种3 d后开始观察分化情况,培养4周后统计丛生芽分化个数,确定最佳处理。

1.3 褐化抑制剂筛选

以MS+0.5 mg/L 6-BA+0.5 mg/L TDZ+0.7 mg/L ZT(蔗糖3%、卡拉胶0.67%、pH=5.8)为基础培养基,处理如下:(1)不添加褐化抑制剂;(2)添加0.3%活性炭;(3)添加5 g/L聚乙烯吡咯烷酮(PVP)。

按外植体5个/瓶进行接种,每个处理20瓶,接种3 d后观察褐化情况,4周后统计褐化率、死亡率及成苗率。

表1 油莎豆丛生芽培养L₉(3⁴)正交试验表

Table 1 L₉(3⁴) orthogonal experimental table for the cultivation of clustered buds of *Cyperus esculentus* L.

处理	A	B	C
Treatment	6-BA	TDZ	ZT
T ₁	0.7	0.7	0.7
T ₂	0.7	0.5	0.5
T ₃	0.7	0.3	0.3
T ₄	0.5	0.7	0.5
T ₅	0.5	0.5	0.3
T ₆	0.5	0.3	0.7
T ₇	0.3	0.7	0.3
T ₈	0.3	0.5	0.7
T ₉	0.3	0.3	0.5

1.4 生根培养

以 MS、1/2MS 为基本培养基(蔗糖 3%、卡拉胶 0.67%、pH=5.8),按表 2 添加生长调节剂。每个处理

接种 6 瓶,每瓶 5 株,3 次重复。对试管苗的生根时间、根生长状况及生根条数,持续观察 15 d,统计生根率,从而找出最优的生根培养基。

表 2 油莎豆生根培养基处理
Table 2 Treatment of rooting culture medium for *Cyperus esculentus* L.

处理 Treatment	基础培养基 Basal medium	IBA	NAA
S ₁	MS	0	0
S ₂	1/2MS	0.1	0
S ₃	1/2MS	0.2	0
S ₄	1/2MS	0.3	0
S ₅	1/2MS	0	0.1
S ₆	1/2MS	0	0.2
S ₇	1/2MS	0.2	0.2

2 结果与分析

2.1 生长调节剂对丛生芽增殖的影响

丛生芽增殖过程中,将顶芽接入培养基中,12 d 左右开始逐渐长出丛生芽。由表 3 分析可知,3 种植物生长调节剂对丛生芽增殖的影响存在明显差异,顺序为:6-BA>TDZ>ZT;丛生芽在 6-BA 浓度 0.5 mg/L 时效果最佳,当大于 0.5 mg/L,诱导

数量逐渐降低,这可能和 6-BA 的浓度过高会对诱导芽原基分化产生抑制作用有关;而 TDZ 与 ZT 两种激素诱导丛生芽分化的最佳浓度分别为 0.5 mg/L、0.7 mg/L。综上分析可知,最优生长调节剂的配比为:0.5mg/L 6-BA+0.5 mg/L TDZ+0.7 mg/L ZT,经过试验得到在此浓度下丛生芽增殖系数为 6.8;继代培养的培养苗大概 1 个月丛生苗长满培养瓶。

表 3 油莎豆丛生芽培养 L₉(3⁴) 正交试验分析表
Table 3 Orthogonal experiment analysis for *Cyperus esculentus* L. multiple shoot culture L₉(3⁴)

处理 Treatment	A 6-BA	B TDZ	C ZT	丛生芽增殖系数 Growth coefficient of clustered buds
T ₁	0.7	0.7	0.7	4.8
T ₂	0.7	0.5	0.5	1.8
T ₃	0.7	0.3	0.3	2.5
T ₄	0.5	0.7	0.5	1.8
T ₅	0.5	0.5	0.3	1.8
T ₆	0.5	0.3	0.7	1.5
T ₇	0.3	0.7	0.3	6.1
T ₈	0.3	0.5	0.7	4.9
T ₉	0.3	0.3	0.5	4.5
k ₁	3.03	1.70	5.17	
k ₂	4.23	2.83	2.83	
k ₃	3.73	2.70	3.47	
R	3.12	1.26	0.93	

注:k₁、k₂、k₃分别为生长调节剂 3 个水平的平均增殖系数;R 为极差。
Note: k₁, k₂ and k₃ represent the average proliferation coefficients for the three levels of growth regulators, respectively; R denotes the range.

2.2 褐化抑制剂筛选

丛生芽增殖培养过程中,褐化现象很快发生。从接种第3天开始,无褐化抑制剂处理的外植体开始变成褐色,同时在接种位置分泌一些深色物质,影响丛生芽分化速度,并使已分化的幼芽逐渐枯萎死亡,统计结果表明,无褐化抑制剂的处理,褐化率达到47%。在添加PVP和活性炭的处理中,褐色物质分泌积累少;添加活性炭处理的

幼苗长势较粗壮、嫩绿,褐化率最低,为10%,但是影响丛生芽的增殖,可能因为活性炭既会吸附培养基中的有害成分,也会吸附其中的营养成分,从而对丛生芽的诱导分化产生了不利影响;在添加PVP的培养基中,褐化率为15%,部分丛生芽会分泌褐色物质,褐化部分较少,且对丛生芽增殖无影响。综上可知,抗褐化效果最好的方法是在培养基中添加5 g/L PVP(表4)。

表4 不同褐化抑制剂对褐化现象的影响
Table 4 Effects of different browning inhibitors on browning phenomenon

处理 Treatment	褐化抑制剂 Browning inhibitor	总个数 Total number	褐化个数 Number of browning	成苗数 Number of seedlings	褐化率/% Browning rate
R ₁	无	100	47	53	47
R ₂	0.3% 活性炭	100	10	90	10
R ₃	5 g/L PVP	100	15	85	15

2.3 生根培养

由表5可知,在生根诱导处理中,S₁、S₂、S₃、S₄处理在接种后7 d左右开始生根,根状态细长;S₅、S₆、S₇生根所需时间较长,大约需要15 d,根形态较好,多且粗壮。由此可知,在只添加IBA的培养基中,诱导生根率高,可达100%,且生根时间短;

添加NAA的培养基中生根率低且生根所需时间较长。在MS空白培养基中,生根时间短且生根率高。根据生根率、生根时间及经济效益综合分析可知,最佳生根培养基为MS空白培养基,此处理下生根率高、速度快,植株生长状况良好。

表5 油莎豆生根情况统计
Table 5 Statistics on Rooting of *Cyperus esculentus* L.

处理 Treatment	总数 Total	生根数 Root number	生根率/% Rooting rate	平均生根条数 Average number of rooting roots	生根状态 Rooting status
S ₁	30	30	100.0	5.7	根细长,易褐化
S ₂	30	30	100.0	4.6	根细长,易褐化
S ₃	30	30	100.0	5.3	根细长,易褐化
S ₄	30	30	100.0	5.5	根细长,易褐化
S ₅	30	20	66.7	6.2	须根多,粗壮
S ₆	30	18	60.0	5.1	须根多,粗壮
S ₇	30	15	50.0	4.8	须根多,粗壮

3 讨论与结论

利用块茎、块根、匍匐茎、分株等进行无性繁殖的植物,如马铃薯^[15]、甘薯^[16]、木薯^[17]、野葛^[18]、花柴^[19]、铁皮石斛^[20]等,通常容易积累病毒细菌,从而影响产量与品质,利用组织培养技术是离体快速繁殖和优化种质资源的有效方法。油莎豆组织培养方面的相关研究仍处于初级阶段,存在外植体选择有限和污染率高两大核心问题。本研究首先在35℃条件下进行块茎催芽,待芽长1~2 cm时,

作为外植体进行丛生芽诱导,此方法既减少了萌发的时间,又降低了污染率。瞿萍梅等^[21]指出,MS+0.5 mg/L 6-BA为油莎豆丛生芽增殖的最佳培养基。李佳婷等^[22]指出,MS+1.0 mg/L 6-BA+0.2 mg/L KT为油莎豆丛生芽增殖的最佳培养基,增殖系数达到7.58。本研究结果表明,MS+0.5 mg/L 6-BA+0.5 mg/L TDZ+0.7 mg/L ZT的培养基对油莎豆丛生芽增殖效果较好。这可能与试验材料的不同有关。

瞿萍梅^[21]、吴琮^[23]、黄思^[24]等研究表明,选择

1/2 MS 作为最佳油莎豆的生根培养基,而李佳婷^[22]、熊浪^[25]等研究发现在空白的 MS 培养基中油莎豆也可生根。本研究结果得出,MS 与 1/2 MS 培养基均可生根,但生根效果在空白的 MS 培养基中达到最佳,生根所需时间短,且植株长势良好,说明油莎豆生根能力强,易于生根。

本研究结果表明,油莎豆最佳丛生芽诱导培养基为:MS+0.5 mg/L 6-BA+0.5 mg/L TDZ+0.7 mg/L ZT+30 g/L 蔗糖+6.7 g/L 卡拉胶(pH=5.8)。最佳不定根诱导培养基为:MS+30 g/L 蔗糖+6.7 g/L 卡拉胶(pH=5.8)。褐化抑制剂以在丛生芽培养基中添加 5 g/L 的 PVP 为最佳。

参考文献:

- [1] 王志成,李双寿,梁雄,等.中国油莎豆产业发展现状与前景展望[J].科技和产业,2022,22(1):62-67.
WANG Z C, LI S S, LIANG X, et al. The current situation and prospects of the development of China's *Cyperus esculentus* industry[J]. Science Technology and Industry, 2022, 22(1): 62-67. (in Chinese)
- [2] 张学昆.我国油莎豆产业研发进展报告[J].中国农村科技,2019(4):67-69.
ZHANG X K. Report on the R&D progress of china's *Cyperus esculentus* industry[J]. China Rural Science & Technology, 2019 (4): 67-69. (in Chinese)
- [3] 王瑞元,王晓松,相海.一种多用途的新兴油料作物—油莎豆[J].中国油脂,2019,44(1):1-4.
WANG R Y, WANG X S, XIANG H. A versatile emerging oil-seed crop - *Cyperus esculentus* L.[J]. China Oils and Fats, 2019, 44(1): 1-4. (in Chinese)
- [4] 曹秭琦,任永峰,路战远,等.油莎豆的特性及其开发利用研究进展[J].北方农业学报,2022,50(1):66-74.
CAO Z Q, REN Y F, LU Z Y, et al. Research progress on the characteristics and development and utilization of *Cyperus esculentus*[J]. Journal of Northern Agriculture, 2022, 50(1): 66-74. (in Chinese)
- [5] 路战远,刘和,张建中,等.油莎豆产业发展现状、问题与建议[J].现代农业,2019(6):11,13.
LU Z Y, LIU H, ZHANG J Z, et al. Current situation, problems and suggestions for the development of *Cyperus esculentus* industry[J]. Modern Agriculture, 2019, 516(6): 11, 13. (in Chinese)
- [6] 马星玉,郭子玥,石慧东,等.油莎豆种植及开发利用价值研究初探[J].内蒙古林业,2024(2):29-31.
MA X Y, GUO Z Y, SHI H D, et al. Preliminary Study on the planting, development and utilization value of *Cyperus esculentus* [J]. Inner Mongolia Forestry, 2024(2): 29-31. (in Chinese)
- [7] 阳振乐.油莎豆的特性及其研究进展[J].北方园艺,2017(17):192-201.
YANG Z L. Characteristics and research progress of *Cyperus esculentus*[J]. Northern Horticulture, 2017(17): 192-201. (in Chinese)
- [8] 桑巴叶,陈启民,古丽米娜·吐尔孙江.新疆油莎豆研究及产业发展现状[J].林产工业,2025,62(3):88-92.
SANG B Y, CHEN Q M, G L M N·TUERSUNJIANG. Current status of research and industrial development of *Cyperus esculentus* L. industry in Xinjiang[J]. China Forest Products Industry, 2025, 62(3): 88-92. (in Chinese)
- [9] 张立磊,姚正阳.草莓的初代组织培养技术[J].东北农业科学,2023,48(3):87-90.
ZHANG L L, YAO Z Y. Study on tissue culture of strawberry[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2023, 48(3): 87-90. (in Chinese)
- [10] 唐凝,朱晓琴,韩霜,等.罗汉果茎段组培快繁技术研究[J].东北农业科学,2022,47(2):38-41.
TANG N, ZHU X Q, HAN S, et al. Study on tissue culture and rapid propagation of *Siraitia grosvenorii* stem[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2022, 47(2): 38-41. (in Chinese)
- [11] 杜梦卿,连朋,王丽娟.不同浓度 TDZ 和 2,4-D 组合对草莓花药组织培养的影响[J].东北农业科学,2021,46(2):73-75,131.
DU M Q, LIAN P, WANG L J. Effects of Different concentrations TDZ and 2, 4-D Combination on Anther tissue culture of strawberry[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2021, 46(2): 73-75, 131. (in Chinese)
- [12] 张宝华.植物组织培养技术及应用探究[J].现代农业研究,2023,29(12):90-93.
ZHANG B H. Research on plant tissue culture technology and its application[J]. Modern Agriculture Research, 2023, 29(12): 90-93. (in Chinese)
- [13] 王誉诺,闫冰洁,李佳璇,等.植物组织培养在作物新品种选育与后代繁育上的应用[J].陕西农业科学,2023,69(11):24-30,41.
WANG Y N, YAN B J, LI J X, et al. Application of plant tissue culture in selection and breeding of new crop varieties and progeny propagation[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2023, 69(11): 24-30, 41. (in Chinese)
- [14] 李金英,肖美卉,芦雄雄,等.响应面优化早花忍冬组培苗增殖培养条件[J].东北农业科学,2021,46(3):130-133,138.
LI J Y, XIAO M H, LU X X, et al. Optimization of culture conditions for proliferation of tissue culture seedlings of *Lonicera Praeflorens batal* by response surface methodology[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2021, 46(3): 130-133, 138. (in Chinese)
- [15] 金山,吴京姬,闫嘉琦,等.马铃薯延薯9号茎尖脱毒及成苗分析[J].黑龙江农业科学,2019(12):22-25.
JIN S, WU J J, YAN J J, et al. Virus-free of stem tip and seedling analysis of potato variety Yanshu 9[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2019(12): 22-25. (in Chinese)
- [16] 秦梅,张燕,徐美恩,等.甘薯茎尖脱毒及组培快繁技术[J].安徽农业科学,2014,42(32):11238-11239,11258.
QIN M, ZHANG Y, XU M E, et al. sweet potato stem tip detoxification and tissue culture rapid propagation technology[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(32): 11238-11239, 11258.

11258. (in Chinese)
- [17] 杜尚广, 余波. 木薯的组织培养与快繁体系建立[J]. 分子植物育种, 2020, 18(23): 7847-7853.
- DU S G, YU B. tissue culture and rapid propagation of cassava [J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(23): 7847-7853. (in Chinese)
- [18] 魏世清, 张磊, 张琴, 等. 野葛(*Pueraria lobata*)愈伤组织诱导及组织培养[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2006, 28(3): 422-424.
- WEI S Q, ZHANG L, ZHANG Q, et al. Callus induction and plantlet regeneration of pueraria in tissue culture[J]. Journal of Southwest Agricultural University(Natural Science Edition), 2006, 28(3): 422-424. (in Chinese)
- [19] 乃比江·麦图荪, 张霞, 张富春. 花花柴组织培养与植株再生体系的优化[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(10): 1829-1833, 1961.
- N B J·MAI TU SUN, ZHANG X, ZHANG F C. Optimization of tissue culture and plantlet regeneration of *Karelinia Caspica*[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011, 48(10): 1829-1833, 1961. (in Chinese)
- [20] 袁芳, 宋凯杰, 杨泽东, 等. 铁皮石斛茎段类原球茎的诱导及植株再生[J]. 东北农业科学, 2019, 44(4): 66-71.
- YUAN F, SONG K J, YANG Z D, et al. Protocorm-like Bodies Induction and plant regeneration from stem segments of *Dendrobium officinale* kimura et migo[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2019, 44(4): 66-71. (in Chinese)
- [21] 瞿萍梅, 龙春林, 程治英, 等. 油莎豆的组织培养和快速繁殖[J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(2): 331.
- ZHAI P M, LONG C L, CHENG Z Y, et al. Tissue culture and rapid propagation of *Cyperus esculentus* L. var. sativus Boeck[J]. Plant Physiology Journal, 2007, 43(2): 331. (in Chinese)
- [22] 李佳婷, 高静阳, 孙春雨, 等. 油莎豆快速繁殖体系的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2019, 27(4): 446-451.
- LI J T, GAO J Y, SUN C Y, et al. Studies on rapid propagation system of yellow nutsedge(*Cyperus esculentus* L.) in vitro[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2019, 27(4): 446-451. (in Chinese)
- [23] 吴琼. 油莎豆再生体系的建立及多倍体诱导[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- WU Q. The regeneration system of Yellow Nutsedge and the polyploid induction[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2009. (in Chinese)
- [24] 黄思. 油莎豆茎尖培养体系的构建及高效栽培技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- HUANG S. The Construction of stem tip culture system and a study of efficient cultivation technology in chufa[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [25] 熊浪. 油莎豆组培-遗传转化体系建立与优化[D]. 武汉: 湖北大学, 2024.
- XIONG L. Establishment and optimization of tissue culture - genetic transformation system of *Cyperus*[D]. Wuhan: HuBei University, 2024. (in Chinese)

(责任编辑: 范杰英)

(上接第 74 页)

- CHEN S C, WANG M, WANG J, et al. Response of seed germination and seedling physiological characteristics of *Medicago sativa* to the simulated osmotic potential of PEG6000[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(9): 2923-2931. (in Chinese)
- [25] 姜生秀, 严子柱, 吴昊. PEG6000 模拟干旱胁迫对 2 种沙冬青种子萌发的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(5): 130-136.
- JIANG S X, YAN Z Z, WU H. Effects of PEG6000 on seed germination of two species of *Ammopiptanthus* under simulated drought stress[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(5): 130-136. (in Chinese)
- [26] 李丹, 石浏芑. PEG-6000 模拟干旱胁迫对紫苏种子萌发的影响[J]. 东北农业科学, 2022, 1(2): 167-170.
- LI D, SHI L P. Effects of PEG-6000 simulated drought stress on the germination of purple perilla seeds[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2022, 1(2): 167-170. (in Chinese)
- [27] 作建芬, 林益超, 刘维维, 等. 聚乙二醇-6000 模拟干旱胁迫对三种牧草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 生态学报, 2025, 45(13): 6414-6426.
- ZUO J F, LIN Y C, LIU W W, et al. Effects of simulated drought stress with PEG-6000 on seed germination and seedling growth of three species of forage grasses[J]. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(13): 6414-6426. (in Chinese)

(责任编辑: 范杰英)