李鑫晨,陈陆琴,任保青,等.濒危植物山西黄芩组织培养与快速繁殖技术研究[J].山西农业大学学报(自然科学版),2025,45(6):43-48.
Li X C, Chen L Q, Ren B Q, et al.Study on tissue culture and rapid propagation system for the endangered species *Scutellaria shanxiensis* C. Y. Wu et H. W. Li[J].Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2025,45(6):43-48.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202503050

濒危植物山西黄芩组织培养与快速繁殖技术研究

李鑫晨,陈陆琴*,任保青,曹建庭,康昊

(太原植物园,山西 太原 030025)

摘　要:[目的]黄芩属植物(*Scutellaria* spp.)是中医药领域的重要药用资源,具有抗肿瘤、抗炎、抗氧化、抗病毒、保肝及神经保护等多方面药理作用。然而,由于生态环境的持续破坏以及野生资源的过度采挖,黄芩属植物的野生种群正面临资源枯竭的严重威胁。山西黄芩(*Scutellaria shanxiensis* C. Y. Wu et H. W. Li)作为黄芩属中唯一分布于中国山西省永济市雪花山的单域特有物种,其种群数量已降至IUCN濒危等级,亟需开展种质资源保护与可持续利用研究。[方法]本研究通过植物组织培养方法,以采自山西黄芩野生植株的幼嫩茎段为初始材料建立无菌培养体系,旨在探究不同植物生长调节剂的种类与浓度配比对山西黄芩不定芽诱导和生根的调控效应。[结果]在丛生芽诱导培养阶段,MS基础培养基添加0.4 mg/L的6-苄氨基腺嘌呤(6-BA)与0.05 mg/L的α-萘乙酸(NAA)的组合表现出最佳的诱导效果,诱导率为100%。在从生芽诱导生根阶段,在1/2MS基础培养基中生根率达到100%。将根系发育良好、长势健壮的组培苗经炼苗处理后移植至由营养土、蛭石和珍珠岩按2∶1∶1配制的复合基质中,移栽存活率为97%。[结论]山西黄芩组织培养快速繁殖体系的成功建立,可为其工厂化育苗提供理论支撑与方法依据,对其种质资源保护具有重要的理论与实践价值,有望为该物种的野外种群恢复与可持续利用提供有力支撑。

关键词:山西黄芩; 组织培养; 快速繁殖; 濒危植物保育
中图分类号:S567.219　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2025)06-0043-06

Study on tissue culture and rapid propagation system of the endangered plant *Scutellaria shanxiensis* C. Y. Wu et H. W. Li

Li Xinchen, Chen Luqin*, Ren Baoqing, Cao Jianting, Kang Hao

(*Taiyuan Botanical Garden, Taiyuan 030025, China*)

Abstract:[Objective]Plants of the genus *Scutellaria* (Lamiaceae) are important medicinal resources in traditional Chinese medicine, demonstrating a range of pharmacological properties including antitumor, anti-inflammatory, antioxidant, antiviral, hepatoprotective, and neuroprotective activities. However, wild populations of *Scutellaria* species are confronting severe threats of resource depletion due to persistent ecological destruction and excessive -wild harvesting. *Scutellaria shanxiensis* C. Y. Wu et H. W. Li, a single-domain endemic species exclusively distributed in Xuehua Mountain of Yongji City (Shanxi Province, China), has experienced a critical population decline, warranting its classification as Endangered (EN) on the IUCN Red List. This alarming conservation status necessitates immediate strategies for germplasm preservation and comprehensive research into sustainable utilization. [Methods]This study established an efficient *in vitro* propagation system using young stem segments from wild plants to investigate the regulatory effects of different types and concentration ratios of plant growth regulator on adventitious bud induction and rhizogenesis. [Results](1) MS medium supplemented with 0.4 mg/L 6-BA and 0.05 mg/L NAA achieved maximal shoot proliferation efficiency (100% induction rate); (2) Root induction demonstrated complete success

收稿日期:2025-03-27　　**修回日期**:2025-04-21
基金项目:山西省中医药科研课题(2024ZYY2C136)
作者简介:李鑫晨(ORCID:0009-0000-2127-1625),博士,工程师,研究方向:药用植物资源开发利用,E-mail:xinchenli2022@163.com
*通信作者:陈陆琴,硕士,正高级工程师,E-mail:sw3035904@163.com

(100% rooting rate) on half-strength MS medium. Acclimatized plantlets transplanted into a composite substrate (nutritional soil∶vermiculite∶perlite=2∶1∶1) exhibited a 97% survival rate. [Conclusion] The established rapid propagation protocol provided a theoretical framework and a methodological foundation for industrialized seedling production. These results carry substantial implications for the conservation of *S. shanxiensis* genetic resources, offering viable strategies for the rehabilitation of its wild populations and the sustainable utilization of this endangered species.

Keywords: *S. shanxiensis* C. Y. Wu et H. W. Li, Tissue culture, Rapid propagation, Endangered species conservation

唇形科(Lamiaceae)黄芩属(*Scutellaria* L.)植物作为传统药用资源,在全球范围内广泛分布,根据《中国植物志》记载,我国境内自然分布的黄芩属植物有98种[1]。其中,黄芩(*S. baicalensis* Georgi)的干燥根可入药,是《中国药典》收录的中药材,有清热燥湿、泻火解毒等功效[2]。黄芩属植物中普遍含有黄酮类、二萜类及苯乙醇苷类等次生代谢产物,现代药理研究揭示这类化合物具备多元化的生物活性,包括抑制肿瘤生长、对抗细菌感染、清除自由基活性氧及改善心血管功能[3],使黄芩属植物在医药产业开发中展现出巨大潜力。

在种质资源保护层面,黄芩属植物因栖息地破坏及过度采挖面临严峻挑战。以山西黄芩(*Scutellaria shansiensis* C. Y. Wu et H. W. Li)为例,作为山西省特有的珍稀植物,其地理分布呈现极端局限性。现存种群仅见于中条山脉雪花山段海拔1500 m的狭小沟谷阴湿生境[4]。通过国际自然保护联盟(The International Union for Conservation of Nature, IUCN)物种濒危等级评估体系[5]结合《中国生物多样性红色名录》的生态阈值参数判断[6],该物种因生境破碎化加剧及人为干扰等因素,其成熟个体数量在过去十年间锐减达50%以上,自然更新能力显著衰退,已达到濒危(Endangered, EN)等级A2c+B1ab(i,ii,iii)+C1标准阈值。这一严峻的生存现状不仅揭示了山西黄芩的生态脆弱性,更凸显了通过离体保护技术实现种质抢救的紧迫需求,其保护生物学研究具有重要的理论与实践意义。

值得关注的是,尽管同属近缘种如黄芩已建立成熟的组培快繁体系[7],但山西黄芩的离体再生研究仍属空白。山西黄芩作为该属的中国特有物种之一,其独特的药用价值、生态特性与濒危现状也使其成为植物学、药理学及生物多样性保护等领域重要研究对象。因此,建立该物种的高效再生体系不仅关乎种质资源保存,更对探索珍稀药用植物资源保护与可持续利用有重要科学价值。

1 材料与方法

1.1 供试材料

植物材料于2024年8月采自山西省永济市雪花山(32.50°N,110.20°E),采集后于太原植物园温室进行栽植培养,其凭证标本保存于太原植物园标本馆。

1.2 试剂材料

基础培养基:MS培养基、1/2 MS培养基均购自北京康倍斯科技有限公司。

植物生长调节剂:6-苄氨基腺嘌呤(6-Benzylaminopurine, 6-BA, 货号:BB0615)、α-萘乙酸(1-Naphthylacetic acid, NAA, 货号:AN6533)、吲哚丁酸(Indole-3-butyric acid, IBA, 货号:YI2086),均购自合肥博美生物科技有限责任公司。

1.3 试验方法

1.3.1 外植体的制备与消毒

选取山西黄芩健壮植株的新生带节茎段作为试验材料,经流动自来水持续漂洗20 min以使表面洁净。在超净工作台的无菌条件下,用经高温灭菌处理的剪刀与镊子,截取长度为1 cm的茎段作为离体培养材料。茎段首先采用75%乙醇溶液浸泡消毒45 s,然后用无菌水冲洗2~3次以去除残留消毒剂;转入0.1%$HgCl_2$溶液灭菌消毒90 s,然后用无菌水充分洗涤3~5次以去除残留消毒剂。最后将处理完毕的茎段平铺于灭菌吸水滤纸上去除表面水分,获得外植体样品以待接种。

1.3.2 丛生芽诱导处理

将灭菌处理后的外植体接种到由6-BA(浓度梯度:0.2、0.4、0.6 mg/L)和NAA(浓度梯度:0.05、0.1、0.2 mg/L)配比组成的9种MS培养基(表1)进行丛生芽诱导培养,接种30 d后测定诱导不定芽数与形成不定芽数。每个培养皿接种6个外植体,为1次重复,每个处理重复6次,共接种36个外植体。根据诱导不定芽数与形成不定芽数计算丛生芽诱导率和繁殖系数,公式如下:

丛生芽诱导率=诱导不定芽数÷接种外植体

数×100%

繁殖系数=形成不定芽数÷接种外植体数

1.3.3　生根诱导处理

将大小、长度和生长状况一致的山西黄芩丛生芽接种到由IBA(浓度:0、0.05、0.1、0.2 mg/L)和NAA(浓度:0、0.05、0.1、0.2 mg/L)配比组成的7种1/2 MS培养基(表2)进行生根诱导培养,接种15 d后使用直尺测量根长度,测定生根总苗数。每个培养皿接种6个丛生芽,1个培养皿为1次重复,每个处理重复6次,共接种36个丛生芽。根据生根总苗数计算生根率,公式如下:

生根率=生根总苗数÷接种总苗数×100%

1.3.4　炼苗与移栽

生根诱导处理后,选择根系发育良好的组培植株,将培养瓶从恒温培养室转移至驯化实验室。首先保持密闭状态培养48 h,随后进行72 h渐进式开盖驯化炼苗。炼苗结束后,用镊子分离植株,用自来水冲洗以清除根际残留培养基,移植于栽培基质(营养土:蛭石:珍珠岩=2:1:1)。20 d后统计植株成活率(成活苗数/移栽苗数×100%),观察植株生长情况。

1.4　培养条件

恒温培养室温度为(25±2) ℃,光照强度为2000 lx,光暗比12:12。

1.5　数据统计分析

使用SPSS 27.0.1软件对数据进行处理与分析,用单因素方差分析(ANOVA)计算均值与标准差,用最小显著性差异(LSD)法进行显著性差异分析。

2　结果与分析

2.1　不定芽的丛生芽诱导

在丛生芽诱导培养基上培养山西黄芩(图1A),30 d后形成明显的丛生芽(图1B)。试验结果表明,6-BA与NAA的浓度配比对山西黄芩的丛生芽诱导效率具有明显的调控作用。当MS基础培养基中添加6-BA浓度为0.4 mg/L、NAA为0.05 mg/L(A4培养基)时,外植体平均繁殖系数达到6.61±1.72,较其它培养基提高13.37%~164.40%。值得注意的是,6-BA浓度超过0.4 mg/L时,繁殖系数呈现剂量依赖性下降趋势:A7培养基(0.6 mg/L 6-BA+0.05 mg/L NAA)繁殖系数降至3.28±0.94,为A4组的50.38%,差异达到显著水平($P<0.05$);而A9培养基(0.6 mg/L 6-BA+0.15 mg/L NAA)则进一步下降至2.50±0.71,为A4组的62.18%,差异也达到显著水平($P<0.05$)。这种浓度效应提示高浓度6-BA可能抑制山西黄芩的丛生芽诱导生长。此外,NAA的协同效应分析显示,在相同的6-BA浓度下,繁殖系数随NAA浓度升高呈递减趋势,特别是6-BA为0.4 mg/L时,NAA浓度从0.05 mg/L增加至0.2 mg/L,繁殖系数下降49.62%,2个处理间差异显著($P<0.05$)。综上,山西黄芩诱导丛生芽的最佳培养基为MS培养基添加0.4 mg/L 6-BA+0.05 mg/L NAA。



A:外植体接种7 d后的小苗;B:外植体接种30 d后的丛生芽;C:不定芽接种15 d后的生根情况

A: Seedlings at 7 days after explant inoculation; B: Shoot clusters formed at 30 days after explant inoculation; C: Rooting status of adventitious shoots at 15 days after inoculation

图1　山西黄芩组织培养快速繁殖

Fig.1　Tissue culture and rapid propagation of *S. shanxiensis*

表1 植物生长调节剂对山西黄芩丛生芽诱导的影响

Table 1 Effects of plant growth regulators on multiple shoot induction of *S. shanxiensis*

培养基编号 Number of culture medium	6－BA浓度/(mg/L) Concentration of 6－BA	NAA浓度/(mg/L) Concentration of NAA	接种茎尖数 Number of inoculated shoot tips	丛生芽化茎尖数 Number of cluster shoots induced via meristem－tip culture	丛生芽诱导率/% Induction rate of cluster shoots	繁殖系数 Propagation coefficient
A1	0.2	0.05	36	36	100.00	5.83±1.92ab
A2	0.2	0.1	36	36	100.00	5.50±1.47b
A3	0.2	0.2	36	36	100.00	5.72±1.78ab
A4	0.4	0.05	36	36	100.00	6.61±1.72a
A5	0.4	0.1	36	35	97.22	4.22±1.77c
A6	0.4	0.2	36	36	100.00	3.33±0.49cd
A7	0.6	0.05	36	36	100.00	3.28±1.02cd
A8	0.6	0.1	36	35	97.22	2.50±0.71d
A9	0.6	0.2	36	35	97.22	3.00±0.97d

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column showed significant difference at 0.05 level.

2.2 不定芽的生根

山西黄芩离体不定芽在无外源植物生长调节剂培养基(B1)及包含单一生长素(IBA或NAA)的培养基中,均能在培养第7 d产生不定根,15 d后形成良好根系(图1C)。试验结果表明,IBA处理(B2～B4)与NAA(B5～B7)处理组间根系形态参数(根数、根长)均存在显著差异($P<0.05$),表明2种生长调节剂对山西黄芩的不定根诱导具有特异性调节作用。

IBA处理组(B2～B4培养基)的生根率均高于97.00%,其中0.2 mg/L IBA处理(B4)达到100.00%。当IBA浓度由0.05 mg/L(B2)增至0.2 mg/L(B4)时,根数由5.28条显著提升至7.06条($P<0.05$),但根长由1.60 cm显著缩短至1.18 cm($P<0.05$),表明IBA对山西黄芩生根诱导的效果存在剂量效应。NAA处理组(B5～B7培养基)则对山西黄芩不定芽的生根效果表现出明显抑制效应,生根率随NAA浓度升高由80.56%(B5)降至72.22%(B7),且根长与根数均显著低于对照组($P<0.05$)。NAA浓度从0.05 mg/L(B5)增至0.2 mg/L(B7)时,根数下降6.00%,根长下降56.86%,差异显著($P<0.05$),表明NAA对山西黄芩生根效果的干扰具有剂量效应。

表2 植物生长调节剂对山西黄芩不定芽生根的影响

Table 2 Effect of plant growth regulators on adventitious shoot rooting induction of *S. shanxiensis*

培养基编号 Number of culture medium	IBA浓度/(mg/L) Concentration of IBA	NAA浓度/(mg/L) Concentration of NAA	接种不定芽数 Number of adventitious shoots after inoculation	生根不定芽数 Number of rooted adventitious buds	生根率/% Rooting percentage	根数/条 Number of roots	根长/cm Length of roots
B1	0	0	36	36	100.00	5.44±2.35bc	1.51±0.56a
B2	0.05	0	36	35	97.22	5.28±2.33bcd	1.60±0.78a
B3	0.1	0	36	35	97.22	6.28±2.98ab	1.15±0.53b
B4	0.2	0	36	36	100.00	7.06±2.88a	1.18±0.46b
B5	0	0.05	36	29	80.56	4.17±3.58cd	0.51±0.38c
B6	0	0.1	36	23	63.89	2.58±2.49e	0.25±0.24d
B7	0	0.2	36	26	72.22	3.92±3.48de	0.22±0.20d

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column showed significant difference at $P<0.05$ level.

上述结果表明,IBA对山西黄芩不定芽的生根具有促进作用,而NAA则会抑制山西黄芩根系的发育。此外,试验数据表明,未添加外源生长调节剂的对照组(B1培养基)生根率也达到

100.00%,根长达(1.51±0.56) cm,在所有的处理组中仅次于B2培养基且二者差异不显著。因此,为简化快繁流程和成本,山西黄芩诱导不定芽生根的最佳培养基应为1/2 MS培养基。

2.3　炼苗与移栽

山西黄芩的组培苗移栽前采用渐进式适应性驯化策略进行炼苗,移栽20 d后统计成活率达97%,植株生长良好(图2)。



图2　山西黄芩组培苗移栽穴盘后20 d的生长情况

Fig.2　Growth performance of tissue-cultured plantlets of *S. shanxiensis* at 20 d after transplanting into plug trays

3　讨论与结论

植物生长调节剂对组织培养中的丛生芽诱导起着重要的调节作用,黄芩属植物通常使用细胞分裂素6-BA和生长激素NAA这2种植物激素协同调控丛生芽的诱导和增殖[8-10]。在培养基中添加细胞分裂素的主要目的在于促进细胞分裂,诱导芽的分化,打破顶端优势,促进芽的生长。而生长素与细胞分裂素的配合使用,对于器官形成和植物体再生可以起到调控作用[11]。在MS培养基中添加0.5 mg/L 6-BA和0.2 mg/L NAA最适合黄芩的丛生芽诱导培养[8],0.5 mg/L 6-BA和0.5 mg/L NAA组合适宜濒危植物缙云黄芩(*Scutellaria tsinyunensis* C. Y. Wu & S. Chow)的丛生芽诱导[9],1 mg/L 6-BA和0.5 mg/L NAA组合较适宜狭叶黄芩(*Scutellaria regeliana* Nakai)的丛生芽诱导[10]。本研究也选取了细胞分裂素6-BA与生长激素NAA进行山西黄芩的丛生芽诱导培养,发现当6-BA浓度超过0.4 mg/L时,丛生芽诱导的繁殖系数开始下降,相比于同属其它物种丛生芽诱导较适用的条件即0.5 mg/L 6-BA这一阈值有所降低,这可能是因为物种间的内源激素种类和浓度水平存在差异;而6-BA浓度相同时,山西黄芩的丛生芽诱导繁殖系数随NAA浓度升高也呈递减趋势,这可能是因为植物芽原基的形成主要由细胞分裂素主导[12],而高浓度的NAA打破了细胞分裂素/生长素的比例平衡,抑制了芽的形成与分化。

生长素由茎尖合成,沿植物体向下运输,有促进细胞生长和生根的作用[10]。植物组织培养中通常使用生长素类激素来促进诱导生根,0.5 mg/L IBA诱导地被菊花生根效果最好[13],0.1 mg/L IBA诱导细叶石斛生根率可达100%[14]。本研究结果表明IBA对山西黄芩的生根诱导存在剂量效应,高浓度的IBA虽然可以增加生根数目,但是显著降低了根的长度。这一结果可能是由于生长素与乙烯的相互作用,高浓度的生长素会诱导植物体内乙烯的合成,而乙烯会抑制根细胞的伸长[15]。在本试验中,添加不同浓度的NAA均抑制山西黄芩的生根,与贺美忠等[16]对黄芩组织培养与快速繁殖条件研究中发现的外源添加0.4 mg/L的

NAA促进黄芩生根这一结果存在差异。黄芩的多年生根茎为肉质,而山西黄芩的一年生根茎较为纤细,存在纤维状根,根系生长特点和形态的不同可能导致2个物种对植物激素的响应机制存在差异。

本研究成功建立了濒危植物山西黄芩的组织培养快速扩繁方法,可为山西黄芩规模化生产提供技术指导。通过组织培养获得的优质种苗,可以有效补充野外种群,缓解因生境破坏和过度采集导致的种群衰退问题,为山西黄芩种群数量的恢复和野外回归保育奠定坚实基础。

参 考 文 献

[1]中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志-第六十五卷,第二分册[M].北京:科学出版社,1977:124.
Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. Flora of China. Volume 65, Part 2[M]. Beijing: Science Press, 1977:124.

[2]国家药典委员会.中华人民共和国药典-一部:2020年版[M].北京:中国医药科技出版社,2020:314-315.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China-Part One: 2020 Edition[M]. Beijing:China Medical Science Press, 2020:314-315.

[3]李影,周小青,陈杰,等.黄芩属植物化学成分及药理作用的研究进展[J].江西中医药大学学报,2023,35(2):111-120.
Li Y, Zhou X Q, Chen J, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects from *Scutellaria*[J]. Journal of Jiangxi University of Chinese Medicine, 2023, 35(2): 111-120.

[4]《山西植物志》编辑委员会.山西植物志 第四卷[M].北京:中国科学技术出版社,2003:26-33.
Editorial Committee of Flora of Shanxi. Flora of Shanxi-Volume 4[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2003: 26-33.

[5]IUCN. IUCN Red List categories and criteria, version 3.1, second edition[EB/OL](2016-09-13)[2025-04-21]. https://portals.iucn.org/library/node/10315.

[6]环境保护部,中国科学院.中国生物多样性红色名录-高等植物卷[EB/OL](2013-09-02)[2025-04-21].https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201309/t20130912_260061.htm.
Ministry of Ecology and Environment, Chinese Academy of Sciences. China Biodiversity Red List: Higher Plants[EB/OL](2013-09-02)[2025-04-21]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201309/t20130912_260061.htm.

[7]王斌,张腾霄,孟祥才.黄芩组织培养技术及研究进展[J].中药材,2017,40(9):2233-2236.
Wang B, Zhang T X, Meng X C. Tissue culture technology and research progress of *Scutellaria baicalensis* Georgi[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2017, 40(9):2233-2236.

[8]李博凤,刘璇,杨光灿,等.黄芩(*Scutellaria baicalensis* Georgi)的组织培养快速繁殖[J].北京农学院学报,2018,33(1):6-9.
Li B F, Liu X, Yang G C, et al. Tissue culture and rapid propogation of *Scutellaria baicalensis* Georgi[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2018, 33(1):6-9.

[9]林乐.濒危植物缙云黄芩(*Scutellaria tsinyunensis*)的组织培养及其组培苗的化感自毒作用研究[D].重庆:西南大学,2020.
Lin L. Study on tissue culture of *Scutellaria tsinyunensis* and allelopathic autotoxicity ofit's tissue culture plants, an endangered species[D]. Chongqing: Southwest University, 2020.

[10]张静,牛喆,范卫芳,等.狭叶黄芩组织培养再生体系的建立[J].植物研究,2020,40(1):50-57.
Zhang J, Niu Z, Fan W F, et al. Establishing tissue culture and regeneration system of *Scutellaria regeliana*[J]. Bulletin of Botanical Research, 2020, 40(1):50-57.

[11]陈劲枫,张俊莲.植物组织培养 第3版[M].北京:中国农业出版社,2019:24.
Chen J F, Zhang J L. Plant Tissue Culture 3rd Edition[M]. Beijing:China Agriculture Press, 2019:24.

[12]林江波,王伟英,李海明,等.铁皮石斛茎段原球茎的诱导、分化与植株再生[J].福建农业学报,2016,31(10):1075-1079.
Lin J B, Wang W Y, Li H M, et al. Protocorm induction, differentiation and plantlet regeneration of stems from *Dendrobium officinale* kimura et migo[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2016, 31(10):1075-1079.

[13]陈好,莫丽文,王泽峰,等.地被菊花'珍粉'组织培养与植株再生体系的建立[J].分子植物育种,2023,21(5):1633-1640.
Chen H, Mo L W, Wang Z F, et al. Establishment of tissue culture and plant regeneration system of 'Zhenfen' *Chrysanthemum morifolium*[J]. Molecular Plant Breeding, 2023, 21(5):1633-1640.

[14]胡文,黄清俊.细叶石斛组培快繁技术的优化[J].应用技术学报,2024,24(4):492-496.
Hu W, Huang Q J. Optimization of tissue culture and rapid propagation technology of *Dendrobium hancockii* Rolfe[J]. Journal of Technology, 2024, 24(4):492-496.

[15]胡一兵,刘炜,徐国华.生长素与乙烯信号途径及其相互关系研究进展[J].植物学报,2011,46(3):338-349.
Hu Y B, Liu W, Xu G H. Research advances in auxin and ethylene signaling and effects of auxin on ethylene response of plants[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2011, 46(3):338-349.

[16]贺美忠.黄芩组织培养与快速繁殖条件的研究[J].农业科技通讯,2016(4):79-80.
He M Z. Study on tissue culture and rapid propagation conditions of *Scutellaria baicalensis* Georgi[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2016(4):79-80.

(编辑:郭玥微)