

多肉植物糯玉露离体再生影响因子研究

张紫娟^{1,2,3}, 侯雷平³, 朱木兰^{1,2*}

1. 中国科学院 上海辰山植物科学研究中心, 上海 201602;
2. 中国科学院 上海生命科学研究院植物生理生态研究所, 上海 200032;
3. 山西农业大学 园艺学院, 山西 太谷 030801)

摘要: 本研究以糯玉露的叶片为起始外植体, 对其进行了离体再生过程中相关影响因子的生物学研究, 旨在建立糯玉露高效离体再生快速繁殖体系。研究表明: 糯玉露诱导愈伤组织的最佳 α -萘乙酸(NAA, 1-naphthylacetic acid)浓度为1.5 mg/L, 出愈率达87.30%, 愈伤组织比重为0.74 g/cm³; 最适宜的芽诱导培养基为MS+1.0 mg/L 6-苄氨基腺嘌呤(6-BA, 6-Benzylamino purine)+0.3 mg/L NAA, 不定芽诱导率为93.19%, 平均不定芽数为8.6个; 最适宜的芽伸长培养基为MS+0.3 mg/L 6-BA+1.0 mg/L 赤霉素(GA₃, gibberellin A3), 不定芽伸长率为74.67%, 芽的均伸长度为2.26 cm; 最适宜的生根培养基为1/2MS+2.0 mg/L NAA+0.5 mg/L 吲哚丁酸(IBA, 3-indolebutyric acid), 生根率可达92.18%, 移栽存活率可达62.19%。本研究以糯玉露叶片为外植体, 建立了离体再生体系, 提高了多肉植物糯玉露的繁殖效率, 以期满足多肉植物糯玉露的市场产业需求。

关键词: 糯玉露; 叶片; 再生体系

中图分类号: S 682.33

文献标识码: A

文章编号: 2096-3491(2018)03-0226-06

Study on influence factors of *in vitro* regeneration of *Haworthia cooperi* Baker 'Nuoyulu'

ZHANG Zijuan^{1,2,3}, HOU Leiping³, ZHU Mulan^{1,2*}

1. Institute of Physiology & Ecology, Shanghai Chenshan Botanical Research Center, Shanghai 201602, China;
2. Institute of Physiology & Ecology, Shanghai Institutes for Biological Sciences, CAS, Shanghai 200032, China;
3. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China)

Abstract: In this study, the leaves of 'Nuoyulu' was used as the initial explants, and biological studies were carried out on related factors affecting *in vitro* regeneration to establish an efficient regeneration system for *Haworthia cooperi* Baker 'Nuoyulu'. The results showed that the optimum 1-naphthylacetic acid (NAA) concentration in callus occurrence was 1.5 mg/L and the callus induction rate was 87.30%, with the callus proportion of 0.74 g/cm³. The optimum medium for the adventitious bud occurrence was MS+1.0mg/L 6-benzylamino purine (6-BA)+0.3 mg/L NAA. The frequency of differentiation was 93.19%, and average number of adventitious buds was 8.6. The suitable medium for adventitious bud elongation was MS+0.3 mg/L 6-BA+1.0 mg/L gibberellin A3 (GA₃), the elongation efficiency was about 74.67%, and the average shoot length was 2.26 cm. The optimum rooting medium was 1/2MS+2.0 mg/L NAA+0.5 mg/L 3-indolebutyric acid (IBA), the rooting rate reached up to 92.18%, and the survival rate of transplanting reached up to 62.19%. The conclusion is that the regeneration system of the leaves of 'Nuoyulu' *in vitro* is established, which

收稿日期: 2018-02-12 修回日期: 2018-04-23

作者简介: 张紫娟(1994-), 女, 硕士生, 研究方向: 现主要从事植物离体再生与遗传转化研究。E-mail: zijuanzhang885@163.com

*通讯联系人 E-mail: mlzhu@sippe.ac.cn

基金项目: 上海市绿化和市容管理局辰山专项(G182404)

引用格式: Zhang Z J, Hou L P, Zhu M L. Study on influence factors of *in vitro* regeneration of *Haworthia cooperi* Baker 'Nuoyulu' [J]. Biotic Resources, 2018, 40(3): 226-231.

张紫娟, 侯雷平, 朱木兰. 多肉植物糯玉露离体再生影响因子研究[J]. 生物资源, 2018, 40(3): 226-231.

improves the reproductive efficiency of *Haworthia cooperi* Baker 'Nuoyulu' and should satisfy the demand of the market industry.

Key words: Nuoyulu; leaf; regeneration system

0 引言

多肉植物(succulent plant)是指植物的营养器官具有发达的薄壁组织,可以贮存大量的水分和养分,外型上看起来肥厚多汁的一类植物^[1]。近年来,因其种类繁多,形态奇特,观赏性强,应用性广等特点,多肉植物深受消费者的喜爱与热捧,在世界各国的植物观赏和植物种植中均占有重要地位^[2]。

糯玉露是多肉植物中百合科(Liliaceae Juss.)十二卷属(*Haworthia Duval*)中玉露(*Haworthia cooperi* Baker)的一个珍贵品种。植株株型紧凑,晶莹剔透,成品糯玉露窗型较大,皮色光亮,观赏价值极高。就多肉植物玉露而言,选育出的优良单株或品种(系),为保证其精品玉露的优良特性,常采用叶插和底座繁殖等无性繁殖方式来扩大种群数量^[3,4]。然而,这些繁殖方法容易损害母本,且繁殖系数小、繁殖速度慢,无法满足市场需求,导致其价格居高不下^[5,6]。糯玉露是其中一种相对市场稀缺、价格较昂贵、常规无性繁殖无法满足市场需求的一种精品玉露,而组织培养是快速繁殖的最有效方法。因此,在本研究中以糯玉露的叶片为起始外植体,对其进行离体再生研究,以期获得性状良好、遗传稳定的商品用苗,为多肉植物糯玉露的快速繁殖和种苗生产提供技术参考。

1 材料与基本培养基

1.1 实验材料

糯玉露的无菌叶片。实验材料由本实验室储备提供,取材为糯玉露无菌苗的外圈叶片。

1.2 基本培养基与培养条件

以MS为基本培养基,添加30 g/L蔗糖和7 g/L琼脂粉,pH 5.80~5.82;所有培养基经 1×10^5 Pa灭菌17 min,植物激素经过滤灭菌后添加到受试培养基。培养条件为:光照强度1 500~2 500 lx,光照时长每天16 h,温度(23±1) °C,后续实验中如无特殊说明,则培养条件与此一致。

2 方法

2.1 愈伤组织诱导

将生长状况良好的无菌苗叶片接种至附含不同浓度 α -萘乙酸(NAA, 1-naphthylacetic acid, 0、

0.5、1.0、1.5和2.0 mg/L)的MS培养基上。暗培养7 d后转入弱光条件下继续培养。每瓶接种3~5个叶片,每个处理设置3次重复。记录愈伤组织的启动天数,40 d后统计出愈率和愈伤组织比重。

2.2 不定芽分化

将诱导出的愈伤组织接种于附含不同浓度6-苄氨基腺嘌呤(6-BA, 6-Benzylamino purine, 0、1.0、2.0和3.0 mg/L)和NAA(0、0.1、0.3和0.5 mg/L)组合的MS培养基上。每瓶接种3个愈伤组织,每个处理设置3次重复。观察生长状况,30 d后统计愈伤组织分化的均不定芽数和不定芽诱导率。

2.3 不定芽伸长

将上述诱导出的不定芽转接至附含不同浓度6-BA(0、0.1、0.3和0.5 mg/L)和赤霉素(GA₃, Gibberellin A₃, 0、1.0、1.5和2.0 mg/L)组合的MS培养基上。每瓶接种3个丛芽,每个处理设置3次重复。观察生长状况,30 d后统计不定芽伸长率和均伸长长度。

2.4 生根培养

选取长势良好的芽苗接种至附含不同浓度NAA(0、1.0、2.0和3.0 mg/L)和IBA(吲哚丁酸, 3-indolebutyric acid, 0、0.5和1.0 mg/L)组合的1/2MS培养基上。每瓶接种3个芽苗,每个处理设置3次重复。观察生长状况,30 d后统计生根率和生根情况,确定最佳生根培养基。

2.5 炼苗与移栽

选取长势良好的生根苗,将其培养瓶开口并加入少量蒸馏水在自然光下进行炼苗,2 d后取出糯玉露生根苗,用自来水将根部的培养基冲洗干净,并适当对根部进行修剪后置于暗处风干2 d,然后移栽至装有珍珠岩、泥炭和园土(质量比为1:1:1)混合土的苗钵中,放在栽培温室中,并保持一定的温湿度,20 d后统计糯玉露生根苗的移栽存活率。

2.6 数据的统计与处理

数据统计分析采用Microsoft Excel 2013和IBM SPSS Statistics Version 20软件进行处理。数据统计公式有:

出愈率(%) = 形成愈伤组织的叶片个数/接种总数 × 100%

愈伤组织比重(g/cm³) = 总愈伤组织的鲜重(g)/总愈伤组织的体积(cm³)

不定芽分化率(%) = 分化出不定芽的愈伤组织数/接种数 × 100%

生根率(%) = 生根的芽苗数/接种的总芽苗数 × 100%

移栽存活率(%) = 存活的糯玉露数/移栽的生根苗总数 × 100%

3 结果与分析

3.1 不同浓度NAA对糯玉露叶片愈伤组织诱导的影响

将糯玉露叶片接种到富含不同浓度NAA的MS培养基上,暗培养7 d后,叶片开始愈伤化,在弱光下培养1~2周后,叶片逐渐膨大并诱导出浅绿色、致密的愈伤组织(图1a、1b)。结果如表1所示,随着NAA浓度的逐渐增加,启动时间逐渐递减,出愈率逐渐增加,愈伤组织比重呈先上升后下降的趋势。当NAA浓度为1.5 mg/L时,启动时间为8 d左右,出愈率为87.30%,愈伤组织比重可达0.74 g/cm³,愈伤组织诱导效果最佳,质地较为紧密,有利于后期的不定芽分化,愈伤组织呈翠绿色,增殖速度较快。而当NAA的浓度小于1.5 mg/L时,启动时间较长,出愈率和愈伤组织比重均较低;当NAA浓度为2.0 mg/L时,启动时间较短,出愈率最高,为96.08%,虽然愈伤组织增殖速度是实验组中最快的,但其愈伤组织比重仍相对较低,且愈伤组织呈淡绿色,质地较疏松,活力较差。因此,糯玉露叶片诱导愈伤组织的最佳NAA浓度为1.5 mg/L。

表1 不同浓度NAA对糯玉露叶片愈伤组织诱导的影响
Tab.1 Effect of different concentrations of NAA on leaf callus occurrence of 'Nuoyulu'

NAA浓度/ mg·L ⁻¹	启动时间/d	出愈率/%	愈伤组织比 重/g·cm ⁻³
0	12.07±0.45 ^a	33.81±0.81 ^d	0.30±0.11 ^c
0.5	10.19±0.28 ^b	67.99±1.28 ^c	0.38±0.12 ^{bc}
1.0	9.25±0.53 ^b	74.87±0.89 ^b	0.62±0.21 ^{ab}
1.5	7.80±0.59 ^c	87.30±1.35 ^b	0.74±0.13 ^a
2.0	7.56±0.52 ^c	96.08±0.77 ^a	0.65±0.12 ^{ab}

注:同列中不同小写字母表示在0.05水平上差异显著

Note: different lowercase letters in the same column indicate significant differences at the 0.05 level

3.2 不同激素组合对糯玉露不定芽分化的影响

将生长状况良好的愈伤组织转接到诱导不定芽的培养基中,愈伤组织增殖,颜色变深,约7~14 d

后,有少量的淡绿色丛芽发生,15~30 d后,诱导出大量丛芽,生长状况良好,部分芽可形成小苗(图1c、1d)。由表2可以看出,添加激素的处理比未加激素的处理对不定芽诱导的效果更明显,且随着激素浓度的变化对其影响又有所差异。当NAA浓度为0.3 mg/L,6-BA浓度为1.0 mg/L时,不定芽诱导效果最佳,诱导率可达93.19%,平均不定芽数为8.60个。而当NAA和6-BA的浓度过高或者过低时,不定芽诱导效果均不佳,当浓度较低时,不定芽诱导率较低,诱导出的不定芽数较少;当浓度高于最佳组合浓度时,不定芽诱导率和平均不定芽数仍低于最佳处理的组合,其原因可能是激素浓度过高,愈伤组织易玻璃化,影响不定芽后续的分化。

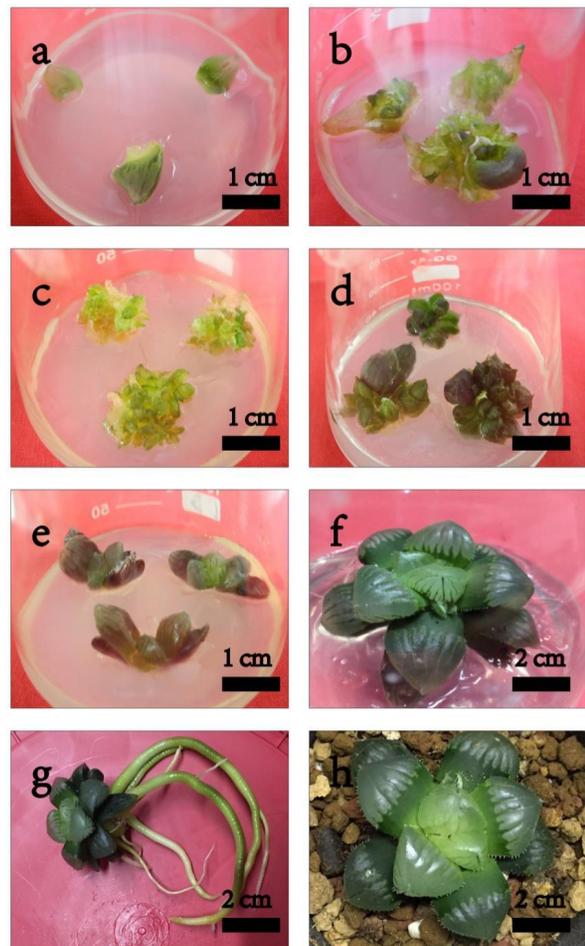


图1 糯玉露叶片离体再生

Fig. 1 Leaf regeneration *in vitro* of 'Nuoyulu'

a: 糯玉露叶片; b: 叶片诱导出的愈伤组织; c: 愈伤组织增殖; d: 愈伤组织诱导出不定芽与成型幼苗; e: 幼苗伸长; f: 糯玉露植株; g: 植株生根; h: 植株移栽
a: 'Nuoyulu' leaves; b: induced callus; c: callus increased; d: induced adventitious buds and seedlings; e: seedling elongation; f: 'Nuoyulu' plant; g: plant rooting; h: transplanted plant

因此,糯玉露最佳不定芽分化培养基为:MS+0.3 mg/L NAA+1.0 mg/L 6-BA。

表2 不同激素组合对糯玉露不定芽分化的影响

Tab. 2 Effect of different hormone combinations on adventitious bud induction of 'Nuoyulu'

NAA 浓度/ mg·L ⁻¹	6-BA 浓度/ mg·L ⁻¹	不定芽诱导 率/%	平均不定芽数/个
0	0	58.07±1.41 ^g	4.05±0.46 ^e
0.1	1.0	67.22±1.58 ^c	5.43±0.34 ^d
0.1	2.0	71.33±1.25 ^d	6.18±0.32 ^{cd}
0.1	3.0	82.82±1.54 ^c	7.43±0.21 ^b
0.3	1.0	93.19±2.73 ^a	8.60±0.41 ^a
0.3	2.0	88.12±1.18 ^b	7.48±0.33 ^b
0.3	3.0	82.67±1.10 ^c	7.16±0.10 ^b
0.5	1.0	72.63±1.67 ^d	6.80±0.49 ^{bc}
0.5	2.0	73.52±1.85 ^d	6.89±0.51 ^{bc}
0.5	3.0	62.11±0.87 ^f	5.62±0.44 ^d

注:同列中不同小写字母表示在0.05水平上差异显著

Note: different lowercase letters in the same column indicate significant differences at the 0.05 level

3.3 不同激素组合对糯玉露不定芽伸长的影响

将上述不定芽分化良好的丛芽和已形成单株的小苗,转接到不定芽伸长的培养基中,10~15 d后,不定芽开始伸长,20~30 d后,大部分苗已具备成株形态(图1e、1f)。由表3可以看出,GA₃对不定芽伸长的影响较大,当6-BA浓度为0.1 mg/L时,不定芽伸长率和均伸长长度,均随着GA₃浓度的增加而增加;当6-BA浓度为0.3 mg/L时,随着GA₃浓度

表3 不同激素组合对糯玉露不定芽伸长的影响

Tab. 3 Effect of different combination of hormones on the bud length of 'Nuoyulu'

GA ₃ 浓度/ mg·L ⁻¹	6-BA浓度/ mg·L ⁻¹	不定芽伸长率/%	均伸长长度/cm
0	0	30.00±0.79 ^g	0.31±0.13 ^d
1.0	0.1	45.13±1.32 ^f	0.61±0.12 ^d
1.5	0.1	58.00±1.45 ^e	1.18±0.17 ^c
2.0	0.1	64.67±1.94 ^e	1.48±0.15 ^{bc}
1.0	0.3	74.67±1.92 ^c	2.26±0.43 ^a
1.5	0.3	61.94±1.08 ^a	1.67±0.17 ^{bc}
2.0	0.3	62.30±1.33 ^b	1.84±0.16 ^{ab}
1.0	0.5	68.52±1.09 ^{cd}	1.53±0.25 ^{bc}
1.5	0.5	60.55±1.73 ^c	1.60±0.24 ^{bc}
2.0	0.5	52.70±1.32 ^d	1.37±0.16 ^{bc}

注:同列中不同小写字母表示在0.05水平上差异显著

Note: different lowercase letters in the same column indicate significant differences at the 0.05 level

的递增,不定芽伸长率和均伸长长度变化波动较大,在GA₃浓度为1.0 mg/L时,不定芽伸长效果最佳,不定芽长势较好,伸长率达74.67%,均伸长长度为2.26 cm;当6-BA浓度为0.5 mg/L时,随着GA₃浓度的递增,不定芽伸长率和均伸长长度呈现递减趋势,高浓度激素对不定芽伸长产生抑制作用,不易伸长,芽苗活力较差,不利于后续的生根和移栽。因此,糯玉露最佳的不定芽伸长的培养基为:MS+1.0 mg/L GA₃+0.3 mg/L 6-BA。

3.4 不同激素组合对糯玉露生根与移栽的影响

将上述长至2 cm左右的无菌苗转接到1/2MS的生根培养基中,研究不同浓度NAA和IBA组合对糯玉露生根的影响。10~15 d后开始诱导不定根,30 d后,可选择根系健壮的植株进行移栽(图1g、1h)。由表4可知,未添加激素的处理,生根频率和移栽存活率均最低,且诱导出的不定根粗短、数量少、无须根。随着NAA和IBA浓度的增加,生根频率和移栽存活率呈先增大后降低的趋势,当IBA浓度为0.5 mg/L, NAA浓度为2.0 mg/L时,生根效果最佳,生根频率可达92.18%,移栽存活率为62.19%。而当激素浓度过高时会产生一定的抑制作用,不利于生根。由研究结果可知,不仅生根频率受激素组合的影响,移栽存活率也随着激素组合的变化而不同。在移栽时,应选择根柔韧性较好,肉质化程度低,须根较多的幼苗进行移栽,这样可减少在栽培过程中,对栽培用土进行压紧压实时易把根损伤的状况,并有利于提高存活率。因此,在生根移栽过程中,植株的成活率不仅与移栽条件和栽后管理水平有关,与激素的诱导也有一定的关系。可见,糯玉露最佳的生根培养基为:1/2MS+

表4 不同激素组合对糯玉露生根的影响

Tab. 4 Effects of different hormone combinations on the rooting of 'Nuoyulu'

NAA 浓度/ mg·L ⁻¹	IBA 浓度/ mg·L ⁻¹	生根频率/%	移栽存活率/%
0	0	61.81±0.69 ^e	36.89±0.28 ^e
1.0	0.5	75.89±1.12 ^c	46.19±1.14 ^d
2.0	0.5	92.18±1.69 ^a	62.19±1.53 ^a
3.0	0.5	81.43±1.44 ^b	52.86±1.36 ^c
1.0	1.0	83.15±0.82 ^b	55.66±0.79 ^b
2.0	1.0	75.48±0.66 ^c	53.32±0.78 ^{bc}
3.0	1.0	69.77±0.89 ^d	45.52±1.04 ^d

注:同列中不同小写字母表示在0.05水平上差异显著

Note: different lowercase letters in the same column indicate significant differences at the 0.05 level

2.0 mg/LNAA+0.5 mg/L IBA。

4 讨论

近年来,随着多肉植物市场需求的增加,越来越多的学者对其进行研究,有关多肉植物组织培养研究的报道与文献逐渐增多。就多肉植物组织培养而言,外植体的选择尤为重要。有学者分别以冰灯玉露^[7]、毛玉露^[8]的花萼作为外植体,对其进行了组织培养与快速繁殖的研究。也有以水晶掌^[9]、花影寿^[10]的叶片为起始外植体,进行组织培养的研究。而本研究选用糯玉露的叶片进行离体再生培养,虽然对母株有一些损伤,但避免了选用花萼对时间的要求,取材更方便。在本研究中,通过组织培养的方式,提高了糯玉露的不定芽分化率、再生频率以及移栽成活率,与相关多肉的组织培养研究结果一致^[11-13],均对多肉植物的研究和推广提供了理论和实践意义。组织培养技术对于多肉植物快速繁殖而言是一种行之有效的方法,不仅能突破自然环境的限制,还可以实现规模化生产,满足消费需求,稳定市场,并且对于多肉植物的种质资源筛选、名贵品种的保种,均具有不可小觑的意义^[14]。

研究中发现,糯玉露在不定芽伸长阶段会出现生根现象,在此现象的影响下,糯玉露会出现不定芽伸长缓慢甚至不再伸长的状况,可通过缩短继代天数,切除根系加快转接频率解决此问题。在本研究中仍存在诸如芽苗易徒长、品相不佳等现象,在接下来的研究中,将致力于解决此类问题。在本研究中,研究结果虽显示繁殖系数较高,但统计数据仍较缺失,希望在以后的研究中,对此及其他相关生产中的技术指标进行统计分析,以期为多肉植物糯玉露的快速繁殖和种苗生产提供较全面的技术参考。

参考文献

- [1] Xie W S, Xu M S. Succulent plant [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999.
谢维荪, 徐民生. 多浆花卉[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [2] Cheng X X. The future development and application of succulent plants [J]. Science and Technology, 2015, 25(26): 88.
程星星. 多肉植物的未来发展及应用[J]. 科技展望, 2015, 25(26): 88.
- [3] Guo S H, Zhu Y X, Guan Y J. Key techniques for rapid propagation of *Haworthia cooperi* var. *pilifera* of Liliaceae [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(34): 85-89.
郭生虎, 朱永兴, 关雅静. 百合科十二卷属玉露的组培快繁关键技术研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(34): 85-89.
- [4] Huang X S. Fascinating fleshy flower world twelve genus (soft lines) [J]. Flower Plant & Penjing, 2002, (2): 15.
黄献胜. 奇趣的多肉花卉世界十二卷属(软叶系)[J]. 花木盆景(花卉园艺), 2002, (2): 15.
- [5] Xie W S. The Succulents industrialization [J]. China Flower & Penjing, 2004, (6): 28-30.
谢维荪. 也谈多肉植物产业化[J]. 中国花卉盆景, 2004, (6): 28-30.
- [6] Dui B F. Reproduction and maintenance of *Haworthia cooperi* Baker [J]. China Flowers & Horticulture, 2016, (2): 24-26.
兑宝峰. 玉露繁殖与养护[J]. 中国花卉园艺, 2016, (2): 24-26.
- [7] Song Y. Culture and rapid propagation of *Haworthia cooperi* Baker [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014, (18): 164, 166.
宋扬. 冰灯玉露的组织培养与快速繁殖技术研究[J]. 现代农业科技, 2014, (18): 164, 166.
- [8] Gao Y, Wang Y X, Sun T, et al. Tissue culture and rapid propagation of *Haworthia cooperi* var. *venusta* M. B. Bayer [J]. Bulletin of Biology, 2010, 45(6): 54-55.
高越, 王娅欣, 孙涛, 等. 毛玉露的组织培养与快速繁殖[J]. 生物学通报, 2010, 45(6): 54-55.
- [9] Huang S H, Xiao H Y, Hong Y P. Tissue culture and rapid propagation of *Haworthia cymbiformis* [J]. Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition), 2014, 30(5): 96-100.
黄素华, 肖惠匀, 洪燕萍. 水晶掌组织培养与快速繁殖[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2014, 30(5): 96-100.
- [10] Yang J, Yu A J, Zhou Y, et al. Study on *in vitro* rapid propagation of succulents, twelve volume of flowers [J]. Shanghai Agricultural Science and Technology, 2017, (2): 83-84.
杨娟, 俞爱军, 周燕, 等. 多肉植物十二卷花影寿离体快繁技术研究[J]. 上海农业科技, 2017, (2): 83-84.
- [11] Huang L H, Wang Y S, Weng F F, et al. The establishment of system for induction of callus of Crassulaceae plants [J]. South China Agriculture, 2016, 10(25): 59-62.
黄利辉, 王艺胜, 翁飞凤, 等. 景天科多肉植物愈伤组织诱导体系的建立[J]. 南方农业, 2016, 10(25): 59-62.
- [12] Wang Q, Zuo Z Y, Song X T, et al. Tissue culture

- and rapid propagation of *Haworthia emelyae* var. *majar* (G. G. Smith) M. B. Bayer [J]. *Plant Physiology Communications*, 2008, (1): 123-124.
- 王泉, 左志宇, 宋晓涛, 等. 百合科多肉植物美吉寿的组织培养与快速繁殖[J]. *植物生理学通讯*, 2008, (1): 123-124.
- [13] Wang Z S, Wang G D, Wang Y. Study on *in vitro* culture and rapid propagation in *Haworthia emelyae* var. *emelyae* V. Poelln 'Miracle' [J]. *Genomics and Applied Biology*, 2014, 33(6): 1329-1335.
- 王紫珊, 王广东, 王雁. 多肉植物白银寿'奇迹'的离体培养与快速繁殖[J]. *基因组学与应用生物学*, 2014, 33(6): 1329-1335.
- [14] Liu F, Tang Y H, Yuan Y M, *et al.* Tissue culture of *Sedum clavatum* [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2016, 51(2): 251-256.
- 刘芳, 唐映红, 袁有美, 等. 多肉植物劳尔的组织培养[J]. *植物学报*, 2016, 51(2): 251-256.
-