

‘库尔勒香梨’微繁生根培养基大量元素优化方法的比较

魏 鹏¹, 刘 彤^{2*}, 张元杭³

(1. 宁夏职业技术学院 植物组培快繁中心, 宁夏 银川 750002; 2. 新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆 石河子 832003;
3. 石河子大学 生命科学学院, 新疆 石河子 832003)

摘 要:以‘库尔勒香梨’(*Pyrus sinkiangensis* cv. Korla Fragrant)为研究材料, 分析了‘库尔勒香梨’试管苗完整植株、田间植株新梢顶部未展开叶片与嫩茎、田间植株新梢叶片 3 种材料 N、P、K、Ca、Mg 5 种元素含量, 采用 Morard 提出的调配方法折算试管苗植株 5 种元素含量折算得到 M 系列培养基, 同时用 Gonçalves 提出的方法对田间植株新梢茎叶、田间植株新梢叶片元素含量得到 G 系列培养基, 对比分析了 3 种材料、2 种调配方法所得 8 种培养基离子成分含量与试管苗生根效果。结果表明: M、G 系列培养基 NH_4^+ 、总 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 含量差异较大; 以新梢茎叶为基础的 G1 处理, 生根率为 92.7%, 显著高于 M 系列配方, 试管苗茎叶生长质量也具优势。G 系列配方中 G1 生根率显著高于以新梢叶片为材料的 G2 处理。以‘库尔勒香梨’田间植株新梢茎叶为材料, 按照 Gonçalves 提出的方法, 分析 N、P、K、Ca、Mg 5 种元素含量, 调配微繁生根培养基大量元素含量, 效果良好。

关键词: 库尔勒香梨; 营养成分分析; 组织培养; 生根培养基; 大量元素

中图分类号: Q945.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2014)04-0127-05

Comparison Study of the Methods for Optimizing Macroelement Content of Rooting Medium for Micropropagation of *Pyrus sinkiangensis* cv. Korla Fragrant Plantlet

WEI Peng¹, LIU Tong^{2*}, ZHANG Yuan-hang³

(1. Center of Plant Tissue Culture and Rapid Propagation, Ningxia Polytechnic College, Yinchuan, Ningxia 750002, China;
2. Key Laboratory of Oasis Ecological Agriculture of Xinjiang Bintuan, Shihezi, Xinjiang 832003, China;
3. College of Life Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: Taking *Pyrus sinkiangensis* cv. Korla Fragrant as research object, the contents of N, P, K, Ca, and Mg that contained in 3 different materials were measured. The materials included the whole test-tube plantlet, shoot tips of the seedling in the field (including tender stems and unfolding leaves), and leaves of new tips in the field. Based on the methods put forward by Morard and Gonçalves, M-series and G-series medium formulations were obtained for seedling propagation. Significant differences were found in the contents of $[\text{NH}_4^+]$, total $[\text{NO}_3^-]$, and $[\text{PO}_4^{3-}]$ between G and M series media. When the shoots collected from the field were cultured in medium G1, the rooting rate was 92.7%, significantly higher than those cultured in M series media, and the seedlings cultured by G1 also had advantages in the quality. Among G-series media, the rooting rate of the shoots cultured in G1 was higher than that in G2. It was concluded that best results could be achieved after following the method proposed by Gonçalves to measure the contents of N, P, K, Ca, and Mg to optimize the ratios of the 5 elements in rooting media of *P. sinkiangensis* cv. Korla Fragrant.

收稿日期: 2013-10-30 修回日期: 2014-02-24

基金项目: 国家自然科学基金(30360017)。

作者简介: 魏鹏, 男, 硕士, 讲师, 研究方向: 植物种苗快繁与植物生理生态。E-mail: weipeng135@126.com

* 通信作者: 刘彤, 男, 博士, 教授, 研究方向: 植物组织培养与植物生态学。E-mail: betula@126.com

Key words: *Pyrus sinkiangensis* cv. Korla Fragrant; nutrient composition analysis; plant tissue culture; rooting medium; macroelement

试管苗生根质量好坏,一定程度上决定了试管苗移栽成活率乃至整个苗木离体繁殖的成败^[1-2],因此生根培养基的调配成为离体繁殖术研究的重要内容之一。

资料查新发现通过分析植株器官、组织大量元素含量调配生根培养基成为热点^[3-9],其中 P. Morard^[3-4]、S. Gonçalves^[8-9]等调配方法最具代表性。Morard 分析茄属植物 *Solanum paludosum* 根、茎、叶混合组织中 N、P、K、Ca、Mg 5 种元素含量,除以元素分子量得离子摩尔数,利用培养基中正负电荷平衡得到 KNO₃、NH₄NO₃ 等 5 种化合物摩尔数与每升含量。Gonçalves 分析长角豆(*Ceratonia siliqua*)叶片中营养元素含量,用 P、K、Ca、Mg 4 种元素含量分别除以 N 含量得加权系数,固定新调培养基中总 N 含量为 1/2MS 培养基中 N 含量,乘以 4 种元素含量加权系数,得其他 4 种化合物含量。

分析 Morard 与 Gonçalves 提出的方法发现有以下差异:1)Morard 采用整个植株营养元素含量分析,Gonçalves 仅采用叶片;2)5 种元素含量结果产

生后,折算新培养基大量元素含量采用的方法差别较大。因此,哪一种方法更合理,尤其适合一些难生根的木本植物需进一步研究。

1 材料与方法

以‘库尔勒香梨’^[10](*Pyrus sinkiangensis* cv. Korla Fragrant)为材料,按照 Morard 与 Gonçalves 等提出的培养基调配技术方案,比较生根效果与苗子生长质量,以总结出适用于‘库尔勒香梨’试管苗生根的高效培养基调配方法。

1.1 植株来源及营养成分分析

样品地点选在库尔勒地区香梨示范种植基地—库尔楚园艺场,场内土壤^[11]pH 值 8.22,全 N 含量 1.01 g · kg⁻¹,全 P 0.75 g · kg⁻¹,全 K 2.50 g · kg⁻¹。5 月上旬,在园艺场内在 3 年生香梨梨树上选取试验材料。1)剪取新梢顶部未展开叶片与嫩茎;2)剪取新梢上展开展平的嫩叶;3)S12^[10]配方香梨试管苗。对 3 类样品进行营养元素分析,测定 N、P、K、Ca、Mg 5 种元素含量^[12](表 1)。

表 1 3 种香梨植株取材的大量元素含量

Table 1 Contents of 5 elements in three kinds of experimental materials g · kg⁻¹

样品来源	全 N	全 P	全 K	全 Ca	全 Mg
田间植株茎叶	22.63	3.10	20.53	7.73	2.60
田间植株叶片	27.40	3.60	15.20	4.00	2.70
试管苗植株	3.14	0.53	1.93	0.21	0.08

1.2 基本培养基的折算

1.2.1 按照 Morard 的方法 以生根率较高的 S12 配方试管苗为基准,称取营养成分分析时单个植株的干重 0.11 g,乘以表 1‘库尔勒香梨’试管苗植株 5 种营养元素含量得元素质量,用元素质量除以对应

的药品分子量得元素所带电荷摩尔数。依据培养基内正负电荷必须相等,N 提供 NO₃⁻ 与 NH₄⁺ 2 种离子(一正一负),Ca²⁺ 由 Ca(NO₃)₂ · 4H₂O 电解产生,最后得 M1 与 M2 系列 5 种化合物摩尔数与培养基含量(表 2)。

表 2 各处理大量元素含量

Table 2 Amount of compounds in experimental media mg · L⁻¹

配方	KNO ₃	NH ₄ NO ₃	MgSO ₄ · 7H ₂ O	KH ₂ PO ₄	CaCl ₂ · 2H ₂ O	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O
1/2MS	950.0	825.0	285.0	85.0	220.0	0.0
S12	74.0	172.0	7.0	231.0	0.0	89.0
M1	505.5	720.4	246.5	136.1	0.0	472.0
M1/10	50.6	72.0	24.6	13.6	0.0	47.2
M2	404.4	1440.7	123.2	136.1	0.0	165.2
M2/10	40.4	144.1	12.3	13.6	0.0	16.5
G1	800.9	1769.4	496.0	252.8	0.0	398.6
G1/10	80.1	176.9	49.6	25.3	0.0	39.9
G2	424.4	2067.5	425.4	242.5	0.0	170.3
G2/10	42.4	206.7	42.5	24.2	0.0	17.0

1.2.2 按照 Gonçalves 方法 以样品 1-田间植株茎叶与样品 2-田间植株叶片 5 种元素含量为基础,

分别除以总 N(表 1)得 P、K、Ca、Mg 4 种元素加权系数,用 1/2MS 培养基中 N 含量(由 KNO₃ 与

NH₄NO₃ 提供)乘以各元素加权系数得培养基中 G1 与 G2 系列化合物含量(表 2)。

1.2.3 S12 配方 S12 配方 5 种化合物含量较低,属于低盐浓度培养基,是经反复试验的良好配方^[12]。结合 S12 盐浓度较低的特点,本试验将 M1、M2、G1、G2 4 种培养基 5 种化合物含量同时除以 10,得 M1/10、M2/10、G1/10、G2/10 4 种培养基,试验以 1/2MS 与 S12^[10]为对照(表 2)。

1.3 生根处理及培养条件

表 2 中 10 个配方微量元素、有机物及铁盐浓度与 MS 相同。依据先前试验结果^[10],IAA2.0 mg · L⁻¹为‘库尔勒香梨’试管苗生根最适生长调节剂种类与浓度,本试验各配方附加 IAA2.0 mg · L⁻¹,IAA 采用湿热灭菌,高压灭菌前加入。所有配方加入 4.2 g · L⁻¹琼脂粉与 20 g · L⁻¹蔗糖,培养基灭菌前 pH 为 6.0。选取生长在同一增殖培养基中的‘库尔勒香梨’试管苗,分别剪取茎尖与茎段,长约 1.3 cm 左右,接种在实验培养基中(一瓶培养基只能接茎尖或茎段,同一配方茎尖与茎段的瓶数相等)。每个配方接种 20 瓶,茎尖、茎段各 10 瓶,每瓶 5 株材料。

培养容器采用 150 mL 的玻璃三角瓶,塑料透

气膜封口。培养条件为:温度(25±2)℃,光照时间 16 h · d⁻¹,光照强度 40 μmol · m⁻² · s⁻¹。

1.4 观测指标与方法

待‘库尔勒香梨’试管苗生长 35 d 后,测量相关指标。生根方面包括愈伤组织块的大小、生根数、根长、根鲜重、生根率,茎叶生长方面测量叶鲜重、展叶数、茎鲜重、茎长(用直尺测量)。

测量数据未经任何形式转换,同一指标不同配方之间利用 SPSS13.0 进行分析。

2 结果与分析

2.1 2 种方法调配的培养基大量元素含量对比

为更好分析各试验配方对‘库尔勒香梨’试管苗的生根影响,先对 10 个配方相关离子含量进行分析^[13]。G1 与 G2 配方(通过 Gonçalves 调配),NH₄⁺、总 NO₃⁻、PO₄³⁻ 含量均高于其他处理,其中 NH₄⁺、总 NO₃⁻ 含量是对照 1/2MS 的 2 倍左右,是 S12 的 10 倍。通过 Morard 方法调配的 M2 培养基 NH₄⁺、总 NO₃⁻ 也高于 1/2MS 和 S12 处理,M1 中 NH₄⁺、总 NO₃⁻ 含量明显比 M2 低。2 种方法调配的培养基 NH₄⁺ / NO₃⁻ 值大小变化规律不明显,因营养成分分析的材料来源不同而改变。

表 3 10 个配方大量元素含量

Table 3 Contents of macronutrient of ten media mmol

Medium	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻				NH ₄ ⁺ / NO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	PO ₄ ³⁻
		NH ₄ NO ₃	KNO ₃	Ca(NO ₃) ₂	Total NO ₃ ⁻					
1/2MS	10.31	10.31	9.40	0.00	19.70	1.91	10.02	0.00	1.16	0.62
S12	2.15	2.15	0.73	0.38	3.63	1.69	2.43	0.38	0.03	1.70
M1	9.00	9.00	5.00	2.00	18.00	2.00	6.00	2.00	1.00	1.00
M1/10	0.90	0.90	0.50	0.20	1.80	2.00	0.60	0.20	0.10	0.10
M2	18.00	18.00	4.00	0.70	23.40	1.30	5.00	0.70	0.50	1.00
M2/10	1.80	1.80	0.40	0.07	2.34	1.30	0.50	0.07	0.05	0.10
G1	22.11	22.11	7.92	1.69	33.40	1.51	9.78	1.69	2.01	1.86
G1/10	2.21	2.21	0.79	0.17	3.34	1.51	0.98	0.17	0.20	0.19
G2	25.83	25.83	4.20	0.72	31.47	1.22	5.98	0.72	1.73	1.78
G2/10	2.58	2.58	0.42	0.07	3.15	1.22	0.60	0.07	0.17	0.18

2.2 不同配方处理香梨试管苗茎叶生长的比较

由于植物茎叶生长与根生长的整体相关性,茎叶生长质量也是评价试管苗生根效果的依据,其中展开叶片数是试管苗行使光合功能的基础。M1、M2、G1、S12 及 1/2MS 试管苗叶片开展平良好,明显优于其它处理(表 4)。M2 试管苗叶重最大,S12、M1、1/2MS 配方之间叶片重量无显著差异。试管苗整个生长期间茎杆伸长较小,均低于 2 cm,G1、G2、M1、M2 配方与对照 S12、1/2MS 无显著差异。M2 的茎重最高,这与 M2 试管苗茎杆较粗有关(表 4)。

2.3 不同处理试管苗根系发育状况的比较

以 Gonçalves 方法为基础的 G1 处理与 S12 试管苗生根率均高于 90%,2 配方试管苗基部愈伤组织块较小,生根数较多,根长与根重也较优,表现出良好生根效果(表 5)。

G2、1/2MS、M2、M2/10 4 配方生根率均>45%,低于 G1 与 S12,位于所有处理中间阶段。G2/10、M1、M1/10 3 配方生根率较低,均<20%。

比较 Gonçalves 与 Morard 2 种调配方法试管苗生根效果,Gonçalves 方法指导的生根率最大配方为 G1 处理,为 92.7%,Morard 方法指导的最大

生根率配方为 M2/10 处理,为 67.4%,两者具有显著差异。

方除 M2/10 外,G1/10、G2/10、M1/10 生根率均较低,生根效果较差。

以 S12 培养基 5 种化合物含量为基准调配的配

表 4 不同处理对‘库尔勒香梨’试管苗茎叶生长的影响(平均值±标准误)

Table 4 Influence of different treatments on stem and leaf growth trait of pear plantlets <i>in vitro</i> among different treatments (mean± SE)				
配方	展叶数/片	叶重/g	茎长/cm	茎重/g
1/2MS	4.32±0.427a	0.090 4±0.079b	1.738±0.308a	0.051 1±0.004bc
S12	4.66±0.237a	0.095 6±0.017b	1.911±0.030a	0.054 8±0.068b
M1	5.11±1.19a	0.090 7±0.012b	1.639±0.021a	0.059 1±0.004b
M1/10	2.07±0.25b	0.085 9±0.059c	1.774±0.161a	0.070 8±0.003a
M2	5.51±0.503a	0.163 8±0.013a	1.758±0.119a	0.088 5±0.003a
M2/10	3.74±0.212b	0.098 4±0.009b	1.557±0.131a	0.060 9±0.003ab
G1	4.19±0.455a	0.130 9±0.088ab	1.908±0.048a	0.069 0±0.003a
G1/10	2.18±0.301b	0.106 6±0.088b	1.432±0.108b	0.068 2±0.003a
G2	3.97±0.448ab	0.120 8±0.011ab	1.957±0.122a	0.071 9±0.003a
G2/10	1.87±0.363b	0.086 7±0.088c	1.04±0.073b	0.060 2±0.002b

注:同列不同小写字母表示差异显著($p<0.05$),表 5 同。

表 5 不同处理对‘库尔勒香梨’试管苗生根的影响(平均值±标准误)

Table 5 Influence of different treatments on rooting trait of pear plantlets <i>in vitro</i> (mean±SE)					
配方	生根率/%	根数/根	根长/cm	根重/g	愈伤组织大小
1/2MS	47.52±0.071b	3.058±0.233b	1.68±0.387b	0.059 8±0.003b	+
S12	90.08±0.101a	3.964±0.482a	5.34±1.143a	0.090 4±0.002a	+
M1	20.3±0.002c	2.802±0.003c	1.58±0.155b	0.056 8±0.005b	+
M1/10	16.67±0.017c	2.728±0.021c	0.92±0.216c	0.051 4±0.003b	++
M2	66.62±0.081b	3.504±0.375b	6.45±0.476a	0.064 7±0.003b	++
M2/10	67.5±0.023b	3.227±0.341b	4.96±0.546a	0.062 8±0.004b	+
G1	92.74±0.061a	4.139±0.216a	7.89±1.351a	0.092 3±0.004a	+
G1/10	41.2±0.081bc	4.330±0.573a	6.04±1.817a	0.096 5±0.007a	++
G2	65.34±0.021b	3.104±0.232b	1.88±0.531b	0.050 5±0.003b	++
G2/10	15.2±0.078c	2.651±0.075c	0.94±0.402c	0.048 6±0.003b	+++

注:“+”表示愈伤组织块较小;“++”愈伤组织块中;“+++”愈伤组织块偏大。

3 结论与讨论

以难生根的‘库尔勒香梨’试管苗为材料,选用 3 种材料进行营养成分分析,2 种调配方法进行生根培养基调配,新培养基 NH_4^+ 、总 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 K^+ 含量差异较大,试管苗生根效果不同配方之间存在明显差异。

Morard 方法进行营养成分分析取材对象是整个 *Solanum paludosum* 植株,样品是根、茎、叶混合组织。为更接近试管苗特殊环境的营养需求,本试验以生长于生根效果优良的 S12 配方试管苗为对象分析营养成分,按照 Morard 调配方法得到 M 系列培养基,但生长在 M1、M2 配方中的试管苗生根效果不甚理想,M1 生根率仅为 20.3%。分析原因 Morard 选用的 *Solanum paludosum* 为 1 年生草本,库尔勒香梨为多年生木本,1 年生草本与多年生木本营养生理存在典型差异,资料显示针对多年生木本植物植株上部的新生茎叶更能反映植株的营养需求^[14-15]。

通过 Gonçalves 方法,G2 配方试管苗生根率与

M1、M2 无显著差异,G1 配方试管苗无论生根效果还是茎叶生长质量都明显优于 M1、M1/10、M2、M2/10,因此采用 Gonçalves 方法,‘库尔勒香梨’试管苗生根效果整体优于 Morard 方法。分析原因 Gonçalves 方法在调配过程中以常用生根配方 1/2MS 中 N 含量(30 mmol)为基准,对其他元素对应化合物含量进行调配,这是 Gonçalves 方法调配生根培养基相对理想的原因。

试验中 G1 对应植株茎叶,G2 对应叶片,G1 配方试管苗生根率、茎叶质量明显优于 G2。植物叶片是合成器官,对多年生木本植物而言,叶片含氮量、需氮量相对其他器官较高^[16]。另外结合植株茎叶与单独叶片 2 种样品全 K、全 Ca 含量差异导致 G1、G2 培养基中 KNO_3 、 NH_4NO_3 含量差别较大,这也是两配方试管苗生长质量存在明显差异的主要原因。

降低培养基中大量元素成分有利于试管苗生根^[17-18],如 1/2MS、1/4MS 及 White 培养基。试验中以大量元素含量较低的 S12 配方为基准,将 M1、M2、G1、G2 同除以 10,得 M1/10、M2/10、G1/10、

G2/10 4 个配方,发现试管苗生根效果并不理想,M1/10 生根率<17%。S12 与 G1 试管苗生根率均>90%,2 配方 5 种化合物含量差别较大,表明对于‘库尔勒香梨’等离体培养难生根的木本植物,培养基合理的大量元素配比是决定试管苗生长质量的关键。

参考文献：

[1] 曹孜义,刘国民. 实用植物组织培养技术教程[M]. 兰州:甘肃技术出版社,1996:102.

[2] 张利彩,郭春会,孙占育,等. 普通扁桃试管苗生根培养研究[J]. 西北农业学报, 2008,17(2):188-192.

ZHANG L C, GUO CH H, SUN ZH Y, *et al.* Study on culture of in vitro rooting of almond [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2008,17(2):188-192. (in Chinese)

[3] MORARD P, HENRY M. Optimization of the mineral composition of in vitro culture media[J]. Journal of Plant Nutrition, 1998,21 (8):1565-1576.

[4] BABOULENE L, SILVESTRE J, MORARD P, *et al.* Effect of Ca deficiency on growth and leaf acid soluble proteins of Tomato[J]. Journal of Plant Nutrition, 2007,30(4):497-501.

[5] MONTEIRO A C B, HIGASHI E N, GONCALVES A N, *et al.* A novel approach for the definition of the inorganic medium components for micropropagation of yellow passionfruit (*Passiflora edulis* Sims. flavicarpa deg.) [J]. In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant, 2000,36:527-531.

[6] HAN B, BEN M, ANNEMIEK T. Development of new tissue culture media, suing the relation between mineral composition of plant and medium[J]. Acta Horticulture, 2001,560:373-376.

[7] NAS M N, READ P E. A hypothesis for the development of a defined tissue culture medium of higher plants and micropropagation of hazelnuts[J]. Scientia Horticulture, 2004,101:189-200.

[8] GONCALVES S, CORREIA P J, MARTINS M A, *et al.* A new medium formulation for in vitro rooting of carob tree based on leaf macronutrients concentrations[J]. Biologia Plantarum, 2005,49(2):277-280.

[9] OSORIO M L, OSORIO J, GONCALVES S, *et al.* Carob trees (*Ceratonia siliqua* L.) regenerated in vitro can acclimatize successfully to match the field performance of seed-derived plants[J]. Trees, 2012,26(6):1837-1846.

[10] 刘彤,赵新俊,任丽彤,等. 新疆香梨试管苗最佳生根培养基的研究[J]. 果树学报, 2004, 21 (2):124-127.

LIU T, ZHAO X J, REN L T, *et al.* Research of optimum rooting medium for micropropagated pear plantlets[J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21 (2):124-127. (in Chinese)

[11] 何天明,刘泽军,覃伟铭,等. 土壤因子对库尔勒香梨缺铁失绿症发生的影响[J]. 西北农业学报, 2013,22(1):97-103.

He T M, LIU Z J, QIN W M, *et al.* Effects of soil factors on iron-deficit chlorosis of kuerle fragrant pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd) [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinic, 2013,22(1):97-103. (in Chinese)

[12] 张元杭. 库尔勒香梨在试管内的适应特性研究[D]. 石河子:石河子大学, 2008.

[13] 魏鹏. 植物离体繁殖的表型可塑性机理及培养基调控技术研究[D]. 石河子:石河子大学, 2007.

[14] 刘小勇,董铁,王发林,等. 甘肃省元帅系苹果叶营养元素含量标准值研究[J]. 植物营养与肥料学, 2013,19(1):246-251.

LIU X Y, DONG T, WANG F L, *et al.* Studies on the standard ranges of leaf nutritional element contents of Delicious apple in Gansu province [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013,19(1):246-251. (in Chinese)

[15] 李海霞,李正华,郭树平,等. 不同氮磷水平对红松幼苗碳氮积累与分配的影响[J]. 西北林学院学报, 2013,18(5):24-29.

LI H X, LI ZH H, GUO S P, *et al.* Effects of different nitrogen and phosphorus supply levels on C, N accumulation and partitioning in *Pinus koraiensis* seedlings [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013,18(5):24-29. (in Chinese)

[16] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 6 版. 北京:高等教育出版社, 2008:29.

[17] 崔秀梅,王玖瑞,刘孟军,等. 枣未成熟胚高效再生体系研究[J]. 西北林学院学报, 2012,27(1):81-84.

CUI X M, WANG J R, LIU M J, *et al.* An efficient system for plant regeneration from immature embryo of Chinese jujub [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012,27(1):81-84. (in Chinese)

[18] 王慧梅,王文杰,董凤丽,等. 影响喜树组织培养苗离体生根的因素[J]. 植物学通报, 2004, 21 (6): 673-681.

WANG H M, WANG W J, DONG F L, *et al.* Factors affecting in vitro rooting of *Camptotheca acuminata* [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2004, 21 (6): 673-681. (in Chinese)