

당느릅나무(*Ulmus davidiana* Planch) 부정근 절편으로 부터 부정아 유도를 통한 식물체 생산

金志娥 · 由香玲 · 安昌浩 · 李在善 · 崔龍義*

강원대학교 산림과학대학 산림자원학부

Plant Regeneration Via Direct Adventitious Roots from Free Root Segments of *Ulmus davidiana* Planch

Ji-Ah Kim, Xiang-Ling You, Chang-Ho Ahn, Jae-Seon Lee and Yong-Eui Choi*

Division of forest resources, college of forest and enviromental sciences, Kangwon National University, Chuncheon, Kangwon-do 200-701, Korea

요 약: 당느릅나무(*Ulmus davidiana* Planch) 기내번식 방법을 개발하기 위해 유식물의 뿌리로부터 부정근을 유도 한 후 이들 부정근 절편으로부터 부정아 유도과정을 거쳐 식물체를 재생시켰다. 기내발아 식물체의 뿌리 절편을 0.2 mg/L IBA 처리한 1/2 SH 배지에 배양한 결과 다수의 부정근을 유도할 수 있었다. 유도된 부정근으로부터 절편을 만들어 부정아 유도를 위해 MS배지에 4가지 종류의 cytokinin(zeatin, 2-iP, BA, kinetin)을 첨가한 결과, 0.2 mg/L kinetin을 첨가한 배지에서 가장 높은 부정아 유도율과 절편 당 부정아수를 얻었다. 유도된 부정아로부터 줄기생장 및 뿌리유도를 위한 실험에서 줄기 생장은 1/2 WPM배지에서 가장 양호하였고, 뿌리유도는 1/4 WPM배지에서는 가장 양호하였다. 또한 기내 재분화묘를 기외로 순화시킨 결과 4주후 100%의 식물체 생존율을 얻었다.

Abstract: Micropropagation of *Ulmus davidiana* Planch was established via adventitious shoot formation from the segments of adventitious roots. Adventitious roots were produced directly from root segments of seedlings on a 1/2 SH medium plus various concentrations of IBA. The maximum growth of adventitious roots was observed in the presence of 2.0 mg/L IBA. After the segments of adventitious roots were cultured on various cytokinins (zeatin, 2-iP, BA, kinetin) and cytokinins plus auxin (IBA), formation of adventitious shoot was investigated. Among cytokinin treated, kinetin was the most effective on both adventitious shoot induction and number of shoots. Especially, 2.0 mg/L kinetin was the best to increase adventitious shoot induction (95.8%) and a number of shoots (8.4). Adventitious shoots were rooted on 1/2 WPM medium and the plantlets were acclimated 100% on composed soil (peatmoss : vermiculite 1 : 1).

Key words: *Ulmus davidiana* Planch, adventitious shoot, cytokinin

서 론

당느릅나무(*Ulmus davidiana* Planch)는 예로부터 한방에서 껍질을 유평피 또는 유평피라 부르며 치습, 이노제, 부스럼, 항염증제, 마른기침, 기관지염 등에 사용되어 지금까지 약용으로의 가치가 높다(Lee, 1996). 최근에는 당느릅나무 껍질의 추출액이 관절염의 염증을 완화시키는 효과가 있다고 보고 되었다(Kim *et al.*, 2005). 목재는 건축재, 가구재, 선박재, 세공재 및 땀감 등으로 쓰이며, 동양에서는 주로 약재로 사용되어지나 유럽이나 미국에서는

수형이 우아하고 아름답기 때문에 가로수나 정원수로 그 가치가 높다. 당느릅나무는 낙엽활엽교목으로 우리나라 전역, 북반구의 온대 산악지방에 널리 분포하며, 일본이나 중국, 유럽에서도 흔히 볼 수 있다. 그러나 추위와 그늘은 잘 견디지만 건조한 곳에서는 잘 자라지 않는 특징이 있다. 당느릅나무는 열매 중앙부에 잔털이 있는 것에 반해 느릅나무(*Ulmus davidiana* var japonica)는 털이 없거나 선단에만 있다(이창복, 1993). 번식은 주로 종자와 삼목을 통해서 이루어지는데, 종자의 경우 일반적으로 개화 후 결실기간이 매우 짧고, 성숙 후 바로 낙과 하기 때문에 채종 적기를 맞추는데 어려움이 있다(탁우식 등, 2006). 또한 성숙목 등을 이용한 삼목의 경우 발근이 제대로 이루어지지

*Corresponding author
E-mail: yechoi@kangwon.ac.kr

않고, 발근된다 하여도 효율이 낮기 때문에 번식에 어려움이 있다. 따라서 계절에 상관없이, 절편조제가 쉽고, 소량의 재료로 대량생산이 가능한 조직배양방법을 통해 당느릅나무의 번식체계를 확립하고자 이 실험을 수행 하였다.

우리나라에 주로 분포하는 당느릅나무속(*Ulmus*)나무들은 주로 *Ulmus davidiana* var. *japonica*(Rehder), *Ulmus davidiana* Planch, *Ulmus macrocarpa* Hance, *Ulmus parvifolia* Jacq. 등이다. 그러나 이러한 수종들을 재료로 한 기내조직배양 논문은 국내와 국외에서 찾아 볼 수 없다. 외국의 경우는 다른 몇몇 종에서 보고 되었으며, 기내 줄기 유도 및 증식(Corchete *et al.* 1993; Fenning *et al.* 1993; Cheng and Shi 1995; Ann *et al.* 1997; Biroscikova *et al.* 2004), 체세포배발생(Corredoira *et al.* 2002), 부정아 유도(Karnosky *et al.* 1982; Ho 1985, Bolyard *et al.* 1991; George and Tripepi 1994, Ben *et al.* 1998)에 관한 것이 보고 되었다.

따라서 이 실험의 목적은 당느릅 나무(*Ulmus davidiana* Planch)로부터 재료의 유지 및 증식이 간편한 부정근을 유도한 후, 이 부정근 절편으로부터 부정아 유도를 통한 당느릅나무 재분화 체계를 확립하고자 함에 있다.

재료 및 방법

1. 식물재료 및 살균방법

당느릅나무(*Ulmus davidiana* Planch) 종자는 강원도 평창군 오대산에서 5월에 수확한 것을 사용하였다. 종자는 70% EtOH 30초, 2% sodium hypochlorite에 20분간 소독하여 멸균수로 3회 세척 후 종자를 발아 배지에 옮겨 발아 시켰다. 발아 배지는 1/2 MS배지에 2% sucrose, 0.3% gelrite를 사용하였으며, petri dish(15×100 mm) 당 각각 200개의 종자를 파종하여 발아를 유도하였다. 배지의 산도는 pH 5.7로 조절하고 100×15 mm petri dish에 20 ml씩 분주 하였다. 배양은 1일 16시간 조명(40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 냉백색 형광등), 온도 25±2°C로 조절되는 배양실에서 수행하였다.

2. 기내 유묘의 뿌리를 이용한 부정근 유도

부정근 유도를 위해 기내에서 5-8 주간 생장한 당느릅나무 유묘의 뿌리를 절편으로 사용하였다. 각 뿌리절편은 약 1.0 cm 크기로 절단하여 각각의 부정근 유도 배지에 치상하였다. 부정근 유도 배지는 1/2 SH(Schenk and Hildebrandt, 1972)배지에 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 mg/L IBA를 첨가하고, 이전 예비실험에서 2% sucrose처리 시 부정근 유도를 위해 적절하다는 결과를 얻었으므로, 2% sucrose, 0.3% gelrite 를 첨가하여 부정근을 유도하였다. 배양 6주 후 부정근의 절편 당 뿌리수, 뿌리길이와 캘러스의 크기

정도를 조사하였다.

3. 기내 유묘의 뿌리를 이용한 부정아 유도

부정아 유도 역시 위에서 언급한 부정근을 절편으로 사용하였다. 각 뿌리 절편은 약 1.0 cm으로 절단하여 부정아 유도 배지에 치상하였다. 배지는 MS(Murashige and Skoog, 1962) 기본으로 4종류의 사이토키닌(각 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 mg/L zeatin, 2-iP, BA, kinetin)과 사이토키닌과 옥신 혼합 배지(2.5 mg/L IBA + 각 2.0 mg/L zeatin, 2-iP, BA, kinetin)에, 이전 예비 실험결과 3% sucrose는 부정아유도를 위한 적절한 농도라는 결과를 얻었으므로, 3% sucrose, 0.3% gelrite 를 첨가하여 부정아를 유도하였다. 각 petri dish 당 절편은 16개씩 치상하였으며, 4반복으로 수행하였다. 배양은 25±2°C로 조절되는 배양실에서 부정근 유도는 암배양, 부정아유도는 명배양 에서 수행하였다. 치상 6주후 부정아의 형성 빈도, 절편 당 줄기수와 캘러스 크기 정도를 조사하였다.

4. 배지에 따른 줄기 생장 및 발근

부정아 유도를 통해 형성된 식물체 중 줄기길이 1 cm 정도의 균일한 개체를 선발하여 배지염류에 따른 줄기 생장 및 발근을 유도하기 위한 실험을 수행하였다. 증식 배지는 각각 WPM(Lloyd and McCown Medium, 1981), 1/2 WPM, 1/3 WPM, 1/4 WPM 배지에 2% sucrose, 0.3% gelite를 첨가하여, pH를 5.6-5.7로 조정하고 121°C에서 20분간 고압멸균한 후 petri dish(100×15 mm)에 25 mL씩 분주해서 사용하였다. 실험은 petri dish당 25개 절편을 치상하고 3반복으로 수행하였다. 배양은 1일 16시간 조명(40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 냉백색 형광등), 온도 25±2°C로 조절되는 배양실에서 수행하였다. 줄기 증식과 발근은 배지에 치상한 후 4주 후에 조사하였다.

기외 순화를 위해 줄기증식하고 발근된 재분화 식물체는 플라스틱 용기안의 인공배양토(vermiculite와 perlite를 1:1의 비율로 혼합)에 이식하였다. 이식 후 플라스틱 용기는 70% 이상의 고습도를 유지하였고, 배양실 환경 하에서 식물체를 순화하였다.

결과 및 고찰

1. 기내 유묘의 뿌리를 이용한 부정근 유도

예비 실험에서 당느릅나무의 종자 파종 후 발아된 기내 유묘의 뿌리절편을 이용하여 부정근을 유도 한 결과 1/2 SH 배지에서 가장 생장이 적당한 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 1/2 SH배지를 기본배지로 IBA농도별 부정근 유도 실험을 수행하였다. 당느릅나무 종자에서 발아된 유묘의 뿌리절편을 1 cm 정도의 크기로 잘라 5가지 농도(0, 0.1,

Table 1. Effect of IBA concentrations on adventitious root formation from root explants after 6 weeks of culture.

Conc. of IBA (mg/L)	Root number/explant	Root growth (mm)
Control	2.5 ± 0.43 ^{de}	7.2 ± 0.67 ^{cd}
IBA 0.1	4.6 ± 0.25 ^c	16.3 ± 1.23 ^b
IBA 0.2	5.8 ± 0.56 ^b	28.4 ± 3.55 ^a
IBA 0.5	13.2 ± 1.12 ^a	8.5 ± 0.24 ^c
IBA 1.0	3.7 ± 0.45 ^c	4.6 ± 0.37 ^d

*Values represent means ± SE. Values followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

0.2, 0.5, 1.0 mg/L)의 IBA가 첨가된 배지에 배양하였다. 배양 2주후부터 절편의 양 절단면에서 부정근이 형성되었으며, 그 후 6주째 까지 부정근의 길이 신장이 이루어 졌다.

뿌리의 길이는 0.2 mg/L IBA에서 다른 처리(0, 0.1, 0.5 및 1.0 mg/L IBA)와 비교해 약 3배 이상의 길이 신장을 보였다(Table 1). 부정근 유도 형태는 절단면 한쪽은 캘러스가 형성되었고, 다른 한쪽 절단면에서 새로운 부정근이 유도되어 자연상태의 뿌리에서 발달되는 측근(lateral root) 형성과 동일한 형태의 일반적인 뿌리형태를 나타냈다(Figure 1b). 또한 0.1 mg/L IBA에서도 절편의 한쪽 절단면에서는 캘러스가 형성되고, 나머지 절단면에서는 위에서 설명했던 것과 같은 측근과 동일한 형태의 뿌리가 형성 됐다(Figure 1a). 따라서 이것은 0.2 mg/L IBA이하의 농도는 배양절편의 극성을 교란 시키지 않는 것으로 판단 된다. 한편, 절편 당 부정아의 수는 0.5 mg/L IBA에서는 다른 처리(0, 0.1, 0.2 및 1.0 mg/L IBA)와 비교해서 약 3 배 정도 높은 부정근수를 보였으나, 부정근의 유도 형태가 캘러스와 함께 짧고 굵은 모양이며, 길이생장이 제대로 이루어지지 않아 부정근 유도를 위한 조건으론 적당하지 않았다(Figure 1c). 따라서 부정근 유도를 위한 목적으

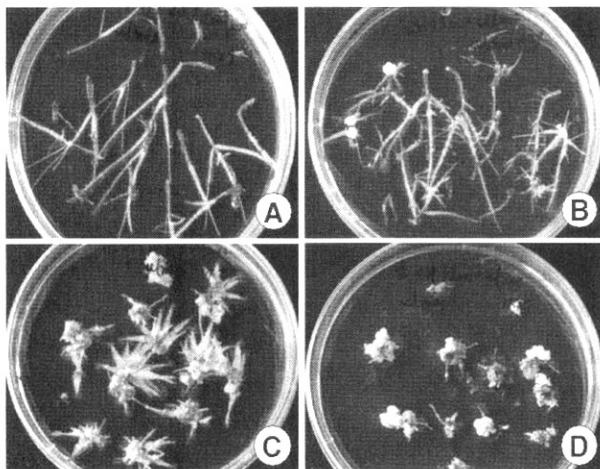


Figure 1. Adventitious roots induction from roots segments of *U. davidiana* seedling after 6 weeks of culture. A: IBA 0.1 mg/L, B: IBA 0.2 mg/L, C: IBA 0.5 mg/L and D: IBA 1.0 mg/L.

로는 0.2 mg/L IBA가 적합할 것으로 생각되어 진다. Han 등(2006)은 산삼의 뿌리절편을 이용하여 1/2 MS에 NH_4^+ 가 제거된 배지에 0.3 mg/L IBA에서 91%의 높은 부정근 유도율을 보여주었고, 뿌리절편에서 직접 부정근을 유도 하였다. 이 실험에서 사용한 1/2 SH 배지 역시 NH_4^+ 가 첨가되지 않은 배지이다. 따라서 당느릅나무의 부정근 유도 시 NH_4^+ 에 영향을 받는 것으로 생각되어진다.

부정근의 증식 및 유지는 부정근 증식에 적당한 배지의 조건만 갖추어지면 매우 간단하여 이러한 시스템이 인삼 배양근 같은 대량탱크배양으로 산업화 되었다(Han *et al.*, 2006). 따라서 부정근 배양은 생산비 절감, 연속적인 증식과 안정적인 공급이 가능한 배양 재료(Bourgaud, 2001)로써 이차 대사물 생산 등에 적합한 재료로 인식 되었고, 대용량 생물반응기의 대량 배양을 통한 산업화가 가능한 장점이 있다.

2. 기내에서 유도된 부정근 절편을 이용한 부정아 유도

당느릅나무의 종자발아를 통해 유도된 유묘의 뿌리에서 증식된 부정근 절편을 약 1 cm로 절단하여 4가지 사이토키닌 및 옥신과 사이토키닌이 첨가된 1/2 SH 배지에 배

Table 2. Effect of cytokinin and cytokinin + auxin on adventitious shoot formation from the culture of root segments after 6 weeks of culture.

Cytokinin and Auxin (mg/L)	Frequency of adventitious shoot or bud formation (%)	No. of shoots/explant	Callus growth	
Control	0	25.3 ± 2.34 ^{se}	2.4 ± 0.23 ^{jk}	-
Zeatin	1.0	4.8 ± 3.12 ^{ij}	1.2 ± 0.24 ^m	±
	2.0	12.5 ± 1.36 ^{hij}	1.6 ± 0.01 ^{lm}	±
	4.0	73.7 ± 8.69 ^c	2.5 ± 0.28 ^{jk}	-
	8.0	48.0 ± 5.12 ^f	2.7 ± 0.35 ^{jk}	-
2-ip	1.0	21.7 ± 2.11 ^g	2.3 ± 0.56 ^{jk}	++
	2.0	56.5 ± 4.33 ^{de}	4.5 ± 0.23 ^{ef}	+++
	4.0	20.8 ± 3.45 ^{gh}	5.7 ± 0.37 ^c	++++
	8.0	19.1 ± 1.12 ^{gh}	2.1 ± 0.17 ^{kl}	+++++
BA	1.0	51.5 ± 2.35 ^{ef}	3.9 ± 0.33 ^{gh}	±
	2.0	57.9 ± 3.89 ^{de}	5.3 ± 0.56 ^{cd}	++
	4.0	53.3 ± 4.78 ^{ef}	3.4 ± 0.45 ^{hi}	±
	8.0	12.5 ± 1.67 ^{hij}	2.7 ± 0.12 ^{jk}	+
Kinetin	1.0	76.9 ± 5.32 ^c	4.2 ± 0.34 ^{fg}	+
	2.0	95.8 ± 9.96 ^a	8.4 ± 0.76 ^a	+
	4.0	87.0 ± 5.78 ^b	6.5 ± 0.14 ^b	++
	8.0	63.6 ± 7.76 ^d	4.6 ± 0.34 ^{ef}	+++
IBA	ZT 2.0	7.4 ± 1.01 ^{ij}	1.5 ± 0.09 ^{lm}	+
	2-ip 2.0	20.0 ± 3.33 ^{gh}	2.8 ± 0.13 ^j	+
	BA 2.0	13.0 ± 0.97 ⁱ	4.9 ± 0.33 ^{de}	++
	KT 2.0	4.5 ± 0.31 ^j	2.5 ± 0.37 ^{jk}	++

*Values represent means ± SE. Values followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

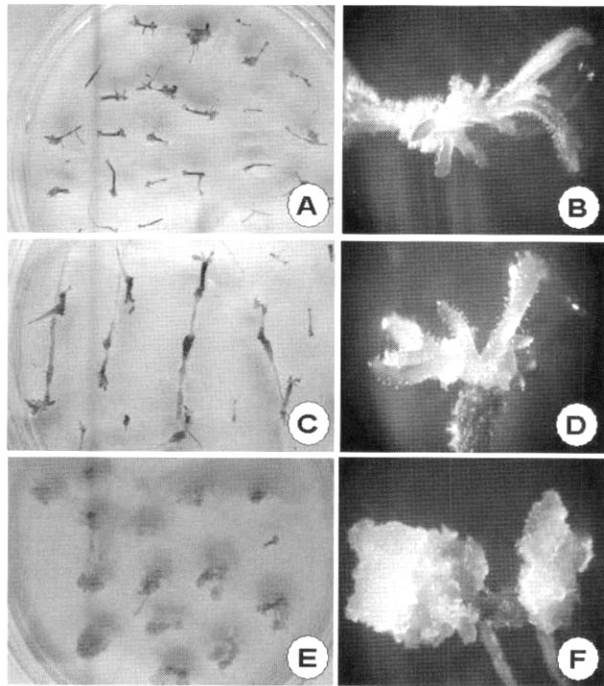


Figure 2. Adventitious shoots formation from adventitious roots segments of *U. davidiana* seedling after 6 weeks of culture. A-B: 2.0 mg/L kinetin, C-D: 2.0 mg/L BA and E-F: 8.0 mg/L 2-ip.

양하였다. 부정아 유도 결과 2.0 mg/L kinetin에서 가장 높은 95%의 부정아 유도율과 8.4개의 절편당 부정아 유도 수를 얻었으며(Table 2), 부정아 유도 형태는 절편체 절단부 양면에서 직접 다수의 부정아가 형성되었고, 형성된 부정아는 녹색을 띄었으며, 녹색의 눈 주변에 많은 모용을 형성하였다. 또한 약간 유리화된 듯한 눈을 형성하였는데, 이것은 나중에 정상적인 잎으로 분화되었다(Figure 2a, b). 그 외 사이토키닌으로 4.0 mg/L zeatin에서는 73%의 부정아 유도율을 얻었지만 절편 당 부정아 수가 평균 2.5개로 효율이 높지 않았으며, 캘러스 부위에서 부정아가 드문드문 형성되었다. 2-ip와 BA에서는 각각 2.0 mg/L에서 56% 정도의 부정아 유도율을 보였고, 평균 5개의 절편당 부정아수로 낮은 효율을 보였다(Table 2). 2.0 mg/L BA에서는 한쪽 절단면에서 몇 개의 부정아가 형성되었고, 다른 쪽 절단면에서는 발근과 뿌리신장이 이루어졌고, 2.0 mg/L 2-ip에서는 절단면 양쪽 면에서 캘러스가 형성되었다(Figure 2c, d, e, f). 사이토키닌과 옥신의 혼합처리 역시 대조구보다도 부정아 유도율과 부정아 수가 높지 않았다. 결과적으로 MS 배지에 2.0 mg/L kinetin을 첨가한 배지에서 부정아를 형성하기에 가장 적당한 배지라는 것을 알 수 있었고, 옥신과 사이토키닌의 조합처리가 이 부정아 유도에 그다지 영향을 주지 않는다는 것을 관찰 할 수 있었다.

느릅나무 부정아 형성은 다른 몇 개의 외국 논문에서 보고 된 바 있는데 절편은 달랐으나, 주로 BA를 이용하여

부정아를 유도하였다. Ben 등 (1998)은 Dutch elm hybrid 'Commelin'에서 특이하게도 기외 줄기(basal diameter ≥ 1 cm)의 외피와 내피를 제거한 형성층, 물관과 체관을 포함한 부분의 절편을 가지고, MS배지에 0.1-5 mg/L BA를 첨가한 배지에서 부정아를 유도하였으며, Ann 등(1997)은 *Ulmus americana*의 종자를 이용한 기내발아묘의 잎, 줄기, 뿌리와 기외 성숙목의 뿌리를 IBA에 담가 줄기를 유도하여 유도된 줄기부위를 소독 후 기내 절편으로 사용하여 MS 배지에 2.2 mg/L BA를 첨가한배지에서 부정아를 유도하였다. Bolyard 등(1991), Fenning 등(1993) 그리고 George 와 Tripepi(1994)는 잎 절편을 이용하여, BA 단독 혹은 TDZ와 혼합처리한 배지에서 부정아를 유도하였다.

이 연구에서는 보고 된 다른 논문과 달리 BA처리는 평균 50%정도의 부정아 유도율과 낮은 절편 당 줄기수를 보였으며, kinetin처리 시에는 평균 95%이상의 높은 줄기 유도율과 절편 당 줄기 수를 보여주었다. 한편, 옥신과 사이토키닌 혼합처리는 부정아 형성에 큰 영향을 주지 못했다(Table 2). 결과적으로 이 연구에서 부정아 형성율에 가장 영향을 미치는 호르몬은 kinetin 단독 처리가 가장 효과적이라고 할 수 있다.

아직 까지 모든 느릅나무 재분화에 있어서 부정근을 절편으로 재분화한 것이 보고 된 바 없다. 부정근을 재료로 한 식물체 재분화는 잎이나 줄기를 절편으로 사용하는 것보다 장점을 가지고 있다. 먼저 부정근들의 높은 생장으로 인해 풍부한 양의 재료를 빠르고 쉽게 얻을 수 있으며, 따라서 많은 노동력이 필요치 않고 경제적이다. 또한 잎이나 절간 조직과 달리 배양재료의 증식이 쉽고, 절편을 배지에 치상 할 때도 절편을 놓는 방향등을 고려하지 않아도 된다(Hubstenberger *et al.* 1992). 또한 외국에서 보고 된 느릅나무 재분화에 사용된 재료는 주로 잎과 줄기 부분이다. 그러나 이렇게 잎이나 줄기부위를 절편체로 사용하면 식물체 전체를 회생시켜 재료로 사용하여야 하지만, 뿌리를 재료로 사용할 경우 소량의 뿌리만을 채취하여 증식 후 재분화 실험의 재료로 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

3. 배지에 따른 줄기 성장과 발근 및 기외순화

부정아 유도를 통해 유도된 4-5 cm 정도의 균일한 크기의 줄기를 WPM배지의 농도를 달리하여 성장 및 발근유도에 관한 실험을 실시하였다. 줄기 길이는 1/2 WPM 배지에서 평균 2.1 cm로 좋았으며(Figure 3a, 4), 뿌리길이는 1/4 WPM 배지에서 가장 길게 나타났다. 줄기길이는 배지 처리 간 큰 차이를 보이지는 않았으나, 뿌리길이는 배지 간 큰 차이를 보였다. WPM배지의 경우 배지 농도가 감소 할수록 뿌리의 길이가 증가하는 경향을 나타냈다(Figure 4). 결과적으로 줄기생장은 배지의 농도보다는 외

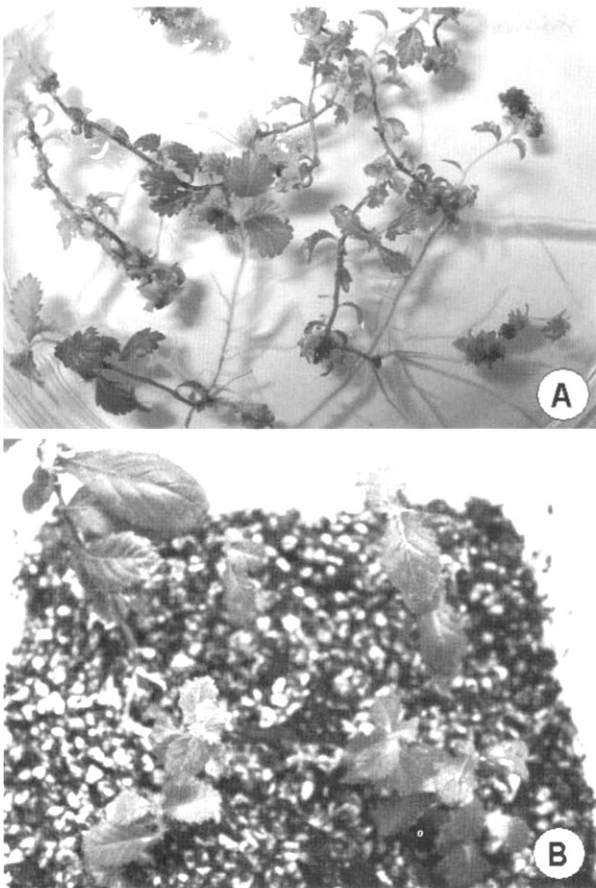


Figure 3. Rooting of adventitious shoots and acclimatization in artificial soils after 4 weeks. A: Rooting of adventitious shoots on 1/2 WPM medium after 4 weeks of culture, B: Acclimatization in pot containing vermiculite +peatmoss 1: 1.

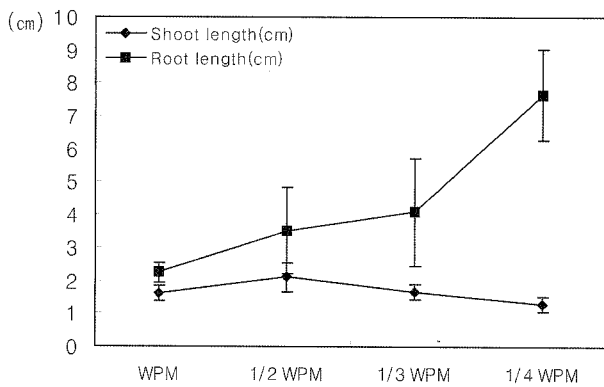


Figure 4. Effect of WPM medium strengths on rooting and shoot growth of adventitious shoots after 4 weeks of culture.

생 호르몬 처리에 의해 더 영향을 받을 것 이라고 추측되어진다. 뿌리길이는 줄기생장보다 확실한 차이를 보였는데, 배지의 농도가 감소 할 수 록 뿌리길이가 증가하였다. WPM 배지는 일반적인 배양에서 가장 많이 쓰이는 MS배지보다 발근과 관련된 질산 암모늄 (NH_4NO_3)의 양이 1/4 정도의 수준이다. 따라서 당느릅나무 기내 식물체의 발근은 질산 암모늄(NH_4NO_3)에 의해 영향을 받는 것으로 생

각되어진다.

기내에서 재분화 된 식물체는 기외순화를 위해 인공상토(vermiculite+peatmoss 1:1)가 담긴 플라스틱 박스에 이식하였다(Figure 3b). 인공상토로 이식 4주 후 100%의 생존율을 보여주었다.

이 연구에서는 느릅나무의 부정근을 사용하여 새롭고 효과적인 재분화 체계를 확립하였다. 뿌리에서 직접 부정아를 유도 하기 때문에 줄기나 잎 절편과 같이 부정아를 유도한 다음 별도의 발근 과정이 필요없기 때문에 보다 효율적이고 신속한 식물체를 얻을 수 있는 장점을 지닌다. 따라서 이 재분화 방법은 다른 느릅나무 종의 재분화에 적용 시킬 수 있을 것이며, 또한 형질전환 연구를 위한 기본적인 토대로도 사용될 수 있을 것 이다.

감사의 글

본 연구는 산림청 산림과학 기초연구지원사업에 의해 수행되었습니다.

인용문헌

1. 이창복. 1993. 대한 식물 도감. 향문사. 서울. pp. 280-281.
2. 탁우식, 최충호, 김태수. 2006. 채취 시기에 따른 느릅나무의 종자형질 및 발아특성 변화. 한국 임학회지 95(3): 316-322.
3. Ann Chanon, M., Joseph Kamalay, C., and Pablo Jourdan. 1997. Micropropagation of juvenile and mature American elms from stem nodal sections. pp. 242-250. 11th Central Hardwood Forest Conference. University of Missouri Columbia. Missouri, U.S.A.
3. Ben Jouira, H., Hassairi, A., Bigot, C., and Dorion, N. 1998. Adventitious shoot production from strips of stem in the Dutch elm hybrid 'Commelin': plantlet regeneration and neomycin sensitivity. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 53: 153-160.
4. Biroscikova, M., Spisakova, K., Liptak, S., Pichler, V., and Durkovic, J. 2004. Micropropagation of mature wych elm (*Ulmus glabra* Huds.). Plant Cell Reports 22: 640-644.
5. Bolyard, M. G., Srinivasan, C., Cheng, J., and Sticklen, M. 1991. Shoot regeneration from leaf explants of American and Chinese elm. Hortscience 26: 1554-1555.
6. Bourgaud, F., Gravot, A., Milesi, S., and Gontier, E. 2001. Production of plant secondary metabolites; a historical perspective. Plant Science 161: 839-851.
7. Cheng, Z. and Shi, N. 1995. Micropropagation of mature Siberian elm in two steps. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 41: 197-199.
8. Corchete, M.P., Diez, J.J., and Valle, T. 1993. Microprop-

- agation of *Ulmus pumila* L. from mature trees. Plant Cell Reports 12: 534-536.
9. Corredoira, E., Vieitez, A.M., and Ballester, A. 2002. Somatic embryogenesis in elm. Annals of Botany 89: 637-644.
 10. Fenning, T.M., Gartland, K.M.A., and Brasier, C.M. 1993. Micropropagation and regeneration of English elm, *Ulmus procera* Salisbury. Journal of Experimental Botany 44: 1211-1217.
 11. George, M.W. and Tripepi, R.R. 1994. Cytokinins, donor plants and time in culture affect shoot regenerative capacity of American elm leaves. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 39: 27-36.
 12. Han, J.Y., Jung, S.J., Kim, S.W., Kwon, Y.S., Yi, M.J., Yi, J.S., and Choi, Y.E. 2006. Induction of adventitious roots and analysis of ginsenoside content and the genes involved in triterpene biosynthesis in *Panax ginseng*. Journal of plant biology 49(1): 26-33.
 13. Ho, R.H. 1985. Micropropagation of American elm. pp. 78-82. In : Caron, E., Coriveau, A.G and Boyle T.J.B., ed. New Ways in Forest Genetics. Proceedings 20th Canadian Tree Improvement Association. August 9-22. Quebec City, Quebec.
 14. Hubstenberger, J.F., Clayton, P.W., and Phillips, G.C. 1992. Micropropagation of cacti (Cactaceae). pp. 49-68. In: Bajaj, Y.P.S., ed. Biotechnology in Agriculture and Forestry. Springer Verlag, Berlin.
 15. Karnosky, D.E, Mickler R.A., and Lange D.D. 1982. Hormonal control of shoot and root induction in hypocotyl callus cultures of American elm. *In Vitro* 18: 275.
 16. Kim, K.S., Lee, S.D., Kim, K.H., Kil, S.Y., Chung, K.H., and Kim, C.H. 2005. Suppressive effects of a water extract of *Ulmus davidiana* Planch (Ulmaceae) on collagen-induced arthritis in mice. Journal of Ethno-pharmacology 97: 65-71.
 17. Lee, S.J. 1996. Korean Folk Medicine. pp. 39. Monographs Series No 3. Publishing Center of Seoul National University. Seoul, South Korea.
 18. Lloyd, C. and McCown, B.H. 1981. A revised mineral nutrient formulation for microculture of woody plant species. Hortscience 16: 453.
 19. Murashige, T. and Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. Physiologia Plantarum 15: 473-497.
 20. Schenk, R.U. and Hildebrandt, A.C. 1972. Medium and techniques for induction and growth of monocotyledonous and dicotyledonous plant cell cultures. Canadian Journal of Botany 50: 199-204.

(2006년 12월 28일 접수; 2007년 3월 7일 채택)