

카사바의 절간절편 배양에서 부정근 발생이 결정되는 시기의 판별

윤실 · 조덕이¹ · 소응영*

전북대학교 생물과학부, ¹우석대학교 생물학과

Timing for Determination in Adventitious Root Formation from In Vitro Cultured Internodal Explants of Cassava (*Manihot esculenta*)

YOON, SII · CHO, Duck-Yee¹ · SOH, Woong-Young*

Department of Biological Science, Chonbuk National University, 561-756, Korea

¹Department of Biology, Woosuk University, Chonbuk, 565-701, Korea

ABSTRACT The timing for the determination in root formation from nodal and internodal explants of cassava (*Manihot esculenta* Crantz, cv. MCol 22) was investigated. Nodal explants about 10 mm with an axillary bud formed adventitious roots directly on MS basal medium for 8 days of cultures. But internodal segments without an axillary bud did not develop the adventitious roots on the same medium, and most internodal segments excised from nodal explants after cultures of 5 days on MS basal medium developed adventitious roots. On the other hand, the internodal segments rooted at 90% after cultures on medium with 0.5 mg/L IBA for 5 days, with 1 mg/L IBA for 2.5 days, and with 2 mg/L IBA for 1.5 days respectively. Thus the period of culture on medium with IBA and its IBA concentration affected the rooting rate. Therefore, it is suggested that the determination for root formation occurred before the differentiation of root primordia on medium with IBA, and root inducing factors in medium were absorbed and accumulated during the period of determination for root primordium differentiation in internodal segment of cassava.

Key words: Competence, endogenous auxin, internode and node culture

서 론

식물체 절편으로부터 부정근이나 부정근 등이 분화되는 초기 단계에서 분화수용능력 (competence)과 분화결정 (determination)에 대한 개념은 기관분화의 중요성에 비해 연구는 활발하지 못한 것이 현실이다 (McDaniel 1984, Mohnen 1994). 이 개념에 의하면, 부정근 발생이 시작될 때는 특정한 분열세포나 세포군이 먼저 분화수용능력 상태로 되고 이어서 분화결정되어야 하며, 일단 분화결정된 세포는 발근 유도인자를 제거하더라도 부정근 발생은 변함없이 진행된다. 그리고 분화수용능력은 분화결정이 일어날 수 있는 전제조건으로 알

려져 있다. 그러나 이러한 개념상의 분화수용능력과 분화결정 단계는 그 시기를 명확하게 구분하기 어려운 것으로 보고되고 있다 (Christianson and Warnick 1983; McDaniel 1986; Attfield and Evans 1991; Mohnen 1994; De-Klerk et al. 1995).

일반적으로 부정근 발생 과정에서 분화결정 기간을 확인하기 위해서는 옥신 등의 생장조절물질이 첨가된 발근유도배지에서 조직절편을 일정 기간 배양한 후 옥신이 제거된 기본배지로 이식했을 때, 발근 유도에 소요되는 기간을 파악해야 된다. 한편 Soh 등 (1999)은 해부학적 발생과정에 중점을 두고 발근과정을 설명하고 있으나, Mohnen (1994)은 분화결정 시기를 근원기 형성 이전이라는 주장이므로, 이는 발근이 결정되는 생리학적 변화과정으로 볼 수 있다.

지금까지 분화결정 시기 확인에 대한 연구는 외래 옥신을 처리해야만 발근되는 사과와 경엽부, English ivy의 엽병, 메

*Corresponding author. Tel 063-270-3353

E-mail sohwy@moak.chonbuk.ac.kr

꽃의 엽절편 (Christianson and Warnick 1983), 및 담배잎 절편 (Afffield and Evans 1991) 등 소수의 식물에 대해서만 이루어졌다. 그런데, 베고니아의 엽병 (Thakur 1975), 아스파라거스의 마디절편 (Chin 1982), 장미류의 줄기 (Horn et al. 1988), 및 감자의 마디절편 (Hussey and Stacey 1981) 등은 발근유도물질을 첨가하지 않아도 내생 옥신만으로 쉽게 발근된다. 따라서 기본배지에서 발근되는 식물에 대해서는 일반적인 옥신 단기 처리방법으로 분화결정 시기를 확인하기 어렵다.

본 실험에 사용된 카사바의 마디절편 역시 외래 옥신을 첨가하지 않은 MS기본배지에서 부정근이 잘 발생된다 (Yoon et al. 2000). 그러나 액아가 포함되지 않은 절간절편은 마디절편과 동일한 줄기 부위이지만 반드시 외래 옥신이 첨가된 배지에서만 부정근이 발생된다. 이러한 차이는 마디절편의 경우 액아에서 생성된 내생 옥신이 절편 기부로 이동 축적되어 부정근이 발생되지만, 절간절편에서는 액아로부터 내생 옥신의 이동이 없으므로 부정근 발생에 영향을 미치지 못한 것으로 보인다. 따라서 카사바의 마디절편과 절간절편은 한 식물의 동일 부위 조직이지만 부정근 발생에서는 서로 다른 두 가지 특성을 보이게 된다.

본실험은 카사바의 마디절편과 절간절편의 이러한 특성을 이용하여, 절간절편에 대해서는 외래 옥신을 처리하는 방법으로 분화결정 시기를 확인하고, 마디절편에 대해서는 MS기본배지에서만 배양하면서 마디절편의 중간을 절단하는 단순한 물리적 방법으로 분화결정 시기를 확인하여 결과를 비교했다.

재료 및 방법

식물재료

실험식물인 카사바 (*Manihot esculenta* Crantz, cv. MCol 22)는 1996년 콜롬비아의 CIAT (Centro International Agricultural Tropical)로부터 분양받아 MS (Murashige and Skoog 1962) 기본배지에서 계대배양하여 사용했다. 실험된 마디 및 절간 절편은 배양병 속에서 7~10 cm로 자란 카사바의 1~3번째 마디와 절간 부위에서 절취했다. 마디절편은 1개의 액아가 포함된 약 10 mm 길이로 절취했으며, 액아 위 약 1 mm와 액아 아래 약 9 mm 위치를 자른 것이다. 이때 마디의 윗면 그 엽병을 1~2 mm 만 남기고 제거했다. 또한 절간절편 역시 1~3번째 마디의 절간 중앙 부위에서 약 5 mm 길이로 절취한 것을 사용했다. 이와 같이 준비된 마디절편 및 절간절편은 20 g/L의 자당, 0.6% 한천이 첨가된 MS 기본배지에서 배양했다. 배양액은 한천을 넣기 전에 pH 5.6으로 조정하고 121°C, 1.2기압에서 15분간 멸균했으며, 1회용 플라스틱 용기 (87 mm×15 mm)에 25 ml씩 분주했다. 배양물은 25 ± 2°C, 약 46 μmol m⁻²s⁻¹에서 16시간 광주기로 배양했다.

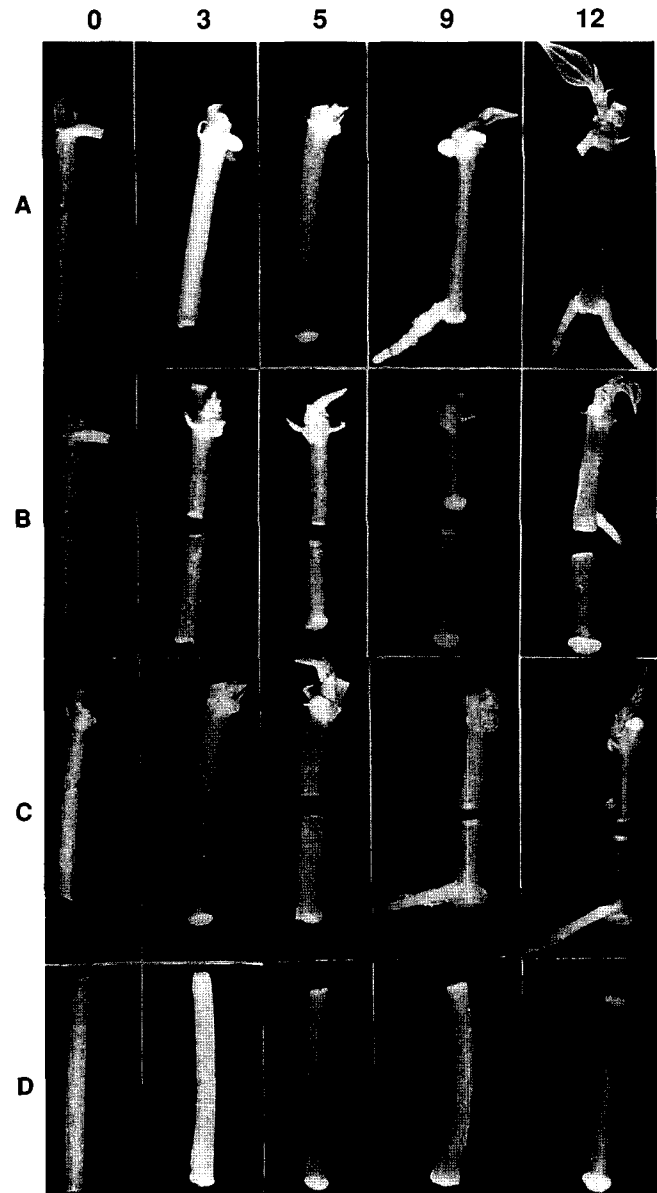


Figure 1. Adventitious root formation from nodal explants with an axillary bud cultured on basal medium for 0-12 days. The explant developed shoot and roots in one step after culture of 7-8 days (A). The short internodal segment which excised from nodal explant after 3 days incubation on MS basal medium did not develop adventitious roots (B). However, the segments excised after 5 days incubation formed adventitious roots (C). The internodal segment initially without an axillary bud did not develop the roots cultured on the same medium for 12 days or more(D).

IBA 첨가 배지에서 배양된 절간절편의 분화결정 시기

MS기본배지에서는 장기간 배양해도 부정근 발생이 불가능한 절간절편에 여러 농도의 IBA (3-indolebutyric acid)를 첨가하여 분화결정 시기를 측정했다. 이를 위해 약 5 mm 길이로 자른 절간절편을 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 및 2 mg/L의 IBA를 첨가한 MS배지에서 일정 기간 단위 (12, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120, 132시간 및 240시간)로 배양한 후 MS 기본배지로 이식하여, 절편으로부터 발생된 부정근의 평균 수 및

부정근 발생율을 계산하여 분화결정 시기를 추정했다. 절간절편의 부정근 수, 길이 및 발근율은 전체 배양기간 10일 후 측정했다. 이 실험은 각 조건당 15개 절편을 3반복 배양하여 통계처리했다.

마디절편의 하부에서 절단된 절간절편의 분화결정 시기

약 10 mm 길이의 마디절편을 MS 기본배지에서 배양 시작한 후 24시간부터 132시간까지 12시간 간격으로 절편 중간부를 절단하여 배양했을 때, 절간 기부에서 부정근이 발생하는 결과로부터 분화결정 시기를 확인하고, 그 결과를 IBA 처리 방법으로 조사한 절간절편의 분화결정 시기와 비교했다. 그리고 마디절편과 동시에 정단부 절편에 대해서도 분화결정 시기를 확인하기 위해 약 10 mm 길이로 절단한 정단부 절편을 같은 방법으로 실험했다. 이 두 비교실험 역시 절간절편 실험과 같은 배양 조건으로 시행했다.

절간절편의 부정근 발생 분화수용능력 시기

이 실험에서는 외래 옥신이 첨가되어야만 부정근이 발생하는 절간절편을 사용했으며, 0.5 mg/L의 IBA가 첨가된 MS 배지를 발근유도배지로 이용했다. 분화수용능력 확인 실험에서 발근유도배지에 0.5 mg/L의 IBA를 첨가한 것은, 이 농도에서 배양된 절간절편의 분화결정 획득이 3~5일부터 되며 (Figure 2), 또한 마디절편 하부의 절간절편을 절단하는 방법으로 측정된 분화결정 획득시기 역시 3~5일이었기 때문이다 (Figure 5).

분화수용능력 기간 측정은 분화결정 기간을 5일 (120시간)로 인정하여 실시했으며 (Figure 2), 배양 조건은 Table 1과 같이 (a) 발근유도배지에서 5일간 배양 후 기본배지로 이식,

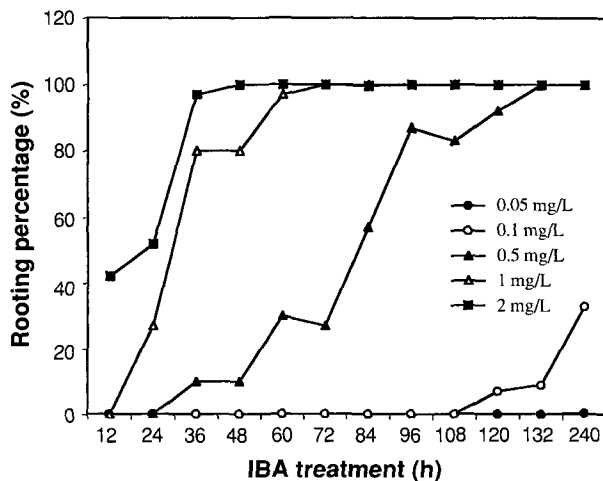


Figure 2. Rooting percentage of internodal segments of cassava cultured in medium supplemented with various concentrations of IBA. The segments were transferred onto MS basal solid medium after various culture periods. Rooting rates were counted after 10 days incubation.

(b) 비발근유도배지 1일 + 발근유도배지 5일 + 기본배지 4일, (c) 1일 + 4일 + 5일, (d) 1.5일 + 3.5일 + 5일, (e) 2일 + 3일 + 5일, (f) 2.5일 + 2.5일 + 5일, 그리고 (g) 3일 + 2일 + 5일, 이렇게 7가지 조건으로 배양하여, 비발근유도배지에서 전배양함으로써 분화결정 되기까지 발근유도배지에서의 배양기간을 단축시킬 수 있는지 확인했다. 분화수용능력 기간에 대한 결과는 배양 시작 10일 후 각 조건의 절간절편으로부터 발생된 부정근의 발근율을 계산하여 추정했으며, 이 실험은 각 조건당 30개의 절간절편을 2회 배양하여 통계처리했다.

결 과

IBA 배지에서 배양된 절간절편의 분화결정 시기

카사바의 절간절편을 기본배지 또는 여러 농도의 IBA가 첨가된 MS 배지에서 단기간 배양한 후 기본배지로 이식하여 발근을 확인한 결과, 기본배지에서는 물론 IBA 0.05 mg/L 농도에서는 10일간 연속 배양해도 전혀 발근되지 않았고, 0.1 mg/L에서는 10일간 연속배양했을 때 33%의 발근이 일어났다. 그러나 0.5 mg/L에서는 36시간 처리에서부터 7%의 발근율을 보이기 시작하여 120시간 배양에서 92% 발근이 이루어졌으며, 옥신 농도가 증가됨에 따라 발근 소요시간은 단축되어, 1 mg/L에서는 60시간 처리에서 92%, 그리고 2 mg/L에서는 36시간 처리에서 97% 발근되었다 (Figure 2).

이 결과에 따라 분화결정 시기를 일반적 방법 (Mohnen 1994)으로 확정할 경우, 0.5 mg/L IBA 처리조건에서는 120~132시간 후 대부분 (>90%)의 절편에서 분화결정이 일어나고, 1 mg/L 조건에서는 보다 빠른 60~72시간 이전에, 그

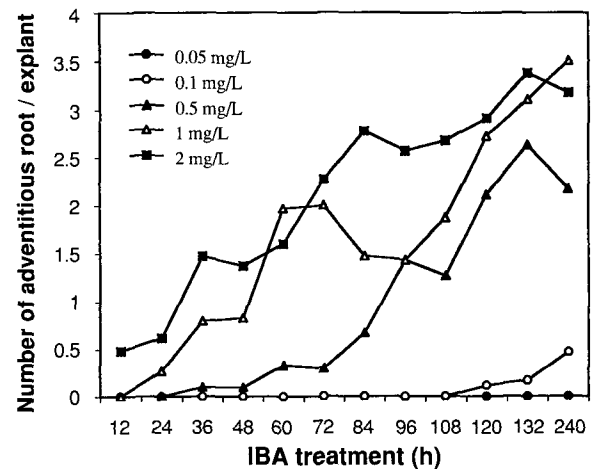


Figure 3. Effect of IBA treatment on adventitious root formation from internodal segment cultures of cassava. The internodal segments were cultured in MS basal medium supplemented with various concentrations of IBA for different culture period and then transferred onto MS basal solid medium. The number of roots were counted after 10 days of culture.

리고 2 mg/L에서는 36~48시간 이전에 거의 모든 절간절편에 분화결정이 일어난 것으로 확인되었다.

한편 부정근 발생수는 옥신 농도가 높아질수록 그리고 처리기간이 길수록 증가하는 경향을 보여, 0.5 mg/L에서는 132시간 배양에서 평균 2.6개의 부정근이 발생되고, 1 mg/L에서는 같은 기간 배양에서 3.1개, 2 mg/L에서는 3.4개가 발생되었다 (Figure 3).

부정근의 길이 생장은 0.5 mg/L의 IBA가 첨가된 배지에서 132시간 (5.5일) 배양 후 MS 기본배지로 옮긴 것에서 가장 길었다. 그러나 같은 농도 조건에서 10일간 연속 배양하면 오히려 부정근 신장이 억제되었다. 즉, 0.5 mg/L IBA 첨가에서는 132시간 배양시 부정근이 19.3 mm로 생장하였으나 10일 연속 배양에서는 8.2 mm로 생장이 감소하였으며, 1 mg/L에서는 132시간 전처리시 19 mm였으나 10일 연장배양에서는 약 8 mm로 감소되었으며, 2 mg/L에서는 17.7 mm이던 것이 연속배양에서 절반 이하인 6.5 mm로 생장이 지연되었다 (Figure 4).

절간절편의 부정근 발생 분화수용능력 시기

절간절편의 부정근 발생 분화수용능력 시기에 대한 추정실험 결과, 발근유도배지에서 5일 연속배양 후 기본배지로 옮긴 절간절편 (a)에서는 92%, (b)에서는 90%, 그리고 (c)에서는 92%의 비슷한 발근율을 나타냈다. 그러나 비발근유도배지에서의 배양기간이 증가되고 발근유도배지에서의 배양기간이 단축되면 발근율은 점점 떨어져 (d)에서는 63%, (e), (f) 및 (g)에서는 각각 31%, 9% 및 10%의 발근율 나타냈다 (Table 1). 따라서 비발근유도배지에서의 전배양이 분화결정기간을 단축시키지 않는 결과를 보였다.

마디절편의 하부에서 절단된 절간절편의 분화결정 시기

마디절편의 하부를 일정 시간 간격으로 절단했을 때 60시간 (2.5일)보다 더 일찍 분리된 절간절편에서는 배양 시작 후 10일이 경과해도 부정근이 발생되지 않았다. 그러나 72시간

Table 1. Effect of pre-cultures on non-root inducing medium (NRIM) before transfer to root inducing medium (RIM) containing 0.5 mg/L IBA.

Culture period Explant	NRIM (day)	RIM (day)	BM (day)	Rooting rate (%)
a	0.0	5.0	5.0	92
b	1.0	5.0	4.0	90
c	1.0	4.0	5.0	92
d	1.5	3.5	5.0	63
e	2.0	3.0	5.0	31
f	2.5	2.5	5.0	9
g	3.0	2.0	5.0	10

Pre-cultures on NRIM does not shorten the length of culture period for determination (4~5 d). Rooting rate was counted on 10 days after culture.

이후 절단된 절간절편에서부터 5%의 부정근 발생이 시작되어, 84~96시간에 절단된 것은 15~19%, 108시간에서는 81%, 120시간 (5일) 후 절단된 것에서 96%의 발근율을 나타냈다. 따라서 마디절편의 분화결정 시기는 72~120시간 (3~5일)이며, 절편에 따라 그 기간 폭이 48시간 정도 차이가 있는 것으로 나타났다 (Figure 5).

이러한 분화결정 시기를 정단부 절편에 대해서도 확인했을 때, 정단부 절편은 72시간에 34%가 발근되고 108시간에 98%가 발근되므로서, 정단부 절편의 분화결정 시기는 마디절편보다 약 24시간 빠른 3~4일 내에 이루어졌으며, 절편 개체에 따른 분화결정 기간 폭은 약 24시간으로 단축되었다.

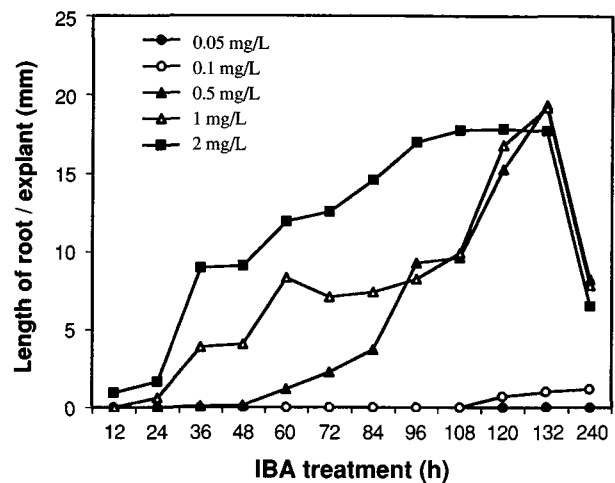


Figure 4. Effect of culture periods on growth of adventitious root from internodal segment cultures of cassava. The internode segments were incubated in MS medium supplemented with various concentrations of IBA for different culture period and then transferred onto MS basal solid medium. The length of roots were counted after 10 days of culture.

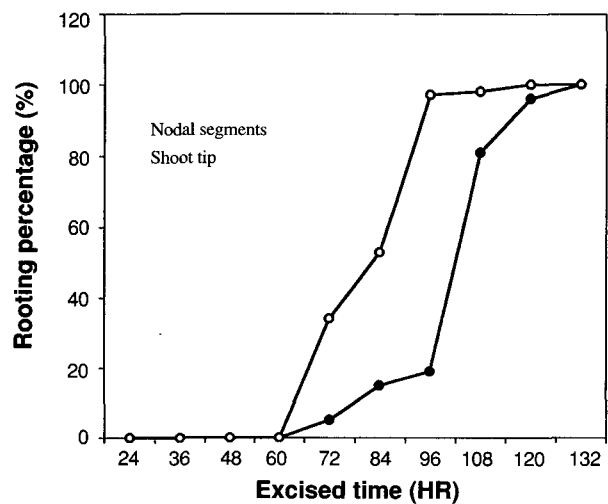


Figure 5. The comparison of rooting percentage of nodal explants and shoot tip segments cultured on MS basal medium by the timing of excision of explants. The segments excised after formation of root primodium developed adventitious roots.

고 찰

부정근의 초기 발생 과정에 있어 최초의 세포분열로부터 근원기가 형성되기까지의 과정은 아직도 충분히 밝혀지지 않고 있으며, 시원세포와 근원기에 대한 해부학적 정의 또한 그 경계가 명확치 않다. Mitsuhashi-Kato 등 (1978)은 팍의 배측 절편의 부정근 발생 과정에 대한 연구에서 '시원세포는 세포 분열이 진행되는 세포괴에 아직 부피 증가가 일어나지 않은 단계이고, 근원기는 분열된 세포의 팽창에 의해 부피 증가가 일어나면서 신장이 시작된 단계'로 정의하고 있으나, 시원세포와 근원기의 경계를 해부학적으로 명확히 구분하기는 어렵다. 또한 생리적 초기 발생단계인 분화수용능력과 분화결정 역시 그 시기가 재료식물별, 발근유도물질 종류 및 농도별로 다양하게 나타나는 것을 알 수 있다.

IBA 첨가 배지상에서 절간절편의 분화결정 시기

IBA 농도에 따라 절간절편으로부터 부정근 발생을 위한 분화결정 시기를 측정된 결과, IBA 농도가 고농도이면 24시간 이내로 단축되기도 하고 저농도이면 120시간 이상 지연되거나 발근이 불가능한 결과를 보임으로서, 분화결정 시기는 발근유도물질의 농도에 따라 큰 차이가 있는 것이 확인되었다.

담배잎 절편 (1.0 cm²)의 경우 IBA 1 mg/L를 단기처리했을 때, 24시간 처리된 것에서부터 발근된 개체가 나타나기 시작하여 8일 처리되었을 때 최대 발근율을 보였으며 (Attfield and Evans 1991), 또한 동일한 담배잎 절편에 대해 1.7 mg/L의 IAA를 단기처리했을 때, 24시간에서 5%의 발근율을 보이기 시작하여 120시간 (6일) 처리시에 96%의 최대발근율이 나타났다 (Jeon et al. 1998). 이 두 실험 역시 배양조건에 따라 분화결정 기간에 매우 큰 시간차를 보이고 있다. 이와같이 동종 식물의 동일 조직에 대한 실험결과가 다르게 나타난 이유는 발근유도물질의 종류와 농도 및 실험조직의 성숙도 등에 따라 발근유도물질을 흡수하여 축적하는 시간이 다를 것이기 때문으로 사료된다.

이에 대한 다른 하나의 증거로, 2mg/L의 IBA가 첨가된 배지에서 충분한 분화결정 기간으로 간주되는 48시간 동안 배양한 절간절편을 0.05 mg/L의 제아틴이 첨가된 MS 기본배지로 이식하여 배양한 결과, 21일이 경과해도 전혀 발근하지 않았다 (데이터 미발표). 이것은 48시간 동안에 분화결정 되지 않은 상태에서 부정근 발생이 억제되는 제아틴 첨가 배지로 이식된 결과임을 입증한다.

한편 IBA 첨가로 측정된 분화결정 시기는 IBA 농도에 따라 12-120 시간의 큰 차이를 보이지만, 각 배양 조건에서 발생한 부정근의 근단이 조직의 표피 밖으로 돌출하는 시기는 고농도의 경우 6~7일이고 저농도에서는 7~8일로, 농도에 따른 부정근 신장 속도는 하루 정도의 차이만이 확인되었다.

분화수용능력 시기

조직 내에 잠재적인 시원세포가 미리 존재하지 않는다면 분화수용능력이 이루어져야만 부정근이 발생될 수 있는 것으로 알려져 있다 (Lovell and White 1986). 카사바의 절간절편을 이용한 부정근 발생 분화수용능력 기간 확인실험에서, 비발근유도배지에서의 단기배양이 분화결정 시간을 단축시키지 않았으므로, 이들은 배양 초기에 이미 분화수용능력을 가진 것으로 확인되었다. '분화수용능력은 발근 요인에 대한 수용 인자의 발현일 가능성이 있다'고 이론적으로 설명되고 있으나 (Wareing and Graham 1984), 이에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 다만 매꽃 (*Convolvulus arvensis*) 잎절편의 분화결정 기간은 약 14일 이상이고, 그 기간 중의 약 4일이 분화수용능력 기간이라는 보고가 있다 (Christianson and Warnick 1983). 따라서 분화수용능력에 대해서도 생리학적 및 해부학적으로 더 구체적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

물리적 방법으로 측정된 분화결정 시기

마디절편의 분화결정 시기는 72~120시간 (3~5일)이고, 정단부 절편은 더 단축된 72~96시간 (3~4일)의 좁은 폭의 시차로 나타났다. 한편 정단부 절편은 마디절편보다 24시간 정도 더 빨리 분화결정된 동시에 그 기간 폭도 하루 정도 단축되었다. 정단부 절편과 마디절편에서 발생한 부정근이 표피 밖으로 돌출하는 시기는, 정단부 절편에서는 약 6일만에, 마디절편에서는 약 7일만에 신장되어, 정단부 절편에서 하루 정도 일찍 발근되는 것으로 나타났다. 이처럼 동일 배양조건에서 정단부의 분화결정 시기, 시간 폭 및 부정근 돌출 시간이 모두 단축된 것은 정단부 절편의 경우 정단분열조직과 어린잎에서 생합성된 더 많은 양의 옥신이 구기적으로 이동되어 마디절편보다 더욱 빨리 축적된 결과로 판단된다 (Cho 1985; Cho and Soh 1989).

결론적으로, 본실험에서 절간절편은 발근유도물질 첨가 없이는 발근되지 않으나, 기본배지에서 일정기간 배양된 마디절편으로부터 분리된 절간절편은 기본배지에서라도 부정근이 발생될 수 있는 것은, 마디절편으로부터 절단되기 이전에 액아로부터 공급된 내생 옥신이 절편의 기부로 이동 축적되어 분화결정이 확정된 결과라고 판단된다. 따라서 마디절편의 분화결정 기간은 부정근 발생부 (절편 기부)에 충분한 양의 발근유도물질이 액아로부터 이동 축적되는 기간과 관계가 있으며, 외래 옥신이 처리된 절간절편의 분화결정 기간은 분화결정 유도에 필요한 양의 옥신이 배지로부터 흡수축적된 기간으로 볼 수 있다.

그리고 마디절편을 절단하는 단순한 방법으로 측정된 분화결정 시기는, 절간절편을 0.5 mg/L의 IBA가 첨가된 배지에서 배양된 경우의 분화결정 시기와 매우 비슷한 결과를 보임으로써, 마디절편에 작용되는 내생 옥신은 IBA 0.5 mg/L에

가까운 활성도를 가지고 있다고 판단된다.

부정근 발생 과정에서 근원기가 일단 분화되거나, 분화결정 이후에는 두 경우 모두 발근 요인이 제거되더라도 부정근 발생이 진행되는 것으로 이론적 설명이 이루어지고 있다 (Christianson et al. 1987; Mohnen 1995; Soh 1999). 분화결정과 근원기 형성의 유도 요인이 동일 요소인 옥신이며, 분화결정된 시기와 근원기가 형성된 시기는 모두 '발생과정이 정지되지 않는 canalize된 상태'라는 점에서도 두 시기는 논리상 일치해야 할 것으로 생각된다. 이를 규명하는 연구는 앞으로 더 이루어져야 할 것이다.

적 요

카사바 (*Manihot esculenta* Crantz, cv. MCol 22)의 마디 및 절간절편으로부터 부정근 발생이 분화결정되는 시기를 조사하였다. 1개의 액아를 가진 10 mm 길이의 마디절편을 MS 기본배지에서 8일간 배양하면 직접 부정근이 발생되었으나, 액아를 갖지 아니한 절간절편은 동일한 배지상에서 부정근이 형성되지 않았다. 반면에 마디절편을 MS 기본배지에서 5일간 배양한 뒤, 마디절편의 중간부로부터 절단된 하부의 절간절편으로부터는 부정근이 발생되었다. 이에 따라 마디절편의 중간부를 일정시간 단위로 절단하는 방법으로 조사된 분화결정 시기는 3~5일이었다. 한편 절간절편을 여러가지 농도의 IBA가 첨가된 배지에서 일정 기간 배양한 후 MS 기본배지로 이식했을 때 부정근이 발생하는 시기는 옥신 농도와 배양기간에 따라 달랐다. 0.5 mg/L IBA 첨가에서는 5일 이상 배양되어야 90% 이상의 절편에서 부정근이 발생되고, 1 mg/L IBA 첨가에서는 2.5일 이상 처리에서, 그리고 2 mg/L IBA에서는 1.5일의 처리에서 90% 이상의 부정근이 발생되었다. 따라서 부정근 발생을 분화결정시킨 외래 옥신의 처리기간은 분화결정 시기이러기보다는 근원기 유도에 필요한 적정량의 옥신을 흡수축적한 기간으로 사료된다.

인용문헌

- Attfield EM, Evans PK (1991) Stages in the initiation of root and shoot organogenesis in cultured leaf explants of *Nicotiana tabacum* cv. Xanthi nc. *J Exp Bot* 42:59-63
- Chin CK (1982) Promotion of shoot and root formation in *Asparagus* in vitro by ancymidol. *HortSci* 17:590-591
- Cho DY (1985) Distribution and quantitative determination of IAA by high performance liquid chromatography on adventitious root formation in azukia epicotyl cuttings. *Kor J Plant Tiss Cult* 12:79-87
- Cho DY, Soh WY (1989) Effects of endogenous IAA transport on adventitious root formation in *Phaseolus vulgaris* hypocotyl cutting. *Kor J Bot* 32:323-330
- Christianson ML, Warnick DA (1983) Competence and determination in the process of in vitro shoot organogenesis. *Dev Bio* 95:288-293
- De-Klerk GJ, Keppel M, Brugge JT, Meekes H (1995) Timing of the phases in adventitious root formation in apple microcuttings. *J Exp Botany* 46:965-972
- Horn W, Schlegel G and John K (1988) Micropropagation of roses (*Rosa hybr.*). *Acta Hort* 226:623-626
- Hussey G, Stacey NJ (1981) In vitro propagation of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Ann Bot* 48:787-796
- Jeon MG, Jo HI, Han TJ (1998) Effect of polyanmine on adventitious root formation from tobacco (*Nicotiana tabacum*) leaf segments. *J Plant Biol* 41:31-36
- Lovell PH, White J (1986) Anatomical changes during adventitious root formation. In: Jackson MB (ed). *New Root Formation in Plants and Cuttings*, Martinus Nijhoff Pubs, Boston
- McDaniel CN (1984) Competence, determination, and induction in plant development. In: Malacinski GM and Bryant SV (eds). *Pattern Formation, A Primer in Developmental Biology*. Macmillan Pub. Co., New York
- Meins (1986) Determination and morphogenetic competence in plant tissue culture. In: Yeoman MM (ed). *Plant Cell Culture Technology*. Blackwell Sci Pub, Boston
- Mitsuhashi-Kato M, Shibaoka H, Shimokoriyama M (1978) Anatomical and physiological aspects of developmental processes of adventitious root formation in Azukia cuttings. *Plant Cell Physiol* 19:867-874
- Mohnen D (1994) Novel experimental system for determining cellular competence and determination. In: Darvis, TD, Haissig BC (eds) *Biology of Adventitious Root Formation*. pp. 87-98. Plenum Press, New York.
- Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue. *Physiol Plant* 15:473-497.
- Soh WY, Bhojwani SS, Lee SC (1999) Developmental and structural aspects of root organogenesis. In: Soh WY, Bhojwani SS (eds). *Morphogenesis in Plant Tissue Culture*. pp 130-164. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands
- Thakur S (1975) Differentiation of shoot buds and roots in petiolar segments of *Begonia picta* Smith. *Ind J Exp Biol* 13:517-520
- Wareing PF and Graham CF (1984) Determination and pluripotentiality. In: Graham CF and Wareing PF (eds), *Developmental Control in Animals and Plants*. Blackwell Sci. Pub. Boston
- Yoon S, Soh WY, Cho DY (2000) Micropropagation of cassava by suspension culture derived from its nodal explants. *Kor J Plant Tiss Cult* 27:185-189