

땅파리(*Physalis angulata* L.) 하배축 절편으로부터 신초 형성을 통한 식물체 재분화

고석찬*

제주대학교 생물학과, 교수

Plant Regeneration via Adventitious Shoot Formation from Hypocotyl Explants of Groundcherry (*Physalis angulata* L.)

Seok Chan Koh*

Professor, Department of Biology, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

Abstract - In the present study, plant regeneration through adventitious shoot formation from hypocotyl segments of *in vitro* seedlings of groundcherry (*Physalis angulata* L.) was investigated to determine the optimum culture conditions for highly efficient regeneration of the species. Adventitious shoots in hypocotyl segments were efficiently induced on MS media with low concentrations of BAP, specifically, with 0.5–1.0 mg/L BAP singly or in combination with 0.1–0.5 mg/L NAA. The 1.0 mg/L BAP single treatment was most effective for forming multiple adventitious shoots. When the induced shoots were transferred to the root induction media, low concentrations of NAA, IBA, and IAA enhanced the development of adventitious roots from adventitious shoots, suggesting that low concentrations of auxins were optimal for producing regenerated plantlets. The number of roots per shoot was large (> 2.0), and the root length exceeded 8.0 cm. In particular, the development and the overall shape of the roots were ideal. Furthermore, the number and length of shoots exceeded 2 and 6.0 cm, respectively. When the regenerated plantlets were transferred to compost soil, the root and shoot systems had developed well to the point that all of the regenerated plantlets acclimated successfully, resulting in normal morphology and growth characteristics, similar to those of the mother plant. Therefore, plant regeneration via adventitious shoot formation is expected to be one of the main methods for producing groundcherry on a large scale for a stable supply of the raw materials.

Key words – BAP, Multiple adventitious shoots, NAA, Regenerated plantlets, Root formation

서 언

땅파리(*Physalis angulata* L.)는 열대 및 아열대 지역에 광범위하게 분포하고 있는 가지과(Solanaceae)에 속하는 1년생 초본으로 열대 아메리카가 원산지이며, 우리나라에서는 제주도, 목포, 울릉도 등에서 채집되고 있다. 높이는 30~40 cm이고 줄기에 짧은 털이 있으며 가지를 많이 친다. 잎은 어긋나며 끝이 뾰족한 달걀 모양으로 가장자리에 큰 톱니가 있거나 없고 잎자루가 길다. 꽃은 7~8월에 피며 노란색을 띤 흰색으로 잎겨드랑이에 1개씩 달리며, 열매는 장과이고 녹색으로 익으며 둥근 모양이다(Lee, 2006).

땅파리의 열매는 모양이 익지 않은 녹색의 토마토와 비슷하여 그린 토마토라고도 하며, 독특한 맛과 향, 과즙이 많고 아삭아삭한 식감을 가지고 있어 과일로 분류하나 서양에서는 익혀서 채소로도 먹고 샐러드, 살사 소스, 스투, 서양식 찜요리 등에 이용한다(Pham *et al.*, 2016; Samuels, 2015). 비타민 A와 C, 나이아신이 풍부하게 함유되어 있으며, physalin에서 파생된 화합물을 포함하기 때문에 의학적 잠재력이 높다(Figueiredo, 2020). 민간에서는 여러 가지 질병을 치료하기 위한 약재로 사용되고 있으며, 항종양활성, 항염증 및 통증억제, 항백혈병 및 항돌연변이 활성 등이 보고되었고(Ayodhyareddy and Rupa, 2016), 그 열매는 식용으로 이용되고 있다. 또한 땅파리 열매 추출물에서 세포노화 억제 활성이 높은 것으로 알려지고 있다(Lee

*교신저자: E-mail sckoh@jejunu.ac.kr

Tel. +82-64-754-9528

© 본 학회지의 저작권은 (사)한국자원식물학회에 있으며, 이의 무단전제나 복제를 금합니다.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

et al., 2014).

일부 국가에서는 땅파리의 추출물을 이용하여 말라리아, 천식, 간염, 피부염, 류머티즘과 같은 다양한 질병을 치료하는 데 사용되었으며(Juang et al., 1989), 기내 및 생체 실험을 통해 physalin A, B, D, F 및 myricetin-3-O-neohesperidoside와 같은 정제된 화합물이 간암, 자궁경부암, 백혈병, 폐세포종에서 활성을 보였다(Magalhães et al., 2006). 최근에는 땅파리 추출물이 유방암 세포주에서 G2/M arrest를 유도하였고(Hsieh et al., 2006), 인간 림프구에 활성을 가지고 있으며 신체의 면역 기능을 조절하는데 임상적으로 유용하게 이용될 수 있음을 보고한 바 있다(Kusumaningtyas et al., 2015).

가지과에 속하는 대다수의 식물들은 음식이나 향신료 등 식용식물로 재배되고 있고, 일부 식물들에는 alkaloids 또는 steroids 성분이 포함되어 있어 의약품 등의 중요한 약용식물로 이용되고 있다. 특히, 고추(*Capsicum annuum* L.), 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.), 가지(*Solanum melongena* L.), 감자(*S. tuberosum* L.) 등은 널리 알려져 있는 채소작물이며, 이에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 그러나 땅파리는 과일이나 채소작물로뿐만 아니라 민간요법에서도 많이 활용되었던 식물임에도 불구하고 영양체를 이용한 증식방법에 대한 연구들을 거의 찾아볼 수가 없어 이에 대한 연구가 필요하다.

최근에 땅파리는 약용식물로서의 가치를 인정받아 산업적인 규모로 대량생산을 해야 하는 필요성이 대두되고 있다. 그러나, 땅파리는 농가에서 잡초로 취급되어 제초제 사용 등으로 무분별하게 제거되어 주변에서 찾아보기가 어려워졌다(Kumar et al., 2016; Mastuti et al., 2017). 그리고, 채취 지역의 환경적 요인에 따라서 2차대사산물의 종류나 농도 등이 영향을 받을 수 있다(Apensa and Mastuti, 2018). 따라서 의약품 수요에 맞춰 균질하고 양질의 조원료를 안정적으로 공급하기 위해서, 그리고 개체수 감소로 인한 야생 식물자원의 보존 차원에서 효과적 증식 방법이 필요하며, 식물조직배양 기술이 그러한 방법 중의 하나이다.

본 연구에서는 땅파리 개체를 대량 번식하고 안정적인 생산 시스템을 확립하고자 유식물체의 하배축 절편으로부터 신초와 뿌리 형성을 유도하는 재분화 조건을 조사하였다.

재료 및 방법

식물재료

본 실험의 재료는 제주시 아라동에서 채취한 땅파리(*Physalis*

angulata L.)의 성숙한 열매로부터 종자를 분리하여 건조시킨 후 4℃ 냉장실에 보관하며 사용하였다.

무균발아

종자는 중성세제 2~3 방울을 첨가한 증류수에서 15 분간 표면을 세척하고 70% ethanol에 1분간, 1% sodium hypochlorite 용액에 15 분간 침지하여 살균하였으며, 멸균수로 3회 세척하였다. 소독된 종자는 멸균된 filter paper로 표면의 물기를 제거한 후, 생장조절제가 들어 있지 않는 MS 기본배지(Murashige and Skoog, 1962)에 파종하였다. MS 기본배지에 파종한 종자는 28±1℃, 50 μmole/m²/sec (16 h light/8 h dark)로 조절되는 배양실에서 발아시켰다.

신초의 유도

기내에서 발아 14~15일 된 유식물체에서 하배축을 5 mm 크기로 절취하여 신초 유도 배지가 포함된 Petri-dish에 5개씩 치상하여 신초를 유도하였다. 신초 유도는 0.3% gelrite가 첨가된 MS 기본배지에 6-benzylaminopurine (BAP)와 α-naphthalene acetic acid (NAA)를 0, 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 mg/L의 농도로 각각 단독 또는 조합 처리하여 실시하였다. 실험재료의 치상이 끝난 Petri-dish는 밀봉하여 28±1℃, 50 μmole/m²/sec (16h light/8h dark)로 설정된 배양실에서 배양하였으며, 3반복으로 수행하였다. 배양 5주 후 캘러스, 신초 및 부정근의 형성 여부를 확인하였다. 신초가 유도된 절편은 분할하여 2.0 mg/L BAP가 첨가된 MS 배지에서 계대 배양하여 다발성 신초(multiple shoot)를 유도하였다.

뿌리분화 유도

다발성 신초 중 활력이 있는 신초를 선별하여 2 cm 정도의 길이로 잘라서 α-naphthalene acetic acid (NAA), indole acetic acid (IAA)와 indole butyric acid (IBA)가 각각 0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 mg/L로 첨가된 MS 배지에 시험관 당 2개씩 치상하여 5반복 하여 발근을 유도하였다. 그리고 무균 상태로 28±1℃, 50 μmole/m²/sec (16h light/8h dark)로 조절되는 배양실에서 3주간 배양하였으며, 3주 후에 각 처리구 별로 발근율, 발근 수, 뿌리의 길이와 줄기의 신장 등을 측정하였다. 발근 수는 가늘고 미세한 뿌리는 제외하고 뿌리의 전체적인 형태가 양호하면서 측근이 형성된 뿌리를 대상으로 집계하였다. 실험결과는 SPSS program을 이용하여 mean±SE로 나타내었으며, ANOVA 분석과 Duncan의 다중검정($p < 0.05$)을 실시하였다.

토양순화 및 생육특성 조사

밭근이 유도된 식물체는 배양 용기에서 꺼내어 뿌리에 묻어있는 배지를 2~3회 증류수로 깨끗이 수세한 다음 원예용 상토 (cocopeat 40~50%, peatmoss 25~35%, perlite 10~14%, zeolite 8~13%, vermiculite 8~10%; Nongwoobio Co. Ltd., Suwon, Korea)를 채운 소형 포트에 1개체 씩 옮겨서 이식하였다. 이식 후 랩으로 싸서 1주일 동안 습도를 높게 유지시키고 구멍을 일정한 간격으로 뚫어 공기를 순환시키며 외부환경에 서서히 적응하도록 하였다. 이후 랩을 벗겨내고 28±1°C, 50 μmole/m²/sec (16h light/8h dark)로 조절되는 배양실에서 1~2개월 동안 식물체를 관리하면서 땅파리의 개화와 결실 과정을 살펴보았다.

결과 및 고찰

신초 유도

기내에서 발아된 유식물체로부터 하배축을 일정한 크기로 절단하여 BAP와 NAA가 단독 또는 조합 처리한 MS 기본배지에 이를 치상하고 신초를 유도하였다(Fig. 1). 신초는 BAP 0.5~1.0 mg/L의 단일처리구와 이 조건에서 NAA 0.1~0.5 mg/L를 함께 처리하였을 때 활발히 유도되었으며, 특히 BAP 1.0 mg/L를 단일 처리한 배지가 신초유도에 가장 효과적인 것으로 나타났다(Fig. 1). 그리고 BAP의 농도가 더 증가함에 따라 신초 형성은 감소하였다. 이러한 결과는 고농도의 BAP가 신초 형성 및 줄기의 신장을 억제한다는 보고와 유사하다(Saito and Ide, 1985; Shim and Ha, 1997). 또한 같은 가지과 식물인 까마중(*Solanum nigrum* L.)에서도 고농도의 BAP에서 신초가 늦게 형성되고 형성 빈도도 낮은 것으로 보고되었다(Oh and Koh, 2012). 일반적으로 시토키닌은 지하부의 발육을 저해하고 지상부의 생육을 촉진하는 것으로 알려져 있으며(Pennazio, 1975), 그 중에서 BAP는 다른 시토키닌 보다 활성이 높아 많은 식물에서 대량증식을 위한 목적으로 사용되고 있다(Han *et al.*, 2004). 땅파리와 같은 *Physalis*속 식물인 케이프구즈베리(*P. peruviana* L.)에서도 잎이나 자엽 등의 절편을 BAP 2.8 mg/L가 포함된 배지에서 배양하였을 때 신초 분화가 가장 양호하며(Mascarenhas *et al.*, 2019), 가지과 식물인 까마중에서는 2.0 mg/L BAP가 첨가된 배지에서 재분화율이 높고 신초의 수와 길이가 증가하여, 고농도의 신초 유도 및 신초 생장에 효율적인 것으로 보고된 바 있다(Oh and Koh, 2012). 반면, BAP가 첨가되지 않은 NAA 단독 처리구에서는 신초가 형성되지 않고 가늘고 흰 부정근이 형성되었으며 NAA 농도 증가에 따라 부정근과 흰 솜털이 많은 캘러스

가 형성되고 중간 농도에서 모용이 형성되는 특징을 보였다.

신초의 발달양상을 살펴보면, 저농도(0.5~1.0 mg/L)의 BAP가 첨가된 MS 배지에서 배양 1주 후부터 절단 부위가 점차 비대해지기 시작하며 캘러스가 서서히 형성되기 시작하였다. 배양 2주 후에는 절편체의 표면에 많은 수의 돌기가 관찰되었고(Fig. 2A), 돌출된 신초 원기들은 선명한 초록색을 띠면서 점차 발달하여, 배양 3주 후부터 잎이 전개되고, 배양 4~5주 후에는 다수의 다발성 신초가 형성되었다(Fig. 2B-C). 그리고, 신초 원기나

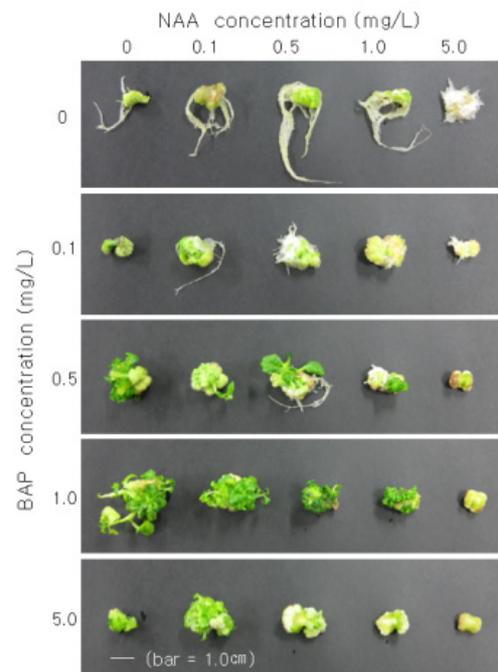


Fig. 1. Adventitious shoot formation in the surface of hypocotyl segments of groundcherry (*Physalis angulata* L.) seedling 5 weeks after culture on MS media with different combinations of NAA and BAP.



Fig. 2. Development of adventitious shoots from hypocotyl segments of groundcherry (*Physalis angulata* L.) on MS medium with 1.0 mg/L BAP in Fig. 1. (A) Multiple shoot buds formed on the surface of hypocotyl segments 2 weeks after culture, and (B-C) multiple shoots developed from shoot buds 3 and 5 weeks after culture.

다발성 신초가 포함된 부위를 일정한 크기로 절단하여 1.0 mg/L BAP가 첨가된 배지에서 계대 배양함으로써 번식효율을 높일 수 있었다.

발근 유도

다발성 신초로부터 활력 있는 신초를 분리하여 오옥신의 종류와 농도를 달리한 배지에 옮겨 3주간 배양하고 발근에 적합한 호르몬 조성을 확인하였다(Table 1). 뿌리의 출현은 일주일 이내에 줄기의 절단면에서 발생하였으며, 2주간의 추가적인 배양은 매우 왕성한 뿌리 성장으로 이어졌다(데이터 미제시). 그리고 오옥신류 중에서도 NAA가 IBA와 IAA 보다 뿌리 분화에 있어서 더 효과적인 것으로 나타났다. 뿌리는 NAA 0.01~0.5 /L이 첨가된 배지에서 100% 유도되었으며 그 이상의 농도에서는 다소 감소하였다. 그리고 IBA는 0.03~0.5 mg/L에서 배양한 신초

에서 뿌리가 100% 유도되었으나 그 이하나 이상의 농도에서는 60% 이하로 감소하였다. IAA는 0.03 mg/L에서 뿌리가 80% 유도되었으며, 나머지 농도에서는 60% 이하로 낮았다. 또한 NAA 0.1 mg/L 이상과 IBA 0.5 mg/L 이상의 농도에서는 줄기 단면이 비대해지면서 캘러스가 형성되었다. 일반적으로 NAA, IBA와 IAA 등의 오옥신은 저농도에서는 뿌리를 유도하지만 고농도에서는 캘러스를 유도하여 뿌리 유도가 낮은 것으로 알려져 있다 (Oh and Koh, 2012). 본 연구에서도 0.1 mg/L 이상의 농도에서는 줄기의 절단면에서 점차 캘러스가 형성되면서 뿌리 유도율이 현저히 낮아졌다. 특히 NAA가 고농도로 첨가된 배지에서는 뿌리의 분화가 없이 줄기 대부분이 캘러스로 변하거나 뿌리가 형성되더라도 측근이 유도되고 정단 부분이 비정상적으로 비대해지면서 캘러스로 되는 현상이 IBA나 IAA에 비해 현저히 높았다. 따라서 재분화된 신초에 0.5 mg/L 이하의 오옥신을 처리하

Table 1. Effect of NAA, IBA, and IAA on adventitious root and shoot developments 3 weeks after cultivation of adventitious shoots induced from groundcherry (*Physalis angulata* L.) seedlings

Concentration (mg/L)	Rooting rate (%)	No. of major roots	Length of longest root (cm)	No. of shoots	Length of longest shoot (cm)	Remark
Control	30	0.7±0.3c ^{zy}	2.6±1.6cd	1.5±0.2ab	4.5±1.0bc	
NAA	0.01	100	3.5±0.5a	2.3±0.3ab	7.0±0.8ab	
	0.03	100	3.7±0.7a	2.7±0.9a	6.3±1.4abc	
	0.05	100	1.0±0.0bc	2.0±0.4ab	6.9±0.5ab	
	0.1	100	1.0±0.0bc	2.0±0.4ab	4.8±1.5bc	callus formation
	0.5	100	1.0±0.0bc	2.3±0.5ab	5.0±1.1bc	callus formation
	1.0	60	0.7±0.3c	1.0±0.0b	2.1±0.4c	callus formation
IBA	0.01	40	0.8±0.5c	1.5±0.3ab	4.7±1.2bc	
	0.03	100	2.0±0.0abc	2.7±0.8a	6.4±0.9ab	
	0.05	100	2.7±0.7ab	2.3±0.3ab	6.9±0.3ab	
	0.1	60	1.0±0.6bc	2.0±0.4ab	3.3±0.4bc	
	0.5	60	1.0±0.8bc	2.5±0.7ab	3.9±1.7bc	callus formation
	1.0	60	1.3±0.8bc	2.0±0.4ab	4.6±1.6bc	callus formation
IAA	0.01	40	1.0±0.8bc	2.0±1.0ab	4.4±1.7bc	
	0.03	80	2.0±0.6abc	2.3±0.3ab	9.2±1.3a	
	0.05	60	3.0±1.2a	1.7±0.3ab	7.4±2.0ab	
	0.1	60	0.6±0.4c	1.2±0.2ab	3.1±0.8bc	
	0.5	60	0.6±0.2c	1.2±0.2ab	3.6±1.4bc	
	1.0	60	0.8±0.4c	1.4±0.2ab	3.9±1.4bc	

^zEach values represents the mean±SE of 5 replicates.

^yDifferent letters in each column indicate that means are significantly different among the treatments (Duncan's multiple range test, $p < 0.05$).

는 것이 짧은 기간에 부정근을 유도할 수 있을 뿐만 아니라, 뿌리의 전체적인 형태와 측근 형성도 양호하여 좀 더 효율적인 것으로 보인다. 발근 수와 뿌리의 길이는 저농도의 옥옥신, 즉 NAA 0.01, 0.03 mg/L, IBA 0.03, 0.05 mg/L, IAA 0.03, 0.05 mg/L에서 각각 평균 2.0개 이상과 8.0 cm 이상으로 높게 나타났으며, 줄기 수와 길이도 각각 2개 이상으로 많고 6.0 cm 이상으로 길게 신장하였다. 특히, 뿌리의 수나 길이가 활발하게 발달하는 조건은 0.03 mg/L NAA를 포함한 배지였으며, 이 조건에서 뿌리의 전체적인 형태도 양호하였다. 또한 옥옥신이 첨가되지 않은 대조구에서도 발근이 일부 이루어졌으나 뿌리의 길이도 짧고 뿌리의 굵기도 상대적으로 가늘 뿐 아니라 측근 또한 거의 형성되지 않고 뿌리의 전체적인 형태도 불량하였다.

재분화 식물체의 외부환경에 대한 순화

발근배지에서 3주간 배양하여 얻은 재분화 식물체를 인공배양토가 포함된 소형 포트에 이식하여 랩으로 덮어 1주간 습도를 높게 유지시킨 후, 공기순환 구멍을 일정 간격으로 뚫어 외부환경에 서서히 적응하도록 한 결과, 배양토에 완전하게 활착시킬 수 있었다(데이터 미제시). 그리고, 배양토에 이식한 재분화 식물체는 100% 생존하였으며 정상적인 식물체로 성장하였다. 따라서 신초를 유도하고 적절한 발근배지를 선택하여 부정근이 유도된 재분화 식물체를 얻는다면 그 후의 외부에서 순화시키는 데에는 큰 어려움이 없을 것으로 보인다. 뿌리가 완전히 활착된 식물체는 28±1°C, 50 μmole/m²/sec (16h light/8h dark)로 조절되는 배양실에서 1~2개월 동안 성장시킨 결과, 정상적으로 자라서 화뢰와 꽃을 형성하였고, 이후 정상적인 결실 과정을 통해 포로 둘러싸인 연녹색의 열매와 종자를 수확할 수 있었다(Fig. 3).

이상의 실험 결과를 토대로 조직배양을 통해 땅파리의 하배축 조직으로부터 다발성 신초 유도 및 식물체 재생이 가능하고, 토양 조건에서 재분화 식물체를 정상적으로 생육시킬 수 있었다. 그리고, 기내에서 재분화 식물체로의 획득에서부터 외부로의 순화과정을 거쳐 종자를 수확하는데 대략 5개월 이내에 가능하였다. 따라서 신초 유도를 통한 재분화 연구를 이용함으로써 개체들을 대량으로 증식할 수 있어 야생 자원의 멸종방지에 기여하고, 재분화 식물체의 유전적 안정성이 확인된다면(Kang *et al.*, 2021) 의약품 수요에 맞추어 양질의 조원료를 대량으로 안정되게 공급할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 식물체 단편으로부터 재분화를 유도하고 열매나 종자를 수확하는 데까지 비교적 짧은 기간이 소요되어 개체변이를 이용한 신품종 개발에 활용될 수 있을 것으로 보인다.

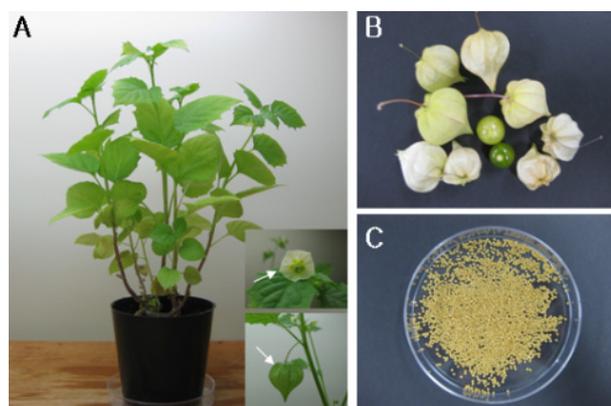


Fig. 3. Acclimation in compost soil of plantlets developed from adventitious shoots of groundcherry (*Physalis angulata* L.). (A) Mature plants grown from regenerated plantlets in compost soil, and its flower and developing fruit. Arrows of small pictures indicate a flower and an immature fruit. (B) Naked and enclosed fruits harvested from mature regenerated plants. (C) Seeds removed from the fruit.

적 요

본 연구는 약용식물자원인 땅파리 유식물의 하배축 절편으로부터 부정아 형성을 통한 재분화를 조사하여 효율적인 재분화 조건을 확립하고자 하였다. 신초는 저농도 BAP를 함유하는 MS 배지에서 효과적으로 유도되었다. 신초 유도는 BAP 0.5~1.0 mg/L를 단독으로 또는 NAA 0.1~0.5 mg/L와 함께 처리한 MS 배지에서 활발히 이루어졌으며, 특히 BAP 1.0 mg/L가 포함된 MS 배지가 가장 효과적이어서 다발성 신초가 왕성하게 형성되었다. 유도된 신초를 뿌리 유도 배지로 옮겼을 때, 저농도의 NAA, IBA, IAA에서 뿌리가 잘 형성되어 재분화 식물체를 만들어 내기에 적절하였다. 발근 수와 뿌리의 길이는 각각 평균 2.0개, 8.0 cm 이상으로 높게 나타났다. 특히, 0.03 mg/L의 NAA, IBA, IAA를 포함한 MS 배지에서 뿌리가 더 잘 성장하고, 뿌리의 전체적인 형태도 양호하였다. 그리고, 저농도의 NAA, IBA, IAA를 함유하는 MS 배지에서 새로운 신초의 형성도 잘 이루어져서, 줄기의 수가 2개 이상으로 많이, 그리고 길이는 6.0 cm 이상으로 길게 신장하였다. 배양토에 이식한 재분화 식물체는 100%의 생존율을 보였으며, 모두 정상적인 성체로 성장하였다. 따라서 땅파리의 부정아 형성을 이용한 재분화 식물체의 생산은 개체들을 대량 증식할 수 있어 균질한 조원료를 안정적으로 공급하는데 주요 수단이 될 것으로 보인다.

사 사

이 논문은 2022학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었습니다.

Conflicts of Interest

The author declares that he has no conflict of interest.

References

- Apensa, V. and R. Mastuti. 2018. Effect of banana homogenate on shoot regeneration of Ciplukan (*Physalis angulata* L.). *J. Exp. Life Sci.* 8(1):53-60.
- Ayodhyareddy, P. and P. Rupa. 2016. Ethno medicinal, phyto chemical and therapeutic importance of *Physalis angulata* L.: review. *Int. J. Sci. Res.* 5:2122-2127.
- Figueiredo, M.C.C., A.R. Passos, F.M. Hughes, K.S.D. Santos, A.L.D. Silva and T.L. Soares. 2020. Reproductive biology of *Physalis angulata* L. (Solanaceae). *Sci. Hortic.* 267:109307.
- Han, B.H., B.W. Yae, D.H. Goo and H.J. Yu. 2004. Micropropagation of *Philodendron wend-imbe* through adventitious multi-bud cluster formation. *J. Plant Biotechnol.* 31(2):115-119 (in Korean).
- Hsieh, W.T., K.Y. Huang, H.Y. Lin and J.G. Chung. 2006. *Physalis angulate* induced G2/M phase arrest in human breast cancer cells. *Food Chem. Toxicol.* 44:974-983.
- Juang, J.K., H.W. Huang, C.M. Chen and H.J. Liu. 1989. A new compound, with angulatin A, promotes type II DNA topoisomerase-mediated DNA damage. *Biochem. Biophys. Research Commun.* 159(3):1128-1134.
- Kang, I.J., Y.J. Lee and C.H. Bae. 2021. *In vitro* regeneration and genetic stability analysis of the regenerated green plants in Japanese blood grass (*Imperata cylindrica* 'Rubra'). *Korean J. Plant Res.* 34(2):156-165 (in Korean).
- Kumar, O.A., S. Ramesh and S.S. Tata. 2016. *In vitro* micropropagation of the medicinal plant *Physalis angulata* L. *Not. Sci. Biol.* 8(2):161-163.
- Kusumaningtyas, R., N. Laily and P. Limandha. 2015. Potential of Ciplukan (*Physalis angulata* L.) as source of functional ingredient. *Procedia Chem.* 14:367-372.
- Lee, S.E., J.R. Kim, H.J. Noh, G.S. Kim, J.H. Lee, J. Choi and S.Y. Kim. 2014. Screening of plants with inhibitory activity on cellular senescence. *Korean J. Plant Res.* 27(6):601-609.
- Lee, T.B. 2006. *Coloured Flora of Korea II.* Hayngmunsa, Seoul, Korea. p. 152 (in Korean).
- Magalhães, H.I.F., M.R. Torres, L.V. Costa-Lotuf, M.O. De Moraes, C. Pessoa, M.L. Veras and A.P.N.N. Alves. 2006. *In vitro* and *in vivo* antitumour activity of physalins B and D from *Physalis angulata*. *J. Pharm. Pharmacol.* 58(2):235-241.
- Mascarenhas, L.M.S., J.R.F.D. Santana and A.L. Brito. 2019. Micropropagation of *Physalis peruviana* L. *Pesq. Agropec. Trop. Goiânia*, 49:e55603.
- Mastuti, R., A. Munawarti and E.R. Firdiana. 2017. The combination effect of auxin and cytokinin on *in vitro* callus formation of *Physalis angulata* L. - A medicinal plant. *AIP Conf. Proc.* 1908:040007.
- Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 15:473-497.
- Oh, S.J. and S.C. Koh. 2012. Adventitious shoot formation and plant regeneration from explants of *Solanum nigrum* L. *Korean J. Plant Res.* 25(2):277-284 (in Korean).
- Pennazio, S. 1975. Effect of adenine and kinetin on development of carnation tips cultured *in vitro*. *J. Hort. Sci.* 50:161-164.
- Pham, L.H., M. Böhme and I. Pinker. 2016. Solanaceae diversity in Vietnam: a preliminary taxonomic inventory for conservation and utilization. *Agric. For.* 62(4):45-55.
- Saito, A. and Y. Ide. 1985. *In vitro* plantlet regeneration from adventitious buds on induced cuttings of peeled twigs of Japanese white birch. *J. Jpn. For. Soc.* 67:282-284.
- Samuels, J. 2015. Biodiversity of food species of the Solanaceae family: a preliminary taxonomic inventory of subfamily Solanoideae. *Resources* 4(2):277-322.
- Shim, K.K. and Y.M. Ha. 1997. Mass propagation of Korean native *Styrax japonicus* through axillary bud culture. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 38(5):575-580 (in Korean).

(Received 25 February 2022 ; Revised 6 April 2022 ; Accepted 8 April 2022)