

IAA가 토란의 성장 및 형태 발생에 미치는 영향

김 영 운 · 이 준 상*

충북대학교 생물교육과

The Effect of IAA on *Colocasia esculenta*'s Growth and Morphogenesis

Young Eun Kim and Joon Sang Lee*

Major in Biology Education, School of Science Education, College of Education,
Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

Abstract - Morphological and physiological differences of *Colocasia esculenta* were investigated in the cultivation of hydroponic and soil culture. *C. esculenta* grown in Hoagland+IAA (indole-acetic acid) showed higher growth activity representing 9%, 32%, 38% and 60% than those of the cultivation of vermiculate, Hoagland solution, soil and water, respectively. In case of F_v/F_m ratio experiments, the value F_v/F_m of *C. esculenta* cultivated in the water showed 0.55 after 6 weeks. F_v/F_m values of *C. esculenta* cultivated in Hoagland+IAA, vermiculate and soil were between 0.84 and 0.80 indicating F_v/F_m values were about 45% higher than that of *C. esculenta* cultivated in the water. Diffusion resistance was 45~35% lower in *C. esculenta* grown in Hoagland+IAA solution than that of *C. esculenta* grown in water only after 5 and 6 weeks. Therefore, the high standing levels of the growth rate, fluorescence activity and transpiration rate were Hoagland+IAA, vermiculate, Hoagland, soil and water. The distinct morphological differences of *C. esculenta* cultivated in hydroponic and soil culture were the appearance of the seed corm and root hair. The development of seed corm was well established in soil culture but the corm in hydroponic was slowly hydrolyzed and then disappeared. The fibrous root systems of hydroponic were very well distinguishable compared with that in soil culture. Outstanding results of this experiment were appeared in *C. esculenta* which was cultivated in the field provided with enough mineral nutrition, organic fertilizers and compound fertilizers. The most height taros were almost 2 m and the numbers of seed corm were 30~40 after 7 months.

Key words : *Colocasia esculenta*, hydroponic and soil culture

서 론

토란은 재배가 비교적 쉬워 우리나라 논과 밭에서 어렵지 않게 찾아볼 수 있는 작물이다. 대표적인 산나물로

사랑을 받아 오던 고사리 채취가 산림 생태계의 무분별한 파괴와 개발로 그 자생지가 사라져 가면서 고사리는 더욱 더 귀한 산나물이 되어 가고 있다. 최근 한국산 고사리 채취량의 감소로, 한국인이 즐겨 먹는 육계장의 주된 재료인 고사리는 수입 산으로 대체되고 있는 실정이다.

토란은 뿌리, 줄기와 잎 등은 버리는 부분이 없고 약용과 식용으로 모두 이용되고 있다. 토란의 잎자루는 고사

* Corresponding author: Joon Sang Lee, Tel. 043-261-2730,
Fax. 043-260-3361, E-mail. jslee0318@hanmail.net

리 대신 육계장의 재료로 사용하기도 한다.

천남성과 작물에 속하는 토란은 원산지가 인도, 실론, 수마트라 및 말레이시아로 알려져 있으며, 현재는 한국, 일본, 중국, 동남아시아 및 하와이 등지에서도 다양한 용도로 재배되고 있다(Park and Lee 1968; Lee *et al.* 1979; Choi and Han 1987a, b; Choi and Pyeung 1987; Hur and Choi 2003).

토란의 줄기는 땅속에서 길이생장을 하지 않고 비대해져 알줄기나 덩이줄기가 된다. 한국의 재래종은 대개 일찍 자라는 조생종으로서 줄기가 푸르고 새끼토란이 여러 개 달리며 알이 작다. 덩이줄기는 새끼토란과 어미토란으로 구분하며 어미토란은 짙은맛이 강하여 대부분 먹지 못한다. 덩이줄기 100 g 중에는 탄수화물 12.8 g, 단백질 2.6 g, 지질 0.2 g 등이 함유되어 있고 열량은 60 kcal이다. 주로 국을 끓여 먹고 굽거나 찌서도 먹는다(Park and Lee 1968; Choi and Han 1987a, b; Choi and Pyeung 1987).

이렇듯 토란은 식품 영양학적으로 대부분 연구가 이루어졌다. 동남아시아를 비롯한 열대지방에서는 높이 나뉠에서 자란다. 반면에 한국에서는 땅속 덩이줄기를 식품으로 주로 이용하기 때문에 밭에 심는다. 경기도 광주 지역은 우리나라 토란 생산량의 약 60%가 재배되는 것으로 유명하다(Choi and Pyeung 1987).

토란은 약용 및 식용으로서의 가치가 높기 때문에 식물생리·생태학적 특성을 살펴볼 필요성이 있다. 식물의 생장은 일반적으로 햇빛, 수분이용가능성, 온도 및 토양 속의 무기물의 함량에 의해 좌우된다. 물은 밀도가 높아 식물에게 토양과는 상당히 다른 환경조건이다. 따라서 본 연구는 토란의 수경재배와 토양재배시의 형태학적·생리적 차이를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

자생 토란의 줄기를 수경재배와 토양재배를 통해 생리·형태적인 특성을 비교·분석하였다. 토란은 종아 크기가 20 g이 넘는 일정한 크기의 것을 사용하였으며 4월 초에 재배를 시작하였다. 수경재배는 물, Hoagland 용액, Hoagland 용액+ 10^{-6} M IAA, vermiculate 등 4가지 조건에서 토란을 키웠으며 토양재배는 일반적인 상토와 질석으로 최대 6주 동안 실험하였다. 수경재배의 경우 Hoagland 용액과 물을 일주일마다 새로 갈아주었으며, 토양재배는 일주일에 한 번씩 복합비료(원더그로 2호)를 1 g L^{-1} 의 농도로 시비하였다. 토양재배의 다른 환경

은 야외에서 전통적인 작물재배 방법으로 토란을 1년 동안 재배하였다. 야외 밭에서 재배한 토란은 밑거름으로 유기비료, 무기비료, 복합비료 및 석회를 살포하고 이랑을 60 cm 간격으로 하였다. 파종은 정아 부분이 위로 향하도록 심고 상토를 충분히 덮은 후 충분한 관수를 하고 온도를 $27 \sim 30^\circ\text{C}$ 로 유지시켜주어 발아를 촉진시킨 후 약 1년간 재배하였다(Fig. 5).

수경재배와 토양재배를 위한 온실은 14시간의 명기와 10시간의 암기, $30/20^\circ\text{C}$ 의 온도, 50% 습도와 $200 \mu\text{mole m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (metal halides lamp)의 광도를 유지시켰다.

2. 생장률, 일액 양과 확산저항의 측정

토란의 생장률은 엽병의 길이+엽신의 높이를 생장률(shoot length)로 나타내었다. 일액 양은 토란잎에서 나타내는 일액현상 결과 잎의 배수조직에서 방출하는 양을 micro-pipette를 이용하여 채집한 후 측정하였다. 확산저항(cm s^{-1})은 Li-1600 steady state porometer (Li-Cor. Inc. USA)를 이용하여 측정하였다.

3. 잎의 형광분석

재료를 15분간 암 적응 시킨 후 chlorophyll fluorometer (Os-30p, Opti-science, U.K.)로 엽록소 형광을 측정하였다. F_v/F_m 은 광계II의 최대 광화효율(the maximum photochemical efficiency)을 나타낸다(Genty *et al.* 1989).

결과 및 고찰

우리가 식용으로 사용하는 토란은 괴경이며, 대표적인 괴경으로는 토란과 같이 영양 생식하는 감자이다. 토란의 종아 발아율은 100%를 보였다(data not shown). Fig. 1은 수경재배와 토양재배를 했을 때 나타나는 토란의 생장률 변화를 보여준다. 토란의 생장률은 엽병의 길이와 잎의 크기에 의해 결정되므로 shoot length로 표현하였다. Hoa.+IAA 처리하여 재배한 토란은 질석, Hoa., 토양, 및 물에서 재배한 토란보다 9%, 32%, 38% 및 60% 생장이 각각 촉진되었다. 식물 생장패턴 변화의 관찰은 가장 쉬우면서도 뚜렷하게 식물의 생리 상태를 추측할 수 있는 기본적인 방법이다. 즉, 뿌리의 발달, 잎 모양, 색깔, 크기, 줄기의 크기와 굵기 등 전체적인 외형의 변화는 식물이 어떠한 상태에 있는지 가늠하는 중요한 척도로 이용할 수 있다(Ahn *et al.* 2008).

Fig. 2는 토란의 종아가 발아한지 3주 후에 찍은 사진으로 생장과 형태적 변화가 나타나기 시작하였다. 물에

서 수경 재배한 것은 다른 배양조건보다 크기와 토란잎의 수가 적었으며 엽병은 짙은 보라색을 나타냈다. 반면에 Hoagland 용액을 처리한 경우는 3개의 잎이 나왔다. 초기생장에서 Water, Hoa.와 Hoa.+IAA를 처리한 수경재배에서는 토란 종아와 뿌리가 같이 관찰되었으며 질석에서 재배한 경우는 잎이 건강하였으며 수염뿌리와 뿌리털의 발달이 뚜렷하였다.

6주 동안 수경재배에서 성장한 토란은 3주 재배한 토

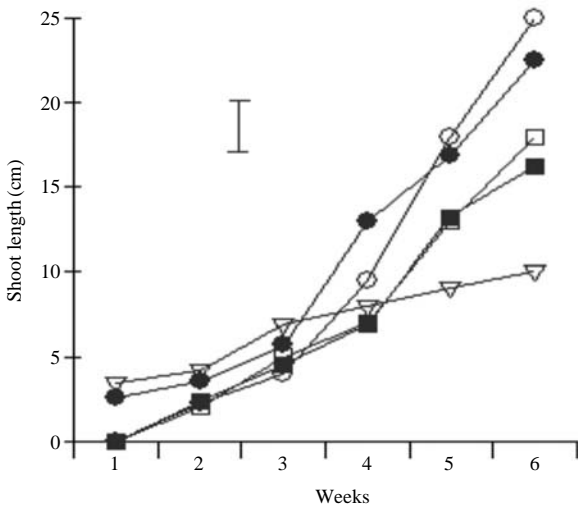


Fig. 1. The effects of various cultivation conditions of *C. esculenta* on shoot length. Shoot lengths were measured from the very early day of April. Each result was the mean of three experiments. Bar indicates the maximal standard error (open circles, Hoa.+IAA; closed circle, Vermiculate; open rectangle, Hoa.; closed rectangle, Soil; open triangle, Water).

란에 비해 뿌리 발달에서 형태적 차이가 뚜렷하였다. 물, Hoagland 용액과 Hoa.+IAA에서 수경재배한 식물은 종아가 서서히 가수분해 되어 없어지면서 수염뿌리로 대체되었다(Fig. 3). 옥신은 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ M에서 보리와 귀리의 자엽초의 성장을 촉진한다(Taiz and Zeiger 2006). Fig. 3에서도 Hoagland 용액만 처리한 실험구보다 Hoa.+IAA를 처리한 실험구는 잎의 발달이 선명하고 뚜렷하였다. 물만 처리한 실험구는 뿌리의 색이 붉은 색을 띄었으며 수염뿌리만 발달하였다. 지상부의 발달은 Hoagland 용액을 처리한 경우와 비교해 엽병이 가늘고 잎의 개수가 하나로 줄었으며 잎의 크기 또한 작았다.

일액현상이 크게 나타났다는 것은 무엇을 의미할까? 뿌리로부터 수분흡수가 정상적으로 이루어지고 있다는 것을 의미한다. 뿌리로부터 수분흡수 양의 차는 증산작용을 위한 수분흡수경로의 활성화와 밀접하게 관련된 것으로 추측된다. 따라서 일액현상을 통한 수분배출이 활발히 일어나는 경우는 충분한 수분공급을 받고 있으며 수분수송 경로가 정상적으로 작동하여 식물이 증산작용을 비롯한 식물생리 대사가 활성화적으로 일어난다고 추측할 수 있다. Hoagland 용액만을 단독 처리한 실험구에서 일액현상이 가장 크게 나타났다. 성장과 광합성 활성화는 Hoa.+IAA 처리구에서 가장 높게 나타났으나 일액현상은 Hoagland를 처리한 용액보다 29% 낮게 나타났다(Fig. 4). 일액현상은 식물호르몬인 IAA 합성장소 중의 한 곳인 잎의 배수조직에서 일어나는 것으로 알려졌다(Aloni *et al.* 2002). 따라서 극성 수송을 통로 뿌리에 도달한 IAA가 수분 또는 용질 흡수에 특이하게 작용하여 정

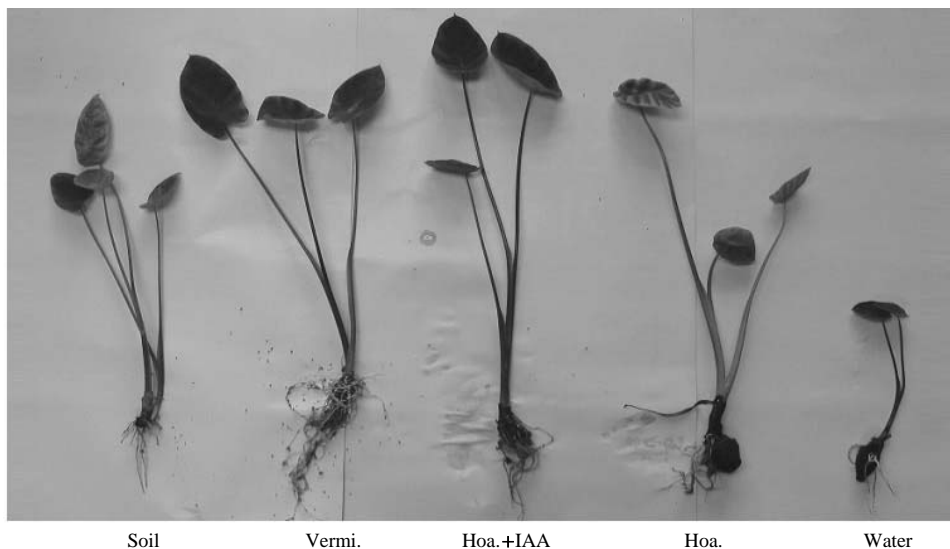


Fig. 2. Photographs of *C. esculenta* which were grown in soil, vermiculate, Hoa.+IAA, Hoa. and water. The each of young *C. esculenta* were 3-weeks old after germination.

상적인 수송 메카니즘에 영향을 주는 것으로 사료된다.

1주에서 6주까지의 F_v/F_m 값을 살펴보면 Hoa.+IAA, 질석 및 토양에서 자란 토란 잎의 F_v/F_m 값은 일정하게 증가하여 4주 이후에는 정상적으로 광합성을 하고 있다는 것을 알 수 있었다. 물에서 재배한 토란은 5~6주 성장한 후의 F_v/F_m 값이 0.54와 0.55를 나타내어 F_v/F_m 값이 0.8 이상을 보인 Hoa.+IAA, 질석과 토양에 비해 약 32.5% 낮았다. 아무런 무기물도 없는 물에서 자란 토란은 초기에는 종아에 있는 탄수화물을 영양분으로 사용하지만 성장하면서 저장된 영양분이 다 소진되면서 5주 이후에는 성장과 F_v/F_m 값이 급격히 떨어진 것으로 추측된다 (Table 1). Hoagland 용액에 IAA를 처리한 경우는 토양재배 한 토란보다 광합성 활성이 높았으며 생장이 촉진되었다.

잎의 증산은 확산저항에 큰 영향을 받는다. 확산저항이 크다는 것은 기공이 닫혀서 증산작용이 제대로 일어

나지 않는다는 것을 의미한다. 증산작용이 일어나지 않으면 1차 생산자인 식물은 기공을 통한 CO₂ 흡수를 할 수 없으므로 광합성이 정상적으로 일어날 수 없다. 식물의 성장과 과일의 당도는 광합성 활성에 비례한다. 물로 수경재배한 경우 확산저항이 가장 크게 나타났다 (Table 2). 반면에 Hoa.+IAA 처리구에서는 가장 낮은 확산저항이 나타났으며 5주와 6주 때는 물로 수경재배한 것에 비해 45~35% 낮았다. 이는 기공 열림이 물로 재배한 것에 비해 45~35% 크게 열렸다고 추측할 수 있다. 질석과 토양에서 자란 토란도 물로 재배한 것에 비해 39~31%와 27~35%로 확산저항이 낮았다. 따라서 성장, 광합성 활성 및 기공 열림은 Hoa.+IAA 처리구, 질석, Hoagland, 토양과 물 순으로 낮게 나타났으며 이는 결국 성장 결과와 일치하였다. 광합성 활성과 기공 열림이 크다고 하는 것은 식물의 생리적 대사가 매우 활발하게 이루어진다고 볼 수 있다.

Fig. 5는 실험실 내의 제한된 성장조건 대신에 야외에



Fig. 3. Photographs of *C. esculenta* which were grown in Hoa.+IAA, Hoa. and water. The each of *C. esculenta* was 6-weeks old after germination.

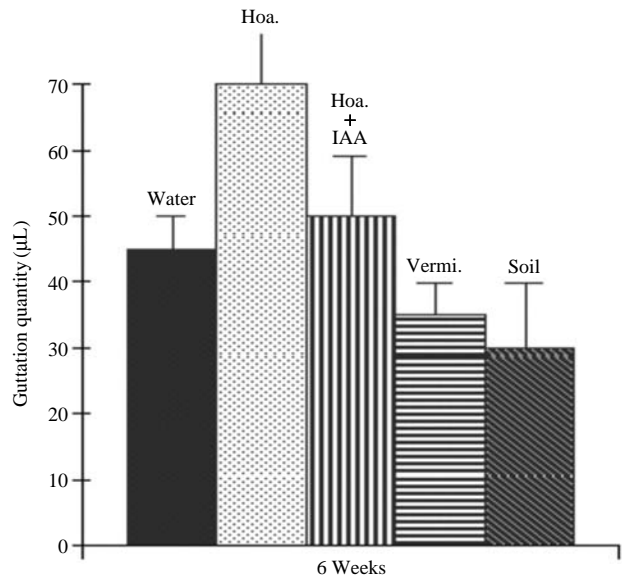


Fig. 4. The effects of various cultivation conditions of *C. esculenta* on guttation quantity at 6 weeks. Each result was the mean (\pm s.e.m.) of three experiments.

Table 1. The effects of various cultivation conditions of *C. esculenta* on the chlorophyll fluorescence (F_v/F_m). F_v/F_m was measured from the early day of April. Each result was the mean (\pm s.e.m.) of three replicate experiments

| Weeks | Water | Hoagland | Hoa.+IAA | Vermiculate | Soil |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0.75 \pm 0.05 | - | - | - | - |
| 2 | 0.74 \pm 0.05 | 0.74 \pm 0.06 | 0.77 \pm 0.06 | 0.70 \pm 0.04 | 0.69 \pm 0.05 |
| 3 | 0.80 \pm 0.07 | 0.75 \pm 0.05 | 0.76 \pm 0.05 | 0.74 \pm 0.04 | 0.66 \pm 0.03 |
| 4 | 0.73 \pm 0.06 | 0.77 \pm 0.04 | 0.80 \pm 0.04 | 0.82 \pm 0.06 | 0.77 \pm 0.07 |
| 5 | 0.55 \pm 0.06 | 0.76 \pm 0.05 | 0.84 \pm 0.04 | 0.83 \pm 0.05 | 0.81 \pm 0.05 |
| 6 | 0.54 \pm 0.03 | 0.78 \pm 0.05 | 0.83 \pm 0.03 | 0.80 \pm 0.04 | 0.80 \pm 0.06 |

Table 2. The effects of various cultivation conditions of *C. esculenta* on the diffusion resistance (cm s^{-1}). Each result was the mean (\pm s.e.m.) of three replicate experiments

| Weeks | Water | Hoagland | Hoa.+IAA | Vermiculate | Soil |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 4.2 \pm 0.03 | — | — | — | — |
| 2 | 5.6 \pm 0.04 | 4.3 \pm 0.03 | 3.5 \pm 0.02 | 4.4 \pm 0.04 | 3.9 \pm 0.06 |
| 3 | 5.7 \pm 0.03 | 5.2 \pm 0.04 | 3.8 \pm 0.05 | 4.7 \pm 0.03 | 4.7 \pm 0.04 |
| 4 | 4.8 \pm 0.05 | 5.0 \pm 0.03 | 4.1 \pm 0.04 | 3.6 \pm 0.04 | 4.0 \pm 0.03 |
| 5 | 5.7 \pm 0.03 | 4.9 \pm 0.04 | 3.2 \pm 0.03 | 3.5 \pm 0.03 | 4.2 \pm 0.04 |
| 6 | 5.5 \pm 0.04 | 5.3 \pm 0.04 | 3.6 \pm 0.03 | 3.8 \pm 0.04 | 4.1 \pm 0.05 |



Fig. 5. Photographs of *C. esculenta* which were grown in the field. In the late of the fall, the roots of *C. esculenta* (length: 52 cm) were carefully dug up from the field soil. The development of root was established during 7 months old (left). At the same time, the matured shoots of *C. esculenta* were showed various sizes of leaves between 10 and 20 and their height were various, but some of them grew to over 2 m (right).

서 유기질비료, 무기질비료와 복합비료를 주고 1년 동안 재배한 토란이다. 실험실 내의 환경은 제한적인 요소 즉 화분의 크기, 인위적인 온도와 습도, 영양염, 생장기간 등에 많은 제한적인 요인들이 있어서 이를 배제하기 위해 자연적으로 재배하였으며 밭갈이와 추수까지 1년이 걸렸다.

실험실 내에서 제한된 기간 동안 토란을 재배했을 때와 11월말까지 재배하였을 때 그 형태적 차이는 매우 뚜렷하였다. Fig. 5의 왼쪽 그림에서 볼 수 있듯이 토란의 지상부 높이가 2m를 넘는 것도 있었다. 반면에 실험실에서 재배한 토란의 키는 1m 내외였다. 지상부에서 볼 수 있는 가장 큰 차이는 종아가 시간차를 두며 계속 발아하여 잎의 숫자가 10~20개로 실험실내에서는 재배한 토란에 비해 잎 숫자가 많았으며 잎의 크기 또한 거대하였다. 가장 큰 토란잎은 가로와 세로 길이 모두 1m를 넘어서 햇빛을 가리는 양산정도의 크기였다. 밭에서 재배한 토란과 실험실내에서 가장 큰 차이는 토란뿌리 넓이

가 50cm를 넘는 것이 대부분이었으며 뿌리에는 30~40개의 종아가 있었다. 이는 작물이나 식물의 생장에 지리적·환경적 변이가 크게 작용한다는 것을 알 수 있었다.

적 요

수경재배와 토양재배를 통해 키운 토란이 생리·형태학적으로 어떤 차이가 나는지 조사하였다. Hoa.+IAA를 처리한 수경재배는 질석, Hoa., 토양, 물에서 키운 토란보다 약 9%, 32%, 38% 및 60% 생장이 각각 촉진되었다. 물에서 재배한 토란은 5~6주 성장한 후의 F_v/F_m 값이 0.54와 0.55를 나타내어 F_v/F_m 값이 0.8 이상을 보인 Hoa.+IAA, 질석과 토양에 비해 약 32.5% 낮았다. Hoa.+IAA 처리구에서는 가장 낮은 확산저항이 나타났으며 5주와 6주 때는 물로 수경재배한 것에 비해 45~35% 낮았다. 이는 기공 열림이 물로 재배한 것에 비해 45~35% 크게

열렸다고 추측할 수 있다. 질석과 토양에서 자란 토란도 물로 재배한 것에 비해 39~31%와 27~35% 확산저항이 낮았다. 따라서 생장률의 크기, 광합성 활성 및 기공 열림은 Hoagland 용액, 질석, Hoagland 용액, 토양과 물 순으로 낮게 나타났다. IAA를 Hoagland 용액에 넣어 수경재배한 실험 결과에서 생장률과 형광 활성도가 가장 높았으며 확산저항 또한 가장 낮게 나타났다. 토양재배에서 점토와 상토를 포함하는 흙은 질석에서 키운 토란에 비해 뿌리 발달이 저조하였다. 화분 속의 흙은 중력에 의해 시간이 지날수록 단단해졌으나 질석은 흙과의 마찰이 비교적 적기 때문에 수염뿌리와 실뿌리가 잘 성장하였다. 화분에서 키운 토란은 종아와 뿌리가 같이 발달하였으나 종아는 하나만 관찰되었다. 반면에, 야외에서 키운 토란은 30~40개의 종아가 뚜렷하게 발달하여 작물로서의 가치가 충분하였으나 수경재배한 토란은 종아가 분해되어 사라지고 수염뿌리가 발달하였다.

사 사

이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- Ahn D, Y Kim, DJ Kim and JS Lee. 2008. The effect of water stress on C₃ plant and CAM plant. Korean J. Environ. Bio. 26:271-278.
- Aloni R, K Schwalm, M Langhans and CI Ullrich. 2003. Gradual shifts in sites and levels of free-auxin production during leaf primordium development and their role in vascular differentiation and leaf morphogenesis in *Arabidopsis*. Planta 216:841-853.
- Choi SG and HK Pyeong. 1987. Study on utilization of mother corm as seed corm in taro, *Colocasia antiquorum* var. *esculenta* ENGL. J. Kor. Hort. Sci. 28:112-117.
- Choi SK and KP Han. 1987a. Utilization of corm as seed corm in taro *Colocasia antiquorum* var. *esculenta* ENGL-1. The effect of corm wight on growth and yield in taro. Horti. Environ. Biotech. 27: 224-230.
- Choi SK and KP Han. 1987b. Study on utilization of mother corm as seed corm in taro, *Colocasia antiquorum* var. *esculenta* ENGL-11, The effect of seed corm piece wight on growth and yield in taro. Horti. Environ. Biotech. 28:112-117.
- Hur MK and JS Choi. 2003. Genetic diversity and population structure of taro, *Colocasia esculenta* in Korea and Japan. J. Kor. Hort. Sci. 44:133-137.
- Lee MS, JH Lee and SO Yu. 1979. Effect of seed tuber age and weight on major characters in different local strains of taro, *Colocasia antiquorum* SCHOTT. J. Kor. Hort. Sci. 20:134-141.
- Park HK and WS Lee. 1968. Studies on the taro cultivation in Korea-(1) collection and investigation on the local varieties of taro. Horti. Environ. Biotech. 3:44-51.
- Taiz L and E Zeiger. 2006. Plant Physiology. 4th ed. Sunderland: Sinauet Associates. pp. 1-751.

Manuscript Received: February 10, 2011
Revision Accepted: April 26, 2011
Responsible Editor: Man Kyu Huh