간척지 토양에서 EC 처리에 따른 향부자와 갯방풍의 생육 및 기능성 물질 함량 분석

장지현 · 신혜인 · 박종석*

충남대학교 원예학과

Analysis of Growth and Functional substance for *Cyperus rotundus* and *Glehnia littoralis* by EC Treatment in Reclaimed Soil Conditions

Ji-Hyeon Jang, Hye-In Shin, and Jong-Seok Park*

Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Abstract. The purpose of this study was to analyze the growth and functional differences between *C. rotundus* and *G. littoralis* according to different electrical conductivity (EC) conditions in reclaimed soil conditions. *C. rotundus* and *G. littoralis* seeds were sown in a tray and managed for seedlings stage for eight weeks. They were transplanted in the pots containing reclaimed soils sampled in the Saemangum region. The plants were grown in the reclaimed land soil for 12 weeks under the control, 1, 2, 4, and 8 dS·m⁻¹ conditions and in horticultural soils with EC 1.0 dS·m⁻¹. Plant height, leaf length and width of *C. rotundus* were the highest in EC 1 dS·m⁻¹. Leaf, flower and tuber numbers of *C. rotundus* were the highest in EC 2 dS·m⁻¹ and the lowest in EC 8 dS·m⁻¹, and SPAD was the highest in EC 2 and 4 dS·m⁻¹ and the lowest in EC 8 dS·m⁻¹. The fresh weights of shoot and root of *C. rotundus* grown under EC 2 dS·m⁻¹ increased and then decreased as the concentration increased. When compared plant growth between reclaimed soil and horticulture soil with EC 1 dS·m⁻¹, the fresh weights of shoot and root, SPAD, leaf number, flower number, and tuber number were higher in horticultural soils. Although *G. littoralis* grown under EC 8 dS·m⁻¹ was the lowest in all growth parameters, there were no significant differences among other EC treatments. *C. rotundus* had the highest p-coumaric acid content in EC 1 dS·m⁻¹. And the catechin content in shoot of *G. littoralis* was the highest in the control, and root of *Glehnia littoralis* had the highest benzoic acid contents in EC 1 dS·m⁻¹. If the soil EC is well managed within 4.0 dS·m⁻¹, two plants would be cultivated in reclaimed land.

Additional key words : medicinal plant, total phenolic compounds

서 론

한국의 간척지 재배단지는 본래 벼 재배를 위한 목적으로 개간되었으나 쌀 소비 감소에 따른 재고량 증가 및 수입개방으로 인한 영향으로 타 작물의 재배이용 필요성이 대두되어 왔다(Lee와 Ahn, 2003). 이에 따라 논에서 밭으로 간척지를 전환하여 밭 작물을 재배하는 것에 대한 논의가 진행되어 왔지만 간척지에서 밭 작물을 재배할 시 배수 조건이나 지하수위에 따라 염류의 분포가 불균일해지기 때문에 작물의 생장에 영향을 미치게 된다(Ryu와 Park, 2004). 따라서 밭으로 이용할 경우 물 관리가 중요하며 작물재배를 위해서는 매립과 제염, 지하수위에 대한 고려가

추가적으로 필요하다(Son 등, 2015). 또한 작물을 선정할 때는 내염성이 강한 작물을 선정하여 재배해야 하며 이화학적 특성을 고려하여 시비 해야 한다(Shin 등, 2005).

향부자(*Cyperus rotundus*)는 사초과에 속하며 한국, 인도, 중국 및 일본 등지에서 자라는 약용식물이다(Dassanayake와 Fosberg, 1985). 가뭄에 강해 비옥하지 않은 사양토에서 잘 자라고 따뜻한 기후에서 생육이 좋다(Kim 등, 1997). 향부자의 주요 성분에는 β -sitosterol, cyperol, flavonoids, cyperene, ascorbic acid, sesquiterpenoids, polyphenols 등이 있는데(Sonwa와 Konig, 2001), 향부자의 뿌리는 염증 및 피부 발진에 사용되고(Pal과 Dutta, 2006), 자궁 억제작용, 진통작용 및 해열작용에 도움을 준다(Hwang 등, 2012). 갯방풍(*Glehnia littoralis*)은 산형과에 속하는 다년생 초본으로, 우리나라의 해안사구에서 자생하며, 한국에서는 해방풍이라 불리고(Seo와 Ryu, 1977) 중국에서는 북사삼, 해사삼 등으로 칭하고 있다

*Corresponding author: jongseok@cnu.ac.kr
Received October 02, 2019; Revised October 11, 2019;
Accepted October 14, 2019

(Zhu 등, 1989). 갯방풍은 뇌졸중, 고혈압, 신경통, 해열 등에 사용되어 왔으며(Kim 등, 2005), 뿌리에서는 β -sitosterol 등의 성분이 추출되었고 열매와 줄기에서 fatty acid의 성분을 발견했다고 알려져 있다(Seo 와 Ryu, 1977). 특히 농림축산식품부에서 조사한 ‘2017년도 특용작물 생산실적’자료에 의하면 17년도 향부자의 재배면적은 24 ha, 생산량은 130 M/T (Metric Ton) 이며 서울 경동 약령시장을 기준으로 비교했을 때 98년도 1,600원/600g에서 17년도 5,700원/600g으로 도매 단가 또한 꾸준히 증가하고 있다. 갯방풍과 비슷한 방풍의 종류인 식방풍의 경우에는 96년도 재배면적 75 ha, 생산량 338 M/T (Metric Ton) 에서 17년도 재배면적 164 ha, 생산량 1,602 M/T (Metric Ton) 으로 점차적으로 증가하는 경향을 보이고있다(농림축산식품부, 2017). 따라서, 가뭄에도 강하고 척박한 토양에서 잘 자라는 향부자의 특성과 해안사구에서 자생하는 갯방풍의 특성으로 볼 때, 간척지 토양에서 쌀을 대신하여 재배할 수 있는 고부가가치 작물로써 향부자와 갯방풍을 고려해 볼 수 있다.

따라서, 약용작물로 재배되는 갯방풍과 향부자를 간척지 토양에서 재배할 수 있는지에 대한 검토를 위하여, 간척지에서 채취한 토양을 포트에 채워 향부자와 갯방풍을 재배하였다. 또한 이를 통해 간척지 토양에서 공급 양액의 EC 농도별 처리가 향부자와 갯방풍의 생장 및 기능성물질 함량에 미치는 영향을 분석하는 것이 본 연구의 목적이다.

재료 및 방법

1. 식물 재료 및 생육 환경

갯방풍(*Glehnia littoralis*)과 향부자(*Cyperus rotundus*) 종자를 3일간 침종 처리한 후, 원예용 상토가 담긴 플러그 트레이에 직접 파종하였다. 파종 후 온도 27°C 조건에서 3일 동안 두었으며, 이 후 온도를 22°C 조건으로 바꾸어 육묘를 실시하였고 파종 후 8주 간 육묘하였다. 전북 김제시 광활면 창제리 부근의 새만금 시험포 3곳에서 토양 30kg을 직접 채취하였다. 채취된 토양 450g을 직경 10cm 포트에 담아 묘를 이식하였다. 생육 환경은 온도 22±2°C, 습도 50-60%으로 유지하였으며(Fig. 1), 광도는 190±10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 일장은 각각 16h/8h (day/night)로 모든 처리구를 동일한 광 조건에서 처리하였다. 배양액은 Hoagland Nutrient solution ($\text{NO}_3\text{-N}$ 14me·L⁻¹, $\text{NH}_4\text{-N}$ 1me·L⁻¹, $\text{PO}_4\text{-P}$ 3me·L⁻¹, K 6me·L⁻¹, Ca 8me·L⁻¹, Mg 4me·L⁻¹, $\text{SO}_4\text{-S}$ 4me·L⁻¹)을 사용하였고, 모든 EC 처리는 2dS·m⁻¹로 처리한 후 NaCl로 EC 농도를 4와 8dS·m⁻¹ 조절하였다. 공급된 배양액의 농도는 EC 0 (대조구), 1, 2, 4와 8dS·m⁻¹, 총 5개의 EC 처리구로 재배

Fig. 1. Temperature and relative humidity in the plant factory grown *Cyperus rotundus* and *Glehnia littoralis* for 50 days.

실험을 진행하였다. 추가로 원예용 상토를 이용하여 EC 1dS·m⁻¹ 조건으로 재배하여 두 가지 토양 조건에서 작물 생육을 비교하였다. 모든 처리구의 양액 공급은 주 3회 저면관수하였으며 대조구(EC 0dS·m⁻¹)는 양액을 처리하는 대신 지하수를 역삼투방식 정수를 거친 물(EC 0.0dS·m⁻¹)을 공급하였다.

2. 생육 데이터 및 기능성 물질 분석

생육 데이터는 정식 후 2주 간격으로 3개월 간 총 8회에 걸쳐 조사 하였으며, 초장, 엽수, SPAD, 엽면적, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중을 측정하였다. 향부자는 갯방풍과 달리 뿌리 인편을 약용으로 사용하기 때문에 뿌리인편 수를 추가하여 조사하였다. 초장은 버니어 캘리퍼스 (BD-DC200P, Hongwon, Korea)를 이용하였으며, SPAD 값은 (SPAD 502, Minolta, Japan)로, 엽면적은 (LI-3100, LI-COR Inc., USA)으로 측정하였다. 지상부와 지하부의 생체중은 전자저울 (CAL MW-2N, CAS Co. Ltd. Seoul, Korea)을 이용하였으며, 건물중은 건조기 온도 80도에서 1주일간 보관 후, 전자저울 (CAL MW-2N, CAS Co. Ltd. Seoul, Korea)을 이용하여 측정하였다.

향부자와 갯방풍의 기능성 물질을 분석하기 위해 15개의 페닐프로파노이드 계통물질 (hallic acid, catechin, 4-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, caffeic acid, (-)-Epicatechin, vanillin, p-coumaric acid, ferulic acid, sinapic acid, benzoic acid, rutin, trans-cinnamic acid, quercetin, kaempferol)을 선정하였고 향부자와 갯방풍에 적용하여 성분을 분석하였다. 시료를 액체질소를 이용하여 동결시킨 후, 동결 건조기를 이용하여 -80°C에서 건조시킨 후, 건조된 식물 시료를 막자 사발로 분쇄하여 100mg씩 나눈 분말시료에 2mL의 80 % (v/v) 메탄올을 넣고 진동혼합(vortex)한 후 60°C에서 1시간 동안 음파처리(sonication)를 수행하여 원심분리를 통해 상등액을

획득했다. 총 3회에 걸쳐 각각 상층액을 회득하고 합한 후, 회전 감압하고 2mL의 80 % (v/v) 메탄올을 넣고 재 회석했으며, 해당 추출액을 0.45 μ m Acrodisc syringe filter (Pall Corp.; Port Washington, NY)을 통하여 여과 처리 한 후, HPLC vial에 투입하고 페닐프로파노이드 HPLC 분석 했다(Li 등, 2010).

3. 통계 분석

식물 생육조사는 향부자의 경우 처리당 8주씩 측정하였고, 향부자에서 EC 1dS·m⁻¹과 원예용 상토와의 비교 및 갯방풍의 경우 처리당 3주씩 측정하였다. 측정 데이터의 통계분석은 SAS software (version 9.4, 2013; SAS Institute, Inc., NC, USA)을 이용하여 ANOVA(변량분석)를 실시하였고, 각 처리간 평균 비교를 위하여 Duncan's Multiple Range Test (P≤0.05)을 수행하였다. 또한 간척지 토양과 원예용 상토의 데이터를 비교하기 위해 t-test (P≤0.05)를 실시했다.

결과 및 고찰

1. 향부자 생육 분석

향부자의 초장은 EC 1과 2dS·m⁻¹ 처리구에서 가장 높

은 경향을 보였으나 EC가 증가할수록 초장이 유의하게 감소하여 EC 8dS·m⁻¹ 처리구에서 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 2). 그러나 근장의 경우에는 EC 1dS·m⁻¹에서 가장 높았으나, 유의적인 차이는 보이지 않았다. 또한, 엽장과 엽폭은 EC 1dS·m⁻¹에서 가장 높은 값을 보였으며 EC 8dS·m⁻¹에서 가장 낮은 값을 보였으나(Fig. 2), 나머지 처리구들 사이에서는 차이가 발생하지 않았다. 그러한 이유로 향부자의 좁고 긴 엽형의 특성과, 척박한 토양에서 잘 생육하는 습성으로 인해 EC 2와 4dS·m⁻¹에서는 차이가 없었던 것으로 판단된다. 엽수는 EC 2dS·m⁻¹에서 유의적으로 가장 높은 경향을 보였으며 EC 8dS·m⁻¹ 처리구에서 급격히 감소했다. 위 결과는 관비재배 시 급액 농도에 따른 착색단고추의 생육을 살펴 보았을 때 EC 2dS·m⁻¹까지는 생체중과 건물중이 증가하나 EC 3dS·m⁻¹부터 낮아진다는 결과와 유사했으며(Bae와 Kim, 2004), 높은 EC는 수분 흡수 및 세포 팽압의 제한을 초래할 수 있고, EC가 높아지면 뿌리에 독성 이온이 유지되어 이온 불균형이 일어나 식물 생육에 영향을 줄 수 있다는 연구와도 부합한 결과를 나타냈다(Bader 등, 2015; Alborno와 Lieth 2015; Pecanha 등, 2017). 따라서 작물에 따른 적정 EC를 초과할 시에 생육이 낮아지는 것으로 판단된다. 그리고 잎의 SPAD 값

Fig. 2. Plant height, root length, leaf length, leaf width, leaf number, SPAD of *Cyperus rotundus* grown under the different EC treatments for 12 weeks after transplanting. Vertical bars represent standard errors (n=8). Means with different letters on each growth parameter are significantly different (P≤0.05 by DMRT test).

Fig. 3. Shoot fresh weight, root fresh weight and flower number and tuber number of *Cyperus rotundus* grown under the different EC treatments for 12 weeks after transplanting. Vertical bars represent standard errors (n=8). Means with different letters on each growth parameter are significantly different ($P \leq 0.05$ by DMRT test).

의 경우 EC 처리가 높아질수록 SPAD 값이 높은 경향을 보였으나, EC $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 급격히 감소했다. 이는 높은 염 스트레스에 의한 엽록소 함량의 감소로써 염해의 대표적인 증상으로 알려져 있으며(Lutts 등, 1996), 감수성 벼 품종보다 내염성 벼 품종이 염 스트레스에 의한 엽록소 감소가 적은 것으로 확인되었다(Lee 등, 1998). 따라서 EC $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구의 높은 염 농도가 마찬가지로 향부자 엽의 엽록소 파괴에 영향을 미치는 것으로 생각된다(Fig. 2).

향부자의 지상부와 지하부 생체중은 EC $2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 가장 높은 값을 보였지만 이후 EC 4와 $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 급격하게 값이 감소하는 경향을 보였다(Fig. 3). 이러한 결과는 토양의 염류 농도가 높을수록 토마토의 초장, 생체중, 건물중이 억제되었다는 결과와 유사하였다(Rhee 등, 2007). 또한 해안가에 서식하는 *Halopyrum mocoronatum* L. 의 경우 저농도인 90mM NaCl 농도를 처리 시, 뿌리의 생체중과 건물중이 오히려 증가되었고, 그 이상의 농도에서는 감소하기 시작하여 360mM NaCl 처리 시, 고사하였다(Khan 등, 1999)는 연구와도 부합하는 결과를 보였다. 화방 수는 EC $2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서 유의적으로 가장 높았으며 EC 1과 $4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 경우 대조구와의 차이를 보이지 않았다. 특히 EC $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서는 화방이 전혀 형성되지 않았는데, 이는 높은 염농도가 향부자의 화방 형성을 저해하는 것으로 생각된다. 이는 NaCl 처리농도가 증가함에 따라 고추의 꽃수가 큰 폭으로 감소하였다는 결과와 유사하며(Park 등, 2006), 인편 수 또한 염 농도가 EC $2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 일 때 유의적으로 가장 높은 값을 나타냈으며 이후 점차 감소하는 경향을 보였다(Fig. 3). 이러한 결과는 엽록소 함량 감소에 따른 광합성속도의 감소가 요인이 될 수 있으며 염 농도 증가에 따른 생리적인 장애요인이 생육에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 EC가 높아질수록 Cl^{-} 과 Na^{+} 의 증가

하여 Ca^{2+} 과 K^{+} 의 뿌리 흡수를 제한하는데, 칼륨과 칼슘의 수화반경이 나트륨보다 크기 때문에 이온 불균형이 염 스트레스 하에서 발생할 수 있으며(Peng 등, 2004; Rejili 등, 2007; Amalfitano 등, 2017), 보리에서 삼투포텐셜이 감소하고 이온 불균형이 발생하여 식물 생육이 크게 감소했다는 결과 또한 보고되었다(Degl'Innocenti 등, 2009). 따라서 간척지에서의 고 염도 조건은 토양 수분포텐셜을 감소시키고 이로 인하여 근권부에서 양분과 수분의 흡수가 억제되어 생육이 억제되는 것으로 생각되며, 위 결과로 미루어보아, EC 농도 처리에 따른 향부자의 생육을 비교했을 때 EC $2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 수준에서 처리하는 것이 향부자의 생육에 가장 적합하다고 판단된다.

간척지 토양과 원예용 상토에서 자란 향부자의 초장, 근장, 엽장, 엽폭의 경우 두 처리간 유의적인 차이는 보이지 않았다(Fig. 4). 이는 담배에서 대조구와 NaCl의 농도가 180 mM인것을 비교했을 때 초장, 근장의 길이가 농도가 높을 때 현저히 낮은 값을 보였던 것에서 부합하지 않는 결과를 보인다(Lee 등, 1998). 하지만 지상부와 지하부의 생체중은 유의적으로 원예용 상토에서 재배한 향부자의 값이 높았기 때문에 원예용 상토에서 간척지 토양보다 향부자의 생육이 더 좋았다고 판단된다(Fig. 5). 원예용 상토에서 재배한 향부자의 SPAD 값은 유의적 차이는 없었으나 간척지 토양보다 더 높은 값이 관찰되었다. 그러나, 향부자의 엽수는 간척지 토양과 비교하여 원예용 상토에서 61% 더 증가한 비율로 출현되었다(Fig. 4). 이는 유의적인 차이는 없었으나 원예용 상토에서 SPAD 값이 더 높았기 때문에 엽내 엽록소의 함량이 더 높아 광합성속도가 증가하여 생육이 더 좋았던 것으로 생각되며, 엽수의 차이 또한 엽록소 함량에 따른 생육차이에 대한 결과로 나타나는 것이라 사료된다. 이 결과로 토양의 특성이 향부자의 길이 성장에는 유의적 영향을 미치지 않지만 엽내 엽록소 형성 및 잎 형성에

Fig. 4. Plant height, root length, leaf length, leaf width, SPAD, leaf number of *Cyperus rotundus* grown under the different soil type for 12 weeks after transplanting. Vertical bars represent standard errors (n=3). The differences of means between groups were evaluated by t test; * indicate significance at 5% level.

Fig. 5. Flower number, tuber number, shoot fresh weight, root fresh weight of *Cyperus rotundus* grown under the different soil type for 12 weeks after transplanting. Vertical bars represent standard errors (n=3). The differences of means between groups were evaluated by t test; * indicate significance at 5% level.

영향을 미치는 것으로 판단된다(Fig. 4).

화방 수는 원예용 상토에서 더 높은 경향을 보였으나 유의적 차이는 없었고, 인편 수는 간척지 토양과 비교했을 때 원예용 상토에서 유의적으로 높았으므로 토양 염도가 향부자의 인편 생성에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이는 염 스트레스를 받은 식물이 지하부에 상대적으로 광합성 동화산물을 지상부보다 많이 축적한다는 보고와 상반된 결과이다(Perez-Alfocca 등, 1993). 일반적

으로 작물의 지상부와 지하부는 신호 전달을 통해 동화물질의 전류가 이루어지는데, 염 스트레스 조건은 근권부의 양수분 흡수율을 저하시키고 수분퍼텐셜을 낮춘다. 이 때 근권부의 수분 퍼텐셜이 낮아지면서 공급원에서 축적된 동화산물의 수송을 증진시키게 되어 지하부에 광합성 동화산물이 많이 축적되는 것으로 생각된다(Taiz와 Zeiger, 2013). 지상부와 지하부 생체중 모두 원예용 상토에서 간척지 토양보다 유의적으로 높은 값을 보였으며,

지상부 생체중은 109%, 지하부 생체중은 213% 높은 값을 나타냈다(Fig. 5). 이는 토양에 축적된 염의 농도가 높아지면 식물체 뿌리의 수분포텐셜이 더 높아져 식물체로의 양수분 흡수가 억제되어 생육의 감소가 나타난 것으로 판단된다. 따라서 전체적인 향부자의 생육은 원예용 상토에서 간척지 토양보다 더 좋았으며, 인편의 개수와 뿌리의 생체중은 EC 1dS·m⁻¹ 보다 EC 2dS·m⁻¹ 에서 더 높았으므로(Fig. 3) 실제 간척지 토양의 염 농도를 2dS·m⁻¹ 수준으로 유지시킬 수 있는 물관리 및 토양 관리가 필요할 것으로 판단된다.

2. 갯방풍 생육분석

갯방풍의 초장은 EC 2dS·m⁻¹ 처리에서 유의적 차이는 없었지만 가장 높은 경향을 보였고 EC 8dS·m⁻¹ 에서 가장 낮았다(Fig. 6). EC 1, 0, 4dS·m⁻¹의 순으로 감소하였으며 EC 8dS·m⁻¹ 처리구에서는 지상부가 거의 고사하여 초장 값이 매우 낮았다. 위 결과는 NaCl의 농도가 증가하면 초장이 감소하여 오이 접목묘에서 염 처리를 통해 도장억제에 도움을 준다는 보고와 부합하며(Moon 등, 2010), 이를 통해 EC의 농도는 식물의 초장에 영향을 미치는 것으로 생각되어진다. 엽장 및 엽폭은 EC 2dS·m⁻¹ 에서 가장 높은 경향을 보였고 EC 1, 4, 0dS·m⁻¹ 순으로 감소하였다. EC 8dS·m⁻¹ 처리구의 갯방풍 지상부는 거

의 고사하여 엽장이 유의적으로 낮은 경향을 보였으며 엽수는 EC 1, 2dS·m⁻¹ 에서 높은 값을 보였지만 유의적 차이는 없었으며, EC 0과 4dS·m⁻¹ 에서 낮은 값을 보였다. 갯방풍의 간지 엽록소 계측값인 SPAD는 EC 1dS·m⁻¹ 에서 가장 높았다. 지상부 및 지하부 생체중 모두 유의적 차이는 관찰 되지 않았으나 EC 2dS·m⁻¹ 에서 가장 높았고, EC 8dS·m⁻¹ 처리구는 다른 처리구에 비해 현저히 낮았다(Fig. 6). 이는 향부자의 SPAD값이 EC 8dS·m⁻¹ 구간에서 특히 낮았던 것(Fig. 2)과 같은 결과를 보이며 이를 통해 마찬가지로 높은 염이 엽록소의 함량을 감소시킨다고 생각되어진다. 특히 지하부보다 지상부에서 더 큰 염 스트레스를 받았는데, 이는 토마토 염 처리 시험에서 고농도의 염도는 지상부에서 지하부보다 더 억제적이라는 보고와 같은 결과를 보였다(Cuartero와 Rafael, 1999). 이러한 결과는 염 스트레스로 인해 식물체가 수분결핍이 일어나면 뿌리 신호가 생성되고 이 신호가 ABA의 생성을 유도해 잎의 기공 개폐 및 신장을 조절한다는 것과 유사했으며(Zhu, 2002), 염 스트레스 조건에서 잎은 수분 결핍으로 기공이 닫히고 CO₂ 흡수가 제한되어(Cornic과 Fresneau, 2002) 동화산물 생산이 억제되고 그에 따라 지상부의 생육이 지하부 보다 더 감소되는 것이라고 판단된다. 따라서 위 결과로 미루어보아 토양 EC의 수준은 적절한 농도에서 작물의 생육이 더

Fig. 6. Plant height, root height, leaf length, leaf width, SPAD, leaf number, shoot fresh weight, flower number and tuber number and root fresh weight of *Glehnia littoralis* grown under the different EC treatments for 12 weeks after transplanting. Vertical bars represent standard errors (n=3). Means with different letters on each growth parameter are significantly different ($P \leq 0.05$ by DMRT test).

Fig. 7. Total Phenolic compounds of roots of *Cyperus rotundus* grown under the different EC treatments in reclaimed soil conditions for 12 weeks after transplanting. Data represent means and standard errors (n=3).

좋은 것으로 판단되었으며, 간척지 토양의 EC를 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이하 수준으로 관리할 수 있다면 갯방풍 재배가 가능할 것이라고 판단된다.

3. 향부자 총 phenolic compounds 비교

향부자는 지하부의 인편에서 많은 페놀을 함유하고 있기 때문에 지하부의 총 페놀함량을 조사했다. EC 1 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 처리구에서 재배된 향부자에 다량 함유되어 있는 p-coumaric acid 함량이 3.6mg으로 매우 높게 나타났으며 대조구와 비교했을 때 3.5배 증가한 2차 대사산물이 축적되었고, EC 2 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 Benzoic acid가 대조구와 비교하여 매우 높게 나타났다(Fig. 7). 이는 염 스트레스로 인해 산화적 스트레스가 유발되어 과다하게 발생하는 활성산소를 제거하기 위한 방법으로 항산화효소 및 2차대사산물을 축적시킨다는 보고에 부합하며 (Alsher와 Hess, 1993), 간척지 토양의 적절한 물관리를 통하여 근권의 염 농도를 낮출 수 있다면 향부자 생산이 가능할 것으로 판단되며, 이러한 향부자의 인편에 함유된 기능성 물질은 일반 토양에서 재배하는 것보다 증가될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 갯방풍 총 phenolic compounds 비교

갯방풍 지상부는 catechin이나 benzoic acid와 같은 페놀화합물의 함량이 높은 것으로 나타났다. 특히 catechin 함량의 경우 EC 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 7.8mg으로 가장 높은 함량을 보였으나 대조구와의 유의적인 차이는 보이지 않았고 EC 2과 1 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 경우 대조구보다 낮은 함량을 보였다. 또한 benzoic acid는 대조구에서 가장 함량이 높았으나 EC 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 처리구와의 유의적 차이는 보이지 않

Fig. 8. Total phenolic compounds of shoots of *Glehnia littoralis* grown under the different EC treatments in reclaimed soil conditions for 12 weeks after transplanting. Data represent means and standard errors (n=3).

았다. 따라서 갯방풍 지상부의 경우 EC 농도에 따른 총 페놀 함량은 연관이 없는 것으로 판단된다 (Fig. 8).

갯방풍 지하부의 경우 benzoic acid와 4-hydroxybenzoic acid 함량이 높았는데, 특히 EC 1 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 처리구에서 대조구 보다 2.5배 높은 benzoic acid 함량을 보였다(Fig. 9). 4-hydroxybenzoic acid의 경우 EC 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 처리구에서 가장 높은 함량을 보였으나 대조구와의 유의적 차이는 보이지 않았으며 EC1과 2 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 처리구의 경우 대조구보다 낮은 함량을 나타낸 것으로 보아 EC 농도에 따른 4-hydroxybenzoic acid 함량은 연관이 없는 것으로 판단된다(Fig. 9). Sim 등 (2018)에 의하면 NaCl처리에 따른 양초(*Leymus Chinensis* Trin.) 유식물체의 항산화효소 활성을 분석한 결과, 처리 농도가 가장 높았던 400mM에서 총 페놀함량이 높았다고 말하며 이는 고농도 염 스트레스 조건에서 항산화 활성을 갖는 기작을 수행하여 총 페놀함량이 증가하였다고 보고하였다. 고추냉이(*Wasabia japonica* 'Matsum')를 5주간 EC 수준에 따라 처리한 경우, 기능성물질인 AITC(allyl isothiocyanate)의 총 함량이 처리 1주에는 EC 5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 가장 높았지만 처리 5주에는 EC 3 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 가장 높았으며 처리 1주에 비해 EC 0.5-2 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 처리의 경우 1.2-1.4배 증가했지만 EC 3 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상에서는 감소하는 경향을 나타냈다(Choi 등, 2011). 또한, Lu 등 (2017)에 따르면, 들깨의 기능성물질인 RA(Rosmarinic Acid)의 경우 2-3 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에 비해 1 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 처리에서 가장 높은 물질 값을 얻었다고 보고되어있다. 더욱이 Galieni 등 (2015)은 상추에서 가장 높은 총 폴리페놀 함량은 질소 결핍을 불러 일으켰다고 설명하고 있다. 이는 초기에 높은 EC 수준이 물질 함량을 증대시킬 수 있지만 시간이 경과함에 따라 적절한 EC 값의 물질 함량이 고농도의 EC 수준보다 더 좋은 것을 알 수 있었으며, 높은 EC 값은 질소 결핍 등의 식물의 생육을 저해시킬 수 있는 것으로 사

Fig. 9. Total phenolic compounds of roots of *Glehnia littoralis* grown under the different EC treatments in reclaimed soil conditions for 12 weeks after transplanting. Data represent means and standard errors (n=3).

료된다. 따라서 높은 함량의 페놀을 확보하기 위해서는 더 높은 EC 조건에서 재배의 필요성도 느껴지지만, 작물의 생육 및 품질을 고려하여 적절한 EC 농도를 판단하여야 할 것으로 생각된다.

적 요

본 실험의 목적은 간척지 토양에서 다른 EC처리에 따라 향부자와 갯방풍의 생장 및 기능성물질 차이를 분석하고자 수행하였다. 향부자와 갯방풍 종자를 트레이에 파종 후 8주간 온실에서 육묘하였고 새만금 지역에서 채취한 간척지 토양을 담은 포트에 이식하였다. 식물은 EC농도에 따라, 대조구, 1, 2, 4, 8dS·m⁻¹ 조건으로 12주간 실험을 진행했고 추가로 간척지 토양에서의 EC 1dS·m⁻¹ 과 원예용 상토를 구분하여 생육을 비교했다. 향부자의 초장, 엽장, 엽폭은 EC 1dS·m⁻¹ 에서 가장 높았다. 엽수, 화방 수, 인편 수는 EC 2dS·m⁻¹ 에서 가장 크고 EC 8dS·m⁻¹에서 가장 적었으며, SPAD는 EC 2와 4dS·m⁻¹ 에서 가장 높고 EC 8dS·m⁻¹에서 가장 낮았다. 지상부와 지하부의 생체중은 EC 2dS·m⁻¹ 까지 증가하다가 농도가 증가함에 따라 값이 감소했다. EC 1dS·m⁻¹ 조건에서 간척지토양과 원예용 상토에서 자란 작물의 생육을 비교했을 때 SPAD, 엽수, 화방 수, 인편 수, 지상부와 지하부의 생체중은 원예용 상토에서 더 높았다. 갯방풍은 모든 생육 조건에서 EC 8dS·m⁻¹가 가장 낮았으며 EC 8dS·m⁻¹을 제외하고 다른 처리구에서는 유의적인 차이를 확인할 수 없었다. 향부자는 EC 1dS·m⁻¹에서 p-coumaric acid 함량이 가장 높았고, 갯방풍의 지상부는 catechin의 함량이 대조구에서 가장 높았으며 지하부는 EC 1dS·m⁻¹에서 benzoic acid 함량이 가장 높았다. 간척지 토양을 EC 4dS·m⁻¹ 이내로 관리 할 수 있다면 향부자와 갯방풍의 재배가 가능할 수 있을 것으로 판단된다.

추가 주요어: 약용작물, 총 페놀 화합물

Literature Cited

- Alsher R.G. and J.L. Hess. 1993. Antioxidants in higher plants. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p.1-174.
- Amalfitano, C., Del Vacchio, L., Somma, S., Cuciniello, A., Caruso, G., 2017. Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of 'Friariello' pepper grown in hydroponics. Hort. Sci, 44: 91-98.
- Bae J.H. and K. H. Kim. 2004. The Effect of Irrigation Concentration on the Growth and Fruit Quality of Sweet Pepper(*Capsicum annuum* L.) in Fertigation. Journal of Bio-Environment Control. 13:167-171. (in Korean)
- Choi K. Y., Y. B. Lee, and Y. Y. Cho. 2011. Allyl-isothiocyanate Content and Physiological Responses of *Wasabia japonica* Matusum as Affected by Different EC Levels in Hydroponics. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29:311-316.
- Cornic G. and C. Fresneau. 2002. Photosynthetic carbon reduction and carbon oxidation cycles are the main electron sinks for photosystem II activity during a mild drought. Ann. Bot. 89:887-894.
- Cuartero J. and F.M. Rafael. 1999. Tomato and salinity. Sci. Hort. 78:83-125.
- Dassanayake M., Fosberg, F.R. 1985. A Revised Handbook of the Flora of Ceylon, part V. A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. p. 181.
- Deg'Innocenti, E., Hafsi, C., Guidi, L., Navari-Izzo, F., 2009. The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. J. Plant Physiol., 166: 1968-1981.
- Galieni, A., Di Mattia, C., De Gregorio, M., Specia, S., Mastrocola, D., Pisante, M., Stagnari, F., 2015. Effects of nutrient deficiency and abiotic environmental stresses on yield, phenolic compounds and antiradical activity in lettuce (*Lactuca sativa* L.). Sci Hort, 187: 93-101.
- Hwang E.Y, D.H. Kim, J.Y. Hwang, and H.J. Kim. 2012. A Study on the Depigmenting Effect of *Carthamus tinctorius* Seed, *Cyperus rotundus* and *Schizonepeta tenuifolia* Extracts. Korean J. Food Sci. Technol. 44:76-81. (in Korean)
- Khan M. A., I. A. Ungar, and A. M. Showalter. 1999. Effects of salinity on growth, ion content, and osmotic relations in *Halopyrum mucronatum* (L.) Stapf. J. Plant Nutr. 22:191-204.
- Kim B.G, J.C. Kim, and J.K. Rye. 1997. Production Status and Economic Analysis in Chief Producing Area of *Cyperus rotundus*. Korean Journal Medicinal Crop Science 5:243-248. (in Korean)
- Kim S.M, D.I. Hong, H.S. Song, S.K. Kim, and S.T. Yoon. 2005. Geographical Distribution and Habitat Characteristics

- of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt in South Korea. Korean J. Medicinal Crop Sci. 13:171-177. (in Korean)
- Lee S. G., J. S. Shin, Y. S. Seok, and G. K. Bae. 1998. Effects of Salt Stress on Photosynthesis, Free Proline Content and Ion Content in Tobacco. Korean Journal of Environmental Agriculture. 17:215-219. (in Korean)
- Lee S. H. and Y. Ahn. 2003. Current Status and Future Tasks of Reclamation in Korea. Journal of Reclaimed land agriculture research. 1:20-31. (in Korean)
- Lee Y.M., J. Yun, S.H. Shin, and W.Y. Choi. 1998. Varietal difference in seedling growth and cation contents under NaCl treated rice. Kor. J. Breed. 30:104-113. (in Korean)
- Li Y., T. Wu, J. Zhu, L. Wan, Q. Yu, X. Li, Z. Cheng, C. Guo. 2010. Combinative method using HPLC fingerprint and quantitative analyses for quality consistency evaluation of an herbal medicinal preparation produced by different manufacturers. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 52:597-602.
- Lu, N., Bernardo, E.L., Tippayadarapanich, C., Takagaki, M., Kagawa, N., Yamori, W., 2017. Growth and accumulation of secondary metabolites in perilla as affected by photosynthetic photon flux density and electrical conductivity of the nutrient solution. Front Plant Sci, 8: 708.
- Lutts S., J.M. Kinet, and J. Bouharmont. 1996. Change in plant response to NaCl during development of rice varieties differing in salinity resistance. J. Exp. Bot. 46:1842-1852.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2017, 「2017 Industrial crop production performance」
- Moon J. H., Y. A. Jang, H. K. Yun, S. G. Lee, and J. w. Lee. 2010. Determination of Salt Type, Salt Concentration, and Salt Application Method and Timing for Suppression of Stem Elongation. Journal of Bio-Environment Control. 19:317-323. (in Korean)
- Pal D.K., S. Dutta. 2006. Evaluation of the Antioxidant activity of the roots and Rhizomes of *Cyperus rotundus* L. Indian J. Pharm.Sci. 68:256- 258
- Park E.J, Y.G. Sohn, J.C. Park, and J.J. Lee. 2006. Effects of NaCl on the Growth and Inorganic Ion Contents of Green Pepper 'Nokwang' and Bell Pepper 'Newace'. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 24:1-7. (in Korean).
- Pecanha, A.L., da Silva, J.R., Rodrigues, W.P., Ferraz, T.M., Netto, A.T., Lima, R.S.N., Lopes, T.S., Ribeiro, M.S., de Deus, B.C.D., et al. 2017. Leaf gas exchange and growth of two papaya (*Carica papaya* L.) genotypes are affected by elevated electrical conductivity of the nutrient solution. Sci. Horti, 218: 230-239.
- Perez-Alfocea, F., M.T. Estan, A.S. Cruz, and M.C. Bolarin. 1993. Effects of salinity on nitrate, total nitrogen, soluble protein and free amino acid levels in tomato plants. J. Hort. Sci. 68:1021-1027.
- Rhee H.C, M.W. Cho, S.Y. Lee, G.L. Choi, and J.H. Lee. 2007. Effect of Salt Concentration in Soil on the Growth, Yield, Photosynthetic Rate, and Mineral Uptake of Tomato in Protected Cultivation. Journal of Bio-Environment Control, 16:328-332. (in Korean)
- Ryu S. H. and M. E. Park. 2004. Saemangeum Reclaimed Land Agricultural Plan. Journal of Reclaimed land agriculture research. 2:68-91. (in Korean)
- Seo Y. K. and K. S. Ryu. 1977. Study on the Components of *Glehniae Radix*. Kor. J. Pharmacog. 7:233-235. (in Korean)
- Shin J.S, S.H. Lee, W.H. Kim, J.G. Kim, S.H. Yoon, and K.B. Lim. 2005. Effects of Ammonium Sulfate and Potassium Sulfate Fertilizer on Dry Matter Yield and Forage Quality of Sorghum X Sudangrass Hybrid in Reclaimed Tidal Land . The Korean Society of Grassland and Forage Science. 25:245-250. (in Korean)
- Sim D.W, K. J. Nam, and Y. H. Kim. 2018. Analysis of Antioxidant Enzyme Activity During Seedling Growth of *Leymus chinensis* Trin Under Salt and Dehydration Stresses. Journal of Life Science. 28:727-777. (in Korean)
- Son, J. G., J. K. Choi, and J. Y. Cho. 2009. Chemical properties of soil in the proposed horticultural complexes of Saemangeum Reclaimed Tideland. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 51:67-73. (in Korean)
- Sonwa M.M and W.A. Konig. 2001. Chemical study of the essential oil of *Cyperus rotundus*. Phytochemistry 58:799-810.
- Taiz L. and E. Zeiger. 2013. Plant Physiology. Life Science Publishing CO., Seoul, Korea. P. 279-282.
- Zhu J. K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annu. Rev. Plant Biol. 53:248-273.
- Zhu Y.C, D.C. Wu, J.F. Li. 1989. *Plantae Medicinales Chinae Boreali-Orientalis*. Heilongjiang science and Technology publishing house. Heilongjiang, China. p. 827-829.