



염생식물 칠면초(*Suaeda japonica*)의 종자발아와 유묘생장에 종자 보관기간과 토양구성이 미치는 영향

곽용성¹ · 김시은¹ · 오지철² · 박서경¹ · 최한길^{1*}

¹원광대학교 생명과학부/환경과학연구소
(54538) 전라북도 익산시 익산대로 460

²한국수산자원공단 자원사업본부 생태복원실
(46041) 부산광역시 기장군 일광면 이동길 4

Effects of Seed Preservation Periods and Soil Composition on the Seed Germination and Seedling Growth of Halophyte *Suaeda japonica*

Yong Sung Kwak¹, Si Eun Kim¹, Ji Chul Oh², Seo Kyoung Park¹, and Han Gil Choi^{1*}

¹Faculty of Biological Science/Institute of Environmental Science, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

²Ecological Restoration Division, Resource Business Headquarters, Korea Fisheries Resources Agency, Busan 46041, Korea

Abstract : Seed germination and seedling growth of a halophyte, *Suaeda japonica* were examined to measure the effects of seed preservation periods and various soil compositions in the mudflat of Saemangeum, Korea. Seed germination declined from 74.30% to 44.30% as the preservation period increased from 4 months to 12 months. After 14 days of seeding, seed germination was lowest in sandy soil (SS) at 8.67% and highest in earthworm cast+leaf mold (EC+LM) at 67.33%, showing 4–5 times higher than SS. The average lengths of seedlings were 12.20 mm in SS and 42.20 mm in EC+LM, respectively. These results suggest that seed germination and seedling growth enhanced in the soil that has more organic matter. In the experiment mixing Saemangeum soil (SMS), seed germination was from 4.00% in SMS to 88.00% in the soil of SMS+EC+LM after 14 days. Similar growth patterns were observed in the length of seedlings from 5.00 mm in SMS to 49.60 mm in SMS+EC+LM. The present results indicate that a population of *Suaeda japonica* could be established by stimulating seed germination and seedling growth by the addition of organic matters such as EC, LM, and EC+LM in the Saemangeum mud flat.

Key words : germination, preservation, seedling growth, soil composition, *Suaeda japonica*

1. 서 론

칠면초(*Suaeda japonica* Makino)는 명아주과(Chenopodiaceae) 나문재속(*Suaeda*)의 한 종으로 염습지에서 생활사를

완성하는 일년생 염생식물로서 염분내성이 좋고 체내에 염류를 축적한다(Flowers et al. 1977; Choi et al. 2018; Kim et al. 2020; Hwang et al. 2022). 칠면초를 포함한 염생식물은 일차생산력이 높고, 다양한 저서동물의 생육장을 제공하며, 오염물질의 정화자 역할을 한다(Chang et al. 2019). 또한, 염

*Corresponding author. E-mail: hgchoi@wku.ac.kr

생식물은 갯벌에서 해수의 유속 감소, 퇴적물 침식과 부유 억제, 갯벌 토양의 안정화 등 다양한 생태계 서비스를 제공한다(Gedan et al. 2011; Shepard et al. 2011; Kwon et al. 2022). 이외에도 염생식물의 군락은 질소 및 인 등의 영양염 순환과 광합성에 의한 산소 및 이산화탄소(CO₂) 순환, 나아가 잠재적 이산화탄소 저장고 역할을 수행하여, 갯벌의 블루카본 가능성(blue carbon potential)을 높이고 있다(Kim et al. 2020; Lee et al. 2021). 갯벌 생태 및 영양염 순환에 대한 기여와 더불어 일부 지역에서는 칠면초의 유엽상태에서 식용하거나, 추출물 형태로 식품소재로 활용되기도 한다(Cho et al. 2014).

칠면초는 조석주기에 따라 대기 노출과 해수 침수가 반복적으로 발생하는 염분농도가 높은 니질 또는 사니질 갯벌에 서식하므로(Hayakawa and Agaric 2010), 다른 염생식물에 비해 일찍 발아하고 유엽은 뿌리(지하경)가 줄기에 비해 빠르게 성장한다(Lee and Ihm 2004). 칠면초에 대한 선행연구로는 종자발아 및 유엽 성장에 대한 염분의 영향(Haraguchi and Matsuda 2018), 만경강 하구 염습지의 식생에서 기록(Lee 1988), 야외 개체군에서 종자 발아와 기온과 생육 관계(Min 2005a), CO₂와 온도 상승에 따른 유엽성장 및 재생을 억제(Kim et al. 2020), 토양의 염분농도별 개체군 분포 특성(Lee 1988), 토양 염분농도의 변화에 따른 생리적 특징(Ihm and Lee 1986), 야외 토양에서 종자의 수평 및 수직분포(Min 2005b) 등이 있다. 이외에도, 염습지 복원을 위한 염생식물의 생육지와 토양환경 분석에서 칠면초 생육지의 토양환경에 대한 연구(Lee et al. 2009)가 수행되었다. 하지만, 칠면초 종자발아와 유묘생장에 미치는 토양구성의 영향, 종자 보관 기간과 발아의 상관성에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구는 광활한 서해안의 새만금 갯벌(28,300 ha)의 활용도를 증대시키기 위하여 갯벌의 천이 초기종(선구종, 개척종, pioneer species)인 칠면초를 활용하여 토양염분을 제거하고, 토양의 안정화, 갯벌의 블루카본으로의 사용가능성을 확인하기 위하여 칠면초의 종자발아와 유묘 성장에 미치는 토양구성 및 종자 보관기간의 영향을 탐색하였다. 또한, 새만금 갯벌의 기존 자연군락지에 비하여 칠면초 종자 발아율과 유묘 성장을 높일 수 있는 적합한 토양구성을 찾고자 하였다.

2. 재료 및 방법

칠면초 종자는 충남 태안군에서 2020년 10월에 채집하여 상온에서 건조한 후 냉장 상태(4°C)에서 보관되었다.

종자의 보존 기간이 발아에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 종자는 냉장고에서 보관하고 있다가 채집일로부터 4, 8개월 및 12개월 경과 후, 여과지(Advantec 4A, Toyo Roshi Kaisha Ltd, Japan)가 깔린 배양 용기인 Plant culture dish (Ø 9 cm)에 종자 100개를 파종하고 7일 간격으로 증류수 3 ml을

공급하였다. 파종된 배양 용기는 백색형광등(100 μmol photons m⁻² s⁻¹)이 설치된 인큐베이터에 넣고 25°C로 세팅하였으며, 3회 반복하였다. 배양 14일 후, 파종된 종자와 발아된 종자를 계수하여 발아율(%)을 계산하였으며, 유근(radicle)을 가진 것을 발아된 종자로 판별하였다(Fig. 1).

칠면초 종자의 형태와 구조는 실체현미경(Nikon, SMZ18, Japan) 하에서 관찰하였으며, 종자의 너비와 면적, 그리고 무게를 측정하였다. 종자의 너비와 면적은 종자 100개를 사진 촬영한 후, Image J 프로그램을 사용하여 측정하였다. 종자 무게는 칠면초 종자 400개를 4개 반복구(반복구별 100개)로 구분하여 전자저울(Sartorius, BSA323S-CW, Germany)로 종자 100개에 대한 무게를 측정 후 종자 1개에 대한 무게로 환산하였다.

토양구성비가 칠면초 종자의 발아에 미치는 영향을 파악하기 위하여 토양 25 g이 포함된 육묘상자(5×5×5 cm)에 5 mm 깊이로 종자 30개를 파종하고 25°C로 설정된 배양기의 백색형광등(100 μmol photons m⁻² s⁻¹) 하에서 14일 배양 후에 발아율을 측정하였다. 토양 수분은 2일 간격으로 증류수 10 ml을 공급하였으며, 실험구별 5개의 반복구를 두었다. 첫 번째 실험은 4종류의 토양, 즉 지렁이 분변토(Earthworm Cast, EC), 부엽토(Leaf Mold, LM), 모래(Sand Soil, SS)와 분변토+부엽토(EC+LM, 1:1 혼합)에서 수행되었다. 두 번째 실험은 새만금 간척지 갯벌에서 칠면초의 종자 발아와 유묘 성장을 촉진시킬 수 있는 최적의 토양구성을 탐색하기 위하여 수행되었다. 칠면초의 종자 파종 및 배양은 상기 실험과 동일하였으며, 실험 토양은 5종류로서 새만금 간척지에서 칠면초 군락이 관찰되는 새만금 토양(Saemangeum Soil=SMS, 대조구)과 새만금토와 1:1로 혼합된 4종류 토양[SMS+EC, SMS+LM, SMS+SS, SMS+(EC+LM)]이었다. 이때 새만금토양은 건조된 상태로 사용하였다. 종자 발아율은 파종 14일 후에 토양을 뚫고 올라온 유묘 수와 파종한 종자수의 백분율로 계산하였으며, 유묘 생장은 토양별로 발아한 칠면초를 1개월 동안 배양한 후에 수확하여 뿌리의 최하단부터 지상부 최상단까지의 길이를 버어니어캘리퍼스(Vernier Callipers)로 측정하였다.

본 연구에서 칠면초 종자 발아율과 유묘 성장에 대한 실험 결과는 One Way ANOVA test를 실시하여 통계적 유의차를 검정하였으며, 사후검정은 Tukey HSD test 방법으로 실시하였다. 데이터 분석을 위해 사용된 통계 프로그램은 IBM SPSS Statistics 26.0이었다.

3. 결과

칠면초 종자 100개의 평균 너비는 1.07±0.02 mm (mean±SE, n = 100 seeds)이었고 평균 면적은 1.18±0.04 mm² (mean±SE, n = 100)이었으며, 종자 1개에 대한 평균 중량은 0.43±

0.02 mg (mean±SE, n = 4 replicates)로 확인되었다. 칠면초 종자는 발아 전에 나선형의 주름을 가진 둥근 형태로 파종 24 h이 경과하면서 유근이 나타났다(Fig. 1a and b). 48 h 경과 후, 유근은 점차 나선형을 보이며 성장하였고(Fig. 1c), 72–96 h 후에는 생장이 계속되면서 종피 밖으로 자엽이 돌출되면서 유엽으로 성장하였다(Fig. 1d and e).

칠면초 종자의 발아율은 저장(혹은 보존)기간에 따라 다른 것으로 확인되었는데, 종자 채취일부터 4개월 냉장 보관 후의 발아율은 평균 74.33±2.33% (mean±SE, n=3 replicates), 8개월 후 58.67±2.91% (n=3), 12개월 후 44.33±4.67% (n=3)였다. 칠면초 종자는 저장 기간이 길어지면 발아율이 감소하였으며, 4개월과 8개월의 종자 저장 기간에서는 발아율은 감소하였으나 유의한 차이가 없었고, 12개월의 종자 저장 후에는 4–8개월 저장된 종자에 비해 발아율이 14–33%가 감소되었다($P < 0.05$, Fig. 2).

토양 조성은 종자발아 및 유묘생장과 밀접하게 관련되었

는데, 배양 14일 후 토양별 발아율(발아한 종자수)은 모래토(SS)에서는 반복구별 종자 30개(총 150종자, n=5 replicates) 중에서 평균 8.67%(평균 2.60개), 지렁이분변토(EC)는 41.33%(12.40개), 부엽토(LM)는 32.67%(9.80개), 그리고 EC+LM (1:1 혼합)에서 67.33%(20.20개)로 차이를 보였다. 발아한 칠면초 종자 수는 모래토(SS)에서 평균 2.60개(n=5 replicates)로 최소였고, EC+LM에서 평균 20.20개로 최대였다. 종자 발아율은 분변토와 부엽토에 비해 EC+LM에서 67.33%로 현저하게 높았으며, 분변토와 부엽토에서 발아율은 모래토에 비해 4–5배 정도 높아서 유의한 차이를 보였으나($P < 0.05$, Fig. 3a), LM과 EC에서는 통계적인 유의차가 없는 것으로 나타났다(Fig. 3a).

배양 1개월 후, 칠면초 유묘의 길이는 모래토에서 12.20 mm, 분변토(EC)에서 32.00 mm, 부엽토(LM)에서 25.20 mm, 그리고 EC+LM (지렁이분변토+부엽토)의 혼합토에서 42.20 mm였다. 모래 토양에서 발아한 유묘는 다른 토양조건(EC,



Fig. 1. Seed germination and seedling growth of *Suaeda japonica* during the experimental period after 0–24 h (a, b), 48 h (c), 72–96 h (d, e) in culture. Seeds were incubated under culture conditions of 25°C, 100 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and 12:12 h L:D

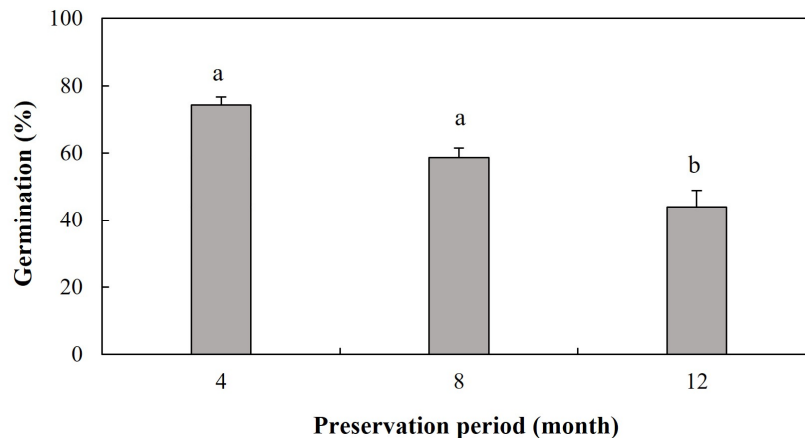


Fig. 2. Effects of seed preservation on the seed germination of *Suaeda japonica*. Seeds were preserved at 4°C of a refrigerator for 4, 8, 12 months. Different lowercase letters indicate significant differences (Tukey HSD test, $P < 0.05$)

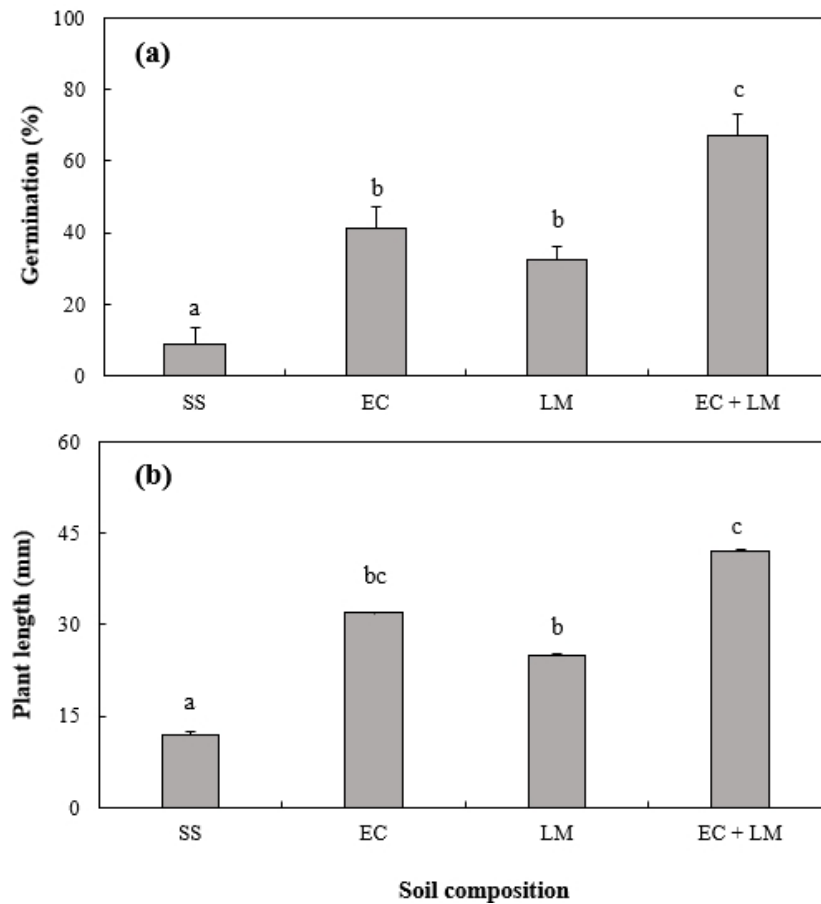


Fig. 3. Effects of soil composition on seed germination percentage (a) and juvenile growth (b) of *Suaeda japonica*. They were cultured at four different soil compositions for 14 days for estimating germination and for 1 month for measuring plant length under culture conditions of 25°C, 100 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and 12:12 h L:D. SS, sand soil; EC, earthworm cast; LM, leaf mold; EC+LM, earthworm cast+leaf mold

LM, EC+LM)에 비해 매우 느린 성장을 보였으며($P < 0.05$), 분변토와 EC+LM 혼합토에서는 성장 차이가 없었으며, EC+LM의 유묘는 부엽토의 유묘에 비해 빠른 성장을 보였으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$, Fig. 3b).

새만금 갯벌에서 천이 초기종인 칠면초 자연군락지에 비해 종자 발아율과 유묘 성장을 촉진시키기 위하여 본 연구에서는 최적의 토양구성을 확인하였다. 즉, 기존 칠면초 군락이 존재하는 새만금토양(SMS)과 함께 SMS+다른 토양(SS, EC, LM, EC+LM)으로 구성된 혼합토를 만들어 최적 토양 조건을 찾고자 하였다. 연구 결과, 다양한 토양에서 종자 발아율은 SMS에서 4.00%($n=5$ replicates), SMS+SS에서 14.67%, SMS+EC에서 44.00%, SMS+LM에서 60.67%, 그리고 SMS+EC+LM에서 88.00%였다. 반복구별 종자 30개 중에서 발아한 종자수는 SMS에서는 평균 1.20개($n=5$ replicates)로 최소였고, SMS+EC+LM에서 평균 26.20개로 최대였다. 칠면초 종자는 일부 실험 토양(즉 SMS와 SMS+SS, 그

리고 SMS+EC와 SMS+LM)에서는 발아율에 유의한 차이가 없었으나(Fig. 4a), SMS+EC와 SMS+LM에서 종자 발아율은 각기 44.00%와 60.67%로서 새만금토(SMS, 4.00%)와 SMS+SS (14.67%)에 비해 높게 나타났으며, 최대 발아율(88.00%)을 나타낸 SMS+EC+LM은 다른 실험구와 구별되는 뚜렷한 발아율 차이를 나타냈다($P < 0.05$, Fig. 4a).

토양별 칠면초 유묘의 체장은 배양 1개월 후 새만금토(SMS)에서 5.00 mm, SMS+SS에서 17.20 mm, SMS+EC에서 41.20 mm, SMS+LM에서 43.20 mm, 그리고 SMS+EC+LM에서 49.60 mm로서 SMS에서 가장 느린 성장을 보였고 SMS+EC+LM에서 가장 빠른 성장을 나타냈다. 새만금토에서 발아하여 성장한 칠면초 유묘는 SMS+SS에 비해 체장이 짧았으며, 이들은 SMS+EC, SMS+LM, SMS+EC+LM에서 성장한 유묘에 비해 길이 성장에서 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$, Fig. 4b). 하지만, SMS+EC, SMS+LM과 SMS+EC+LM에서 발아하고 성장한 칠면초 유묘의 길이는 유의한 차

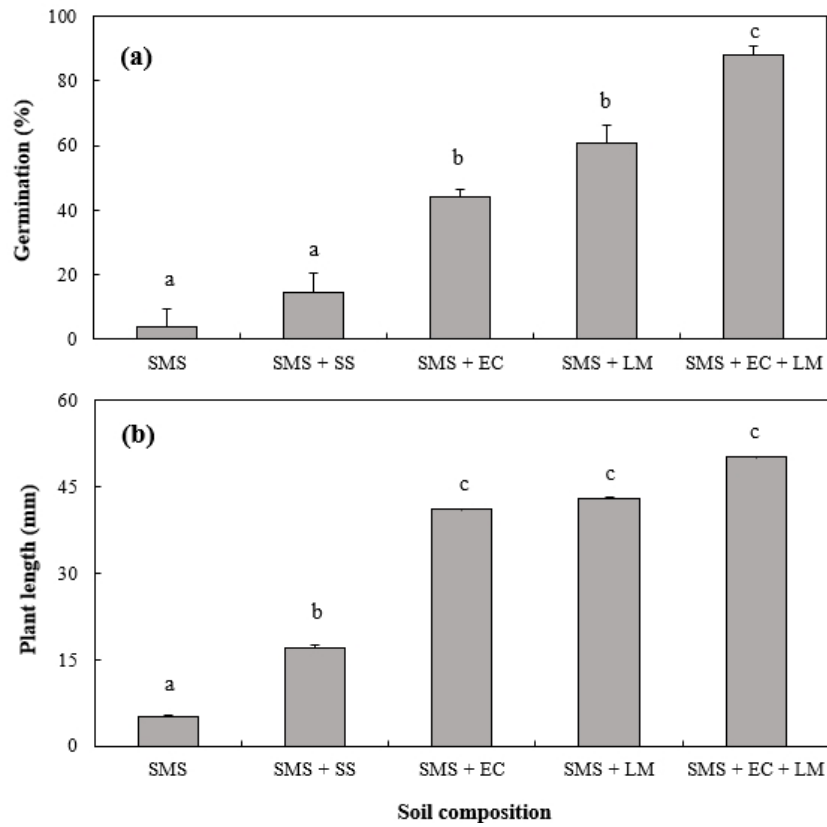


Fig. 4. Effects of soil composition including Saemangeum soil on the seed germination percentage (a) and juvenile plant growth (b) of *Suaeda japonica* on the five different soil compositions. They were cultured for 14 days for estimating germination and for 1 month for measuring plant length under culture conditions of 25°C, 100 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, and 12:12 h L:D

이를 보이지 않았다(Tukey HSD test).

4. 고찰

본 연구의 새만금에서 채집된 칠면초 종자는 직경이 $1.07 \pm 0.02 \text{ mm}$ 였고 면적은 $1.18 \pm 0.04 \text{ mm}^2$ 였는데, Min (2005a)이 경기도 시흥시의 칠면초 군락지의 토양에서 채취한 종자는 바둑알과 같은 둥근 형태로 직경은 2 mm였고, 종자 발아 시 직경은 약 5 mm로 크기에 있어 차이를 보였다. Haraguchi and Matsuda (2018) 칠면초는 크기가 다른 2종류의 종자를 가지며, 부드러운 종자(soft seeds)는 직경이 1.8–2.0 mm로서 즉시 발아하고, 단단한 종자(hard seeds)는 직경이 1.3 mm이고 긴 수명을 가진다고 하였다. 따라서, 칠면초 종자 크기는 지역별 차이가 있는 것으로 판단되며 본 연구에 사용한 칠면초 종자는 냉장 보관기간이 4개월 이상으로 단단한 종자로 사료된다.

종자 발아율과 관련하여, 4°C에 보관된 칠면초 종자의 발아율은 채취일로부터 4개월 후에 74.33%, 8개월 후 58.67%,

그리고 12개월 후 44.33%로 종자의 보관 기간에 반비례하는 현상을 보였다. 이러한 결과는 칠면초 종자는 수분을 함유한 토양에서 직경이 약 2배 정도였으며(Min 2005a), 발아율이 증가함을 볼 때, 종자 보관 기간의 증가는 종자의 수분 및 직경 감소와 함께, 종자 발아율과도 연관성이 있을 것으로 판단된다. 향후, 칠면초 종자 보관 시 수분 상태와 발아율의 상관성에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

이러한 칠면초 종자의 발아율은 모래토양(SS)에서 8.67%, 지렁이분변토(EC)에서 41.33%, 부엽토(LM)에서 32.67%, 그리고 EC+LM (1:1 혼합)에서 67.33%로 토양의 구성에 따른 차이를 나타냈다. 즉 종자 발아율은 무기물만 존재하는 모래토양에서 최소였고 입자크기가 다른 2종류의 유기물이 혼합된 EC+LM에서 최대로서 유기물 함량과 토양의 함수량이 발아율과 관련될 것으로 사료된다. 특히, 칠면초 종자의 발아가 최대인 새만금토양의 구성을 파악하기 위한 실험에서, 종자 발아율은 새만금토(SMS)에서 4.00%, SMS+SS에서 14.67%, SMS+EC에서 44.00%, SMS+LM에서 60.67%, 그리고 SMS+EC+LM에서 88.00%를 보였다. 새만금토양이 첨가

되지 않은 EC+LM토양에서 칠면초 종자 발아율은 67.33%였고, 무기물이 상대적으로 많은 새만금토양에 지렁이분변토와 부엽토를 혼합한 토양(SMS+EC+LM)에서 발아율은 88.00%까지 증가함으로써 무기물과 유기물이 적절하게 혼합된 토양에서 종자 발아는 촉진되는 것으로 확인되었다.

칠면초 유묘 생장은 토양 구성에 따라 다르게 나타났으며, 본 연구에서 칠면초 유묘는 무기물이 많은 모래토양(sand soil)에 비해 유기물 함량이 많은 분변토(EC), 부엽토에서(LM), 그리고 EC+LM(지렁이분변토+부엽토)의 혼합토에서 빠른 성장을 보였으며, 특히 토양입자가 작은 지렁이분변토와 큰 입자의 부엽토를 혼합한 토양에서 2주 후에 길이 42.20 mm로 성장하여 모래토양의 유묘(길이 12.20 mm)에 비해 약 4배의 빠른 성장을 보였다. Min (2005a)은 서해안 갯벌에서 칠면초가 서식하는 토양의 유기물 함량은 17% 이상 이었고 칠면초가 없는 토양의 유기물 함량은 8%로서 토양의 유기물 함량과 칠면초 군락과 밀접한 관련이 있다고 하였다. 본 연구에서도 칠면초의 유묘 생장은 유기물 함량이 많은 토양(EC, LM, EC+LM)에서 높게 나타남으로써 칠면초는 유기물이 많은 토양을 선호하는 것으로 나타났다.

칠면초 군락은 해안성 점토성 염습지(clay marsh)와 하구성 염습지(estuary marsh)에서 우점하였으나, 수분스트레스에 대한 내성이 강한 군락이 나타나는 사질성 염습지(sand gravel marsh)와 사구성 염습지(sand marsh)에서는 군락을 형성하지 못한 것으로 나타났다(Lee et al. 2009). 즉, 칠면초는 수분스트레스에 취약하여 사질성 토양이 아닌 함수량이 많은 점토성 토양을 선호하며, 토양에 포함된 유기물 함량도 유묘생장과 관련성이 있을 것으로 사료된다. Lee et al. (2009)은 칠면초 군락이 형성된 점토성 염습지 토양의 총질소와 인 함량은 각기 0.44-0.72 mg/g와 148 µg/g였으며, 사구성 염습지(총질소 0.3 mg/g, 총인 68 µg/g)에 비해 높게 나타났다. 또한, 갯벌 퇴적물(토양)에서 실트(silt)와 니질(clay) 함유량은 유기탄소 분포에 영향을 미치는 중요한 환경요인으로 알려져 있으며(Burdige 2007; Serrano et al. 2016), 실트와 니질로 구성된 진흙이 많은 토양은 넓은 표면적과 높은 흡수력 때문에 모래가 많은 토양에 비해 유기입자를 많이 가진다(Keil and Hedges 1993; Burdige 2007). 본 연구에서 모래토양의 칠면초 유묘의 생장이 느린 것은 낮은 함수량, 유기탄소, 유기물 함량(총질소와 인)과 관련된 것으로 사료된다. 또한, 본 연구에서 칠면초 유묘의 생장은 1개월 후 새만금토양(SMS)의 5.00 mm (길이)에 비해서 혼합토(SMS+EC+LM)에서 49.60 mm로 약 10배 빠른 성장을 보인 결과도 서식토양에 함유된 총질소와 가용 인의 중요성을 암시하고 있다고 볼 수 있다. 이처럼 토양의 구성은 함수량, 유기탄소 및 영양염 등 매우 복잡한 형태로 식물의 성장을 결정하므로, 향후 칠면초의 최적 생장이 일어나는 혼합토(SMS+EC+LM)의 함수량, 유기탄소, 영양염 분석 등에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

결론적으로 칠면초 종자는 오래 보관할수록 발아율은 감소된다는 것을 확인하였으며, 종자 발아와 유묘 생장은 서식 토양에 따라 다르게 나타났으며, SMS+EC+LM에서 최대였다. 본 연구 결과는 염생식물이 잘 자라지 못하는 새만금토양에 지렁이분변토(EC)와 부엽토(LM)를 첨가하여 토성을 개선하면 칠면초의 종자 발아와 유묘 생장을 촉진시킬 수 있을 것이며, 칠면초 군락이 조성되면 갯벌에서 발생하는 비산 먼지 감소, 퇴적물 안정화 및 다양한 해양동물의 서식처로서 역할을 증대시킬 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-현장맞춤형 이공계 인재양성 지원사업의 지원을 받아 수행되었습니다(No. 2019H1D8A1109814).

참고문헌

- Burdige DJ (2007) Preservation of organic matter in marine sediments: controls, mechanisms, and an imbalance in sediment organic carbon budgets? *Chem Rev* **107**:467-485
- Chang MC, Cho YS, Noh JS, Kim SH (2019) Study on classification and ecological characteristics of halophyte in tidal flat using remote sensing technique: application to marine spatial planning. *Korean Soc Mar Environ Energy* **22**:34-46
- Cho J-Y, Huang Z, Park S-Y, Park K-H, Pai T-K, Kim S-Y, Kim H-R, Ham K-S (2014) The effects of several halophytes on insulin resistance in Otsuka Long-evans Tokushima fatty rats. *Korean J Food Sci Technol* **46**:100-107
- Choi BY, Gil NY, Mun JY, Yeo SH, Kim YS (2018) Changes in the physicochemical characteristics of low-salt Doenjang by addition of halophytes. *Korean Soc Food Preserv* **25**: 819-829
- Flowers TJ, Troke PF, Yeo AR (1977) The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annu Rev Plant Physiol* **28**: 89-121
- Gedan KB, Kirwan ML, Wolanski E, Barbier EB, Silliman BR (2011) The present and future role of coastal wetland vegetation in protecting shorelines: answering recent challenges to the paradigm. *Clim Chang* **106**:7-29
- Haraguchi A, Matsuda T (2018) Effect of salinity on seed germination and seedling growth of the halophyte *Suaeda japonica* Makino. *Plant Species Biol* **33**:229-235
- Hayakawa K, Agarie S (2010) Physiological roles of betacyanin in a halophyte, *Suaeda japonica* Makino. *Plant Prod Sci* **13**:351-359

- Hwang J-W, Lee K-W, Park H-S (2022) Growth rate and annual production of Halophyte (*Suaeda japonica*) on tidal mud-flat, southern part of Ganghwa-Isl, Korea. *Ocean Polar Res* **44**:127-137
- Ihm BS, Lee JS (1986) The strategies of *Salicornia herbacea* and *Suaeda japonica* for coping with environmental fluctuation of salt marsh. *Korea J Environ Biol* **4**:15-25
- Keil RG, Hedges JI (1993) Sorption of organic matter to mineral surfaces and the preservation of organic matter in coastal marine sediments. *Chem Geol* **107**:385-388
- Kim J-E, Kim E-J, Lee E-P, Park J-H, Lee S-Y, Park J-W, Lee J-M, Choi S-S, You Y-H (2020) Effects of elevated CO₂ and elevated temperature on the growth response and regeneration rate of population of halophytes - *Suaeda japonica*, *Salicornia europaea*, *Suaeda maritima* and *Suaeda glauca*. *Korean J Ecol Environ* **53**:295-303
- Kwon I, Park SY, Kim T, Lee J, Lee C, Khim JS (2022) A review on the removal efficiency of organic materials in the tidal flats and salt marshes. *J Korean Soc Mar Environ Energy* **25**:18-28
- Lee JM, Kim B, Noh J, Lee C, Kwon I, Kwon B-O, Ryu J, Park J, Hong S, Lee S, Kim S-G, Son S, Yoon HJ, Yim J, Nam J, Choi K, Khim JS (2021) The first national scale evaluation of organic carbon stocks and sequestration rates of coastal sediments along the West Sea, South Sea, and East Sea of South Korea. *Sci Total Environ* **793**: 148568. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148568
- Lee JS (1988) Studies on the distribution of vegetation in the salt marsh of the Mankyung river estuary. *Korean J Environ Biol* **6**:1-10
- Lee JS, Ihm BS (2004) Growth strategies of four salt marsh plants on Mankyung River estuary in Korea. *Ecol Res* **19**: 37-42
- Lee JS, Ihm BS, Myeong HH, Park JW, Kim HS (2009). Soil environment analysis and habitat of Halophyte for restoration in the salt marshes of southern and western coasts of Korea. *Korean J Plant Res* **22**:102-110
- Min BM (2005a) Seed distribution and burial properties of *Suaeda japonica* in tidal-flat. *Korean J Ecol* **28**:141-147
- Min BM (2005b) Ecological characteristics of a *Suaeda japonica* population and the effects of early-season air temperatures on population formation. *J Plant Biol* **48**: 411-421
- Serrano O, Lavery P, Duarte C, Kendrick GA, Calfat AM, York PH, Steven A, Macreadie PI (2016) Can mud (silt and clay) concentration be used to predict soil organic carbon content within seagrass ecosystems? *Biogeoscience* **13**:4915-4926
- Shepard CC, Crain CM, Beck MW (2011) The protective role of coastal marshes: a systematic review and meta analysis. *PLoS One* **6**:e27374

Author's Information

Yong Sung Kwak

M.S. Student, Wonkwang University

Si Eun Kim

M.S. Student, Wonkwang University

Ji Chul Oh

Senior Staff, Korea Fisheries Resources Agency

Seo Kyoung Park

Ph.D. Student, Wonkwang University

Han Gil Choi

Professor, Wonkwang University

Received Aug. 10, 2022

Revised Sep. 20, 2022

Accepted Sep. 22, 2022

Copyright © 2022 Ocean and Polar Research

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 educational and non-commercial use, provided the original work is properly cited.