KJEE 48(1): 32-37 (2015)
http://dx.doi.org/10.11614/KSL.2015.48.1.032
ISSN: 2288-1115 (Print), 2288-1123 (Online)

Original article

해안사구에서 생장 및 생리적 특성을 적용한 귀화식물 관리방안

김낭희 · 이선미[1] · 명현호[2,*]

목포대학교 생명과학과, [1]서울여자대학교 생물학과, [2]국립공원관리공단 국립공원연구원

Study on the Naturalized Plant Management Applying the Growth and Physiological Characteristics Responses in Coastal Sand Dune. ***Kim, Nang-Hee, Seon-Mi Lee[1] and Hyeon-Ho Myeong[2,*] (Department of Biological Science, Mokpo National University, Muan 534-729, Korea; [1]Department of Biology, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea; [2]Division of Ecosystem Research, National Park Research Institute, Wonju 220-947, Korea)***

Abstract Naturalized plants are invaded through various routes and distributed throughout the nation. They are also invaded in the sand dune ecosystem and poses a threat ecological niche of indigenous sand dune plants. We studied the effects of salt stress on the plant growth to suggest the management plans of naturalized plants in the sand dune ecosystem. As a result of germination experiment according to the salt gradient, germination rate decreased as the higher concentration and tolerance range was up to 160 mM. As a result of seedling experiment according to salt gradient, mortality rate was up to 90% from 0 mM to 200 mM and 100% over 300 mM. The day of first death with different concentration was 18.5 days in 100 mM and 6 days in 800 mM since the experiment has started. In addition, the day of last death with different concentration was 29.5 days in 100 mM and 6 days in 800 mM. Therefore, two stages of management plans would be effective. The first one is to suppress the germination by salt spray over 170 mM before germination. The other one is to wither seedlings in a short period by salt spray over 600 mM.

Key words: sand dune plant, exotic plant, *Oenothera biennis*, salt stress, salt gradient

서 론

해안사구는 빠른 지형변화, 강한 일조량과 바람, 염분, 물 부족 등 서식환경이 매우 열악하여 육상식물은 생육하기 힘들고 다른 장소에서는 볼 수 없는 희귀한 사구식물들이 자생하고 있다(Ministry of Environment, 2002). 사구식물은 생장점이 줄기 상단에 위치하여 지상 포복경 형태와 덩굴성 줄기로 번식 생장하며, 잘 발달된 뿌리체계와 강한 일조량에도 견딜 수 있는 잎과 줄기기작 등의 생존전략으로 특수하게 적응하였다(Myung, 2010). 또한 사구식물은 해안사구형성에 있어 모래 이동속도를 감소시킴으로써 모래의 퇴적을 진행시키고 해안사구와 해안생태계를 보호하는 가장 효과적이고 자연적인 수단이다(Carter, 1991; Yu and Ryu, 2007).

우리나라와 같은 온난 다습한 지방의 해안사구식생은 초본과 관목군락이 우점하는 것이 일반적이다. 이러한 초본과 관목이 발아와 성장을 통해 지표면의 요철을 증가시킴으로써 모래의 집적을 돕는다. 척박한 환경조건을 나타내는 해안사구는 그 분포가 한정되어 있는 희귀한 곳이며, 그곳에 생육하는 사구식물도 제한적으로 분포하고 있다. 그러나, 최근 귀화식물들이 해안사구까지 침입하고 생육지를 빠르게 점령하여 사구식생 및 생태계를

Manuscript received 9 March 2015, revised 15 March 2015,
revision accepted 16 March 2015
* Corresponding author: Tel: +82-33-769-1621, Fax: +82-33-769-1639,
E-mail: ecomyung@empas.com

ⓒ The Korean Society of Limnology. All rights reserved.
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, provide the original work is properly cited.

교란시키고 있다. 그 결과 생태계를 유지하는 데 있어 중요한 역할을 하고, 잠재적인 가치를 지니고 있는 종 다양성과 군집 다양성을 감소시키고 생태계 안정성을 파괴하는 문제를 일으키고 있다.

귀화종(naturalized species)은 생태적 속성에 따라 생물종을 구분할 때 고유종(native species)에 대응되는 개념이며(Kim *et al*., 2011), 본래 생육하지 않는 지역에서 자연적 혹은 인위적으로 도입되어 자력으로 적응하며 기존에 자생하던 식물과 공존하는 식물을 말한다. 귀화식물은 새로운 서식환경에 비교적 빨리 적응하고, 높은 번식력을 지녀 교란을 받은 입지환경에서 빠르게 정착하여 자생식물의 생태적지위(ecological niche 또는 niche)를 크게 위협한다. 이러한 귀화식물은 열악한 환경조건에서도 발아할 수 있는 탁월한 능력을 가지고 있어 발아를 위한 제한조건이 자생식물보다 상대적으로 적은 것으로 알려져 있다(Newsome and Noble, 1986). 또한 열악한 환경에서도 자생종보다 번식력이 뛰어나, 생태계의 교란, 국가 간 교역의 급속한 증가, 기후변화, 사막화 등으로 외래종의 침입가능성이 높아졌기 때문에 외래종에 대한 철저한 관리가 필요하다(Moony, 1996).

우리나라에 분포하는 귀화식물은 40과 175속 15변종 4품종으로 총 321종이 보고되었다(Lee *et al*., 2011). 이 중 달맞이꽃(*Oenothera biennis*)은 도금양목 바늘꽃과에 속하는 이년생 초본으로 뿌리와 종자가 약용으로 이용되면서 많은 종자 생산과 높은 발아율로 인해 개체수와 생육지 면적이 급속하게 증가하고 있다. 최근 사구생태계에서 급속하게 침입 및 확산되어 생태계를 교란시키고 있어, 사구생태계 안정성과 고유성을 유지하기 위해서는 귀화식물의 관리방안이 필요하다.

식물은 그 자체가 죽기 전까지 종자를 만들어서 그 생명을 다음세대에 넘겨준다. 그리고 많은 종자들은 휴면기간을 가지고 있으므로 일정한 기간이 경과된 후에 발아능력을 지니게 된다. 발아는 여러 가지 환경요인(수분, 온도, 산소, 광도)등의 영향을 받는다. 또한 식물별로 발아에 요구되는 환경요인이 달라지며, 요구되는 환경요인에 따라 식물별 종자 특성이 나타난다(Lee, 1997). 그 중 토양 염도는 식물의 발아, 생장 및 생산성에 영향을 끼치는 가장 중요한 비생물적 스트레스 중의 하나이다. 가뭄과 달리 염분스트레스는 삼투 스트레스, 특별한 무기이온의 영향, 영양 흡수장애 등에 의하여 식물의 성장과 발달에 관련된 다양한 생리적·생화학적인 대사작용에 영향을 미칠 수 있는 복잡한 현상으로 보고되었다(Sairam *et al*., 2002). 이러한 염분스트레스는 육상식물의 생장반응에 직접적으로 영향을 미칠 것이며, 해안사구에 침입한 귀화식물의 생장에도 스트레스 요인으로 작용한다.

본 연구는 해안사구에 분포하는 귀화식물의 효율적 관리 방안모색을 위해 식물생장에 영향을 미치는 비생물적 인자인 염분스트레스를 적용하여 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

1. 전처리

본 연구에 사용된 달맞이꽃 종자는 전라남도 무안군 해제면 송석리에서 채종하였으며, 음건하여 4°C에서 40일간 저온처리하였다. 그 후 차아염소산나트륨(NaOCl) 1%에 30분간 처리하여 살균하고 3시간 정도 물에 띄웠을 때 바닥에 가라앉는 충실한 종자만을 선별하여 사용하였다. 선별된 종자를 각 10립씩 선택하여 20°C, 25°C, 30°C로 조절된 발아상에서 실험하였다.

2. 실험방법

1) 온도가 종자발아에 미치는 영향

발아 적온에 따른 발아특성은 각 온도별로 90×15 mm의 petri-dish (SPL, labeare)에 filterpaper (NO.44, Whatman LTD. England) 2매를 깔고 10립씩 치상한 후 수분 80%, 12,000 Lux, Light 14 h, Dark 10 h의 장일조건 Plant Growth Chamber를 이용하여 발아시켰다. 발아에 필요한 수분을 공급하기 위하여 치상 첫째날은 4차 증류수를 2 mL 공급하였고, 그 후는 petri-dish에 수분이 마르지 않을 정도로 계속 유지하였다.

모든 발아실험은 완전 임의배치법(completely ramdomized design)으로 발아시켰으며, 발아 판별은 종피에서 유근이 1 mm 이상 돌출된 것을 발아된 것으로 간주하였다. 24시간 간격으로 발아된 개수를 조사하였으며 3반복으로 15일간 관찰하였다.

2) 염분농도가 종자발아에 미치는 영향

종자발아 시 온도가 미치는 영향실험과 마찬가지로 달맞이꽃 종자를 음건, 저온처리, 살균과 같은 전 처리 후 같은 방법으로 petri-dish (SPL, labeare)에 파종하였다. 종자파종 후 염분스트레스를 주기 위해 각각의 농도별로 NaCl이 희석된 용액(NaCl 0～1,000 mM)을 2 mL 공급하였으며, 그 이후에는 petri-dish에 수분이 마르지 않을 정도로 계속 유지하여 주었다. 발아 온도조건은 20°C, 25°C, 30°C로 구분하여 실험을 하였다. 광 조건은 12,000 Lux, Light 14 h, Dark 10 h의 조건에서 실험을 시행하였다. 염분농도는 NaCl 0 mM～1000 mM까지 각각 100 mM 단위로 구분하여 선행 실험 후 달맞이꽃 종

자의 염분 내성범위를 알아보기 위해 NaCl 0, 20, 40, …, 160, 180, 200 mM 단위로 좀더 세부적인 실험을 추가로 진행하였다. 염분스트레스실험은 10립씩 치상 후 3반복으로 15일간 관찰하였다.

3) 염분농도가 유묘에 미치는 영향

염분스트레스에 대한 달맞이꽃 유묘기 실험을 위해 종자발아 시 온도가 미치는 영향 실험과 마찬가지로 달맞이꽃 종자를 전 처리 하였다. 전 처리가 끝난 달맞이꽃 종자를 상토용 화분에 파종 후 25°C, 12,000 Lux, Light 14 h, Dark 10 h의 조건에서 발아 후 15일간 생육시켜 유묘로 생장시킨 후 실험에 적용하였다. 염분스트레스 적용방법으로는 달맞이꽃 유묘 잎 전체에 염분이 충분히 살포될 수 있도록 각 농도의 NaCl이 희석된 용액을 분사해 주었으며, 본 실험에서는 NaCl 100～800 mM의 염분농도가 사용되었다. 고사된 개체수를 파악하였는데 고사기준은 각 개체에 있는 모든 잎이 말라 죽었을 때를 고사하였다고 판별하였다. 각 화분당 10개체의 유묘를 사용하였고 3반복으로 20일간 관찰하였다.

결과 및 고찰

1. 온도가 종자발아에 미치는 영향

본 실험은 달맞이꽃 종자의 발아적정 온도를 설정하기 위해 실시하였으며, 대체적으로 온도가 높아질수록 발아율도 높게 나타났다. 20°C에서는 초기발아율이 4.7일째에 나타났으며, 25°C, 30°C에서는 각각 3일째에 발아가 확인되었다. 최초발아는 25°C, 30°C에서는 차이가 없었지만, 전체발아율은 20°C에서 36%, 25°C에서 65%, 30°C에서 80%로 나타났다(Table 1).

온도에 대한 달맞이꽃 종자의 발아율을 비교해 본 결과 20°C, 25°C, 30°C의 온도 중 30°C에서 가장 높았다. 이것은 달맞이꽃의 원산지가 대체로 열대성과 지중해성 기후인 남아메리카와 칠레이기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 우리나라에서 생활사가 시작되는 시기의 평균기온이 30°C 이상인 날이 거의 없고, 20°C에서는 발아율이 낮으므로 25°C 온도조건에서 모든 실험을 실시하였다. 또한 선행연구에서도 일반적으로 25°C의 조건에서 연구가 실시된 바 있다(Chong, 2011).

Table 1. The effect of temperature on germination rate of *Oenothera biennis*.

Temperature (°C)	First germination (day)	Germination rate (%)
20	4.7	36±8.12
25	3	65±8.06
30	3	80±5.77

2. 염분농도가 종자발아에 미치는 영향

염분농도구배에 따른 염분스트레스를 적용한 후 15일간 관찰한 결과 염분농도가 0～100 mM까지는 발아가 되었고, 200 mM 이상에서는 발아가 되지 않았다. 또한 100 mM에서 발아는 되었으나 이후 지속적인 생장을 하지 못하였다(Fig. 1).

내성범위를 알아보기 위해 20 mM 농도 간격으로 200 mM까지 염분농도에 대한 발아실험을 하였다. 그 결과 0 mM에서는 80%의 발아율을 나타내었고, 농도가 높아질수록 발아율이 낮아져 160 mM에서는 20%의 발아율을 나타내었으며, 그 이상의 농도에서는 발아가 되지 않았다(Fig. 2). 농도에 대한 발아율을 볼 때, 최고 내성범위는 160 mM로 볼 수 있으며, 염분농도가 발아 제한요

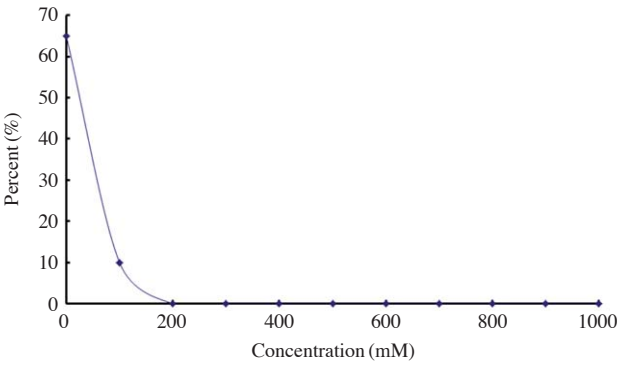

Fig. 1. Germination rate of *Oenothera biennis* at 0～1000 mM NaCl.

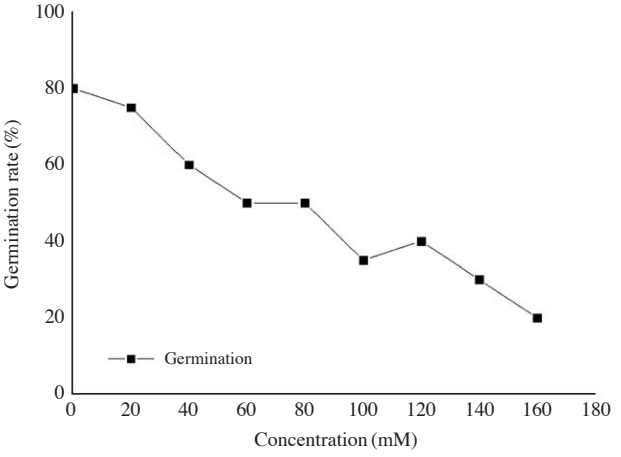

Fig. 2. Germination rate of *Oenothera biennis* at 0～160 mM NaCl.

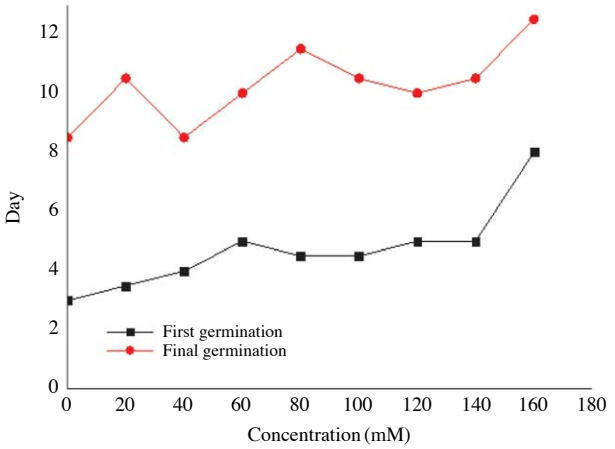

Fig. 3. Germination characteristics of *Oenothera biennis* at 0～160 mM NaCl for 15 days.

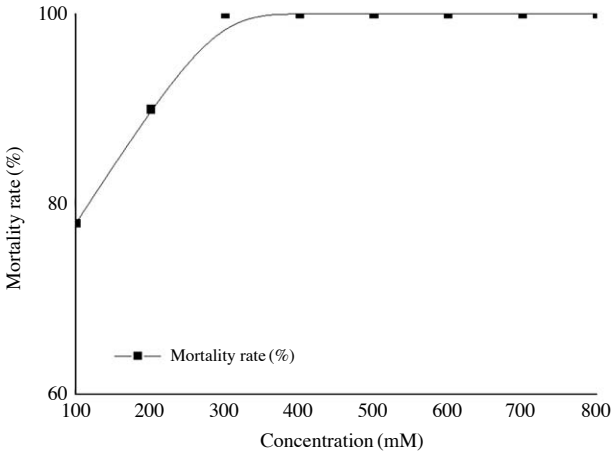

Fig. 4. Mortality rate of *Oenothera biennis* seedling.

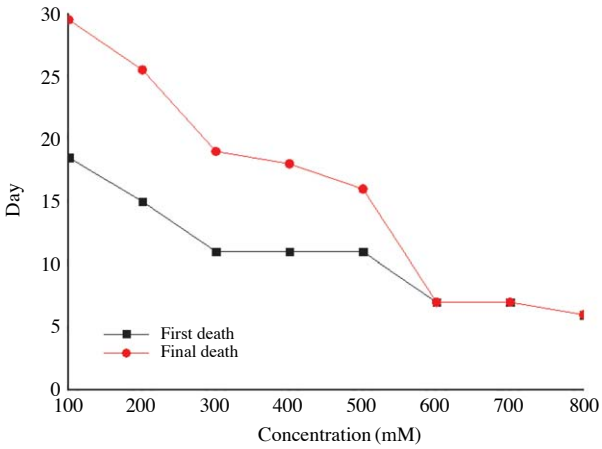

Fig. 5. Mortality time of *Oenothera biennis* seedling.

인으로 작용하는 것으로 확인되었다. 농도별 발아 누적일을 실험한 결과 0 mM에서 최초 발아일은 3일, 최종 발아일은 8.5일로 나타났다. 가장 높은 농도인 160 mM에서는 최초 발아일은 8일, 최종 발아일은 12.5일로 농도가 높아질수록 발아일은 높게 나타나는 경향을 보였다(Fig. 3). 이러한 결과를 볼 때, 발아를 제한하기 위한 현장관리 방법으로는 발아시기 전에 170 mM 이상의 염분농도처리를 하면 발아억제효과가 있을 것으로 판단된다.

3. 염분농도가 유묘에 미치는 영향

염분농도구배에 따른 달맞이꽃 유묘의 생장특성을 실험한 결과 200 mM까지는 90%가 고사하였으며, 300 mM 이상에서 100% 고사하였다(Fig. 4). 각 염분농도별 유묘의 최초 고사일은 100 mM에서는 18.5일, 800 mM에서는 6일이었으며, 최종 고사일은 100 mM에서는 29.5일 800 mM에서는 6일이었다(Fig. 5).

100 mM 농도의 염분을 분사할 때, 유묘는 7일이 경과하여도 변화가 없었지만 400 mM과 800 mM을 분사한 유묘 잎에서는 3일째부터 잎이 시들기 시작하고 끝부분부터 고사하거나 황백화 현상을 확인할 수 있었다(Fig. 6). 또한 300 mM에서 500 mM 구간은 고사율이 완만하게 감소하고 있었으며, 전체적으로는 고농도의 염분을 분사한 유묘에서 단기간에 고사가 진행되는 것을 알 수 있었다. 유묘기 단계에서 염분분사를 통해 달맞이꽃 제거를 위해서는 높은 농도의 염분을 단기간에 처리하면 효과적으로 관리가 가능할 것으로 판단된다.

결 론

고유한 해안 사구생태계를 교란시키는 귀화식물인 달맞이꽃의 종자발아에 영향을 미치는 비생물적 환경요인을 기초로 귀화식물의 효과적인 관리방안을 도출하기 위해 실험을 실시하였다. 온도가 높아질수록 발아율이 증가하였으며, 20°C, 25°C, 30°C의 온도 중 30°C에서 발아율이 가장 높게 나타났다. 그러나 서식지의 현장조건과 발아실험의 특성을 반영하기 위해 25°C로 실험을 실시하였다.

염분농도구배에 따른 종자발아 실험에서 농도가 높을수록 발아율이 감소하였으며, 최종적으로 160 mM까지 발아가 되었다. 염분농도구배에 따른 유묘기 고사실험을 한 결과 200 mM까지는 90% 고사하였으며, 300 mM 이

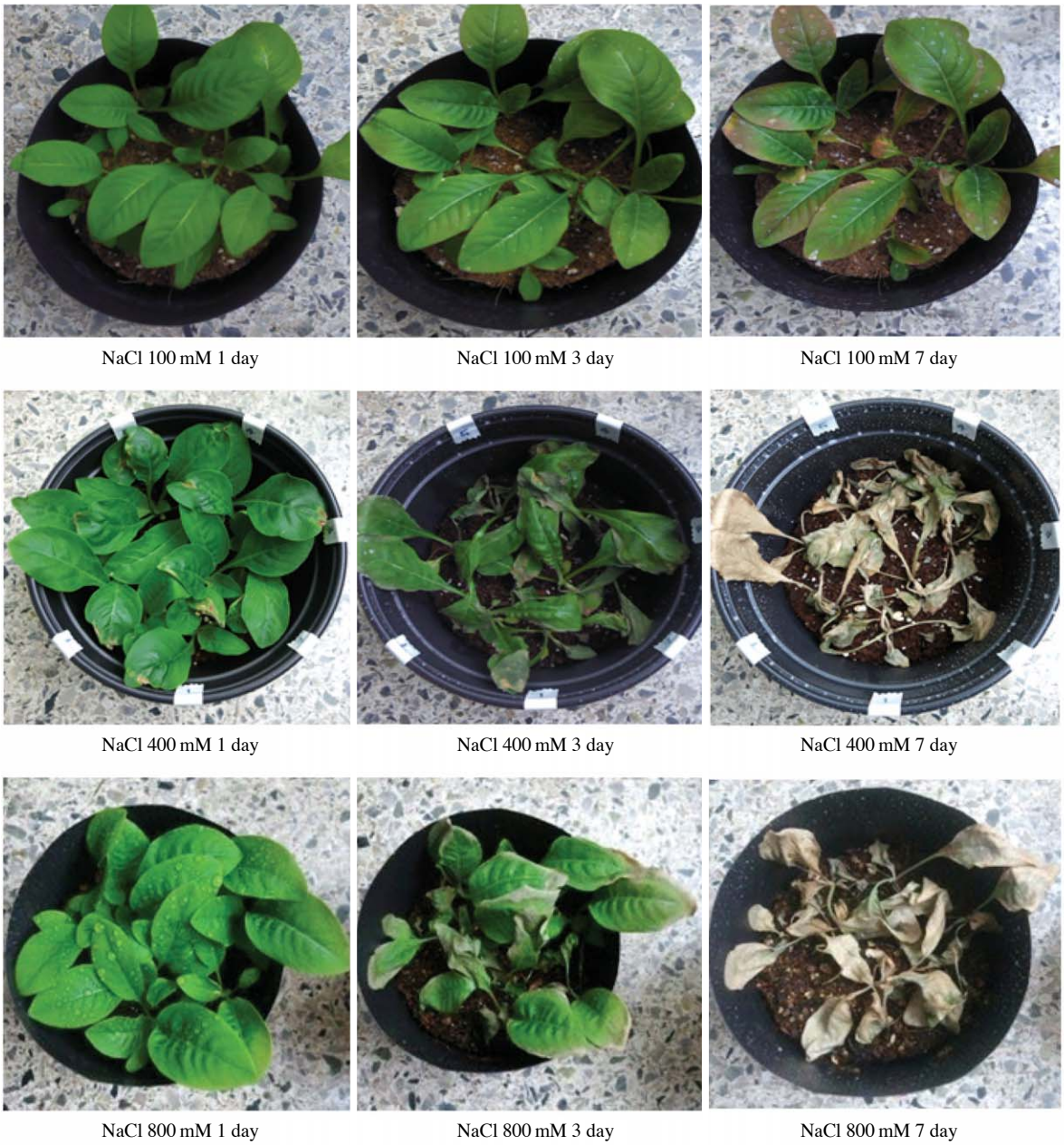

Fig. 6. Germination characteristics of *Oenothera biennis* at 0～160 mM NaCl for 20 days.

상에서는 100% 고사하였다. 농도별 고사기간을 보면 최초 고사는 100 mM에서는 18.5일, 800 mM에서는 6일이 경과한 후부터 고사가 진행되었으며, 최종 고사는 100 mM에서 29.5일, 고농도인 800 mM에서 6일 후에 완전 고사하였다.

일반적으로 염류피해는 생장억제, 엽록소 함량의 변화, 광합성 저하 등으로 나타난다 (Garcí-Sáchez *et al*., 2002). 토양내의 염류 집적은 식물에 의한 정상적인 수분흡수를 방해하여 생리적 한발을 유발, 동화 산물의 전류장해로 엽록체내에 염분의 축적, 탄소고정 반응계에 관여하는 효소의 작용에 혼란 유발, ATP 합성이 왕성해지면서 잎의 수분부족으로 기공이 폐쇄되어 광합성이 중단된다 (Park, 2008). 이 상태에서 빛이 조사되면 엽록체에는 과도한 양의 여기에너지가 생성되며, 그것은 산소분자에 전달되어 활성산소 (O_2^-, H_2O_2, H, $1O_2$)를 생성하는 것으로 알려져 있다 (Shon *et al*., 2001; Cheon

and Park, 2003). 일반적으로 사구식물은, 세포내에 염분이 포함되어 삼투압이 높아 염분스트레스에 대한 내성이 강하다. 해안사구에 분포하고 있는 귀화식물 대부분은 생육지역이 육상으로 염분에 대한 적응력이 낮아 염분스트레스 처리를 실시하면 효과적으로 관리할 수 있다. 그러나 고농도의 염분을 사용하면 귀화식물뿐만 아니라 사구식물 생장에 영향을 미칠 수 있기 때문에 적정농도를 선정하여 현장에 적용하는 것이 바람직할 것이다.

결과적으로 달맞이꽃 제거 방법은 식물생장에 있어 2단계 과정을 통해 관리방안을 제시할 수 있다. 1단계는 발아시기에 170 mM 이상의 염분을 분사하여 발아를 억제하는 방안이고, 2단계는 유묘기인 6월에 달맞이꽃 잎에 600 mM 이상의 염분을 분사하여 단기간에 고사시키는 방안이 효과적일 것으로 판단된다. 또한 고온건조 시기나 강한 일조량이 나타나는 시기에 염분처리를 실시한다면 귀화식물을 더욱 효과적으로 관리할 수 있을 것이다. 이러한 관리방안은 우리나라 해안사구에 대표적으로 우점하는 귀화식물군락인 개망초, 망초, 미국가막사리, 비짜루국화, 실망초, 백령풀, 달맞이꽃, 애기달맞이꽃, 메귀리군락(Myung, 2010)에도 적용하면 효과적일 것으로 판단된다.

적 요

여러 가지 경로를 통해 유입된 귀화식물은 전국적으로 분포하며, 사구생태계에도 침입하여 자생종의 생태적 지위를 위협하고 있다. 본 연구는 해안사구에 분포하는 귀화식물의 효율적 관리 방안을 마련하기 위해 비생물적 요인인 염분스트레스가 달맞이꽃의 생장에 미치는 영향에 대한 실험을 실시하였다. 염분농도구배에 의한 발아실험 결과 농도가 높을수록 발아율이 감소하였으며, 염분에 대한 내성범위는 160 mM까지 나타났다. 유묘기에 실시한 염분농도구배 실험에서 200 mM까지는 90% 고사하였으며, 300 mM 이상에서는 100% 고사하였다. 최초 고사일은 실험 시작 후 100 mM에서는 18.5일, 800 mM에서는 6일이었으며, 최종 고사일은 100 mM에서는 29.5일, 800 mM에서는 6일이었다. 따라서 해안사구에 분포하는 달맞이꽃의 관리 방안은 2단계 과정을 제안한다. 1단계는 발아시기 이전에 170 mM 이상의 염분을 분사하여 발아를 억제하는 방안이고 2단계는 유묘기인 6월에 달맞이꽃 잎에 600 mM 이상의 염분을 분사하여 단기간에 고사시키는 방안을 적용한다면 해안사구에 분포하는 귀화식물 관리에 효과적일 것으로 판단된다.

REFERENCES

Carter, R.W.G. 1991. Near future sea level impacts on coastal dunes landscape. *Landscape Ecology* **6**: 29-39.

Cheon, S.U. and J.H. Park. 2003. Parameters on Physiological Responses of Soybean (Glycine max Merr.) to Salinity. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **22**: 185-191. (Korean with English Abstract)

Chong, J.H. 2011. Characteristics of Seed Germination in Halophyte Influenced by Temperature. Master's thesis Mokpo University, Mokpo, Korea. (Korean with English Abstract)

Garcí-Sáchez, F., J.L. Jifon, M. Carvajal and J.P. Syvertsen. 2002. Gas exchange, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na^+ and Cl^- accumulation on 'Sunburst' mandrain grafted on different rootstocks. *Plant Science* **162**: 705-712.

Kim, J.W., K.W. Ahn, C.W. Lee and B.K. Choi. 2011. Plant Communities of Upo Wetland. Keimyung University Press, Daegu. (Korean)

Lee, S.S. 1997. Crop Physiology. Hyangmunsa, Seoul, Korea. pp. 224-286. (Korean)

Lee, Y.M., S.H. Park, S.Y. Jung, S.H. Oh and J.C. Yang. 2011. Original article: Study on the current status of naturalized plants in South Korea. *Korean Journal of Plant Taxonomy* **41**(1): 87-101. (Korean with English Abstract)

Ministry of Environment. 2002. A guide to the Coastal Dune Conservation and Management.

Moony, H.A. 1996. The SCOPE initiatives: The background and plans for a global strategy on invasive species. pp. 30-37.

Myung, H.H. 2010. Study on Conservation and Management Plan of Coastal Sand Dune Ecosystem using Health Assessment. PhD Dissertation Mokpo University, Mokpo, Korea. (Korean with English Abstract)

Newsome, A.E. and I.R. Noble. 1986. Ecological of Biological Invasions. Cambridge Univ, UK. pp. 1-33.

Park, W.J. 2008. Effect of NaCl Treatment on the Growth and the Physiological of Several Tree Species. PhD Dissertation Chonbuk University, Jeonju, Korea. (Korean with English Abstract)

Sairam, R.K., K.V. Rao and G.C. Srivastava. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* **163**: 1037-1046.

Shon, Y.G., S.H. Choi and J.J. Lee. 2001. The Changes of Peroxidative Damages and Antioxidative Enzyme Activities in the Sea Club Rush and Rice under NaCl Stress. *Korean Journal of Weed Science* **21**: 342-348. (Korean with English Abstract)

Yu, K.B. and H.S. Ryu. 2007. Coastal dunes on the west coast of Korea: a geomorphological perspective. Seoul National University Press, Seoul, Korea. (Korean)