

만경강 하구역에 분포하는 염생식물의 개체군 형성 전략에 관한 연구^{1a}

김창환^{2*} · 조두성³ · 이경보⁴ · 최송열⁴

Population Formation Strategies of Halophytes in Mankyong River Estuary^{1a}

Chang-Hwan Kim^{2*} · Du-Sung Cho³ · Kyeong-Bo Lee⁴ · Song-Yuel Choi⁴

요 약

만경강 하구역 염습지에 우점 분포하는 5종 염생식물의 개체군 형성 전략에 대하여 유묘 출현율, 생물량, 뿌리-줄기 길이생장, 교차이식 생존율, 토양환경 요인 등을 2005년 2월에서 10월까지 조사하였다.

유묘 출현 시기는 칠면초가 가장 빨랐으며 그다음으로 가는갯능쟁이, 통통마디, 갯개미취, 나문재 순으로 나타났다. 염생식물의 수분상태와 염도에 따른 발아율은 칠면초가 침수구 상태의 고온과 저염도에서, 통통마디가 고염도에서, 가는갯능쟁이와 갯개미취가 건조구와 침수구에서, 나문재가 건조상태의 고염도에서도 발아가 잘 되었다. 5종 염생식물의 교차이식 생존율은 저위염습지에 칠면초, 중위염습지에 통통마디, 가는갯능쟁이, 갯개미취, 고위염습지에 나문재가 높았다. 토양환경요인은 비슷하였으나 토성은 점토, 모래, 미사 순으로 높게 나타났다.

따라서 본 연구결과 5종 염생식물의 개체군 형성 전략은 칠면초는 저위염습지에, 통통마디, 가는갯능쟁이 그리고 갯개미취는 중위염습지에, 나문재는 고위염습지에 분포하여 이루어진다고 여겨진다.

주요어 : 염생식물의 유묘 출현율, 염도, 대상분포, 교차이식 생존율, 토양환경 요인

ABSTRACT

The germination period, the germination under different saline concentration and temperature condition, the survival percent several halophytes in cross-transplanting experiment of marsh type and the soil environment factor of five dominant species were investigated on the halophytes population formation strategies on the salt marsh of Mankyong river estuary from February to October 2005.

In terms of germination, *Suaeda japonica* appeared first followed by *Aster tripolium*, *Salicornia herbacda*, *Atriplex gmelini* and *Suaeda asparagoides*. The germination percent on the humidity conditions and saline concentrations of halophytes were that *Suaeda japonica* germinated well under inundation conditions, high temperature and low salinity; *Salicornia herbacda* under high salinity; *Aster tripolium* and *Atriplex gmelini* under dry or inundation conditions, and *Suaeda aspar*

1 접수 6월 22일 Received on Jun. 22, 2006

2 익산대학 녹지조경학과 Department of Forest Landscape Architecture, Iksan National College, 194-5, Jeonbuk Iksan Korea, 570-752

3 군산대학교 생물학과 Department of Biological Sciences, Graduate School of Kunsan National University, Jeonbuk Kunsan Korea, 573-701.

4 호남농업연구소 Honam Agricultural Research Institute, NICS, RDA. Jeonbuk Iksan Korea, 570-080.

a 본 논문은 농촌진흥청 연구개발비 지원에 의해 수행되었음

* 교신저자, Corresponding author (kchiksan@hanmail.net)

agoides under dry conditions and high salinity. The survival percent in cross-transplanting experiment of five halophytes were high with *Suaeda japonica* in the low marsh; *Salicornia herbacda*, *Aster tripolium* and *Atriplex gmelini* in the mid marsh; *Suaeda asparagoides* in the high marsh. The soil properties were similar for the five halophytes, but soil texture appeared high in order of silt, sand and clay.

These results suggested that population formation strategies of five halophytes. *Suaeda japonica* was distributed in the low tidal marsh, *Salicornia herbacda*, *Aster tripolium*, *Atriplex gmelini* in the mid tidal marsh and *Suaeda asparagoides* in the high tidal marsh.

KEY WORD : GERMINATION PERCENT OF HALOPHYTES, SALINITY, ZONATION, SURVIVAL PERCENT CROSS-TRANSPLANT EXPERIMENT, SOIL PROPERTIES

서론

강하구역 염습지는 조수의 침수시간 및 횡수에 따라 시·공간적으로 환경변화가 심한 지역이며, 육상 생태계와 해양 생태계를 연결해 주는 완충지역으로써 생물학적 상호작용이 복잡하게 얽힌 독특한 생육환경을 이루고 있다. 강하구역 염습지 식생은 해안 염습지처럼 토양 염분 농도에 따라 염생식물 군락이 뚜렷한 대상구조(zonation)를 이루고 있다(Chapman, 1960; Adams, 1963).

염생식물의 분포는 토양의 염도, 해수의 침수시간 및 횡수, 토성, 지하수위 등의 물리적 요인(Ranwell, 1972; Vince, 1981; Snow, 1984)과 식물종 분포의 상호관계에 대한 생물학적 요인과 생태학적 요인(Snow and Vince, 1984) 등 복잡한 환경요인에 의해 이루어지며, 염생식물의 군집형성에 대한 생태적 내성능력은 발아, 정착 및 공간점유와 같은 생태적 적응으로 밝혀지고 있다(Snow and Vince, 1984).

염생식물에 대한 연구는 홍원식(1956)에 의하여 인천 주변의 해안식생을 조사한 이래 박인근(1970), 김준민 등(1975), 임병선(1987), 임병선과 이점숙(1986) 등은 염습지 토양 환경요인에 대한 식생분포 및 생장 적응을 연구하였고, 이점숙(1989)은 하구 염습지의 식생 구조에 미치는 환경요인, 김준호와 오계철(1982), 김철수와 임병선(1988), 이점숙 등(2002) 등이 서남해안 간사지 식생 구조 및 변화 등을 조사한 바 있다.

본 연구의 목적은 만경강 하구역의 염습지에 우점 분포하는 염생식물의 주요 출현율, 생물량, 뿌리·줄기 길이 생장, 실험실내 발아율 측정, 교차식 생존율을 파악하고 토양환경 요인을 분석함으로써 염생식물의 개체군형성 전략을 밝히고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지의 개황

본 연구 조사지는 군산시 대야면 지경리 신창동(35°53'16"N, 125°47'21"E)에 위치하는 만경강 하구역 염습지로 내륙으로부터 강물에 의해서 운반된 저토와 해수의 조수작용으로 퇴적된 저토가 쌓여서 형성된 평탄한 염습지이다(Figure 1).

염습지는 조위구배에 따라 매일 침수를 받는 저위 염습지, 간헐적으로 침수를 받는 고위 염습지, 이들 중간지역의 중위 염습지로 구분이 되는데 제방 가장자리에는 해수가 유입이 되지 않은 곳에 모새달, 갈대, 사데풀, 천

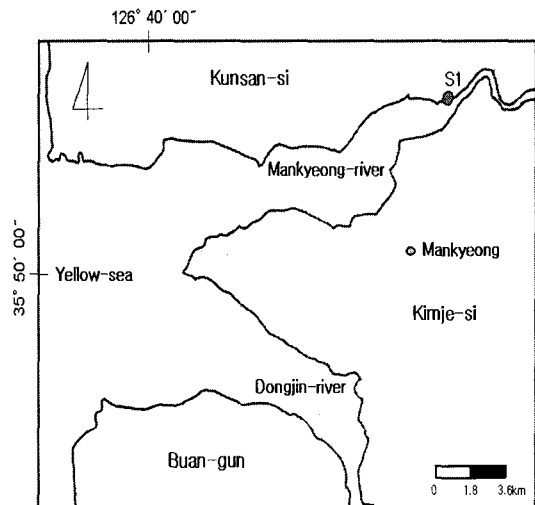


Figure 1. A map showing the study area. (S1: Sinchangdong)

일사초, 갯질경 등이, 해수에 침수가 되는 저지에는 칠면초군락이 분포되어 있다. 따라서 이 지역에 우점 분포하는 칠면초, 통통마디, 가는갯능쟁이, 갯개미취 그리고 나문재 등의 염생식물을 선정하여 2005년 2월부터 2005년 10월까지 연구하였다.

2. 조사 방법

①유묘출현율

조사지역에서 균질한 염생식물 분포지역 3군데를 선택하여 고정된 1m×1m 방형구에 출현하는 유묘 출현 개체수의 생존개체수를 측정하고 측정시기 중 최대 개체수에 대한 측정시기별 개체수의 백분율로 산정하였다.

②생물량 측정

염생식물의 생물량은 조사지역내 1m×1m 방형구로 식물분포가 균질한 3곳을 선택하여 식물의 지상부를 종별로 채취한 다음 폴리에틸렌 주머니에 넣어 실험실로 운반하여 이물질을 제거하고, 80℃의 건조기에서 함량이 될 때까지 건조시켜 무게를 칭량하였다.

③생장을 측정

조사지역 염습지 현장에서 각 종별로 1회 5개체를 시기별로 채집하여 폴리에틸렌 주머니에 넣어 실험실로 운반한 다음 지상부와 지하부의 길이를 측정 산정하였다.

④실험실내 발아율 측정

조사지역에 분포하는 5종 염생식물에 대한 발아에 미치는 온도, 염도 및 수위의 영향을 밝히기 위하여 2004년 10~11월에 채취한 종자를 전처리 과정으로 저온처리와 염도처리를 하고 전처리를 위하여 플라스틱 화분(가로 38cm×세로 28cm×높이 10cm, 5칸) 8개에 10cm 깊이로 vermiculate를 채워 5% NaCl, 15% NaCl 및 25% NaCl 수용액을 각각 100ml씩 뿌리고 종자를 산포한 다음 5℃로 2개월간 보관하였다. 전처리가 끝난 종자를 각각 20개의 플라스틱 화분(가로 38cm×세로 28cm×높이 10cm, 5칸, 총 60개)에 50개씩 5회 파종하여 growth chamber(Conviron 10H, 일주기 16h/8h, 상대습도 60%) 내에서 다시 온도, 염도 및 수위처리를 하였다. 온도 처리구는 주야의 온도를 5℃/0℃±1℃(저온구)와 25℃/5℃±1℃(고온구)로 하여 각각 10개 플라스틱 화분으로 구분하고, 염도 처리구는 저온구와 고온구로 다시 구분하여 5% NaCl, 15% NaCl 및 25% NaCl 수용액을 가하여 각각 15개 화분으로 구분하였다. 수위 처리수는 밀바닥에 2줄 8구멍을 뚫고 vermiculate를 담은 화분을 3cm 깊이의 물이 담긴 배트에 놓고 현장에서와 같이 조수의 침수횟수에 맞게 1일에 2회에 걸쳐 건조구는 1시간 30분의 침수를, 침수구는 3시간의 침수시간의 차이를 주어 수위

와의 관계를 구분하였다. 이들 종자 발아 실험은 온도처리 2조합, 염분처리 3조합 및 수위처리 2조합으로 총 12 조합으로 이루어졌다. 이상의 발아 실험에서 매일 오전 10시에 유근이 육안으로 보이는 개체수를 발아된 것으로 간주하고 발아율을 계산하였다.

⑤교차 이식의 생존율 측정

조사지에 분포하는 5종 염생식물 중 지상부 길이가 약 15~25cm 정도 자란 중간 성장단계 식물을 20개씩 1조를 만들어 토양이 뿌리에 부착된 상태로 저위염습지, 중위염습지, 고위염습지로 구분한 다음 7월에서 8월까지 3회 교차 이식 시킨 후 20일 동안 육안으로 지상부 줄기와 잎이 고사된 고사 개체와 생존 개체를 구별하여 생존율을 측정 분석하였다.

⑥토양의 채취 및 분석

염생식물 군락에서 종 조성이 균일하고 우점종의 초고가 균일한 지역을 선정하여 그 군락의 저토를 상부 1cm를 제거하고 15cm 깊이 이내에서 토양시료를 3~5점의 시료를 채취하여 실험실로 가져온 후 수분함량을 측정하고 나머지 토양을 2주간 음건시킨 후 2mm 체로 쳐서 유리병에 보관하여 분석에 사용하였다.

수분함량은 채토한 10g을 건조 전 무게와 105℃ 건조기에서 48시간 건조시킨 무게를 측정 후 토양 함수량식에 의해 백분율로 산정하였다. 유기물함량 음건토양 10g을 105℃에서 48시간 건조시킨 후 550℃ 전기로에서 5시간 작열시켜 그 소실량을 측정하였다(이점숙, 1989). 염도, pH, 전기전도도는 음건토양과 증류수를 1:5로 혼합하여 30분간 진탕후 여과지(Whatman No. 44)로 여과시킨 용액을 pH, E.C, salinity meter(Model 63, YSI)로 측정하였다. 가용성 인량은 음건 토양 2.85g을 삼각플라스크에 넣고 여기에 추출액(0.01N NH₄F + 0.025N HCl)을 10분간 진탕시킨 후 여과지(Whatman No. 44)로 여과시킨 여과액을 ascorbic acid 방법에 따라 발색시킨 다음 spectrophotometer(Ultrospec 2000, Pharmacia)를 이용하여 880nm에서 비색 정량하였으며, 전 질소량은 micro-Kjeldahl법으로 정량하였다. 토성은 음건토양을 2mm 체로 쳐서 토양 4g을 5% sodium hexametaphosphate 수용액 20ml과 혼합하여 12시간 진탕한 후 Particle Size Analyzer(SALD-301V, Shimadzu)로 측정하여, 모래(sand), 미사(silt) 및 점토(clay)로 구분하였다.

결과 및 고찰

1. 염생식물 생육전략 특성

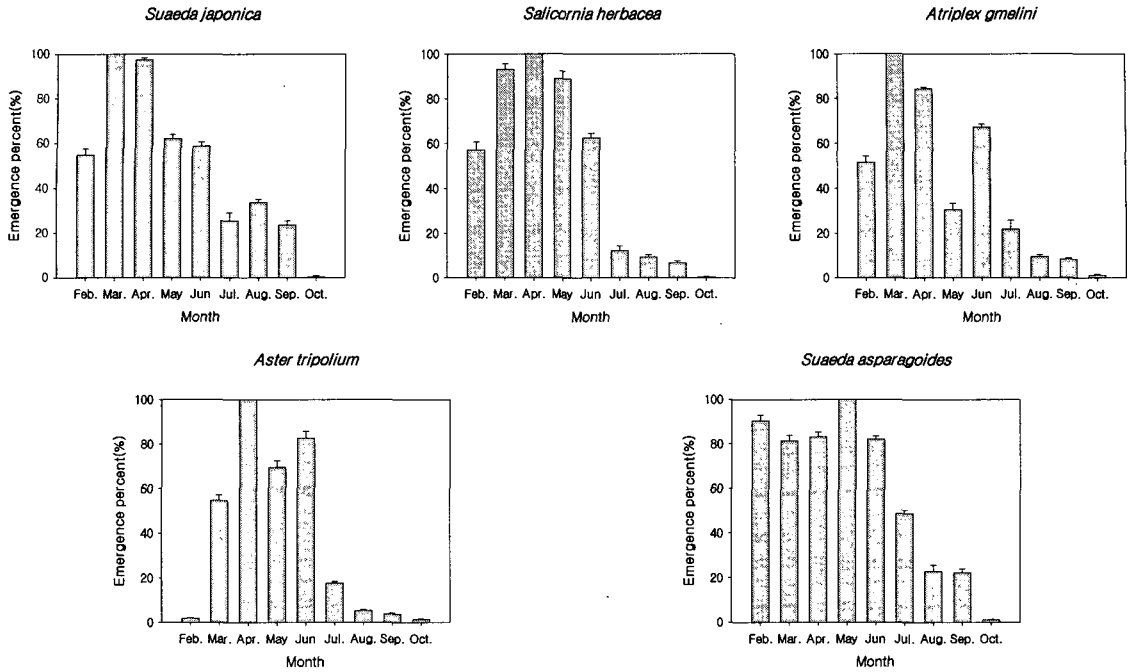


Figure 2. Emergence percent of the five halophytes.

1) 현장에서 염생식물의 유묘 출현

조사지역에서 생육하는 칠면초, 통통마디, 가는갯논쟁이, 갯개미취, 나문재 등 유식물의 첫 출현은 2월 14일에 칠면초가 가장 빨리 나타났고 나문재가 2월 26일 가장 늦게 출현하였으며 최대 출현 시기는 각각 3월~5월이었으며 7월 이후에는 급격히 감소하였다(Figure 2).

칠면초는 염생식물 중 첫 출현시기가 가장 빠른 준동시성 발아형으로 40일 이내에 최대 출현율에 도달함으로써 다른 종보다 먼저 영역을 확보하는 전략을 가지며, 통통마디는 유식물 출현이 나타난 후 60~80일 기간 내에 발아가 거의 마무리되는 연속성 발아형의 특성을 가졌다. 나문재와 갯개미취는 첫 유식물 출현한 후 최대 출현율이 나타나는 기간이 30~90일 이내로 발아가 모두 이루어지는 연속 발아형과 준동시성 발아형으로 외부요인이 유리할 때 높은 발아율로 경쟁이 유리한 조건을 갖추고 있다. 서식지역이 같은 장소에서 염생식물은 유묘 출현시기가 빠른 종일 수록 중간경쟁에 유리한데 (Fisher and Milles, 1973), 칠면초가 가장 먼저 출현하여 공간을 점유함으로써 다른 종보다 안전영역을 차지함으로써 저위염습지의 빈번한 조위구배환경에 정착하는데 유리한 생육전략을 가지며(Ross and Harper, 1972; Mack and Harper, 1977), 통통마디는 빈번한 조석작용과 불안정한 저토환경에 정착하는데 유리한 전략을 가

지고 있다.

2) 염생식물의 생물량

칠면초와 통통마디, 가는갯논쟁이, 갯개미취, 나문재 등 염생식물의 생물량은 2월에 각각 2.4~3.8gDW/m²로 3월에 5.8~9.4gDW/m²로 서서히 증가하다가 6월 이후에는 52.3~40.56gDW/m²로 급격히 증가하였으며,

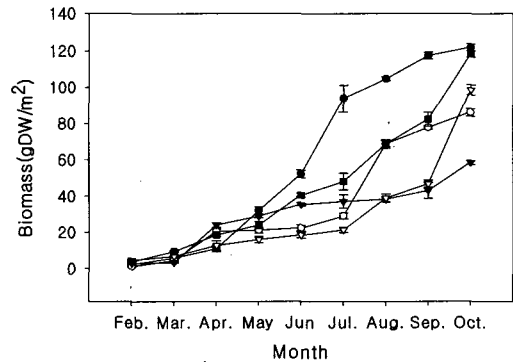


Figure 3. Biomass of the five halophytes.

(-●-: *Suaeda japonica*, -○-: *Salicornia herbacea*, -▼-: *Atriplex gmelini*, -▽-: *Aster tripolium*, -■-: *Suaeda asparagoides*)

10월에는 122~118.4gDW/m²로 나타났다(Figure 3).

칠면초는 발아시기가 다른 염생식물보다 빨라 생물량의 지속적인 증가로 안정적인 경향을 보였으며, 통통마디는 성장 초기에 생물량이 낮으나 생육환경이 좋아진 5월 이후에 점차적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 나문재는 성장초기에는 낮은 생물량을 보이다가 5월 이후에 급격히 증가하였으며, 갯개미취는 2년생으로 빠른 생육으로 5월 이후에 급격히 증가하였다.

따라서 저위염습지에 생육하는 칠면초는 유식물 출현이 빨라 다른 종에 비해 성장초기 지표면에 착근함으로써 유리한 전략의 성장패턴을 가졌으며, 통통마디는 초기 유식물 출현이후 성장속도가 늦어 생물량이 서서히 증가하는 불안정한 성장전략의 패턴을, 나문재와 갯개미취, 가는갯능쟁이는 1~2년생의 생활형으로 빠르게 환경에 적응하는 많은 뿌리의 착근으로 성장후기에 안정된 환경의 유리한 성장 전략 패턴을 나타내었다.

3) 염생식물의 길이성장

칠면초 줄기생장은 2월에서 4월까지 13~47mm로 서서히 성장하다가, 6월에서 10월까지 220~435mm로 급격하게 성장한 성장을 보였고 뿌리는 2월에서 4월까지 31~77mm로 초기에 줄기 성장속도보다 빠르게 성장하여 6월에서 10월까지 180~221mm로 높게 성장하

는 것으로 나타났다(Figure 4).

통통마디 줄기 생장은 2월에서 4월까지 8~33mm 서서히 성장하다가 6월에서 10월까지 110~323mm로, 뿌리는 2월에서 4월까지 9~48mm로 성장하다가 6월에서 10월까지 86~209mm로 성장하였으며, 가는갯능쟁이 줄기 생장은 2월에서 4월까지 15~60mm 서서히 성장하다가 6월에서 10월까지 230~354mm로, 뿌리는 2월에서 4월까지 31~94mm로 성장한 후 6월에서 10월까지 186~225mm로 성장하였다.

갯개미취 줄기생장은 2월에서 4월까지 6~27mm로 점차적으로 증가하다가 6월에서 10월까지 260~472mm로 성장하는 경향을 보였고, 뿌리는 2월에서 4월까지 12~51mm, 6월에서 10월까지 192~220mm로 성장하는 2년생으로서 다소 빠르게 성장하였고, 나문재 줄기 생장은 2월에서 4월까지 27~48mm로 거의 일정하다가 6월에서 10월까지 140~499mm로 빠른 성장을 보였으며 뿌리는 2월에서 4월까지 29~108mm로 줄기 성장보다 뿌리발달이 더 빠른 양상으로 나타나다가 6월에서 10월까지 180~262mm로 성장하였다.

따라서 칠면초, 통통마디, 가는갯능쟁이, 갯개미취, 나문재의 개체당 줄기와 뿌리 길이생장에서 칠면초는 2월, 3월에 뿌리생장이 빠르게 이루어짐으로써 초기 정착에 유리한 성장전략을 갖으며 통통마디는 2, 3월에 뿌리

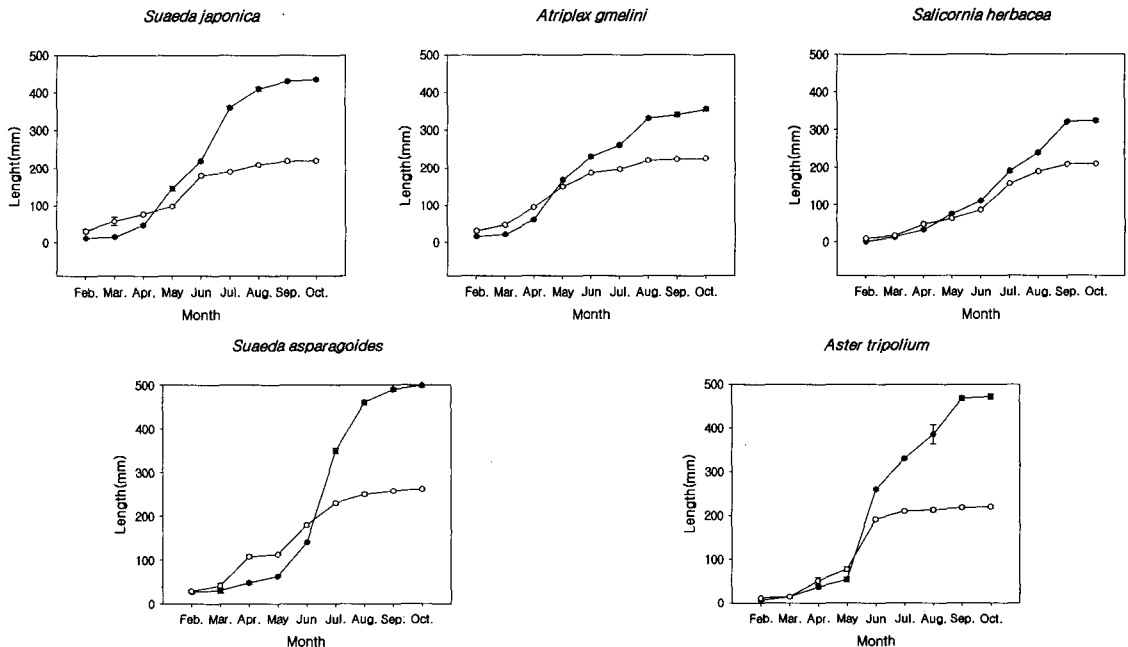


Figure 4. Seasonal change of the shoot and root lengths of each five halophytes.

(-●-: shoot, -○-: root)

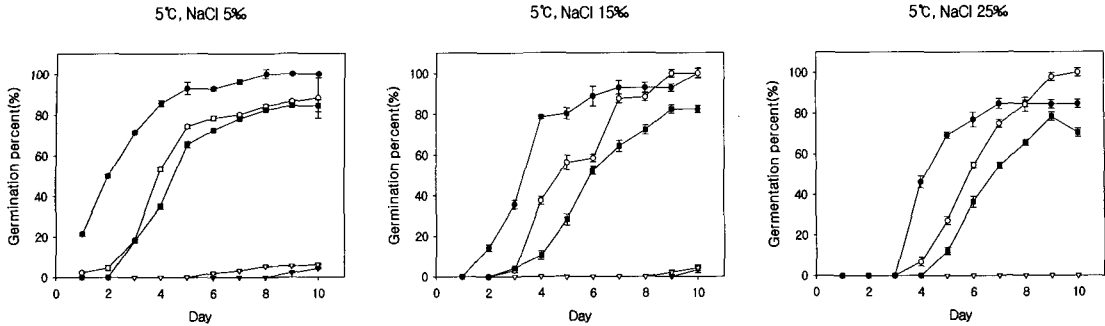


Figure 5. Germination percent of the five halophytes seeds under different saline concentration in dry condition a low temperature.

(-●-: *Suaeda japonica*, -○-: *Salicornia herbacea*, -▼-: *Atriplex gmelini*, -▽-: *Aster tripolium*, -■-: *Suaeda asparagoides*)

생장이 미약하여 초기 정착이 늦은 경향을 나타냈다. 가는갯능쟁이는 탈염이 시작되는 중위염습지에 생육하는 패턴을 갖고 있어 초기 생장이 서서히 이루어지며, 갯개미취는 2년생으로 시간이 흐름에 따라 급격하게 줄기와 뿌리의 생장이 이루어져 일년생인 다른 종보다 자원이 용량이 훨씬 유리한 성장전략을 나타냈으며, 나문재는 건조한 고위염습지에 생육하는 서식패턴을 갖고 있어 뿌리발달이 줄기생장보다 앞서는 성장 전략을 갖는 것으로 나타났다.

4) 실험실 내 염생식물의 생육동태

(1) 염도구배에 따른 건조구 저온상태의 발아율
 강 하구역 염습지에서 주기적으로 해수의 영향을 받는 환경을 고려하여 건조구와 침수구로 나누고, 각 처리구 온도 조건은 5°C, 25°C로, 염도는 5%, 15%, 25%로 처리하여 발아율을 측정하였다. 건조구 5°C, 5% 처리구

에서 칠면초는 초기에 높은 발아율을 나타내며 4일만에 86.7%까지 발아되었고, 통통마디는 처리 후 초기 발아율은 낮으나 5일 만에 69.7%의 발아율을 보였다. 가는갯능쟁이, 갯개미취와 나문재는 6일, 5일, 2일까지 발아되지 않다가 7일, 6일, 3일 각각 1.8%, 2.1%, 16.2%의 낮은 발아율을 나타내었다(Figure 5).

건조구 5°C, 15%과 25% 처리구의 발아율은 5%처리구와 비슷한 양상을 나타내었으며 25% 처리구에서 칠면초와 통통마디가 3일, 2일까지 발아하지 않다가 4일, 3일만에 28.4%, 3.5%로 발아하였고 나문재는 5일만에 8.3%로 발아되었다. 그러나 가는갯능쟁이, 갯개미취는 발아되지 않았다.

(2) 염도구배에 따른 건조구 고온상태의 발아율
 건조구 25°C, 5% 처리구에서 칠면초와 통통마디, 나문재는 44.7, 28.5, 22.5%로 초기에 높은 발아율을 보였으며, 최대발아율은 각각 8일, 9일, 10일만에 100, 100,

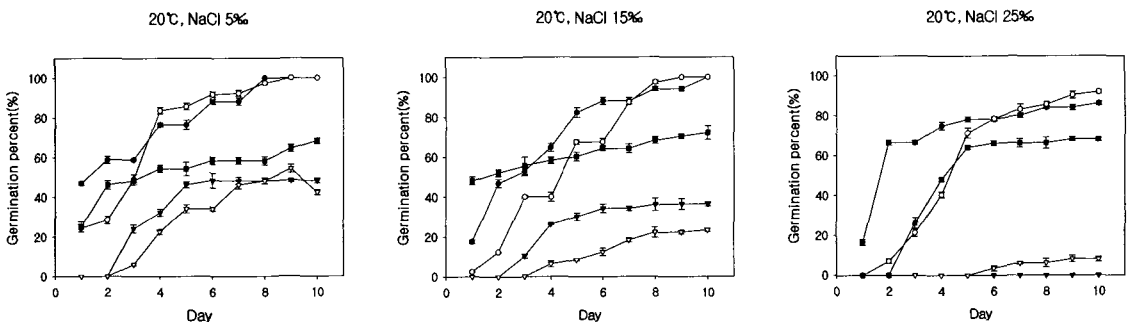


Figure 6. Germination percent of the five halophytes seeds under different saline concentration in dry condition a high temperature.

(-●-: *Suaeda japonica*, -○-: *Salicornia herbacea*, -▼-: *Atriplex gmelini*, -▽-: *Aster tripolium*, -■-: *Suaeda asparagoides*)

68.3%을 나타냈고, 가는갯능쟁이, 갯개미취는 처리 후 3 일만에 발아가 시작하여 일정하게 발아율을 나타내며 최대 발아율은 10일만에 48.3, 54.7%을 나타냈다 (Figure 6).

건조구 15%와 25% 처리구에서 칠면초는 초기발아율이 18.5, 12.5%로 나타났으며, 15% 처리구에서 10일만에 100%로 최대 발아율로 나타났다. 통통마디는 초기 발아율은

낮으나 5일 이후 62.5, 72.4%로 증가되는 높은 발아율을 나타냈다. 가는갯능쟁이는 15%에서 3일만에 8.4%로 낮은 발아율로 나타나다가 일정한 발아율을 나타냈으나 25% 처리구에서는 발아하지 않았다. 갯개미취는 4일, 5일만에 8.3, 1.2%의 발아율이 나타나며, 7일 이후로 일정한 발아율이 나타났다. 나문재는 15% 처리구에서 38.3%로 비교적 높은 발아율이 나타나며, 5일 이후에는 일정한 발아율을 나타냈고, 25% 처리구에서 5일

61.3% 이후로 일정한 발아율이 나타났다.

(3) 염도구배에 따른 침수구 저온상태의 발아율

침수구 5°C, 5% 처리구에서 칠면초는 초기에 12.5%로 높은 발아율을 나타내며 7일만에 100%로 높은 발아율을 보였으며, 통통마디는 2일만에 발아하여 5.6%로 나타나 7일 이후에 일정한 발아율을 나타냈고, 가는갯능쟁이와 갯개미취는 6일, 7일만에 2.7, 1.7%의 낮은 발아율을 나타냈다. 나문재는 3일만에 발아하여 2.6% 발아율을 나타내며, 8일 이후로 일정한 발아율로 나타났다 (Figure 7).

침수구 15%과 25% 처리구의 발아율은 5% 처리구에서와 비슷한 양상을 나타내었으며, 칠면초는 높은 발아율을 나타내지만 25% 초기발아율은 낮아지는 경향을 보였고, 통통마디는 초기에 점차적으로 발아율이 높게 나타내며 25%에서는 5일 이후로 52.5% 높은 발아율을 나타냈고 가는갯능쟁이와 갯개미취는 25%에서는

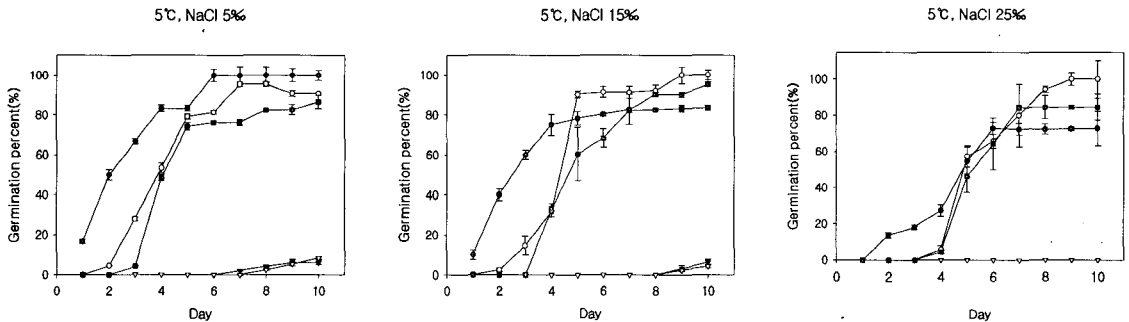


Figure 7. Germination percent of the five halophytes seeds under different saline concentration in inundation condition a low temperature.

(-●-: *Suaeda japonica*, -○-: *Salicornia herbacea*, -▼-: *Atriplex gmelini*, -▽-: *Aster tripolium*, -■-: *Suaeda asparagoides*)

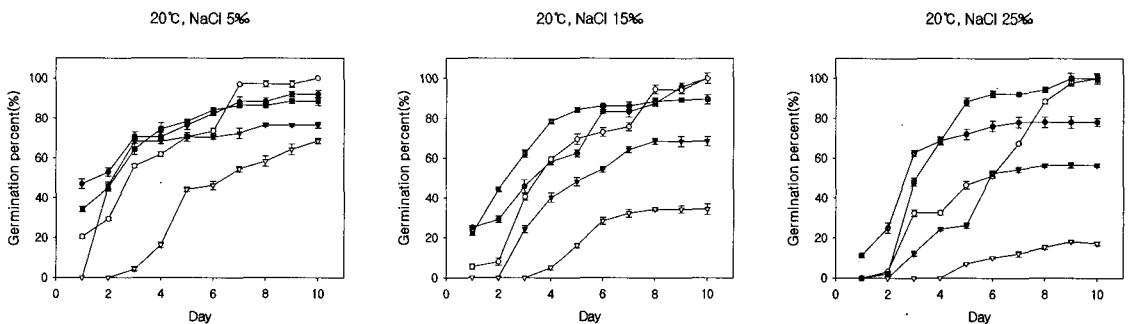


Figure 8. Germination percent of the five halophytes seeds under different saline concentration in inundation condition a high temperature.

(-●-: *Suaeda japonica*, -○-: *Salicornia herbacea*, -▼-: *Atriplex gmelini*, -▽-: *Aster tripolium*, -■-: *Suaeda asparagoides*)

전혀 발아하지 않았다. 나문재는 3일만에 발아하여 28.3, 4.3%로 나타내 8일 이후로 일정하게 발아율을 나타냈다.

(4) 염도구배에 따른 침수구 고온상태의 발아율

침수구 25°C, 5‰ 처리구에서 칠면초, 통통마디, 나문재는 초기 발아율이 44.6, 18.6, 26.3%로 나타내며 3일만에 70.6, 52.5, 64.3%까지 발아가 되었으며, 가는갯능쟁이와 갯개미취는 2일과 3일만에 36.5, 3.1%로 발아율이 나타나며 5일과 6일 이후로 서서히 발아율이 증가하여 나타났다(Figure 8).

침수구 20°C, 15‰과 25‰ 처리구의 발아율은 칠면초, 통통마디에서 20.5, 8.3%와 5.4, 0%의 초기 발아율을 나타내며, 10일만에 100, 78.3%와 100, 100%의 발아율을 나타냈고 가는갯능쟁이와 갯개미취는 15%에서 3일만에 22.3, 2.7%의 낮은 발아율을 보이다가 서서히 증가하는 경향을 나타냈다.

따라서 칠면초는 건조구보다는 침수구에서 저온보다는 고온에서, 고염도보다는 저염도 상태에서 초기발아가 잘 이루어진 결과 조수변화가 잦은 염습지에 적합한 발아조건이 조성됨으로써 침수횡수가 많은 저위염습지에 알맞은 성장전략을 보였고, 통통마디는 고염도 처리구에서 높은 발아율을 보임으로써 고염도 생육환경에서 높은 성장 전략을 나타냈고, 가는갯능쟁이와 갯개미취는 건조구와 침수구에서 발아율이 비슷하게 나타났으며, 나문재는 건조구에서 높은 발아율과 고염도에서도 발아율이 높게 나타났다.

염습지의 수분상태는 조수의 횡수와 지형의 고도에 의해서 영향을 받는데(이점숙, 1989), 건조구의 발아율은 칠면초, 통통마디, 나문재, 갯개미취, 가는갯능쟁이 순으로 낮아졌으며, 침수구 발아율은 칠면초, 통통마디, 나문재 그리고 가는갯능쟁이와 갯개미취 순으로 낮아졌다.

이는 조수작용으로 지속적인 수분공급이 원활한 저위염습지에는 칠면초, 정기적인 수분공급이 적은 고위염습지에는 나문재, 부정기적인 조수작용으로 고염분 토양의 중위염습지에는 통통마디, 이들中间的 중위염습지에는 가는갯능쟁이와 갯개미취가 발아하여 정착하게 되는 성장전략으로 사료된다.

2. 염습지내 염생식물의 교차실험에 의한 생태적 특성

칠면초, 통통마디, 가는갯능쟁이, 갯개미취 그리고 나문재 등의 염생식물을 저위염습지, 중위염습지, 고위염습지에 교차 이식하여 생존율 조사하였다(Figure 9).

저위염습지에 이식된 처리구에 칠면초는 7일 동안 100% 생존율을 유지하다가 8일 이후에는 90%의 높은 생존율을 나타냈고, 통통마디는 11일 동안에 100% 생존율을 보이다가 12일 이후 90%로 서서히 감소하다가 14일에서 16일까지 80~60%로 감소하여 60%의 비교적 높은 생존율을 나타냈으며, 가는갯능쟁이는 7일 동안에 100% 생존율을 보이다가 8일 이후 90%로 서서히 감소하다가 10일에서 16일까지 70~10%로 감소하여 10%의 매우 낮은 생존율을 나타냈다. 갯개미취는 1일 100% 생존율을 유지하다가 3일에는 50%로 급격하게 감소하여 6일 이후로 20% 생존율을 나타냈고, 나문재는 7일 동안 100% 생존율을 유지하다가 8일 이후 90%로 감소하다가 11일 이후로 10%로 급격히 감소하여 매우 낮은 생존율을 유지하였다.

중위염습지에서 칠면초는 4일 동안 100%의 생존율을 유지하다가 5일에 90%, 7일에 80%, 9일에 60%로 서서히 감소하다가 10일 이후로 60%의 비교적 높은 생존율을 나타냈고, 통통마디는 8일 동안 100% 생존율을 유

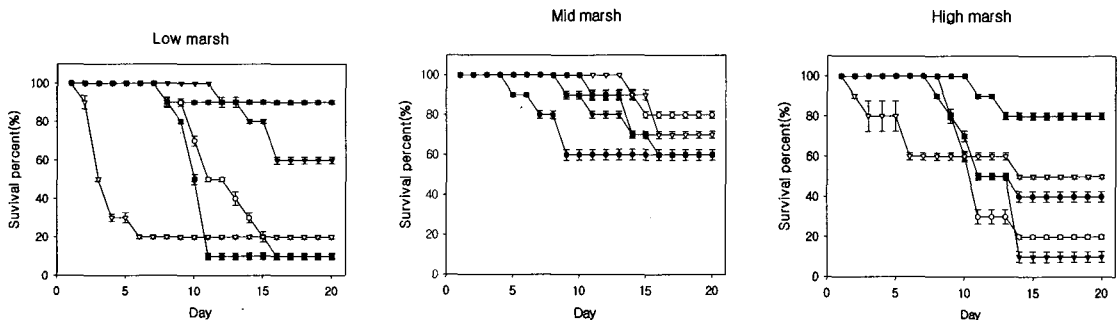


Figure 9. Survival percent of five halophytes which cross-transplanting experiment to low marsh, mid marsh and high marsh type.

(-●-: *Suaeda japonica*, -○-: *Salicornia herbacea*, -▽-: *Atriplex gmelini*, -▽-: *Aster tripolium*, -■-: *Suaeda asparagoides*)

지하다가 9일 90%로 서서히 감소하다가 14일 이후에는 70%의 높은 생존율을 나타냈으며, 가는갯능쟁이는 8일 동안 100% 생존율을 유지하다가 9일 90%로 서서히 감소하다가 15일 이후로 80%의 높은 생존율을 나타냈다.

갯개미취는 13일 동안 100%의 높은 생존율을 유지하다가 14일 90%로 서서히 감소하다가 16일 이후로 70%의 높은 생존율을 나타냈고, 나문재는 10일 동안 100% 생존율을 유지하다가 11일 90%로 서서히 감소하다가 16

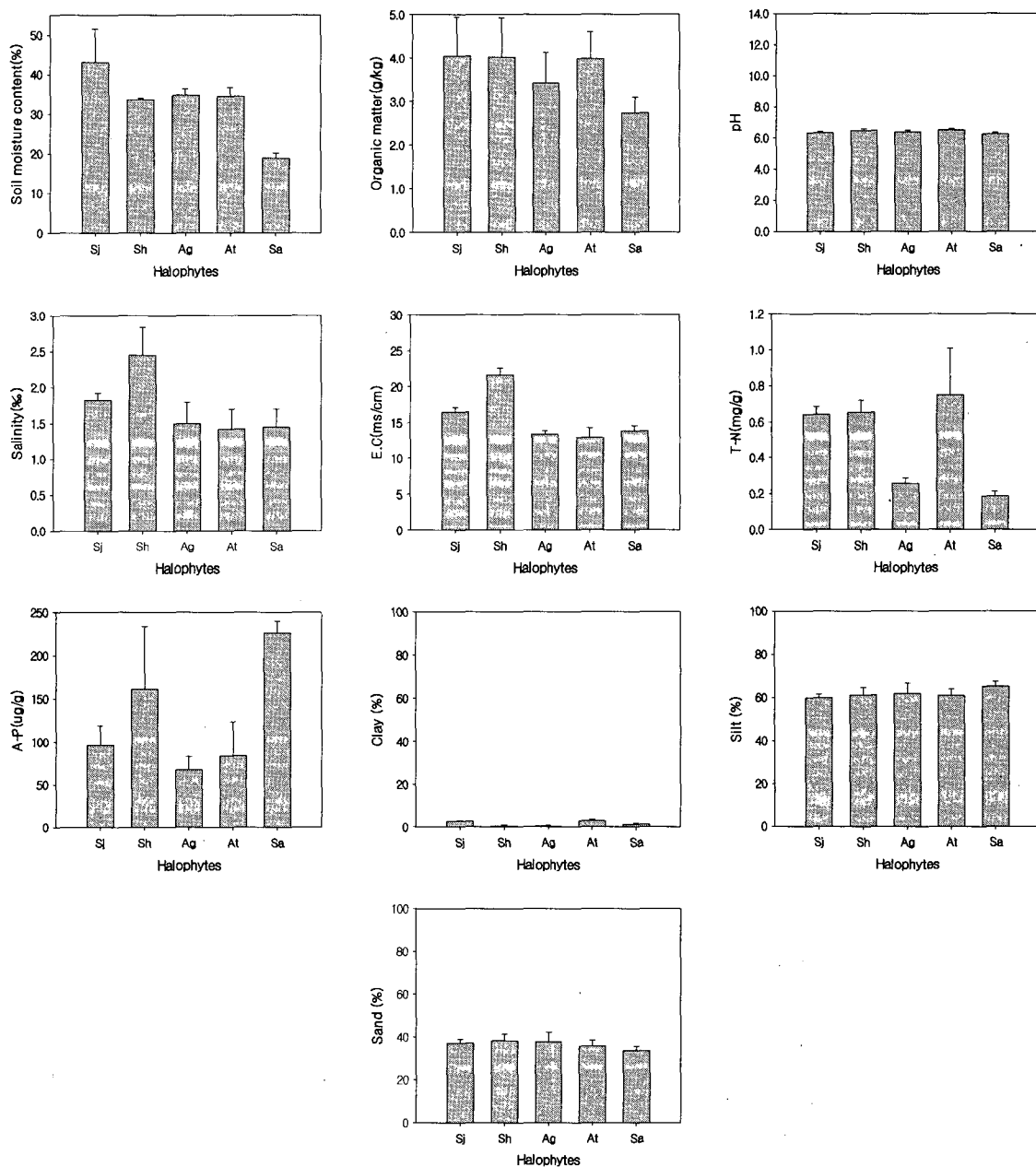


Figure 10. Soil environment factor of 5 halophytes.

(Sj: *Suaeda japonica*, Sh: *Salicornia herbacea*, Ag: *Atriplex gmelini*, At: *Aster tripolium*, Sa: *Suaeda asparagoides*, EC: electric conductivity, A-P: available phosphate content, T-P: total nitrogen content)

일 이후로 60%의 비교적 높은 생존율을 나타냈다.

고위염습지에서 칠면초는 7일 동안 100% 생존율을 유지하다가 8일에 90%로 서서히 감소하다가 9일에서 14일까지 80~40%로 급격히 감소하여 그 이후로 40%의 생존율을 나타냈고, 통통마디는 8일 동안 100% 생존율을 유지하다가 9일 80%로 서서히 감소하다가 14일 이후에는 10%의 매우 낮은 생존율을 나타냈으며, 가는갯능쟁이는 8일 동안 100% 생존율을 유지하다가 9일 80%로 서서히 감소하다가 14일 이후로 20%의 낮은 생존율을 나타냈다. 갯개미취는 1일만 100%의 높은 생존율을 유지하다가 2일 90%로 서서히 감소하다가 3일에서 14일까지 80~50%로 감소한 이후 50%의 생존율을 나타냈고, 나문재는 10일 동안 100% 생존율을 유지하다가 11일 90%로 서서히 감소한 후 13일 이후로 80%의 높은 생존율을 나타냈다.

따라서 저위염습지에는 칠면초가, 중위염습지에는 가는갯능쟁이, 통통마디와 갯개미취가, 고위염습지에는 나문재의 생존율이 높게 나타난 것은 조위변화가 심한 해안염습지에서 염습지의 고도에 따라 수분상태의 영향을 받는 염생식물들이 정착을 성공적으로 유지하려는 성장전략으로 보인다.

3. 염생식물 군락지의 토양환경요인 특성

조사지역에서염생식물군락이 균질한 곳에서 3월, 5월, 7월, 9월 총 4회 조사 분석하였다(Figure 10).

수분함량은 저위염습지에 분포하는 칠면초군락에서 평균 43.13%로 비교적 높게 나타났고, 중위염습지에 분포하는 통통마디, 가는갯능쟁이 그리고 갯개미취군락은 각각 평균 33.64%, 34.81%, 34.49%로 나타났으며, 고위염습지에 분포하는 나문재군락은 평균 18.91%로 조사 염생식물 중 가장 낮았다.

유기물량은 칠면초군락과 통통마디군락에서 각각 평균 4.05g/kg, 4.02g/kg로 비슷한 범위의 값으로 나타났고, 가는갯능쟁이군락과 갯개미취군락에서 각각 평균 3.4g/kg, 3.98g/kg로 나타났으며, 나문재군락에서 평균 18.91g/kg로 나타냈다.

pH는 칠면초군락, 통통마디군락, 가는갯능쟁이군락, 갯개미취군락 그리고 나문재군락에서 각각 평균 8.39, 9.03, 8.51, 8.28, 8.26 등으로 통통마디군락이 가장 높게 나타났고 나머지는 비슷한 경향을 나타냈다.

염도와 전기전도도는 칠면초군락에서 평균 1.9‰, 16.5ms/cm, 통통마디군락에서 1.5‰, 21.6ms/cm, 가는갯

Table 1. Analysis of variance soil for the soil environment factor of 5 halophytes

Halophyte	Division	MC	OM	Ph	Sal(‰)	E.C(ms/cm)	T-N(mg/g)	A-P(ug/g)	clay(%)	silt(%)	sand(%)
Suaeda japonica	Survey number	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Sum	172.52	16.19	25.39	7.3	65.9	2.57	386	11.04	240.17	148.79
	Mean	43.13	4.05	6.35	1.83	16.48	0.64	96.5	2.76	60.04	37.2
	Variance	70.38	0.81	0.01	0.01	0.4	0	494.9	0.06	2.65	3.27
Salicornia herbacea	Survey number	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Sum	134.56	16.09	25.93	9.8	86.5	2.62	644.9	1.61	245.15	153.24
	Mean	33.64	4.02	6.48	2.45	21.63	0.66	161.23	0.4	61.29	38.31
	Variance	0.13	0.813	0.01	0.15	0.83	0	5265.91	0.2	11.89	9.1
Atriplex gmelini	Survey number	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Sum	139.24	13.7	25.55	6	53.82	1.02	270.6	1.17	247.77	151.06
	Mean	34.81	3.43	6.39	1.5	13.46	0.26	67.65	0.29	61.94	37.77
	Variance	2.35	0.49	0.01	0.09	0.23	0	239.9	0.11	23.34	20.37
Aster tripolium	Survey number	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Sum	137.94	15.93	26.04	5.7	51.77	3	336	11.44	244.19	143.37
	Mean	34.49	3.98	6.51	1.43	12.94	0.75	84	2.86	61.05	35.84
	Variance	5.11	0.38	0.01	0.08	1.83	0.07	1558.89	0.36	8.34	6.78
Suaeda asparagoides	Survey number	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Sum	75.65	10.95	25.05	5.8	55.61	0.75	904.9	4.6	260.95	134.45
	Mean	18.91	2.74	6.26	1.45	13.9	0.19	226.23	1.15	65.24	33.61
	Variance	1.56	0.13	0.01	0.06	0.47	0	172.73	0.29	4.83	4.6
Variance analysis	Variable factor	Square sum	Free degree	Square variace	F rate	P-value	F rejection value				
	Factor A line	5242.869	4	1310.717	9.108	1.13E-06	2.426				
	Factor A row	302595.3	10	30259.53	210.27	2.06E-88	1.888				
	Alternation effect	65619.05	40	1640.476	11.399	1.82E-30	1.468				

능쟁이군락에서 1.5%, 13.5ms/cm, 갯개미취군락에서 1.4%, 12.9ms/cm 그리고 나문재군락에서 2.5%, 13.9ms/cm로 나타났다. 염도는 통통마디군락이 가장 높은 범위의 값으로 나타났고, 칠면초군락, 나문재군락과 가는갯능쟁이군락, 갯개미취군락 순으로 나타나는 경향을 보였다.

총질소에 대한 분석은 갯개미취군락이 평균 0.75mg/g로 나타났고, 칠면초군락과 통통마디군락에서 평균 0.64mg/g와 0.65mg/g로 비슷한 범위의 값으로 나타났으며, 가는갯능쟁이군락과 나문재군락은 평균 0.25mg/g와 0.19mg/g로 나타나 전체적으로 전질소 값의 범위는 큰 차이를 볼 수가 없었다.

토성에서 칠면초군락은 clay, silt, sand함량이 각각 평균 2.76%, 65.24%, 32.00%로, 통통마디군락은 0.40%, 61.29%, 38.31%로, 가는갯능쟁이군락은 0.29%, 61.95%, 37.76%로, 갯개미취군락은 2.86%, 61.30%, 35.84%로, 나문재군락은 1.15%, 61.61%, 37.24%로 나타났다.

5종 염생식물과 토양환경요인 사이의 분산분석한 결과 5종 염생식물의 F값이 210.27과 F 기각치가 1.888 값으로 나타났고 교호작용 F값이 11.399과 F 기각치가 1.468값으로 산출되어 토양환경요인은 5종 염생식물에 영향을 크게 미치는 것으로 분석되었다(Table 1).

토성은 토양입자의 크기, 자연의 변화, 유기물의 양, 토양입자 사이의 무기물, 콜로이드 같은 물질에 의해 결정되어지며, 배수, 수분유지 등에 영향을 미치기 때문에 토양요인과 식물 생육과의 관계는 요인 상호간의 복합적인 작용에 기인하며 염습지에서 염생식물 식생의 구조 및 식물분포는 토양의 염도, 모래함량, 함수량 등이 결정하는 주요인이라 하였는데(김철수와 송태곤, 1983; 이만우, 2001), 칠면초, 통통마디, 가는갯능쟁이, 갯개미취 그리고 나문재 등의 염생식물 군락의 토성은 미사가 가장 많고 모래, 점토 순으로 나타나 염생식물 개체군 형성에 토성이 중요하게 영향을 미치는 것으로 해석된다.

적 요

만경강 하구역에 위치한 염습지에 우점 분포하는 칠면초, 통통마디, 가는갯능쟁이, 갯개미취, 나문재 등 5종 염생식물을 2005년 2월에서 2005년 10월까지 유묘 출현율, 생물량, 뿌리줄기 길이생장, 실험실내 발아율 등을 측정하고 교차식 생존율과 토양환경 요인 등을 분석하여 염생식물의 개체군 형성 전략을 파악하였다

조사지역에 분포하는 염생식물의 유묘 출현시기는 칠면초, 가는갯능쟁이, 통통마디, 갯개미취, 나문재 순

으로 나타나 빠른 발아율로 경쟁에 유리한 조건을 갖춤으로써 초기에는 뿌리생장이 줄기생장보다 빠르게 이루어져 초기 정착에 유리한 생육전략을 갖는 칠면초가 침수구, 저염도 환경의 저위염습지에서 높은 생존율을 보였으며, 나문재는 건조하고 고염도의 정기적인 수분공급이 적은 고위염습지에서 높은 생존율을, 통통마디는 부정기적인 조수작용 환경의 고염도에서 높은 생존율을, 갯개미취와 가는갯능쟁이는 이들中间的 건조하면서 침수가 있는 중위염습지에서 높은 생존율을 갖음으로써 염생식물 개체군을 형성하는 전략을 갖는 것으로 해석되었다.

인용문헌

김준민, 장남기, 이성규, 우택균(1975) 인천 남동 해안에 있어서 간사지 토양의 염도 구배와 식물구배와 식물 분포에 관한 연구. 김준민박사 회갑기념논문집, 150-157pp.

김준호, 민병미(1983) 해안 염생식물군락에 대한 생태학적 연구 III. 인천 간척지의 토양환경. 종의 다양성 및 염류순환에 대하여. 한국식물학회지 26(2): 53-72.

김준호, 오계철(1982) 한국 서해안 간척지 생태계의 조성과 기능에 관한 연구, 서울대학교 자연과학종합연구소.

김철수(1971) 간척지 식물군락형성과정에 대한 연구. 한식지 14: 129-134.

김철수, 송태곤(1983a) 해변 염생식물 군락에 대한 생태학적 연구. 한국생태학회지 6: 167-176.

김철수, 송태곤(1983b) 해변 염생식물 군집에 대한 생태학적 연구(I). 염산호 담수화로 인한 간척지내의 토양과 염생식물의 변화. 목포대학 논문집 5: 471-483.

김철수, 임병선(1988) 한국 서해안 간척지 식생에 관한 연구. 한생태지 11: 175-192.

민병미(1985) 한국 서해안 간척지의 토양과 식생변화. 서울대학교 대학원 박사학위논문.

박인근(1970) 주안 해안의 염생식물 군락의 구조에 관한 연구. 서울대학교 교육대학원 석사학위논문.

이만우(2001) 서해안 염습지의 토양환경 구배에 따른 염생식물의 분포. 인하대학교 석사학위 논문, 24쪽.

오계철, 이근식(1989) 인천 소재 간척지내 두 개의 칠면초 개체군락의 차이에 대하여. 한생태지 12: 133-144.

이우철, 김상근, 김준민(1982) 한국해안식물의 생태학적 연구. 강원대학교 생명과학연구소 보고서, 6-13pp.

이점숙(1989) 만경강과 동진강 하구 염습지의 조위 구배에 따른 염생식물의 정착에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.

이점숙, 임병선, 이승호(2002) 시간경과에 따른 서해안 간척지의 식생변화에 관한 연구. 한국생태학회지.

임병선, 이점숙(1986) 염습지 환경변화에 대한 통통마디와

- 칠면초의 적응. 한국생태학회지 4:15-25.
- 임병선(1987) 해안 간석지 토양 환경에 따른 식물의 분포와 생장. 연안생물연구 4: 71-79.
- 임병선(1989) 토양의 수분 포텐셜과 식물의 삼투조절능에 의한 해안식물군락의 분포. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- 임병선, 이기철, 이점숙, 서도성, 윤성명, 성치남, 양성렬 (1998) 서남해안 갯벌생태계보고서. 환경부 221pp.
- 최홍근, 김호준(1998) 시화호내 염생식물 분포에 관한 연구. 아주 자연과학지 3권 1호.
- 홍순우, 하영칠, 최영길(1970) 고염도 토양에 있어서 몇가지 염생식물의 생태에 대하여. 한국식물학회지 13: 25-32.
- 홍원식(1956) 한국 서해안 해변 식물 군락의 연구. I. 생물학회보 1: 17-24.
- Adams, D.A.(1963) Factors influencing vascular plants zonation in North Carolina salt marshes. Ecology 44: 445-456.
- Beefink, W.G.(1977) The coastal salt marshes of Western and Northern Europe: An ecological and phytosociological approach. In: Ecosystems of the World I. Beefink, W.G.(ed.), Elsevier Sci. Co., New York.
- Buttery, B.R. and J. M. Lambert.(1965) Competition between *Glyceria maxima* and *Phragmites communis* in the region of Surlingham Broad, I. The competition mechanism. J. Ecol. 53: 163-181.
- Chaman, J.V.(1960) Salt marshes and salt desert of the world. Leonard Hill books. Ltd. London, 392pp.
- Crude, R.W.(1974) The adaptive nature of seed germination in *Nemophila menziesii* AGGR. Ecology 55: 1295-1305.
- Eillers, H.P.(1975) Plant communities, net production and tide levels: the ecological biogeography of the Nehalem salt marshes. Tillamook County, Oregon. Ph.D. Dissert., Oregon State Univ. Corvallis, OR.
- Grace, J.G. and R.G. Wetzel(1981) Habitat partitioning and competitive displacement in *Cattails*(*Typha*) experimental field studies. Amer. Nat. 118: 463-474.
- Fisher, R.A. and R.E. Milles(1973) The role of spatial pattern in the competition between corp plants and weeds. A theoretical analysis. Math. Bio. Sci. 18; 311-350.
- Harper, J.L.(1977) The population biology of plants. Academic Press, London, 684-694pp..
- Mark, R.N. and J.L. Harper.(1977) Interference in dune annulas, spatial pattern and neighbourhood. J. Ecol. 65: 345-363.
- Miller, W.B. and F.E. Egler.(1950) Vegetation on the Ezudenquockpawcatuck tidal marshes Connecticut. Ecol. Monogr 20: 143-172.
- Misra, R.D.(1938) Edaphic factors in the distribution of aquatic plants in the English lakes. J. Ecol. 38: 441-451.
- Odum, E.P.(1969) The strategy of ecosystem development. Science 162: 262-270
- Ranwell, D.S.(1972) Ecology of salt marsh sand dune. Chapman and Hall, London, 258pp.
- Ross, M.A. and J.L. Harper.(1972) Occupation of biological source during seedling establishment. J. Ecol. 60: 77-88.
- Rozema, J.(1975) The influence of salinity inundation and temperature on the germination of some halophytes and non-halophytes. Oecologia Plantarum 10: 341-353.
- Snow, J.A. and S.W. Vince.(1984) Plant zonation in an Alaskan salt marsh. II. An experimental study of the role of edaphic conditions, J. Ecol. 71: 669-684.
- Vince, S.W., I. Valiela and J.M. Teal.(1981) An experimental study of the structure of herbivour insect communities in a salt marsh. Ecology 62: 1662-1678
- Waisel, Y.(1972) Biology of Halophytes. Academic Press, New York, 395pp.
- Walter, H.(1968) Die Vegetation der erde in Okologischer Betrachtung. Band I. Fisher verlag, Jena.(refer to Chapman, 1977).
- Wilson, S.D. and P.A. Keddy.(1985) Plant zonation of a shoreline gradient; physiological responses curves of component species. J. Ecol. 73: 851-860.