CNU Journal of Agricultural Science Vol. 38, No. 4, pp. 631-639, December 2011

신규 채소작물용 번행초의 토성 및 염도에 대한 생육 반응

김성기[1] · 김인경[2] · 이긍주[2]*

[1]목포대학교 원예과학과, [2]충남대학교 원예학과

Growth responses of New Zealand Spinach [*Tetragonia tetragonoides* (Pall.) Kuntze] to different soil texture and salinity

Sung-Ki Kim[1], In-Kyung Kim[2], Geung-Joo Lee[2]*

[1]Dept. of Horticultural Science, Mokpo National University, Mooan, 534-729, Korea
[2]Dept. of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

Received on 21 November 2011, revised on 2 December 2011, accepted on 18 February 2011

Abstract : This research was conducted to investigate potential use of New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonoides*) as a new vegetable crop which will be cultivating in salt-affected soils including reclaimed land. Traditionally New Zealand spinach has been studied to explore functional compound or salt removing potential. To cultivate the crop species in the salt-affected soil widely, it is essential to obtain salt and soil texture responses under the controlled environment. Fifty nine New Zealand spinach ecotypes native to Korean peninsula first collected over seashore areas, and primitive habitat soil environment was evaluated by analyzing soil chemical properties from 32 locations. Different textures of sandy, silt loam, and sandy loam soils were prepared from nearby sources of sea shore, upland and paddy soils, respectively. Target salinity levels of 16.0 dS/m, 27.5 dS/m, 39.9 dS/m, and 52.4 dS/m in electrical conductivity (ECw) were achieved by diluting of 25, 50, 75, 100% (v/v) sea water to tap water (control, 0.6 dS/m), respectively. Various measurements responding to soil texture and irrigation salinity included plant height, root length, fresh weight (FW), dry weight (DW), leaf parameters (leaf number, leaf length, leaf width), lateral branching, and inorganic ion content. was found to adapt to diverse habitats ranging various soil chemical properties including soil pH, organic matter, exchangeable bases, EC, and cation exchange capacity (CEC) in Korea. Responding to soil texture, New Zealand spinach grew better in silt loam and sandy loam soil than in sandy soil. Higher yield (FW and DW) seemed to be associated with branch number (r=0.99 and 0.99, respectively), followed by plant height (r=0.94 and 0.97, respectively) and leaf number (r=0.89 and 0.84, respectively). Plant height, FW, and DW of the New Zealand spinach accessions were decreased with increasing irrigation salinity, while root length was not significantly different compared to control. Based on previous report, more narrow spectrum of salinity range (up to 16 dS/m) needs to be further studied in order to obtain more accurate salinity responses of the plant. As expected, leaf Na content was increased significantly with increasing salinity, while K and Ca contents decreased. Growth responses to soil texture and irrigation salinity implied the potential use of New Zealand spinach as a leafy vegetable in salt-affected soil constructed with silt loam or sandy loam soils.

Key words **:** Halophyte, Leafy vegetable, New Zealand spinach, Salinity, Soil texture

I. 서 론

우리나라의 국토는 평야지보다 산지가 많아 활용할 수 있는 가용 토지가 적고, 쌀을 비롯한 식량을 생산 할 수 있는 우량농경지는 산업화, 도시화에 따른 타 용도 전용 등으로 1991년 이후 매년 18,000 ha씩 급속히 감소되고 있는 추세이다. 이에 대한 대책의 하나로 지금까지 우리나라는 서남해안 간척자원을 대상으로 간척사업을 진행하여 왔다. 간척지 사업은 한정된 국토에서 도시화와 산업화로 인해 잠식되는 농경지 및 산업단지를 대체 확보함으로써 식량의 안정적 공급 등 긍정적인 효과를 가져왔다 (Lee 등, 2003; Lee 등, 2006). 그러나 간척지 개발 초기

***Corresponding author:** Tel: +82-42-821-5734
E-mail address: gjlee@cnu.ac.kr

의 토양은 일반적으로 가용성 염류와 치환성 나트륨이 과다하게 함유되어 있기 때문에 염분농도가 대단히 높고, 일반 토양에 비해 자연 비옥도가 낮아 작물의 발아 및 생장에 악영향을 미치게 되어 궁극적으로 생산량을 저하시킨다(Lee 등, 2000). 그러므로 간척지를 효율적으로 활용하기 위해서는 간척지 토양 내 염류를 제거하여야하며, 제염 기간이 자연 상태에서 최소 10여 년 이상 소요되는 문제가 있으므로(Seo 등, 2010) 간척지 토양의 이화학성을 개량하기 위한 내염성 식물의 활용이 여러 대안 중의 하나로 연구되어 왔다(Neves 등, 2007). 최근 연구동향에 따르면 약 1,560종의 내염성 식물이 존재하며, 우리나라에는 이 중 46.8%가 명아주과, 목초과, 국화과, 두과식물이며, 번행초를 포함한 석류풀과 식물이 일부 존재하는 것으로 알려져 있다. 이러한 내염식물들은 염해지 환경개선을 위한 자원으로 활용하기 위한 연구도 진행되고 있다(Myeong 등, 2011).

뉴질랜드 시금치(New Zealand spinach)로 불리는 번행초[*Tetragonia tetragonoides* (Pall.) Kuntze]는 석류풀과(Aizoaceae)에 속하는 다육질의 다년생 초본으로 일본, 중국, 동남아, 호주, 뉴질랜드, 남미 등에 분포하며(Gray, 1997), 우리나라에서는 중부 이남의 바닷가 모래사장이나 바위틈에서 서식한다(Kim 등, 2008). 번행초는 시금치와 비슷하나 더 부드러운 특징을 갖고 있다. 특히 건조와 고농도 염분에 대해 적응할 수 있는 특징을 가지고 있는데, 건조조건에 노출될 때 반응하는 alkaine α-galactosidase gene이 발현되거나(Hara 등, 2008), 프롤린 축적을 증가시키고 높은 활성을 보이는 항산화 체제를 통해 스트레스 환경에 대하여 내성을 획득하는 것으로 알려져 있다(Yousif 등, 2010). 번행초는 외국에서는 생체 상태의 샐러드로 이용되며 데쳐서 나물로도 섭취되는 식용작물이며(Haase, 1990; Jaworska, 2005a, 2005b), 일부 아시아 문화에서는 위암 및 위궤양에 대한 약용식물로도 이용되고 있다(Kato 등, 1985). 번행초로부터 추출한 steryl glucoside가 쥐의 궤양 형성을 억제한다는 보고에 의해 번행초의 약리효과가 뒷받침되고 있다(Okuyama와 Yamazaki, 1983). 이와 같이 번행초는 약리효능이 우수하여 그 수요가 늘어날 것으로 예상하고 있으나, 재배법이 개발되지 않아 수요확대에 제한이 되고 있다(Aoki 등, 1982; Bar와 Schmidt, 1988; Okuyama와 Yamazaki, 1983).

그러나 식용 혹은 약용으로 이용해 왔던 국내 해안염습지에 자생하는 염생 식물들의 생리활성 검정을 통하여 유용생물 자원을 확보하려는 시도는 있었으나 제염단계에 따른 밭작물 도입이 아직 국내에서 시도된 바가 없다. 이러한 높은 염농도의 신간척지를 활용하고, 농가소득을 높이기 위한 방안의 하나로 국내 해안염습지에 자생하는 염생 식물 중 내염성이 강하고 약리효과가 있는 번행초를 고소득 대체 작물로 개발 및 제염단계에 따른 밭작물로 도입하기 위한 연구 중 하나로 토성 및 염 농도에 따른 생육특성을 확인하고자 본 연구를 실시하였다

II. 재료 및 방법

1. 번행초 수집

본 연구의 식물재료인 번행초 수집을 위해 2010년 4월부터 5월까지 서남해안 일대, 동해안 및 제주도의 해안가 및 사구 지역 등 총 12 지역에서 유식물체 상태의 번행초 59개체 또는 종자를 수집하였다(Fig. 1). 습도 유지와 수분스트레스 감소를 위해 plastic bag에 물을 넣고 아이스박스에 냉장 보관하여 실험실로 운반한 뒤 유식물체는 온실 내 화분에 이식을 하였고 종자는 자연 풍건 후 사용할 때까지 4°C 냉장고에 보관하였다.

2. 자생지 토양 특성 분석

2010년 4월부터 5월까지 수집한 번행초 자생지의 토양

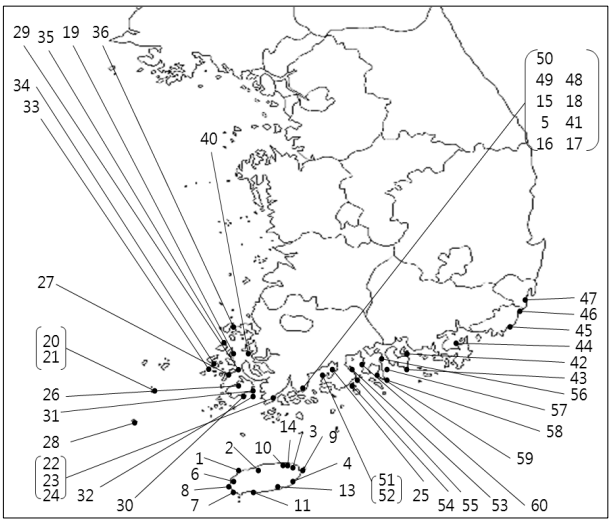

Fig. 1. Collection locations of New Zealand spinach ecotypes native to Korea.

특성 분석을 위해 번행초와 함께 토양을 500 g씩 수집하였다. 전체 수집지의 토양 수집을 목표로 하였으나 암반 및 자갈 지역에서 자생하는 번행초의 토양은 제외하고 수집하여 분석에 이용하였다(Table 1). 수집한 토양을 60°C 건조기에서 72 시간 건조시킨 후 불순물을 제거한 후 농촌진흥청 토양분석 매뉴얼에 따라 pH, 유기물 함량(g/kg), 총 인 함량(mg/kg), 치환성 염기(meq/100 g), EC(dS/m) 및 양이온 치환용량(cmol/kg)을 분석하였다(Table 1).

3. 토성별 생육반응

토성별 번행초의 생육 반응을 알아보고자 바닷가(전남 신안군 압해면 송공리 해송림), 일반경작지의 밭(전남 신안군 압해면 송공리 간척지밭)과 논(전남 신안군 압해면 송공

Table 1. Analysis of 32 samples of habitat soil where New Zealand spinaches native to Korea were growing.

Accession no.	Collection location	pH	O.M (g/kg)	P (mg/kg)	Exchangeable base (meq/100 g)			EC (dS/m)	CEC (cmol/kg)
					K	Ca	Mg		
1	Jeju Island	6.8	47.0	283.0	1.0	12.0	5.5	1.5	21.7
2		7.5	46.0	167.2	1.3	12.5	4.1	3.4	17.9
3		6.7	48.0	98.5	1.3	13.0	8.3	2.6	26.9
6		7.6	46.0	505.2	0.9	13.3	5.5	2.1	19.7
7		7.1	39.0	37.1	1.7	10.4	3.9	2.4	17.3
9		8.8	14.0	10.2	0.4	6.4	2.1	1.1	8.9
10		7.4	52.0	221.7	1.0	18.0	7.1	2.9	26.1
11		7.1	42.0	104.4	1.0	10.4	3.5	3.6	15.4
12		7.8	46.0	308.7	1.5	12.0	3.0	2.2	16.5
13		6.8	49.0	50.8	2.1	15.3	6.3	5.0	25.1
14		6.1	48.0	339.8	1.1	12.0	1.9	3.0	19.6
25	Jeonnam Boseong-gun	6.9	45.0	236.3	0.8	5.2	3.8	1.4	12.4
26	Jeonnam Jindo-gun	6.6	45.0	61.4	0.6	8.1	2.3	1.3	14.0
27		7.2	45.0	81.5	0.8	7.0	5.1	1.3	16.4
29		8.8	37.0	17.9	0.1	11.4	0.2	0.4	11.8
31		7.7	29.0	147.0	0.7	8.1	2.6	2.6	11.4
33	Jeonnam Sinan-gun	6.0	15.0	35.3	0.2	3.0	0.6	0.2	6.8
34		8.1	9.0	48.1	0.3	4.4	0.4	0.4	5.9
35		7.3	3.0	15.1	0.1	1.5	0.3	0.9	3.4
36		8.7	5.0	31.6	0.2	3.7	0.2	0.3	5.0
37		8.1	9.0	19.7	0.5	4.0	0.4	0.4	5.5
38		6.5	36.0	1691.9	0.9	7.0	2.5	1.2	13.6
40		7.1	46.0	106.3	0.7	14.6	7.1	3.2	22.5
48	Jeonnam Wando-gun	5.3	49.0	200.1	0.6	11.3	3.9	1.7	25.1
49		4.4	46.0	981.5	0.4	7.1	1.5	1.9	19.1
50		7.3	4.0	30.2	0.1	2.2	0.1	0.3	4.6
51	Jeonnam Jangheung-gun	6.3	48.0	154.3	0.9	24.4	8.8	3.3	38.9
52		8.6	20.0	21.1	0.2	9.1	0.7	2.5	10.0
53	Jeonnam Goheung-gun	8.2	5.0	24.3	0.2	6.6	0.8	0.7	7.7
54		8.1	22.0	101.2	0.6	11.3	2.5	1.3	14.3
55		7.5	44.0	300.9	0.6	11.2	1.2	0.6	13.2
56	Jeonnam Yeosu-si	6.0	50.0	299.1	0.7	23.4	7.8	2.9	38.6
	Mean	7.2	34.0	210.4	0.7	10.0	3.2	1.8	16.1

Table 2. Determination of soil texture from different soil sources.

Soil source	Component percentage (%)			Texture
	Sand[z]	Silt	Clay	
Seashore soil	94.6	4.1	1.4	Sandy soil
Upland soil	22.2	66.6	11.1	Silt loam soil
Paddy soil	72.3	25.3	2.4	Sandy loam soil

[z]sand: (sand depth/total depth)×100, silt: (silt depth/total depth)×100, clay: (clay depth/total depth)×100.

리 간척지논)에서 확보한 토양을 기초로 Water jar method를 이용해서 수집토양의 사토, 미사토 및 식토의 함량 비율(%)을 계산한 뒤 미국 농무성법(USDA)이 정하는 12가지 토성 분류에 따라 분류하였다(Carrow와 Rieke, 1998). 12가지 형태의 토성을 보이는 토성삼각도를 기준으로 확인한 결과 바닷가 토양은 사질토, 밭흙은 미사질양토, 논흙은 사양토로 분류되었다(Table 2). 번행초의 토성별 생육반응 조사를 위해 본 실험에서는 종자량이 풍부한 완도군에서 수집한 자생 번행초를 이용하였다. 균일한 유묘를 실험에 이용하기 위하여 우선 수집 종자를 유묘용 상토에 파종하였고, 유식물체가 4~5엽기 때 사토, 미사질 양토, 사양토를 각 500 g 씩 첨가한 직경 15 cm pot에 이식하였다. 모든 실험은 목포대학교 비닐 온실에서 최저온도 20°C, 최고온도 35°C에서 자동관수 시스템을 이용하여 매일 오전에 30분간 관수하였고, 3주 간 활착 시킨 후 10주 간 생육시키면서 초장, 근장, 생체중, 건물중, 엽수, 엽폭, 엽장 및 측지수를 조사하였다. 엽폭과 엽장은 식물체 줄기 끝으로부터 완전히 전개한 3번째 어린 잎을 선정하여 측정하였다.

4. 염 처리에 따른 생육 반응

번행초는 해안가의 바위틈이나 사구지역에서 자생하고 있는 것으로 보아 해수의 염분이 번행초의 생육에 직접 또는 간접적으로 관여할 것으로 예측되어 바닷물을 인위적으로 공급하여 번행초의 생육반응을 검정하였다. 번행초의 염분 농도에 대한 반응은 목포대학교 비닐온실에서 토성별 생육 특성에서 사용한 번행초와 동일한 유전자원을 이용하여 사경재배(모래 토양) 방법으로 4 주간 활착 시킨 후 온실에서 최저온도 20°C, 최고온도 35°C에서 주 3회씩 5분간 침지하여 염 처리를 실시하였다.

염처리 방법은 일주일에 3회씩 희석 바닷물을 전기 펌프를 이용하여 화분 토양의 1 cm 높이까지 공급하여 5 분간 침지처리 하여 목표한 염분 수준의 달성과 거듭된 해수 공급으로 인한 화분 내 염류집적 문제를 해결하였다. 염 스트레스를 피하기 위하여 활착 후 대조구를 제외한 전체 처리구에 25%의 바닷물을 희석한 물로 상기의 방법처럼 펌프를 이용하여 저면관수 하였고, 이후 4일 간격으로 25%씩 농도를 점차적으로 증가시켜 최종 바닷물 100%까지 처리하였다. 처리 후 7주 간 생육시키면서 초장, 근장, 생체중, 건물중, 엽수, 엽폭, 엽장 및 측지수를 조사하였다. 대조구는 일반 수돗물을 처리하여 생육 특성을 비교하였다.

5. 처리용액의 전기전도도(EC) 및 무기물 측정

EC는 염 처리 후 7일 간격으로 Portable conductivity meter(Villeurbanne, France)를 이용하여 측정하였고, 실험 전체기간(7주)의 측정값을 평균한 결과, 0%(수돗물) 처리구는 0.6 dS/m, 바닷물 25% 희석용액은 16.0 dS/m, 바닷물 50% 희석용액은 27.5 dS/m, 바닷물 75% 희석용액은 39.9 dS/m 및 바닷물 100%는 52.4 dS/m로 조사되었다. 최종 실험 종료 후 염 처리한 번행초의 잎을 대상으로 Ca, Mg, K, Na 등의 무기이온 함량을 조사하였다. 염 처리한 번행초 잎을 채취하여 70°C로 완전히 건조시킨 다음 고운 입자로 분쇄하여 습기가 들어가지 않도록 진공 포장 상태로 보관하였다. 분쇄한 번행초 잎 1 g에 HNO_3 15 $\mu\ell$를 처리하고 상온에서 1시간 반응시킨 후 75°C의 교반기에서 잘 흔들어 주면서 30분 간 반응 시켰다. 촉매제 역할을 하는 H_2O_2를 두 방울 정도 처리한 후 15분 간격으로 발색 여부를 확인한 다음 유도 결합 플라즈마 원자방출분광기(ICP-OES: Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer, Kleve, Deutschland)를 이용하여 조사하였다.

6. 통계분석

번행초의 염도 및 토성에 대한 생육 반응의 차이를 통계처리하기 위하여 SPSS ver. 19.0을 이용하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA) 방법을 실시하였고 Duncan's

multiple range test로 평균간 차이를 비교하였다. 염에 대한 반응은 4반복으로, 토성에 대한 실험은 5반복으로 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

동해안 영덕 해안 일대에서부터 해안선을 따라 남해안과 서해안, 제주 해안 등을 조사하여 총 59점의 번행초를 수집하였다(Fig. 1). 산림청의 국립수목원 번행초 채집 표본을 기준으로 하면 전라남도 완도, 신안, 여수를 시작으로 남해안의 통영, 사천, 동해안에는 울릉, 영덕, 포항 등 골고루 분포할 것으로 예상하였으나 실제 채집 결과 서남해안과 제주도에서 대부분 채집이 가능하였고, 동해안 쪽에서는 부산 기장과 울산광역시 울주를 제외한 다른 곳에서는 자생 번행초를 채집할 수 없었다. 번행초는 해안 정조선 위의 해빈 상층부와 배후에 퇴적되어 형성된 사구성 해안에 군락을 이루는 것으로 알려져 있으나(Myeong 등, 2011), 우리나라 해안은 대부분 항만이나 해수욕장, 방조제 간척사업 등으로 개발되거나 혹은 이로 인하여 해안 식생의 변화가 일어난 것으로 추정되며 특히 전라도 지역과 제주도 지역의 해안 사구 및 해안 지역의 개발이 동해안에 비하여 미진하여 부분적 군락이 유지될 수 있었을 것으로 추정된다.

번행초와 함께 수집해 온 자생지 토양 중 제주 11지역, 전남 보성 1지역, 진도 4지역, 신안 7지역, 완도 3지역, 장흥 2지역, 고흥 3지역 및 여수 1 지역 등 총 32곳에서 수집한 토양을 풍건 후 농진청 토양분석법에 따라 토양 분석을 실시하였다(Tabel 1). 그 결과, pH는 조사 토양 평균 7.2였고 4.4~8.8 범위로 산성에서 알칼리성 범위까지 번행초는 토양 산성도가 다양한 토양에서 자생하는 것을 알게 되었다. 우리나라 주요 밭토양의 산성도가 5.7 정도라는 점(Cho 등, 2002)을 감안한다면 번행초는 그보다 산성도가 높거나 낮은 토양에서도 적절히 생육할 수 있을 것으로 기대된다. 자생지 토양 내 유기물 함량 역시 최저 3.0에서 최고 52.0 g/kg 범위에서 평균 34.0 g/kg으로 지역에 따라 다양하게 나타났다. 특히 전남 신안과 완도, 고흥 일부에서는 매우 낮게 나타나 척박한 토양에서도 자생하는 것을 확인할 수 있었다. 일반 밭 토양의 유기물 함량이 약 20 g/kg인 것(Cho 등, 2002)을 기준으로 보면 간척지와 같이 유기물 함량이 적은 토양을 객토하여 조성하는 경우에도 번행초의 작물화 도입이 가능할 것으로 여겨진다. 치환성 염기이온의 함량은 평균값을 기준으로 볼 때 Ca 〉 Mg 〉 K의 순으로 높았고, 이는 자생지 대부분이 해안의 해수가 진입하는 지역이어서 바닷물 속의 양이온 성분의 영향이 큰 것으로 판단된다. EC 범위 역시 0.22~5.0 dS/m로 다양한 염류농도의 토양조건에서 번행초가 생육하고 있음을 확인하였다. 특히, 양이온 치환용량이 밭 토양 기준에 미치지 못하는 토양과 염류가 높은 토양환경에서도 생육이 가능함을 확인하였다.

토성에 따른 번행초의 생육 특성을 확인한 결과 미사질양토에서 초장과 뿌리 생육이 제일 양호하였고, 다음으로 사양토와 사질토 순으로 높았다(Table 3). 잎(수, 길이, 폭)과 가지 수를 측정한 결과 잎의 폭은 토성에 따른 차이가 없으나 엽수는 사질양토에서, 잎의 길이는 미사질양토에서 유의적으로 높게 나타났다. 측지수는 미사질양토와 사양토에서 공통적으로 사질토에 비하여 많이 발생하는 것을 알 수 있었다(Table 4). 실험 종료시에 실험재료를 모두 굴취하여 지상부와 지하부를 포함한 생체중과 건물중을 측정한 결과 미사질양토와 사양토에서 생육한 번행초가 양호하였다(Table 5). 이는 수집한 미사질양토와 사양토는 일반 경작지에서 직접 채취한 것으로서 축적된 유기물들과 비료성분으로 인해 모래 토양에 비해 생육이 양호하게 나타난 것으로 보이며, 또한 사토가 미사질양토와 사양토에 비해 상

Table 3. Plant height and root length measured at the beginning and end (13 WAT) of the experiment treated with different soil texture.

Soil texture	Plant height (cm)		Root length (cm)	
	0 WAT[z]	13 WAT	0 WAT	13 WAT
Sandy	2.3b[y]	18.9c	8.9a	21.0b
Silt loam	2.5ab	41.1a	7.3b	24.0a
Sandy loam	2.9a	33.7b	7.2b	20.3b

[z]WAT: week after transplanting.
[y]Mean separation within columns by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at P=0.05.

대적으로 보수력과 보비력이 낮기 때문이라 판단된다. 이는 대부분 자생지 토양이 해안가 사토임을 감안할 때 토성에 따른 수분 및 양분 보유력이 생육에 중요한 영향요인이 되는 것으로 판단된다. 밭 작물화 도입을 위한 간척지의 토양의 활용 면에서 볼 때, 해안가의 모래 토양보다는 실제 간척지의 토성과 유사한 사양토 또는 밭 토양과 같은 미사질 양토의 토성을 가진 토양 재료를 이용하여 복토하는 경우 번행초의 재배에는 무리가 없을 것으로 판단되고, 사질토를 이용하는 경우에는 추가적인 시비조건(시비량, 시비시기 및 간격 등)의 구명이 필요할 것으로 사료된다. 한편 번행초 수량지표(생체중과 건물중)와 각각 측정 생육지표간의 상관관계를 알아본 결과 생체중에 미치는 피어슨 상관계수(r) 값은 가지수(r=0.99) 〉 초장(r=0.94) 〉 엽수(r=0.89) 순으로 높게 나타났고, 건물중과의 상관계수 값도 역시 가지수(r=0.99) 〉 초장(r=0.97) 〉 엽수(r=0.84) 순으로 높았다. 따라서 식용부위에 따른 차이가 있겠지만 지상부 전체를 활용하는 경우는 가지수가 많거나 키가 큰 번행초 유전자원 또는 품종의 선택이 요망되고, 생채용 샐러드로 이용하는 경우는 잎의 수가 많은 품종이 유리할 것으로 판단된다.

염류토양에 대한 번행초의 생육반응을 알아보기 위해 물빠짐이 양호한 사질토에 번행초를 이식한 후 바닷물을 희석하여 전기전도도(EC) 값이 16.0 dS/m, 27.5 dS/m, 39.9 dS/m, 52.4 dS/m로 희석한 물과 담수(수돗물, 0.6 dS/m)를 주 3회 관수하며 특성을 조사하였다. 염도가 다른 희석 바닷물을 7주 간 처리한 후 초장은 바닷물의 농도가 높을수록 유의적인 감소를 보였으며 수돗물을 처리한 대조구에 비해 50%이상 지상부 높이가 감소하는 결과를 보였다(Table 6). 뿌리길이는 대조구에 비해 약 30～40% 정도 생육이 감소하였지만 16 dS/m 처리구를 제외하고는 유의한 차이를 보이지 않았다. 한편 바닷물 25%를 희석한 처리

Table 4. Leaf number, leaf length, leaf width, and lateral branch number measured at the end (13 weeks after transplanting) of the experiment treated with different soil texture.

Soil texture	Leaf number	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Lateral branch number
Sandy	2.2c[z]	4.0b	2.4a	3.2b
Silt loam	15.0b	4.8a	2.6a	9.4a
Sandy loam	26.6a	3.5b	2.3a	8.6a

[z]Mean separation within columns by DMRT at P=0.05.

Table 5. Fresh weight and dry weight measured at the end (13 weeks after transplanting) of the experiment treated with different soil texture.

Soil texture	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
Sandy	12.4b[z]	1.9b
Silt loam	40.4a	7.8a
Sandy loam	41.1a	7.3a

[z]Mean separation within columns by DMRT at P=0.05.

Table 6. Plant height and root length measured at the beginning and end (7 weeks after transplanting) of the experiment treated with different salinity.

Salinity (dilution percentage)[z]	Plant height (cm)		Root length (cm)	
	0 WAT[y]	7 WAT	0 WAT	7 WAT
0.6 (0)	2.1c[x]	41.5a	8.6a	17.5a
16.0 (25)	2.3bc	16.3b	7.8ab	9.3b
27.5 (50)	2.6ab	14.0b	7.9ab	12.3ab
39.9 (75)	2.8a	15.5b	7.1b	13.3ab
52.4 (100)	2.6ab	12.8b	6.9b	12.2ab

[z]Mean electrical conductivity of irrigation water (dS/m) and sea water dilution (%) to tap water (control).
[y]WAT: week after transplanting.
[x]Mean separation within columns by DMRT at P=0.05.

Table 7. Fresh weight and dry weight measured at the end (7 weeks after transplanting) of the experiment treated with different salinity.

Salinity (dilution percentage)[z]	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
0.6 (0)	39.9a[y]	5.9a
16.0 (25)	16.7b	3.2b
27.5 (50)	20.6b	3.1b
39.9 (75)	23.2b	4.4ab
52.4 (100)	10.3b	3.3b

[z]Mean electrical conductivity of irrigation water (dS/m) and sea water dilution (%) to tap water (control).
[y]Mean separation within columns by DMRT at P=0.05.

Table 8. Leaf number, leaf length, leaf width, and lateral branch number measured at 4 weeks after transplanting during the experiment.

Salinity (dilution percentage)[z]	Leaf number	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Lateral branch number
0.6 (0)	22.8a[y]	5.7a	3.1ab	7.3ab
16.0 (25)	16.5b	5.3a	2.9b	9.5a
27.5 (50)	8.5bc	4.8a	3.0ab	7.3ab
39.9 (75)	4.8c	5.5a	3.7a	7.0ab
52.4 (100)	4.8c	-	-	3.5b

[z]Mean electrical conductivity of irrigation water (dS/m) and sea water dilution (%) to tap water (control).
[y]Mean separation within columns by DMRT at P=0.05.

구(16.0 dS/m)에서 많은 감소를 보인 것은 실험에 이용한 재료가 균일하지 못한 이유 때문일 것으로 판단되어 염도가 번행초 뿌리의 생육에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 보인다. 생체중과 건물중 역시 대조구에 비해 염분 처리구에서 감소되는 것을 알 수 있었다(Table 7). 이상의 염도에 따른 생육반응 현상은 기존 염생식물들의 반응과 달리 지속적인 감소를 보였으나 NaCl을 이용한 실험에서는 번행초는 50 mM(약 0.3%), 즉 약 5.4 dS/m까지 오히려 생육이 증가한다고 보고한 바 있다(Yousif 등, 2010). 본 실험에서는 최저 해수 희석 처리구(25% 바닷물 희석=16.0 dS/m)가 위 보고에서 최대 생육을 보이는 25 mM NaCl 염도보다 높기 때문에 염처리 범위를 대부분 작물의 간척지 토양의 생육한계 염도인 1%(약 15.9 dS/m)까지 낮추어 조사해 볼 필요가 있을 것이다. 또한 번행초의 채소 작물로서의 재배 가능성을 볼 때 가치 평가는 수량성이라고 할 수 있겠다. 따라서 염 처리 후 수량과 관련 있는 엽수, 엽장, 엽폭 및 측지수를 측정한 결과 엽수는 대조구에 비해 30~80%정도의 수량 감소를 보였으며, 바닷물의 EC가 39.9 dS/m와 52.4 dS/m 인 처리구에서 급격하게 감소하였다. 엽장과 엽폭은 크게 차이가 없었으나 EC 52.4 dS/m 처리구에서는 조사 전 잎이 고사하여 측정할 수 없었다. 엽수와 관련이 있는 측지수는 대조구보다 오히려 바닷물 EC가 16.0 dS/m

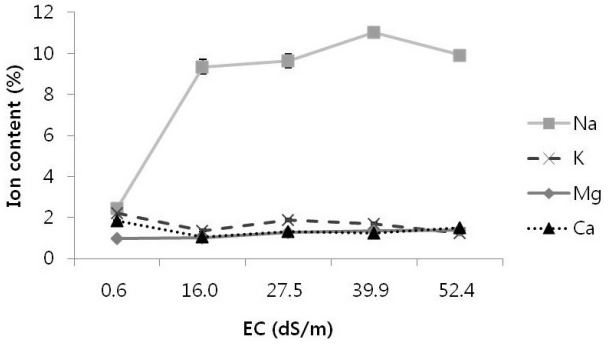

Fig. 2. Mineral content absorbed by New Zealand spinach irrigated with different salinity.

처리구에서 수량이 증가하는 것을 확인하였으며, 대조구 대비 바닷물 100% 희석액(52.4 dS/m)을 제외하고는 전체 바닷물 처리구와의 유의성은 없었다(Table 8). 이러한 결과는 염 조건에서 번행초의 바이오매스 생산은 감소하나, 잎의 건물량은 증가하고, 종자의 생산량은 감소하며, 줄기나 뿌리의 건물량은 일정하게 유지되는데 이는 번행초가 염을 각 기관마다 다르게 저장하며 생식과 관련된 시스템이 영양생장과 관련된 시스템보다 염에 더 민감하다는 보고와 일치하는 것으로 보인다(Neves 등, 2007).

또한 번행초의 염처리에 따른 무기이온 흡수율을 알아보기 위해 잎의 무기이온 함량을 조사하였다(Fig. 2). 조사된

번행초 잎에서의 나트륨 함량은 대조구에서 가장 낮았고 바닷물 EC가 39.9 dS/m 인 처리구에서 가장 높게 나타났다. 칼륨과 칼슘의 함량은 대조구에서 가장 높았으며 염농도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 마그네슘 함량은 대조구에서 가장 낮게 나타났으나 바닷물 농도가 증가할수록 마그네슘 함량도 증가하였다(Fig. 2). 저농도 염 처리에서 생육이 가능하고 무기이온의 높은 흡수율 등으로 볼 때 일정기간 제염이 진행된 간척지 토양에서 직접적인 재배가 가능할 것으로 판단되며, 아울러 간척지 토양의 제염식물로서의 활용 가치가 있을 것으로 사료된다(Bekmirzaev 등, 2011). 번행초에서 다른 양이온에 비해 Na^+이온의 흡수율이 높게 나타난 것은 이전의 연구 결과와도 일치하는 경향을 나타낸다. Erdei 등(1980)에 의하면 내염성 식물의 염처리에 따른 생육은 생태학적 차이에 따라 다르게 나타나지만 Na^+ 은 뿌리보다 지상부에서 보다 많이 축적되며, 뿐만 아니라 K^+, Mg^{2+}, 그리고 Ca^{2+}과 같은 양이온은 NaCl의 농도가 높아질수록 뿌리와 지상부에서 모두 감소한다고 보고 하였다. 또한 K/Na비가 염해에 대한 식물의 저항성에 대한 간접적인 요인으로 규정하여 K/Na비가 높을수록 내염성이 낮아진다고 하였다. 또한 Flowers 등(1977)은 염생식물에서 염의 축적은 삼투조절을 통한 수분의 흡수기작과 밀접한 관련이 있어서 Na^+은 염생식물에 있어 필수요소이며 다량의 염을 축적할 수 있는 능력이 있으나 식물체내 저장하는 양이나 부위가 다르다고 하였다. 염의 농도가 증가할수록 Na^+의 흡수량은 증가하고 K^+과 Ca^{2+}의 흡수는 감소한다고 하였으며, 염의 농도비율이 낮아진다고 하였다(Greenway와 Munns, 1980).

IV. 결 론

본 연구는 해안 간척지에서의 농가소득 향상을 위한 대체 작물로 나물채소 등의 식용, 위 질환 관련 약용 및 당뇨 등 대사질환 기능성 제품 개발 목적의 소재로써 염생식물인 번행초를 이용한 밭 작물화 도입을 위한 정보를 확보하기 위하여 실시하였다. 이를 바탕으로 간척지의 유휴 토지를 이용한 번행초의 밭작물 기술 개발로 신약개발 산업 및 농가의 고소득 작물로의 가능성을 확인하고자 실시하였다.

주로 서남해안, 남동해안, 남해안 및 제주도 해안가 일대에서 자생하는 번행초를 59 개체 수집하였으며, 그 중 토양 수집이 가능한 32 곳 자생지의 생육 특성을 확인하고자 토양분석을 실시하였다. 그 결과 pH 4.4~8.8의 약산성부터 약알칼리성 토양까지의 범위에서 생육하고 있었으며, 특히 양이온치환용량이 일반 경작지보다 낮은 조건과 염류가 높은 토양 환경에서도 생육하고 있는 점을 확인하였다.

밭 작물 재배 기술 확립을 위해 사토, 미사질 양토, 사양토 및 바닷물의 희석비율을 달리한 염처리에 따른 생육반응을 조사한 결과, 일반 경작지의 토양인 미사질양토와 사양토에서 생육이 양호하게 나타났는데, 이는 일반경작지의 대체작물로의 재배도 가능하다고 할 수 있겠다. 번행초의 토성에 따른 수량 평가결과 이용목적에 따라 지상부 전체를 이용할 경우 가지수와 초장이 중요한 선발지표가 될 수 있고, 샐러드용 잎을 이용하는 경우는 잎 수가 높은 품종의 선택이 바람직 할 것으로 판단된다. 바닷물을 희석하여 전기전도도(EC)가 차이를 보이는 용액으로 처리한 결과 염 농도가 높아질수록 초장과 생체중 및 건물중은 감소를 보였고, 뿌리길이는 대조구에 비하여 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 염 처리 농도의 스펙트럼이 넓고 비교적 고농도로 진행되었다고 볼 수 있으므로 향후 저농도(최대 1%=약 16 dS/m)의 염 처리 범위 처리농도를 세분화하여 대조구와 생육을 다시 확인해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

지상부 잎의 Na, K, Mg, Ca등의 무기양분 함량을 조사한 결과 염 처리구에서 Na의 함량이 높게 나왔으며 상대적으로 K과 Ca은 염 처리구에서 감소하는 경향을 보였다. 본 실험과 기존 보고된 연구결과로 볼 때 자생지 생육 특성상 바닷물의 직·간접적인 영향을 받는 환경에서 적응해온 번행초는 어느 정도의 염 처리(NaCl 50 mM 또는 EC= 5.4 dS/m 수준)가 오히려 생육을 촉진 시킬 수도 있으며, 생육에 어느 정도 염류가 필요하다고 판단 할 수 있다. 번행초는 유전적으로 식물체내에 높은 무기이온을 흡수하는 것으로 나타났고, 특히 Na^+ 등의 높은 이온 흡수율을 보였으며 식물체내 유용 미네랄 함량을 위해서는 염처리가 효율적임을 알 수 있었다. 본 실험 결과 엽채류 수확 목적의 번행초 재배는 파종 후 2 개월 동안은 토양 염농도 1.0% 간척지에서도 충분히 가능하다는 것을 알 수 있었으며, 초기 간척지의 제염 및 소득 밭작물로 성공적인 도입을 기대해 볼 수 있겠다. 이는 간척지 조성 초기 토양 염분 농도로 인한 재배작물의 선택에서 유용한 작부체계의 대상이 될 수 있고 향후 제염작물과 농가의 고소득을 위한 식용, 약용 및 기능성 소재로서 번행초의 밭작물화에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 15대 어젠다 연구개발사업(과제번호: PJ007514)의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

Aoki T, Takagi K, Hirata T, Suga T. 1982. Two naturally occurring acyclic diterpene and norditerpene aldehydes from *Tetragonia tetragonoides*. Phytochemistry 21: 1361-1363.

Bar T, Schmidt RR. 1988. Glycosyl imidates, 35 synthesis of a cerebroside having a (4E.8E)-sphingadienine moiety from *Tetragonia tetragonoides* with antiulcerogenic activity. Liebigs Ann. Chem. 7: 669-674.

Bekmirzaev G, Beltrao J, Neves MA, Costa C. 2011. Climatical changes effects on the potential capacity of salt removing species. Int. J. Geology 5: 79-85.

Carrow RN, Rieke PE. 1998. Physical problems of turfgrass soils: identification and correction. Golf Course Superintendent Association of America, Lawrence, Kansas, USA.

Cho BH, Cho SJ, Park CS, Uhm DI, Kim MK, Kim SJ, Kim JJ, Kim HG, Kim HO, Yang CS, Yuk CS, Park SG. 2002. Soil science. Hyangmunsa, Seoul, Korea. pp.254-301 [in Korean]

Erdei L, Stuiver BEP, Kuiper PJC. 1980. The effect of salinity on lipid composition and on activity of Ca^{2+}- and Mg^{2+}-stimulated ATPases in salt-sensitive and salt-tolerant Plantago species. Physiol. Plantarum 49: 315-319.

Flowers TJ, Troke PF, Yeo AR. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. Annual Review of Plant Physiology 28: 89-121.

Gray M. 1997. A new species of *Tetragonia* (Aizoaceae) from arid Australia. Telopea 7(2): 119-127.

Greenway H, Munns R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Annual Review of Plant Physiology 31: 149-190.

Haase P. 1990. Potential plant genetic-resources of the New Zealand flora. Econ. Bot. 44: 503-515.

Hara M, Tokunaga K, Kuboi T. 2008. Isolation of a drought-responsive alkaline α-galactosidase gene from New Zealand spinach. Plant Biotechnol. 25: 497-501.

Jaworska G. 2005a. Nitrates, nitrites, and oxalates in products of spinach and New Zealand spinach - Effect of technological measures and storage time on the level of nitrates, nitrites, and oxalates in frozen and canned products of spinach and New Zealand spinach. Food Chem. 93: 395-401.

Jaworska G. 2005b. Content of nitrates, nitrites, and oxalates in New Zealand spinach. Food Chem. 89: 235-242.

Kato M, Takeda T, Ogihara Y, Shimizu M, Normura T, Tomita Y. 1985. Studies on the structure of polysaccharide from *Tetragonia tetragonioides*. I. Chem. Pharm. Bull. 33: 3675-3680.

Kim JH, Park SS, Song CK. 2008. Cultivation limit of *Vitex rotundifloia*, *Tetragonia tetragonoides* and *Glehnia littoralis* at coastal area and physiological vitality of RAW 264.7 cell and HL-60 cell. Kor. J. Medicinal Crop Sci. 16(1): 44-50. [in Korean]

Lee KB, Xu MG, Kim JD, Jung KY. 2006. Soil characteristics and utilization on reclaimed land in Jangsu province coastal region of China. Soc. Int. Agri. 18: 245-252.

Lee SH, Hong BD, An Y, Ro HM. 2003. Relation between growth condition of six upland-crops and soil salinity in reclaimed land. J. Kor Soc. Soil Sci. Fertil. 35: 66-71. [in Korean]

Lee SH, Yoo SH, Seol SI, An Y, Jung YS, Lee SM. 2000. Assessment of salt damage or upland-crops in dae-ho reclaimed soil. Kor. J. Environ. Agri. 19: 358-363. [in Korean]

Myeong HH, Lee JS, Jeon JY, Song MS. 2011. Study on creation method of green space for port ecosystem using the halophytes. J. Kor. Soc. Coastal Ocean Engineers 23(1): 50-56. [in Korean]

Neves MA, Miguel MG, Marques C, Panagopoulos T, Beltaro J. 2007. *Tetrgonia tetragonoides*-a potential salt removing species. Response to the combined effects of salts and calcium. Proc. of the 3rd IASME/WSEAS Int. Conf. on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development. pp.60-64.

Okuyama E, Yamazaki M. 1983. The principles of *Tetragonia tetragonoides* having an anti-ulcerogenic activity. I. Isolation and identification of sterylglucoside mixture (compound A). Yakugaku Zasshi 103(1): 43-48. [in Japanese]

Seo DU, Jeon GY, Kim HT, Song JD. 2010. Construction of environmental-friendly infrastructure in Saemangeum reclaimed land. KGI Fall national conference pp. 9-10. [in Korean]

Yousif BS, Nguyen NT, Fukuda Y, Hakata H, Okamoto Y, Masaoka Y, Saneoka H. 2010. Effect of salinity on growth, mineral composition, photosynthesis and water relations of two vegetable crops; New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonoides*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*). Int J Agric. Biol. 12: 211-216.