

서해안 염생식물 통통마디와 염습지의 중금속 축적

송우람 · 홍준의¹⁾ · 안지현¹⁾ · 정지수¹⁾ · 문정원¹⁾ · 임정현¹⁾ · 이은주*

서울대학교 생명과학부, ¹⁾한성과학고등학교

(2010년 12월 17일 접수; 2011년 1월 25일 수정; 2011년 2월 22일 채택)

Heavy Metal Accumulation in Halophyte *Salicornia europaea* and Salt Marsh in West-coast of Korea

Uhram Song, Jun Euy Hong¹⁾, Ji Hyun An¹⁾, Ji Sue Chung¹⁾, Jeong Won Moon¹⁾,
Jeong Hyun Lim¹⁾, Eun Ju Lee*

School of Biological Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

¹⁾Hansung Science High School, Seoul 120-080, Korea

(Manuscript received 17 December, 2010; revised 25 January, 2011; accepted 2 February, 2011)

Abstract

Harvesting of marshfire glasswort (*Salicornia europaea*) by local people has been increased recently since this plant was known for a well-being food. Even though some harvesting sites are facing high risk of environmental pollution, *Salicornia europaea* is still harvested on a large scale. Therefore, to investigate safety of *Salicornia europaea* as a food resource, salt marsh environment, potential harvestable biomass, element and heavy metal accumulations in *Salicornia europaea* has been studied in three salt marshes, west-coast of Korea. *Salicornia europaea* showed 150 - 230g/m²/yr harvestable biomass. Biomass and nitrogen contents of *Salicornia europaea* were closely related to soil nitrogen and carbon concentrations. Average Na, Zn, Fe, Cr accumulations in *Salicornia europaea* were 41479, 18, 297, 1.5 (mg/kg), indicating valuable trace element contents. However, average heavy metal accumulations such as As, Cd, Cu, Pb, Hg accumulations were 1.5, 7.1, 4.2, 1.5, 0.1 (mg/kg), which were even or higher than national standards (0.5, 0.5, 2, 2, 0.1) of salts. These results imply that harvesting and eating of *Salicornia europaea* in west-coast research sites would be harmful because the contents would be much higher if it is calculated as only considering salts and minerals. Therefore, harvesting of *Salicornia europaea* from some salt marsh in west-coast of Korea should be done cautiously.

Key Words : *Salicornia europaea*, Food safety, Salt marsh, Heavy metal, West-coast

1. 서론

우리나라의 서해안은 해안선이 복잡하고 넓은 규모의 간석지가 분포하고 있다. 이러한 토양 염분농도

가 높은 토양에 서식하는 식물을 염생식물이라고 한다. 통통마디(*Salicornia europaea* L.)는 명아주과에 속하는 일년생 식물로 칠면초(*Suaeda japonica* Makino), 나문재(*Suaeda glauca* BGE) 등과 함께 우리나라의 대표적인 염생식물이다(Kim, 2010). 통통마디는 바닷물이 닿는 토양에 사는 일년생 초로 높이가 10-30 cm이다. 원추형이고 원줄기가 짙은 녹색이며 두드러진 마디가 많고 할으면 짠 맛이 난다(Lee, 1980). 또한 통통마디

*Corresponding author : Eun Ju Lee, School of Biological Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea
Phone: +82-2-880-6673
E-mail: ejlee@snu.ac.kr

는 다육질의 굵고 통통한 구조로 자라며 가을에는 색이 점점 붉어진다. 통통마디는 염 축적형 식물로, 흡수된 염을 액포에 저장하고 식물체내 수분량을 증가시켜 희석효과를 통하여 염 스트레스에 대한 내성을 갖는 것으로 알려져 있다(Breckle, 1990). 이러한 특성 때문에 통통마디는 식물체 내에 많은 염을 저장하고 있으며 이에 따라 짠 맛이 나는 것이다.

그런데 최근에는 이러한 통통마디의 특성을 살려 소금 및 식품첨가물의 원료로 널리 이용되고 있다. 통통마디에서 유기 미네랄을 추출해 식물 소금을 개발하여 미네랄이 아미노산, 효소 등의 유기영양소와 착물(complex) 형태로 결합된 소금을 국내 벤처 기업이 개발하였고(Gu, 2008), 전라남도의 경우 통통마디(함초)의 산업화 연구를 위한 기술혁신(R&D) 사업에 본격 착수하여 2008년부터 2012년까지 88억원을 투입하여 통통마디의 기능적인 우수성을 입증하고 더 나아가 이 자원을 활용할 수 있는 고부가가치 원천기술을 개발하는 노력을 하고 있다(Park, 2007). 또한 근래에는 청소년들이 많이 먹는 도너츠에 통통마디를 넣은 제품이 개발되면서 갖가지 미네랄 성분을 농축, 함유하고 있다는 점이 홍보되고 있다. 나아가 숙변과 변비를 해결해 다이어트에 좋으며 혈액 속의 콜레스테롤과 중성지방질을 제거하는 효과와 함께 혈액순환을 좋게 하는 효과가 있다고 홍보 기사(Kim, 2007)에 나오기도 한다. 이러한 점에 의하여 함초와 관련된 제품을 파는 곳도 많이 나타나고 있다(Dae Shin, 2010; You gi, 2010). 2010년 11월 현재 국내 한 포털 사이트에서 함초로 검색을 하면 25개 이상의 함초 판매 사이트가 검색이 된다.

이처럼 함초에 대한 효능이 널리 알려지면서 일반인의 관심이 늘어나고 이에 따라 사람들이 직접 함초를 채취하여 사용하는 경우가 늘고 있다. 2008-2009년 동안 통통마디 서식지 지역을 조사하면서 대부도와 영종도의 경우 통통마디를 채취하는 광경을 쉽게 목격 할 수 있었다. 대부도의 경우 지속적으로 채취가 이루어지고 있으며 조직적인 채취도 이루어지고 있다. 또한 영종도에서도 채취가 이루어지는 것이 자주 목격되었다. 실질적으로 수도권 근처에서 군락을 이루고 있는 통통마디 서식지는 이 지역에서만 발견되었는데 (접근이 통제되고 있는 인천 서구 경서동 수도

권매립지 제외) 이런 지역들은 현재 일반인들에 의한 채취가 지속적으로 이루어지고 있다. 하지만 이 지역들의 경우 염습지 토양의 안정성과 거기서 자란 통통마디의 유해물질 함량이 현재 알려진 바가 없다. 특히 대부도 지역의 경우 시화 방조제 안쪽 호수 내측에서 높은 중금속 함유량을 보이는 곳들이 있고(Hong 등, 2005; Kim 등, 2005) 주변에 시화공단이 있으며 조력발전소 및 공단이 지속적으로 건설 중이어서 오염의 우려가 있는 지역이다. 영종도 지역의 경우 기존 연구 내용은 없지만 통통마디 채취가 이루어지는 곳이 공항북로 제방 변에 위치하고 있는데, 도로 및 배수 시설이 건설된 지역으로 통통마디를 채취하여 식용으로 사용하기엔 부적합한 환경으로 여겨졌다. 또한 이 지역은 공항북로 주변의 배수가 이루어지는 곳으로 최근에 영종도 국제 업무지역 개발로 인하여 비교적 많은 오염물질의 이동이 우려되는 상황이다. 이처럼 현재 통통마디의 수확이 일어나는 지역은 접근이 비교적 용이하고 수도권에서 가까운 지역인데, 이런 지역은 대부분 지리적 이점 때문에 개발 중이거나 주변에 공장이나 여러 시설이 들어서 있는 경우가 많다. 하지만 현실적으로는 이런 지역에서 지속적인 통통마디의 채취가 이루어지므로 이에 대한 안전성 조사가 이루어져야 할 것이다. 또한 통통마디에 대하여 기본적인 탄소 및 질소 함유량에 대한 연구가 없어 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 지속적으로 채취가 일어나는 수도권과 가까운 대부도와 영종도 그리고 채취가 일어나는 곳이지만 비교적 수도권에서 먼 충남 태안의 이원방조제 지역에서 통통마디와 염습지 토양 샘플을 채집하여 기본적인 성분 및 중금속 축적을 조사하였다. 이를 통하여 세 곳의 조사지역에 자라는 통통마디의 기본적인 성분과 식용 안정성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구지역 개요

연구 조사지는 현재 통통마디의 채취가 일어나고 있는 서해안에 위치한 대표적인 세 곳에서 실시하였다. 각 조사지의 특징은 아래와 같다.

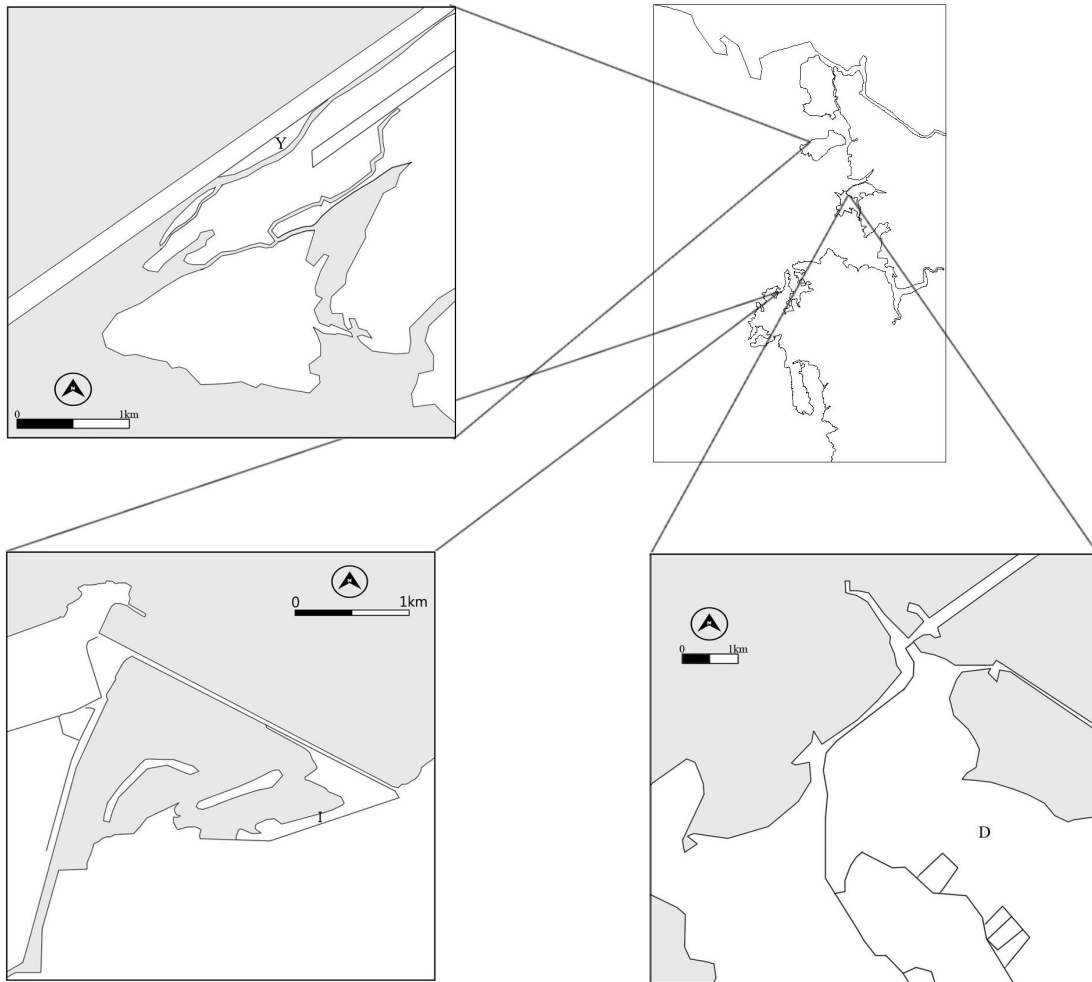


Fig. 1. Maps of all research sites and their locations in Korea (From top left to counter clockwise; Y: Yeongjong-do, I: Iwon seawall, D: Daebu-do, Research site location). Capital letters show sampling sites.

대부도 (Daebu-do)

경기도 안산시 단원구 대부도 입구 지역 동쪽에 위치하고 있으며 시화호와 인접해 있다. 넓은 초지에 통통마디가 중간 중간 군락을 이루고 있으며 칠면초 및 갈대 군락도 산재하여 있다. 지속적인 수확이 이루어지고 있으며 가장 많은 수확이 이루어지는 곳이다. 많은 수확이 확인된, 시화호를 중심으로 남서쪽 간척지를(Fig. 1) 연구 지역으로 선정하였다(37° 16' 43" N, 126° 35' 03" E).

영종도 (Yeongjong-do)

인천광역시 중구 영종도 공항북로 제방 변에 위치하고 있으며 간척담수호로 주변 지역의 물이 유입되는 지류가 지나가는 지역이다. 연구 지역은 간척 담수호로 물이 유입되는 소하천의 지류를 따라 500 m 정도 북동쪽으로 거슬러 올라간 지역을 선정하였다(Fig. 1). 비가 오면 주변의 물이 모두 모여 때때로 침수가 일어나는 지역으로 2010년 동안 적어도 2회 이상의 침수가 일어났다. 특징적으로 위성류(*Tamarix chinensis*

Lour.)가 자라고 있으며 위성류 주변에 통통마디가 모여 자라는 특징이 있다. 지속적인 수확이 이루어지고 있으나 대부도와는 달리 소규모로 수확이 이루어지고 있다(37° 29' 07" N, 126° 23' 59"E).

이원방조제 (Iwon seawall)

충청남도 태안군 이원면에 위치한 방조제 옆에 호수 주변으로 통통마디 서식지가 산재하여 있다. 비교적 통통마디 서식지는 작지만 다른 종에 비하여 통통마디의 우점도가 높은 편이며 소규모로 수확이 이루어지고 있다. 이원 방조제 중간 지점을 기준으로 호수를 건너 남동쪽 지역(Fig. 1)에 통통마디가 가장 밀집되어 있어서 연구 지역으로 선정하였다(36° 53' 49" N, 126° 16' 21" E).

2.2. 실험재료 및 분석방법

생물량 측정

수확량이 최대가 되는 가을 시기에 (이원방조제는 2010년 10월 4일에, 대부도와 영종도는 10월 6일)에 현지에서 통통마디를 샘플링하였다. 가을이 되어 통통마디 개체가 붉게 변하였지만 아직 개체의 건조 및 고사가 일어나지 않은 시기를 선택하였다. 50 cm x 50 cm 면적 내 통통마디를 모두 채취하여 (5 반복수) 건조기에서 50°C로 충분히 건조 시킨 뒤 건조량을 측정하여 m²당위로 환산하였다 (x4). 건조량 측정 후 통통마디는 이후 여러 분석 샘플로 사용하였다.

토양 및 통통마디의 전질소 (Total Nitrogen) 및 탄소 채집 후 음건한 토양(표층에서 5 cm 이내의 토양)과 통통마디는 막자사발을 이용하여 곱게 간 뒤 EA (Elemental Analyzer, Model: Flash EA 1112)로 분석하였다.

토양 및 통통마디의 중금속 및 치환성 양이온

건조된 1 g 토양과 식물을 60% HNO₃로 24시간 동안 전처리후 10 ml of 70% perchloric acid를 더하여 200°C로 용액이 맑아질 때까지 처리하였다. 이후 ICP (Inductively Coupled Plasma) Emission spectrometer (Model: ICPS-1000IV)로 분석하였다(Song, 2010).

토양 수분함량

토양 수분은 은 48시간 동안 105°C에서 건조하여 수분 함량을 측정하였다.

통계처리

실험을 통하여 얻어진 자료의 신뢰성 및 각 분석결과와의 상관관계는 SAS 9.1 프로그램을 사용하여 one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test for a post-hoc comparison (P < 0.05)으로 분석하였다(Song, 2010).

3. 결과 및 고찰

대상 지역의 염습지 토양 분석 결과 대부도와 영종도가 이원방조제 지역에 비하여 토양내 질소함량이 높았다 (Table 1). 탄소의 함량은 대부도가 다른 지역에 비하여 유의하게 높았는데, 이는 대부도 지역의 경우 식물의 피도가 높고 형성 된지 오래 되어서 (1994 완공) 그 동안 유기물층이 증가한 것으로 생각된다. 이원방조제의 경우 토양내 수분 함량과 질소 함량이 다른 지역에 비하여 낮았는데 이는 식물 생장이 다른 지역에 비하여 불리한 조건이 될 것으로 사료된다.

Table 1. Nitrogen, carbon and moisture contents of soils at three study sites

	N (%)	C (%)	Soil Moist (%)
Daebu-do	0.098±0.002 ^a	1.286±0.054 ^a	18.5±2.1 ^a
Yeongjong-do	0.093±0.003 ^a	0.904±0.024 ^b	17.4±3.4 ^a
Inwon seawall	0.065±0.002 ^b	0.857±0.054 ^b	13.1±2.4 ^b

The data are presented as the mean ± SE of four replicates. Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level.

Table 2. Nitrogen and carbon contents of *Salicornia europaea* at three study sites

	N (%)	C (%)
Daebu-do	1.78±0.05 ^a	40.15±0.28 ^a
Yeongjong-do	1.68±0.12 ^a	36.31±0.82 ^b
Iwon seawall	1.22±0.04 ^b	34.15±0.86 ^b

The data are presented as the mean ± SE of four replicates. Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level.

Table 2를 보면 이원방조제의 통통마디의 경우 다른 지역에 비하여 질소 함량이 유의하게 낮은 것을 알 수 있다. 이는 이원방조제의 경우 토양내 질소 함량도 낮고 토양수분 함량도 낮아서 (Table 1) 통통마디내 질소 함량이 그만큼 다른 지역에 비하여 낮게 나온 것으로 생각된다. 또한 세 지역 모두 통통마디의 탄소 함량이 35% 를 조금 밑돌거나 넘었기 때문에 일반적인 식물과 마찬가지로 대부분의 구성 물질은 탄수화물임을 짐작할 수 있다.

이러한 점은 단위면적당 생물량(수확량)에서도 그대로 나타나고 있다. Fig. 2 를 보면 대부도의 단위면적당 통통마디 생물량은 다른 지역에 비하여 유의하게 높은 것을 알 수 있다.

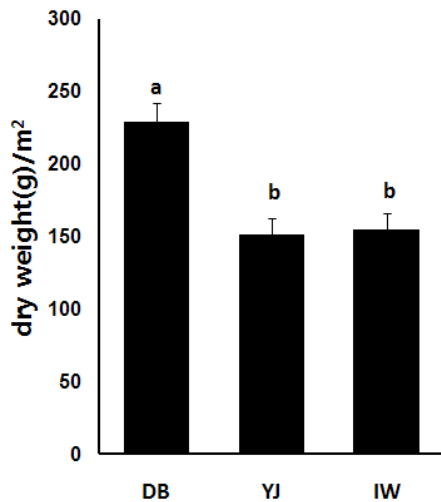


Fig. 2. Harvested biomass of *Salicornia europaea* (dry weight) per square meter.
*DB: Daebu-do, YJ: Yeongjong-do, IW: Iwon seawall

이는 대부도의 경우 토양내 질소와 탄소 및 수분 함량이 다른 지역에 비하여 높기 때문에 식물 생장에 유리한 조건이 형성되었기 때문으로 생각된다. 영종도의 경우 토양 조건은 좋았지만 여름철에 폭우가 내리면서 일부 지역이 침수되어 단위면적당 개체수가 줄었기 때문에 총 생물량이 줄은 것으로 보인다. 실제로 수확기에 10개의 방형구 (50 cm x 50 cm)에서 개체수를 조사한 결과 영종도는 19.6±1.4 로 다른 지역 (대부도 : 27.3±1.6, 이원방조제 : 28.5±1.4)에 비하여 개

체수가 비교적 적었으며 고사체가 많이 있었다. 2010년의 경우 다른 해에 비하여 강수량이 많았고 집중 호우와 늦여름 강수가 많았기 때문에 이러한 결과가 나타났다. 2010년 8월과 9월 영종도의 강수량은 각각 402.0 mm 와 438.5 mm로 이는 인천의 1970 -2000년 까지 30년 자료의 평균인 288.9 mm 와 126.5 mm 에 비하여 많다(KMA, 2010). 특히 9월의 강수량은 평년의 3배가 넘는 강수량을 보이고 있다. 영종도의 경우 다른 지역과 달리 연구 지역에 하천의 지류가 흐르고 있는데 이 하천이 범람하면서 침수 피해가 발생한 것이다. 실제로 연구 기간 중 9월 달에 연구 지역들에 대한 현장조사 결과 영종도의 경우 통통마디의 개체에 가지 중간 부분에도 침수로 인한 진흙이 묻어 있었다. 또한 통통마디 군락지 주변에 침수시 떠내려온 식물 고사체와 진흙이 발견되었다. 따라서 이러한 침수로 인하여 통통마디의 생물량이 줄어든 것으로 보인다. 침수 피해가 일부 지역에서 있음에도 불구하고 이 생물량은 결국 단위면적당 수확가능량을 나타내는 것으로 제곱미터당 건중량이 150 g 이상 되는 것은 통통마디가 키가 크지 않은 점을 감안할 때 적지 않은 생물량으로 보인다. 따라서 이들 지역에서 활발히 통통마디의 재추가 이루어지고 있는 것으로 보인다.

그러나 이들 조사 지역은 식물을 채취해 섭취하기엔 많은 문제점을 갖고 있다. 본 연구중에 여러 통통마디 재배 지역을 가 보았는데 청정한 이들 재배 지역과 달리 조사지역의 경우 중금속 축적이 우려되었다. 서론에서 자세히 언급한 것처럼 대부도 지역의 경우 시화호 오염과 주변 공단, 그리고 건설로 인한 오염이 우려되는 실정이다. 영종도 또한 도로에 인접하고 토목공사 지역의 배수가 이루어지는 지역이다. 이원방조제 또한 도로에 인접하고 주변에 큰 공장이 있으며 친환경 에너지 단지 건설이 이루어지고 있어서 주변에 오염원이 산재해 있는 실정이다.

이에 따라 식물과 토양 성분중에 나트륨은 가장 기본적으로 통통마디에 중요한 성분으로써, 그리고 아연, 철, 크롬은 양분 및 미량원소로도 이용되고 식약청이나 CODEX에서 중금속으로 분류하지 않지만, FAO/WHO 에서 섭취허용량을 제한하고 있고(Mok 등, 2005) 토양 오염 우려 기준이 명확하기 때문에(Lee 등, 2005) 분석 항목으로 지정하였다. 그리고 비소, 수은, 카드

Table 3. Cation contents (mg/kg) of soils at three study sites

	Na	Zn	Fe	Cr
Daebu-do	4562±807	71.8±8.7 ^a	27891±2307 ^a	30.5±2.5 ^a
Yeongjong-do	3639±127	18.7±0.9 ^b	8850±379 ^b	10.1±0.4 ^b
Iwon seawall	3798±1017	13.6±3.0 ^b	6425±1454 ^b	7.5±1.6 ^b

The data are presented as the mean ± SE of four replicates.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level.

Table 4. Heavy metal contents (mg/kg) of soils at three study sites

	As	Cd	Cu	Pb	Hg
Daebu-do	12.9±1.0 ^a	7.6±0.6 ^a	15.5±1.0 ^a	27891±2307 ^a	0.0±0.0
Yeongjong-do	2.3±0.1 ^b	0.3±0.1 ^b	2.7±0.2 ^b	8850±379 ^b	0.0±0.0
Iwon seawall	2.3±0.4 ^b	0.5±0.3 ^b	3.0±0.6 ^b	6425±1454 ^b	0.0±0.0

The data are presented as the mean ± SE of four replicates.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level.

뮴, 구리, 납은 주요 중금속으로 분석 항목으로 지정하였다.

Table 3을 보면 대부도와 영종도, 이원방조제 모두 다른 지역에 비하여 높은 나트륨(Na) 함유량을 보이고 있다. 간척지인 이들 특성이 반영된 것으로 보이며 통통마디가 서식하기에 유리한 조건임을 알 수 있다. 그리고 대부도의 철분 함량은 국내 평균인 4000 mg/kg에(Lee 등, 2005) 비하여 매우 높은 것으로 사료된다 [환경부 설정 토양오염 우려 기준 중 가 지역(지적법 제5조제1항의 규정에 의한 전·답·대·과수원·목장용지·임야·학교용지·하천·수도용지·공원·체육용지, 유원지, 종교용지, 유적지) 기준]. 크롬(Cr)의 경우 토양 오염 우려 기준인 4에 비하여 역시 대부도는 높게 나타나고 있다(Lee 등, 2005).

또한 Table 4에서 보듯이 비소(As)의 경우도 토양 오염 우려 기준인 6에(Lee 등, 2005) 비하여 높게 나타나고 있고(대부도), 카드뮴(Cd)도 기준치인 1.5에

비하여 높은 편을 보이고 있다. 구리(Cu)의 경우 기준치인 50에 비하여 낮은 값이지만 납(Pb)의 경우 오염 우려 기준치인 100에 비하여 매우 높게 나타나고 있다. 이처럼 세 곳의 조사지의 토양내 중금속 및 일부 원소의 함량이 높게 들어있기 때문에 이 지역에서 자란 식물, 특히 토양내 물질을 흡수하여 액포에 저장하는 능력이 발달한 통통마디의 경우 중금속 함량이 높게 나온 것으로 판단된다.

통통마디는 매우 높은 나트륨(Na) 함량을 보이고 있었다(Table 5). 통통마디내 나트륨의 농도는 토양의 10배에 가까운 농도로 통통마디가 염분을 흡수하고 저장하는 능력이 높다는 것을 의미한다. 또한 4%에 가까운(이원방조제의 경우 5%) 나트륨 함량을 보이고 있어서 가공시 충분히 소금을 생산해 낼 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 미량원소의 경우에도 비교적 높은 함량을 보이고 있다. 기존 연구에서 천일염 기준으로 아연(Zn)은 5.98 (단위 mg/kg), 철(Fe)은 0.13,

Table 5. Cation contents (mg/kg) of *Salicornia europaea* at three study sites

	Na	Zn	Fe	Cr
Daebu-do	39667±5322	21.8±2.7 ^a	206.8±30.2 ^b	2.1±0.2 ^a
Yeongjong-do	35922±6590	22.3±3.1 ^a	231.1±32.0 ^{ab}	1.3±0.2 ^b
Iwon seawall	48847±11533	11.0±2.5 ^b	451.4±113.5 ^a	1.2±0.3 ^b

The data are presented as the mean ± SE of four replicates.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level.

Table 6. Heavy metal contents (mg/kg) of *Salicornia europaea* at three study sites

	As	Cd	Cu	Pb	Hg
Daebu-do	0.6±0.1	8.2±1.4 ^{ab}	7.8±0.9 ^a	2.1±0.5	0.3±0.3
Yeongjong-do	0.5±0.1	11.7±4.1 ^a	2.9±0.4 ^b	1.0±0.1	0.1±0.1
Iwon seawall	0.5±0.2	1.5±0.2 ^b	2.3±0.5 ^b	1.3±0.2	0.0±0.0
Permission Limits*	0.5	0.5	(2)	2.0	0.1

The data are presented as the mean ± SE of four replicates.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level.

*PL: Permission Limits of Korea Food and Drug Administration (15).

*Copper permission limit is a value of CODEX (16)

크롬(Cr)은 0.01이 보고된(Chang 등, 2010) 바 있는데 본 연구에서는 염분 기준이 아닌 통통마디 자체 함량에서도 이 값을 넘고 있다. 따라서 나트륨(Na)의 비율이 40% 정도 되는 천일염(Chang 등, 2010)과 같은 기준으로 보면 매우 높은 함량을 갖고 있음을 알 수 있다. 그러나 다른 미량원소가 많이 흡수되었다는 것은 중금속의 흡수량도 높을 수 있는 가능성을 제시한다.

실제로 Table 6을 보면 비소와 카드뮴의 경우엔 모든 지역에서 제제, 가공, 정제 소금의 식약청 기준(KFDA, 2007)을 넘는 것을 알 수 있다. 또한 카드뮴의 경우 기준치의 20배가 넘는 값을 보인 지역도 있다. 그리고 납과 수은의 경우 대부도 통통마디에서 기준을 넘는 것을 알 수 있다. 비록 식약청 기준에는 없지만 CODEX (국제식품규격위원회) 기준으로 보면(CODEX, 1997) 구리의 경우도 매우 높은 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 대부도의 경우 서론 및 토양 분석 결과에서 언급한 것처럼 비교적 오염원과 가까이 있고, 주변에 교란이 진행중이며 토양 오염이 많이 된 지역(Table 4)이기 때문에 식물 또한 높은 중금속 함량을 보이고 있다. 대부도의 경우 모든 항목에서 기준치를 초과하고 있다.

비소(As)는 체내에 축적 후 오심, 설사, 빈혈, 피부 각질화 및 호흡기 생식기 계통에 악성 종양 원인이 되며(Lee 등, 2007), 카드뮴(Cd)는 효소와 영양소 활동 방해하며 신장과 간장의 장애 및 골격계 장애(Lee 등, 2007) 및 만성신부전(Lee 등, 2010)을 일으키는 것으로 알려져 있다. 구리(Cu)의 경우 급속한 섭취 후 간 기능에 문제를 일으킨다고 보고된 바 있으며(Han 등, 2003), 식품내 납(Pb)은 배설되지 않고 축적되어 영양

소 대사 이상과 조직 기능 장애, 급 만성 질환을 일으키는 것으로 알려져 있다(Lee 등, 2007). 카드뮴은 효소와 영양소 활동 방해하며 신장과 간장의 장애 및 골격계 장애를 일으키며(Lee 등, 2007), 수은(Hg)은 미나마타병 선택기관 독성이 높고(Lee 등, 2007) 격통 및 요독증을 일으키는 것으로 보고되고 있다(Han, 1985). 따라서 이러한 중금속을 섭취하는 것은 대단히 위험할 수 있다. 그런데 본 연구 결과 대부도의 경우 모든 항목에서 기준치 이상의 값을 보이고 있으며 다른 지역에서도 3개 이상의 항목에서 기준치 이상의 값을 보이고 있다. 따라서 대부도, 영종도, 이원방조제에서의 통통마디 채취 후 섭취는 건강에 악영향을 줄 것으로 판단된다. 기존 연구에서 영종도나 이원 방조제의 경우에는 중금속에 관련한 기존 연구 결과가 없었지만 시화호의 경우에는 호수 안쪽 지역에서 비교적 높은 중금속 함유량이 보고되고 있다(Kim 등, 2005). 따라서 이처럼 중금속에 대한 보고가 이루어진 지역에서는 통통마디 같은 식물 뿐 아니라 섭취를 위해 채집되는 여러 생물종에 대한 지속적인 중금속 함량에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

그런데 중요한 것은 이것은 통통마디 식물 자체에 들어 있는 중금속 기준이라는 것이다. 만약 여기서 소금을 추출하여 사용한다면 그 값은 더 늘어날 수밖에 없다.

나트륨(N)이 보통 40% 정도(Chang 등, 2010) 함량으로 천일염에 들어 있는데 이 값을 기준으로 다시 계산하여 보면, 예를 들어 대부도의 경우 소금 39967 g 당 카드뮴이 8.2 g 정도가 들어간다. 이 나트륨의 값을 통통마디로 얻어지는 소금의 40% 무게로 환산하면

카드뮴은 통통마디에서 얻어지는 소금에 약 0.0082% 함유되고 있는 것이다. 이는 82 mg/kg 의 값으로 이는 기준치인 0.5에 비하여 160배 이상의 높은 값이다. 따라서 이러한 지역에서 채취한 통통마디를 소금화하여 섭취하는 것은 매우 우려스러운 일로 여겨진다. 따라서 중금속 같은 오염원이 지속적으로 축적되는 이들 지역에 대한 수확 관리 및 홍보를 통하여 더 이상은 채취 및 섭취가 이루어지지 않게 하는 것이 중요할 것이다.

한가지 꼭 유의해야 할 점은 이것은 정제하지 않은 소금을 기준으로 하는 값이다. 따라서 이들 지역에서 통통마디를 채취하더라도 정제 과정을 거치면 불순물이 제거되어 이 값은 떨어질 것으로 보인다. 또한 이 연구 결과는 청정지역에서 재배하는 다른 통통마디 제품(함초 관련 제품)과는 상관이 없다는 점이다. 많은 제품들은 식약청 인증이나 심지어 미국 FDA 인증을 받은 제품이 많았다. FDA 승인을 받은 제품(Open very, 2010; Palbo enzyme, 2010; You gi, 2010)을 파는 곳도 많으므로 이러한 제품군에는 문제가 없을 것이다. 또한 친환경 유기농 인증을 받고 오염된 지역에서의 채취를 경고하는 제품 판매처도 많았다(Dae Shin, 2010). 따라서 본 연구는 오염이 우려되는 지역에서 직접 채취하여 먹는 것에 대한 연구일 뿐 판매되는 제품에 대한 것이 아니다. 또한 남해나 서해의 청정 지역에서 재배되고 제품화되는 이들 제품과 달리 본 연구 지역은 오염의 가능성이 높은 곳을 선택하여 조사한 것이다. 따라서 본 연구에서는 이들 제품 형태의 통통마디에 대한 위험을 제시하는 것이 아니며 오염된 일부 지역에서의 통통마디의 채취와 섭취는 건강상 해가 될 수 있다는 결론과 함께 이런 지역에 대한 관리의 필요성을 제시하고자 한다.

4. 결론

근래에 그 효능이 널리 알려지면서 염생식물 통통마디에 대한 관심 및 채취가 늘고 있지만 일부 오염 우려지역에서도 대단위로 채취되고 있다. 이에 따라 본 연구는 통통마디의 안정성에 대한 검증을 위하여 대부도, 영종도, 이월방조제에서 토양 환경, 수확가능량, 통통마디내 일반성분 및 미량원소와 중금속을 분석하였다. 통통마디는 세 곳의 연구 지역에서 150-230 g/

m²/yr의 생물량을 보였으며 토양 환경과 통통마디의 기본적인 조사 결과 통통마디의 생물량과 질소 함량은 토양의 질소 및 탄소 함량에 유의한 관계를 보였으며 침수 또한 통통마디의 수확가능량에 영향을 미쳤다. 통통마디의 Na, Zn, Fe, Cr 함량은 각각 평균 41479, 18, 297, 1.5 (mg/kg)의 함량을 보여 높고 유용한 수치를 보였다. 그러나 중금속의 경우 As, Cd, Cu, Pb, Hg 각각 평균 1.5, 7.1, 4.2, 1.5, 0.1 (mg/kg)의 함량을 보여 기준치인 0.5, 0.5, 2, 2, 0.1 을 넘거나 비슷한 수치를 보여 그대로 채취 및 섭취할 경우 식품 안전상 우려되는 결과가 나왔다. 또한 이를 순수 염분 함량으로 환산하면 이 값은 더 높아지기 때문에 이들 지역의 통통마디 채취 및 섭취에 대한 관리가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

이 연구는 한국과학창의재단의 2010년 과학고 R&E 과제(과제번호: 3344-20100025)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고 문헌

- Breckle, S. W., 1990, Salinity tolerance of different halophyte types, Genetic aspects of plant mineral nutrition, Kluwer Academic Publishers, New York, 167-175.
- Chang, M., Kim, I. C., Chang, H. C., 2010, Effect of solar salt on the quality characteristics of Doenjang, J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 39, 116-124.
- CODEX Alimentarius, 1997, CODEX standards for food grade salt, Available at: http://www.cecicis.org/iodine/07_legislation/07_00.html(Accessed October 1, 2010).
- Dae Shin Marshfire Glasswort, 2010, Internet based shopping mall, Available at: <http://hamchopia.com> (Accessed November 2, 2010).
- Gu, J. H., 2008, 'Phytoco' has patent for phyto-salt, Article of journal 'Shin dong a'. Available at : <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=262&aid=0000001578> (Accessed November 13, 2010).
- Han, K. S., 1985, Accidentally induced mercury poisoning

- by charlatan, J. Korean Academy of Oral Medicine, 9, 29-34.
- Han, N. I., Choi, S. D., Chung, K. W., Nam, S. W., Han, J. Y., Choi, S. W., Lee, Y. S., Sun, H. S., 2003, Sequential morphological changes of copper overloaded-rat liver: Ultrastructural study, J. Korean Soc. Gastroenterology, 41(5), 374-381.
- Hong, H. G., Park, J. M., Kim, D. H., Lim, H. B., 2005, Determination of heavy metals in surface sediments of lake Shihwa, J. Korea Soc. Environ. Anal., 1,1-6.
- Kim, J. M., 2007, Healthy doughnut with marshfire glasswort, Article of internet journal 'Newsis'. Available at: <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=SD&mid=sec&sid1=101&oid=003&aid=0000571011>(Accessed November 2, 2010).
- Kim, G. H., 2010, Dynamics and restoration of *Salicornia europaea*, Master Dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Kim, G. T., Kim E. S., Cho, S. R., Jung, G. H., Park, J. G., 2005, Distribution and pollution of heavy metals in the environmental samples of the lake Shihwa, J. Korean Soc. Marine Environ. Eng., 8, 148-157.
- Korean Food and Drug Administration, 2007, Standards of heavy metal contents of food, Available at: <http://www.kfda.go.kr/index.kfda?mid=69&pageNo=47&seq=3028&cmd=v>(Accessed October 1, 2010).
- Korea Meteorological Administration, 2010, Monthly reports of the weather, Available at: http://www.kma.go.kr/weather/observation/data_monthly.jsp (Accessed November 19, 2010).
- Lee, C. B., 1980, Illustrated flora of Korea, HangMun publications, Seoul, Korea.
- Lee, E. J., Lee, S. M., Woo, S. Y., 2005, Monitoring Sudokwon landfill vegetation, SLMC publications, Incheon, Korea, 132-133.
- Lee, E. Y., Shin, H. S., Jung, Y. S., Chun, B. W., Rim, H., 2010, Case reports : Nephrology; A case of rapidly progressive renal failure induced by cadmium intoxication, Korean J. Medicine, 78(6), 761-765.
- Lee, K. D., Park, J. W., Choi, C. R., Song, H. W., Yun, S. K., Yang, H. C., Ham, K. S., 2007, Salinity and heavy metal contents of solar salts produced in Jeollanamdo province of Korea, J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 36(6), 753-758.
- Mok, J. S., Park, H. Y., Kim, J. H., 2005, Trace metal contents and safety evaluation of major edible seaweeds from Korean coast. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 34(9), 1464-1470.
- Open very, 2010, Internet based shopping mall, Available at: www.openvery.com(Accessed November 2, 2010).
- Palbo enzyme, 2010, Internet based shopping mall, Available at: www.palbohyoso.com(Accessed November 2, 2010).
- Park, J. S., 2007, Jeonnam works for industrialization of marshfire glasswort, Article of internet journal 'Money today'. Available at: <http://www.mt.co.kr/view/mtview.php?type=1&no=2007082716410144994&outlink=1>(Accessed November 18, 2010).
- Song, U., 2010, Ecological monitoring and management of plant, soil and leachate channel in the Sudokwon landfill, Korea, Ph. D. Dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea, 191-192.
- You gi shop, 2010, Internet based shopping mall, Available at: <http://www.62shop.co.kr/>(Accessed November 2, 2010).