천연자원 바닷물을 이용한 고구마 재배기술

김기주* / 해야영농조합법인 대표
이준설 / 길농업경영아카데미 대표
김주현 / 해야영농조합법인 이사

Ⅰ. 연구 필요성

21세기 들어 먹거리 공급은 인구 증가에 따른 식량부족과 환경 오염의 문제를 동시에 낳았다. 농업에서는 기하급수적으로 증가한 화학 농자재를 줄여 탄소중립을 실천하고 토양을 보존하는 것이 기본 과제가 되었다. 그러나 영농현장에서 화학 농자재를 대신할 친환경농자재를 찾는다는 것은 매우 어렵다.

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸인 반도이고, 바닷물(해수)에는 75여 종 이상의 무기성분이 함유되어 있다. 예로부터 국내를 비롯하여 네덜란드, 스코틀랜드, 일본 등에서는 작물의 생육 촉진, 품질향상, 잡초 억제 및 병충해 방제를 위해 해수를 농업에 활용해왔는데, 이는 친환경농자재 확보라는 어려운 숙제를 풀어낼 수 있는 단서가 될 수 있다.

최근 친환경 고구마 수요가 증가하면서 수량 증대, 기능성 및 품질향상을 위해 해수가 농업에 이용되고 있다. 특히 우리나라 서남해안 갯벌은 유네스코 세계유산에 등재되면서 이용 가치가 증대되고 있고, 갯벌에서 유래된 천연 미네랄을 풍부하게 함유하여 비료 자원으로 이용 가능성이 크다. 작물이 염해 피해를 받지 않는 범위

* **김기주**(muan-haeya@hanmail.net): 전남 무안군에서 유기농 고구마를 재배하며 믿을 수 있는 친환경 유기농산물을 통해 국민의 식탁을 지키겠다는 오직 하나의 신념과 철학으로 농사를 짓고 있다.

내에서 바닷물은 화학비료 남용에 따른 토양오염을 막고 지속 가능한 미래농업을 위해 이용 가치가 높다. 그러나 바닷물을 이용한 고구마 표준 재배기술이 없어 농가에 따라 해수를 무작위로 처리한 결과 잎이 염해를 일으키는 등 문제점이 발생하고 있다.

본 연구는 염해 피해 없이 안전하게 바닷물을 사용하기 위해 적정 희석농도, 적정 처리 시기 및 횟수, 바닷물의 살포가 병해충 예방 및 품질향상에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 선행연구 검토

바닷물을 사용하여 작물을 재배하는 연구는 한국, 일본, 미국, 캐나다, 러시아 등에서 보고되며, 병해충방제 및 작물생육 촉진, 품질향상을 목적한다(Curtin, 1994; Shannon and Grieve, 1999; USDA. 1948, Han et. al., 2004; RDA, 2010). 그러나 바닷물에는 작물생육을 저해하는 염화나트륨의 함량이 높고, 과량 사용하면 토양물리성이 흐트러져 수분이동을 저해하거나, 염류집적으로 작물의 뿌리 기능을 저해할 수 있다(Yeo et al, 2010; Greenwayand Munns, 1980).

작물 재배에서 위험요인이 있는 바닷물을 안전하게 이용하기 위해서는 선행연구 결과를 참고하여 고려할 사항과 해결할 과제가 무엇인지를 파악해야 한다. 국립농업과학원(2017)에 따르면 바닷물은 병충해방제와 잡초방제, 영양생장 억제에 효과가 있으나 농경지 염류집적, 토양 생물활성 등에 부정적이며, 작물의 종류, 사용 시기, 사용량, 희석농도 등을 충분히 고려하여 작은 면적부터 활용해야 한다고 강조한다.

다른 연구인 경기도농업기술원(2015)에서는 해수처리 후 나트륨, 염소, 황산이온 함량이 무처리보다 다소 높아졌으며 ESP(치환성 나트륨 백분율)도 증가하였으나 한계기준 6%보다 낮은 수준으로 토양에 미치는 효과는 적었다. 또한 고구마 품질은 상저(上藷, 50g 이상인 고구마)수량, 당도, 총당함량은 다소 증가하였으며, 생육(만

장, 마디수, 분지수), 전분가 함량, 아밀로오스 함량은 차이가 없어 해수처리가 고구마 수량과 품질을 향상하는 효과가 미미한 것으로 판단하였다.

실증 사례로 일본 사가현 지방에서는 고구마를 심기 전에 토양에 바닷물을 2회 처리하고, 고구마가 자라는 동안 잎에 2회 뿌린다. 이렇게 재배한 고구마는 당도가 높고 품질이 우수하나, 이에 관한 구체적인 연구보고서는 없는 실정이다.

이상에서 살펴본 선행연구 결과는 바닷물을 농업현장에 적용하는 문제에 대해서 다양하게 검토되었다는 점에서 매우 중요한 결과라고 할 수 있겠으나 바닷물을 농업에 이용하는 문제는 더 면밀한 검토가 요구되고 있다. 특히 고구마재배에서 처리시기나 처리횟수 등이 체계화되지 않아 실제 현장에 적용하기에는 한계가 있음을 알 수 있다.

따라서 본 실험은 고구마재배 시 염해를 사전에 방지하기 위해 바닷물의 적정 희석농도, 적정 처리 시기 및 횟수를 구명하며, 바닷물의 살포가 병해충 예방 및 품질향상에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

2. 실험 설계

2.1. 재배방법

본 연구는 바닷물을 이용한 고구마 재배기술 확립 및 품질향상 구명을 위해 전남 무안군 현경면 해야농장에서 수행하였다. 고구마 품종은 농가에서 재배하는 일반종이며, 육묘는 2월에 파종하여 5월 20일에 7~8마디의 묘를 채취하였다. 묘 채취 후 발근 및 생육 촉진을 위해 토굴저장고에서 5일간 보관하였으며 묘의 크기 및 마디수, 두께 등 균일화를 위하여 채취한 묘 중에서 다시 선발하였다. 삽식밀도는 휴간 75㎝와 주간 20㎝로 하였고, 시비 및 살충제 기타 영양제는 농가에서 사용 중인 친환경농자재를 사용하였으며 실험구 배치는 난괴법[1](총 1,040㎡, 구당 12㎡, 3반복)으로 하여 5월 25일에 삽식을 완료하였다.

---

1) 난괴법(randomized block design)은 모든 처리가 한 블록 안에 포함되도록 하고 블록에 실험 구를 멋대로 배치하는 실험 계획법으로 농업 관련의 실험에서 처리(시비량, 품종 등) 효과를 바르게 검정하기 위해서 사용한다.

〈그림 2-1〉 고구마 삽식 및 포장 관리

① 묘 채취

② 묘 준비(발근 및 생육 촉진)

③ 고구마 심기

④ 라벨 준비

⑤ 삽식 후 라벨작업

⑥ 포장관리

2.2. 재료 및 방법

바닷물은 현경면 해안 지역에서 동력기를 이용하여 채취하였으며, 처리 방법은 자동분무기를 사용하여 1,100㎖/구(12㎡)를 균일하게 잎에 분사하였다. 태양 피해를

줄이기 위해 한낮을 피하고 오후 4시 이후에 살포하였다.

〈그림 2-2〉 실험 과정

① 해수 채취

② 해수농도 조절(희석)

③ 바닷물 엽면처리

④ 실험 결과 기록

〈실험 1~2〉 바닷물 처리 시기 및 횟수 구명

실험은 농가현장에서 오랫동안 경험적으로 적용하고 있는 방법으로 처리 시기는 삽식 후 괴근의 분화 및 형성기인 삽식 후 50일부터 괴근비대 최성기인 삽식 후 110일까지, 실험구는 5구역(A~E)을 설정하였다. 바닷물 농도는 크게 2가지로 나누어 실험하고 처리횟수는 각 5단계로 구분하였다.

〈실험 1〉은 단계마다 농도를 점진적으로 증진해 10,20,50,80,100%로 5처리하였고, 〈실험 2〉는 농도를 50%로 고정하여 처리함으로써 처리 시기와 횟수를 동시에 구명하고자 하였다.

〈표 2-1〉 바닷물 처리 시기 및 횟수구명_실험 1

단계	처리 시기	농도 (%)	실험구 및 처리횟수				
			A:5회	B:4회	C:3회	D:2회	E:1회
1	삽식 후 50일	10	●				
2	삽식 후 65일	20	●	●			
3	삽식 후 80일	50	●	●	●		
4	삽식 후 95일	80	●	●	●	●	
5	삽식 후 110일	100	●	●	●	●	●

〈표 2-2〉 바닷물 처리 시기 및 횟수구명_실험 2

단계	처리 시기	농도 (%)	실험구 및 처리횟수				
			F:5회	G:4회	H:3회	I:2회	J:1회
1	삽식 후 50일	50	●				
2	삽식 후 65일	50	●	●			
3	삽식 후 80일	50	●	●	●		
4	삽식 후 95일	50	●	●	●	●	
5	삽식 후 110일	50	●	●	●	●	●

〈실험 3〉 바닷물 적정농도 구명

바닷물의 적정농도 구명은 처리 시기나 횟수만큼 중요한 요인이며 무엇보다 잎의 고사나 시듦 현상을 방지하는 것이 중요하다. 실험에 사용한 바닷물의 희석농도는 농촌진흥청 보고서에서 추천한 희석농도와 강원도농업기술원 보고서, 농가의 의견 등을 종합적으로 참고하여 설계하였다. 현재 무안을 중심으로 실행되고 있는 해수농업은 농가에 따라 피해가 심하게 발생하고 있기에 저농도에서부터 고농도에 대한 폭넓은 검토가 이루어질 필요가 있다. 적정농도를 구명하는 기준은 바닷물 살포 후 고구마 지상부 잎의 변색과 시듦 증상, 수확 후 수량 및 품질 등을 종합적으로 관찰할 수 있을 것이다.

〈실험 1〉, 〈실험 2〉의 처리 시기와 처리횟수를 기초로 〈실험 3〉은 처리 시기를 5단계, 희석농도는 10~100%까지 구분하여 실험구 '가~바'를 6처리 구분하여 수행하였다.

〈표 2-3〉 바닷물 적정농도 구명_실험 3

단계	처리 시기	농도(%)					
		가	나	다	라	마	바
1	삽식 후 50일	10	10	10	10	10	10
2	삽식 후 65일	20	20	20	20	20	20
3	삽식 후 80일	40	40	60	60	80	80
4	삽식 후 95일	40	60	60	80	80	100
5	삽식 후 110일	60	60	80	80	100	100

〈실험 4〉 바닷물의 병충해방제 효과 구명

바닷물 처리가 병충해 발생을 억제할 수 있다는 선행연구 등을 참고로 하여 고구마 생육 초기에 나타나는 입고병과 진딧물, 중후기에 주로 발생하는 뒷날개흰밤나방 등의 피해를 〈실험 1~3〉의 실험구에서 상태를 조사하였다.

〈실험 5〉 해수농업생산 고구마 품질 평가

고구마를 수확하여 당도, 일반성분, 식미, 전분가, 당도, 유리당 등 품질특성을 조사하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 바닷물의 지상부 염해 증상

바닷물을 사용하여 고구마 수량과 품질을 높이는 연구이나 그보다 앞선 생육 과정에서 바닷물 처리농도와 잎의 반응을 구명해야 한다. 고구마 지상부에서 잎은 광합성 기관으로 전분을 합성하는 역할을 주로 하며, 생육 전 과정에서 잎의 상태는 고구마 수량을 좌우할 만큼 중요하다. 만약 고구마 잎이 퇴색 및 활력을 잃거나 지상부 잎이 과번무(웃자람)로 중복되어 수광상태를 나쁘게 하면 광합성이 효율이 떨

어져 높은 수량을 기대할 수 없다.

바닷물 처리 후 지상부의 염해 증상을 관찰한 결과, 주요증상은 잎의 가장자리 부위가 갈색으로 변하면서 심한 경우 잎 전체가 시들거나 황변현상이 더해지면서 조기낙엽으로 진행되었다.

〈실험 1〉의 수행 결과를 처리별로 살펴보면 A, B는 삽식 초기에 10~20% 낮은 농도로 시작하여 삽식 중반인 50%까지는 염해를 보이지 않았으나 삽식 후기 80~100% 농도에서는 엽색이 갈색을 띠며, 잎의 가장자리가 말리는 염해증상이 많이 발생하였다. 또한 C(삽식 후 80일), D(삽식 후 95일), E(삽식 후 110일)는 이미 줄기신장이 많이 이루어져 지상부 초세가 왕성해졌음에도 불구하고 염해증상을 보였는데, 생육 중후기에 지상부 생육이 포장 전면을 덮을 정도로 왕성해진 시기라 할지라도 해수농도를 80~100%로 처리하는 것은 고구마 지상부가 염해를 일으킬 수 있음을 알 수 있었다.

바닷물 처리 후 고구마 잎에 발생한 가장자리 갈변 증상을 기준으로 볼 때 염해증상이 '하'인 경우 줄기 및 잎의 생장을 저해할 수준은 아니며 약간의 염해를 입었더라도 수일 후에 초세가 회복되는 것을 알 수 있었다. 염해증상이 '중' 이상으로 나타나는 경우는 잎이 전체 면적의 약 30~100% 범위가 갈색을 띠거나 가장자리가 안쪽으로 말리는 증상을 보이는 경우이며, 이는 잎의 광합성 능력이 저하되는 것은 물론 생육의 회복도 어려울 것으로 판단되며 최종적으로 수량에도 영향을 미칠 것으로 예상되었다.

〈표 3-1〉 바닷물 처리 시기 및 횟수구명 염해 결과_실험 1

시기별 및 농도(%)		A(5회)	B(4회)	C(3회)	D(2회)	E(1회)	무처리
50일	10	없음					없음
65일	20	없음	없음				
80일	50	없음	없음	없음			
95일	80	상	중	중	중		
110일	100	상	중	상	상	하	

〈실험 2〉에서는 바닷물의 희석농도를 50%로 고정하여 삽식 후 50일부터 15일 간격으로 처리한 결과, A, B 실험구는 줄기와 잎이 연약한 생육 초기이라 잎색이

녹색을 유지하면서 가벼운 시듦 현상을 보였으나 해수처리 후 일수가 지나면서 차츰 지상부 생육을 회복하였다. 반면에 실험구 H, I, J에서는 처음부터 처리 횟수에 상관없이 염해증상을 보이지 않았다.

〈표 3-2〉 바닷물 처리 시기 및 횟수구명 염해 결과_실험 2

시기별 및 농도(%)		F(5회)	G(4회)	H(3회)	I(2회)	J(1회)	무처리
50일	50	하					없음
65일	50	하	하				
80일	50	없음	없음	없음			
95일	50	없음	없음	없음	없음		
110일	50	없음	없음	없음	없음	없음	

〈그림 3-1〉 실험구 조성 및 바닷물(2022. 9. 20.)

실험구 A

실험구 B

실험구 C

실험구 D

실험구 E

무처리구

〈실험 1〉, 〈실험 2〉 결과를 종합적으로 살펴보면 바닷물 처리 시기는 삽식 후 50~65일부터 하되 농도를 10~20%로 한다. 처리 횟수에 대해서는 잎에 나타난 염해증상의 관점에서 볼 때 해수 처리 횟수보다는 희석농도가 결정요인이며 A, B 실험구처럼 50% 이하 농도라면 횟수가 증가해도 염해증상은 없다고 판단되었다.

2. 바닷물 적정농도 구명

선행연구인 농촌진흥청 보고서에서도 언급되었지만, 〈실험 1〉 결과를 통해 친환경 고구마재배에서 바닷물 사용 시 가장 고려되어야 사항이 처리 시기와 횟수보다는 희석농도라는 것을 알 수 있었다.

〈실험 1〉에서 50% 이하 농도로 결과가 나왔으나 농도를 더 세분화하여 반복 검토하고 구명하고자 〈실험 3〉은 삽식 후 50~65일에 10~20%의 해수를 공통으로 처리하였고, 이후에는 실험구별로 40~100%까지 차등을 두어 실험을 진행하였다. 바닷물 처리 후 염해 증상을 조사한 결과 10~60% 농도를 처리한 '가', '나'의 실험구에서는 염해 증상이 없거나 가볍게 나타났으나, 80~100%의 농도를 포함하는 '다~바' 실험구에서는 염해가 '중', '상' 수준으로 조사되었다. 〈실험 3〉에서는 바닷물의 농도에 따라 염해 반응이 명확한 차이를 보여주고 있는데 즉, 고농도에 해당하는 80~100%는 염해 증상이 뚜렷하며 〈실험 1〉과 같이 판단해보면 염해를 일으키지 않는 바닷물의 농도는 10~60%였다.

〈표 3-3〉 바닷물 적정농도 구명 염해 결과_실험 3

시기별 농도(%)	가	나	다	라	마	바	대조구
	10,20, 40,40, 60	10,20, 40,60, 60	10,20, 60,60, 80	10,20, 60,80, 80	10,20, 80,80, 100	10,20, 80,100, 100	무처리
50일	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
65일	없음	없음	없음	없음	없음	없음	
80일	없음	없음	하	없음	상	상	
95일	없음	하	없음	중	상	상	
110일	없음	없음	중	중	상	상	

〈그림 3-2〉 염해 증상

실험구 가 : 염해 '없음'
(해수농도 10,20,40,40,60%)

실험구 바 : 염해 '상'
(해수농도 10,20,80,100,100%)

따라서 바닷물 처리 시기는 줄기신장이 왕성해지면서 진딧물이나 해충의 발생이 나타나는 삽식 후 50일부터 시작하는 것이 좋다고 판단한다.

바닷물 처리 시 80% 이상의 고농도에서는 엽색이 변하는데, 가장자리 부위는 갈색으로 변하고 심하면 전체적으로 황변하여 나중에는 흑갈색을 띠며 조기에 낙엽이 된다. 바닷물의 처리구와 무처리구의 잎의 색도를 색차계를 사용하여 측정한 결과 무처리보다 고농도일수록 명도(L: lightness)는 40.6에서 46.4로, 적색도(a: redness/greenness)는 -3.0에서 0.87로, 황색도(b: yellowness/ bluness)는 3.5에서 8.4로 높아졌다.

〈표 3-4〉 바닷물을 처리한 고구마 잎 색도 분석

처리	농도(%)	명도(L)	적색도(a)	황색도(b)
무처리	0	40.6±1.2	-3.00±0.4	3.5±0.7
가	10,20,40,40,60	45.2±3.6	0.59±0.7	7.2±1.5
바	10,20,80,100,100	46.4±2.9	0.87±0.2	8.4±1.2

〈그림 3-3〉 잎의 색도

무처리

가 실험구

바 실험구

3. 바닷물의 병충해방제 효과 구명

바닷물의 병충해방제 효과는 여러 선행연구에서 보고되었고, 실제 사용하는 농가들도 염분 자체가 예방효과가 있다고 여긴다. 고구마재배에서 발생하기 쉬운 해충은 고구마뿔나방, 꽈리허리노린재, 뒷날개흰밤나방, 섬서구메뚜기, 큰검정풍뎅이 등으로 주로 7~8월에 발생 최성기 특성이 있다. 고구마 주요 해충 및 발생시기는 〈표 3-5〉와 같다. 그러나 이들 해충이 모두 매년 발생하는 것은 아니며, 그해에 우점하는 해충이 있고, 연차 간 발생 양상이 다른 것을 볼 수 있다.

〈표 3-5〉 고구마 주요 해충 및 발생 시기.

해충명	가해부위	주요발생시기	발생정도
거세미나방	잎, 줄기	4.중~5.중	중상
복숭아혹진딧물	잎, 신초	5.하~6.중	하
뿌리혹선충류	괴근	5.하~9.하	중
숯검은밤나방	잎, 줄기	6.하~7.중	상
자나방	잎	7.상~7.하	하
고구마뿔나방	잎(표면)	7.상~9.상	상
담배거세미나방	잎	7.하~8.하	중
박각시나방류	잎	8.상~9.하	중
꽈리허리노린재	줄기(즙액)	8.상~9.하	상
큰검정풍뎅이	괴근	8.중~10하	상
섬서구메뚜기	잎(원형)	8.중~9.중	상
뒷날개흰밤나방	잎(원형)	8.하~9.중	상

자료: 농사로, 재구성

〈그림 3-4〉 고구마 주요 해충

고구마뿔나방 유충

꽈리허리노린재

섬서구메뚜기

뒷날개흰밤나방 유충

바닷물의 병충해방제 효과 구명에서는 삽식 후 50일에 바닷물을 처리하면서 생육 초기에 발생하기 쉬운 진딧물이나 입고병 증상과 생육 중후기에 발생하기 쉬운 섬서구메뚜기와 뒷날개흰밤나방 등 해충을 조사하였다. 그 결과 전체적으로 2차 처리 시기인 7월 하순까지 병과 충의 발생은 관찰되지 않았으나 3차 처리 시기인 8월 중순부터 섬서구메뚜기가 발생하였고, 9월부터는 밀도가 높아지면서 잎을 가해하는 정도가 심하게 나타났다. 반면에 한 번 발생하면 잎 전체를 치명적으로 가해하는 뒷날개흰밤나방은 발생하지 않았다.

〈그림 3-5〉 해충 피해 관찰

3차 처리, 8월 19일

4차 처리, 9월 2일

5차 처리, 9월 16일

실험구별 해충 피해 양상을 살펴보면, 〈실험 1〉 실험구 A, B에서는 피해가 가벼웠고, 실험구 C, D, E에서는 높게 나타났다. 이와 같은 결과를 살포 시기의 관점에서 볼 때 삽식 후 50~65일까지는 해충의 피해가 없었고, 80~110일에는 피해가 관찰되었으며, 살포 횟수를 기준으로 볼 때 1회(E)~5회(A) 모두 피해가 관찰되었다.

〈표 3-6〉 바닷물 처리 시기 및 횟수 구명 병충해 결과_실험 1

시기별 및 농도(%)		A(5회)	B(4회)	C(3회)	D(2회)	E(1회)	무처리
50일(7/15)	10	없음	없음	없음	없음	없음	없음
65일(7/29)	20	없음	없음	없음	없음	없음	없음
80일(8/19)	50	하	하	중	중	중	중
95일(9/2)	80	하	하	중	중	중	중
110일(9/16)	100	하	하	중	중	중	중
병해		없음	없음	없음	없음	없음	없음

즉 해충의 피해 유무는 살포 시기가 중요하며 해충의 피해 정도는 실험구 A, B와 같이 살포 횟수가 4~5회로 많으면 발생 정도가 작았던 반면 실험구 C, D, E와 같이 살포 횟수가 1~3회로 적으면 발생 정도도 컸다. 이는 삽식 후 50~65일은 실제 날짜에서 7월 15일~29일에 해당하고, 삽식 후 80~110일은 8월 19일~9월 16일에 해당하는 것으로 볼 때, 해충의 발생은 8월 상순임을 알 수 있으며, 해충의 피해를 적게 하기 위해서는 삽식 65일부터 살포하는 것이 효과적인 것으로 판단되었다.

〈그림 3-6〉 병충해 증상_실험 1

실험구 A(10~100%, 5회): 충해 '하'

실험구 E(100%, 1회): 충해 '중'

또한 〈실험 2〉에서도 위와 동일한 경향을 보였는데, 바닷물을 4~5회 처리한 실험구 F, G에서는 해충 발생이 적었지만, 8월 19일부터 3회 처리한 실험구 H에서는 해충의 발생이 '중' 수준으로 발생하였다.

〈표 3-7〉 바닷물 농도 50% 처리 시기 및 횟수구명 병충해 결과_실험 2

시기별 및 농도(%)		F(5회)	G(4회)	H(3회)	I(2회)	J(1회)	무처리
50일	50	없음	없음	없음	없음	없음	없음
65일	50	없음	없음	없음	없음	없음	없음
80일	50	하	하	중	중	중	중
95일	50	하	하	중	중	중	중
110일	50	하	하	중	중	중	중
병해		없음	없음	없음	없음	없음	없음

〈그림 3-7〉 병충해 증상_실험 2

실험구 F(50%, 5회): 충해 '하'

실험구 H(50%, 3회): 충해 '중'

〈실험 3〉에서는 삽식 초기부터 바닷물을 처리한 전체 실험구에서 발생피해가 작았고, 무처리구에서만 많이 발생한 것으로 보아 바닷물이 해충의 피해를 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다.

〈표 3-8〉 바닷물 처리 시기 및 횟수구명 병충해 결과_실험 3

시기별 농도(%)	가	나	다	라	마	바	대조구
	10,20, 40,40, 60	10,20, 40,60, 60	10,20, 60,60, 80	10,20, 60,80, 80	10,20, 80,80, 100	10,20, 80,100, 100	무처리
50일	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
65일	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
80일	하	하	하	하	하	하	중
95일	하	하	하	하	하	하	중
110일	하	하	하	하	하	하	중
병해	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음

〈그림 3-8〉 병충해 증상_실험 3

실험구 가(10~60%, 5회): 해충 '하'

대조군(무처리): 해충 '중'

〈실험 1〉과 〈실험 3〉을 종합하면, 바닷물 처리는 화학 농자재와 같이 살충 효과는 높지 않지만, 해충의 회피를 유도할 수 있는 친환경적 수단이라 볼 수 있다. 다만 해충의 발생을 줄일 수 있는 바닷물 처리의 한계시기는 8월 중순 이전으로 판단되었다.

4. 바닷물을 처리한 고구마 재배의 수량 특성

고구마의 수량을 구성하는 요소는 단위면적당 주수, 주당 괴근수와 괴근 평균중으로 이루어졌으며, 고구마를 수확하여 수량구성요소인 주당 괴근수 및 괴근 평균중, 총괴근 수량, 무게가 30g 이상인 상품 괴근 수량을 조사하였다. 바닷물 처리구간별로 비교하면 A, B 실험구는 대조군 대비 72~84%로 가장 낮은 수치를 나타냈다. 이는 생육 초~중기에 해당하는 삽식 후 50~80일에 10~50% 해수를 처리하였던 동안 지상부가 염해 피해를 나타내지 않았으나 생육 중~후기에 80~100%의 해수를 처리함으로써 지상부 염해가 많이 나타난 결과 때문에 수량이 낮아진 것으로 판단되었다. 또한 실험구 C, D도 무처리 대비 88~98%로 낮은 수치를 나타낸 것은 고농도 바닷물의 처리에서 비롯된 것으로 추측한다. 그러나 실험구 E의 경우 수량이 크게 낮아지지 않았던 것은 비록 지상부가 염해를 받았다 해도 이미 지하부에서는 괴근의 형성 및 비대가 충분히 이루어졌을 것이며, 또한 지상부 생육도 최성기에 해당함으로 식물체가 어느 정도 염해에 견디는 내성이 있었기 때문으로 생각되었다.

전체적으로 실험군이 대조군 대비 72~98%로 낮은 수치를 나타낸 것은 바닷물 고농도 80~100% 처리시 잎의 염해 피해에서 기인 된 것으로 생각되며 이와 같은 결과로부터 고구마재배 시 바닷물의 처리 방법은 처리 시기 및 횟수보다 농도가 수량을 제한하는 요소임을 유추할 수 있다.

〈표 3-9〉 바닷물 처리 시기 및 횟수구명_실험 1

시기별 농도(%) 및 횟수		주당 괴근수 (개/주)	괴근 평균중 (g/개)	총괴근 수량 (kg/10a)	상품 괴근수량 (kg/10a)	괴근 수량 지수
A	10,20,50,80,100(5회)	2.5	138	2,273	1,849± 86	72
B	20,50,80,100(4회)	2.6	135	2,345	2,136±106	84
C	50,80,100(3회)	3.0	141	2,914	2,389±112	94
D	80,100(2회)	3.0	123	2,708	2,244±121	88
E	100(1회)	2.2	163	2,645	2,483± 86	98
무처리		2.1	169	2,799	2,538±117	100

〈그림 3-9〉 고구마 수확

〈실험 2〉에서 바닷물 농도 50%를 삽식 후 50~65일부터 수확기까지 총 1~5회를 처리한 결과, 〈실험 1〉과 달리 지상부 염해가 나타나지 않았다. 처리구 간에는 실험구 F(5회), G(4회), H(3회)의 경우 무처리 대비 10~17% 증수하였고, 처리 횟수가 I(2회), J(1회)로 적을수록 수량이 낮아지는 경향이었으며, 전체적으로는 바닷물의 처리가 무처리구보다 수량이 높게 나타났다. 〈실험 1〉과 〈실험 2〉의 결과로부터, 바닷물의 농도는 50%로 낮아야 하며, 처리 시기는 지상부가 초세를 이루기 시작하면서 병충해의 피해가 나타나기 시작하는 50~65일부터 생육 후기까지 총 3~5회를 처리하는 것이 수량이 높았다.

〈표 3-10〉 바닷물 처리 시기 및 횟수구명_실험 2

시기별 농도(%) 및 횟수		주당 괴근수 (개/주)	괴근 평균중 (g/개)	총괴근 수량 (kg/10a)	상품 괴근수량 (kg/10a)	괴근 수량 지수
F	50(5회)	2.8	151	2,978	2,531± 97	115
G	50(4회)	2.8	155	3,040	2,584±123	117
H	50(3회)	2.3	168	2,872	2,434±108	110
I	50(2회)	2.0	154	2,858	2,186±116	99
J	50(1회)	2.5	165	2,508	2,257±141	102
무처리		2.1	158	2,523	2,210±107	100

〈실험 3〉 바닷물의 적정농도 구명 실험에서 수량성은 바닷물의 농도를 10~60% 수준으로 처리한 가, 나 실험구가 114~118%로 높았고, 바닷물의 농도를 80~100%로 높게 처리한 다, 라, 마, 바 실험구는 무처리구보다 63~93% 수준이었다. 이와 같은 결과로부터, 고구마 수량에 미치는 요인은 바닷물의 처리 횟수보다 농도가 더 큰 영향을 미치고 있다는 것과 바닷물의 농도가 80% 이상이면 무처리보다 오히려 생육을 저해하고 있음을 알 수 있었다.

실험 결과로부터 정리해 보면 해수처리는 삽식 후 50일부터 5회로 하되 희석농도를 초기에는 10~20%에서 시작하여 차츰 농도를 60% 수준까지 증가하여 처리하는 것이 염해를 줄이고 수량을 높일 수 있음을 알 수 있었다. 이는 다른 연구[2]의 결과

2) 바닷물 사용으로 박영수 등(2015)은 고구마 상저수량, 당도, 총당 함량이 다소 증가한 결과를, 김명석 등(2012)은 구기자 건과중 12% 증수를 보고했다.

와 일치한다.

〈표 3-11〉 바닷물 처리 시기 및 횟수구명_실험 3

시기별 농도(%) 및 횟수		주당 괴근수 (개/주)	괴근 평균중 (g/개)	총괴근 수량 (kg/10a)	상품 괴근수량 (kg/10a)	괴근 수량 지수
가	10,20,40,40,60	2.8	164	3,051	2,782±146	118
나	10,20,40,60,60	2.5	163	2,809	2,702±133	114
다	10,20,60,60,80	2.0	157	2,576	2,198±147	93
라	10,20,60,80,80	3.0	141	2,670	2,190±109	93
마	10,20,80,80,100	2.6	135	2,116	1,958±116	83
바	10,20,80,100,100	2.3	145	2,116	1,939± 94	82
무처리		3.2	153	2,725	2,364±103	100

고구마 수량 증가에는 괴근의 분화형성이 완료되는 삽식 후 50일 동안 괴근의 수적 증가를 가능하게 하는 토양 및 기상환경이 중요하며, 이후에는 괴근중을 높일 수 있는 재배관리가 이루어져야 한다. 괴근중을 높이는 방법으로는 삽식 이전에는 밭토양 및 시비관리와 건묘육성 등이고, 생육 중에는 광합성 효율을 최대로 높일 수 있는 최적엽면적 확보 및 과번무 억제에 초점을 두어야 할 것이다.

5. 고구마 지상부 경엽 수량 특성

고구마 지상부가 줄기를 뻗어 생장하고 지하부의 괴근에 전분을 축적하기 위해서는 광합성에 필요한 적정량의 엽면적이 필요하다. 그러나 뿌리에서 흡수하는 비료성분 중 질소가 과다한 경우 지상부의 과번무로 인해 광합성 산물이 괴근에 축적되는 것을 저해할 수 있다. 그래서 고구마재배 현장에서는 지상부의 생육을 억제하는 처리제를 사용하고 있지만 그 효과는 미미하며 경영비를 높이는 결과만 초래하기 쉽다. 바닷물의 농업적 이용에 관한 보고에 의하면 바닷물의 사용 효과는 바닷물에 함유된 각종 미네랄 성분의 공급 외에도 지상부의 과번무를 억제해줄 수 있다(北野雅治. 2007).

실험구 '가', '나'와 무처리구의 지상부 무게를 조사한 결과로 5회를 처리한 '가'

실험구(10,20,40,40,60%)는 무처리보다 9% 감소하였고, '바' 실험구(10,20,80,100,100%)는 22% 감소하였다. 위와 같은 결과는 위에서 살펴본 바닷물의 농도에 따른 염해 정도와 비례한 것으로서 당연한 결과이지만, 바닷물의 처리는 고구마 지상부의 생육을 억제하거나 과번무를 방지할 수 있음을 알 수 있었다. 즉 희석농도 10~60% 저농도의 해수 처리는 고구마 지상부에 유의미한 염해를 입히지 않으며, 동시에 과번무 억제 효과를 확인할 수 있었다.

〈표 3-12〉 고구마 지상부 경엽 수량

시기별 농도(%)	가	바	대조구
	10,20,40,40,60	10,20,80,100,100	무처리
무게(kg/12㎡)	30.6±5.7	26.4±4.8	33.5±7.2
대비(%)	91	78	100

6. 바닷물을 처리하여 재배한 고구마의 품질특성

최근 고구마 소비자들은 모양, 식미, 신선도, 안전성, 건강기능성 등을 갖춘 상품을 선호하는 경향이 있다. 바닷물을 사용하여 재배한 고구마의 품질 또한 중요하다 하겠다. 이와 관련하여 괴근의 당도, 일반성분, 식미, 전분가, 당도, 유리당 등 품질 특성을 조사하였다.

6.1. 고구마 잎 및 괴근의 경도 특성

물성측정기(RDS VER 2.01, Shimadzu Co., Japan)를 이용하여 잎의 경도(10개 평균)를 측정한 결과 총 5회 처리한 '가', '바' 실험구의 잎이 무처리보다 8~12% 강하였으나 괴근에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 또한 괴근의 경도는 처리구 및 무처리 간에 차이가 없는 것으로 조사되었다. 연구보고에 의하면 Na+ 이온이 식물체의 세포질 내에 과도하게 축적이 이루어지면 이온 독성과 삼투압 스트레스로 인해 수분 포텐셜은 저하된다고 하였다(손재권 등, 2016). 본 실험에서는 고구마 잎에 바닷물을 반복적으로 처리함으로써 삼투현상으로 수분이 빠져나간 결과 잎의 경도가 증가되었을 것으로 추정된다.

〈표 3-13〉 고구마 잎 및 괴근의 경도 특성

시기별 농도(%)		가	바	대조구
		10,20,40,40,60	10,20,80,100,100	무처리
잎	경도(Dyne/㎠)	14,689±446	15,327±242	13,612±354
	대비(가/무처리%)	108	112	100
괴근	경도(Dyne/㎠)	23,489±236	23,627	23,279±248
	대비(가/무처리%)	100	101	100

6.2. 바닷물을 처리한 고구마 성분 특성

고구마의 일반 및 무기성분을 조사한 결과, 바닷물 처리는 칼슘, 칼륨, 아연, 나트륨 등 함량이 많았고 단백질, 인, 철 성분은 적은 것으로 조사되었다. 김 명숙 등(2011)이 마늘 재배에 바닷물 원액을 처리했을 때 마늘에 무기성분인 질소, 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 미량원소인 철, 망간, 아연 등의 함량은 줄어들었다는 보고를 참고해보면 결과는 같지 않았지만 처리 방법이나 작물의 종류에 따라 일반 및 무기성분에 영향을 줄 수 있음을 알 수 있었다.

〈표 3-14〉 바닷물을 처리한 고구마 성분 특성(군고구마 100g 당)

구분	바닷물[a]	일반	구분	바닷물[a]	일반
에너지(㎉)	204	197	철(㎎)	0.78	1.34
총 탄수화물(g)	53.6	52.7	칼륨(㎎)	446	427
단백질(g)	1.16	1.24	나트륨(㎎)	16	12
지방(g)	0.27	0.18	아연(㎎)	0.46	0.21
칼슘(㎎)	21	19	베타카로틴(㎍)	41	41
인(㎎)	58	61			

a: '가' 실험구(처리농도 10,20,40,40,60%)

6.3. 바닷물을 처리한 고구마의 전분가 및 당도

고구마를 수확하여 7일 지난 후 식미, 전분가, 당도, 유리당을 분석하였다. 전분가는 바닷물 처리구와 무처리의 함량 차이가 없었으며, 굴절 당도계를 이용한 당도는 처리구인 가 및 바 실험구가 32.5~32.8 Brix°%로 무처리구보다 높았다. 또한 분석기기(HPLC)를 이용하여 유리당[3]을 분석한 결과 당 중에는 Maltose 함량이 가장 많았으며, 실험구 가와 바의 경우 Fructose와 Sucrose 함량이 높게 나타났고 Glucose와 Maltose는 처리구 및 무처리간에 큰 차이가 없었다.

일본 사가현에서도 고구마를 심기 전에, 해수 원액을 2회 정도 토양에 처리하고, 덩굴이 무성해지면 엽면 처리를 2회 실시하여 생산한 고구마가 당도가 매우 높아 기적의 고구마로 TV에서 소개되기도 했다. 농가 사례이지만 본 실험연구의 결과와 유사한 결과이다.

〈표 3-15〉 고구마 식미 검사

시기별 농도(%) 및 횟수	전분가	당도 (Brix°%)	유리당(g/100g, d.w)			
			Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose
가[a]	25.6±0.8	32.8±2.2	0.74	0.03	9.32	24.74
바[b]	25.3±0.6	32.5±2.7	0.52	0.04	8.41	23.46
무처리	25.2±0.9	30.2±3.4	0.21	0.03	5.42	24.52

a: '가' 실험구(처리농도 10,20,40,40,60%)
b: '바' 실험구(처리농도 10,20,80,100,100%)

7. 토양검정 결과

실험구 토양검정은 실험 예정지를 경운하기 전 2월 15일에 표토를 제거하고 15cm 깊이의 흙시료를 채취하였고, 실험 후는 고구마 수확이 끝나고 〈실험 3〉 바

3) 찐고구마에는 당류로 Fructose(과당), Sucrose(자당), Glucose(포도당), Maltose(맥아당)이 있으며, 이들 간에 상대적인 감미도는 Sucrose 용액의 단맛을 100으로 할 때 Fructose는 150, Glucose는 70, Maltose는 50으로 나타낼 수 있다(채수규 등, 2000, 식품화학). 바닷물을 처리함으로써 단맛을 증가하게 하는 요인은 Fructose와 Sucrose이며, 주요 당 성분인 Maltose는 함량이 높음에도 불구하고 실제로 입에서 느끼는 당도에는 영향을 주고 있지 않음을 알 수 있었다.

닷물 적정농도 구명 실험 중 가 실험구에서 표토를 제거하고 실험 전과 동일한 방법으로 토양시료를 채취하여 무안군농업기술센터에서 분석하였다.

토양의 전기전도도(EC)는 토양의 염류농도를 나타내는 인자이며, 검정 결과 실험 전과 후의 수치가 각각 0.4, 0.3ds/m로 차이가 없고, 적정범위인 0.0~2.0ds/m에 속하여 바닷물 처리로 인한 염분의 집적은 없는 것으로 검정되었다.

염화나트륨(NaCl)은 토양에 들어가면 염농도가 높아져 작물의 뿌리로부터 양분흡수가 저해되고, 나트륨(Na) 성분은 토양의 입자를 분산시켜 수분의 이동을 어렵게 만든다. 이러한 영향을 평가하기 위한 지표로 토양의 전기전도도(EC), 나트륨 흡착률(SAR), 토양 분산율 등을 사용하고 있다. ① 토양의 전기전도도(EC)는 토양의 염류농도를 나타내는 인자이며, ② 바닷물 중에 많이 함유된 나트륨(Na)이 토양에 투입되어 나타내는 피해는 SAR로 칼슘(Ca)과 마그네슘(Mg)의 함량의 합에 대한 나트륨(Na)의 비율로 나타낸다. ③ 토양 입자를 분산시켜 수분이동을 억제하는 지표로 토양 분산율을 사용하고 있다. 국내에서는 시설재배지에서 작물이 염류 장해를 받지 않는 기준으로 토양 전기전도도를 2.0 $dS \cdot m^{-1}$미만으로 정하고 있다. 국제연합식량농업기구(FAO)는 포화추출에 의한 토양의 염류농도(ECe)와 관개수의 염류농도(ECw)로 작물별 토양의 안전사용 농도 가이드라인을 제시하였다. 일본에서도 염의 토양 시용량에 따른 토양 용액 중의 농도로 토양수분이 15%인 경우 천일염 10kg/10a를 안전한 사용농도로 평가하고 있다. 주의농도는 토양 중 Na^{+}함량이 557ppm 이상, Cl^{-}함량 859ppm 이상으로 설정하고 있다. 토양에 바닷물 또는 천일염을 장기 처리하여 집적되면 토양의 분산율이 증가하여 물이 땅 밑으로 투수가 잘 안 된다. 그러므로 작물에 염분 피해 현상이 나타난다. 염분피해 작용이 나타내지 않는 토양 분산율은 30% 미만이고, 나트륨 흡착비는 4.4 미만으로 보고 있다(국립농업과학원, 2017).

〈그림 3-10〉 밭 토양검정 결과

흙토람 soil.rda.go.kr

밭 토양 비료사용 처방서

열람용

경지 현황

조사번호	2022-2986	작물명	고구마	면적	4,959㎡
경작지	전라남도 무안군 현경면 용정리 359-34 (전)				
토양유형	적황색토 임지	토성	미사질식양토	토양통	전남통	배수등급	양호
토양특성	비가 많이 오면 흙과 양분이 유실되기 쉬우므로 철저한 배수시설 관리와 침식방지대책(승수구 설치, 등고선 재배등)이 필요합니다.				

토양검정 결과

단위	pH(1:5)	g/kg	mg/kg	cmol+/kg	cmol+/kg	cmol+/kg	dS/m
적정범위	6.0~6.5	20~30	250~350	0.55~0.65	5.0~6.0	1.5~2.0	0.0~2.0

2022년 2월 15일 채취 시료

흙토람 soil.rda.go.kr

밭 토양 비료사용 처방서

열람용

경지 현황

조사번호	2022-2985	작물명	고구마	면적	4,959㎡
경작지	전라남도 무안군 현경면 용정리 359-34 (후)				
토양유형	적황색토 임지	토성	미사질식양토	토양통	전남통	배수등급	양호
토양특성	비가 많이 오면 흙과 양분이 유실되기 쉬우므로 철저한 배수시설 관리와 침식방지대책(승수구 설치, 등고선 재배등)이 필요합니다.				

토양검정 결과

단위	pH(1:5)	g/kg	mg/kg	cmol+/kg	cmol+/kg	cmol+/kg	dS/m
적정범위	6.0~6.5	20~30	250~350	0.55~0.65	5.0~6.0	1.5~2.0	0.0~2.0

2022년 11월 17일 채취 시료

결론

친환경 고구마재배에서 바닷물을 사용하는 것은 미네랄 공급 효과도 있지만, 해충 발생 억제와 농가에서 조절하기 힘든 지상부의 과번무를 효과적으로 억제하는 방법으로 보인다. 그러나 바닷물에는 고구마 생육을 저해하고 재배지 토양환경을 악화할 수 있는 Na+ 이온과 Cl- 이온을 함유하고 있어 사용에 세심한 주의가 필요하다.

바닷물을 이용한 고구마 재배기술 실험연구 결과를 종합해 보면, 크게는 지상부 염해 증상과 병충해방제 효과, 괴근의 수량 및 품질특성을 기준으로 나눌 수 있다.

1. 지상부 염해 증상을 기준으로 하여 볼 때, 바닷물 처리 시기는 삽식 후 50일부터 시작하여 총 4~5회가 바람직하였다. 농도는 삽식 후 50~65일에는 희석농도를 10~20%로 하며, 삽식 후 80일 이 지났을 때 희석농도는 50%가 안전 농도이며, 80~100%에서는 염해를 일으켰다.

2. 바닷물의 병충해방제 효과 구명 실험에서는 바닷물의 처리는 살충 효과는 크지 않지만, 섬서구메뚜기 등 해충의 밀도를 억제하거나 회피를 위해 처리 시기는 8월 중순 이전이며, 농도는 50% 이하가 적당하였다.

3. 지상부 경엽 수량은 바닷물 10~60% 농도로 5회를 처리한 결과 염해 발생이 없으면서 무처리보다 9% 감소 되었는데, 이로써 바닷물의 지상부 과번무 억제 효과가 인정되었다.

4. 수량성에 관하여는, 〈실험 1〉 바닷물 처리 시기 및 횟수 구명 실험에서 삽식 후 생육 초기에 10~50%를 처리한 동안 지상부의 염해가 발생하지 않았으나 생육 중~후기에 80~100%의 해수에는 지상부 염해가 많이 발생했고, 그것이 원인이 되어 괴근 수량이 무처리구보다 72~98% 수준으로 감소한 것으로 판단되었다.

5. 〈실험 2〉에서는, 바닷물의 농도 50%를 삽식 후 50~65일부터 수확기까지 총 1~5회를 처리한 결과 〈실험 1〉과 달리 지상부 염해가 나타나지 않았다. 처리구 간

에는 실험구 A(5회), B(4회), C(3회)의 경우 무처리 대비 10~17% 증수하였고, 처리 횟수가 D(2회), E(1회)로 작을수록 수량이 낮아지는 경향이었으며, 전체적으로는 바닷물의 처리가 무처리구보다 수량이 높게 나타났다.

6. 〈실험 3〉 바닷물의 적정농도 구명 실험에서 수량성은, 바닷물의 농도를 10~60%로 처리한 '가, 나' 실험구가 114~118%로 높았고, 80~100%로 높게 처리한 '다, 라, 마, 바' 실험구는 무처리구보다 63~93% 수준이었다.

7. 고구마 품질특성을 분석한 결과, 고구마 잎의 경도는 바닷물의 처리구가 무처리구보다 강한 것으로 조사 되었다. 이는 고구마 잎에 바닷물을 반복적으로 처리함으로써 삼투현상으로 인해 수분이 빠져나간 결과 잎의 경도가 증가하였을 것으로 추측되었다.

8. 고구마의 일반 및 무기성분은 바닷물 처리구의 경우 칼슘, 칼륨, 아연, 나트륨 등의 함량이 무처리구보다 많았다.

9. 전분가는 처리구와 무처리구의 차이가 없었으며, 당도는 처리구가 32.5~32.8 Brix°%로 무처리구보다 높았다. 식미는 바닷물 처리구인 가와 나의 실험구가 4.5 수준으로 무처리구보다 높았는데 이는 감미도가 높은 Fructose와 Sucrose의 영향으로 판단되었다.

10. 실험구 토양검정 결과 실험 전과 후의 염분은 각각 0.4, 0.3ds/m로 유의미한 차이가 없으며, 적정범위 내에 속하므로 바닷물 처리로 인한 염분의 집적은 없는 것으로 판단되었다.

이상의 모든 결과를 종합하면, 고구마재배에서 바닷물을 안전하게 사용하는 방법은 삽식 후 50일~65일 동안에는 10~20%로 처리하고, 80~110일 동안에는 50%로 총 4~5회를 처리하는 것이 염해 및 해충 피해를 줄이고 수량과 품질을 높이는 것으로 규명되었다.

참고문헌

국립농업과학원. (2017). *유기농기술지 10 바닷물의 농업적 활용기술*.

김명석 등. (2012). *바닷물 엽면처리에 의한 구기자 수량 증대 및 품질향상 효과*. 영농활용자료집

김명숙 등. (2011). “바닷물 살포가 토양 화학성과 마늘 무기성분 함량에 미치는 영향”. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6), 1295-1299

박영수. (2015). *해수를 이용한 고구마 품질 향상기술개발*. 경기도농업기술원 시험연구보고서.

손재권 등. (2016). “간척지 염해토양의 특성과 제염기법”. *Korea J. Org. Agric*. 24(2), 273-287

이상범. (2010). 친환경 농산물 생산을 위한 바닷물의 안전사용 농도. 농촌진흥청.

이상범 등. (2012). “바닷물을 이용한 친환경 농산물 생산기술 개발”. 농촌진흥청 완결과제보고서.

이준설 등. (2002). “고구마 생산과 이용”. 농촌진흥청.

채수규 등. (2000). *표준식품화학*. 도서출판 효일. 470

北野 雅治. (2007). “植物生産システムにおける環境ストレスの回避と応用およびその効果の評価”. 九州大学

Curtin, D., H. Steppuhn, and F. Selles. (1994). Clay dispersion in relation to sodicity, electrolyte concentration, and mechanical effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:955-962.

Greenway, H. and R. Munns. (1980). Mechanism of salt tolerancein nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31, 130-149.

Han, S.G., Y.H. Kim, K.H. Moon, H.C. Lim, and Z.K. U. (2004). Salt Monitoring of Ground Water and Damage of Satsuma Mandarin (Citrus unshiu Marc.) as Influenced by Salinity Stress Using Sea Water. *Kor. J. Hort. Sci.* 22(4), 453-457

Nicholas P. Yensen., ClAD and NyPa Int'l. (2002). New developments in the world of saline agriculture. *Kluwer Academic Publishers*. 37, 321-332.

Munns, R. (1993). Physiological processes limiting plant growth in saline soils: Some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ*. 16, 15-24.

Shanon, M.C. and G.M. Grieve. (1999). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78, 5-38.