

간척지에서 토양 염농도별 케나프의 생육반응 및 수량성

강찬호*[†] · 최원영** · 유영진* · 최규환* · 김효진* · 송영주* · 김정곤*

*전라북도농업기술원, **농촌진흥청 국립식량과학원 벼맥류부

The Growth Phase and Yield Difference of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) on Soil Salinity in Reclaimed Land

Chan-Ho Kang*[†], Weon-Young Choi**, Young-Jin Yoo*, Kyu-Hwan Choi*, Hyo-Jin Kim*, Young-Ju Song*, and Chung-Kon Kim*

*Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-704, Korea

**Department of rice and winter cereal crop, NICS, RDA, 457 Pyongdonglo Iksan 570-080, Korea

ABSTRACT Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) was recognized as a potential source of forage. To reduce the production cost, we should insure large cultivation area. The one of the best candidate places to expand the useful kenaf production was 'Saemangeum' reclaimed land. To confirm the possibility of kenaf growth in reclaimed land, we seeding and cultivated the kenaf in 'Saemangeum'. The germination percentage of kenaf on 5.0 dS/m soil salinity was 18%. It is less 66% than that of 4.0 dS/m soil salinity and at 6.0 dS/m, the germination percentage of kenaf was under 10%. The growth and development of kenaf in reclaimed land grew worse with increasing soil salinity. The stem diameter which the most important factor that decide the value and yield of product was upper 2.6 cm when soil salinity maintained under 4.0 dS/m, but if soil salinity marked over 4.0 dS/m, the stem diameter of kenaf was drop under 2.0 cm and it deteriorate the number of leaves per plant by 20~46%. The necrosis on older tip and marginal leaves were noted approximately first month after seeding which was correlated directly with the salinity levels of reclaimed soil. Reduction of total yield was coincide with increasing levels of EC. If soil salinity over 5.0 dS/m, the amount of decreased by soil salinity was 51% than that of non-reclaimed region. The allowable soil salinity level of which could be maintained within 20% reduction rate was 4.2 dS/m. Consequently kenaf can be grown successfully with moderately saline soil condition. However, salt levels in excess of 4.2 dS/m severely have restricted plant growth and development and will result in significant yield reduction.

Keywords : Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), reclaimed land, salt tolerance

전라북도 서해안 지역에 28,300 ha가 넘는 대규모 간척용지가 조성되고 조성된 간척용지의 30% 정도인 8,570 ha가 점단농업용지로 개발될 것이라는 계획이 새만금 토지이용 기본구상을 통하여 확정되었다. 새로이 개발되는 간척지가 농업 개발 수요를 충족시키기 위해서는 불리한 간척지 토양 특성을 최소화할 수 있도록 최적 적용 가능 작물을 선발하고 재배, 이용 측면에서 활용성을 높일 수 있는 기술을 개발하는 것이 필요하다. 지금까지 간척지는 벼농사를 중심으로 한 주곡생산에 주로 활용되어 왔으나 최근 쌀 생산 과잉에 따른 대체 소득작물 개발 요구도가 갈수록 높아지고 있고, 쌀 수입개방과 소비량 감소 등으로 벼 생산에 관한 농업 환경이 급변하고 있어서 간척지 농업도 벼농사 일변도에서 다양한 밭작물의 도입 가능성이 모색되고 있다(Lee *et al.*, 2000; RRI, 2006; RRI, 2007). 간척지를 밭으로 이용할 경우 지하수위 및 배수조건 등에 따라 토양의 염류분포가 불균일하여 작물의 생육과 수량 등에 많은 차이를 나타내는 점이라든가, 가뭄이 지속될 때 관수 등 물관리가 작물의 생육 및 수량에 큰 영향을 미친다든가(Son, 1994), 높은 염농도와 낮은 유기물 함량으로 숙답화에 들어가는 시간과 비용이 많이 소모된다는 점 등 해결해야할 문제점이 많이 있다. 그러나 염에 대한 내성이 강하고 간척지의 거친 환경에 잘 적응할 수 있는 대상작물을 적절히 선택하는 것이 가장 우선적으로

[†]Corresponding author: (Phone) +82-63-290-6032 (E-mail) kangho68@korea.kr

<Received 21 May 2014; Revised 30 September 2014; Accepted 29 October 2014>

고려해야할 중요 해결과제이다. 케나프(*Hibiscus cannabinus* L.)는 아프리카가 원산으로 고온성 열대작물이나 기후나 토양환경에 대한 적응성이 매우 강해서 다양한 기후 특성을 가진 세계의 여러 지역에서 재배되고 있다(Webber & Bledsoe, 1993). 또한 척박한 토양 환경에서도 매우 잘 자라며(Dao *et al.*, 1989, Evans & Hang, 1993) 토양 속의 질소 인산 등 다양한 오염물질을 흡착하는 능력이 매우 강해서 환경 정화 소재로도 이용되고 있기도 하다(Bledsoe, 1999; Killinger, 1969; Miyazaki *et al.*, 1995). 특히 염과 관계되어 있는 금속이온의 흡착능력이 높아서 많은 이온들이 산재해 있는 간척지의 제염 효율을 높일 수 있는 좋은 소재로서 활용 될 수 있는 가능성이 있다(Ahlgren *et al.*, 1950; Curtis & Lauchli, 1985; Maas & Hoffman, 1977; Van Genuchten & Hoffman, 1984). 또한 10a당 평균 수량이 10톤을 상회하는 높은 수량성과 다양한 산업용도 특히 우수한 사료특성을 보유하고 있어(Bhardwaj *et al.*, 1995; Cahilly, 1967; Clark & Wolff, 1969; Hollowell *et al.*, 1996; Hurse & Bledsoe, 1989; Killinger, 1964; Killinger, 1967; Phillips *et al.*, 1989; Powell & Wing, 1967; Suriyajantratong *et al.*, 1973; Swingle *et al.*, 1978) 다수 국가와의 FTA 체결 등으로 경쟁력 확보가 필수적인 축산농가에 많은 수량과 우

수한 사료가치를 가진 조사료자원을 공급 할 수 있다는 점에서 상당한 관심을 끌고 있다. 이러한 케나프의 경쟁력 확보 방안의 일환으로 간척지에서의 대규모 재배 가능성을 확인하고 대량 생산에 따른 파급효과를 검토하기 위하여 새만금 간척지 내에서의 염농도에 따른 케나프의 생산 가능성을 본 논문에서 검토하였다.

재료 및 방법

새만금 간척지에서 토양 염농도별 케나프의 생육반응 및 수량성 구명

시험은 부안군 계화면 농촌진흥청 국립식량과학원 벼백류부 계화간척지 시험포장에서 수행되었다(Fig. 1). 시험전 토양의 화학적 특성은 Table 1, Table 2와 같았고 시험기간의 기상조건은 Table 3과 같았다. 토양 염농도 수준이 EC 3.0~6.0 dS/m인 시험포장에서 만기 개화종인 케나프 품종 홍마 300을 30×20 cm (8,000본/10a)로 점파 하였다. 시험 처리는 난괴법 3반복으로 수행 하였는데 파종은 2013년 5월 12일 하였고 최종 수확은 2013년 11월 4일 하여 약 200일 재배하면서 토양 염농도별 받아들기와 생육상황 그리고 생

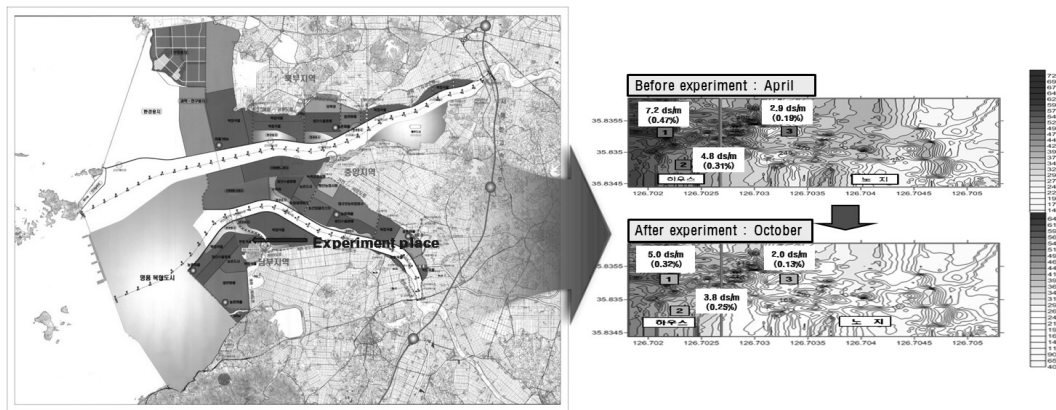


Fig. 1. The experiment place location and soil EC change (Saemangeum reclaimed land : Jeollabuk-do Buan Kun Kaehwa-myun).

Table 1. The physiochemical properties of soil of experiment field (Saemangeum reclaimed land) according to the soil EC change.

Soil salinity	soil texture	pH (1:5)	Av.P ₂ O ₅	T-N (g/kg)	OM	Ca	K	Mg	Na
			-----			----- (g/kg) -----			
3.0 dS/m (0.19%*)		7.41	76.6	0.6	12.08	3.04	1.26	6.16	2.18
4.0 dS/m (0.26%)	SiL	7.64	72.7	1.2	12.41	2.84	1.21	6.04	2.02
5.0 dS/m (0.32%)		7.76	70.2	1.4	12.25	2.62	1.38	5.98	2.18
6.0 dS/m (0.39%)		8.02	68.5	1.8	12.06	2.14	1.64	5.62	3.26

*conversion value of soil salinity dS/m as %

Table 2. The soil properties of experiment field on soil depth.

Depth (cm)	Soil composition(%)			Soil texture	pH (1:5)	OM (%)	Ex.cation(cmol/kg)				Electric conductance	
	Sand	Silty sand	Clay				Ca	Mg	Na	K	(%)	dS/m
0~12	26.6	68.1	5.3		7.4	0.81	3.5	4.4	2.9	0.55	0.45	6.94
12~22	36.7	54.8	8.5	SiL	8.1	0.35	2.9	5.3	4.4	1.14	0.52	8.06
22~35	19.3	60.6	20.1		8.0	0.63	1.9	5.6	2.7	1.21	0.60	9.21

Table 3. The weather condition of experiment place in culture period.

Division		Month							
		3	4	5	6	7	8	9	10
Avr. Temp. (°C)	Common year	5.4	11.3	16.8	21.3	25.0	25.6	20.9	15.8
	Last year	4.9	12.0	17.8	22.8	25.6	27.2	20.5	15.4
	This year (2013)	5.3	9.2	16.9	22.4	26.7	27.8	21.5	17.1
	Fluctuation	+0.4	△2.8	△0.9	△0.4	+1.1	+0.6	+1.0	+1.7
Lowest Temp. (°C)	Common year	0.4	5.7	11.7	17.2	21.5	21.8	16.3	10.2
	Last year	1.1	6.0	13.1	18.8	22.4	23.6	16.9	9.5
	This year (2013)	-0.3	3.8	11.8	18.9	23.9	24.2	17.0	11.8
	Fluctuation	△1.4	△2.2	△1.3	+0.1	+1.5	+0.6	+0.1	+2.3
Highest temp. (°C)	Common year	11.2	17.7	22.8	26.3	29.4	30.5	26.3	22.1
	Last year	9.4	18.2	24.2	27.9	29.6	31.6	25.1	22.3
	This year (2013)	12.0	15.5	23.0	27.4	30.4	32.6	26.8	23.4
	Fluctuation	+2.6	△2.7	△1.2	△0.5	+0.8	+1.0	+1.7	+1.1
Rainfall (mm)	Common year	4.8	7.3	9.0	15.3	26.7	23.8	14.4	3.5
	Last year	15.7	19.9	15.5	16.3	40.9	90.9	33.2	3.1
	This year (2013)	12.7	17.0	47.6	12.4	17.6	60.8	18.4	3.1
	Fluctuation	△3.0	△2.9	32.1	△3.9	△23.3	△30.1	△14.8	-

체량 등을 조사하여 케나프의 토양 염농도별 생육반응 및 수량성 등을 측정하였다. 시험구의 면적은 18.0 m²로 하였고 시비량은 시험전 토양 화학적 특성을 기준으로 비슷한 특성을 가진 작물로 평가되는 옥수수 시비처방기준에 따라 N-P₂O₅-K₂O (15-15-10kg/ha)를 전층 사용하였다. 기비는 파종 후 60일 경과후인 7월 12일에 요소 100 kg/10a을 살포하였다. 주요 생육 특성은 파종 후 1개월 단위로 6회 조사하였는데 시험구 중간지점에서 20본을 선정하여 초장, 엽수, 엽장, 엽폭, 엽분포, 줄기직경, 분지수, 주당무게 등을 조사하였고 기부에서 전초를 절단한 후 잎과 줄기 부분을 분리한 후 무게를 측정하여 생체중 비율을 측정하였다.

시험지 토양 분석

토양 삼상은 자연토양에 시료채취기로 core 시료를 채취한 후 토양수분이 마르지 않도록 tape로 밀봉하여 실험실

내로 운반한 후 용적밀도와 입자밀도를 구하여 측정하였는데 고상(%)은 (용적밀도/입자밀도)×100으로 액상(%)은 중량수분함량(%)×용적밀도로 기상(%)은 100에서 고상과 액상을 제하여 계산하였다. 토양 화학성은 한 개의 시험구내에서 균일하게 10개소를 지정하여 측정 하였는데 작토층 30 cm 깊이까지 오거를 이용하여 토양을 채취한 후 온도 20~25°C와 습도 20~60%가 유지되는 실내에서 건조 시킨 후 모래나 자갈이 깨어지지 않도록 토양분쇄기를 사용하여 분쇄하여 사용하였다. 분쇄된 시료는 2 mm 체를 통과시켜서 사용하였는데 T-N 분석 등의 시료는 2 mm 체를 통과한 토양을 유말로 갈아서 0.5 mm 체를 전량 통과시켜 사용하였다. 토양 pH 및 전기전도도(EC)는 토양시료 5 g에 증류수 25 mL을 넣어 1 : 5로 희석하여 저어주면서 1시간 방치 후 pH meter 및 conductivity meter로 측정하였고 유기물은 Tyurin법에 의하였는데 0.5 mm 체를 통과한 시료 1.0 g에 0.068 M (0.4N)

중크롬산칼리 황산혼합 용액 10 mL를 넣어 200°C 전열판에서 기포발생 후 5분간 반응시킨 후 분해액에 약 150 mL의 증류수와 5 mL의 85% H₃PO₄ 및 5~6방울의 지시약을 넣고, 0.2M (0.2N) FeSO₄(NH₄)₂SO₄ 용액으로 적정하여 측정하였다. T-N은 비색법으로 분석하였는데 토양시료 5 g에 농황산 25 mL을 넣은 후 분해 촉진제 혼합분말(K₂SO₄ : CuSO₄ = 9 : 1) 5 g을 넣어 400°C에서 4시간 분해한 뒤 증류수로 100 mL를 맞추고, 이 중 1 mL를 시험관에 옮겨 phenol-sodium nitroprusside-EDTA 혼합용액 3 mL를 넣고 37°C에서 5분간 반응시킨후 phosphate- sodium hypochlorite 혼합액 5 mL를 넣고 잘 흔들어 20분간 30°C에서 항온시킨 후 665 nm에서 비색 정량하였다. 유효인산은 Lancaster법에 의하였는데 토양시료 5 g에 pH 4.25의 lancaster 침출액 20 mL을 넣은 후 10분간 진탕 침출하여 여과한후 ammonium molybdate를 발색(청색)시켜 비색 정량하였다. 양이온치환용량(CEC)은 1M CH₃COONH₄ (pH 7.0) 50 mL로 12시간동안 포화시키면서 토양교질에 NH₄⁺을 흡착시킨 후 암모니아성 질소법으로 정량하였다.

식물체내 산도, SOD 유사활성 및 proline, Flavonoid, polyphenol 함량 분석

식물체내 산도 및 전기전도도 변화는 평균증류수로 1 : 5 희석한 후 pH meter와 전기전도도 측정기(Orion 4 star pH. Conductivity)를 사용하여 측정하였다. proline 함량 측정은 분광광도계 SHIMADZU UV-Visible 1650PC를 사용하여 toluene과의 발색반응을 통하여 측정하였고 SOD 유사활성 검정은 Marklund & Marklund (1974)의 방법을 변형시켜 분석. 시료를 메탄올로 추출하여 농축한 후 용매 메탄올 1 mL당 1,000 µg로 희석. 시료 희석액 0.2 mL, Tris HCl buffer (50 mM Tris hydroxymethyl aminomethane with 10 mM EDTA, pH 8.5) 2.6 mL, 7.2 mM pyrogallol 0.2 mL를 첨가

하여 25°C에서 10분간 반응시키고 0.1N HCl 0.1 mL로 반응을 중지시킨 후 반응액 중 산화된 pyrogallol 양을 ELISA reader를 사용하여 420 nm에서 측정 하였다. 총 페놀 함량은 Folin-Denis 방법을 변형시켜 실시하였는데 시료 1 g을 메탄올 100 mL로 24시간 진탕추출한 후 추출액과 증류수를 1 : 20 비율로 섞고 희석액의 1/10 볼륨의 Folin-Ciocalteau's phenol reagent를 가하여 혼합한 후 Na₂CO₃ 포화용액 0.2 mL를 가하고 증류수를 첨가하여 2 mL로 만든 후 ELISA reader (Spectra Max 190, Molecular Devices, U.S.)로 725 nm의 흡광도를 측정한 후 caffeic acid를 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 총 페놀 함량을 산출하였다. 플라보노이드 함량은 총 페놀 분석과 동일한 시료 200 µL에 diethyleneglycol 500 µL를 넣고 1N NaOH 50 µL를 혼합하여 vortexing 한 후 ELISA reader로 420 nm에서 흡광도를 측정. 표준물질로 naringin을 사용하여 만들어진 표준곡선에 대입하여 측정하였다.

결과 및 고찰

새만금 간척지에서 토양 염농도별 케나프의 생육반응 및 수량성 구명

본 시험에서 사용된 시험포장은 바닷물에서 노출된 후 자연 방임된 상태로 보존된 토양으로 일반적인 간척지 토양 특성에 따라 토양 pH는 7.5 이상으로 높게 형성되어 있었고 유기물 함량은 0.32%로 비간척지 토양의 1/10 수준이었으며 인산 함량도 26~37 mg/kg으로 대조구인 비간척지 토양에 비해 30% 정도로 아주 낮은 수준을 유지하고 있었다. 토양 EC는 토양 지점에 따라 다르게 나타났는데 고염지는 7.2 dS/m (=0.47%), 중염지는 4.8 dS/m (=0.31%) 이었고 저염지는 2.9 dS/m (=0.19%)로 지점 간 큰 차이가 나타났다. 시험 전후의 토양 특성을 비교해보면 퇴비 및 비료 투입

Table 4. The change of physiochemical properties of experiment field in culture period.

Division		E.C. (dS/m)	pH (1:5)	OM (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	C.E.C (cmol/kg)	T-N (%)
High salinity region	Before experiment (March)	7.2	7.5	0.32	26	6.5	0.018
	After experiment (September)	5.0	7.4	0.38	36	6.9	0.021
Middle salinity region	Before experiment (March)	4.8	7.4	0.30	38	5.7	0.013
	After experiment (September)	3.8	7.6	0.37	42	6.0	0.019
Low salinity region	Before experiment (March)	2.9	8.0	0.26	37	3.5	0.020
	After experiment (September)	2.0	7.6	0.32	46	4.1	0.024
Non-reclaimed region	Before experiment (March)	-	7.4	3.29	119	6.4	0.046
	After experiment (September)	-	7.4	3.18	146	6.2	0.042

Table 5. The change of soil electro-conductivity along culture period (Unit : dS/m).

Month (2013 year)	April	June	August	October
High salinity region	10.2	9.4	7.6	8.2
Middle salinity region	4.8	4.0	3.2	3.5
Low salinity region	2.9	1.4	1.8	2.2
Non-reclaimed region	1.2	0.8	0.8	1.0

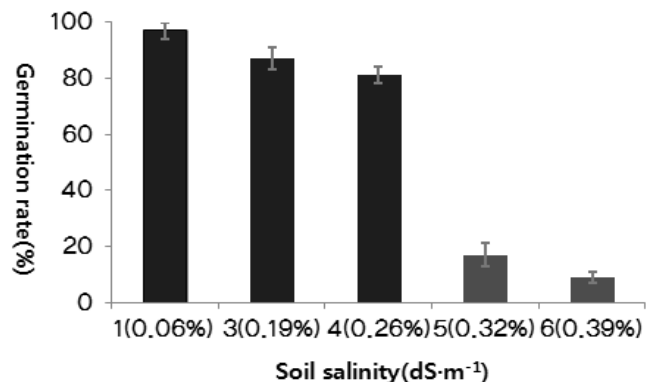
으로 시험전후 토양 유기물, 인산 등에 약간의 변화가 있었으나 변화의 폭은 그리 크지 않았다. 퇴비는 10a당 2,000 kg을 투입하였으나 유기물 함량(OM)이 고염지 포장에서 최대 0.38%로 함유량 증가폭이 최대 0.07%에 그쳐 토양 개선 효과가 크게 나타나지는 않았고 토양내 인산(P_2O_5) 농도 개선 효과도 최대 10 mg/kg 으로 미미해서 정상적인 상태의 토양 조성에 상당한 시간이 소요될 것으로 예측되었다(Table 4).

간척지 토양의 염농도는 간척후 경과 기간과 숙전화 정도에 따라 다르게 나타나지만 일반적으로 지하수위의 높이에 따라 다른 양상을 나타낸다. 공시된 시험포장의 시기별 토양 염농도의 변화는 Table 5와 같은데 작물재배에 의한 염 흡수 및 토양 조성 후 강우 등의 영향에 의한 자연 제염 등에 의해 시험초기인 4월 보다는 작물 수확기인 10월의 토양 염농도가 대체로 하강하는 경향을 나타내었다. 또한 제염 효율의 차이가 염농도 분포에 따라서 다르게 나타났는데 고염지에서는 10.2 → 8.2 dS/m로 19.6% 감소한 반면 중염지와 저염지에서는 각각 27.1% (4.8 → 3.5 dS/m)와 24.1% (2.9 → 2.2 dS/m)로 중염지와 저염지에서의 제염 효율이 약간 높게 나타났다. 이는 높은 염농도에 의해 케나프가 생존하지 못한 고염지에 비해 케나프의 생육이 양호하게 유지된 저염지와 중염지에서 작물재배에 의한 제염 효과가 더 크게 나타난 것으로 해석되었는데 흡비력이 높은 케나프의 작물특성이 좀 더 크게 반영된 것으로 추측되었다(Data not shown). 시기별 토양 염농도 변화를 보면 4월 토양이 조성된 상태에서 파종을 통해 본격적인 식물체 생장이 이루어지는 6월에서 8월 사이의 토양 염농도가 장마 등 강우의 영향과 식물체 피복 효과 등으로 점차 낮아지다가 비강우기인 10월에 약간 증가하는 것을 볼 수 있었으며 건조한 날씨가 많은 3~4월을 거치면서 염농도가 다시 상승하는 경향을 확인할 수 있었다(Table 5).

종자의 발아율은 토양 염농도에 의해 크게 영향을 받는다. 토양 염농도가 높아지면 발아 자체가 영향을 받는 것이 일반적이지만 대체적으로 높은 염에 대한 적응성이 큰 것으로 평가되는 작물들도 염농도가 0.5%를 넘어서면 발아율이 급격히 떨어지는 것이 일반적이다. 여러 작물 들을 대상으로

바닷물을 이용하여 염분농도를 조절하며 종자 발아율과 식물별 발아 한계농도를 조사한 결과 내염성 정도는 Barnyard grass > Rumex > Sesbania > Festuca > “FL478”, “Pokkali” > Italian Ryegrass > Alfalfa > Ryegrass > Kenaf > Sudan grass > Amaranthus 순이었는데 이와 유사하게 염농도 차이에 따른 케나프의 발아율을 조사해보면 토양 염농도 4.0 dS/m (=0.26%) 까지는 종자 발아율이 80%를 넘어 염농도에 의한 영향을 크게 받지 않았으나 토양 염농도가 0.3%를 넘어서게 되면 종자 발아율이 급격히 떨어져서 염농도 5.0 dS/m (=0.32%)에서는 발아율이 17%로 급격히 하락하였고 6.0 dS/m (=0.39%)에서는 발아율이 채 10%를 넘지 못하고 9%이었다(Fig. 2). 이상의 결과에서 볼 때 케나프의 발아 염농도 한계선은 0.3% 정도인 것으로 추산되었으며 토양 염농도가 0.3%를 넘어서는 토양에서는 직파 보다는 묘를 육성하여 이식하는 정식 방법을 이용하는 것이 적정 재식밀도를 유지하는데 유리할 것으로 판단되었다.

Fig. 3은 간척지에서의 케나프의 성장 과정을 기간경과별 온도변화에 따라 해석해 놓은 그림이다. 5월 1일 파종 후 충분한 수분 공급이 이루어지면 약 5일 정도 경과한 후부터 케나프가 본격적으로 발아하는데 이 때 최초로 발아가 시작되는 평균 외기온도는 약 10~12°C 이며 생육상 변화를 통



* Each bar represents mean ± SD of 3 experiments. *P < 0.05 vs. control.

Fig. 2. The germination rate of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) on soil salinity in ‘Saemangeun’ reclaimed land.

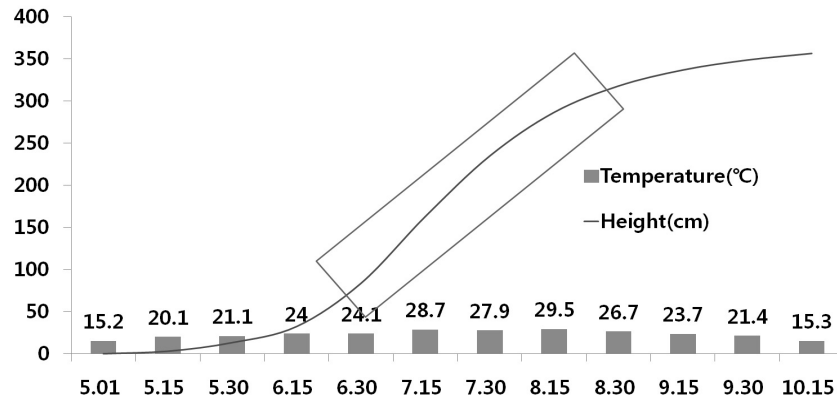


Fig. 3. The growth analysis of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) on reclaimed land according to the air temperature (2013).

Table 6. The stem and leaf growth character of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) on soil salinity in 'Saemangeun' reclaimed land.

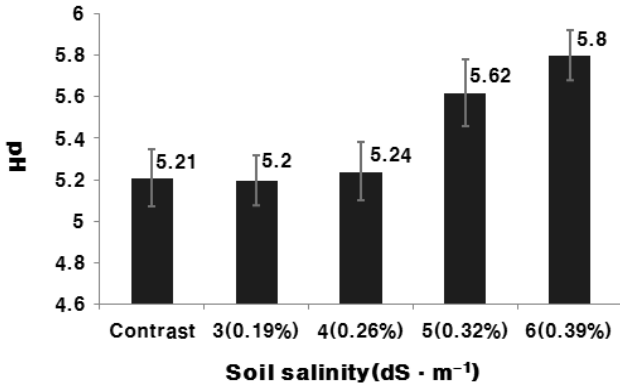
Soil salinity	Plant height (cm)	Stem		Leaf			
		Average Diameter (cm)	Branching (No.)	Length (cm)	Width (cm)	No. (ea)	Leaf Area Index
Non-reclaimed region	384.2 a*	3.1 a	145.9 a	15.4 a	21.8 a	196.5 a	5.24 a
3.0 dS/m (0.19%)	368.4 ab	2.9 ab	142.8 a	14.6 ab	21.4 a	184.2 a	5.12 a
4.0 dS/m (0.26%)	308.6 b	2.6 b	92.6 b	15.2 a	20.6 ab	146.2 c	4.35 b
5.0 dS/m (0.32%)	248.6 c	2.0 c	42.8 c	12.6 b	17.6 b	98.6 d	3.14 c
6.0 dS/m (0.39%)	Cell death at 30 days from seeding						

*The same letters in each column are not significantly different at 5% level by DMRT.

해 본격적으로 생장을 시작하는 온도는 15~20°C 정도로 시기적으로는 5월 15일 전후에 해당된다. 이 후 본격적으로 온도가 상승되는 6월 하순 이후에는 빠른 속도로 성장하게 되는데 평균 온도가 25°C를 넘는 상태를 유지하는 8월 하순까지 성장패턴이 지속적으로 증가하다가 이후 평균기온이 떨어지면서 성장 속도가 점차 둔화된 것으로 보아 케나프는 높은 온도에서 생장이 크게 촉진되는 고온성 작물로 생육 최적 온도는 평균기온 24°C에서 29°C 정도로 평가되었다(Fig. 3).

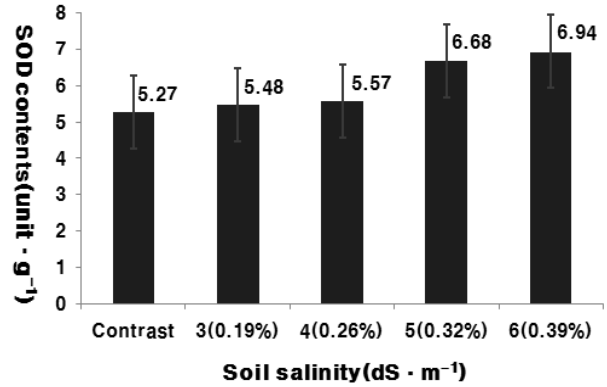
간척지 토양의 염농도에 따른 케나프의 지상부 생육을 비교해보면 토양 염농도가 6.0 dS/m (=0.39%)를 넘어서게 되면 파종 30일 후 식물체가 염해를 받아 고사하게 되고 4.0 dS/m (=0.26%) 부터는 토양 염농도와 반비례하여 식물체 생장이 영향을 받게 된다. 전체적으로 초장과 줄기의 평균 직경과 분지수, 엽수 및 잎의 신장 정도가 감소하게 되는데 유의하여 볼 점은 줄기의 직경 감소가 분지수 및 엽수 감소와 상당히 밀접하게 연관되어 있다는 점이다. 케나프는 주요 영양소가 잎에 분포하고 있으며 이를 통해 높은 사료가치 등의 특성이 유지된 것으로 평가되고 있다(Cahilly, 1967;

Phillips *et al.*, 1989). 또한 사료가치 이외의 산업 활용 분야에서도 최대 성장을 통해 많은 수량을 확보하기 위해서는 광합성을 할 수 있는 적절한 선의 잎을 확보하는 것이 필수적이다. 따라서 잎 분포 비율을 최대한도로 유지하고 많은 양이 수확되도록 유지하는 것이 이용 측면에서는 유리한데 케나프는 줄기직경을 2.6 cm 이상으로 유지할 수 있을 경우 유의할 수준으로 엽수가 큰 폭으로 증가하고 줄기부분에 대한 상대적 무게비율이 증가하는 결과를 얻을 수 있었다. 이는 잎의 분열을 촉진시킬 수 있는 충분한 성장량 확보가 줄기직경 2.6 cm 이상에서부터 가능하다는 것을 의미하며 파종거리나 파종시기 등 재배기술 개발에 있어서도 개체의 줄기직경을 2.6 cm 이상으로 유도 할 수 있는 재배기술을 만들어내는 것이 중요하다 할 수 있다. 간척지에서 케나프의 줄기직경을 2.6 cm 이상으로 유지하여 상대적으로 많은 잎 분포비율을 유지시키기 위해서는 토양 염농도가 4.0 dS/m (=0.26%) 이하이어야 한다. 염농도가 5.0 dS/m (=0.32%) 이나 6.0 dS/m (=0.39%) 으로 높아지게 되면 줄기직경이 2.0 cm 이하로 형성되었고 이에 따라 엽수도 20~46% 감소하였다. 이는 전체적인 수량감소의 요인이 될 뿐만 아니라



※Contrast : The kenaf cultured in non-reclaimed region
 *Each bar represents mean ± SD of 3 experiments. *P <0.05 vs. control.

Fig. 4. pH Change of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) in Saemangeum reclaimed land at 90days after seeding according to the soil salinity.

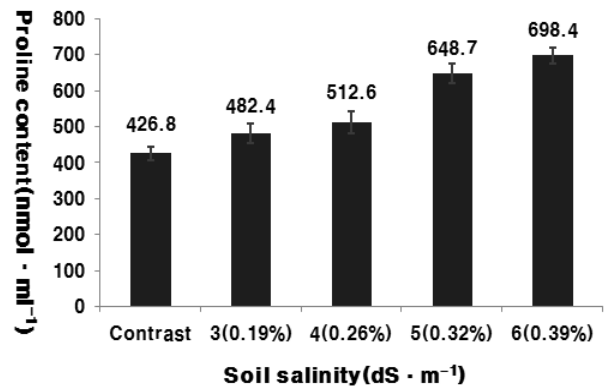


※Contrast : The kenaf cultured in non-reclaimed region
 *Each bar represents mean ± SD of 3 experiments. *P <0.05 vs. control.

Fig. 5. SOD contents change of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) in Saemangeum reclaimed land at 90days after seeding according to the soil salinity.

생산물의 사료가치를 하락시키는 요인으로 작용 할 수도 있으므로 케나프 재배는 염농도 4.0 dS/m (=0.26%) 이하의 재배지에서 재배하거나 염농도 4.0 dS/m (=0.26%) 이상의 염농도의 토양에서 재배할 필요가 있을 경우에는 재식거리를 넓게 유지하는 등의 재배기술 조정을 통하여 줄기 직경을 2.6 cm 이상으로 유지시키는 것이 중요하였다.

Fig. 4는 토양 염농도 변화에 따른 케나프 식물체의 pH 변화를 나타낸 그림이다. 일반적으로 식물체 내에서 스트레스에 의해 자유라디칼이 증가하게 되면 식물체는 이를 중화시키기 위하여 수소이온을 소모하게 되며 이에 따라 pH가 상승하고 전기전도도가 증가하게 된다. 따라서 pH의 급격한 상승은 식물체 내에서의 스트레스 증가를 의미하기도 하며 이에 따른 고사주의 증가가 나타나기도 한다(Ahmed *et al.*, 2010; Ruenroengkin *et al.*, 2007). 케나프 식물체의 pH를 간척지 토양 염농도 별로 분석한 결과 토양 염농도가 4.0 dS/m (=0.26%)까지는 일정 수준을 유지하다가 4.0 dS/m (=0.26%) 이상부터는 급격히 증가하는 경향이 나타나 케나프가 염에 의해 일정 수준 이상의 스트레스를 받는 한계 토양 염농도는 4.0 dS/m (=0.26%)인 것으로 확인되었다. 이와 유사한 경향을 케나프 식물체 내 SOD 농도 측정에서도 확인할 수 있었는데 SOD (Super Oxide Dismutase)는 대사과정 및 스트레스 과정에서 생성되는 자유라디칼을 흡수하는 효소의 일종이다. 이 SOD 발현량이 증가한다는 것은 스트레스 증가에 의해 발생된 자유라디칼을 제거할 필요성이 증가했다는 것을 의미하기 때문에 SOD 증가 폭이 클수록 식물체가 많은 스트레스를 받는다는 것을 의미한다. 케나프에 있어서 SOD 함량은 4.0 dS/m (=0.26%) 염농에서 5.57±0.80으



※Contrast : The kenaf cultured in non-reclaimed region
 *Each bar represents mean ± SD of 3 experiments. *P <0.05 vs. control.

Fig. 6. Proline contents change of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) in Saemangeum reclaimed land at 90days after seeding according to the soil salinity.

로 3.0 dS/m (=0.19%)의 5.48±0.80과 큰 차이를 보이지 않다가 5.0 dS/m (=0.32%) 염농도에서 6.68±0.59로 급격히 증가하게 된다(Fig. 5). 이는 앞의 pH 변화와 유사한 결과로 케나프의 일정 수준 이상의 스트레스를 받는 한계 토양 염농도는 4.0 dS/m (=0.26%)인 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 5).

일반적으로 식물체가 삼투압에서 기인한 osmotic pressure를 받으면 식물체내에 proline 등의 아미노산을 축적하게 된다(Claussen, 2005; Mafakheri *et al.*, 2010). 따라서 식물체 내에서 삼투압에 기인하는 스트레스 정도를 확인하기 위하여 proline의 함량을 측정하게 되는데 케나프에 있어서도 스트레스 한계 염농도라 판단되는 4.0 dS/m (=0.26%) 까지

Table 7. Changes of flavonoid and polyphenol contents of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) in Saemangeum reclaimed land at 90days after seeding according to the soil salinity.

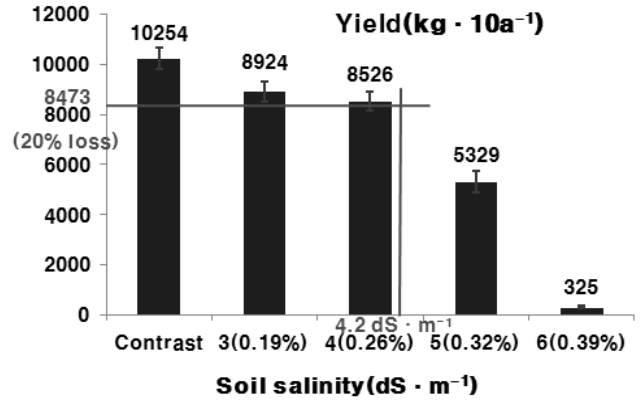
Soil salinity	Polyphenol contents (mg/g)	Flavonoid contents (mg/g)
Reclaimed region		
3.0 dS/m	162.8±5.28	89.6±3.64
4.0 dS/m	168.2±6.12	92.4±4.16
5.0 dS/m	184.4±5.26	92.4±2.84
6.0 dS/m	195.8±4.86	105.0±4.06
Non-reclaimed region	83.0±6.42	68.6±2.48

*± SD means of 3 experiments. *P <0.05 vs. control.

는 일정 수준을 유지하다가 4.0 dS/m (=0.26%) 이상에서는 농도가 급격히 증가하는 경향을 확인 할 수 있었다(Fig. 6).

폴리페놀은 지질의 과산화에 대한 항산화제, 충치 방지, 혈압상승 억제, 혈액 중의 콜레스테롤 상승 억제 등 생체 내에서 다양한 생리 활성을 나타내는 것으로 알려지면서 천연 물로부터 항산화물질을 추출하려는 연구가 여러 분야에서 이루어지고 있다(Cho *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2005; Lim *et al.*, 2007; Park *et al.*, 2000; Woo *et al.*, 2005). 플라보노이드 역시 대표적 항산화 성분으로서 세포조직 보호와 세포막 강화 등의 기능을 가진 것으로 확인되고 있는데 두 성분 모두 생체 방어물질로 분류되는 다양한 물질들의 전구 물질로서 식물체가 스트레스를 받을 경우 식물체내 플라보노이드와 폴리페놀 함량이 증가하는 경향이 있다(Birasuren *et al.*, 2013; Kang *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2012). 케나프에 있어서도 역시 스트레스 증가에 따라 폴리페놀과 플라보노이드 함량이 점차로 증가하였는데 토양 염농도가 5.0 dS/m (=0.26%)일 경우 폴리페놀 함량은 195.8±4.86으로 비간척지 케나프에 비해 1.36배 증가하였고 플라보노이드 함량도 105.0±4.06으로 53% 증가하였다(Table 7).

케나프의 토양 염농도에 대한 수량성을 분석한 결과가 Fig. 7이다. 케나프 역시 염농도 상승에 따라서 수량 감소를 동반하게 되는데 토양 염농도가 3.0 dS·m⁻¹ (=0.19%)일 경우 10a당 케나프 수량은 8,924 kg이었고 4.0 dS/m (=0.26%)인 경우에는 8,526 kg으로 비간척지에 비해 각각 13%와 19% 하락한 수치이었으나 양 염농도간 차이는 크지 않았다. 그러나 토양 염농도가 4.0 dS/m (=0.26%)를 넘어서는 경우부터는 수량 감소폭이 크게 나타났는데 토양 염농도가 5.0 dS/m (=0.32%) 일 경우에는 수량이 5,329 kg으로 비간척지의 51% 수준을 유지하는데 그쳤으며 토양 염농도 4.0 dS/m (=0.26%)일 때의 수량에 비해서도 38% 감소하는 결과를



※Contrast : The kenaf cultured in non-reclaimed region
*Each bar represents mean ± SD of 3 experiments. *P <0.05 vs. control.

Fig. 7. The yield of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) on soil salinity in 'Saemangeum' reclaimed land and setting a critical soil salinity to maintain yield loss within 20%.

나타내었다. 통계분석을 통하여 간척지에서 수량성 감소를 80% 이내로 유지 할 수 있는 토양 염농도를 산출해본 결과 토양 염농도가 4.2 dS/m 이내로 유지될 경우 케나프의 생산성은 80% 이상을 유지할 수 있었다(Fig. 7).

적 요

우수한 사료자원으로 평가되는 케나프의 생산단가를 낮추기 위하여 새만금 간척지 시험포에서 염농도 단계별 생육 및 수량을 관찰한 결과 케나프는 중·상정도의 내염성을 보유한 작물로 평가할 수 있으며 충분한 제염이 이루어진다고 하면 간척지에서의 재배 가능성도 충분한 것으로 평가할 수 있었다. 염농도별 케나프의 발아력을 조사한 결과 토양 염농도가 4.0 dS/m (=0.26%) 일 때 84%이던 케나프 발아율이 5.0 dS/m (=0.32%) 에서는 18%로 급격히 떨어졌으며 6.0 dS/m (=0.39%) 에서는 발아율이 10%를 넘지 못하였다. 또한 생육 상황도 토양 염농도에 비례하여 급격히 떨어졌는데 케나프는 줄기직경을 2.6 cm 이상으로 유지할 수 있을 경우 염수가 유의할 수준으로 늘어나고 줄기부분에 대한 상대적 무게비율이 증가하는 결과를 얻을 수 있었다. 이는 잎의 분열을 촉진시킬 수 있는 충분한 생장량 확보가 줄기직경 2.6 cm 이상에서부터 가능하다는 것을 의미하는데 새만금에서는 토양 염농도 4.0 dS/m (=0.26%) 이하에서는 케나프의 줄기직경을 2.6 cm 이상으로 유지하는 것이 가능하였으나 염농도가 5.0 dS/m (=0.32%)를 넘어서게 되면 줄기직경이 2.0 cm 이하로 염수도 20~46% 감소하였다. 생육장해

는 파종 후 1개월 경과부터 본격적으로 나타나기 시작하였는데 엽 정단이 고사하고 주변 잎 들이 급격하게 황화 낙엽 되는 현상이 발생하였다. 케나프의 토양 염농도에 대한 수량성을 분석한 결과 토양 염농도 4.0 dS/m (=0.26%) 까지는 비간척지에 비해 수량이 최대 19% 하락하였으나 염농도간 차이는 크지 않았다. 그러나 토양 염농도가 4.0 dS/m (=0.26%) 를 넘어서는 5.0 dS/m (=0.32%) 에서는 비간척지의 51% 수준을 유지하는데 그쳤으며 토양 염농도 4.0 dS/m (=0.26%) 일 때의 수량에 비해서도 38% 감소하였다. 통계분석을 통하여 간척지에서 수량성 감소를 80% 이내로 유지 할 수 있는 토양 염농도를 산출해본 결과 토양 염농도가 4.2 dS/m 이내로 유지될 경우 케나프의 생산성은 80% 이상을 유지할 수 있었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 농촌진흥청 어젠다사업(과제번호: PJ00925105)의 지원에 의해 이루어진 연구결과임.

인용문헌(REFERENCES)

- Ahlgren, G., H. Dotzenko, and A. Dotzenko. 1950. Kenaf a potential new crop. J. New York Bot. Gard. 51 : 77-80.
- Ahmed, H. G., F. A. Iram, F. M. Anjum, A. S. Hamdy, F. M. Khaled, and F. Amr. 2010. The effect of pH on flavor formation and antioxidant activity of amino acid and sugars interaction products. JASMR, 5(2) : 131-139.
- Bhardwaj, H. L., M. Rangappa, and C. L. III. Webber. 1995. Potential of kenaf as a forage. Proc. Int. Kenaf Assoc. Vonf. Irving, TX. 7 : 95-103.
- Birasuren, B., N. Y. Kim, L. Jeon, and M. R. Kim. 2013. Evaluation of the Antioxidant Capacity and Phenolic Content of *Agriophyllum pungens* Seed Extracts from Mongolia. Prev. Nutr. Food Sci. 18(3) : 188-195.
- Bledsoe, V. K. 1999. Kenaf : Alternative fiber. Contryside Pub. Texas, USA.
- Cahilly, G. M. 1967. Potential value of kenaf tops as a livestock feedstuff. Proc. first conf. kenaf for pulp. Gainesville, Fl. p 48 (Abstr.).
- Cho, Y. J., S. S. Chun, J. H. Kim, and S. J. Yoon. 2005. Inhibition against *Helicobacter pylori* and biological activities by Rue (*Rute graveolens* L.) extracts. J. korean Soc. Food Sci. Nutr. 34(4) : 460-465.
- Clark, T. F. and I. A. Wolff. 1969. A search for new fiber crops, XI. Compositional characteristics of illinois kenaf at several population densities and maturities. TAPPI 52 : 2606-2116.
- Claussen Wilfried. 2005. Proline as a measure of stress in tomato plants. Plant Science 168 : 241-248.
- Curtis, P. S., and A. Lauchli. 1985. Responses of kenaf to salt stress: Germination and vegetative growth. Crop Sci. 25 : 944-949.
- Dao, T. H., W. Lonkerd, S. Rao, R. Meyer, and L. Pellack. 1989. Kenaf in a semi-arid environment and forage quality in Oklahoma. Argon, Abstr. p. 130.
- Evans, D. W., and A. H. Hang. 1993. Kenaf in irrigated central washington. p409-410 : J. Janick and J. E. Simon(eds.), New crops. Wiley, New York.
- Hollowell, J. E., B. S. Baldwin, and D. L. Lang. 1996. Evaluation of kenaf as a potential forage for the southern Unite States. Proc. 8th Ann. Inter. Kenaf Vonf. 34-38.
- Hurse, L., and R. E. Bledsoe. 1989. Kenaf grown as a forage crop in Northeast Texas. Proc. Assoc. Advancement of Industria Crops Peoria, IL. p. 13 (Abstr.).
- Kang, M. H., C. S. Choi, Z. S. Kim, H. K. Chung, K. S. Min, C. G. Park, and H. W. Park. 2002. Antioxidative activities of ethanol extract prepared form leaves, seed, branch, and aerial part of *Crotalaria sessiflora*. L. Korean. J. Food Sci. Technol. 34(4) : 1098-1102.
- Killinger, G. B. 1964, Kenaf a potential paper-pulp for Florida. second Int. Kenaf Conf. Palm Beach, FL. p. 54-57.
- Killinger, G. B. 1967, Potential uses of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). Fla. Soil Crop Sci. Soc. Proc. 27 : 4-11.
- Killinger, G. B. 1969, Kenaf(*Hibiscus cannabinus* L.) a multi-use crop. Argon. J. 61 : 734-736.
- Kim, B. G., E. R. Lee, and J. H. Ahn. 2012. Analysis of Flavonoid Contents and Expression of Flavonoid Biosynthetic Genes in *Populus euramericana* Guinier in Response to Abiotic Stress. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 55 : 141-145.
- Kim, S. M., Y. J. Jung, C. H. Pan, and B. H. Um. 2010. Antioxidant Activity of Methanol Extracts from the Genus *Lespedeza*. J Korean Soc Food Sci Nutr 39(5) : 769-775.
- Lee, S. H., S. H. Yoo, S. I. Seol, Y. An, Y. S. Jung, and S. M. Lee. 2000. Assessment of salt damage for upland-crops in DAE-Ho reclaimed soil. Korean Journal of Environmental Agriculture 19(4) : 358-363.
- Lee S. O., H. J. Lee, M. H. Yu, H. G. Im, and I. S. Lee. 2005. Total polyphenol contents and antioxidant activities of methanol extracts from vegetables produced in Uilung Island. Korea.
- Lim, T. K., H. W. Park, Y. S. Hwang, and J. E. Choi. 2007. Potential role of polyphenolics and polyphenol oxidase on the induction of browning in ginseng roots. Korean J. Crop. Sci. 52(3) : 289-295.
- Maas, E. V. and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. J. Plant Physiol. 13 : 553-565.
- Mafakheri, A., A. Siosemardeh, B. Bahramnejad, P. C. Struik, and Y. Sohrabi. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. AJCS 4(8) : 580-585.
- Marklund, S. and G. Marklund. 1974. Involvement of superoxide

- anion radical in the oxidation of pyrogallol and convenient assay for superoxide dismutase. *Eur. J. Biochem.* 47. p 468.
- Miyazaki, A., W. Agata, F. Kubota, Y. Matsuda, and X. Song. 1995. Bio-production and water cleaning by plant growth with floating culture system. II. Water cleaning effects by the growth of several plant species. 6th inter. Conf. of the conservation and management of lakes Kasumigaura. 95(1) : 560-563.
- Park, M. H., C. Choi, G. M. Son, B. J. An, and M. J. Bae. 2000. Effects of polyphenol compounds from Persimmon leaves (*Diospyros kaki* folium) on anti-allergy. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29(1) : 116-119.
- Phillips, W. A., S. Rao, and T. Dao. 1989. Nutritive value of immature whole plant kenaf and mature kenaf tops for growing ruminants. *Proc. Assoc. Advancement of Industrial Crops*. Peoria, IL. p. 17-22.
- Powell, G. W. and J. M. Wing. 1967. Kenaf as silage. *Proc. First Conf. kenaf for pulp*. Gainesville, FL. p. 49 (Abstr.).
- RRI. 2006. Agricultural complex development for upland & horticultural crops in the saemangeum reclaimed farmland. *Res. Rpt. Rural Research Institute*. p 1-504, Korea Rural Community & Agriculture Corporation.
- RRI. 2007. Development method of the future agriculture complex in reclaimed land. *Res. Rpt. Rural Research Institute*. p 1-400, Korea Rural Community & Agriculture Corporation.
- Ruenroengklin N., X. W. Duan, B. Yang, K. N. Prasad, G. P. Cheng, J. Zhong, and Y. M. Jiang. 2007. Effects of various temperature and pH values on antioxidant activity of Litchi antioxidants. *Europe-Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems*.
- Son, J. G. 1994. Soil Salt Prediction Modeling for the Estimation of Irrigation Water Requirements for Dry Field Crops in Reclaimed Tidelands. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 36(2) : 96-110.
- Suriyantratong, W., R. E. Tucker, R. E. Sigafus, and G. E. Mitchell Jr. 1973. Kenaf and rice straw for sheep. *J. Anim. Sci.* 37 : 1251-1254.
- Swingle, R. S., A. R. Urias, J. C. Doyle, and R. L. Voigt. 1978. Chemical composition of kenaf forage and its digestibility by lambs and in vitro. *J. Anim. Sci.* 46 : 1346-1350.
- Van Genuchten, M. T. and G. J. Hoffman. 1984. Analysis of crop salt tolerance. p 255-271. In: I. Shainberg and J. Shalhevet (eds.). *soil salinity under irrigation: process and management*. Ecological studies 51. Springer-Verlag New York.
- Webber, C. L. III and V. K. Bledsoe. 1993. Kenaf : Production, harvesting, processing and products. p. 416-421. *New crops*. Wiley, New York.
- Wing, J. M. 1967. Ensilability, acceptability and digestibility of kenaf. *Feedstuffs* 39 : 26.
- Woo, N. R., T. S. Kim, C. G. Park, H. J. Seong, S. B. Ko, and M. H. Kang. 2005. Antioxidative and antimicrobial activities of extracts from different parts of *Crotalaria sessiflora* L. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 34 : 948-952.