

간척지 적응 벼 품종 및 재배기술 개발 현황과 전망

김정곤, 김보경, 김상수
 농촌진흥청 작물과학원 호남농업연구소

Present Status of Rice Breeding and cultural Technology in Saline Soil of reclaimed Land and the Future View

Chung-Kon Kim*, Bo-Kyeong Kim*, Sang-Su Kim*
 *Honam Agricultural Research Institute, NICS, RDA

I. 우리나라의 간척 현황

우리나라의 간척사업은 국난 등 어려운 시기에 시행되어왔다. 1232년에 몽고 침입 시 고려는 강화도로 도읍을 옮기고, 1938년에 강화도 동북쪽 해안인 승천포 등에 방조제를 쌓아 간척지를 조성하여, 30여년간 항쟁을 위한 식량을 조달한 것이 역사에 기록된 효시이다.

강화도는 군사적 요충지로서 식량 자급을 위한 간척지 개발이 꾸준히 지속되었으며 특히, 16세기 이후에 간척사업이 활발하게 진행된 것으로 기록되고 있다.

이조시대에는 임진왜란과 병자호란 이후 강화도와 서해안에서 간척사업이 추진되었다. 정약용의 목민심서에 의하면, 18세기에 거중기가 간척사업에 이용되었으며, 방조제는 해언(海堰)으로 불리어졌다.

일제시대에는 조선총독부가 산미증산계획으로 1917년부터 1938년까지 시행한 간척사업은 178개 지구 약 40천ha로 500ha 이상을 개발한 지구가 전체의 50% 정도였으며 지구당 평균 개발면적은 230ha 였다.

해방 이후, 1994년까지 간척 대상지역은 401천ha에 달하였으나 이중 62천ha만 개발하는데 그쳤으며, 1998년 이후 환경 보전을 위하여 대상지역이 156천ha로 감소한 결과, 1945년부터 1997년까지 42년간 간척지 개발면적은 104천ha이며, 이중 농지는 74.7천ha 정도이다.

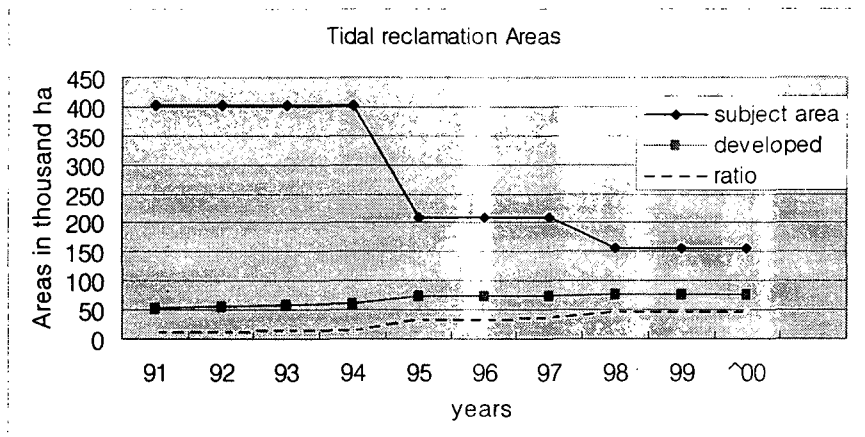


Fig. 1. Present status of reclamation in Korea

1961년 5.16 혁명 이후, 외국의 양곡 지원과 FAO 등의 지원에 따라서 간척사업이 착수되었다. 정부는 1962년 2월부터 서남해안 干潟地(개빨, 개땅)를 조사한 후, 1963년부터 여건이 우수한 영산강 유역 30천ha에 대한 조사와 동진강 간척사업을 시작하였다. 이때 개발된 간척 면적은 17.2천ha이며, 이 중, 민간이 시행한 간척사업지구는 1,078지구로서 지구당 평균 개발 면적은 약 9ha 정도였다.

1970년대는 233지구 19.4천ha를 간척하였으며 이 시기에 외국 차관을 도입하여 아산 남양만 및 삼교천 하구 담수호와 농지를 조성하고, 금강과 영산강 하구에도 간척 사업을 착수하였다. 1970년대에 시행한 간척사업은 주곡의 자급뿐만 아니라 산업기지, 수자원 및 육운과 해운의 중요한 교통수단을 제공하였다. 1974년에 준공한 아산방조제와 1979년 준공한 삼교호의 외곽은 현재 새로운 갯벌이 생성되어 어장이 조성되었다. 이들 담수호의 수자원은 농업용수뿐만 아니라 연안 공단의 공업용수로도 활용되며, 담수호에 쌓인 모래는 건설자재로 이용된다. 게다가 이들 지역은 서해안 고속도로와 인접하여 관광코스로 각광을 받고 있다.

Table 1. Yearly increased area of reclaimed land in Korea

Years	Total			Governmental			Personal		
	Sites	Area (ha)	Per site (ha)	Sites	Area (ha)	Per site (ha)	Sites	Area (ha)	Per site (ha)
<'50	177	6,329	36	39	3,777	97	138	2,552	18
'60	1136	17,215	15	58	7,634	132	1,078	9,581	9
'70	233	19,372	83	50	8,245	165	183	11,127	61
'80	63	9,199	146	25	5,266	211	38	3,933	104
'90	15	22,576	1,102	10	9,688	968	5	12,888	2,578
계	1624	74,691	46	182	34,610	190	1442	40,081	28

1980년대 간척사업은 63개 지구 9.2천ha로서, 1970년대에 개발된 규모의 47%에 불과하다. 이는 주곡 자급이 이루어진 상태에서 간척을 통한 농경지 확보를 위한 투자가 감소된 결과이다. 그러나 지구당 개발면적은 146ha로서 70년대에 비하여 간척규모가 증대되었는데 이는 개발지역이 하구에서 바다 쪽으로 추진되었기 때문으로 생각된다.

1990년부터 1997년까지 준공된 개발지구는 15개 지구 22천ha이며 지구당 개발 면적은 약 1.1천ha이다. 이 시기에 간척사업 규모가 증대한 것은 사업이 연안에서 심해 쪽으로 추진되고 영산강, 대호지구 등의 대규모 사업과, 김포와 서산지구 등 민간단체의 대규모 사업이 완료되었기 때문으로 본다. 이 기간 중 사업지구별 농지의 평균면적은 3.2천ha로서 1980년대까지 개발한 간척지구별 농지 면적에 비하여 매우 증대되었다.

농업기반공사와 서울대 및 한국농촌개발연구소(2002)가 조사한 우리나라의 간척 면적은 387.7천ha로 이들 대부분이 서남 해안에서 이루어졌으며, 도별로는 전라남도가 136천ha로서 가장 많았고, 경상남도과 부산광역시가 30천ha를 개발하였다.

또한 1992에 착공하여 2011년 완공되는 새만금 간척지는 총 면적이 40.1천ha로 이중 28.3천ha가 경지면적, 11.8천ha가 담수호로 활용될 계획으로 있다.

II. 간척지 벼 품종 육성 및 재배기술 관련 연구

우리나라 간척지 내염성 벼 육종연구는 1930년 남선지장이 설치되면서 수도 내염성 품종육성, 경제적 제염법 및 염해지 벼 재배 연구를 목적으로 설립된 김제 간척출장소에서 시작되었다. 이러한 연구는 해방이후에 여러 가지 여건상 잠시 중단했다가 1962년경부터 옥구군 회현면에서 내염성 품종육성 연구를 재개하였으며, 1970년 초부터 옥구군 미면에서 간척지 관련 시험을 수행하면서 그 명맥을 유지해왔다. 그러다 1975년부터 호남작물시험장에서 “수도 내염성 품종육성” 이란 제목으로 본격적인 간척지 적응 벼 품종 개발을 시작하였으며 1978년 계화도출장소가 개소하면서 품종 육성 및 재배기술 개발에 대한 체계적인 연구가 수행될 수 있었다.

1. 간척지 벼 품종 육성

가. 1930년 이후 70년대까지의 품종육성 연구

남선지장 김제간척출장소에서의 내염성 벼 육종은 기존에 재배되고 있는 품종을 토양 염농도 0.1%~0.3%에서 비교적 적응력이 강한 품종을 선발하여 남선지장에서 교배하고, F₂ 또는 F₃세대에 김제 간척출장소에서 검정을 거쳐 내염성이 강한 계통을 생산력 검정에 공시하여 농업적 형질과 수량성을 검정하는 육종체계를 갖추었다. 이 당시의 내염성 육종연구는 주로 품종 적응성 시험을 거쳐 중남부 지역에는 多摩錦, 황해도는 赤神力, 평안북도에는 陸羽132호가 적합한 품종으로 보급되었으며, 銀坊主는 중·남부 간척지에 주로 재배되었다. 이러한 한정된 품종을 근간으로 추진한 육종사업은 각지에서 수집한 품종에 대하여 염분농도가 낮은 포장(토양염분 0.1%)과 염분농도가 높은 포장(토양염분 0.3%)에 재배하여 내염성이 강한 품종을 선정하여 교배모본으로 사용하였다. 이 때 주로 활용한 품종은 수도장조생, 개량대장, 애지옥 등이었으며 이러한 모본을 통해서 교배된 F₁ 및 F₂ 세대는 남선지장에서, F₃이후 세대부터는 김제 간척출장소에서 염농도 0.3%정도에서 개체선발과 세대진전을 시켰다. F₅세대 이후에는 내염성이 있는 계통들은 선발하여 생산력 검정 시험 후 우수 계통들은 “간척” 이란 육성번호를 붙여 간척지에 위탁시험을 실시하여 간척지에 적합한 우량품종을 개량 보급해왔다.

Table 2. Characters of promising lines in Kimje reclamation substation(1936)

Lines	Cross	Heading date (m/day)	Maturity date (m/day)	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	panicle number (ea)	Yield(kg/10a)		Rice quality
							Low salinity	High salinity	
Eunbangju	Check	8.31	10.15	74	18	10	1.390	1.275	Medium
Gancheog5	Gujunaejosunguk3 x Jangjosaeng	8.25	10.09	71	19	10	1.424	1.087	High
Gancheog6	"	8.26	10.10	67	18	11	1.254	1.042	High
Gancheog9	Gujunaejosunguk3 x Eunbangju	8.30	10.15	69	17	10	1.203	1.322	High

나. 1970년대 이후 품종육성

호남작물시험장에서 간척지 적응 벼 육종사업을 1975년부터 시작하였으며 1978년 계화도출장소 개소 이후 계통육성시험은 24년째 수행되고 있다. 내염성 유전자원은 인디카 품종인 Kalarata, Annapurna 및 Gottelu 등이 대부분이었으며, 모본으로는 인디카 품종

및 계통을 이용하였다. 그러나 인디카의 내염성 유전자를 전이시키는 일은 쉽지 않았으며, 내염성 검정방법, 생리적 기작 및 유전양상 등의 기본적인 연구가 미흡한 상태에서 육종사업의 성과는 크지 못했다. 그러나 80년대 이후에 내염성이 약간 강한 조합들을 전개해가면서 농업적 특성이 양호한 간척지 적응성 계통을 선발하게 되었다. 그 이후 간척지 적응성 품종을 모본으로 하여 교잡육종을 수행하였으며, 동시에 호남농업연구소 수도과에서 교배한 잡종3세대 계통을 분양받아 간척지 적응성 검정을 하였다.

또한 벼 내염성 육종사업은 작물시험장에서도 수행이 되었는데, 강화출장소에서부터 시작해서 1978년 남양출장소가 설립되어 지난 1999년 폐소될 때까지 품종육성 및 재배법 개선 등 많은 연구가 수행되었다.

그간 육성한 간척지 적응 품종들의 주요 농업적 특성과 재배면적은 다음과 같다.(표3, 4)

Table 3. Characters of newly bred varieties adaptable to reclaimed land

Variety(Line)	Heading date (m/d)	Culm length (cm)	Panicle number (ea)	Lodging	Leaf blast	BLB	Stripe virus disease	Yield in milled rice (kg/10a)	Palatability
Gyehwabyeo(Gyehwa3)	8.16	81	14	R	M	R	MR	478	G
Gancheogbyeo(Gyehwa7)	8.04	68	14	M	M	S	R	445	G
Seojinbyeo(Namyang17)	8.11	79	15	M	M	S	S	522	G
Saegyhabyeo(Gyehwa19)	8.12	75	16	R	M	R	M	577	H
Seoganbyeo(Gyehwa20)	8.13	71	19	R	MR	R	S	552	H
Seopyeongbyeo(Gyehwa22)	8.12	70	13	R	MR	R	R	544	H
Seogyeongbyeo(Namyang26)	8.12	80	16	M	S	S	S	556	H
Cheonghobyeo(Gyehwa23)	8.14	75	14	R	MR	R	R	543	H

* R: Resistant, MR: Moderate resistant, M: Moderate, S: Susceptible

** G: Good, H: High

Table 4. Cumulative cultivated area of varieties bred in Gyehwa & Namyang Substation

Variety	Bred year	cultivated duration	Cultivated area of rice in (1,000ha)		Cumulative cultivated area (1,000ha) (C)	Ratio of cumulative cultivated area to (%)	
			Nationwide land(A)	Reclaimed land(B)		Nationwide land(C/A)	Reclaimed land(C/B)
Gyehwabyeo	1989	'92 - '04	13,871.8	364.3	245.9	1.8	67.5
Gancheogbyeo	1992	'93 - '04	12,716.2	336.3	168.8	1.3	50.2
Saegyhabyeo	2001	'02 - '04	3,070.4	84.1	28.8	0.9	34.2
Seoganbyeo	2002	'03 - '04	2,107.2	56.1	1.7	0.1	3.1
Seopyeongbyeo	2003	'04	1,001.2	28.0	0.09	0.1	3.2
Cheonghobyeo	2004	-	-	-	-	-	-
Total			32,766.8	868.8	445.29	1.4	51.3

※ Cheonghobyeo has multiple resistance to diseases and insect pests and high palatability, and it is respected to be rapidly widely cultivated after 2006 year

다. 벼 내염성 기초연구 및 선발지표 개발

(1) 생육 단계별 염해 양상

내염성 품종의 염해 저항성 기구는 염분을 뿌리로부터 흡수하는 것을 배제하거나 조직 자체가 저항성을 가지며, 직접적으로 앞에서 회석효과를 나타내는 등 삼투압 조절작용이 크고, 빠른 속도로 단백질을 합성, 축적한다. 내염성 세포의 특성은 액포에 이온을 축적하고, 세포내 삼투압 조절을 위해 당, 아미노산과 같은 유기물을 생산하여 세포질과 엽록체에 축적함으로써 팽압을 유지한다.

염해에 의한 식물체의 반응에 대한 연구 결과를 보면, 영양생장기 이전에 염해를 받게 되면 발아 불량으로 인한 발아속도 지연, 유효신장 저하, 발근 및 뿌리 활력 억제로 분얼수 및 유효경비율이 감소되어 결국 이삭수가 적어지게 된다.

벼의 경우 생식생장기에 염해를 받게 되면 이삭의 지경수 및 영화수의 분화가 억제되고, 감수분열기에 화분발육이 저해되고 개화가 억제되며 대사산물의 물질 이동이 저해되어 결국 수량감소와 품질 저하를 초래하게 된다.

Salt Injury

Vegetative Growth Stage

- Germination : Poor sprouting
- Seedling stage : Short plant height
- Rooting : Depression of rooting
- Tillage : Inhibition of effective tiller

Reproductive Growth Stage

- Panicle initiation : Reduction of rachis branch
- Spikelet differentiation : Reduction of flower and its size
- Meiosis : Pollen and flower abortion
- Heading and flowering : Impotent fertilization
- Ripening stage : Metabolite translocation barrier

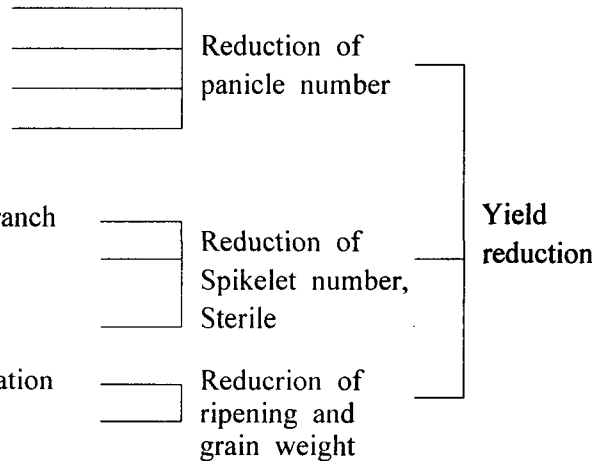


Fig. 4. Diagram of yield reduction by salt injury(Lee, 1998).

(2) 저항성 품종을 위한 기초연구

벼 내염성이 강한 품종은 초장, 지상부 및 뿌리 건물중의 감소율이 적었으며, Shoot의 Na 함량이 현저히 높았던 반면 K의 함량은 다소 낮은 것으로 나타났다.

Table 5. Variation of growth habit and Na⁺/K⁺ in shoot by salinity treatment

Varietal group	Reduction(%)			Na ⁺ content in shoot(%)	K ⁺ content in shoot(%)
	Plant height	Shoot dry weight	Root dry weight		
Tolerant	37.2	42.8	62.2	1.58	1.64
Moderate	38.8	53.7	75.0	1.95	1.60
Susceptible	46.7	68.5	80.5	2.60	1.49
Pokkali(R)	25.2	40.7	40.8	0.97	2.79
IR29(S)	58.6	71.1	88.3	2.39	1.31

이들 특성간의 관계를 보면, 초장 감소율, 지상부 건물중 감소율 및 뿌리 건물중 감소율간에는 정의 상관성이 있었으며, 이들 형질은 모두 지상부 Na의 함량과 고도의 정의상관이 있으나 지상부 K의 함량과는 부의 상관성이 있었다.

(3) 선발지표의 개발 및 내염성 유전분석

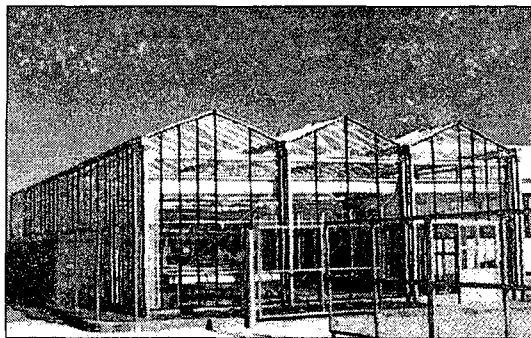
위의 결과를 토대로 품종 간 차이가 인정이 되며 환경에 의한 변이가 적어 재현성과 선발신뢰성이 높은 선발지표로는 shoot 내의 Na 함량이 매우 용이한 형질로 인정되었으며, shoot 내의 Na 함량과 달관조사 결과와도 고도의 정의상관이 있었다.

이면교배 유전분석을 통하여 내염성 관련 유전자는 양적형질로서 3개 이상의 유전자가 관여하여 발현되는 불완전 우성이며 유전력이 낮고 환경요인에 의한 변이가 큰 것으로 보고되어 있다. 따라서 내염성 개체를 선발하기 위해서는 초기세대보다는 후기세대에서 선발을 하는 것이 선발효율이 높은 것으로 나타났다.

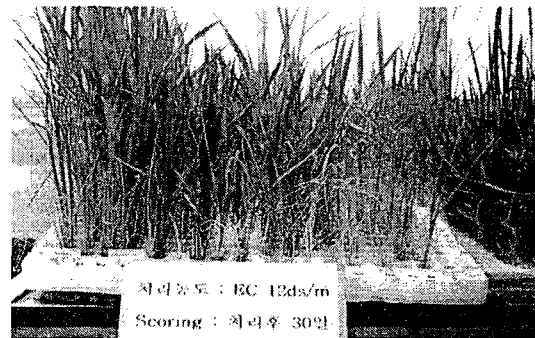
라. 벼 내염성 검정 방법 개선

(1) 벼 유묘내염성 검정

호남농업연구소 계화도출장소의 유묘내염성 검정온실은 환경의 상호작용을 최소화하기 위하여 광 및 온도를 컴퓨터 프로그램으로 조절이 가능토록 기반시설이 완비되어 있으며 유묘검정을 위해 사용되는 영양액 조제 내용은 표 6과 같다



<Screenhouse>



<Response to saline solution treatment>

Fig.3. Photo of screenhouse and automatic controlling computer monitor

Table 6. Constituent of saline solution

(⁷⁶, Yoshida *et al.*)

Element	Reagent	Preparation (g/4L solution)	Element	Reagent	Preparation (g/4L solution)
Macronutrient			Micronutrient		
N	NH ₄ NO ₃	365.5	Mn	MnCl ₂ 4H ₂ O	6.000
P	NaH ₂ PO ₄ 2H ₂ O	142.4	Mo	(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂ 4H ₂ O	0.296
K	K ₂ SO ₄	285.6	B	H ₃ BO ₃	0.140
Ca	CaCl ₂	469.4	Zn	ZnSO ₄ 7H ₂ O	3.736
Mg	MgSO ₄ 7H ₂ O	1296.0	Cu	CuSO ₄ 5H ₂ O	0.124
			Fe	FeCl ₃ 6H ₂ O	30.800
				C ₆ H ₈ O ₇ H ₂ O	47.600

※ 각각의 시약을 나누어서 녹인 후 2L의 증류수에서 혼합하고 200mL H₂SO₄을 첨가하고 4L가 될 때까지 증류수로 충전한다.

염처리액 조제 과정은 우선 원액을 조제하여 저장용 탱크에 저장한 후 수돗물과 원액을 control panel에서 혼합하여 양액을 만들어 저장탱크에 저장한다. 양액에 NaCl을 원하는 염농도까지 첨가하여 염수액을 제조하고, 염수액은 파이프라인을 통하여 관수되며, 종자가 치상된 스티로폼 nylon net 바닥에 닿을 때까지 베드에 염수액을 채운다. 염수액은 1N NaOH 나 HCl로 pH 5.5로 조정하며 1주 1회 교체한다.

염수처리과정은 종자소독을 한 후 30°C에서 발아시켜, 치상용 스티로폼의 nylon net 구멍에 2립씩 파종한다. 파종된 종자는 수돗물 베드에서 2일간, 양액에서 4일간 생육시킨다. 이 후 모가 활착되면 구멍 당 건묘 1개채씩을 남긴 후에 EC =6dS m⁻¹로 조절된 염수액에서 4일간 전처리를 하고, 2차는 EC =12dS m⁻¹ 농도의 염수를 14일간 처리한 후 달관조사를 한다. 유묘생육 및 염처리 과정을 요약하면 다음과 같다.

총소요일수(28일) : 최아(2일) → 파종(수돗물, 2일) → 요시다 영양액 처리(4일) → 1차 염수처리(염농도 0.35%, 4일) → 2차 염수처리(염농도 0.7%, 14일) → 평가(피해정도)

염해의 달관평가는 표준 평가방법을 이용하며, 염처리 후 IR29가 완전 고사하였을 때 Pokkali의 내염성을 3으로 기준하여 감수성과 저항성을 구분한다(표 7).

Table 7. Observational criteria for salinity tolerance at seedling stage

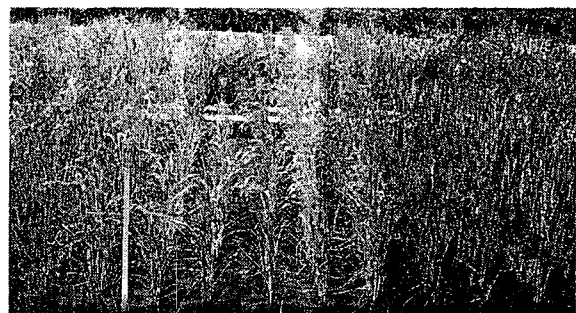
Score	Observational symptom	Evaluation
1	Normal growth of seedlings, no symptom	Tolerant
3	Growth reduced slightly, leaf tips discolored, old leaves are dying	Tolerant
5	Leaf blades discolored, old leaves dry, other leaves are rolling	Moderate tolerant
7	Growth reduced severely, all leaves discolored and dying	Susceptible
9	Seedlings dead or dying	Susceptible

(2) 벼 생식생장기 내염성 검정

성체검정 포장은 생육단계별 염수 영향의 차이를 최소화하기 위해 숙기별로 조생, 준조생, 중생, 중만생종 검정용 포장으로 구분하고, 각각의 숙기별 포장내에 염수처리구와 무처리구를 둔다. 또한 정밀한 검정을 위해서는 강우에 의한 염수액의 농도 변화를 최소화하기 위하여 비가림 시설을 활용한다.



<Screening Field>



<Response to saline water treatment>

Fig. 7. Salinity screening facility at reproductive stage

염수처리는 바닷물을 염농도 0.6%로 조절하여 출수 전 35일에 검정포장에 관수한다. 처리기간은 강우에 의해 다소 달라질 수 있어 14~20일간 처리를 하며 7일 내지 10일 간격으로 염수를 환수하여 준다.

내염성 평가는 엽 고사에 정도에 따른 내염성정도(1-9)를 달관조사 하고 무처리와 비교한 영화수, 임실을 및 등숙율 등을 고려하여 내염성 계통을 선발한다.

마. 내염성 중간모본 육성

호남농업연구소 계화도출장소에서는 1997년 농촌진흥청(RDA, Rural Development Administration) - 국제미작연구소(IRRI, International Rice Research Institute)간에 벼 자포니카 내염성 품종육성 공동연구를 시작하였다. 초기에는 국제미작연구소의 시설을 이용하여 유용유전자원의 검정에 중점을 두었으나 2001년부터는 선발한 조합을 IRRI 내염성 연구실에서 세대축진 하고 있으며, 유묘 검정에 의한 유망한 계통을 선발하여 내염성 중간모본 개발을 위한 재료로 활용하고 있다(표8, 9). 표 8은 RDA-IRRI간에 공동 연구를 통하여 선발된 조합으로 계화도출장소 벼 계통육성 포장(염농도 0.1~0.3%)에서 F₂ 선발 한 후 IRRI에서 세대축진을 하며 유묘내염성 검정 결과 연 차간, 지역간 내염성 변이가 적은 계통들이다 또한 표 9는 호남농업연구소에서 육성중인 내염성 모본과 IRRI와 이집트 등에서 수집되어 활용중인 유묘내염성 자원들이다.

Table 8. Bridge lines developed from the Indica germplasm (Gyehwa substation, IRRI, '02-'04)

Entry No.	Pedigree	Cross	Score(1~9)
1	IR73103-B-1-1-2-1-K1	Pokkali B/Baegyeong	3
2	IR73103-B-6-1-2-1-K1	"	3
3	IR74099-34-3-1-K3	Daeyabyeo/Giza177	3
4	IR74099-34-3-2-K3	"	3
5	IR74099-3R-5-1-K3	"	3
6	IR73571-3B-11-3-K2	Agami M1/IR68003	3
T	Pokkali(Tolerant)	-	3(1)
S	IR29(Susceptible)	-	9

Table 9. Nationwide and overseas germplasm for salinity tolerance (Gyehwasubstation, '02-'04)

Line/Variety	Cross combination	Source
21 lines including HR22881-AC1	11 crosses including HR20515-AC1/HR20521-AC4	HARI
6 lines including IR73103-1-2-1-K1	6 crosses including Pokkali B/Baegyeong	IRRI
8 lines including Sakha101	-	Egypt

2. 간척지 벼 재배기술

염해의 기작은 직접적인 것과 간접적인 것으로 분류된다. 직접적인 장애는 원형 질막의 구성성분인 지질이나 단백질의 변화로 투수성이나 물질이동에 장애가 일어나 무기이온의 이상흡수가 발생하며, 간접적으로 광합성, 호흡, 단백질대사, 핵산, 효소활성 등 대사과정에 장애를 준다.

토양의 염분농도가 높으면 식물체내의 삼투압이 낮아지고, 세포의 수분흡수가 억제되

어 팽압이 상실되며, 양분 흡수를 저해한다. Na^+ 와 Cl^- 이온이 과잉 흡수되면 동화작용이 억제되고, 질소의 과잉축적으로 출수가 지연되며, 이삭에 탄수화물 집적이 적어 수량을 감소시킨다. 한편 K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , HCO_3^- 등의 이온흡수에 이상을 가져와 식물체의 영양과 생리 대사를 교란시키며, Ca^{++} 결핍과 HCl 발생은 뿌리를 부패시키거나 생육을 억제시킨다. 특히 염농도가 높은 토양에서 Na^+ 이온과 K^+ 이온간의 길항작용은 생육의 저해를 가져오며, K^+/Na^+ 비율은 단백질 대사의 중요한 지표로서 두 이온간 불균형은 대사작용 장애를 일으킨다.

한편 벼는 염해에 강한 작물은 아니지만 담수상태에서 재배되기 때문에 수압 등으로 경도층(표층)으로 염분집적이 저해되며 지속적인 환수로 제염이 촉진되기 때문에 어느 정도 염분농도가 높은 토양에서도 재배가 가능하다. 따라서 간척지에서 안정적인 벼 재배를 위하여 우선 물 관리 등에 의한 제염방법을 구명하고 비교적 염해에 강한 품종을 선택하며 염해에 의한 생육저해를 경감시킬 수 있는 재배기술이 확립되어야 하므로 이에 대한 지금까지의 연구결과를 살펴보기로 한다.

가. 기계이앙재배

(1) 논고르기

신간척지에서 논바닥이 수면 위로 노출되면 벼가 염해를 받기 쉽고 제초제의 처리효과가 낮으므로 정지작업을 잘해야 한다. 또한 신간척지 토양은 단립구조이고 염분농도가 높아 정지 후 토양입자가 빨리 가라앉아 토양 표면의 경도가 급격히 높아지므로 로타리와 동시에 이앙하는 것이 부묘(浮苗)와 결주(缺株)가 적다. 간척초기 계화도 간척지에서 부묘율이 5% 이하인 로타리 후 이앙시간은 10분 이내이며, 이때의 토양경도는 150g의 원추를 1m 높이에서 떨어뜨렸을 때 들어간 깊이가 10cm 정도였다.

(2) 이앙시기

간척지는 수확 후부터 이듬해 봄철 이앙 전까지 표토가 건조한 상태로 경과하기 때문에 토양표면에는 많은 양의 염분이 집적되어 있다. 이와 같은 곳에서 제염을 충분히 하지 않고 이앙을 하면 염해를 받기 쉽고, 또한 고온기에 만식을 하면 온도가 높아 토양중의 염분 용출량이 많기 때문에 염해를 받아 이앙직후에 고사하거나 생육 부진으로 출수가 지연되기 쉬우므로 이앙 전에 제염을 충분히 하여야 한다. 개답한지 오래되지 않은 남양 간척지에서 통일형 품종을 이앙시기를 달리하여 재배한 결과, 온도가 다소 낮은 시기에 일찍 이앙하는 것이 염해가 적어 수량이 증대되었다.

그러나 남부지역의 염분농도가 비교적 높은 토양에서 조기이앙 할 경우 관개수 부족 등으로 이앙 전 제염이 충분히 이루어지지 않아 토양 염분농도가 높았고 저온에 의한 활착장애 등으로 적정 수수를 확보하지 못하여 수량이 낮았는데 수량성으로 본 기계이앙 적기는 5월 21일~6월 5일 이었다(표 10).

Table 10. Changes of yield index by transplanting dates at reclaimed saline land in the southern part of Korea ('80~'82, HCES)

Transplanting date	May 11~15	May 21~25	May 31~June 5	June 10~15	June 20~25
Yield index	88	99	100(483kg/10a)	91	76

* Tested soil : Munpo series, fertilization level(N-P₂O₅-K₂O) : 25-13-10kg/10a

한편 최근까지는 수량성 위주로 이앙적기가 설정되었으나 고품질 쌀에 대한 소비자 선호도 증대와 쌀 수입개방에 대응하기 위하여 토양 염분농도가 낮은 남부간척지인 계화도에서 고품질 쌀 생산을 위한 벼 생태형별 이앙시기를 구명하고자 시험(2002~2004)한 결과, 완전미 수량과 품질 등을 고려한 이앙적기는 조생종과 중생종은 5월 20일~5월 30일, 중만생종은 5월 30일~6월 9일 이었다(표 11).

Table 11. Changes of head rice rate and yield of head rice by transplanting dates at reclaimed saline land in the southern part of Korea ('04, HARI)

Section	Cultivar	Transplanting date			
		May 20	May 30	June 9	June 9
Head rice rate (%)	Samcheonbyeo	81.4	81.3	80.1	78.7
	Nampyeongbyeo	89.3	90.8	90.3	87.7
Head rice yield (kg/10a)	Samcheonbyeo	432	417	401	387
	Nampyeongbyeo	478	484	462	421

* Tested soil : Munpo series(soil salinity : 0.1%), fertilization level(N-P₂O₅-K₂O) : 20-5.1-5.7kg/10a

(3) 육묘 및 재식밀도

간척지는 육묘를 할 때는 상자당 파종량은 숙답의 표준 파종량에 따르되 염해가 우려되지 않는 곳에 못자리를 설치해야 한다. 그리고 간척지에서는 염해로 활착율이 떨어지고 활착 후에도 염해로 유효분얼이 억제되므로 일반논보다 밀식을 하여야 한다. 대체로 m²당 28~34주로 밀식을 하고, 포기당 5~6본으로 하는 것이 안전재배를 위하여 바람직하다.

한편 간척지에서 이앙직후의 활착기간은 염해를 가장 받기 쉬운 시기인데 어린모는 배유가 많이 남아있는 상태에서 이앙이 되기 때문에 중묘에 비해 불량 환경에 대한 적응력이 높아 활착이 빠른 것으로 알려져 있다. 그러나 어린모를 늦게 이앙하면 출수지연에 따른 등숙비율 저하로 감수의 원인이 되기도 한다. 기계이앙 육묘일수별 수량은 표 12에서와 같이 어린모의 수량은 손이앙이나 중묘이앙과 비슷한 수량을 보이나 어린모는 만식재배를 피하는 것이 안전하다.

Table 12. Changes of yield of milled rice and heading date as seedling ages at reclaimed saline land in the middle part of Korea ('90, CES)

Seedling age	Heading date	Panicle number (ea./m ²)	Milled rice yield (kg/10a)	Yield index
8 days old	August 25	416	455	102
35 days old	August 23	397	457	102
45 days old	August 20	377	446	100

(4) 시비량과 시비방법

간척지에서는 벼의 생육기간 중 염해 감소를 위해서 자주 환수를 하거나 흘려대기를 하게 되므로 비료의 유실이 많기 때문에 비료를 증시하게 된다. 개답 후 10년이 경과한 남양 간척지에서 질소시비량 시험결과, 질소 20kg/10a 시용에서 최고수량을 보여 초기

간척지 질소시비량은 20kg/10a 으로 설정되었다(표 13).

Table 13. Changes of yield and yield components as nitrogen fertilizer level at reclaimed saline land in the southern part of Korea ('04, HARI)

Nitrogen level (kg/10a)	No. of panicle (ea./hill)	Ripened grain rate	Head rice yield (kg/10a)	Yield index
15	17.2	89	511	100
20	16.9	88	567	111
25	16.7	88	529	104

* Variety : Seohaebyeo, water management : changed 2 days interval

개답 후 20년이 지나 염분농도가 낮아진 중부 간척지에서 1998년에 질소시비량을 검토한 결과, 생육 및 쌀 수량 등을 고려한 적정시비량은 10a당 18kg이었다.

또한 개답 후 28년이 되어 토양염분농도가 낮아진 남부간척지인 계화도에서 고품질 쌀 생산을 위한 질소시비량을 구명하고자 시험(2002~2004)한 결과, 완전미 수량, 품질 등을 고려한 적정 질소시비량은 10a당 11kg 이었다(표 14).

Table 14. Changes of yield and yield components as nitrogen fertilizer level at reclaimed saline land in the southern part of Korea ('04, HARI)

Nitrogen level (kg/10a)	No. of panicle (ea./m ²)	Ripened grain rate	Head rice rate	Head rice yield (kg/10a)
7	341	90	83	468b
11	371	90	80	478ab
15	407	85	80	483a
18	434	84	78	492a

* Variety : Nampyeongbyeo, tested soil : Munpo series(soil salinity : 0.1%)

간척지는 제염을 위한 잦은 환수로 비료 유실량이 많아 질소비료를 5~6회 분시 하는 것이 수량감소가 적다(표 15). 그러나 간척지가 벼 경작연수가 오래되어 토양염분농도가 낮아진 논은 환수를 자주하지 않으므로 질소비료를 기비, 분얼비, 수비, 실비로 각기 40, 30, 20, 10%씩 4회 분시 하면 수량차이 없이 노력을 절감할 수 있다.

Table 15. Changes of milled rice yield as nitrogen application rate at reclaimed saline land in the southern part of Korea ('78, HCES)

Basal	Tiller stage	Nitrogen application rate				Milled rice yield (kg/10a)	Yield index
		Max. tiller stage	Panicle form. stage	Booting stage	Heading stage		
40	30	-	20	-	10	348	100
30	20	20	20	-	10	397	114
20	20	20	20	10	10	424	122

* Tested soil : Munpo series, fertilization level(N-P₂O₅-K₂O) : 25-10-10kg/10a

한편 간척지는 알칼리성 토양이기 때문에 산성비료이면서 속효성인 유안을 사용하는 것이 요소를 사용하는 것보다 질소이용율이 높고 증수 효과도 있다. 칼리질 비료는 염화 칼리 보다는 황산칼리의 사용으로 작토층 염농도 상승 억제와 나트륨 흡수 억제 뿐 아니

라 칼리와 인산 및 아연의 흡수 저해를 감소시키는 효과가 있어 수량 증대를 가져온다.

또한, 이양과 동시에 완효성비료를 기준량의 80%를 축조시비 하고 나머지 20%는 요소로 수비로 사용하면 6회 분시를 하는 것보다도 수량이 많고 노력도 크게 절감되며, 시비량 80%를 기비로만 이양과 동시에 축조시비를 하여도 관행 6회 분시의 수량과 대등하다(표 16). 따라서 간척지에서의 완효성비료 축조시비기술이 확대 보급될 필요성이 있다고 생각된다.

Table 16. Changes of milled rice yield and yield components as different fertilizer application methods at reclaimed saline land in the southern part of Korea ('88, HCES)

Fertilizer application methods	No. of panicle (ea./hill)	Ripened grain rate	Milled rice yield (kg/10a)	Yield index
Control	19	91	480	100
LCU 80% fb urea 20%	19	93	498	104
LCU 80%	18	91	483	101

* Fertilization level(N-P₂O₅-K₂O) : 20-8-8kg/10a, LCU(N-P₂O₅-K₂O=18-12-13kg/10a) : slow release fertilizer

(5) 물 관리

이양 전 물관리는 제염을 위한 담수기간은 작토 깊이에 따라 차이는 있으나 대체로 30일간 담수를 하면 제염비율이 거의 일정한 값을 나타낸다. 그리고 이양전 춘경보다는 추경을 하는 것이, 이양 전에 경운횟수를 3~4회로 하면서 경운심도는 깊게 하고 매회 약 7일간씩 담수를 하였다가 배수를 하는 것이 제염율이 높다. 그러나 이양전에 경운횟수가 적거나 관개수량이 적을 때는 천경을 하는 것이 염해가 경감된다.

이양 후 물관리는 벼 생육단계별 한계 염분농도는 이양기~활착기, 유수형성기~수잉기, 수잉기~출수기의 순으로 낮으므로 이양 후 활착기와 유수형성기~출수기에는 물 흘러대기 등 환수를 자주하여 염분 농도를 낮추어야 한다(표 17).

Table 17. Threshold salinity content in different growth stage of rice

Growth stage	Nursery	Transplanting~rooting	Rooting~PF	PF~booting	Booting~heading	Ripening
Salinity content(%)	0.09	0.05	0.13	0.07	0.09	0.13

* PF : panicle formation stage

벼 재배기간 중 환수간격은 토양 염분농도에 따라 달라지며, 잦은 환수는 비료 유실을 많이 가져온다. 따라서 쌀 수량을 고려한 이양 후 환수간격은 3~5일 이었다(표 18).

Table 18. Changes of milled rice yield and soil salinity content of soil as different water management methods in reclaimed saline land ('78, HCES)

Water change interval (days)	Soil salinity content (%)	Milled rice yield (kg/10a)	Yield index
1	0.13	395	100
3	0.15	415	105
5	0.17	409	104
7	0.18	402	102

* Soil salinity before experiment : 0.3%, variety : Honamjosaeng, fertilizer level(N-P₂O₅-K₂O) : 25-10-10kg/10a

유효분얼 한계기 이후는 대체로 고온기에 해당되므로 관개수온을 낮추고 관개수중의 용존 산소를 충분히 하여 뿌리의 활력을 유지할 필요가 있으므로 물 흘려대기를 하고 황숙기까지는 담수를 하여 토양중 염분상승을 억제하여 등숙에 영향이 없도록 물관리를 하는 것이 중요하다.

(6) 잡초방제

간척지 잡초발생에 가장 크게 영향하는 것은 염분농도이다. 개답전 염분농도가 아주 높은 곳은 나문재, 통통마디, 칠면조 발생이 많고, 개답초기 염분농도가 비교적 높은 곳에서는 갯드렁새, 새섬매자기, 나문재가 많으며, 염분농도가 낮아지면 갯드렁새, 피 등이 많아진다.

기계이양재배에서는 모낸 후 5일경에 butachlor 등 생육초기 제초제를 처리하고 다시 이양 후 25일에 bentazone을 처리하면 피, 갯드렁새 등 일년생잡초와 다년생잡초인 새섬매자기를 방제 할 수 있다(표 19).

Table 19. Yield and weed control effect by different herbicide in reclaimed saline land ('84, CES)

Herbicide	Applied time	Weed control effect (%)	Milled rice yield (kg/10a)	Yield index
Oxadiazon	2 days BT	67	443	102
Butachlor	5 days AT	29	433	100
Butazol	5 days AT	65	447	103
Butach./Bentazone	5/25 days AT	97	516	119

* Variety : Sangpungbyeo, soil salinity before experiment : 0.3%

(7) 도복경감

간척지는 주로 바람이 많이 부는 해안지대에 분포되어 있어 도복의 위험성이 크므로 물관리 등으로 도복경감에 주력하여야 한다. 간척지에서 도복경감을 위하여 중간 물때기를 하면 염분이 논 표면에 집적되어 염해의 우려가 크므로 물 흘려대기를 하여 뿌리의 활력을 촉진시키는 동시에 출수 전 40일경에 생장조절제인 세리타드 등을 처리하면 쓰러짐 피해가 경감된다.

나. 직파재배

현재 서남부간척지를 중심으로 관개수원이 확보가 용이한 지역에서 담수표면직파가 많이 행해지고 있으나 건답직파재배나 무논골뿌림재배는 염해로 인한 입모가 불안정하므로 거의 재배되지 않고 있다. 담수표면직파재배에 대하여 검토된 파종시기, 파종량, 파종 후 입모안정화기술에 대해 요약하면 다음과 같다.

(1) 파종시기와 파종량

토양 염분농도가 중정도(0.3%)인 논은 만파하면 고온으로 인한 염피해를 받을 우려가 크므로 지역별 품종의 숙기에 따라 보통담의 만파한계기보다 5일정도 빨리 파종하는 것이 안전하고, 토양염분농도가 0.1%정도인 토양에서는 일반논의 파종적기 범위에서 파종하되 중만생종인 경우 중부지방은 5월 15일경, 남부지방은 5월 20일경에 파종하는 것이 가장 좋다(표 20).

Table 20. Changes of milled rice yield and seedling standing number as different seeding date at reclaimed saline land in southern part of Korea ('95, HCES)

Variety	No. of seedling (ea./m ²)				Yield index			
	May 8	May 17	May 27	June 7	May 8	May 17	May 27	June 7
Gancheogbyeo	97	120	94	84	99	100	100	73
Gyehwabyeo	85	98	76	93	98	100	98	60

※ Seeding level : 10kg/10a

적정 파종량은 토양염분농도가 낮은 논(0.1%)은 10a당 5~7kg/10a이 적당하고, 높은 논(0.3~0.4%)은 입모율 저하 및 분얼이 억제되므로 10a당 7~9kg정도 파종해야 한다(표 21).

Table 21. Changes of milled rice yield and seedling stand status as different seeding levels at reclaimed saline land in southern part of Korea ('04, HARI)

Soil salinity (%)	Seeding level (kg/10a)	No. of seedling (ea./m ²)	Lodging (0~9)	Milled rice yield (kg/10a)	Perfect rice yield (kg/10a)
0.1	5	132	1	510	489
	7	192	1	519	495
	9	244	3	535	501
0.3	7	152	3	414	316
	9	194	3	439	323
	11	242	5	446	324

※ Variety : Seogan, tested soil : Munpo series, fertilizer level(N-P₂O₅-K₂O) : 20-5.1-5.7kg/10a

(2) 파종 후 물관리

파종 후 물관리는 저염답(0.1%)에서는 파종직후 낙수한 후 지나치게 건조하면 1~2회 환수로 입모 확보 및 생육이 촉진된다(표 22). 중염답(0.3~0.4%)은 파종 후 10~15일 간 물 흘러대기를 해 주는 것이 가장 좋으나 노력이 많이 소요되므로 2~3일 간격으로 환수시켜 주는 것이 바람직하다(표 23). 또한 출아 후에는 물을 얇게 관수하되 야간에 배수시켜 눈그누기를 하여야 한다.

Table 22. Changes of milled rice yield and seedling stand status as different water management methods at reclaimed saline land ('04, HARI)

Water management (drained days after seeding)	No. of seedling (ea./m ²)	Seedling stand rate	No. of panicle (ea./m ²)	Milled rice yield (kg/10a)
0	232	85	504	580
3	212	78	448	562
6	164	60	368	531

※ Variety : Nampyeongbyeo, tested soil : Munpo series(soil salinity : 0.1%)

Table 23. Changes of milled rice yield and seedling stand status as different water management methods at medium salinity content soil ('04, HARI)

Water exchange interval (days)	No. of seedling (ea./m ²)	Seedling stand rate	No. of panicle (ea./m ²)	Milled rice yield (kg/10a)
1	182	67	400	560
2	158	58	352	541
3	136	50	300	527
4	122	45	272	508

※ Variety : Nampyeongbyeon, tested soil : Munpo series(soil salinity : 0.3%)

(3) 시 비

일반논에서는 벧짚을 250kg/10a 사용하여도 입모율이 저하되지 않으나 간척지는 황산 환원균이 증가하여 입모율이 저하된다. 질소 비료 10a당 20kg을 저염답에서는 밀거름 : 새끼칠거름 : 어린이삭 생길 때 = 50 : 20 : 30%로 주는 것이 좋으며, 중염답에서는 밀거름 : 3엽기 : 5엽기 : 7엽기 : 이삭거름으로 각기 20 : 20 : 20 : 20 : 20% 또는 40 : 0 : 30 : 0 : 30%씩 사용하는 것이 좋다. 또한 저염답에서는 밀거름으로 관행 비료량의 70%정도를 완효성복합비료로 주면 이끼·괴불의 발생을 경감시키며 비료 주는 횟수도 줄일 수 있다.

(4) 잡초방제

간척지 논에서의 잡초발생은 주로 보통답에서 발생하는 잡초와 더불어 새섬매자기, 갯드렁새 등이 문제되는 잡초이다. 갯드렁새의 방제는 butachlor, benthocarb 등 일년생 대상약제로 방제가 용이하므로 파종 후 15일내에 토양처리제를 사용하고, 매자기, 올방개 등은 파종 후 50~60일경에 bentazone 액제를 처리하면 방제가 가능하다.

III. 금후전망

간척지 적응 품종육성에 있어서는 계화벼 등 6개 품종이 개발·보급되었는데, 특히 청호벼는 복합내병성이며 고품질로서 간척지 브랜드미 개발에 크게 기여할 것으로 예상된다. 또한 내염성 검정을 위한 시설 현대화와 검정방법이 개발되어 간척지 적응성 고품질 벼 품종 육성 및 자포니카 내염성 품종육성을 위한 중간모본 육성에 널리 활용되고 있다.

재배기술개발에서는 간척지 조기 숙답화를 위한 제염방법은 물론 중염농도(0.3~0.4%)하에서의 기계이앙재배를 위한 육묘방법과 이앙시기, 재식밀도, 시비기술 등 본답 재배기술 개발에 의한 안정 다수확 생산기술 체계는 확립되었으며, 담수직파재배에서도 입모향상을 위한 파종량 및 물관리 방법도 개발되었다.

그러나 신간척지의 경우 벼 재배가 가능한 숙답으로 전환시키기 위해서는 막대한 비용은 물론 장기간의 시간이 요구되고 있다.

따라서 앞으로의 벼 육종방향은 고염농도(0.6%이상)에서도 생육이 가능한 자포니카 내염성 품종의 개발이며, 이를 위해서는 우선 벼 염해의 기작 및 생리·생태·생화학적 기초 연구가 확대 되어야 하고, 인디카 내염성 유전자원을 이용한 중간모본 육성이나 형질전환과 반수체 세포배양에 의한 자포니카 중간모본 육성은 물론 유용유전자원의 활용 확대를 위한 중국과 이집트 등에서의 자포니카 및 자포니카와 유전적 친화성이 높은 유용자원의 탐색과 수집에 역점을 두어야 할 것이다.

또한 고품질쌀에 대한 소비자 선호도 증가 및 쌀 수입개방에 대응하기 위하여 고품질 쌀 생산을 위한 재배기술 개발이 지속적으로 이루어져야 함은 물론 쌀생산비 절감을 위한 담수직파재배 및 규모화 재배에 알맞은 생력 기계화재배기술 체계 확립은 미진한 상태이므로 이 분야의 연구에도 역점을 두어야 할 것이다.

나아가 장기적인 측면에서는 단순한 벼농사에 국한되지 않고 작부체계의 활용, 친환경 농업, 경관농업 및 생태공원과의 연계에 대한 광범위한 연구수행이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

인 용 문 헌

권업모범장 남선지장 시험연구보고서. 1936. 권업모범장 남선지장 김제간척출장소
농업기반공사, 서울대학교, 한국농촌개발연구소. 2002. 방조제 축조 전후의 외측지형 변화

조사 분석 및 서남해안 간척실적 조사 연구. 농업기반공사
농촌진흥청. 간척지 벼 재배기술

농촌진흥청. 2004. 고품질 쌀 생산과 품질관리

박상현 외. 1999.10. 간척지 개발과 연안의 친환경 조성연구 보고서. 농업기반공사, 농림부

농림부 외. 2001.8. 새만금관련 관개부처 세부실천계획. 농림부 외

농업생산기반 정비사업 통계연보. 2002. 농림부, 농업기반공사

K.S. Lee. 1998. Variability and genetics of salt tolerance in Japonica rice (*Oryza sativa* L.)

박사학위 논문

이규성. 2004. 21C 작물육종의 전망:21C 새로운 도전-간척지 벼 내염성 연구. 한국육종
학회지 36(1):31-37

임종완 외. 1999. 농공기술지 No. 62. 농림부 농업기반공사

전남농촌진흥원. 1992. 간척지 벼 무경운재배 질소시비량 및 시비법 시험. 시험연구보고서

전남농촌진흥원. 1995. 담수직파 논외 질소효율 증진 연구. 시험연구보고서

호남농업시험장. 1978~2003. 시험연구보고서(계화출장소 편)

전북농촌진흥원. 1979. 간척지 건답직파시험. 시험연구보고서

호남농업시험장. 2001. 작물별 기상재해와 대책 Q & A

호남농업시험장. 2002. 한국의 간척농업. P.393

호남농업시험장 연구보고서. 2004. 호남농업시험장