

물절약형 담수심 관리방법에 따른 벼 생육 및 수량

최장수* · 원종건*[†] · 안덕종* · 박상구* · 이승필*

*경상북도농업기술원

Growth and Yield of Rice by Field Water Management for Water-Saving Irrigation

Jang Soo Choi*, Jong Gun Won*[†], Deok Jong Ahn*, Sang Gu Park*, and Seong Phill Lee*

*Gyeongbuk Agricultural Technology Administration, Taegu 702-320, Korea

ABSTRACT : To reduce water input by water-saving irrigation techniques a field study was carried out with three water managements, very shallow intermittent irrigation (VSII, 2 cm), shallow intermittent irrigation (SII, 4 cm) and traditional deep water irrigation (DWI, 10 cm) for two years. Rice growth and grain yields of three water managements were not significantly different. However, when the water irrigation depth was decreased, the breaking and lodging resistance were increased and the roots were widely distributed into deeper paddy soil. More numbers of both annual and perennial weeds were occurred in VSII than in DWI at maximum tillering stage and only the number of perennial weeds was three times in VSII than in DWI at heading stage. The total water inputs were 777, 654 and 527 mm in DWI, SII and VSII, therefore the water-saving rates of VSII and SII were 32.2% and 15.9% compared to typical deep water irrigation. The water-productivity (Rice yield to water input) was highest in VSII as 0.94 and followed by SII as 0.76 and DWI as 0.63. In the face of water scarcity, it is very important to find or develop water saving irrigation system and find ways to increase the productivity of water used for rice cultivation.

Keywords: rice, water management, water saving rate, lodging, root growth

우리나라의 연간 강수량은 평균 1,283 mm으로 세계의 평균 강수량 973 mm의 1.3배나 되지만, 인구밀도가 높아 1인당 수자원 부족량은 매우 적다. 1인당 연간 강수량은 2,705 m³로서 세계 평균 26,800 m³의 1/10에 불과하다(Cheong, 2003) 그러나 우리나라는 강수량의 2/3정도가 6~8월에 편중되어 있기 때문에 우기에는 수해가 일어나고 있으며, 평시에는 하천 수량의 부족으로 물 공급에 애로를 겪고 있다. 이와 같이 강수량에서 자연상태의 증발산량을 제외하고 실질적으로 이용

가능한 우리나라의 하천 유출량은 연간 731억 m³이며, 1인당 사용 가능량은 1,550 m³로서 영국, 벨기에 등과 함께 물 부족 국가(년 1,700 m³ 미만)로 분류되고 있다 우리나라에 내리는 비의 양은 수자원 총량으로 볼 수 있는데, 연간 약 1,276억 m³ 정도이며, 하천이나 바다로의 유출, 증발 등 손실량을 제외한 전체 이용량은 26%에 불과한 331억톤 정도이며, 총이용량의 48% (158억톤)가 농업용수로 사용되고 있다 그러나 현재와 같이 물을 사용하면 2006년경에는 연간 4억톤, 2011년에는 20억톤 정도의 물이 부족 할 것으로 예상된다(2002 물관리백서, 경상북도). 최근 세계각지에서 지구 온난화, 엘니노 현상 등의 이상기상 빈발로 한발이 심하고, 매년 생활 및 산업 용수의 급속한 증가로 인한 농업용수의 부족이 우려되고 있다 또한 우리나라는 6월부터 9월 사이에 약 66%의 집중적인 강우량을 나타냄으로 봄과 겨울 가뭄이 심각한 실정이므로, 앞으로 다가올 물 부족사태에 대비하기 위하여 새로운 수자원 확보에 대한 노력은 물론 농업부문에서도 물을 절약할 수 있는 작물 생산시스템의 확립이 필요하다.

벼 재배의 물 공급원은 강우, 하천수 등의 관개수이나, 이상기상에 의한 빈번한 가뭄, 용수의 오염, 수리시설의 노후 등으로 최근 일시적 물 부족이 현상이 나타나므로, 논에서 최적 물 관리는 농업용수 절약과 쌀 생산량의 증가를 위하여 매우 중요하다. 그러나 지금까지의 논 물 관리는 관습적으로 10 cm 이상 심수 관개를 하여왔으며, 이러한 관개방법은 관개효율을 낮게 하는 결과를 초래하여 과다한 농업용수를 필요로 하게 되었다 벼는 물을 많이 필요로 하는 식물이기는 하지만 결코 수생식물은 아니므로 필요 이상의 물을 공급하면 발육기에는 연약하게 성장하여 병해충에 대한 저항력이 약화되고 도복되기 쉬워지므로 논에서 기온, 발육시기, 토질, 토성 등을 참작하여 필요한 시기에 적량의 물을 관개함으로써 증수할 수 있다. 최근 벼 재배에서 절수관개에 대한 관심이 국내뿐만 아니라 일본, 중국, 동남아시아 벼 재배 지역에서 고조되고 있으며, Tuong & Bouman(2002)는 물 생산성(water productivity)을 제고시키는 전략으로 단위 증산량에 대한 수량 증대와 비생산

[†]Corresponding author: (Phone) +82-53-320-0271 (E-mail) jgwon67@empal.com <Received March 12, 2004>

적 물 유출 감소 측면을 제시하고 있다.

따라서 본 시험은 논에서의 담수심의 차이가 벼의 생육과 수확량에 미치는 영향을 조사하여 물 생산성을 증대시키며 용수를 절약할 수 있는 관개방법 개발의 기초 자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

본 실험은 담수심 관리별 벼 생육 및 수량 차이를 조사하기 위하여 경북농업기술원에서 2002년부터 2003년까지 2년간 수행하였다. 미사질식양토의 신흥통 보통답인 벼 시험포장 20a를 담수심 2cm(극단천수간단관개, very shallow intermittent irrigation(VSII)), 4 cm(천수간단관개, shallow intermittent irrigation(SII)), 10 cm(심수관개, deep water irrigation(DWI)) 시험구로 구분하여 실시하였다. 제초제 처리를 위해 이앙후 10일간 약 5 cm 깊이의 담수심을 유지하였으며 그 이후부터 담수심 2 cm 및 담수심 4 cm 처리에서는 중간 낙수까지 논 바닥 표면이 포화수분 상태까지 방치하였다가 2 cm 와 4 cm 정도의 물 깊이를 가 되도록 반복하여 관개하는 간단관개를 실시하였으며, 담수심 10 cm의 심수관개에서는 10 cm 깊이로 관개한 뒤 담수심이 6 cm 정도로 감소되면 다시 관개를 실시하였다. 시험구 둘레에 PE 0.05 mm 필름 2겹으로 차수막을 지하에 매립 설치한 후 경운·로터리 하였으며, 시험구별 동일 관개수량을 투입하여 기비를 사용하고 다시 로터리 한 후 논 고르기를 하였다. 시험품종은 화영벼를 공시하여 4월 28일에 파종하였으며 30일간 육묘한 묘를 재식거리 30×14 cm로 5월 28일에 기계이앙하였다. 10a 당 시비량은 N 11 kg, P₂O₅ 4.5 kg, K₂O 5.7 kg을 농촌진흥청 표준 시비방법으로 시비하였으며, 이앙후 20일, 최고분얼기, 출수기에 초장, 주당경수, 건물중을, 출수 후 10일에 간장, 수장, 수수를 각 시험구에서 임의로 20주를 선정하여 3반복 조사하였다. 수량구성요소 및 수량조사는 1구 당 100주를 3반복 수확한 후 10a당 수량으로 환산하였다. 지하부 생육조사는 출수 후 30일에 Weaver and Darland의 방법을 개량한 35×40×5 cm 크기의 철제 모노리스를 제작하여 논 표면으로부터 40 cm(길이)×15 cm(폭)의 면적에 깊이 30 cm까지 토양을 채취한 후 물로 세척하여 근폭, 근장을 측정하고, 10 cm 간격 깊이별로 끊어 각각 근분포량을 조사하였으며, 잡초 발생량은 벼 경합이 가장 심한 최고분얼기와 출수기에 시험구 당 50×50 cm Quadrat로 2회 샘플링 한 후 초종 별 분수 및 건물중을 조사하여 m²당으로 환산하였다. 도복 형질 조사는 도복이 가장 일어나기 쉬운 출수 후 20일 경에 절간장, moment, 좌절중 및 기타 도복 형질을 조사하였으며, Terashima 등(1992)의 방법을 이용하여 지표에서 25 cm 지점의 상부를 제거하고 난 후 지표에서 20 cm 지점에 힘을 가해 식물체가 45°로 넘어지는 순간 저항력, 즉 Pushing resistance를 Force gauge로 측정하였다. 포장 도

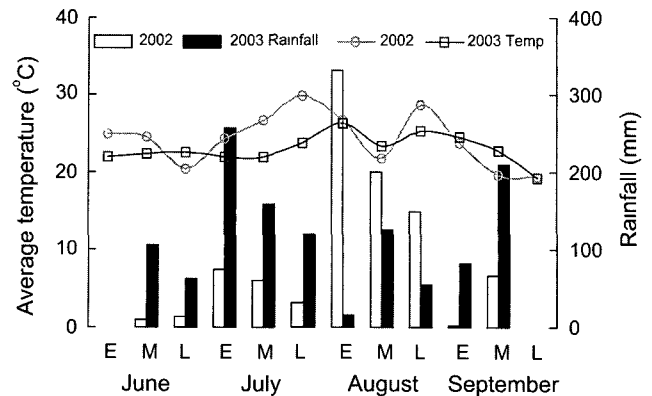


Fig. 1. Seasonal changes of average air temperature and rainfall during rice growing period in 2002 and 2003.

복과 엽 노화는 농촌진흥청 조사기준에 준해 0~9의 단계로 달관 조사하였으며, 병해충 조사는 병해충 주 발생시기에 수시로 조사하였다.

벼 생육기간 중 평균기온의 변화는 6월 상순은 2개년 모두 21.9~24.9°C로서 이앙 직후 활착 최적온도 범위였으며, 분얼기는 2002년에 24.4~29.6°C 범위로 분얼 발생의 최적온도이었지만, 2003년은 21.9~23.7°C 범위로 분얼발생을 지연하는 온도였다. 출수기 기온은 2002년, 2003년은 21.7~23.3°C 범위로 상대적으로 낮았지만, 임실장해에 영향 주는 온도는 아니었고, 2002년 성숙기 기온은 후기에 약간 낮았을 뿐 등숙에 지장 주는 온도는 아니었다(Fig. 1). 2002년의 강우량은 8월에 순별 149.2~331.5 mm, 2003년은 7월에 순별 119.5~257.6 mm, 9월 중순에 209.0 mm로 강우량이 특히 많았으며, 이러한 강우량으로 인해 2002년은 8월에, 2003년은 7월부터 9월까지 일조시수가 낮았다. 특히 2003년은 벼 생육 중기부터 잦은 강우에 의한 저온 및 일조시수 부족으로 벼 생육에 불리한 기상상을 나타내었다.

결과 및 고찰

벼 생육 및 수량

물관리 방법에 따른 벼 생육 변화에서 유효경 비율은 DWI가 다른 물관리에 비해 약간 높았으며, 출수기는 물관리에 따라 변동이 없었고, 성숙기의 간장은 DWI가 VSII에 비해 3 cm 길었을 뿐 수장, 수수는 거의 비슷하였다. 수량구성요소 중 m²당 영화수, 현미천립중은 거의 비슷하였으나, 등숙비율은 SII가 다른 물관리에 비해 1% 적었으며, 쌀 수량은 VSII가 DWI에 비해 2.1% 적었다. 그러나 물관리에 따른 수량구성요소 및 수량의 차이는 모두 통계적 유의성은 없었다(Table 1).

심수관개는 벼의 일부분이 물속에 잠기게 되므로 이미 분화되어 있는 분얼아는 물속에서 생장이 멈추고 분얼이 억제되는 특성이 있다고 하였고(Kawashima & Murakami, 1985;

Table 1. Yield components and yield as affected by three different water managements in rice field

Water management	Effective tillers (%)	Culm length (cm)	No of panicle (/hill)	Spikelets (no./m ²)	Ripened grains (%)	1000-gram weight (brown rice, g)	Milled rice yield (kg/10a)
VSII	69.4b	77a	15.4a	29,700a	87.1a	22.5a	513a [†]
SII	68.2ab	78a	15.2a	29,906a	88.1a	22.3a	524a
DWI	71.6a	80a	14.9a	30,156a	88.1a	22.3a	524a

※ VSII : Very shallow intermittent irrigation (2 cm), SII : Shallow intermittent irrigation (4 cm), DWI : Deep water irrigation (10 cm)
[†]DMRT at 5% level

Table 2. Water balance, saving ratio and water production as affected by three different water managements in rice field. (unit : mm)

Water management	Irrigation	ER [†]	ET [‡]	Percolation	Water saving ratio (%)	Water Productivity (kg/mm) [§]
VSII	318.2	209.0	403.5	139.3	32.2	0.94a
SII	391.0	263.3	439.3	215.1	15.9	0.76b
DWI	469.9	308.3	415.6	215.5	-	0.63c

※ VSII : Very shallow intermittent irrigation (2cm), SII : Shallow intermittent irrigation (4cm), DWI : Deep water irrigation (10cm)
[†]Effective rainfall = Rainfall - Drainage, [‡]Evapotranspiration, [§]Rice yield to water input

大江 등, 1991; 元 등, 1997), 劉 등(1970)은 심수관개는 염수, 초장에는 영향이 적지만, 경수는 수중 산소공급의 부족 등으로 감소된다는 보고와 본 시험의 결과는 비슷한 경향이였다. 유효경 비율은 심수관개시 분얼경의 생장에 크게 영향 주어, 무효경 비율이 감소되어 유효경 비율이 증가될 수 있지만, 富士(1956)은 수심과 생육 및 수량과의 관계 및 관개적기에 관한 연구에서 초장, 간장은 담수의 심천과 관계가 없고 분얼은 토양 함수량에 비례하며, 토양수분이 75~100% 정도의 극천수는 지하부 생육을 좋게 하므로 오히려 유효경 비율을 증대시킬 수 있다고 하므로, 벼 재배에서 중요한 유효경 비율을 증대시킬 수 있는 최적 관수심은 금후 재검토가 필요하다고 생각된다

富士(1956)은 수잉기 및 개화기에는 담수하고 기타 시기에는 75~100% 정도의 토양수분만 유지시켜 주면 수확량에는 별 영향을 미치지 않는다고 한 보고와 본 시험의 관수심별 수량과 관계와 비슷한 경향이였다. 그러나 Tabbal 등(2002)은 1cm 정도의 극천수관개에 의한 Saturated Soil Culture(SSC) 조건 하에서 벼 재배는 30~60% 관개수를 절약할 수 있지만 수량은 4~9% 감소되었고, Borell 등(1997)은 SSC 관개방법은 관개수를 34% 절약할 수 있지만, 수량감수는 16~34%이었으며, Thompson(1999)은 호주의 New South Wales지역에서 SSC 조건으로 관개하면 관개수와 수량이 10% 정도 감소되었다고 하는 보고와는 반대로 Gupta 등(2002)은 인도의 벼-밀 작부체계에서 SSC 관개는 담수재배에 비해 관개수를 30~45% 절약할 수 있고, 수량은 오히려 증가한다고 하였고, 李 등(1966)은 역시 5일에 1일관수하는 극절수재배시 8.2%의 증수를 보고한 바 있기 때문에 절수재배는 연구자의 지역 및 재배조건 등에 따라 수량이 감소 및 증대될 수 있으므로 절수재배가 수량에 미치는 영향에 대해 정확히 결론짓기가 어렵다고 생각된다.

물수지 및 물생산성

벼 재배에 있어서 생육 단계별 적당량의 물을 공급하는 작업은 벼 생장 및 생산량을 높이고 물의 경제적 이용을 위하여 가장 중요한 문제중의 하나이다 최근에 보고된 절수관개 기술에 대한 연구 중 Tuong(2003)은 벼 관개시스템의 물 생산성 증대 전략 중 절수관개 기술로 Saturated Soil Culture(SSC)와 Alternate Wetting and Drying(AWD) 관개방법이 비생산적 물 유출을 크게 감소시킬 수 있어 물 생산성을 높일 수 있으나, 이러한 관개시스템이 성공하려면 새로운 aerobic rice 품종 개발이 필요하다고 제시하였다 Table 2는 물관리 방법간에 소요된 물의 수지와 공급된 물의 생산성을 나타낸 것으로, 관개량과 유효강우량 등 총물공급량은 DWI에서 777 mm로 가장 많았고, VSII에서 527 mm로 가장 적어, SII에서는 DWI에 비해 약 15.9%, VSII에서는 32.2% 정도의 물절약 효과가 있었다. 증발산량은 처리간 큰 차이는 없었지만 DWI에 비해 VSII 및 SII에서 높아 생산적으로 물이 소요된 것은 SII 물관리에서 상대적으로 높았다. Bouman(2001)에 따르면 증산작용은 작물의 생육 과정중 식물체의 냉각작용 및 뿌리로부터 흡수된 양분을 물과 함께 식물체의 줄기 와 잎 등 각 조직으로 운반하는 작용을 가능하게 함으로 작물의 생육에 있어서 가장 필수적인 생산적 요인이라 하였다 반면 지하침투수에 의한 비생산적인 물 소모는 VSII에서 139.3 mm로 가장 적었고, DWI에서 215.5 mm로 가장 많아 물을 깊게 계속 관개할수록 물의 비생산적인 소모는 많아지는 경향이였다. 각 처리별 수량에는 통계적 유의성이 없었지만(Table 1), 총 물공급량 대비 쌀 수량으로 나타낼 수 있는 물 생산성은 VSII에서 0.94로 가장 높았으며, SII에서는 0.76 그리고 DWI에서는 0.63으로 가장 낮게 나타나, 위의 SSC와 AWD 등의 절수관개 결과의 유사하였다. 따라서 앞으로 벼 관개재배에서는 관행재배와 비슷한 정도의 수량을 유지

하면서 물의 공급량은 줄일 수 있는 즉 물의 생산성을 높일 수 있는 물 절약 재배법을 지향해야 될 것으로 사료된다

도복형질과 지하부 생육

도복 관련 형질 중 내도복의 주요 지표인 좌절중, Pushing resistance는 VSII가 DWI에 비해 매우 높고 도복지수가 낮아 포장에서도 도복 되지 않았다. 절간장은 이삭목절인 N1과 N2, N5절은 물관리에 따라 차이가 적었지만, N3, N4 절은 관수심이 깊을수록 길어져서 DWI에서는 3정도의 완곡 도복이 발생되었다(Table 3).

성숙기의 지하부 뿌리생육은 VSII가 근장이 27 cm로 DWI보다 4 cm 깊게 내려갔으며, 근폭은 물관리별 차이가 없었다 토양 표면으로부터 10 cm 간격 깊이별 뿌리 발생량은 DWI의 경우 토양 표면으로부터 10 cm 깊이까지는 VSII, SII에 비해 뿌리 발생량이 많았지만 토양 표면으로부터 10 cm 이상 깊이에서는 적었고, 오히려 VSII가 DWI, SII에 비해 많았다 전체 뿌리 발생량은 SII가 약간 적었고 VSII와 DWI는

비슷하였다. 그리고 뿌리분포는 깊이 20 cm 부근에 형성된 경반층을 통과하지 못하여, 20~30 cm 깊이에서는 물관리에 관계없이 모두 뿌리가 적었다(Table 4) 川田 등(1977)에 의하면 벼 근근의 발달은 토양조건 특히 물 관리의 영향을 크게 받으며, 결과적으로 지상부의 생육 및 수확물의 다소에도 영향을 미친다고 하였고, Terashima 등(1992, 1995)에 의하면 Pushing resistance의 경우 포장도복과 상관이 높은 동시에 지하부 뿌리의 양과 분포와 밀접한 관계가 있다고 하였으며, 崔 등(1995), 朴 등(1993)은 벼 생육기간 중 낙수를 자주 실시한 절수관개는 상시 심수관개에 비해 뿌리량이 많아지고, 심층 분포비율이 많아진다는 보고와 李 등(1966)의 절수재배는 보통관수 재배에 비해 벼 뿌리의 모근이 많고 뿌리의 신장도가 크게 되어 토양 하층까지 넓게 분포된다는 보고와 본 시험의 결과와는 비슷하였다 한편 VSII에 의한 심층부까지의 뿌리분포(Table 4)는 Pushing resistance을 증대시킴으로 벼의 내도복성을 향상시켜 포장에서 도복이 일어나지 않은 것으로 추측된다.

Table 3. Comparisons of lodging characteristics as affected by three different water managements in rice field

Water management	Internode length (cm)		Fresh weight (g/stem)	Breaking weight (g)	Bending moment (g cm)	Lodging index	Pushing resistance (g/hill)	Field lodging (0-9)
	N3	N4						
VSII	8.9b	5.0b	14.7a	617a [†]	1,008a	163	1,091a	0
SII	9.7ab	6.0ab	15.0a	532b	1,069a	201	880b	0
DWI	10.1a	7.0a	15.0a	466b	1,104a	237	722b	3

※ VSII Very shallow intermittent irrigation (2 cm), SII : Shallow intermittent irrigation (4 cm), DWI : Deep water irrigation (10 cm)
[†]DMRT at 5% level

Table 4. Root distribution as affected by three different water managements in rice field.

Water management	Root length (cm)		Root weight(D.W g/m ²)			
	Depth	Width	010 cm<	1020 cm	>2030 cm	Sum
VSII	27.0a	24.3a	279.0(69.8)	99.5(24.9)	21.0(5.3)	399.5
SII	25.7ab	22.7a	297.5(81.0)	53.5(14.6)	16.0(4.4)	367.0
DWI	23.0b	21.7a	356.0(88.7)	38.5(9.6)	7.0(1.7)	401.5

※ VSII Very shallow intermittent irrigation (2 cm), SII . Shallow intermittent irrigation (4 cm), DWI . Deep water irrigation (10 cm)
[†]DMRT at 5% level, [‡]Depth from soil surface
 () : Root distribution ratio(%)

Table 5. Weeds occurrence as affected by three different water managements in rice field.

Water management	Number (/m ²)				Dry weight(g/m ²)			
	Maximum tillering stage		Heading stage		Maximum tillering stage		Heading stage	
	Annual	Perennial	Annual	Perennial	Annual	Perennial	Annual	Perennial
VSII	18.3a	10.6a	12.5a	23.2a	0.50a	1.31a	3.05a	9.25a [†]
SII	9.4b	8.5ab	16.8a	16.0ab	0.22a	0.86a	3.93a	5.02ab
DWI	7.5b	4.4b	13.5a	7.5c	0.33a	0.15ab	4.91a	2.55b

※ VSII : Very shallow intermittent irrigation (2 cm), SII : Shallow intermittent irrigation (4 cm), DWI : Deep water irrigation (10 cm)
[†]DMRT at 5% level

잡초 발생과 병충해 발생

물관리에 따른 잡초 발생양상은 최고 분얼기에는 VSII가 DWI에 비해 일년생잡초와 다년생 잡초 모두 본수가 2배 이상 많았다. 그러나 출수기에는 일년생 잡초 본수는 물관리에 관계없이 비슷하였으나, 다년생 잡초본수의 경우 VSII는 DWI에 비해 3배 이상 많았다. 그리고 잡초 건물중은 물관리에 따른 잡초 본수와 비슷한 경향이였다(Table 5).

具 등(1992)은 물관리 방법에 따른 잡초발생 양상은 벼 생육 초기에 담수하지 않으면 전체적인 잡초 발생량은 적어지나, 포화상태의 수분을 유지함에 따라 전체적인 발생량이 증가하며, 심수 상태나 건조상태에서는 상대적으로 그들의 능력이 저하되며, 특히 잡초가 가장 많이 발생하는 포화수분 조건은 다년생 잡초발생이 현저히 떨어지나, 일년생 잡초는 증가되며, 佐藤康(1952)는 수심을 10 cm 이상으로 유지시키면 피의 발생이 억제된다고 한 보고와 본 시험의 최고분얼기 잡초 발생량 결과와 비슷한 경향이였지만, 출수기에서는 상이하였다. 이는 具 등(1982), 金 등(1975)은 수심 및 수온에 따라 잡초의 발생양상 및 생육반응이 달라지기도 하지만, 제초제의 약효 반응이 달라진다고 한 바, 초기 제초제를 처리한 후 경과에 따라 극천수관개는 물의 수직 이동의 반복에 따른 제초제 성분의 이동 및 제초제 처리 피막면의 파괴 등의 요인에 의한 약효 저하와, 토양 표면으로부터 깊게 매몰된 다년생 잡초 괴경의 후기 출아 등으로 인해 관수심 2 cm의 극천수관개에서 출수기의 다년생 잡초의 발생이 많아진 것으로 추정되므로, 극천수관개 재배는 생육 후기로 갈수록 다년생 잡초의 발생이 많으므로 다년생 잡초방제에 대한 대책이 필요하다고 생각되어 진다

그리고 엽노화는 담수심 2 cm가 약간 빨랐으나 물관리 사이에는 별 차이가 없었으며, 문고병은 담수심 10 cm에서 3정도 발생하였고, 잎도열병 등 기타 병해충은 발생하지 않았다.

적 요

효율적인 물관리방식 개발의 기초 자료를 얻고자 논의 물관리 차이가 벼의 생육과 수확량에 미치는 영향을 2002년부터 2003년까지 조사한 결과는 다음과 같다

1. 물관리 방법별 벼 생육 및 수량은 DWI는 VSII에 비해 출수기의 초장이 길었고, 경수가 적었으나 유효경 비율은 약간 높았고, VSII의 등숙비율은 다른 물관리에 비해 1% 낮아 쌀 수량은 21% 적었으나 통계적 유의성은 없었다.

2. 관개량과 유효강우량 등 총 물공급량은 DWI에서 777.2 mm로 가장 많았고, VSII에서 527 mm로 가장 적어, SII에서는 DWI에 비해 약 15.9%, VSII에서는 32.2% 정도의 물절약 효과가 있었다.

3 절간장은 N3, N4절은 관수심이 깊을수록 길었으며, 간벽 두께, 간기중, 줄기직경은 DWI에서 감소하였으나, 좌절중,

Pushing resistance는 VSII가 DWI에 비해 매우 높고 도복지수가 낮았다.

4 VSII의 성숙기 근장은 27 cm로 DWI보다 깊게 내려갔으며, 토양 표면으로부터 10 cm이상 깊이에서는 VSII의 뿌리 발생량이 많았으나, 토양 표면으로부터 10 cm까지는 DWI의 뿌리분포가 많았다

5 물관리 차이에 따른 잡초 발생양상은 최고 분얼기에는 VSII가 DWI에 비해 일년생 잡초와 다년생 잡초 모두 본수가 2배 이상 많았으며, 출수기에는 일년생 잡초 본수는 물관리 차이에 관계없이 비슷하였으나, 다년생 잡초 본수는 VSII에서 DWI에 비해 3배 이상 많았다.

이상의 결과에서 담수심을 얇게 하여 용수를 절약하여도 관행 심수 관개 방식에 비해 벼 생육 및 수량에는 차이가 없었고, 오히려 내도복성을 향상시킬 수 있었으므로 최적 용수 공급량 산출의 기초 자료로 활용할 수 있었다.

인용문헌

Borell, A., A. Garside, and S. Fukai. 1997 Improving efficiency of water for irrigated rice in a semi-and tropical environment. *Field Crop Res* 52 231-248.

Bouman, B. A. M 2001 Water-efficient management strategies on rice production *International Rice Research Notes* 16 2 17-22

Cheong, B. H 2003 Recent status of water resources and its prospect and efficient use of agricultural water resources in Korea. *International symposium on enhancement of water use efficiency in low-land rice cultivation*. Iksan Korea NHAES pp. 19-38.

Kawashima, C. and T. Murakami 1985 An example of growth and yield of rice plant growth in deeply-submerged paddy field *Tohoku Br Crop Sci Soc Japan* 28 3-35.

崔旻圭, 金尙洙, 李善龍, 崔善英 1995 벼 乾畚直播 栽培時 中間落水가 生育 및 倒伏에 미치는 影響, 韓國作物學會誌 40(5) . 574-579.

Gupta, R. K., R. K. Naresh, P. R. Hobbs, and J. K. Ladha 2002 Adopting conservation agriculture in the rice-wheat system of the Indo-Gangetic Plains · new opportunities for saving water *Water-wise rice production*. Los Banos(Philippines) International Rice Research Institute. pp 207-222

慶尙北道 2002 물관리백서. pp 47-57.

富士崗義一 1956 適期水灌溉と用水量の節水可能 *農土研* 24(1) : 37

川田信一郎, 片野學 1977. 水稻における根群形成について, とくに 濕田, 乾畚に著目した場合の一例. *日作記* 46 261-268

具滋玉, 任日彬 1992 直播栽培로의 樣式 轉換에 따른 雜草問題의 變化. *韓國雜草學會誌* 12(3) · 223-229

具然忠, 吳潤鎮, 李鐘薰 1982. 湛水深에 따른 雜草發生狀態와 除草劑 效果에 미치는 影響 *韓國雜草學會誌* 2 · 47-52

金吉雄, 安壽奉. 1975 除草劑에 對한 水稻 品種間 反應 1 水深 및 溫度處理가 除草劑의 作用에 미치는 影響 *韓國作物學會誌* 20 · 148-151

李昌九, 金哲會 1966. 水稻作의 節水栽培에 關한 研究 *韓國農工學會誌* 3 11-16

- 大江直道, 星川清親, 後藤雄佐 1991 段階的深水處理か分けつ期の
水稻の生長に及ぼす影響 日作記 60(別 1號) · 23-24
- 朴成泰, James E Hill, 張安徹, 李壽寬 1993 湛水深 差異가 벼
品種과 피의 初期生育에 미치는 影響 韓國作物學會誌 38(5)
405-41.
- 劉漢烈, 李昌九 1970 輪換灌溉方法과 適正施設研究 農工學會誌
12(2) 15
- 佐藤康 1952. 野生稗に関する研究概観 農及園 26(10) 1047-1050
- Tabbal, D. F., B. A. M. Bouman, S. I. Bhuiyan, E. B. Sibayan, and M.
A. Sattar 2002 On-farm strategies for reducing water input I irri-
gated rice, case studies in the Philippines Agric. Water Manage
56 93-112
- Terashima, K., S Akita, and N Sakai 1992 Eco-physiological char-
acteristics related with lodging tolerance of rice in direct sowing
cultivation I Comparison of the root lodging tolerance among cul-
tivars by the measurement of pushing resistance Japan J Crop Sci
61(3) 380-387
- Terashima, K., S. Akita, and N Sakai 1995 Eco-physiological charac-
teristics related with lodging tolerance of rice in direct sowing culti-
vation I Relationship between the characteristics of root
distribution in the soil and lodging tolerance Japan J Crop Sci
64(2) 243-250
- Thompson, J 1999 Methods for increasing rice water use efficiency
Rice water use efficiency workshop proceedings Yanco (Austra-
lia). CRC for Sustainable Rice Production pp 45-46
- Tuong, To Phuc 2003 Strategies for increasing water productivity in
rice irrigation water-saving irrigation technologies International
Symposium on Enhancement of Water Use Efficiency in Lowland
rice Cultivation pp. 41-65
- Tuong, T P and B A M Bouman 2002 Rice production in water-
scarce environments In :kijne JW, Barker R, Molden D(eds),
Water Productivity in Agriculture Limits and Opportunities for
Improvement. The Comprehensive Assessment of Water Manage-
ment in Agriculures Series Vol 1 CABI Publishing. Wallingford
UK pp 1-342
- 元鐘建, 崔忠惇, 李外鉉, 金七龍, 李相哲 1997 벼 乾畚直播 栽培
時 深水灌溉가 生育과 收量에 미치는 影響. 韓國作物學會誌.
42(2) 166-172