

오수처리수의 관개가 벼의 생육 및 수확량에 미치는 효과

Effect of Reclaimed Sewage Irrigation on Paddy Rice Culture and Yields

우 선 호* · 윤 춘 경 (건국대)
Woo, Sun Ho · Yoon, Chun Gyoung

Abstract

Effect of reclaimed sewage on the paddy rice culture was examined by field experiment for two consecutive years. The domestic sewage was treated by the constructed wetland, and the effluent of the treatment wetland was used for irrigation water. Growth components and yields were compared against the CONTROL plot where conventional fertilization was applied.

In general, addition of the reclaimed sewage irrigation which contained high nutrient concentration didn't affect paddy rice culture adversely, and even better growth and more yields were observed. Overall, reclaimed sewage irrigation was thought to be one of practical alternatives for irrigation water.

I. 서론

전 세계적인 인구증가로 인해 해결해야 될 식량자원의 확보를 위해 다각적인 노력을 기울이고 있는 가운데, 식량생산량을 증가시키기 위한 일환으로 간척지를 이용하여 농경지의 증대를 꾀하고 있다. 이미 우리 나라의 서해안 지역에 크고 작은 간척사업의 결과로 조성된 농경지에서 쌀을 생산하고 있으며, 새만금 간척개발사업을 비롯해 현재 진행 중인 간척사업이 완료되면 이곳에서 생산될 쌀은 우리 나라의 식량자급에 어느 정도 도움이 될 것으로 전망하고 있다.

농업에 있어서 농경지의 확보뿐만 아니라 여러 가지 중요한 인자들이 있지만 그 중에 농업용수로 이용할 풍부한 수자원의 확보가 필수적이다. 우리 나라의 연평균 강수량은 1,274mm로서 세계 연평균 강수량인 970mm의 1.3배 이지만, 1인당 강수량을 보면 2,900m³으로서 세계 1인당 강수량인 26,800m³의 11%에 불과해 물 부족 국가군에 포함된다.¹⁾ 또한 전체 수자원 사용의 50% 이상이 농업용수²⁾라는 점을 감안할 때 농업용수의 확보와 적절한 공급을 위한 체계 확립이 시급한 실정이며 이에 따른 다각적인 연구가 선행되어야 할 것이다.

최근에 윤³⁾ 등은 오수처리수를 이용한 관개용수로서의 재이용에 대해 연구한 바 있는데, 그 결과 오수처리수가 벼 재배에 있어 질소와 인을 포함한 영양물질 공급원으로서 유익한 역할을

한 것으로 나타났다. 오수처리수에 포함된 영양물질을 작물이 이용함으로써 화학비료의 사용량을 줄여 토양의 산성화를 지연시킬 수 있으며, 수자원의 재이용이라는 측면에서도 긍정적으로 볼 수 있다. 또한 논의 가지고 있는 자연적 수질정화능력⁴⁾을 이용해 수계로 유입되는 영양물질의 부하량을 덜 수 있는 효과도 기대할 수 있다. 하지만 오수처리수에는 농작물에 유용한 영양물질 이외에 유해한 성분이 포함되어 있을 수 있기 때문에 무분별하고 체계적이지 못한 사용은 오히려 농작물의 생육을 저해하고 수질오염을 악화시킬 수 있는 가능성이 있다. 따라서 이에 대한 지속적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 2년간 연속 오수처리수를 관개용수로 이용하였을 경우 벼의 생육과정과 수확량에 생긴 변화를 비교 분석하여 오수처리수의 재이용이 수도작에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

작물재배시설은 Fig. 1과 같으며 실험시설에 대한 전반적인 설명은 윤⁵⁾ 등의 연구에 잘 나타나있다. 실험에 사용한 오수처리수는 건국대학교 농업생명과학대학 건물의 정화조 유출수를 모래에 갈대를 식재한 인공습지를 통하여 자연정화 처리한 후에 작물재배 실험 처리구에 각각 관개하였다.

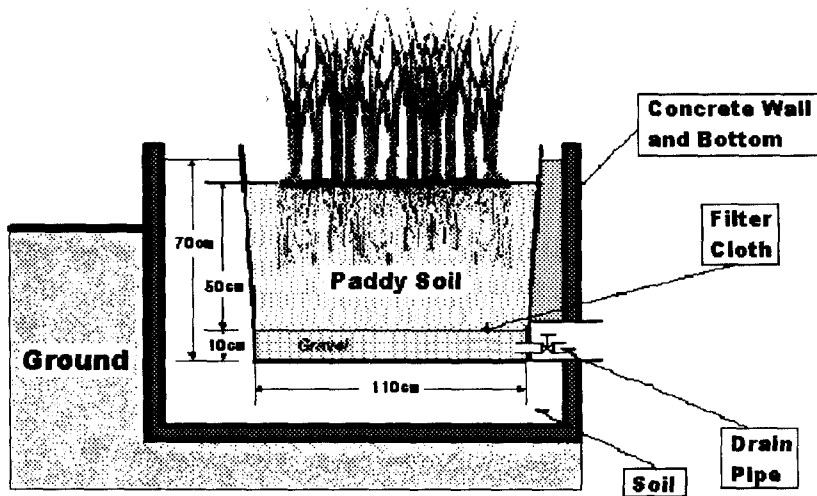


Fig. 1 Section of experiment pot for rice cultivation

1년차 실험방법

이양시기는 1998년 5월 25일이었고 공시품종 일품 벼를 1주 1본씩 포트 당 22개체씩, 대조구 1개와 처리구 4개에 각각 3반복 처리하여 총 15개 포트에 이양하였다.

처리구 조건은 ①회석하여 농도를 조절한 오수처리수를 관개하고 시비하지 않은 처리구 (TWNF), ②회석하여 농도를 조절한 오수처리수를 관개하고 관행재배법에 의하여 시비한 처

리구(TWCF), ③회석하여 농도를 조절한 오수처리수를 관개하고 관행재배법의 절반에 해당하는 비료를 시비한 처리구(TWHF), ④오수처리수 농도를 조절하지 않고 그대로 사용하고 시비하지 않은 처리구(SWNF), 그리고 ⑤수돗물을 관개용수로 사용하고 관행재배법에 의하여 시비한 대조구(CONTROL)의 5가지로 구분하였다. 시비는 중부지방 관행재배법에 의해 N : P : K의 비율이 10a 당 11kg : 7kg : 8kg이므로 처리구의 표면적이 약 1m²이므로 11g : 7g : 8g의 비료를 시비하였다. 관개용수는 1회에 20 l 씩 15회에 걸쳐 300 l 를 관개하였으며, 회석수의 경우 관개용수의 TN농도가 26mg/L이하가 되도록 회석하였다.

생장분석은 재배한 벼를 8월 10일부터 7일 간격으로 3개체씩 3반복으로 채취하여 5회에 걸쳐 초장, 분얼수, 엽면적, 건물중을 측정하였다.

10월 21일에 각각의 개체를 수확하여 수장(穗長) 및 간장(稈長)을 측정하고, 개체 당 이삭수와 이삭 당 영화수(穎花數), 그리고 비중이 약 1.06인 소금물을 이용하여 등숙율을 구하고, 가라앉은 낱알을 60℃에서 3일간 건조 한 후 무게를 달아 수확량을 산정 하였다. 이 중에서 1,000개를 임의로 세어 무게를 확인하여 천립중(千粒重)을 구하였다. 이 결과를 단위면적과 개체수 등을 고려하여 수량구성요소 및 수확량으로 환산하였으며, 2년차에서도 동일한 방법으로 분석하였다.

2년차 실험방법

1년차와 동일품종인 일품 벼를 1주 1본씩 포트 당 19개체씩 대조구 1개와 처리구 4개에 각각 3반복 처리하여 총 15개 포트에 1999년 5월 24일 이앙하였다. 1년차와는 달리 오수처리수를 대부분 회석하지 않고 그대로 관개하였으며, 처리구는 ①오수처리수를 연속관개하고 시비하지 않은 처리구(CSWNF), ②오수처리수를 회석하여 관개하고 관행재배법에 의해 시비한 경우(TWCF), ③오수처리수를 관개하고 관행재배법의 절반에 해당하는 시비를 한 경우(SWHF), ④오수처리수를 관개하고 관행재배법에 의해 시비한 경우(SWCF), ⑤수돗물을 관개용수로 사용하고 관행재배법에 의해 시비한 경우(CONTROL)의 5가지로 구분하였다.

관개용수는 재배기간동안 CSWNF처리구의 경우 영양물질의 과다 유입으로 인한 수확기의 도복 여부를 관찰하기 위해 강우시를 제외하고 매일 10 l 씩 총 540 l 를 관개하였고, 기타 처리구는 pot의 물 양에 따라 1회 관개시 10 l 씩 총 430 l 를 관개하였으며, TWCF처리구는 오수처리수를 농도에 관계없이 일정하게 5배 회석하여 관개하였다. 관개용수의 평균수질은 Standard Methods⁶⁾에 따라 재배기간동안의 오수처리수를 분석하여 평균농도를 구하였다.

III. 결과 및 고찰

2차년도는 1차년도에 비해 처리구 조건이 다를뿐더러 관개수량 및 이에 따른 영양물질의 총 유입량도 많았다. 따라서 이와 같은 조건에서 단순히 1차년도와 2차년도의 결과를 비교하기 보다 고농도의 오수처리수를 관개하였을 경우 이에 따른 전반적인 벼의 생육상태와 수확량에 초점을 맞추었다.

작물생장조사

초장(plant height)은 작물의 지상부 크기로서 생육정도를 육안으로 쉽게 판별 할 수 있는 척도가 된다. 처리구별 초장을 살펴보면 성장분석 기간동안 대체로 꾸준히 증가하였으며 1년차

의 경우 대조구를 비롯해 시비한 처리구가 성장분석 기간동안 높은 값을 보여 시비에 따른 초장의 차이를 관찰할 수 있었다. 2년차에서는 대조구의 경우를 제외하고 시비에 관계없이 오수처리수를 희석하지 않고 관개한 처리구가 성장이 빠른 것을 알 수 있었다. 이것은 오수처리수 내의 영양물질이 작물의 성장에 긍정적으로 작용하였음을 엿볼 수 있다.

분얼수(tiller number)는 일반적으로 수확량을 결정하고 작물이 건강하게 생육할 수 있는 중요한 요소가 되지만 너무 많으면 수확기에 등숙율과 수확량에 영향을 미칠 수도 있다.⁷⁾ 1, 2년 차 모두 증가와 감소를 반복하였으며, 1년차에서는 대조구가, 2년차에서는 오수처리수를 희석 없이 관개하고 관행재배법에 따라 시비한 처리구가 다른 처리구에 비해 두드러진 값을 나타냈다. 처리구 전체로 보았을 때는 2년차가 1년차보다 분얼이 활발했음을 알 수 있었는데, 1년 차와 2년 차의 관개수의 농도 차이가 분얼에 영향을 미친 것으로 추정된다.

엽면적(leaf area)은 작물이 일사량을 많이 받을 수 있는가를 측정하는 지표로서 광합성량을 좌우하며 식물생장에 중요한 기본적 지표이다.⁸⁾ 각 처리구별 엽면적을 비교하면 높은 값을 보인 처리구들은 분얼수의 경우와 일치하였는데, 그 이유는 분얼이 많으면 잎의 수도 증가한다는 점에서 당연한 결과로 생각된다. 1년 차의 최대 엽면적이 2,000cm²에도 미치지 못하는 반면, 2년 차에서는 약 4,000cm²로 약 2배 가량 증가한 것으로 나타났는데 이유는 관개용수의 영양물질 농도차이 때문으로 생각된다.

각 처리구별 건물중(dry weight)은 Fig. 2에서와 같이 시간이 지나면서 꾸준히 증가하는 경향을 보였으며 1년차에서는 대조구가 가장 높았으나 2년차에서는 대조구가 가장 낮았고 다른 처리구들이 상대적으로 높았다.

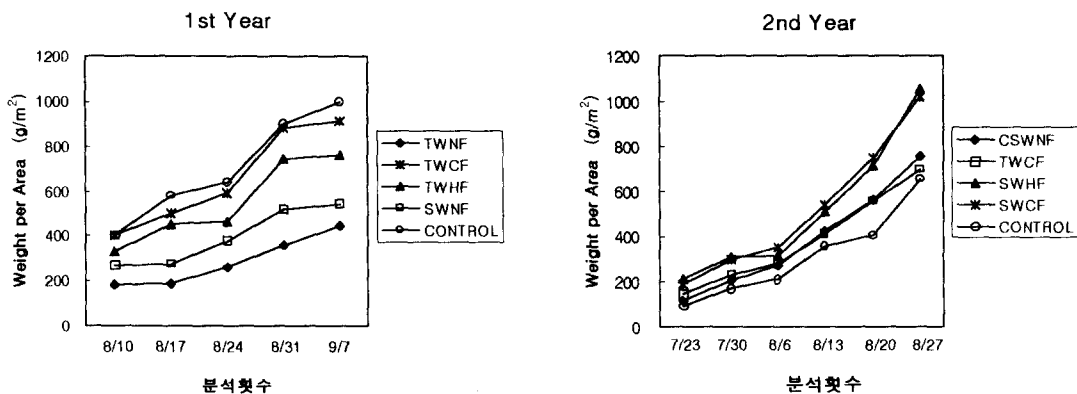


Fig. 2 Comparison of total dry weights

엽면적 지수(LAI, leaf area index)는 단위면적 내에 있는 모든 잎의 면적을 단위면적으로 나눈 값이다. 본 실험에서 조사한 각 처리구별 엽면적지수를 비교하면 Fig. 3과 같다. 식물의 건물생산량은 동화(同化量)량과 호흡량의 두 가지 조건에 의하여 결정되며, 동화량에는 엽면적, 단위동화력 및 수광능률의 세 가지 요소가 관계된다. 일반적으로 동화량은 엽면적이 넓고 단위동화력이 높으며, 하위의 잎까지 충분히 햇빛을 받게 되어 수광능률이 높을수록 많아지지만, 어느 이상 커지면 증대되는 정도가 차차 완만해진다. 이것은 엽면적이 커짐에 따라 잎이 서로 겹쳐져 수광능률이 낮아지고, 잎의 호흡작용에 의한 호흡기질의 소모는 엽면적이 커질수록 여

전히 커지기 때문이다. 이와 같은 동화와 호흡과의 관계에서 건물생산을 가장 크게 하는 엽면적이 존재하는데, 벼의 경우 출수기 및 등숙기의 일사량이 360~380cal/cm²/day일 때 최대엽면적은 단위면적의 6.5~7.5배(엽면적지수 6.5~7.5)가 된다고 한다.⁹⁾ 엽면적 지수의 1년차와 2년차의 변화도 건물중의 경향과 유사하였으며, 2년차가 1년차보다 높았다.

1차년도와 2차년도의 전반적인 벼 생육을 비교해보면 오수처리수의 관계가 벼 생육을 저해하는 요인으로 작용한 것으로는 보이지 않는다. 그리고 질소는 작물생육에 중요한 영양인자로 2차년도에 총 질소유입량이 더 많았으며 이로 인해 1차년도에 비해 보다 좋은 생육결과를 보인 것으로 추측된다.

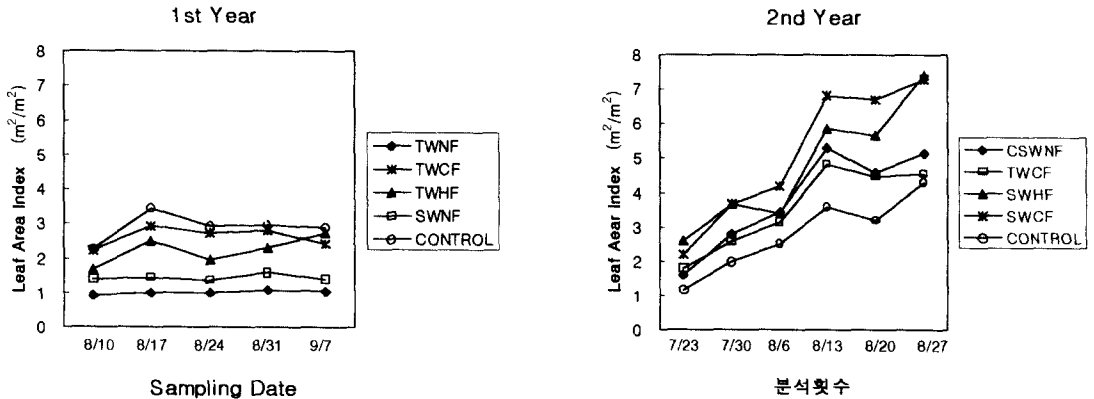


Fig. 3 Comparison of leaf area indexes

작물 수확량

각 처리구별 수확량 비교는 Fig. 4과 같으며, 1년차의 경우 관행재배법에 의해 시비한 처리구가 많은 수확량을 보여 생장분석결과와 일치한 것으로 나타났다. 이것은 생장의 차이가 수확량으로 연결되며, 이와 같은 현상은 2년차에서도 관찰되었다. 즉, 오수처리수를 희석없이 관개한 처리구에서 대체로 생육이 활발하였으며 그 결과 많은 수확량을 기록하였다. 1, 2년차에서 대조구의 수확량은 유사하였으며, 오수처리수를 희석하여 관개하고 관행재배법에 의해 시비한 처리구는 2년차가 다소 감소한 것으로 나타났다. 2년차가 1년차보다 전반적으로 수확량이 증가하였는데, 이유는 재배 첫 해에는 벼가 정상적으로 생육할 수 있는 토양의 조건이 아직 조성되지 않았고, 이러한 토양의 이·화학적 성질이 2년 차에 접어들면서 점차 벼 생육에 적합한 토양으로 전환되었고 높은 영양물질을 함유한 오수처리수의 관개에 따른 영향으로 판단된다.

본 연구에서 1년차와 2년차에 관개용수로 사용한 오수처리수는 TN농도가 각각 약 26mg/L와 90.2mg/L이었으며, TP농도는 각각 약 2.3mg/L와 6.7mg/L로서 우리 나라 관개용수 수질기준보다 월등히 높은 수치이다. 하지만 이렇게 고농도의 관개용수로 벼를 재배한 결과 작물의 생육에 영향을 미쳐 수확량이 감소하는 현상은 보이지 않았고 오히려 수확량을 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. 강우시를 제외하고 오수처리수를 매일 10ℓ씩 관개한 CSWNF는 질소의 과다 공급으로 인해 도복을 예상했으나 도복은 발생하지 않았다.

이상의 결과에 의하면 1년차보다 높은 영양물질을 함유한 오수처리수를 관개용수로 사용한 2년차에서 수확량의 감소현상은 보이지 않았고 비료를 함께 시비하였을 경우 오히려 상당히

증가한 것으로 나타났으며, SWHF처럼 시비량을 절반으로 감소시켜도 수확량이 대조구에 비하여 증가하였다. 이러한 결과에 의하면 오수처리수를 관개용수로 재이용하면 수자원 재이용 효과와 화학비료의 사용량을 줄여 경작지 토양의 산성화 및 수계로의 영양물질 과다 유입으로 인한 부영양화를 예방할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나, 실험기간이 2년으로써 길지 않았기 때문에 이상의 결과를 그대로 받아들이기에는 다소 무리가 있으며, 오수처리수 관개에 따른 벼 수확량 및 토양의 이·화학적 변화, 그리고 논 토양내의 영양물질수지 등 추가적이고 상세한 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

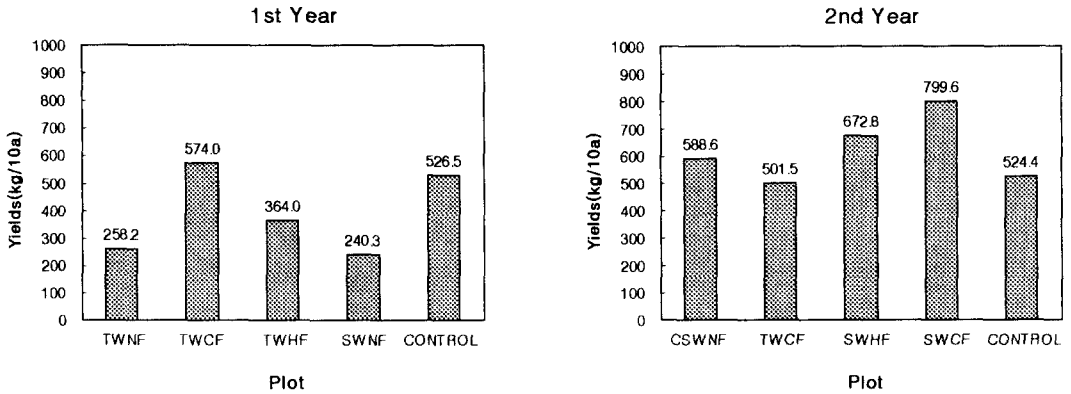


Fig. 4 Comparison of yields per unit area(kg/10a)

IV. 참고문헌

1. 농림부, 1999, 농촌용수 10개년 계획(보완).
2. 환경부, 1998, 환경백서
3. 윤춘경, 권순국, 김태영, 1999, 벼 재배시 생활오수 처리수 관개 효과, 18(3), pp. 236~244.
4. 농림부, 1999, 한국 논농사의 다원적 기능, 농업과 토지의 다기능적 특성에 관한 FAO/네덜란드 회의 제출.
5. 윤춘경, 권순국, 정일민, 권태영, 1999, 오수처리수 관개 벼재배를 통한 농업용수 수질기준의 검토, 한국농공학회, 41(2), pp. 44~54.
6. American Public Health Association. (1995). Standard Methods for the Water and Wastewater Examination, 19th ed., Washington, D.C.
7. 윤춘경, 권순국, 김태영, 1999, 벼 재배시 생활오수 처리수 관개 효과, 18(3), pp. 236~244.
8. 윤상현외 13명, 1994. 재배학 특론, 향문사, pp. 198~204.
9. 이은용, 1991, 수도작, 향문사, pp. 92~93.