

벼 수경육묘에서 양액의 EC 초기 설정에 따른 묘 생육과 무기성분의 이용

김영광*[†], 홍광표*, 정완규*, 손길만*, 송근우*, 강진호**

*경상남도농업기술원, **경상대학교 응용생명과학부

Effects of Initial EC Values on Seedling Growth and Utilization of Minerals in Hydroponic Rice Seedling Raising

Yeung-Gwang Kim*[†], Kwang-Pyo Hong*, Wan-Kyu Joung*, Gil-Man Shon*, Geun-Woo Song*, and Jin Ho Kang**

*Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services, Chinju 660-370, Korea

**Div. of Applied Life Sci. Gyeongsang Natl. Univ., Chinju 660-701, Korea

ABSTRACT : This study was conducted to develop a technology for raising seedlings hydroponically using the bed in which the seedlings grew in nutrient solution without soil. In order to establish the optimum EC value of nutrient solution, six initial EC values (1, 2, 3, 4, 5 dS/m and control) of Yoshida's hydroponic solution were examined. Seedling height and dry weight increased with increasing below EC up to 3.0 dS/m, but showed no significant increase at higher than EC 3.0 dS/m. Nutrient solution with initial EC of 3.0 ds/m was good to be dropped down nearly to 1 dS/m after 15-day seedling culture. But those with initial EC of 4.0 and 5.0 dS/m were judged not appropriate because of high EC value in waste nutrient solution. Utilization efficiency of minerals of nutrient solution and rice endosperm was higher on the whole at initial EC of 2.0~3.0 dS/m. Considering seedling growth and utilization efficiency of supplied nutrient solution, initial EC is judged to be suitable at 3.0 dS/m.

Keywords: Rice, Hydroponic seedlings, EC

현재 벼 기계이앙을 위해서는 상자육묘가 관행적으로 많이 이루어지고 있으나, 상토확보와 못자리관리가 어려워 새로운 육묘법의 개발이 요구되고 있다. 특히 상토확보를 위해 산흙을 채취하는 것은 자연보호·환경보존과 배치되고, 시판상토의 구입은 육묘비용을 높여 농가의 경제적 부담을 가중시킬 뿐만 아니라 산흙 등 상토로 채워진 육묘상자는 무거워서 고령화된 농업종사자나 부녀자가 운반과 탑재작업을 하기에는 어려움이 많은 실정이다. 이 때문에 구입이 용이하면서도 가격이 저렴한 rock-wool이나 팽화왕겨 등 대체상토의 개발이 많이 연구되어 왔다(Kim *et al.*, 1986; 佐藤 등, 1977; 고 등, 2000). 그러나, 이러한 대체상토의 개발도 상토사용에 따른 불

편함과 문제점을 완벽하게 해결할 수 없어 상토를 사용하지 않는 육묘 방법인 수경육묘에 대하여 관심이 집중되고 있다.

수경육묘를 포함한 양액재배는 토양을 사용하지 않고 작물의 생육에 필요한 무기양분을 적절한 농도로 희석시켜 공급하는 방식으로, 작물의 재배를 시도한 Sacks(1860)와 Knops(1862)으로부터 그 가능성이 밝혀져 주로 원예작물을 중심으로 많은 연구가 수행되어 왔다(Matsuo *et al.*, 1995). 벼와 같은 식량작물에서 양액재배는 상업적인 측면보다 무기성분의 효율적인 공급, 특정성분의 흡수 및 영양장해 등을 연구하기 위한 수단으로 주로 이용되고 있다(Park & Ha, 1978). 우리나라에서 벼의 수경재배는 Shin *et al.*(1988)이 수온에 따른 물, NO₃⁻, NH₄⁺ 및 P의 흡수율, Lee *et al.*(1989)은 온도와 차광이 P와, K의 추적자인 Rb의 흡수에 미치는 영향을 수경재배를 이용하여 밝힌 바 있다.

벼에 있어서 기계이앙용 수경육묘에 대한 연구는 일본에서 90년대 후반부터 이루어지기 시작하여 긴 수경묘의 이앙과 관련된 이앙기의 개조와, 길게 육묘된 매트묘를 감는 장치 등 기계와 관련된 연구가 주를 이루고 있다(田坂 등, 1996; 小倉, 1998). 그러나 벼의 재배·생리적인 측면을 고려한 수경육묘에 관한 체계적인 연구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 상토를 전혀 사용하지 않아 상자묘 자체의 무게를 획기적으로 줄여 묘 운반 및 관련 작업을 생력화할 수 있을 뿐만 아니라, 육묘비용도 크게 줄일 수 있을 것으로 기대되는 벼 수경육묘 기술을 개발코자, 수경육묘와 관련된 양액의 환경 설정을 위하여 우선 양액의 적정 EC 농도를 설정하고자 수행하였다.

재료 및 방법

벼의 수경육묘에 관한 시험을 수행하기 위하여 경상남도농업기술원 비닐하우스 내에 폐쇄순환식 수경묘 베드를 Fig. 1

[†]Corresponding author: (Phone) +82-55-750-6217 (E-mail) kimykw@mail.knrda.go.kr <Received February 15, 2003>

과 같이 설치하였다. 시험에 사용된 베드는 육묘되는 부분의 길이가 1 m, 폭은 육묘상자와 동일한 28 cm, 높이는 10 cm 이었다. 육묘베드는 양액을 공급하는 소형 양액탱크, 양액을 급수 또는 배수하여 주는 부분과 베드로 제작하였으며, 베드를 통과한 양액을 모으는 양액탱크를 베드 아래에 설치하였다. 베드당 초기 양액량은 12 l였고, 양액은 1.5~2 l/min 정도의 양을 소형수중펌프(UP-7W, Hyubshin)와 타이머로 시간당 15분씩 순환시켜 공급하였다.

동안벼를 공시품종으로 2001년 5월 4일에 1~2 mm 정도 최아 시킨 종자를 1.4 kg/m² 수준으로 베드에 파종하여 15일간 육묘하였다. 양액의 공급은 파종 5일후에 국제미작연구소에서 벼 생리 시험용으로 사용되는 Yoshida액(Yoshida *et al.*, 1976)을 사용하여, EC를 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 및 5.0 dS/m으로 달리하여 1회 공급하였고, 육묘기간중 양액이 감소한 양만큼 지하수로 보충해 주었으며, 시험에 사용된 지하수의 무기성분 함량은 Table 1과 같다.

조사형질 중에서 초장, 엽수, 근장, 근수는 베드에서 육묘된 20주의 수경묘를 조사하였고, 건물중은 100개의 식물체를 경엽과 뿌리로 나누어 70°C에서 2일간 건조한 후 칭량하였다. 한편 육묘된 묘의 이양적응성을 알아보기 위한 인장강도는 묘를 10×3 cm 넓이로 절단한 후 한쪽 끝을 고정시키고 다른 쪽 끝은 간이집계를 물려 인장강도측정기(FGN-5, Shimpo)로 절단될 때까지 잡아당겨 기기상에 기록된 최고점으로 표시하였으며, 엽색도(Takebe and Yoneyama, 1989)는 엽록소계(SPAD-502, Minolta)로 측정하였다. 육묘기간중 양액의 경시적 변화를 조사하기 위해 EC농도는 휴대용 EC 측정기(CON 10, Eutech)로 조사하였다. 식물체 분석은 70°C에 2일간 건조한 후 분쇄한 시료를 이용하였다. 전질소는 Kjeldahl법으로,

P₂O₅는 Vanadate법으로 Spectrophotometer(Stasar II, Gilford)를 사용하여 380 nm에서 측정하였다. K₂O, CaO 및 MgO 함량은 원자흡광분광광도계(analyst 300, Perkin-Elmer)를 이용하여 정량하였다.

양액의 분석은 APHA의 Standard method(Clesceri *et al.*, 1998)에 준하여 NH₄-N는 Indophenol법, NO₃-N은 혼합산성시약법, Cl은 질산은적정법, SO₄는 BaCl₂에 의한 비탁법, PO₄는 염화제일주석환원법, 양이온인 K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn 및 Zn은 원자흡광분광광도계(Analyst 300, Perkin-Elmer)를 이용하여 분석하였다. 수경묘와 양액의 무기성분 분석 결과를 이용하여 베드당 벼 식물체에 축적된 각 무기성분의 양을 계산하였으며 이를 이용하여 N에 대한 각 무기성분의 비율로 환산하였다. 한편 무기성분의 이용효율은 양액과 벼 자체가 갖고 있는 무기성분의 총량에 대한 수경묘 자체가 갖고 있는 양의 비율로 환산하였다.

결과 및 고찰

양액 초기 EC 수준에 따른 묘 생육과 무기성분 이용

공급되는 양액의 초기 EC 설정농도에 따른 묘소질은 Table 2와 같다. 묘소질을 보면 초기 EC 설정 농도가 증가할수록 초장이 길어졌으나 엽수, 건물중 및 묘출실도는 EC가 3.0 dS/m 까지 증가할수록 증가되는 경향이었고, 그 이상의 농도에서는 차이가 없거나 감소하였다. 잎의 엽록소함량의 간접지표인 SPAD값(Takebe & Yoneyama, 1989)도 EC 2.0 dS/m 이상에서 수경묘는 어린묘에 비해 높아서 N 성분이 상대적으로 많이 축적되는 것으로 해석되었다.

Sasaki & Hoshikawa(1997)는 상토를 사용하는 관행 육묘에서 배양양분의 74%가 소모되는 묘령 24엽기까지의 묘 생장은 배양양분에만 의존한다고 보고하였으나, 수경육묘에서 양액의 공급없이 지하수로만 육묘한 Control의 경우 생육이 극히 부진하였던 본 시험의 결과를 두고 볼 때, 수경육묘 기간중 무기성분은 반드시 공급되어야 할 것이다. 따라서 초장과 건물중 등의 묘소질을 고려할 때 육묘 초기에 설정될 양액의 EC는 2.0과 3.0 dS/m이 적절할 것으로 판단되었다.

육묘 초기에 설정된 양액 EC의 육묘기간중 경시적 변화는 Fig. 2와 같다. EC는 배양액 내에 존재하는 개별 이온의 농도는 알 수 없다고 할지라도 개별 이온 농도의 합인 전체 이온 농도를 측정할 값으로 전체 이온의 농도가 높을수록 그 값이 큰 특성을 갖고 있다. 본 시험에서 육묘시기별 폐양액의 EC

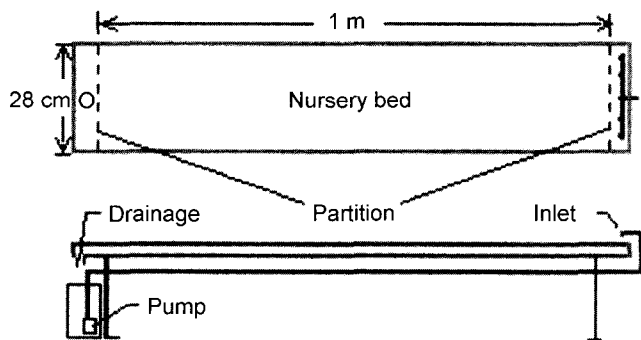


Fig. 1. Diagram of hydroponic nursery device for rice seedling production.

Table 1. Mineral content of ground water used in the experiment.

pH	EC	PO ₄	K	Ca	Mg	Na	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Fe	Mn	Zn	Cl	SO ₄	HCO ₃
	dS/m	mg l ⁻¹												
6.8	0.26	0.46	1.6	20.8	6.5	2.7	0.2	1.2	0.24	0.03	0.06	19.6	40.1	90.9

Table 2. Characteristics of rice seedlings grown hydroponically for 15 days after seeding as affected by initial EC values of Yoshida's hydroponic solution for rice culture.

EC	Seedling height	Leaves	Roots	Root length	Dry weight (DW)			DW/seedling height	Tensile strength	SPAD value
					Leaf	Root	Total			
dS/m	cm	no. seedling ⁻¹		cm	-----mg seedling ⁻¹ -----			mg cm ⁻¹	kg	
1.0	8.7e [†]	2.2bc	8.0ab	8.5ab	6.5c	4.1ab	10.7b	0.8a	3.4a	24.4d
2.0	9.4d	2.3b	7.7ab	9.0ab	7.7bc	4.8a	12.3ab	0.8a	3.0a	27.1bc
3.0	10.5c	2.6a	8.4a	8.1b	8.1b	4.2ab	12.3ab	0.8a	3.4a	28.5b
4.0	10.7bc	2.5a	8.6a	8.2b	7.8b	3.6ab	11.5b	0.7a	3.2ab	29.0ab
5.0	11.2ab	2.5a	8.8a	5.5c	7.8b	3.8ab	11.6b	0.7a	2.9bc	31.0a
Control [†]	6.4f	2.1c	6.9b	9.1a	4.1d	3.5b	7.6c	0.7a	2.6cd	8.5e
CS	11.5a	2.6a	7.0b	4.0d	10.4a	3.7ab	14.0a	0.9a	2.3d	25.9cd

[†]Control, irrigated with ground water; CS, 15-day old conventional seedlings grown in bed soil.

[‡]Values having the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability by DMRT.

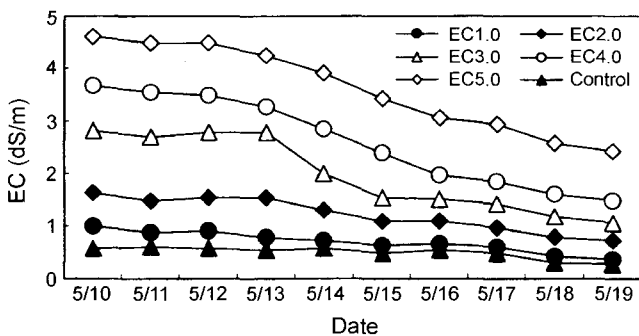


Fig. 2. Daily changes in EC of Yoshida's hydroponic solutions with different initial EC during hydroponic rice seedlings production. Control was irrigated with ground water.

는 대체로 적기육묘가 조기 또는 만기 육묘에 비해 낮았다. EC의 경시적 변화는 육묘시기에 관계없이 초기 EC 설정농도 5.0 dS/m는 육묘후 2.4 dS/m, 초기 EC 설정 4.0 dS/m는 육묘후 1.5 dS/m로 육묘후 EC가 비교적 높았던 반면, 초기 EC 설정농도 3.0 dS/m는 육묘후 1.1 dS/m로 상대적으로 낮아 초기 EC 설정농도가 낮을 경우 무기양분의 이용이 비교적 높은 것으로 나타났다.

양액재배가 많이 이루어지는 원예작물은 생육기간이 길기 때문에 재배중에 EC를 보정해 주거나 양액을 교체하여 주는 것이 일반적이거나, 벼 수경묘는 육묘기간이 짧기 때문에 육묘 초기에 적절한 EC로 설정된 양액을 공급한 후에 소모된 양액 만큼 지하수로 보충해 주는 것이 경제적이며 환경친화적 방법이라 할 수 있다. 최근 환경보전의 중요성이 대두되면서 양액 재배에 있어서도 폐양액의 처리 문제가 중요한 사안으로 떠오르고 있다. 따라서 양액에 포함된 무기성분의 이용과 폐양액의 처리문제 등을 고려할 경우 초기 EC 설정농도는 3.0 dS/m가 적당할 것으로 판단된다.

육묘 후 벼 경엽의 무기성분 함량은 Table 3과 같다. 육묘 시기에 관계없이 EC 설정농도가 높을수록 벼 잎의 N, P 및

Table 3. Mineral contents in leaves of rice seedlings hydroponically grown for 15 days after seeding as affected by initial EC of Yoshida's hydroponic solution.

EC	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1.0	2.78	1.35	0.75	0.97	0.61
2.0	3.09	1.31	1.24	0.80	0.74
3.0	3.19	1.38	1.49	0.45	0.97
4.0	3.35	1.41	1.76	0.34	0.91
5.0	3.62	1.52	2.29	0.19	0.86
Control [†]	3.30	1.61	0.74	1.56	0.61

[†]Control was irrigated with ground water.

K의 함량은 증가하는 경향으로써 그 중에서 K의 증가율이 가장 높았다. 그러나 벼 잎의 Ca 함량은 EC 농도가 증가할수록 감소되었는데, 이는 K가 Ca의 흡수를 억제하여 지상부의 Ca 농도를 감소시킨 결과로 해석된다(Addiscott, 1974). 고농도에서 흡수가 아주 완만해지는 것으로 알려져 있는 Mg는 다른 무기성분의 변화와는 달리 처리 농도간 변화가 가장 적은 경향을 보였다.

육묘후 분석된 수경묘의 무기성분 함량과 건물중을 근거로 초기 EC별 수경묘에 축적된 무기성분량을 환산한 것은 Table 4와 같다. EC가 증가함에 따라 N, P와 K의 축적량은 증가하는 경향을 보였으나 N과 P는 EC 2.0 또는 3.0 dS/m를 기점으로 그 증가 정도는 둔화되었다. 그러나 Ca의 축적량은 EC가 증가할수록 감소되었고, Mg의 축적량은 대체로 EC 3.0 dS/m에서 가장 높았으며 EC가 그 이상 증가함에 따라 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 Ca와 Mg는 EC가 일정수준 이상 증가하면 흡수저해를 일으키는 성분으로 분류할 수 있었다.

육묘후 수경묘에 축적된 N에 대한 다른 무기성분의 비율은 Table 5와 같다. 초기 EC 설정농도가 높을수록 K/N 비율은 증가하였는데 이는 양액의 농도 증가시 N의 흡수가 완만해진

Table 4. Mineral accumulation of rice seedlings hydroponically grown for 15 days after seeding as affected by initial EC of Yoshida's hydroponic solution.

EC	N	P	K	Ca	Mg
dS/m	g/0.28 m ³ bed				
1.0	3.85	0.81	0.86	0.95	0.51
2.0	4.90	0.91	1.64	0.90	0.71
3.0	5.08	0.96	1.97	0.51	0.93
4.0	4.98	0.92	2.17	0.36	0.82
5.0	5.12	1.00	2.85	0.20	0.78
Control [†]	3.24	0.69	0.60	1.10	0.36

[†]Control was irrigated with ground water.

Table 5. Ratios between N and other minerals accumulated by rice seedlings hydroponically grown for 15 days after seeding as affected by initial EC of Yoshida's hydroponic solution.

EC	P/N	K/N	Ca/N	Mg/N
dS/m	%			
1.0	21.1	22.2	24.8	13.2
2.0	18.6	33.4	18.4	14.5
3.0	18.8	38.7	10.1	18.2
4.0	18.4	43.5	7.3	16.4
5.0	19.4	55.5	4.0	15.2
Control [†]	21.3	18.5	33.8	11.2

[†]Control was irrigated with ground water.

Table 6. Utilization efficiency of minerals in nutrition solution and endosperm in rice seedlings hydroponically grown for 15 days after seeding as affected by initial EC values of Yoshida solution.

EC	N	P	K	Ca	Mg
dS/m	%				
1.0	48.0	82.6	65.8	70.7	45.6
2.0	55.8	77.5	84.0	47.9	42.1
3.0	53.2	70.0	75.8	21.1	41.0
4.0	48.3	59.0	66.8	12.2	28.8
5.0	46.2	57.1	73.1	5.8	22.9
Control [†]	44.0	86.9	89.3	93.6	55.4

[†]Control was irrigated with ground water.

반면, K의 흡수는 오히려 일정하게 증가된 결과로 해석된다. 반면 Ca/N 비율은 무처리에 비해 양액의 EC 농도가 증가할 수록 크게 감소되는 경향이었는데, 이는 앞에서 언급한 K의 흡수증가로 Ca 흡수가 저해된 것과 동일한 결과로 분석된다. P/N 비율은 EC 농도간에 뚜렷한 경향이 없었고, Mg/N 비율은 다른 성분비에 비하여 변화의 폭이 적을 뿐만 아니라 농도 구배에 대한 반응으로써 대체로 EC 농도 3.0 dS/m를 경계로 적어지는 것으로 나타났다.

공급된 양액과 벼 자체가 갖고 있는 무기성분 총량에 대한 수경묘의 이용효율은 Table 6과 같다. N, P 및 K의 이용효율은 초기육묘의 경우 증가되는 경향이었으며, 적기와 만기육묘에서는 초기 EC 설정농도 2.0과 3.0 dS/m에서 가장 높았던 반면, Ca와 Mg의 이용효율은 EC 설정농도가 높을수록 감소되는 것으로 나타났다. 따라서 양액에 포함된 무기성분의 이용측면에서 양액공급 초기 EC는 2.0~3.0 dS/m가 바람직하다고 볼 수 있으나, 묘소질을 고려할 경우 초기 농도는 3.0 dS/m가 가장 적절할 것으로 판단된다.

적 요

벼 생산비중 육묘에 투입되는 비용을 경감시키고 이양의 효율을 제고하기 위하여, 기계이양용 상자육묘시 상토를 전혀 사용하지 않고 불과 양액만으로 묘를 생산하는 수경육묘법을 개발하고자 양액의 환경중 적정 EC 설정에 대한 시험을 실시하였던 바 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 초기 설정 EC 농도는 육묘시기에 관계없이 3.0 dS/m가 지는 초장과 건물중이 증가되었으나 EC 3.0 dS/m 이상에서는 차이가 없었다.
2. 육묘후 폐양액의 EC는 초기 설정 3.0 dS/m은 1.1 dS/m로 낮아졌던 반면, 4.0과 5.0 dS/m에서는 1.5~2.4 dS/m로 높게 나타났다.
3. 경엽의 무기성분 함량은 양액의 EC가 높을수록 N, P 및 K 함량은 증가하였는데 그 중 K의 증가율이 가장 높았고, Ca는 반대로 감소하였다.
4. 수경묘에 축적된 무기성분량 중 N과 P는 양액의 EC 2.0 또는 3.0 dS/m를 기점으로 증가도가 둔화되었다.
5. 초기 EC 설정농도가 높을수록 수경묘에 축적된 N에 대한 다른 무기성분 비율 중 K/N 비율은 EC가 높을수록 증가한 반면, Ca/N 비율은 반대로 감소하였다.
6. 공급된 양액의 무기성분 중 N, P 및 K의 이용효율은 EC 2.0과 3.0 dS/m에서 높았으나, Ca와 Mg의 이용효율은 EC가 높을수록 감소하였다.

인용문헌

Addiscolt, T. M. 1974. Potassium and the distribution of calcium and magnesium in potato plants. *J. Sci. Food Agric.* 25 : 1173-1183.
 Clesceri, L. S., A. E. Greenberg, and A. D. Eaton. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. (20th ed.). APHA-AWWA-WPCF.
 Kim, J. Y., B. Y. Kim, and Y. S. Lee. 1986. Studies on artificial seed bed soil, rock-wool, for mechanical transplanting. *Res. Rept. RDA.* 28(1) : 102-106.
 고종환, 함진관, 김용복, 사중구. 2000. 팽화왕겨를 이용한 벼 육묘 상토 개발. 강원도농업기술원 시험연구보고서. pp. 11-16.
 Lee, G. B., Y. P. Hong, J. N. Im, and K. W. Chung. 1989. Uptake of

- 32P and 86Rb as influenced by temperature, transpiration suppress and shading treatment in rice plants. *Res. Rept. RDA*. 31(4) : 56-64.
- Matsuo, T., K. Kumazawa, R. Ishii, K. Ishihara, and H. Hirata. 1995. Science of the rice plant (V. II): Physiology. p. 35-65. Nobun-kyo. 6-1 Akasaka, 7-chome Minatoku, Tokyo, Japan.
- 小倉昭男. 1998. ロングマット水耕育苗移植技術. 機械化農業 3 : 13-16.
- Park, K. B., and H. S. Ha. 1978. Influence of mineral nutrition and phosphorus concentration in culture solution to the ferrous absorption of rice and barley. *J. Korean Soc. Crop Sci.* 23(1) : 14-20.
- Sasaki, R., and K. Hoshikawa. 1997. Changes in energy dependence and morphological characteristics with the development of rice nursery seedlings raised under different light and temperature conditions. *Japan J. Crop Sci.* 66(2) : 252-258.
- Shin, J. C., J. K. Ahn, M. H. Lee, S. H. Park, and R. K. Park. 1988. Influence of temperature and light intensity on water and nutrients uptake. *Res. Rept. RDA*. 30(3) : 16-23
- 佐藤 隆, 吉田 浩, 木村和夫, 失野和男. 1977. 水稻育苗におけるもみから培地の利用. 農業および園芸 52 : 43-48.
- Takebe, M., and T. Yoneyama. 1989. Measurement of leaf color scores and its implication to nitrogen nutrition of rice plants. *JARQ* 23(2) : 86-93.
- 田坂幸平. 1996. 水稻の育苗・移植作業の軽作業化(水稻ロングマット水耕苗の誕生と展望). 農業および園芸 71(6) : 55-60.
- 田坂幸平, 小倉昭男, 唐橋壽. 1996. 水稻の水耕育苗と移植技術の開発に関する研究. 第1報 育苗方法と苗の巻取り. 農業技術學會誌 58(6):89-99.
- Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock, and K. A. Gomez. 1976. Routine procedure for growing rice plants in culture solution. Laboratory manual for physiological studies of rice (3rd ed.). The International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines. pp. 61-65.