

남부지역 시설하우스 벼 극조기재배의 안전작기 설정

최장수¹ · 안덕종¹ · 원종건¹ · 이승필¹ · 윤재탁¹ · 김길웅²

¹경상북도농업기술원, ²경북대학교 농과대학

(2003년 5월 17일 접수; 2003년 9월 4일 수락)

Optimum Transplanting Time for Extremely Early Rice Greenhouse Cultivation in the Southern Area

Jang-Soo Choi¹, Deok-Jong Ahn¹, Jong-Gun Won¹, Seong-Phil Lee¹,
Jae-Tak Yoon¹ and Kil-Ung Kim²

¹Gyeongbuk Provincial Agriculture Technology Administration, Daegu 702-320, Korea

²College of Agriculture, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

(Received May 17, 2003; Accepted September 4, 2003)

ABSTRACT

Optimum transplanting time for extremely early rice cultivation as an after-crop of fruit and vegetables under greenhouse conditions in the southern area was determined. Rice was transplanted on March 10, March 20, March 30, April 10 and April 20 for three years from 1998 to 2000. Meteorological computations for rice production were high for heading between early May and early July, but they were too low for heading between late July and early August. Especially the expected yield predicted with 35,000 spikelets, the average spikelets per m² for extremely early transplanting. Computation for heading between late July and early August was low by 106 kg/10a compared with that yield at heading during the same period in the field. As the transplanting date in extremely early rice cultivation was earlier, rice growth at early stages was more retarded by low temperature. Rice growth at heading stage recovered with high temperature, showing less difference for the transplanting date. Abnormal tillers occurred by 15.5~22.2%. The contribution of 1,000 grain weight×ripened grain ratio to yield of the extremely early rice cultivation in the greenhouse was 50.6%, indicating 16% higher than the degree of panicle per m² on yield. The estimated optimum transplanting time on the basis of yield for the extremely early greenhouse rice cultivation ranged from March 19 to April 28, and the estimated critical transplanting date on the basis of accumulated effective temperature was March 12. Rice reduced the amount of NO₃-N by 97.1% and EC by 90.5% in greenhouse soil with continuous fruit/vegetables for more than a 10-year period, and completely removed the root-knot nematodes.

Key words : rice, meteorological values for rice production, extremely early rice cultivation, salt injury, greenhouse

I. 서 론

시설재배지는 노지재배 토양환경 조건과는 달리 시설에 의한 강우 차단과 고온에 의한 표면증발 및 작

물의 왕성한 증산작용에 의해 토양의 모관수가 토양 하층에서 상층으로 이동되어 토양용액 중에 용해되어 있는 염류들이 표층에 과다 집적됨으로, 연작년수가 경과할수록 작물은 생육이 불량해지고, 염류농도가 높

아짐에 따라 토양 미생물상이 단순해져 미생물간의 길항 관계가 병원균의 뿌리침입에 유리한 쪽으로 변화되므로, 병해, 선충 피해가 심하여(강 등, 1993) 수량 및 품질이 저하되는 연작장해가 발생된다.

시설재배지의 연작장해를 해결하고자 지금까지 시비량 조절(河森, 1971), 관수량 조절(田中, 1962), 완효성 비료 사용(嶋田, 1964), 미생물을 이용한 양분의 유효화 방법(김 등, 1980; 박, 1989) 등의 소극적 방법과 담수근권 溢流관개, 객토, 흡비작물 재배 등(景山, 1967, 1970) 적극적 방법을 사용하였으나, 토양 화학성 개선 후 3년 이상 연작하면 다시 악화됨에 따라, 시설 재배농가는 지속적 고소득을 유지시키기 위하여 주로 객토, 환토 방법을 계속적으로 사용함으로써 객토원의 고갈, 자연훼손, 경비과다, 농경지 변경 등의 문제점을 발생시키고 있다.

남부지역의 시설재배면적 급증과 시설작물 주년재배 확대에 따라, 시설재배 작물의 염류장해와 토양 물리성 악화, 토양 해충밀도가 증대되어 생산력이 저하되는 연작장해가 많이 발생되고 있다. 이러한 연작장해 문제를 해결하고자 경작지는 지금까지 여러 가지 방법을 실시하였지만, 비용이 많이 들고 그 효과는 적었다. 그러나 시설재배지에서 벼 재배는 다른 제염작물에 비해 제염율이 85% 이상(윤 등, 1999; 임 등, 1998), 토양 선충밀도 억제효과가 91% 이상으로(박 등, 1995) 시설재배지의 염류장해 개선 및 토양 미생물의 생태적 안정을 유지시킬 수 있었으며, 벼 재배 후 시설작물 증수와 품질을 향상시켜 재배자의 안정된 소득을 얻을 수 있었다(전 등, 1997).

남부지역 시설재배 작부체계에서 벼는 소득작물 재배 휴한기인 3월부터 8월 사이에 극조기 재배되고 있지만, 제한된 생육기간에 알맞은 벼 재배법이 확립되어 있지 않아 재배를 실패하는 경우가 많다. 따라서 본 연구는 남부지역 집단 시설재배지 토양의 염류장해 및 이·화학성 개선을 위한 시설하우스 벼 극조기재배에서 적정수량을 확보하기 위한 적정이앙기 설정을 위하여 1998년부터 2000년까지 3년 동안 시험을 수행하여 얻어진 결과를 보고한다.

II. 재료 및 방법

시설하우스 벼 극조기재배의 적정이앙기를 설정하기 위하여, 과채류를 10년 이상 주년재배한 경북농업기술

원의 농촌진흥청 농가보급형 표준 비닐하우스 내에서 1998년부터 2000년까지 3년 동안 극조생종인 진부벼를 시험품종으로 하여 3월 10일, 3월 20일, 3월 30일, 4월 10일, 4월 20일의 5시기에 재식 거리 30×12 cm, 재식 본수 1주 5본으로 이앙하였다. 시험구 배치는 완전임의배치법 3반복으로 배치하였고, 10a당 시비량은 N만을 11 kg 사용하였고, K₂O와 P₂O₅는 사용하지 않았다. 하우스 관리는 생육초기에 하우스 측창을 열지 않았으며, 6월초 시설하우스 내 평균기온이 25°C 이상 되면서부터 주야간에 측창을 개폐를 하다가, 출수 후부터는 측창을 계속 열어두었다.

시설하우스 내부 기온, 수온 조사는 HOB0 H8 Data logger 자동 온도측정기를 시설하우스 내 3개소에 설치한 후 1시간 간격으로 측정하여 평균하였고, 노지 기온은 경북농업기술원 시험포장에 설치된 자동 기상기록장치의 자료를 사용하였다. 기상생산력은 1990년부터 1999년까지 10년 간 수행한 주요 장려품종 전시재배 시험의 화영벼 등 45품종에 대한 수량과 기상자료를 가지고, 村上(1982)이 제시한 등속기간 중 기상요인과 수량과의 다중회귀모형을 변형시켜 Stepwise 방식으로 남부지역에 적합한 최적 다중회귀식을 구하여 시설하우스 벼 재배에 적용하였으며, 등속비를 추정식은 楠谷(1988)이 제시한 비선형회귀식에 m²당 영회수를 더하여 구하였으며, 벼 생육기간 중 기상 소모도장효과는 松島(1965)의 공식을 적용하였다.

벼 생육과 수량은 농촌진흥청 조사기준에 준하여 조사하였고, 적정이앙기 설정은 각 이앙기별 수량을 가지고 수량 추정회귀식을 구한 후, 최대 추정수량의 95% 신뢰구간 하한수량에 해당되는 이앙기를 적정 이앙범위로 설정하였다. 안전이앙한계기는 각 이앙기별 출수소요일수, 이앙부터 출수기까지 적산온도, 유효적산온도 및 유효적산온도지수에 대한 변이계수를 구한 후, 변이계수가 가장 낮은 요인을 선택하여 추정하였다.

시설하우스 토양의 화학성분 분석은 시설재배지 작토층 토양을 채취하여 풍진한 후, 2 mm체를 통과한 세토를 농촌진흥청 농업기술연구소 토양화학 분석법에 준하여 실시하였으며, 전기전도도는 토양과 증류수의 비가 1:5인 토양용액의 비전도도를 측정하여 25°C에 대한 값으로 환산하였다. 뿌리혹선충 밀도 조사용 토양시료는 시설하우스 내 조사지점 당 토양 100 ml씩 10개 지점에 1,000 ml를 채취하여 골고루 섞은 후 300 ml를 취하여 원심분리법에 의해 선충을 분리하였

으며, 분리한 상등액을 28 μm 체에 붓고 물로 잘 씻어서 계수판에 모아서 검정하였다. 선충밀도 경감효과는 제염작물 재배 전 선충밀도에 대한 재배 후 선충밀도와 생충율로 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 벼 생육기간 중 시설하우스 기상 요인 변화

시설하우스 벼 극조기재배에서 3월 중순경의 평균기온은 13.6°C이고, 수온은 15.8°C로서 안전한계이상온도 이상이었으며, 4월 중순부터 22.1°C 이상으로 상승하였고, 5월 하순부터 25°C 정도를 유지하였으며, 시설하우스 내와 노지의 평균기온 차이는 0.3~7.6°C로서 6월 중순까지는 온도차가 컸었고, 이후부터는 차이가 적었다. 특히 6월 중순의 시설하우스 내 평균기온이 28.9°C로 급상승하다가, 6월 하순은 23.6°C로 떨어졌으며, 7월 상순부터는 25.8°C~28.6°C를 나타내었다(Fig. 1).

이상과 같은 시설하우스 내의 온도변화에서 벼 생육기간 중 기상 소모도장효과는 6월 중순까지는 계속 증가하다가, 7월 상순에 급격히 감소하였고, 7월 하순부터 8월 상순 사이 최대값을 나타내었으며, 이후부터는 감소하였다(Fig. 2).

시설하우스 벼 재배에서 노지와 시설하우스 내의 기

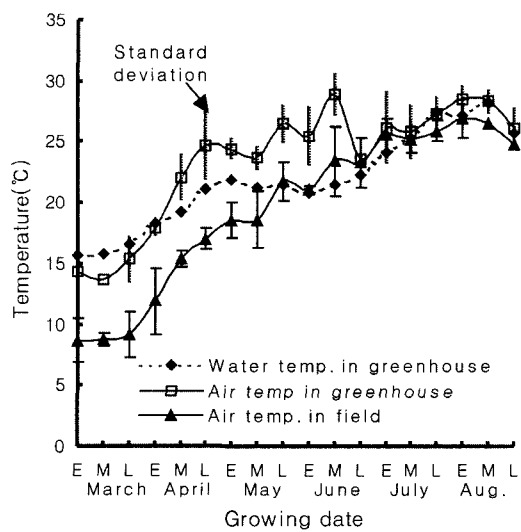


Fig. 1. Changes of temperature in green-house and field during rice growing period.

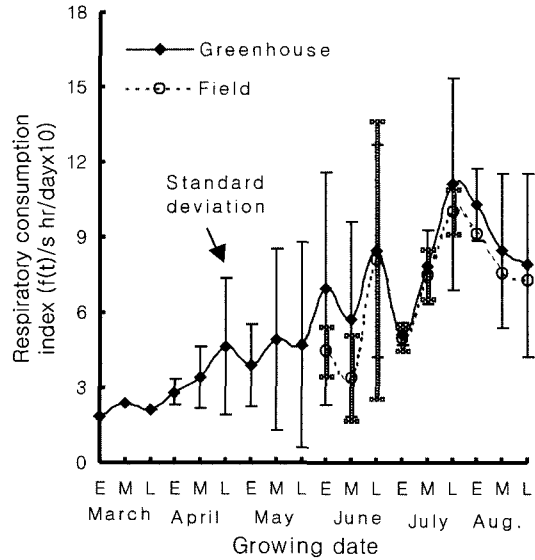


Fig. 2. Changes of respiratory consumption index between greenhouse and field during rice growing period. $f(t) = 10^{0.0301(t-10)}$, t : mean air temperature, s : sunshine hours per day

상생산력 차이를 알아보기 위하여, 화영벼 등 45품종에 대한 10년 동안의 수량과 기상자료를 이용하여 남부지역에 적합한 기상생산력 회귀식을村上 등(1982)의 기상생산력 회귀식을 변형시켜 다음과 같이 도출하였다.

$$Y = -49.004 + 5.1647x - 0.64x^2 + 36.0356t - 7.6558t^2 + 0.003x + 0.09t \cdot s$$

$$R^2 = 0.886^{***}$$

where

- Y : Meteorological values for rice yield during ripening ($\times 100 \text{ kg}/10\text{a}$)
- x : No. of spikelets per m^2 (no./10000)
- t : Average air temperature from 10 days before heading to 30 days after heading ($^\circ\text{C}/10$)
- s : Average daily sunshine hours from 10 days before heading to 30 days after heading

위의 기상생산력 회귀식을 이용하여 시설하우스와 노지의 벼 생육기간 중 기상생산력의 변화를 보면 (Fig. 3), 시설하우스 벼의 기상생산력은 5월 상순부터

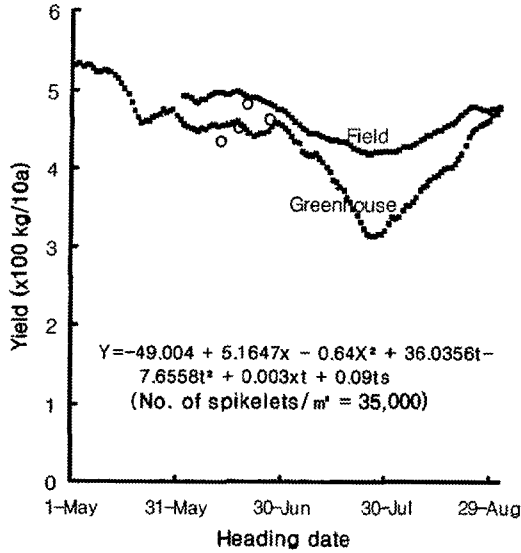


Fig. 3. Changes of meteorological values for rice yield during ripening as affected by heading date in greenhouse and field.

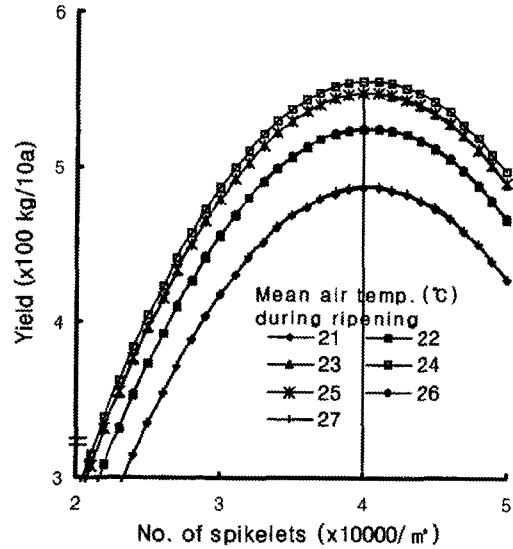


Fig. 4. Changes of meteorological values for rice yield during ripening as affected by spikelets per m² and mean air temperature from 10 days before heading to 30 days after heading.

7월 상순까지는 높은 기상생산력을 유지하다가, 7월 하순~8월 상순 사이에 급격히 저하되었고 출수기 이동에 따라 변화가 심하였다. 이러한 시설하우스 내의 기상생산력 변화를 노지와 비교해보면, 시설하우스 벼 재배의 m²당 평균 영회수 35,000개를 적용할 경우 모든 출수기에서 시설하우스 벼의 기상생산력은 노지 기상생산력에 비해 항상 낮았으며, 특히 7월 하순~8월 상순 사이는 106 kg/10a의 가장 큰 기상생산력 차이를 나타내었다. Figs. 1, 2에서와 같이 7월 하순~8월 상순 사이의 시설하우스 내의 평균기온이 27°C 이상이고, 기상 소모도장효과가 최대값을 나타냄으로 고온 등숙에 의해 기상생산력이 저하된 것으로 추정된다. 위 기상생산력 회귀식에서 최대 기상생산력을 나타낼 수 있는 등숙온도와 m²당 영회수를 추정해보면, m²당 영회수 40,000개와 출수 전 10일부터 출수 후 30일간 평균기온 24°C에서 최대 기상생산력을 나타내었으나, m²당 영회수가 40,000개일지라도 평균기온 21°C와 27°C에서는 매우 낮았다(Fig. 4). 이러한 결과는 양 등(1986)이 우리나라 벼 기상생산력은 통일형 품종은 m²당 영회수가 40,000개, 자포니카형 품종은 30,000개에서, 村上(1982)은 35,000개에서 최대 수량을 나타낼 수 있다는 결과와는 상이하였는데, 최근에 육성된 자포니카형 품종은 초형, 엽특성, 광합성 능력

및 근활력 등의 Source 관련형질 개선으로 인해 통일형 품종과 같이 m²당 영회수가 40,000개에서 최대수량을 얻을 수 있다고 생각된다. 출수 전 10일부터 출수 후 30일간 최적 등숙온도는 24°C로서 양 등(1986)과 村上(1982)의 결과와 일치하였다.

그리고 楠谷(1988)이 제시한 등숙비를 추정식인 비선형 회귀모형식을 변형하여 등숙비를 추정식을 다음과 같이 도출하였으며, m²당 영회수별 등숙 평균온도와 등숙비율과의 관계는 Fig. 5와 같다.

$$K = 1 - 0.063 \exp\{0.1458x + 5.782(t - 2.4)\}$$

$$R^2 = 0.7869^{**}$$

Where

K : Ripened grain ratio

x : Spikelets per m² (no./10,000)

t : Average air temperature during 40 days from 10 days before heading to 30 days after heading (°C/10)

등숙비율은 m²당 영회수가 적을수록 높았으며, 1당 영회수별로는 출수전 10일부터 출수후 30일간 평균기온 24°C에서 가장 높은 등숙비율을 나타내었다(Fig. 5), 등숙비를 추정식에서의 최적 등숙온도는

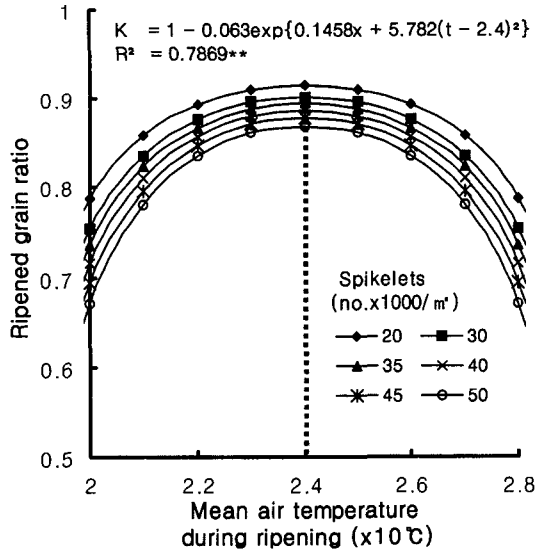


Fig. 5. Changes of ripened grain ratio of rice as affected by mean air temperature during ripening and spikelets per m².

상생산력 추정식의 최적등숙 온도와 일치하였다.

안(1973)에 의하면 등숙생리 면에서 21~25°C가 물 질이행이 높아 등숙적온이라 하였고, 최 등(1979), 강 등(1976)은 23°C를, 田中(1950)은 22°C를 등숙적온이라 하였으며, 그 외 많은 연구자가 등숙적온에 대해 보고하였지만 등숙적온은 대부분 22~25°C 범위이므로, 시설하우스 벼 극조기재배는 기상생산력이 가장 낮은 7월 하순~8월 상순 사이에 출수 되지 않도록 시설재배 작부체계의 제한된 기간 중에 적정 이앙기를 설정 하여야만 안정적 수량을 확보할 수 있다고 생각된다.

3.2. 벼 생육 특성

시설하우스 벼 극조기재배의 생육 특성을 보면, 이

양후 40일의 초장은 3월 10일 이앙이 31 cm로 가장 짧았으며, 3월 20일 이후부터는 이앙기가 늦어질수록 길어 졌으나, 3월 30일 이후 이앙은 차이가 적었다. 출수기의 초장은 3월 10일 이앙이 76 cm로 가장 짧았고, 3월 20일 이후 이앙은 82~88 cm로 이앙기 사이에 차이가 적었다. 이양후 40일의 주당경수는 3월 10일 이앙이 6.4개로 매우 적었지만, 3월 30일 이후 이앙에서는 16.6~20.1개로 노지 보통기재배(5월 30일 이앙)의 주당경수와 차이가 적었다. 출수기에서는 3월 10일부터 4월 10일 사이의 이앙은 주당경수가 22.4~23.3개로 많았으며, 4월 20일 이앙은 20.6개로 약간 적었지만, 노지 보통기 이앙 18.6개에 비해 극조기재배 이앙기 모두 주당수수가 많았다(Table 1). 출수기에서 총경수가 많아진 것은, 이앙이 빠를수록 3차 이상의 고절위 이상분얼 비율이 15.5~ 29.2%로 노지 보통기재배에 비해 높기 때문인데, 조생종은 영양생장 기간이 짧고, 영양생장기와 생식생장기의 구분이 뚜렷하지 않는 중복 생육상을 나타내는 품종이 많으므로, 시설하우스 내에서 조생종 품종의 극조기재배는 영양생장기간의 저온으로 생육이 지연되다가, 화이분화 적정온도 이상이 되면서 생식생장으로 전환되어도 고온에 의해 분얼이 계속 발생된 것으로 생각된다.

또한, 이양후 40일 건물중은 3월 10일 이앙이 1.5 g/주로 매우 적었으며, 3월 20일 이후부터 이앙기가 늦을수록 건물중은 증가하였으나, 출수기의 건물중은 극조기재배 이앙기 모두 32.6~34.2 g/주로 비슷하였는데(Table 1), 이는 고절위 이상분얼경의 증가 때문이라 생각된다. 시설하우스 벼 극조기재배의 생육특성은 노지 보통기재배에 비해 초기에는 저온에 의한 생육 저조가 뚜렷하였으나, 출수기에는 생육 차이가 적었으며, 고온에 의한 고절위 이상분얼경의 발생이

Table 1. Growth characteristics of extremely early rice cultivation in greenhouse.

Trans planting date	Plant height (cm)		Tillers (no./hill)		Abnormal tillers (%)	Dry weight (g/hill)	
	40 DAT ²⁾	Heading stage	40 DAT	Heading stage		40 DAT	Heading stage
March 10	31d ³⁾	76b	6.4c	23.3a	29.2a	1.5d	34.1b
March 20	41c	82ab	13.7b	22.2a	26.1a	4.1c	33.3b
March 30	46b	83ab	16.6ab	22.5a	24.0a	5.8c	34.2b
April 10	50b	87a	19.0a	22.4a	24.6a	8.7b	33.8b
April 20	51b	88a	20.1a	20.6b	15.5b	10.2ab	32.6b
May 30 ¹⁾	65a	85ab	20.1a	18.6c	5.4c	11.3a	37.1a

¹⁾Normal transplanting date in field

²⁾DAT : Days after transplanting

³⁾In a column, means followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

많은 특성을 나타내었다.

3.3. 수량구성요소 및 수량

주당수수는 3월 10일 이앙이 16.5개로 적었지만, 3월 20일 이후 이앙은 16.9~17.4개로 이앙기 모두 노지 보통기 이앙의 주당수수와 비슷하였고, m² 당 영회수는 3월 10일 이앙이 29,278개로 가장 적었으나, 3월 20일 이후 이앙은 34,000~37,356개로 노지 보통기재배(5월 30일 이앙)보다 많았다. 3월 10일, 3월 20일 이앙의 등숙비율은 53.9~61.7%로 등숙비율이 낮았고, 3월 30일부터 4월 20일 사이 이앙의 등숙비율은 74.3~76.8%로 높았으며 이앙기 간에 차이가 적었지만, 노지 보통기재배(5월 30일 이앙)보다는 상당히 낮았다. 3월 10일, 3월 20일 이앙의 등숙비율이 낮은 것은 출수기가 6월 11일, 6월 12일로 6월 중순 하우스 내 평균기온이 28.9°C 정도 유지되면서 최고기온의 일시적 상승에 의한 임실장애와 등숙장애가 연속적으로 일어난 것으로 생각되며, 3월 30일, 4월 10일, 4월 20일 이앙은 출수 직후 기온이 25°C 이하였지만, 등숙 후기 기온이 27.3~28.6°C로 고온등숙에 의해 노지 적기재배에 비해 등숙비율이 낮은 것으로 추정된다.

수량은 3월 10일 이앙이 284 kg/10a로 가장 적었으며, 이앙기가 늦을수록 증가하다가 4월 10일 이앙이 482 kg/10a로 가장 많았다. 4월 10일 이후 이앙은 수량이 약간 적었지만, 3월 20일~4월 20일 이앙의 수량 차이는 통계적 유의성은 없었고, 노지 보통기재배에 비해 시설하우스 극조기재배는 11~47% 낮았다 (Table 2).

수량구성요소 중 출수기까지 결정되는 영회수와 출수 후에 결정되는 등숙율×천립중이 수량에 영향을 미치는 직접효과를 표준 편회귀계수의 기여율로 나타내어 보면 시설하우스 극조기재배의 천립중×등숙비율은

Table 3. Standard partial regression coefficients and contribution of yield components on rice yield at extremely early transplanting in greenhouse.

Standard partial regression coefficients				
Spkikelets per m ²	1000-grain weight × ripened grain ratio	Residual	Total	R ²
0.965 (34.5) ¹⁾	1.414 (50.6)	0.417 (14.9)	2.796	0.825**

¹⁾Contribution(%)

** : Significant at 1% level

50.6%로 영회수의 기여율 34.5%보다 16.1% 높았다 (Table 3). Fig. 1에서와 같이 시설하우스에서 벼를 극조기재배 하여도 각 이앙기 모두 분얼성기의 평균온도가 22.1~24.7°C로 분얼적온에 가까이 유지됨에 따라 이앙기 모두 16.5~17.4개의 비슷한 주당수수를 확보하므로, 이앙기별 m²당 영회수 차이가 적어 수량에 대한 기여율이 낮았고, 시설하우스 극조기재배의 이앙기가 늦을수록 등숙기간 중 평균기온이 25°C 이상이었고(Fig. 1), Fig. 5에서와 같이 등숙기간 중 평균기온이 25°C 이상부터 등숙비율이 급격히 감소함으로 천립중×등숙비율의 기여율이 높은 것으로 추정됨으로, 시설하우스 극조기재배는 출수 후 고온방지를 위한 정밀 환기관리가 필요하다고 생각된다.

3.4. 시설하우스 벼 극조기재배의 안전 작기 설정

시설하우스 벼 극조기재배는 3월 10일 이앙과 3월 20일 이앙의 출수기 차이가 1일로서 이앙이 10일 늦어짐에 따른 출수기 변동이 거의 없었지만, 3월 30일 이후 이앙은 각각 10일 늦어짐에 따라 3~6일 늦어졌다.

시설하우스 극조기재배의 이앙기 조만에 따른 출수

Table 2. Yield and yield components of extremely early rice cultivation in greenhouse.

Trans planting date	Heading date	Panicles (no./hill)	Spikelets (no./ m ²)	Ripened grain ratio (%)	1000-grain weight (g)	Yield (kg/10a)	Index
March 10	June 11	16.5b	29,278bc	53.9d	19.9a	284c ²⁾	53
March 20	June 12	17.4a	37,356a	61.7c	19.6a	434b	80
March 30	June 17	17.1a	34,167ab	74.3b	19.9a	451b	83
April 10	June 20	16.9ab	34,375ab	76.8b	20.1a	482b	89
April 20	June 26	17.4a	34,000ab	75.5c	19.8a	463b	86
May 30 ¹⁾	July 27	17.6a	33,367ab	86.5a	20.6a	541a	100

¹⁾Normal transplanting date in field

²⁾In a column, means followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

Table 4. Effect of accumulated temperature on days to heading of rice in greenhouse.

Transplanting date	Heading date	Days to heading (days)	$\Sigma T^{1)}$	$\Sigma(T-\alpha)^{2)}$	$\Sigma 2^{(T-4.5)/10^{3)}$
March 10	June 11	93	2014	773	323
March 20	June 12	84	1757	758	289
March 30	June 17	79	1711	793	291
April 10	June 20	71	1784	826	303
April 20	June 26	67	1704	799	291
Mean		79	1794	790	299
C.V(%)		13.1	7.1	3.3	4.7

¹⁾ ΣT : Accumulated average temperature from transplanting to heading
²⁾ $\Sigma(T-\alpha)$: Accumulated effective temperature ($\alpha=13.5$, if $(T-\alpha)<0$, $(T-\alpha)=0$)
³⁾ $\Sigma 2^{(T-4.5)/10}$: Accumulated exponential indices of temperature efficiency

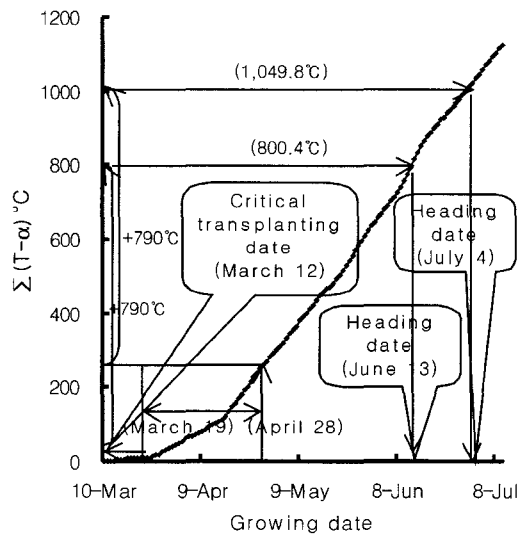


Fig. 6. Prediction of critical safe transplanting date and optimum heading periods with accumulated effective air temperature from transplanting to heading at extremely early rice cultivation in greenhouse.

기 변동의 차이는 조생종 벼의 경우 온도에 영향을 많이 받으므로, 출수기 변동에 관여하는 온도 요인이 이앙기부터 출수기까지의 적산온도, 유효적산온도, 유효적산온도지수와 출수소요일수를 산출하여 이앙기 이동에 따른 각 요인의 변이계수를 구하여 보면, 유효적산온도의 평균이 790°C, 변이계수가 3.3%로 다른 온도요인 중에서 가장 적었다(Table 4).

극조기재배에서는 변이계수가 가장 적은 유효적산온도를 가지고 극조기재배의 안전한계이앙기 구하여 보면, 시설하우스에서 유효적산온도가 연속적으로 0°C 이상 되는 시기인 3월 12일이 안전한계이앙기로 추정되었다(Fig. 6). 그리고 극조기재배에서 이앙기 이동에

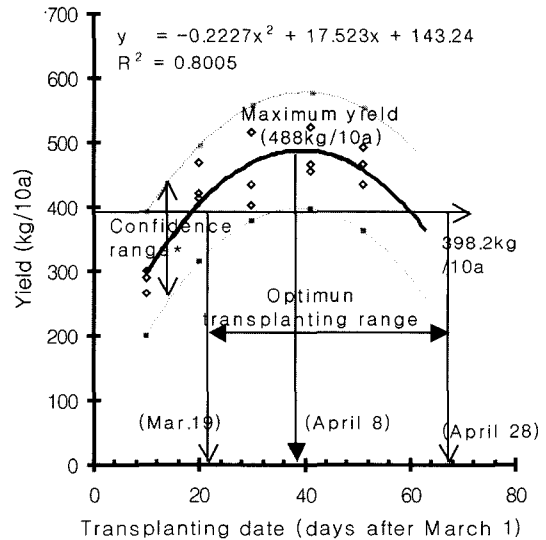


Fig. 7. Relationships between yield and transplanting date at extremely early rice cultivation in greenhouse.

따른 수량변동의 관계를 2차 회귀식으로 나타내어 보면(Fig. 7), 최적이앙기는 4월 8일로 488 kg/10a의 최대 추정수량을 구할 수 있었고, 최대 추정수량의 95% 신뢰구간은 389.2~577.8 kg/10a로 신뢰구간의 하한값을 적정 수량으로 가정하면, 적정 이앙범위는 3월 19일~4월 28일 사이로 추정되었다.

Fig. 7에서 추정한 적정 이앙범위의 하한 이앙 한계기와 상한 이앙 한계기의 적산유효온도에서 790°C를 더한 값에 해당되는 날짜를 추정하면, 극조기재배의 적정 출수기는 6월 13일부터 7월 4일 사이였으며, 이 시기는 Fig. 3에서와 같이 기상생산력이 상당히 높은 시기이었다.

3.5. 시설하우스 토양환경 개선효과

과채류를 10년 이상 주년재배한 경북농업기술원의 농촌진흥청 농가보급형 표준 비닐하우스의 벼 재배 전 토양의 이화학적 성분은 Table 5와 같이 유효인산 함량이 1,099 mg/kg으로 높았고, NO₃-N 함량은 일반 밭 토양 평균함량보다 매우 높았으며, EC는 2.21 ds/m으로 시설재배지 적정 EC 범위 이상이었다.

그러나, 3월부터 8월 사이에 벼 재배를 한 후 토양 화학성분의 변화 정도는 pH, 유기물은 감소율이 모두 낮았으나, 유효인산은 31.8%, 치환성 K는 57.9%, 치환성 Mg은 54.7%가 감소되었으며, 특히 NO₃-N는 97.1%, EC는 90.5% 감소되었다(Table 6).

전 등(1997)에 의하면 참외 연작 시설재배지에서 벼 재배에 의한 제염율은 85.0%이었고, 임 등(1998)과 윤 등(1999)에 의하면 시설고추 후작 벼 재배에서 82.4~85.0% 정도 제염할 수 있다고 하였으며, 박 등(1995)에 의하면 시설참외 후작에 벼를 재배하면 뿌리혹선충의 방제 효과가 91.1%로 본 시험의 결과는 이들 결과보다 토양개선 효과가 높게 나타났다.

이상의 결과에서 시설하우스 벼 극조기재배의 생육 특성은 일찍 이앙할수록 초기생육이 저조하였으나, 출수기에서는 차이가 적었고, 고절위 이상 분얼의 발생이 노지재배에 비해 많았으며, 수량구성요소 중 출수 전에 결정되는 m² 당 영화수는 시설하우스에 의해 분얼적응에 가까이 유지됨에 따라 이앙기 간 주당수수의 차이가 적어 노지 적기재배와 비슷한 29,278~37,356 개를 확보할 수 있었으나, 등숙비율은 출수 후 25°C

이상의 등숙온도에 의해 비닐하우스 극조기재배는 노지 적기재배에 비해 낮았으며, 이앙기 간의 차이도 심하여 수량구성요소가 수량에 미치는 표준 편회귀계수의 기여율은 천립중×등숙비율이 50.6%로 m² 당 영화수의 기여율 34.5%보다 16.1% 높았다. 시설하우스 극조기재배의 기상생산력은 5월 상순~7월 상순의 출수가 높았으나, 7월 하순~8월 상순의 출수는 매우 낮았으며 기상소모도장효과도 가장 높았다. 이러한 기상생산력의 변화는 등숙온도와 밀접한 관계가 있으며, 본 시험에 사용한 기상생산력 회귀식에서는 최적 등숙온도가 24°C로 추정되었는데, 안(1973), 최 등(1979), 강 등(1976), 田中(1950), 그 외 많은 연구자가 등숙적온에 대해 보고하였지만, 등숙적온은 대부분 22~25°C 범위이므로, 본 시험에서의 최적 등숙온도 24°C는 여러 연구자가 보고한 등숙적온과 일치하였다. 시설하우스 벼 재배는 이앙기가 늦으면 하우스 고온에 의해 기상생산력이 아주 낮은 7월 하순~8월 상순 사이에 출수하여 고온등숙에 의해 등숙장애가 발생될 수 있기 때문에, 시설하우스 벼 극조기재배는 이앙기 설정이 매우 중요하다. 이러한 시설하우스 벼 재배에서 기상생산력, 기상소모도장효과 등을 고려할 때 극조기재배는 3월 19일~4월 28일 사이에 이앙하는 것이 유리하다. 그리고 극조기재배의 수량은 출수 후 기온이 가장 큰 수량 제한 요인으로 추정되나, 시설하우스 내 기상조건은 노지와 달리 항상 고온·고습도로 유지됨으로서 개화기 입실장애 및 등숙기간 중 등숙장애가 쉽게 일어날 수 있으므로, 시설하우스 벼 재배에서 등

Table 5. Chemical properties of greenhouse soil before rice cultivation.

pH (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cations (cmol+/kg)			NO ₃ -N (mg/kg)	EC (ds/m)
			K	Ca	Mg		
6.3	25.3	1,099	0.57	6.15	2.36	175	2.21

Table 6. Decreasing rate of soil chemical components and density of root-knot nematode(*Meloidogyne spp.*) after rice cultivation in greenhouse.

pH (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Decreasing rate (%) ¹⁾			NO ₃ -N (mg/kg)	EC (ds/m)	Density ²⁾ before rice cultivation	Density after rice cultivation	
			Exchangeable cations (cmol+/kg)						Population	Survival ratio (%)
			K	Ca	Mg					
-3.2	0.8	31.8	57.9	11.4	54.7	97.1	90.5	75	0	0

¹⁾Decreasing rate(%) : Percent of decreased amount of soil chemical components after rice cultivation compared to those before rice cultivation in greenhouse.

²⁾Number of nematodes / 300 ml soil

숙비를 저하 원인에 대한 면밀한 검토가 필요하다고 생각되어진다.

IV. 적 요

남부지역 과채류 연작 시설하우스의 휴한기인 3월부터 8월 사이 시설하우스의 연작장해를 감소시키기 위한 벼 극조기재배에서 적정이앙기를 설정코자 1998년부터 2000년까지 3년 동안 3월 10일부터 4월 20일 까지 5시기에 이양하여 시험을 수행하였다.

1. 시설하우스 내 벼 기상생산력은 5월 상순~7월 상순 사이가 높았으나, 7월 하순~8월 상순 사이는 매우 낮았으며, 7월 하순~8월 상순 사이의 시설하우스 내 기상생산력은 극조기재배 평균 m^2 당 영화수 35,000개 경우 노지의 기상생산력에 비해 106 kg/10a 적었다.
2. 시설하우스 극조기재배의 벼 생육 특성은 일찍 이앙할수록 초기 생육이 저조하였으나, 출수기에 서는 차이가 적었고, 고차분얼이 15.5~22.2% 발생되었다.
3. 시설하우스 극조기재배에서 수량구성요소가 수량에 미치는 표준 편회귀계수의 기여율은 천립중×등숙비율이 50.6%로 m^2 당 영화수의 기여율 34.5%보다 16.1% 높았다.
4. 시설하우스 극조기재배의 적정이앙범위는 3월 19일부터 4월 28일 사이, 안전이앙한계기는 3월 12일로 추정되었다.
5. 10년 이상 연작 재배한 과채류 시설하우스에서 벼 재배는 토양의 NO_3-N 함량이 97.1%, EC가 90.5% 감소되었으며, 뿌리혹선충을 완전히 방제할 수 있었다.

인용문헌

안수봉, 1973: 수도등숙의 품종간 차이와 그 향상에 관한 연구, 한국작물학회지, **14**, 1-4.
 최수일, 황창주, 노승표, 이돈길, 1979: 묘대일수에 따른 기상환경의 차이가 수도 생육 및 수량에 미치는 영향, 한

국작물학회지, **24**(2), 65-73
 전한식, 강상재, 박우철, 1997: 참외 연작장해 대책을 위한 효과적인 토양관리, 한국토양비료학회지, **30**(4), 351-356.
 임동규, 고지연, 강항원, 정연태, 박경배, 박무언, 1998: 밀 양 봉황천 수계지역 시설재배 후작 벼의 시비반응과 관개수질의 변화 양상, 농업환경연구논문집, **40**(2), 138-147.
 강항원, 강위금, 정윤태, 1993: 시설재배지 염류집적이 근권 토양의 미생물 상과 화학성 변화에 미치는 영향, 농업과학논문집, **35**(1), 308-314.
 강양순, 허 휘, 1976: 영남지방에 있어서 수도재배시기 이동이 생육 및 수량 형질에 미치는 영향, 농사시험연구보고, **18**(작물), 79-85.
 김광식, 김용웅, 1980: 시설오이의 연작장해에 관한 연구, 전남대논문집, 125-155.
 박창석, 1989: 미생물에 의한 연작지 염류장해 경감연구, 농사시험연구논문집(산학협동편), **32**, 101-108.
 박소득, 박선도, 권태영, 최부술, 이원식, 최영연, 1995: 시설과채류(오이, 참외)의 뿌리혹선충 종합방제에 관한 연구, 한국응용곤충학회지, **34**(1), 75-81.
 양하원, 윤용대, 안종국, 곽용호, 박석홍, 박래경, 1986: 중부평야지 수도 기계 이앙재배 한계기에 관한 연구, 농사시험연구논문집, **28**(1), 248-255.
 윤율수, 1999: 시설 후작지 벼 시비반응, 영남농업시험장연보 57p.
 河森武, 山田金一, 1971: 電氣傳道計の利用に關するそ菜の施肥設計, 農及園, **46**(5), 771-774.
 景山美蔡陽, 正木敬, 1967: 被覆下そ菜蔬土壤の生産力低下防止に關する研究.II. キュウリの初期生育におよぼす土壤鹽類濃度と土壤水分のについて, 日園試報B, **7**, 29-55.
 景山美蔡陽, 正木敬, 1970: 被覆下そ菜蔬土壤の生産力低下防止に關する研究. IV. 土壤中可溶性鹽類の除去に關する試験I, 日園試報B, **8**, 48-78.
 景山美蔡陽, 正木敬, 1970: 被覆下そ菜蔬土壤の生産力低下防止に關する研究. I. 土壤中可溶性鹽類の除去に關する試験II, 日園試報B, **10**, 91-112.
 楠谷彰人, 1988, 水稻の冷温登熟性に關する研究. 第3報登熟に及ぼす出穂後乾物生産の影響, 日作紀, **57**(2), 298-304.
 松島省三, 1958: 水稻の登熟に及ぼす生育各期の氣温日射及び氣象差異の影響, 農及園, **33**(6), 243-256.
 村上利男, 森田弘彦, 土井康生, 今野一男, 1982: 寒地水稻の計劃栽培に關する解析的研究, 北海道農試研報, **133**, 61-100.
 鳴田永生, 1964: ハウス土壤のそ菜栽培における施肥と土壤管理, 農及園, **42**(10), 1576-1580.
 田中平義, 1962: 施設園藝における土壤管理の實態の問題點, 農及園, **39**(1), 63-66.