

벼 乾畚直播에서 播種期 地溫이 出芽에 미치는 영향

蘇昌鎬 · 尹進一 · 盧泳德 · 金武成 · 權臣漢

Effect of Soil Temperatures on Seedling Emergence in Direct Seeding on Dry Paddy

Chang Ho Soh, Jin Il Yun, Yeong Deok Rho, Moo Sung Kim and Shin Han Kwon

ABSTRACT: Soil temperatures at depths of 1~5cm are important to the germination and emergence of dry seeded-rice. An automated weather station was used to monitor the hourly weather parameters at Experiment Farm, Kyung Hee University from April 21 to May 30 in 1994. The data was analyzed to figure out the 24-hour temporal changes in air 1.5m above ground and soil temperatures under ground of 0, 2.5, 5, 10 and 20cm. The fluctuations of soil temperature were greatest at the soil surface and decreased with increasing depth. Mean soil temperatures at depth of 2.5cm were about 3°C higher than mean air temperatures during the observation period. Although mean soil temperatures at depth of 2.5cm during 10 or 15 days after April 21, May 1 and May 11 showed almost same temperatures, the distribution patterns of temperature regime were different from each other. Rice cultivars, Hwasung, Seohae, Nampung, IR60 and CR155, were seeded at depth of 2.5cm on April 21, May 1 and May 11, respectively. The periods of seedling emergence(PSE) varied in accordance with cultivars and seeding dates. PSE was correlated with accumulated daily mean air temperatures and accumulated hours classified by temperature regimes.

Key words: Soil temperature, Seedling emergence, Direct seeding, Rice

벼 乾畚直播栽培에서 出芽 및 立毛는 직파재배의 성패를 가름하는 중요한 요인의 하나이다. 벼 건담직파재배법은 마른 종자를 땅속 1~4cm 깊이로 파종⁶⁾하는 것으로, 播種期の 溫度^{9,10)}, 土壤水分^{5,8)} 등 환경요인이 중요한 역할을 하고 있다. 직파재배의 파종기는 平均氣溫이 13°C 이상 되는 날부터 가능하며²⁾ 金 등⁴⁾은 건담직파재배의 파종시기별 出芽 有效積算溫度를 “평균기온 -10°C”로 산출하기도 하였다. 한편 崔와 尹²⁾은 과거 20년간의 기상자료를 분석한 결과 播種早限期는 일

평균기온 13°C의 평균 出現初日부터 80% 出現時期까지로 水原地方의 경우 4월 26일부터 5월 2일까지로 제시하였다. 그러나 이러한 결과들은 地上氣象觀測 자료를 토대로 분석한 것인데 실제 지하부 1~4cm에 파종된 種子가 出芽 및 立毛에 이르기까지 처한 온도 환경과는 다를 수 있으므로 결과 해석에 유의해야 한다. 地溫은 土深과 土壤水分含量에 크게 영향을 받는데^{5,8,9,10)}, 地溫의 日較差가 느껴지는 깊이는 약 50cm까지이며 지온의 일교차는 모래흙>양토>이탄토>진흙의 순이

다. 地溫은 계절이 변화할 때 변이의 相이 바뀌며, 지표면에 가까울수록 地溫의 변이가 심한 것으로 알려졌다³⁾. 地溫은 종자의 發芽, 出芽 및 뿌리의 生長에 직접적으로 영향을 미치므로 건답직파재배에서 파종기의 지온은 입모 확보에 중요한 요인이라고 할 수 있다. 그러나 현재까지 파종기 地溫의 경시적 변화를 관측하고 地溫 변화에 따른 出芽의 반응에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

본 연구는 乾畚直播 벼에 있어서 播種期の 氣溫과 土深別 地溫을 연속 측정하여 地溫의 변화 양상을 밝히고 出芽 소요일수와 地溫과의 관계를 구명하고자 하였다.

材料 및 方法

본 실험은 1994년 4월 21일부터 5월 30일까지 경희대학교 실험농장에서 수행하였다. 실험포장의 土性은 사양토(sand 587, silt 297, clay 116 g/kg)이었고 無人氣象觀測所(AWS; Automated Weather Station)⁴⁾를 설치하여 氣溫, 地溫, 土壤水分포텐셜 및 降雨量을 측정하였다. 온도센서는 thermocouple을 사용하였는데 地溫의 측정은 방수피복 및 절연처리된 보호열전대(insulated thermocouple)를 사용하였다. 토양수분포텐셜은 보정된 gypsum block으로, 강우량은 일정 雨量마다 펄스신호를 발생시키는 전도형(tipping bucket type)을 사용하였다. 데이터로거는 미국 Campbell社의 CR10 및 21X를 사용하여 1분에 한번씩 scan 하고 1시간이 지나면 그 동안의 scan값으로부터 氣象要素別로 평균값이나 積算값을 계산하여 RAM에 저장하도록 프로그램하였다. 기온의 측정은 지상 1.5m높이에서 통풍 차광형 溫度 센서에 의해 측정하였고, 지온은 地表面, 土深 2.5cm, 5.0cm, 10cm 및 20cm에 센서를 설치하여 측정하였으며, 지표면에 설치한 센서는 햇빛이 직접 닿지 않을 정도로 흙을 덮었다. 토양수분포텐셜은 土深 4cm에서 측정하였으며 우량계는 지상 50cm 높이에 설치하였다. 각 기상요소는 4월 21일부터 5월 30일까지 연속 측정하였다.

出芽에 미치는 地溫의 영향을 다양화 시키기 위하여 공시품종을 자포니카 품종으로 화성벼와 서해벼를, 통일형 품종으로 남풍벼를, 인디카 품종으로 IR60과 CR155를 사용하였다. 播種期는 4월 21일, 5월 1일 및 5월 11일 3시기로 하였고, 播種深度는 2.5cm로 하였다. 파종방법은 무인기상관측소가 설치된 주변에 폭이 90cm인 이랑을 만들고 품종당 30cm간격으로 2줄씩 180립 파종하였고 각각 2반복으로 하였다. 파종 후 매일 出芽하는 개체수를 조사하였고 5월 31일에 立毛率과 草長을 조사하였다.

結果 및 考察

1. 乾畚直播 播種期の 氣溫 및 地溫의 變化

水原지방에서 건답직파 播種期로 권장되고 있는 4월 21일부터 5월 30일까지 무인기상관측소를 설치, 관측한 결과를 그림 1에 나타내었다. 매 1분마다 측정하여 1시간동안의 平均 또는 積算한 값을 이용하여 토양수분포텐셜과 강우량은 그림 1-A에, 氣溫과 地溫의 차이는 그림 1-B에, 그리고 氣溫과 土深 2.5cm와 5.0cm의 일 最高溫度와 最低溫度는 그림 1-C에 제시하였다. 관측기간동안 토양수분포텐셜은 4월 30일 전후에 $-0.91 \sim -1.0$ bar, 5월 12일 전후에 $-0.74 \sim -0.99$ bar, 5월 22일 전후에 $-1.0 \sim -1.41$ bar 정도를 보였으나 最低值 발생 직후에 降雨로 토양수분포텐셜이 높아져 전 기간동안 수분포텐셜은 평균 -0.63 bar를 유지하였다. 土壤水分과 直播 벼의 출아에 관한 연구에서 토양수분이 -0.33 bar 조건에서는 출아율이 80% 정도였고 -1 bar의 조건에서는 75% 정도의 출아율을 나타냈다고 한 결과⁵⁾와 비교해 보면 본 실험기간의 토양수분은 발아 및 출아에 큰 지장을 초래할 정도는 아닌 것으로 생각되었다.

氣溫과 地溫의 溫度 差는 관측기간내에서 地表面, 土深 2.5, 5.0, 10, 20cm의 순으로 작아졌는데, 溫度 差는 특히 4월 하순에 심하게 나타나 氣溫과 土深 2.5cm의 地溫과는 최대 10℃의 差가 발생하였다. 이러한 溫度差를 더욱 잘 나타내기

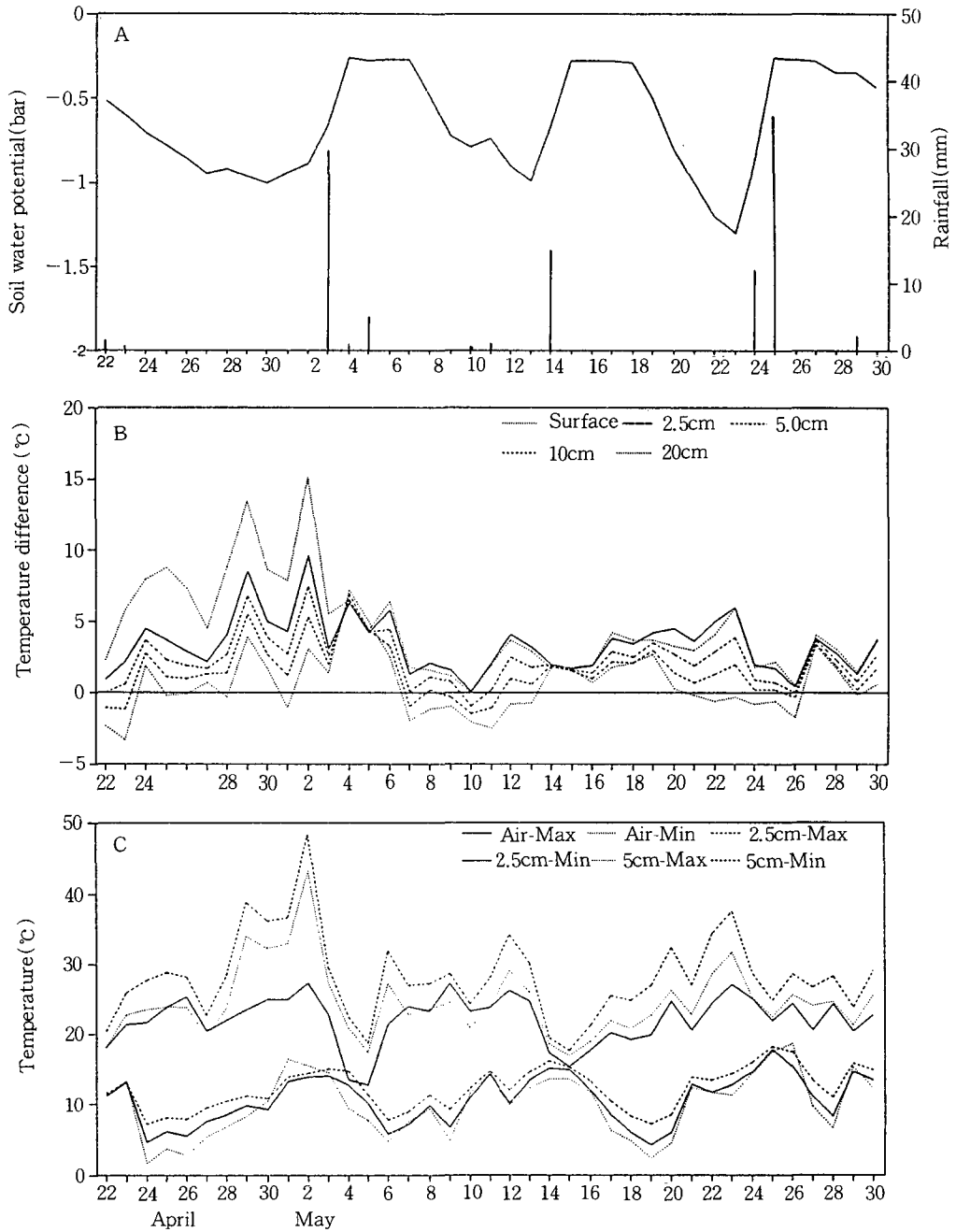


Fig. 1. Variation of soil water potential at depth of 4cm and rainfall (A), differences between air and soil temperatures (B) and maximum and minimum temperatures of air and soil profile (C).

위하여 氣溫과 土深 2.5 및 5.0cm의 일 최고 및 최저온도로 나타낸 것이 그림 1-C이다. 氣溫의 경

우 일 최고온도는 12.7~27.1℃, 최저온도는 1.6~18.1℃ 인데 비하여 土深 2.5cm의 경우 최고온도는 17.7~48.3℃, 최저온도는 4.2~17.9℃이었고 土深 5.0cm의 경우 최고온도는 16.9~43.2℃, 최저온도는 7.2~18.2℃를 나타내 地溫의 最高값은 氣溫에 비하여 4~21℃ 높는데 비하여 最低값은 기온보다 0~2.6℃ 정도 높았다. 특히 4월 하순이 5월 상순과 중순보다 10℃ 이하의 출현한 빈도가 높았고 地溫의 日較差도 컸다. 4월 하순의 溫度 변이가 심한 것은 1994년의 4월 하순의 平均氣溫이 예년의 13.2℃보다 2.1℃ 높았고 일사량이 많았으며 또한 土壤水分이 적었기 때문으로 생각되었다. 地溫은 土壤의 比熱, 熱傳導度 및 熱擴散度에 의하여 결정³⁾되는데 이는 곧, 土性, 土壤의 공극율, 수분함량, 유기물함량 등에 의존하기 때문에 가능한 한 播種期의 지온을 높일 수 있는 방안이 강구되어야 할 것으로 생각된다.

播種 후 出芽까지 所要日數는 溫度에 따라 달라지는데 李 등⁹⁾은 植物生長箱내에서 播種深度 3cm일 경우 25/20℃의 조건에서 10일, 25/15℃의 조건에서는 13일, 20/10℃에서는 17일 정도 소요되며, 朴 등¹¹⁾은 17℃에서는 18일, 23℃에서는 10일 정도 소요된다고 하였다. 따라서 파종 후 10일 또는 15일간의 溫度가 出芽에 직접적으로 영향을 미칠 것으로 생각하고 氣溫 및 土深別 平均온도를 계산하여 表 1에 나타내었다.

1994년의 경우, 播種 후 10일 또는 15일간의 平均氣溫은 14.9~16.5℃ 이었고 이는 土深 20cm의 平均온도와 비슷한 수준이었다. 한편 地表로부터 土深이 깊어질수록 平均온도가 낮아졌는데, 直播時 표준 播種深度를 1~5cm 라 할 때 土深 2.5cm의 平均온도는 18.2~19.7℃, 5cm의 경우는 17.2

~18.6℃를 나타내 氣溫보다 2.3~3.6℃ 정도 높게 나타나 파종 후 벼 종자가 직접 접촉하는 溫度環境은 平均氣溫보다 약 3℃정도 높은 것으로 추정할 수 있다. 崔와 尹²⁾은 乾畚直播栽培의 播種早期를 설정하는데 日平均氣溫 13℃ 出現初日을 기준으로 하여 이 때부터 파종하면 出芽에 지장을 초래하지 않는다고 하였는데, 平均氣溫이 13℃일 경우 실제 벼 종자는 16℃ 이상의 溫度環境에 놓이는 것으로 생각된다. 直播 벼의 발아 및 출아에 관한 온도실험을 할 때 이러한 점을 감안하여야 할 것이다.

한편 無人氣象觀測所는 1일 24시간의 연속적인 溫度 자료를 얻을 수 있는 점을 이용하여 表 1과 달리 파종 후 10일 또는 15일간의 土深 2.5cm의 매 시간온도를 계급별로 나누어 時間을 積算한 것이 表 2이다. 예를 들면 7.4℃ 이하의 18시간은 10일 동안 7.4℃ 이하의 온도가 出現한 시간의 합을 나타낸 것이다. 表 1에서의 平均溫度는 播種日에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 播種 후 10일간 10℃ 이하가 出現한 시간을 보면 4월 21일은 85시간, 5월 1일은 69시간 그리고 5월 11일은 55시간이었고 15일간의 경우 4월 21일은 121시간, 5월 1일은 79시간 그리고 5월 11일은 55시간으로 파종일이 늦어질수록 發芽 및 出芽에 지장을 주는 10℃ 이하의 온도가 出現하는 시간이 줄어들 수 있었다. 한편 15℃ 이상 出現하는 시간은 파종 후 10일간의 경우 파종일 순으로 각각 122, 135 및 148시간이었으며 15일간의 경우 187, 222 및 249시간으로 나타났다. 그러나 20℃ 이상의 경우는 播種日에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 溫度分布는 平均온도가 같더라도 파종일이 빠를 경우 低溫이 出現할 가능성이 높아 직

Table 1. Mean temperatures during 10 or 15 days after seeding date (DAS)

Seeding date	DAS	Air temp. (°C)	Soil temp. (°C) at depth of				
			Surface	2.5cm	5.0cm	10cm	20cm
April 21	10	15.3±2.62	22.8±4.22	19.2±3.63	18.0±3.34	16.8±3.14	15.4±2.92
	15	15.2±3.37	22.7±5.70	19.7±4.54	18.6±4.11	17.6±3.77	16.5±3.52
May 1	10	15.9±3.54	20.4±6.23	19.6±4.44	18.6±4.05	17.8±3.63	17.1±3.21
	15	16.1±3.02	19.9±5.27	19.4±3.97	18.5±3.46	17.7±3.04	16.9±2.63
May 11	10	14.9±2.36	17.9±2.29	18.2±2.48	17.2±2.07	16.4±1.74	15.8±1.33
	15	16.5±3.07	19.5±3.02	19.6±3.09	18.6±2.68	17.7±2.40	16.8±1.88

Table 2. Accumulated hours of daily soil temperatures classified by temperature ranges at depth of 2.5cm during 10 or 15 days after seeding date(DAS)

Temperature regimes (°C)	April 21 ¹⁾		May 1		May 11	
	10 ²⁾	15	10	15	10	15
below 7.4	18	26	13	13	17	17
7.5~ 9.9	24	31	19	19	18	18
10.0~12.4	43	64	37	47	20	20
12.5~14.9	33	52	36	59	37	56
15.0~17.4	27	52	42	86	59	68
17.5~19.9	20	35	25	42	23	52
20.0~24.9	34	42	31	43	36	67
above 25.0	41	58	37	51	30	62
Total	240	360	240	360	240	360

¹⁾ Seeding date, ²⁾ DAS

파시 出芽에 소요되는 일수가 길어지고 出芽率이 낮아질 수 있음을 나타낸다고 할 수 있다. 그러나 이러한 결과는 1994년 1년의 측정 결과로 年差間 변이를 알기 위해서는 수년간의 자료를 종합하여야 할 것이다.

2. 벼品種의 出芽에 미치는 地温의 영향

地温에 대한 온도 반응의 폭을 확대하기 위하여 生態型이 다른 벼 5품종을 공시하여 土深 2.5cm 깊이로 4월 21일, 5월 1일 및 5월 11일에 각각 파종하여 最初出芽에 소요된 일수, 出芽率 및 초장을 조사하여 나타낸 것이 表 3이다. 최초출아일수는 파종일이 늦어질수록 빨라져 4월 21일 파종시에는 14~20일 소요되었고 5월 1일 파종시에는

11.5~14.5일이 소요되었다. 이러한 소요일수는 각 파종기 모두 파종 후 15일간의 평균온도가 19°C 정도였음에도 불구하고 다양하게 나타났다. 植物生長箱에서 25/15°C의 조건(평균 20°C)에서 出芽日數가 13일 소요되었다⁹⁾고 한 결과와 비교하면 5월 1일과 5월 11일 파종시에는 비슷하였으나 4월 21일 파종한 것과는 차이가 있었다. 또한 품종간에는 자포니카 품종인 화성벼와 서해벼가 통일형인 남풍과 인디카인 IR60보다 출아소요일수가 단축되는 것은 그간의 연구 결과⁹⁾와 같은 경향이었으나, 같은 인디카인 CR155의 출아일수가 일반계보다 짧은 것은 直播에 적응하는 품종의 특성을 연구하는 데 감안해야 할 것으로 생각된다.

Table 3. Period of seedling emergence, emergence rate and shoot length of rice seeds sown at soil depth 2.5cm

Cultivar	Period of seedling emergence (day)			Emergence rate ¹⁾ (%)			Shoot length ¹⁾ (cm)		
	A ²⁾ 21	M 1	M 11	A 21	M 1	M 11	A 21	M 1	M 11
Hwasung	16	14	13	43.5	65.2	69.2	8.6	7.3	5.2
Seohae	16	14	12	72.7	82.4	80.0	9.1	6.8	6.0
Nampung	20	18	13	26.7	52.8	56.2	6.6	5.9	3.4
IR 60	20	21	14.5	21.8	36.7	49.3	6.9	6.3	4.6
CR 155	14	13	11.5	73.8	84.1	82.9	11.7	11.3	9.2
LSD _{.05}	2.2	1.7	1.6	8.7	6.4	7.6	2.1	1.5	1.8

¹⁾ Emergence rate and shoot length were investigated on May 31.

²⁾ Seeding date: A: April, M: May

Table 4. Regression of the period of seedling emergence(Y) to the mean soil temperature and the accumulated hours and the temperatures of soil temperatures at depth of 2.5cm classified by temperature regimes

Temp. regimes(℃, X)	Regression equation	Coefficient of determination
Mean soil temperature	$Y = 5.70 + 18.995X$	0.994**
Accumulated hours		
below 10.0	$Y = -28.49 + 6.527X$	0.831**
below 12.4	$Y = -65.87 + 10.472X$	0.768**
below 12.5	$Y = 50.48 + 13.954X$	0.901**
below 15.0	$Y = 49.14 + 10.820X$	0.828**
below 17.5	$Y = 11.26 + 8.711X$	0.947**
below 20.0	$Y = 8.87 + 6.527X$	0.869**
Accumulated temperatures		
below 12.5	$Y = 1048.0 + 287.926X$	0.917**
below 15.0	$Y = 883.9 + 246.703X$	0.908**
below 17.5	$Y = 13.02 + 227.863X$	0.954**
below 20.0	$Y = 247.66 + 171.441X$	0.895**

出芽率의 경우는 파종일이 늦어질수록 높아져 5월 1일 파종시에는 품종에 따라 49.3~82.9%였다. 품종별로는 CR155가 가장 좋았으며 IR60이 소요일수가 길었고 출아율도 낮았다.

出芽에 미치는 地溫의 영향을 분석하기 위하여 出芽所要日數와 溫度와의 관계를 구하여 表 4에 나타내었다. 출아소요일수와 出芽率과는 負의 상관관계($r = -0.863^{**}$)가 있었고 파종한 종자 중에서 세력이 좋은 종자가 出芽하는데 소요되는 일수가 온도의 영향을 직접 나타낼 것으로 생각되어 出芽所要日數를 택하여 계산하였다. 각 파종기별로 공시품종들이 出芽할 때까지의 日平均氣溫의 積算값과 출아소요일수는 正의 상관관계($r = 0.983^{**}$)를 보였고 土深 2.5cm의 地溫과는 決定係數 0.994**의 직선적인 관계를 나타냈는데 이는 出芽所要日數가 길어지면 길어질수록 日平均溫度의 積算값이 많아짐을 나타내는 것으로 日平均溫度의 積算값을 산출하여 出芽豫定日을 예측하는데 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 한편 出芽하는데 地溫과의 관계를 알아보기 위하여 각 품종별, 파종기별로 출아까지의 기간중 각 溫度範圍別로 累積時間 및 累積溫度를 구하여 出芽所要日數와의 관계를 구하여 본 결과, 각 온도 범위별 모두 유의한 正의 상관관계를 보였다. 한편 회귀식의 기울기는 12.5℃이상의 누적 시간의 경우 13.954에서 20℃의 경우 6.527로 점차 낮아져 이

는 地溫에 대한 感應이 적어지는 것을 의미하는 것으로 생각된다.

摘 要

벼 乾畝直播 播種期の 氣溫과 地溫의 경시적 변화를 측정하고 地溫이 出芽所要日數에 미치는 영향을 밝히기 위하여 1994년 4월 21일부터 5월 30일까지 연속적으로 氣溫 및 地表面, 土深 2.5cm, 5cm, 10cm 및 20cm의 地溫을 측정하였고, 土深 4cm의 토양수분포텐셜과 강우량을 측정하였다. 벼 품종 화성벼, 서해벼, 남풍벼, IR60 및 CR155를 공시하여 4월 21일, 5월 1일 및 5월 11일에 파종하여 出芽所要日數와 出芽率을 조사하였다.

1. 日平均溫度는 地溫이 氣溫보다 높았으며 地溫은 土深이 깊어질수록 낮아졌으며 變異幅도 적었다. 日最高溫度는 기온 > 토심 5cm > 토심 2.5cm의 순이었고, 일 최저온도는 5cm > 2.5cm > 기온의 순이었다.
2. 파종 후 10일간의 平均氣溫은 14.9~15.9℃였고 15일간의 平均氣溫은 15.2~16.5℃인 반면 土深 2.5cm의 平均地溫은 파종 후 10일간은 18.2~19.6℃, 파종 후 15일간은 19.4~19.7℃로 地溫이 기온보다 약 3℃ 높았다.
3. 土深 2.5cm에서 地溫의 溫度範圍別 累積時間

은 파종기가 늦어질수록 10℃이하의 10일간 누적시간은 4월 21일은 85시간, 5월 1일은 69시간, 5월 11일은 55시간으로 줄어든 대신 15℃ 이상의 누적시간은 4월 21일은 122시간, 5월 1일은 135시간, 5월 11일은 148시간으로 증가하여 파종 후 日數에 따른 平均地溫은 비슷하더라도 出現溫度의 분포는 달랐다.

4. 平均 出芽所要日數는 파종기가 늦어질수록 빨라져 4월 21일 파종시에는 17.2 ± 2.2 일, 5월 1일 파종시에는 16.0 ± 1.7 일 그리고 5월 11일 파종시에는 12.8 ± 1.6 일이 소요되었다. 품종간에는 CR155 < 화성벼, 서해벼 < 남풍벼 < IR60의 순으로 출아소요일수가 길어졌다.
5. 出芽所要日數와 여러가지 溫度環境간 상관계수는 播種 후 出芽까지 平均 地溫(2.5cm)의 積算값과는 $R^2=0.994^{**}$, 土深 2.5cm에서 地溫 17.5℃ 이상 累積時間과는 $R^2=0.947^{**}$, 累積溫度와는 $R^2=0.954^{**}$, 10℃ 이하의 지속시간과는 $R^2=0.831^{**}$ 이었다.

引用文獻

1. 안수봉, 이석순, 윤성호. 1975. 벼의 종자 발아 및 묘생육에 대한 온도 반응의 품종간 차이와 보은 육묘 및 최아, 파종 효과에 관한 연구. 農試研究報(수도편) 15: 15-24.
2. 崔燉香, 尹景民. 1994. 벼 건답직파재배의 파종조한기에 의한 농업기후지대 구분. 韓作誌. 39(5): 444-452.
3. Hillel, D. 1982. Introduction to Soil Physics. Academic Press. pp.155-175.
4. 黃圭洪, 尹進一, 朴恩雨. 1994. 植物病 예방을 위한 국지기상관측의 자동화. 韓國氣象學會誌. 30: 631-638.
5. 玄炳根. 1995. 土壤水分과 입단크기가 직파벼의 出芽에 미치는 영향. 경희대 석사 학위논문.
6. 金帝圭, 李文熙, 吳潤鎮. 1993. 벼 건답직파재배에서 Gibberellin의 종자분무처리가 출아 및 초장 신장에 미치는 영향. 韓作誌. 38(4): 297-303.
7. 김순철, 박성태, 이수관, 정근식. 1991. 남부지역 벼 휴림건답직파 파종 한계기 구명. 農試論文集(수도편) 33: 66-74.
8. 이변우, 명을재. 1994. 건답직파에서 토양수분조건에 따른 벼 품종의 출아 특성. 韓作誌. 39(5): 502-511.
9. 李哲遠, 尹用大, 吳潤鎮, 趙相烈. 1992. 벼 건답직파재배에서 온도 및 파종심도가 종자의 출아와 증배축 신장에 미치는 영향. 韓作誌. 37(6): 534-540.
10. 李錫淳, 白俊鎬, 金台柱, 洪承範. 1993. 건답직파재배에서 복토심에 따른 벼 품종의 생육과 수량. 韓作誌. 38(2): 174-182.
11. 朴成泰, 金純哲, 孫洋. 1990. 영남지방에서의 벼 건답직파재배법 연구. 農試論文集(수도편). 32: 18-28.