

土壤溫度가 벼와 피의 出芽速度에 미치는 影響*

權容雄 · 金都淳 · 朴相源**

Effect of Soil Temperature on the Emergence-Speed of Rice and Barnyardgrasses under Dry Direct-Seeding Condition*

Kwon, Y.W., D.S. Kim, and S.W. Park**

ABSTRACT

Seeds of rice, cv. Ilpoom, and barnyardgrasses(*Echinochloa crus-galli*, vars. *oryzicola*, *crus-galli*, and *praticola*) were sown for a characterization of their responses to temperature during emergence under a dry direct-seeded condition. A laboratory-made aluminum block apparatus for emergence-temperature control conferred a linear continuous temperature gradient from 10 to 30°C to the seeds from cooling to heating ends of the apparatus.

The lowest temperature for emergence was 12.3°C for rice cv. Ilpoom, and 11.0°C for the three varieties of *Echinochloa* spp.. Percent emergence of rice increased sharply with an increase in temperature by ca. 20°C, then leveled-off, while those of barnyardgrasses increased almost linearly with temperatures up to 30°C. In rice the time required for emergence after seeding was shortened exponentially with increased temperature while those for barnyardgrasses were shortened almost linearly from 11 to 30°C. The temperature-response characteristic of rice in emergence-speed was almost the same among those for the 1st emergence, emergence by 25, 50, 75%, or average emergence time.

At 13°C, 346.7°C · days of accumulated temperature(26.67 days) were required for the 1st emergence in rice while 131.7, 136.0, and 138.7°C · days(10.13, 10.46, and 10.67 days) were required for the 1st emergence in *E. spp.*, vars. *crus-galli*, *praticola*, and *oryzicola*, respectively. Greater cold tolerance and increasingly faster emergence of barnyardgrasses than rice below 20°C seem to render the barnyardgrasses as much more competitive than rice at lower temperatures.

Key words: temperature, emergence, rice, barnyardgrass, competition.

* 이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의하여 연구되었음(This paper was supported in part by NON DIRECTED RESEARCH FUND, Korea Research Foundation).

** 서울대학교 농업생명과학대학 농학과(Dept. of Agronomy, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea) <1996. 1. 30 접수>

緒 言

벼의 發芽와 溫度와의 關係에 대한 研究는 耐冷性이 비교적 弱한 통일계 품종들이 1970년대에 보급되면서, 1980년대 초반에 일반계와 통일계 품종의 저온발아성 차이와 유묘의 내냉성에 관련된 연구가 일시적으로 집중적으로 연구되었다²⁾. 그 후 한동안 研究가 不振했으나 최근 벼 直播栽培과 관련하여 저온발아성과 입모가 중요한 요인으로 부각됨에 따라 이에 대한 연구가 다시 계속되고 있다. 저온발아성을 검정하는 방법으로 13~15℃에서 10일간의 발아계수를 비교하거나⁶⁾, 12℃에서 10일간의 발아율을, 또는 13℃에서 11일차의 발아율을 이용하여 저온발아성을 평가³⁾하는 등 연구자에 따라 다양한 방법이 제기되었다. 또한 벼 直播栽培가 보급·장려되면서 잡초의 發生樣相과 優點草種이 달라지고 雜草와 벼와의 경합이 播種初期부터 문제시되고 있다. 특히 그간 移秧栽培에서 크게 문제시되지 않고 있었던 피가 多量發生하고 長期間 發生하여 直播栽培上 아주 重要한 問題로 부각되고 있다. Kusanagi(1981)¹⁰⁾에 의하면 피의 발아에 필요한 최소온도는 10~15℃라고 했다. 그간 포장 관찰에 의하면 피는 直播栽培 조건에서 벼 보다 出現時期가 빠르고 초기생육이 왕성하기 때문에 벼의 파종 이후 초기생육기까지 溫度條件에 따른 피의 발생생태와 초기생육에 관한 연구가 절실히 요구된다.

한편 포장에서의 입모를 고려하여 李 등(1992)⁵⁾은 식물생장상을 이용하여 변온조건에서 발아소요일수를, 李와 明¹⁰⁾은 토양수분과 발아율을 연구하였다. 직파재배에서 입모는 온도⁷⁾, 수분⁴⁾, 토양의 물리적 성질 등의 영향을 복합적으로 받을 뿐더러 입모의 과정도 발아 후 中胚軸, 鞘葉 또는 제 1葉의 신장이 이루어져 복토를 뚫고 이루어지기 때문에 어느 한 요인으로 설명하기는 어렵다. 또한 파종기를 결정하는 방법으로 崔와 尹(1994)¹¹⁾은 년기온의 분석을 통하여 평균기온이 13℃ 이상 되는 때

를 제시하였고, 蘇 등(1995)⁸⁾은 地溫을 경시적으로 모니터링하여 평균 지온 및 지온의 일변화와 출아율과의 관계를 밝혔으며, 발아소요일수와 발아에서부터 출아까지의 소요일수를 구분하여 조사하고 이에 대한 품종간 차이를 보고⁷⁾하였다. 그러나 온도와 발아, 또는 출아의 연구에서 설정한 온도는 3~4개의 온도조건을 식물생장상을 이용하거나, 포장에서 파종기를 달리하므로써 상이한 온도조건하에서 연구를 수행하였기 때문에 벼 종자의 출아에 미치는 온도의 영향을 정확하게 밝히는 데는 한계가 있음은 부인하기 어렵다. 따라서 본 연구는 10~35℃ 사이에서 직선적인 온도구배가 이루어지도록 알루미늄피를 이용하여 온도구배장치를 제작하여 온도조절을 시험한 후 벼와 피의 출아에 미치는 온도의 영향을 총체적으로 구명하고자 수행하였다.

材料 및 方法

본 연구는 알루미늄의 熱傳導 특성을 이용한 온도구배장치를 제작하여 직선적인 온도구배가 이루어지도록 하여 수행하였다. 온도구배 출아상은 알루미늄塊(가로 80cm×세로 150cm×높이 10cm)에 직경 3cm, 길이 3cm의 구멍을 4cm 간격으로 가로 방향으로는 8개씩, 세로 방향으로는 16개씩 총 128개(8×16)의 구멍을 뚫었다. 온도 조절을 위하여 가로축 한쪽에는 전열가열기와 열전대 온도센서를 알루미늄피 끝부분에 삽입하여 장착하였고, 다른 쪽에는 열전대 온도센서와 냉각수 순환파이프를 삽입 장착하였다. 냉각수 순환파이프는 냉동기에 연결하였고 온도를 충분히 내리기 위하여 부동액을 넣어 循環시켰다. 出芽實驗箱의 온도구배는 각 구멍에 수분함량이 30%(w/w) 정도인 벼 育苗用 상토를 넣고 냉각과 가열을 동시에 하면서 10개의 온도센서를 위치별로 넣고 온도구배를 데이터로거(LI-1000, LICOR社, USA)로 경시적으로 측정해가며 온도설정을 주간(12시간)에는 10~35℃, 야간에는 10~25℃로 하여 각 구멍의 일평균 온도가 10~30℃ 사이에 분

포하도록 하였다.

공시초종은 1995년 서울대 농생대 실험 농장에서 채종한 일품벼와 강피(*Echinochloa crus-galli*, var. *oryzicola*), 물피(*Echinochloa crus-galli*, var. *crusgalli*), 돌피(*Echinochloa crus-galli*, var. *praticola*)를 사용하였고, 본 실험에 앞서 각 종자의 활력과 휴면타파 정도를 파악하기 위하여 petri dish에 여과지를 깔고 종자를 50립씩 3반복으로 치상하여 식물성장상에서 온도는 주야간 30/20℃, 일장은 주야간 12/12시간 조건 하에서 5일차에 발아율을 조사한 결과 벼는 95%이상, 강피는 72.6%, 물피는 88.7%, 돌피는 84.6% 수준으로 휴면이 타파된 종자를 사용하였다. 선종한 벼와 피를 물에 24시간 침종후 각 구멍당 벼는 4립씩, 피는 20립씩 과중심도 2.5cm에 과중하였다. 토양수분 및 습도 조절을 위하여 소형 분무기를 이용하여 적정 수분이 유지되도록 매일 1~2회 물을 분무하였으며, 6mm 두께 투명유리로 밀폐 뚜껑을 만들어 덮었다. 과중후 매일 오전 9시와 오후 9시에 1일 2회씩 출아개체수를 조사하였다.

結果 및 考察

1. 出芽實驗箱의 溫度分布

실험실에서 설계 제작한 出芽箱의 온도분포를 측정하기 위해 열전대 온도센서를 10군데에 설치하여 30분 간격으로 평균온도를 연속 측정한 결과 그림 1에서 보는 바와 같이 11~

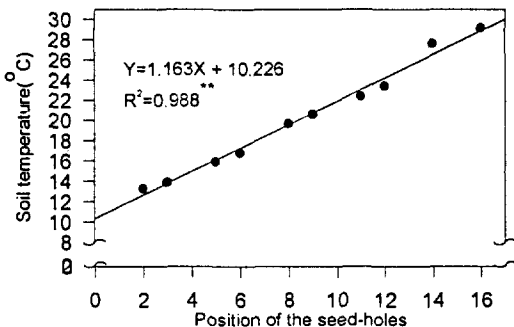


Fig. 1. Soil temperature of the holes for seeding by position in the aluminum block box for emergence test.

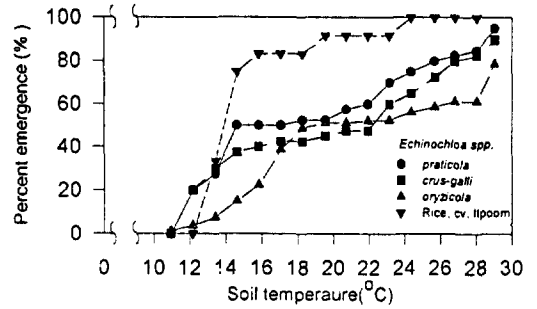


Fig. 2. The percent emergence of rice and barnyard-grasses as affected by soil temperature.

30℃ 사이에서 직선적($Y=1.163X+10.226$, $R^2=0.988^{**}$)인 온도구배를 보였다. 실험기간 동안 출아상이 위치한 실내 온도는 일평균 18~20℃이었다.

2. 出芽率에 미치는 溫度의 影響

과중 후 22일차에 벼에 대해서, 17일차에 피에 대해서 최종발아율을 조사하여 그림 1에 나타내었다. 벼의 경우 16℃까지는 토양온도에 비례하여 급격히 증가하는 경향을 보였고 그 이상의 온도에서는 거의 일정하여 80~100%의 최종발아율을 나타냈다. 그리고 12.3℃ 이하에서는 전혀 출아하지 않았는데 이로 볼 때 일품벼의 출아 최저온도는 12℃ 정도인 것으로 보인다.

한편 피의 경우에는 벼와 달리 11~30℃ 사이에서 거의 직선적으로 온도에 비례하여 出芽率이 증가하였으며, 초종에 따라 다소 차이는 있지만 18℃내지 20℃이하에서는 특히 溫度反應이 컸다. 피의 최종출아율은 돌피 > 물피 > 강피 순으로 높았고 出芽限界溫度는 벼보다 낮은 11℃ 정도인 것으로 나타났다.

3. 出芽始에 미치는 溫度의 影響

과중후 토양온도별로 出芽始까지 所要時間을 조사하여 각 온도별로 그림 3에 나타내었다. 벼의 과중후 出芽始까지 걸리는 시간은 20℃까지는 指數函數의으로 급격히 감소하였고 20℃ 이상에서는 완만하게 감소하였다.

피에 있어서는 초종에 관계없이 전 온도 범

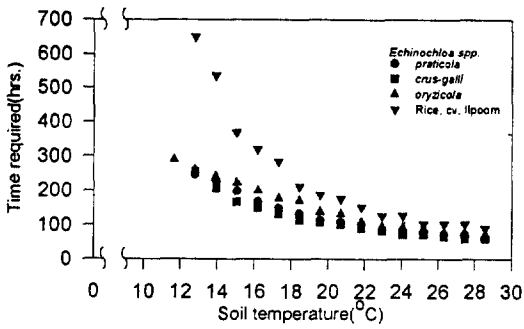


Fig. 3. Effect of soil temperature on the time required for the 1st emergence of rice and barnyardgrasses.

위에서 벼 보다 출아시가 매우 빨랐으며, 土壤溫度가 增加하면 出芽始가 指數函數의 으로 빨라지나 벼에 비해 溫度反應이 매우 鈍하여 11~30°C 範圍內의 溫度에서 溫度增加에 따른 出芽始까지의 時間減少가 거의 直線的 이었다. 한편 벼와 피간의 溫度反應上 뚜렷한 差異는 20°C 以下에서는 벼는 매우 급격히 出芽始까지 所要時間이 길어지는데 반하여 피는 그렇지 않음으로서 벼를 直播할 경우 土壤溫度가 13~18°C의 低溫에서는 벼와의 競合에서 피가 매우 有利하게 될 것이라는 점이다. 초종별로 살펴보면 피의 出芽始까지 所要時間은 물피 < 돌피 < 강피순으로 짧았다.

한편 그림 3의 成績을 利用하여 13, 18, 30°C에 对照하였을 때 出芽始까지의 積算溫度와 所要日數를 계산하여 표 1에 나타내었다. 피와

일품벼를 13°C에 对照한다면 出芽始까지 所要時間은 벼가 약 26.7日, 피의 경우에는 초종간에 큰 차이가 없이 10~11日에 出芽始에 도달하게 되므로 피가 出芽開始後 이미 16日間 生長하였을 때 벼는 出芽始에 이르러 피와의 競合에 있어서 매우 不利함을 확실히 알 수 있다.

4. 平均出芽速度에 미치는 溫度의 影響

처리 후 13일, 22일 동안 각각 피와 벼의 출아 개체수를 조사하여 각 온도별 平均出芽日數와 발아속도를 계산하여 그림 4, 5에 나타내었다. 벼의 平均출아일수는 20°C까지는 온도가 낮아짐에 따라 온도에 대해 指數函數적으로 완만하게 소요일수가 길어졌으나, 20°C 이하에서는 온도가 낮아짐에 따라 급격하게 길어졌다.

피의 平均출아일수는 초종에 관계없이 토양

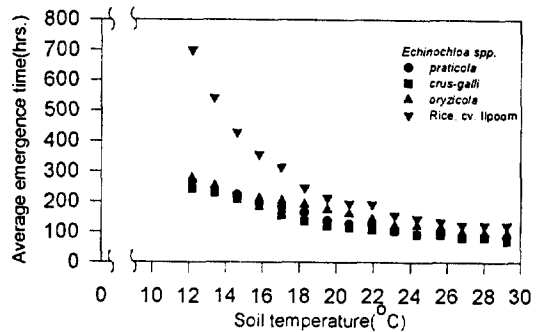


Fig. 4. Effect of soil temperature on the average emergence time of the rice and barnyardgrasses.

Table 1. Effect of soil temperature on the accumulated temperature and number of days to the 1st emergence of rice, cv. Ilpoom and barnyardgrasses at some important temperature conditions.

Soil Temperature		13°C		18°C		30°C	
Species	Item	Accumulated temperature to the 1st emergence (°C · days)	Days to 1st emergence	Accumulated temperature to the 1st emergence (°C · days)	Days to 1st emergence	Accumulated temperature to the 1st emergence (°C · days)	Days to 1st emergence
<i>Echinochloa</i> spp.	<i>var. crus-galli</i>	131.7	10.13	88.31	4.91	58.0	1.93
	<i>var. praticola</i>	136.0	10.46	102.1	5.67	60.0	2.00
	<i>var. oryzicola</i>	138.7	10.67	132.1	7.34	72.0	2.40
Rice, cv. Ilpoom		346.7	26.67	162.8	9.04	90.0	3.00

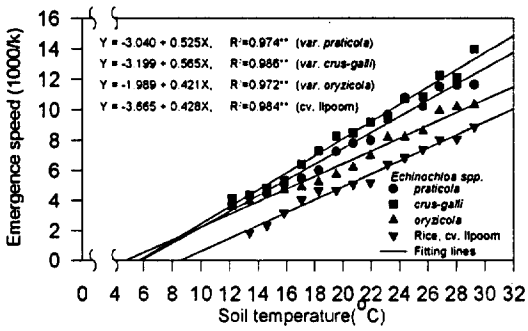


Fig. 5. Effect of soil temperature on the emergence speed for rice and barnyardgrasses.

<Note> K is the average emergence time in hours.

온도에 거의 직선적으로 반비례하는 경향을 보였으며, 초종별로 볼 때 평균출아일수는 물피 < 돌피 < 강피순으로 짧았다.

한편 그림 5에서 보는 바와 같이 11~30°C 사이의 토양온도에서 피의 출아속도가 비

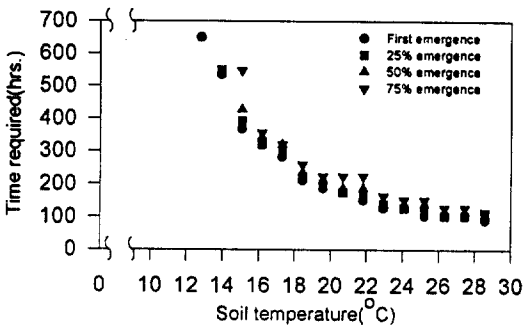


Fig. 6. Differences in the time required for emergence of the 1st, 25, 50 and 75% of seeds sown in rice.

Table 2. Linear correlation analyses for the time required for the fist, 25, 50 and 75% emergence and the average emergence time in rice.

Emergence	1st	25%	50%	75%	Average emergence time
1st	1	0.999***	0.972***	0.927***	0.984***
25%		1	0.968***	0.924***	0.980***
50%			1	0.982***	0.997***
75%				1	0.973***
Average emergence time					1

다 항상 빨랐으며, 피간에 있는 돌피 > 물피 > 강피순으로 출아속도가 빨랐다. 선형회귀식을 추정하여 最少限界溫度를 계산한 결과 일 품벼는 9.45°C 정도였고, 물피, 돌피 및 강피는 각각 5.67, 5.80, 4.72°C이었다.

5. 벼의 出芽率別 出芽速度 및 相互關係

벼의 出芽始, 25%, 50% 및 75% 출아까지 所要時間을 구분하여 산출한 결과를 그림 6과 표 2에 제시하였다. 온도에 따른 出芽所要時間은 최초출아, 25%, 50% 및 75% 출아까지 所要時間에 큰 차이를 보이지 않았고 이들간 상호관계는 0.924*** 이상 고도의 유의한 관계를 나타내었다.

그간에 벼의 出芽所要時間에 관련하여 연구자에 따라 발아는 平均發芽日數, 또는 90% 發芽에 소요된 일수, 출아의 경우 75%, 또는 50% 출아에 소요된 일수 등으로 비교하고자 하는 기준점이 상이하였으나 본 연구 결과 어느 시점에서 조사를 하든 그 결과는 같은 경향을 보이므로 조사시점은 큰 문제가 되지 않는다는 것을 밝혔다. 그러나 발아와 발아에서 출아에 소요되는 일수의 온도에 대한 반응은 품종에 따라 상이하다는 연구 결과⁷⁾와 같이 출아까지 소요되는 일수가 같다고 하더라도 발아가 빠른 품종과 발아에서 출아까지가 빠른 품종 중에서 포장조건에서 어느 것이 유리할 것인가에 대해서는 세밀한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

摘 要

벼와 피 종자의 출아 및 초기생육에 미치는 토양온도의 영향을 파악하고자 온도구배가 10~30℃ 사이에서 직선적으로 이루어지도록 알루미늄의 熱傳導 특성을 이용하여 온도구배장치를 제작하여 실험하였다. 온도구배장치는 알루미늄塊(가로 80cm×세로 150cm×높이 10cm)에 직경 3cm, 깊이 3cm의 구멍을 4cm 간격으로 가로 방향으로 8개씩, 세로 방향으로 16개씩 총 128개(8×16)의 구멍을 뚫었다. 온도 조절을 위하여 한쪽에는 열전대 온도센서와 히터를 부착하였고, 다른 쪽에는 열전대 온도센서와 냉각수 순환파이프를 삽입 장착하였다. 본 실험에 앞서 물피, 돌피, 강피의 發芽力을 검증하여 각각 발아율이 88.7, 84.6, 72.6% 이상인 종자를 구멍당 20립씩(3반복) 2.5cm 심도로 파종하고 벼 育苗用 床土로 복토하여 實驗한 結果는 다음과 같이 要約된다.

1. 일품벼의 最終發芽率은 20℃까지는 土壤溫度에 비례하여 급격히 增加하는 傾向을 보였고 그 이상의 온도에서는 거의 일정하여 80~100%의 최종출아율을 나타냈으며, 피의 경우에는 11~30℃ 사이에서 出芽率이 거의 直線的으로 증가하였다.
2. 平均出芽日數는 土壤溫度가 增加함에 따라 벼의 경우 指數函數的으로 짧아졌고, 피는 초종에 관계없이 거의 直線的으로 감소하였으며, 물피<돌피<강피순으로 짧았다.
3. 벼에 있어서 溫度에 따른 出芽速度差異는 최초출아, 25%, 50% 및 75% 출아까지에 所要되는 時間間에 고도로 유의한 상관관계가 있었고 출아율 조사는 어느 시기에 하더라도 동일한 경향을 나타낼 것으로 판단된다.
4. 일품벼의 出芽限界溫度는 12.3℃, 피에 있어서는 초종에 관계없이 벼 보다 낮은 11℃ 정도이었고, 일품벼를 13℃에 파종했을 때 出芽始까지 所要時間은 약 26.7日, 피의 경우에는 초종간에 큰 차이가 없이 10~11日

이면 出芽始에 도달하였다.

5. 벼 直播栽培에 있어서 休眠이 打破된 피는 10~30℃ 온도범위에서 出芽所要日數가 벼 보다 항상 짧아 競合에 有利할 뿐만 아니라, 특히 18℃ 以下에서는 벼의 出芽所要期間이 피 보다 현저히 길어 피의 競合力이 더욱 커질 수 있는 根據가 됨을 알 수 있었다.

引用 文 獻

1. 최돈항·윤경민. 1994. 벼 건담직파재배의 파종조한기에 의한 농업기후시대 구분. 한작지. 39(5): 444-452.
2. 최현옥·안수봉·이중훈·히훈·이승식·손재근. 1971. 벼 종자의 저온발아성에 관한 연구. 작시보고서(인공기상실험 I): 27-29.
3. 강종래·임상중·김순철·고미석. 1995. 벼 저온발아성의 효율적 검정조건. 한작지. 40(6): 711-715.
4. 이변우·명을재. 1994. 건담직파에서 토양수분조건에 따른 벼 품종의 출아 특성. 한작지. 39(5): 502-511.
5. 이철원·윤용대·오윤진·조상열. 1992. 벼 건담직파재배에서 온도 및 파종심도가 종자의 출아와 증배축 신장에 미치는 영향. 한작지. 37(6): 534-540.
6. 佐佐木多喜雄. 1974. 稻品種の低溫發芽性に關する育種學的研究. 北海道 上川農試報告. 24: 1-90.
7. 소창호·노영덕·윤진일·김영채. 1995. 벼 종자 출아시 온도차이가 Amylase와 Peroxidase 활성에 미치는 영향. 한작지. 40(4): 525-532.
8. 소창호·윤진일·노영덕·김무성·권신한. 1995. 벼 건담직파에서 파종기 지온이 출아에 미치는 영향. 한작지. 40(5): 580-586.
9. Soh, C.H. and Y.W. Kwon. 1992. Temperature-Response of photosynthesis, respiration, CO₂ balance and growth in high-yielding Japonica and Indica x Japonica rice cultivars at young

stage. In. N. Murata ed. Research in Photosynthesis vol. III. pp.461~464. Kluwer Academic Publ. Netherlands.

10. Kusanagi, T. 1981. Ecological aspect of weed on paddy field. In: Weeds and Weed Control in Asia. ASPAC-FFTC 20: 68~88.