

## 乾畚直播에서 土壤硬度가 벼와 피의 出芽에 미치는 影響\*

권용웅\*\* · 이변우\*\* · 김도순\*\*

### Effect of Soil Strength on Seedling Emergence of Rice and Barnyardgrasses in Direct Dry-Seeding\*

Yong Woong Kwon, Byun Woo Lee and Do Soon Kim\*\*

**ABSTRACT** : Seedling emergences of four rice varieties(Dongjinbyeo, Dadajo, Galsaekggaraksharebyeo, and Italiconaverneco) and three barnyardgrass species(*Echinochloa oryzicola*, *E. crus-galli* var. *crus gali*, *E. crus-galli* var. *praticola*) were evaluated in relation to soil strength. Soil strength was varied by compressing the entire volume of soil with a hydraulic jack so as to be 0.5, 1, 2, 3, 6kg/cm<sup>2</sup>. Soil strength was measured with a penetrometer(Yamanaka type) and soil covering above the seed was 4cm deep. Experiments were conducted at two air temperature conditions of 17 and 25°C. At a soil strength of up to 2kg/cm<sup>2</sup>, little or no decrease in seedling emergence occurred in all rice varieties and barnyardgrasses tested. Above that value, seedling emergence decreased progressively as the soil strength increased. The degree of decrease was greatest in Dongjinbyeo and smallest in Dadajo among tested rice varieties, and greatest in *Echinochloa oryzicola* among barnyardgrasses, being greater in barnyardgrasses than rice. Seedling emergence was delayed almost linearly as the soil strength increased. The delay was greatest in Dongjinbyeo among rice varieties and in *Echinochloa oryzicola* among barnyardgrasses. Mesocotyl length increased as soil strength increased up to 2 to 3kg/cm<sup>2</sup> in Dongjinbyeo and Dadajo in 17°C and 25°C, and up to 6kg/cm<sup>2</sup> in Galsaekggaraksharebyeo and Italiconaverneco in 25°C. Dongjinbyeo showed the least elongation of mesocotyl among rice varieties in any soil strength. The total length of mesocotyl, first internode and incomplete leaf showed little variation with soil strength. The total length was longer than the 4cm covering depth in other varieties except Dongjinbyeo. This might have caused the lower emergence rate in Dongjinbyeo than other varieties in higher soil strength.

**Key words** : Rice, Seedling emergence, Soil strength, Penetrometer, Mesocotyl, Barnyardgrass.

乾畚直播에서 경운 및 파종 직후는 토양의 경도가 높지 않지만, 파종 후 관개를 하거나 비가 온 후 건조한 날씨가 지속되면 土壤 硬度가 증가하여 출아에 지장을 초래한다. 李 등<sup>3,4)</sup>에 의하면 평균

기온이 15.2°C이고 파종 익일 26mm의 비가 온 조건에서 토양 경도는 직선적으로 증가하여 파종 후 13, 14일에는 2.5kg/cm<sup>2</sup>에 달하였으며, 사양토의 논 토양에서 실험 기간 중 평균 기온이 31°C이

\* 이 논문은 1993년도 학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

\*\* 서울대학교 농업생명과학대학 농학과(Dept. of Agronomy, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea)

<96. 5. 31 接受>

고 파종 직후 40mm의 인공 강우 처리를 한 경우 파종 후 9일에 토양 경도는 8.2kg/cm<sup>2</sup>까지 증가하여 벼의 출아율이 현저히 낮아졌다고 한다.

Taylor 등<sup>5,6)</sup>은 수수, 옥수수, 밀, 보리, 귀리, 피 등의 禾本科에서는 토양 경도에 따른 출아율이 종간에 큰 차이가 없고, 토양 경도 7bar까지는 출아율의 저하가 미미하거나 없으며 이 이상의 경도에서는 출아율이 급격히 저하하여 15bar 이상에서는 출아하지 못한다고 하였다.

그러나 벼의 경우 覆土深을 5cm로 한 건답직파에서 indica인 Salipe와 陸稻인 농립21호는 토양 경도가 4kg/cm<sup>2</sup>(약 4bar)에서, japonica인 농립18호는 1.6kg/cm<sup>2</sup>(약 1.6bar)에서 출아하지 못하였으며<sup>1)</sup>, 동일한 토양 경도에서는 파종심도가 증가할수록 출아율이 현저히 감소하였다고 하였다<sup>2)</sup>. 또한 李 등<sup>4)</sup>도 복토심을 4cm로 한 경우 장려품종인 동진벼와 섬진벼는 출아초기인 파종 후 3~6일의 평균 토양 경도가 1.7kg/cm<sup>2</sup>인 경우 출아율은 50%로 저하하였다고 하였다. 이와 같은 결과들은 벼의 경우 품종간에도 토양 경도에 따른 출아율에 현저한 차이가 있다는 것을 시사하고 있으며, 출아율과 토양 경도와의 관계가 화분과의 종간에 큰 차이가 없다고 한 Taylor 등<sup>5,6)</sup>의 보고와는 상이하다. Taylor 등의 실험이 토양 피막이 형성되지 않는 실험실 조건에서 이루어진 것으로 토양 피막이 형성되는 포장조건에서 토양 경도와 출아율의 관계는 상이할 것으로 판단된다.

우리 나라는 최근 건답직파재배가 확대됨에 따라 봄철 건조한 기후 조건에서 토양 경화에 따른 출아 불량이나 문제시 될 것으로 예견되나 토양 경도와 출아에 관한 연구는 매우 미흡하며, 또한 건답직파 적응성 품종의 개발과 재배 관리 체계가 초보적인 단계에 머무르고 있는 실정이다. 본 연구는 논 토양에서 토양경도에 따른 벼 품종과 피의 출아 특성을 비교 검토하여 건답 직파재배 적응품종의 육성과 재배관리기술 확립을 위한 기초 자료를 얻고자 실시된 것이다.

본 실험은 乾畚直播栽培에서 토양 경도에 따른 벼와 피의 出芽特性을 비교하기 위하여 1995년과 1996년에 서울대 부속 실험농장 온실에서 실시하였다.

공시 초종은 栽培品種인 동진벼, 雜草性 벼인 갈색까락샤레, 在來稻인 다다조, 이탈리아 품종으로 출아력이 강한 품종으로 알려진 Italiano, averneco 등 4종의 벼와 강피(*Echinochloa oryzicola*), 물피(*E. crus-galli* var. *crus-galli*), 돌피(*E. crus-galli* var. *praticola*) 등 3종의 피였으며 경도 증가에 따른 발아 불량을 배제하기 위하여 최아시켜 사용하였다. 망목이 5mm인 체로 친 사질식양토 논흙을 경질 플라스틱 포트(길이 45cm, 폭 25cm, 높이 30cm)에 위에서 5cm 아래까지 채운 후 최아된 종자를 15립씩 인접 종자의 영향을 배제하기 위하여 지그재그로 파종하고 4cm 정도 복토한 후 첩판을 덮고 hydraulic jack으로 가압하면서 수시로 토양을 채워 파종 심도가 3.5cm가 되도록 조절하고 山中式 土壤硬度計를 사용하여 토양 경도를 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 6.0 kg/cm<sup>2</sup>가 되도록 하였다. 이때 토양의 bulk density는 각각 1.02, 1.1, 1.25, 1.3, 1.35g/cm<sup>3</sup>으로 토양 경도의 순서와 일치하였다. 온도 처리는 실험기간 중 平均 溫度가 기온 17℃/지온 16℃(低溫 조건), 기온 25℃/지온 24℃(適溫 조건)이 되도록 두 처리를 두었다. 실험기간중 수분 증발을 최소화 하기 위하여 복토 표면에 흡습시킨 종이를 깔았고 수시로 이를 교체하였으며 출아 개시 이후에는 소형 분무기로 물을 분무하여 증발된 수분을 보충하였다.

출아 개체수 조사는 출아 개시 후부터 매일 조사하였으며, 벼의 출아 초기 생장을 비교하기 위하여 저온 조건은 파종 후 33일차에, 적온 조건은 파종 후 18일차에 출아 개체를 전량 채취하여 증배축장, 초엽장, 불완전엽장 등을 조사하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 出芽率

토양 경도의 증가에 따른 벼와 피의 出芽率은

## 材料 및 方法

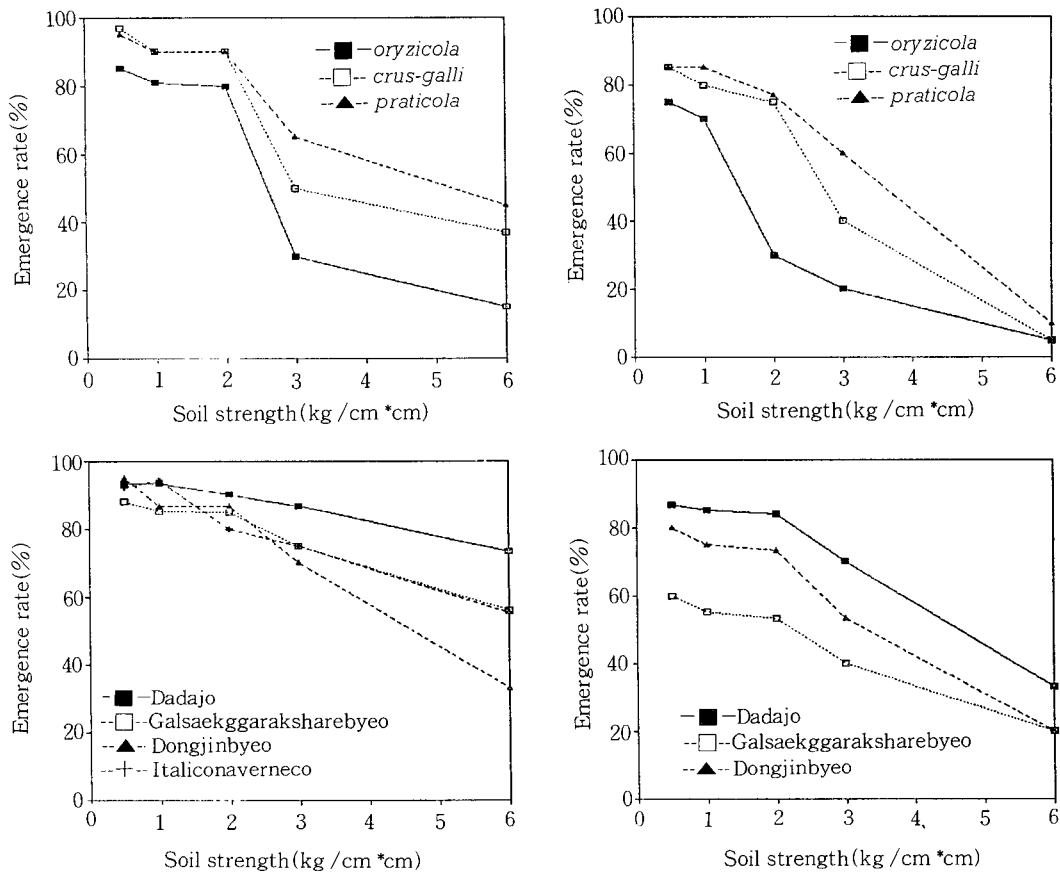


Fig. 1. Effect of soil strength on seedling emergence of rice(lower) and barnyardgrasses(upper) in direct dry-seeding. Left: 25°C, Right: 17°C.

그림 1과 같았다. 25°C 適溫에서는 토양 경도 2kg/cm<sup>2</sup>까지는 80% 이상의 높은 출아율을 나타내었으나 이보다 토양 경도가 증가함에 따라서 출아율이 감소하였는데 감소 정도는 품종에 따라 상이하여 다다조가 감소 정도가 가장 작았으며 동진벼는 감소 정도가 가장 컸다. 토양 경도 6kg/cm<sup>2</sup>에서는 다다조는 70%, 이탈리아코나베르네코와 갈색까락샤레벼는 약 57%, 동진벼는 37%까지 출아율이 감소하였다. 低溫에서도 공시한 벼 모두 토양 경도 2kg/cm<sup>2</sup>까지는 토양 경도 증가에 따라서 출아율의 감소가 크지 않았으나 토양 경도 3kg/cm<sup>2</sup> 이상에서는 토양 경도가 증가하면 출아율은 급격히 감소하였는데 공시한 벼의 출아율은 다다조>동진벼>갈색까락샤레의 순이었으며, 적은 조건에서 보다 각 토양 경도에서의 출

아율이 현저히 낮았으며 품종간 차이가 뚜렷하였다.

피의 경우 적은 조건에서는 토양 경도 2kg/cm<sup>2</sup>까지는 출아율의 감소가 매우 완만하였으나 토양 경도가 이 이상으로 증가하면 급격히 감소하기 시작하여 토양 경도 3kg/cm<sup>2</sup>에서 들피는 65%, 물피 50%, 강피 30%로 출아율이 저하하여 벼의 경우보다 출아율의 감소가 심하였다. 적은 조건에서는 들피와 물피는 적은에서와 마찬가지로 토양 경도 2kg/cm<sup>2</sup>까지는 완만하게 출아율이 감소하였으나 그 이상에서는 급격히 감소하였다. 강피는 토양 경도가 1kg/cm<sup>2</sup> 이상이 되면 출아율이 급격히 감소하였는데, 토양 경도 3kg/cm<sup>2</sup>에서 들피는 60%, 물피는 40%, 강피는 20%가 출아하였다.

이상에서 본 바와 같이 벼와 피 모두 토양 경도

가  $2\text{kg}/\text{cm}^2$  이상이 되면 출아율이 현저히 감소하기 시작하는데, Taylor 등<sup>5,6)</sup>이 수수, 피 등 화본과 식물에서는 종에 관계없이 토양 경도 7bar (약  $7\text{kg}/\text{cm}^2$ )까지는 출아율에 차이가 없거나 감소 정도가 미미하다고 한 결과와는 매우 상이하다. Taylor 등의 실험은 수분 증발을 완전히 억제 한 압조건의 생장상에서 실시하였으나 본 실험에서는 온실의 조건에서 물 먹인 신문지를 토양 표면에 덮어 증발을 다소 억제하였으나 시간의 경과에 따라서 토양이 다소 건조되었기 때문인 것으로 판단된다. 한편 자연 포장 조건에서 강우 후 토양이 건조해 감에 따라서 토양이 견고화 되어 가는 경우 토양 경도가  $1\text{kg}/\text{cm}^2$  이상이 되면 우리나라 장려품종인 동진벼와 섬진벼는 출아율이 현저히 감소하기 시작하여  $1.7\text{kg}/\text{cm}^2$ 가 되면 출아율이 50%로 저하하며,  $2.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 가 되면 출아율

이 20%로 저하한다는 보고<sup>4)</sup>와도 상이한데 토양 경도계로 측정된 토양 경도는 같을지라도 자연 조건에서는 토양 표면에 단단한 피막이 형성되어 출아율의 저하가 더 커지기 때문인 것으로 볼 수 있다.

## 2. 出芽日數

토양 경도에 따른 벼와 피의 平均出芽日數는 그림 2와 같았다. 공시한 벼 품종 모두 適溫 조건에서는 토양 경도  $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지는 출아 일수가 다소 증가하였으나 그 정도는 크지 않았고, 토양 경도가  $2\text{kg}/\text{cm}^2$  이상으로 증가함에 따라 현저하게 출아 일수가 증가하였다. 토양 경도  $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서의 출아 일수는 동진벼와 갈색까락샤레벼가 8일, 다다조가 7일, 이탈리아코나베르네코가 6.7일이었으나 토양 경도  $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서는 동진벼가 11일, 갈색까락샤레벼와 다다조가 약 9.5일, 이탈

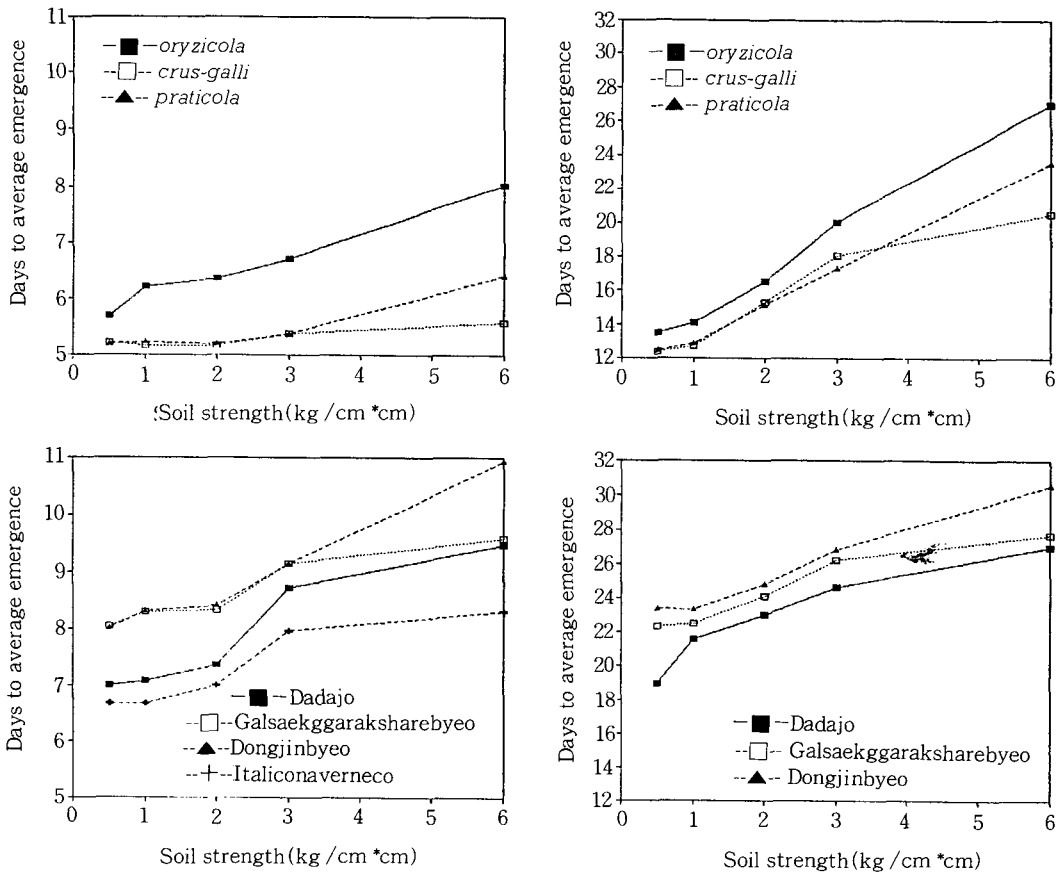


Fig. 2. Effect of soil strength on days to average emergence of rice(lower) and barnyardgrasses (upper) in direct dry-seeding. Left: 25°C, Right: 17°C.

리코나베르네코가 약 8.5일로 증가하여 동진벼의 출아 지연이 가장 컸다. 低温 조건에서는 출아개시일이 토양 경도 0.5kg/cm<sup>2</sup>에서 동진벼는 21

일, 갈색까락샤레 20일, 다다조 16.5일로서 적은 조건에 비하여 10일 이상 늦어졌으며, 0.5kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 토양 경도가 증가함에 따라서 출아

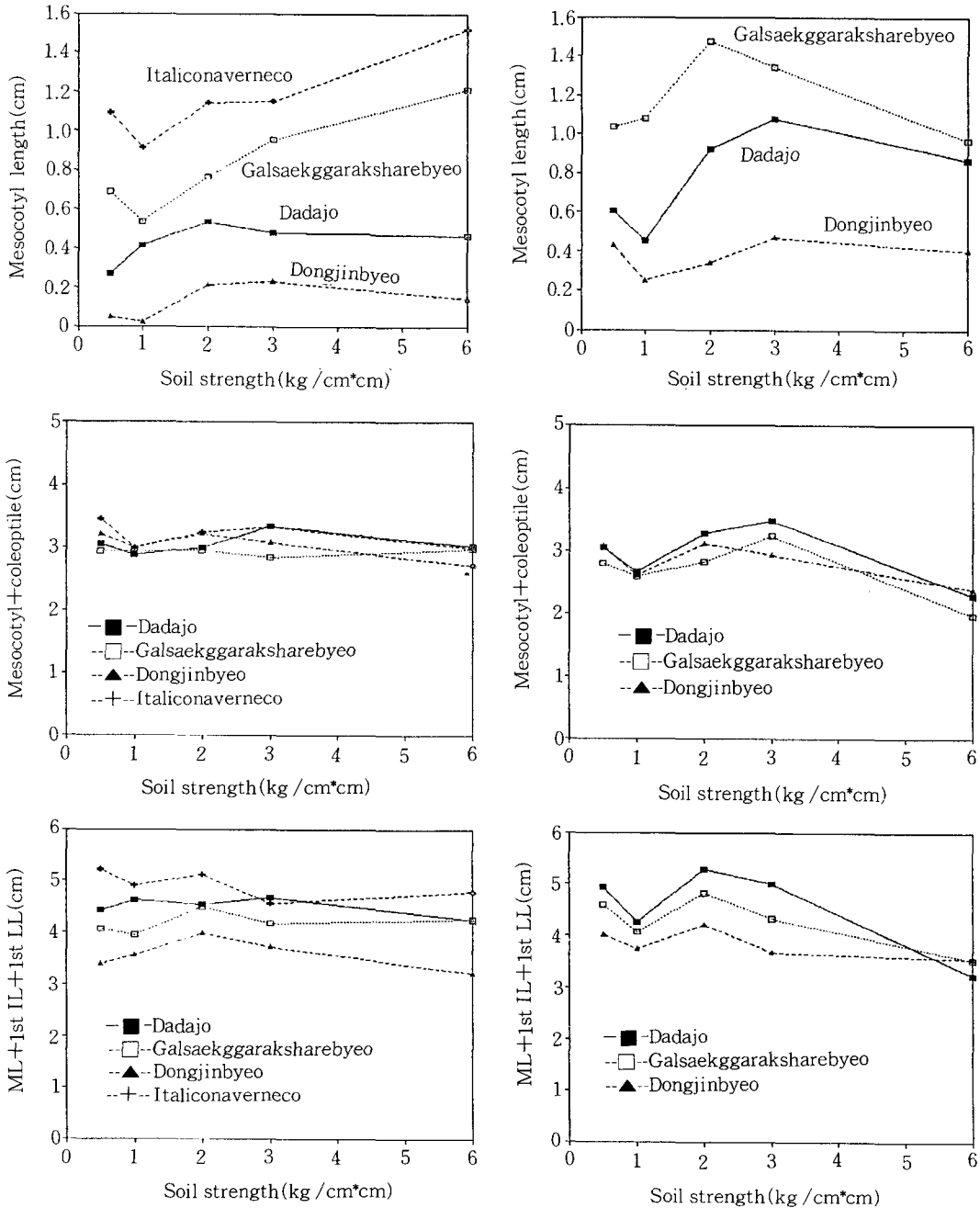


Fig. 3. Effect of soil strength on the elongation of mesocotyl, coleoptile, the first internode, and the first leaf(incomplete leaf) of rice in direct dry-seeding. Left : 25°C, Right : 17°C. (ML+1st IL+1st LL : mesocotyl+first internode+incomplete leaf).

일수는 거의 직선적으로 증가하였으며, 동진벼>갈색까락샤레>다다조의 순으로 출아일수가 길어 적은 조건에서와 동일한 경향이였다.

피는 적은 조건의 경우 토양 경도 0.5kg/cm<sup>2</sup>에서 모두 파종 후 4.8일에 출아하기 시작하여 평균 출아일수가 물피와 돌피는 5.2일, 강피는 5.6일이었으며, 토양 경도 6kg/cm<sup>2</sup>에서는 물피 5.6일, 돌피 6.4일, 강피 8일이였다. 물피와 돌피는 토양 경도 2kg/cm<sup>2</sup>까지는 토양 경도에 상관없이 출아일수가 거의 같았으며 그 이상으로 토양 경도가 증가함에 따라 출아 일수가 다소 증가하는 경향이였다. 강피는 토양 경도가 증가함에 따라 출아일수가 거의 직선적으로 증가하였다. 저온 조건에서는 토양 경도 0.5kg/cm<sup>2</sup>에서 물피와 돌피가 파종 후 11.7일에, 강피는 12일에 출아하기 시작하여 출아일수는 물피와 돌피가 12.4일, 강피는 13.6일로서 적은 조건에 비하여 약 6일 늦게 출아하였으며, 토양 경도의 증가에 따라서 출아일수는 직선적으로 증가하여 6kg/cm<sup>2</sup>에서 출아일수는 강피가 27일, 돌피가 23일, 물피가 21일이였다.

### 3. 幼芽 伸張

토양 경도에 따른 유아 신장 반응을 나타낸 것이 그림 3이다. 적은에서 동진벼와 다다조의 경우 토양 경도 2kg/cm<sup>2</sup>까지는 토양 경도의 증가에 따라 중배축장이 증가하였으나 그 이상으로 토양 경도가 증가하더라도 중배축장은 변하지 않은 반면 갈색까락샤레벼와 이탈리아코나베르네코는 6kg/cm<sup>2</sup>까지 토양 경도가 증가함에 따라서 중배축장은 직선적으로 증가하는 경향이였다. 한편 17℃ 저온의 경우 다다조와 동진벼는 3kg/cm<sup>2</sup>까지 토양 경도가 증가함에 따라 중배축장이 증가하였으나 그 후 6kg/cm<sup>2</sup> 토양 경도까지 큰 차이가 없었다. 그러나 갈색까락샤레벼는 토양경도 2kg/cm<sup>2</sup>까지 증가한 후 감소하였다. 저온과 적은 조건 모두 중배축장은 이탈리아코나베르네코>갈색까락샤레벼>다다조>동진벼의 순으로 컸다. Turner 등<sup>7)</sup>은 CO<sub>2</sub>농도가 높아지면 중배축의 신장이 촉진된다고 하였는데, 본 실험에서 토양 경도가 증가하면 중배축장이 커지는 것은 토양이 긴밀화되어 토양 경도가 증가함에 따라서 가스의 확산이

저해되어 토양 중에 CO<sub>2</sub>농도가 높아지기 때문인 것으로 생각되며 또한 이에 대한 신장 반응에는 품종간 차이가 큰 것으로 생각된다.

중배축장과 초엽장을 합한 길이는 품종과 토양 경도에 관계없이 3cm 정도로 일정하여, 중배축장과는 달리 토양 경도의 증가에 따라 초엽장은 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

본 실험의 경우 파종심을 3.5cm로 하였으므로 초엽의 신장이 지하 0.5cm에서 정지하여 지상으로의 출아는 제1절간과 불완전엽의 신장에 의하여 이루어진 것으로 볼 수 있다. 중배축장+제1절간장+제1엽장(불완전엽장)은 적은 조건과 저온 조건 모두 토양 경도와 상관없이 거의 일정하여 동진벼의 경우는 4cm보다 작았으며 그 외의 벼 품종들은 4cm이상이었다. 李 등<sup>8)</sup>에 의하면 출아율은 중배축장+제1절간장+불완전엽장과 가장 높은 상관을 보여 제1본엽의 추출 위치가 높을수록 출아에 유리하다고 하였는데, 본 실험의 경우 장려품종인 동진벼는 제1본엽의 추출이 지하에서 이루어져 제1본엽이 지상에서 이루어진 타 품종에 비하여 토양 경도가 높은 조건에서는 출아에 불리하였던 것으로 판단되며, 동진벼의 경우 제1본엽이 지하에서 추출되는 것은 중배축의 신장이 불량하였기 때문인 것으로 생각된다.

## 摘 要

동진벼, 다다조, 이탈리아코나베르네코, 갈색까락샤레벼 등 4품종과 강피, 돌피, 물피 등 3종의 피를 공시하여 토양 경도가 벼와 피의 출아 및 유아 신장에 미치는 영향을 검토하였다. 토양 경도는 유압잭(hydraulic jack)으로 토양 전체를 가압하여 토양경도계(山中式)로 0.5, 1, 2, 3, 6kg/cm<sup>2</sup>가 되도록 처리하였으며, 온도는 실험기간 중 평균기온 17℃(저온)와 25℃(적온) 두 처리를 두었다. 모든 처리에서 복토심은 3.5cm였으며, 파종 후 토양 표면은 물에 적신 신문지로 피복하여 토막의 형성과 증발을 방지하였다.

1. 공시한 벼 품종 모두 온도 조건에 관계없이 토양 경도 2kg/cm<sup>2</sup>까지는 토양경도의 증가에

다른 출아율의 감소는 크지 않았으나 그 이상으로 토양 경도가 증가함에 따라서 출아율이 직선적으로 감소하는 경향이었으며 출아율 감소 정도는 동진벼가 가장 컸다. 토양 경도 3 kg/cm<sup>2</sup> 이상에서 출아율은 다다조>이탈리코나베르네코=갈색까락샤레벼>동진벼의 순이었다.

2. 피의 경우도 벼와 마찬가지로 토양 경도 2kg/cm<sup>2</sup>까지는 출아율의 저하가 크지 않았으나 그 이상으로 토양 경도가 증가하는 경우 출아율이 현저하게 저하하였으며 출아율 저하는 강피>돌피>물피의 순으로 컸다. 또한 토양 경도 증가에 따른 피의 출아율 저하 정도는 벼에 비하여 현저히 컸다.
3. 평균출아일수는 공시 초종 및 온도 조건에 관계없이 토양 경도가 증가함에 따라서 직선적으로 증가하는 경향이었다. 토양 경도 증가에 따른 출아 지연 정도는 벼의 경우 동진벼가, 피의 경우는 강피가 가장 컸다.
4. 적은 조건에서 동진벼와 다다조는 토양 경도 2kg/cm<sup>2</sup>까지 토양 경도가 증가함에 따라서 중배축장이 증가하는 경향이었으나 그 이상에서는 변화가 없었던 반면 갈색까락샤레벼와 이탈리코나베르네코는 6kg/cm<sup>2</sup>까지 토양 경도 증가에 따라서 중배축장이 직선적으로 증대하였다. 저온 조건에서는 공시한 벼 품종 모두 토양 경도 3kg/cm<sup>2</sup>에서 중배축장이 최대에 달하였으며 그 이상에서는 변화가 없거나 다소 감소하는 경향이었다. 토양 경도가 3kg/cm<sup>2</sup> 이상인 조건에서 장려품종인 동진벼의 출아율이 가장 낮았으며 그 원인은 중배축의 신장이 잘 안되어 본엽이 지중에서 전개되기 때문인 것으로 판단되었다.

## 引用文獻

1. 井之上準, 伊藤健次. 1969. 作物の出芽に関する研究. イネ科數種作物の幼芽の抽出力と出芽力および出芽能力の關係について. 日作紀 38:38-42.
2. 川廷謹造, 星川清親, 高島好文. 1963. 乾田直播における水稻の苗立ちの良否と幼植物の形態について. 日作紀 31:267-271.
3. 이변우, 명을재. 1995. 乾畚直播에서 播種深度와 灌溉條件에 따른 벼 品種들의 出芽特性. 韓作誌 40(1):59-68.
4. 이변우, 권용웅, 명을재. 1996. 降雨處理後 土壤 乾燥에 따른 皮膜形成 및 硬度變化가 벼와 피의 出芽에 미치는 影響. 韓作誌 41(2): 131-138
5. Parker, J. J. and H. M. Taylor. 1965. Soil strength and seedling emergence relations. I. Soil type, moisture tension, temperature, and planting depth effects. Agron. J. 57 : 289-291.
6. Taylor, H. M., J. J. Parker, Jr. and G. M. Robertson. 1966. Soil strength and seedling emergence relations. II. A generalized relation for Gramineae. Agron. J. 58 : 393-396.
7. Turner, F. T., C. C. Chen and C. N. Bollich. 1982. Coleoptile and mesocotyl lengths in semidwarf rice seedlings. Crop Sci. 22(1):43-46.