

벼 乾畚直播栽培에서 土壤水分이 出芽에 미치는 影響**

李錫淳* · 白俊鎬* · 金台柱* · 洪承範*

Seedling Emergence of Direct Seeded Paddy Rice at Different Soil Moisture Regimes

Suk Soon Lee* · Jun Ho Back* · Tae Joo Kim* and Seung Beom Hong*

ABSTRACT : Seedling emergence of 15 rice varieties (Gayabyeo, Chilseongbyeo, Samgangbyeo, Yeongsanbyeo, Yeongdeugbyeo, Hwajinbyeo, Palgongbyeo, Seomjinbyeo, Tamjinbyeo, Milyang 95, M 101, M 202, Newbonnet, Tebonnet, and Lemont) were tested at different soil moisture regimes and seeding depths. Submergence for four days immediately after seeding did not reduce emergence rate in all varieties. Under the flooded condition, the percentage of emergence of all varieties at 1.5cm seeding depth ranged 0~40%, it is much lower compared to uncovered control, and percentage of seedling survival ranged 0~24% due to death of some emerged seedlings. Under the field condition, one time flooding up to 10cm above the soil surface after seeding did not reduce the percent emergence of seedlings. The pF value of soil was 0 for few days after flooding or raining and Eh of soil ranged 443-453mV.

과거 우리나라에서의 벼 乾畚直播栽培은 물이 부족할 때 旱田對策으로 이용되어 왔으나¹⁾, 지금에 와서는 省力化를 위한 省力栽培技術로 研究되고 있다. 또 乾畚直播은 종자를 땅속에 파종하므로 澁水直播에 비하여 뿌리가 깊게 분포하여 倒伏에 더 강한 장점이 있으나 土壤水分不足으로 立苗가 불량한 경우가 많다. 그래서 播種期에 乾燥하면 美國, 濠州 등에서는 파종 후 물을 灌水하는 이른바 flushing을 실시하여 出芽率을 높이는 방법을 이용하고 있다⁴⁾.

한편 대부분의 발작물 종자는 酸素가 없거나 산소가 7~8ppm밖에 녹아있지 않은 물속에서는 發

芽하지 못한다²⁾. 그 이유는 嫌氣性 상태에서는 미토콘드리아가 파괴되거나 畸形이 되고⁵⁾, TCA회로를 통하지 않고 에너지 생산효율이 낮은 解糖作用을 통하여 ATP를 생산하여 많은 基質이 소모되며¹⁾, 또 最終代謝物로서 ethanol이 축적되어^{1,5)} 細胞膜의 脂肪이 분해되어 膜의 기능을 상실하기 때문이다. 그러나 벼, 피 등 물속에서 자라는 식물의 종자는 嫌氣性 條件에서도 alcohol dehydrogenase의 活性이 높지 않아 ethanol이 많이 생성되지 않을 뿐 아니라 생산된 ethanol은 脂肪合成에 이용되거나³⁾ 외부로 流出하여 細胞內에는 ethanol이 많이 축적되지 않고, 遺傳적으로 etha-

* 嶺南大學校 農畜產大學(Coll. of Agri., and Animal Sci., Yeungnam Univ., Kyongsan 712-749, Korea)

** 이 論文은 1990년 教育部 支援 學術振興財團의 自由公募 課題 學術研究助成費에 依하여 研究되었음. <93. 3. 16 接受>

noI에 대한 耐性이 크며, 蛋白質 代謝도 장애를 받지 않아 정상적으로 發芽한다⁵⁾. 또 嫌氣性 條件에서도 미토콘드리아의 構造가 정상적이고, TCA회로의 酵素들도 활성이 유지되어 酸素가 공급되면 酸化의 磷酸化反應에 의하여 정상적으로 ATP를 생산한다^{1,5)}.

벼 종자는 嫌氣性 條件에서 發芽는 되지만 에너지 생산효율이 낮고, 종자의 貯藏養分은 제한되어 있으므로 種子의 에너지를 효율적으로 이용하여 酸素가 있는 외부로 빨리 있을 노출시키기 위하여 뿌리가 자라지 않고, 中胚軸과 鞘葉만 자라는 異常發芽가 된다^{1,5,9)}. 그러나 覆土深과 水深이 너무 깊어 中胚軸과 鞘葉이 空氣 중으로 뚫고 나오지 못하면 결국은 죽으므로 排水가 불량한 토양에서는 灌水量이 많거나 비가 많이 와서 물이 고이면 산소부족으로 땅속에 있는 종자가 出芽하지 못하는 경우가 많다.

乾畚畦立直播栽培에서는 파종 후 乾燥하면 골에만 물을 灌水하고, 비가 많이 와서 過濕하면 골을 통하여 排水할 수 있는 장점이 있다. 그런데 파종 후 한번 灌水하여도 透水성과 灌水量에 따라 토양수분함량이 다르고, 또 품종에 따라 過濕에 대한 종자의 耐性이 다를 것이나 이에 관한 연구가 없다.

따라서 본 시험에서는 溫室과 圃場에서 灌水期間, 灌水 중 覆土深 및 灌水量이 土壤水分과 벼 品種들의 出芽에 미치는 영향을 검토하여 벼 乾畚畦立直播栽培를 실시하는데 기초자료를 얻고자 실시하였다.

材料 및 方法

본 시험은 慶北 慶山의 嶺南大學校 農畜產大學의 溫室과 圃場에서 시험하였다. 공시품종은 (七星벼, 伽倻벼, 三剛벼, 榮山벼, 盈德벼, 花珍벼, 八公벼, 蟾津벼, 耽津벼, 密陽 95號, M101, M202, Newbonnet, Tebonnet, Lemont) 등 15個 品種중에서 시험에 따라 8~10개 품종을 선택하였다.

溫室에서는 1993년 1월에 가로×세로×높이가 각각 58×18×14cm인 플라스틱 pot에 水分含量

이 23.0%인 植質土를 18kg씩 넣어 시험하였다. 파종 후 灌水期間에 따른 벼 품종의 出芽率은 8개 품종을 4cm 깊이로 覆土하였고, 그 후 灌水하여 곧 自然排水, 2 및 4일간 灌水狀態를 유지한 후 自然排水되도록 하였다. 그리고 灌水狀態에서 覆土深에 따른 벼 품종의 出芽率과 苗生存率은 灌水直播와 같이 토양표면에 파종한 것과 1.5cm 깊이로 覆土한 후 물을 토양표면에서 1.5cm되게 유지하였다. 온실의 온도는 대체로 晝/夜間을 25/18℃로 유지하였다.

圃場에서는 파종 직후 灌水量이 벼 품종의 出芽率에 미치는 영향을 보기 위하여 1990년 5월 21일에 植質土에서 10개 품종을 5cm 깊이로 복토하였다. 播種方法은 幅이 90cm인 두둑을 만들고 처리당 30cm 간격으로 3줄씩 播種하였으며, 播種量은 모든 품종이 10a당 密陽 95號 6kg과 같은 粒數가 되도록 조절하였다. 灌水는 파종 다음날 실시하였으며, 灌水量은 床面 위 10cm까지 灌水한 후 물이 자연적으로 감소되도록한 처리, 床面까지 灌水한 후 물이 자연적으로 감소되도록 한 처리, 床面까지 灌水한 후 골을 통하여 排水처리 등이며, 對照區는 灌水하지 않고 乾畚狀態로 유지하였다. 土壤의 水分含量과 酸化還元電位는 地下 5cm 부위에서 조사하였다.

土壤의 酸化還元電位는 redox meter(RM-1F, TOA, Japan)로 조사하고, 地中溫度計(digital thermometer SK-1300, SATO KEI-RYO-KI MFG. Co. LTD, Japan)로 토양온도를 조사하여 酸化還元電位의 값을 보정하였다. 土壤水分含量은 tensiometer(Moisture Indicator, Irrometer Co., U.S.A.)를 조사한 성적을 pF치로 환산하였다.

실험설계는 灌水期間, 覆土深 및 灌水量을 각각 主區, 品種을 細區로 한 分割區 配置法 3반복이었다.

結 果

1. 파종 후 灌水期間에 따른 벼 품종의 出芽率
파종 후 灌水期間이 出芽率에 미치는 영향은 담

수기간과 품종간에 교호작용이 없어, 담수기간 및 품종의 평균을 비교해 보면 표 1과 같다. 파종 후 4일까지는 담수기간이 출아율에 영향을 미치지 않았으며, 품종간에는 Tebonnet와 榮山벼가 出芽率이 높았고, 耽津벼가 가장 낮았다.

2. 灌水狀態에서 覆土深에 따른 벼 품종의 出芽率과 苗生存率

灌水狀態에서 覆土深과 9개 벼 품종의 出芽率 및 生存率과는 교호작용이 있어 覆土深別로 각 품종이 出芽率과 苗生存率을 보면 표 2와 같다. 복토하지 않고 토양표면에 파종하고, 1.5cm의 수위를 유지하였을 때는 품종간에 출아율에 차이가 없었으며, 출아한 대부분의 모는 잎이 水面 위로 자라 생존하였다. 그러나 출아율이 품종에 따라 72.0~85.5%로서 비교적 낮은 것은 파종전에 浸種이나 催芽를 하지 않았고, 水溫이 16~18℃로 비교적 낮게 유지되어 일부가 모썩음병에 감염된 것이 있었기 때문으로 생각된다. 한편 1.5cm 복토에서는 출아율은 40%이하로 아주 낮았고, 출아한 것도 잎이 물위로 자라지 못하고 죽는 개체가 많아 생존율은 더욱 낮았다. 그리고 품종간에는 榮山벼와 蟾津벼가 出芽率과 苗生存率이 다른 품종보다 높았으며, 盈德벼, 密陽 95號, 미국의 직파용 품종인 M101, M202는 중간이었으며, Newbonn-

Table 1. Percent of seedling emergence in 8 rice varieties for three water soaking periods after seeding

	Treatment	% seedling emergence
Soaking period(days)	0	63.9
	2	64.4
	4	76.3
Variety	Yeongsanbyeo	73.3b ^{1/}
	Hwajinbyeo	61.1cd
	Yeongdeugbyeo	67.4bc
	Seumjinbyeo	69.6bc
	Tamjinbyeo	58.1d
	Milyang 95	63.0cd
	Tebonnet	87.8a
	Lemont	65.2bc

^{1/}: Means within a column for a given item followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT).

et, Tebonnet, Lemont는 전혀 출아하지 않았다.

3. 播種後 灌水量에 따른 벼 품종의 出芽率

포장에서는 파종직후 灌水量과 10개 벼 품종의 立苗數 및 파종 후 35일에 조사한 草長과는 교호작용이 없어, 관수량간 혹은 품종간에 이 특성을 비교하면 표 3과 같다. 立苗數는 灌水하지 않은 대조구와 灌水處理間에 차이가 없었다. 그러나 草

Table 2. Percent of seedling emergence and seedling survival in 9 rice varieties at two seeding depths under the 1.5cm water level

	% seedling emergence		% seedling survival	
	0cm	1.5cm	0cm	1.5cm
Yeongsanbyeo	81.1	40.0 a ^{1/}	75.5	24.4a
Yeongdeugbyeo	75.6	14.5bc	75.6	5.5bcd
Seumjinbyeo	81.1	28.9ab	78.9	16.7ab
Milyang 95	72.2	17.8bc	72.2	8.9abc
M 101	72.2	10.0c	67.8	6.7bcd
M 202	75.6	14.4bc	71.1	5.5bcd
Newbonnet	82.2	0 d	80.0	0 d
Tebonnet	85.5	0 d	82.2	0 d
Lemont	80.0	1.1d	78.9	1.1cd
Average	78.4 A ^{2/}	14.1 B	75.8 A	7.6 B

^{1/}: Means within a column followed by the same small letter are not significantly different at the 5% level by DNMRT.

^{2/}: Average of varieties for a given seeding depth followed by the different large letter differs significantly at the 5% level by DNMRT.

Table 3. Number of seedlings and plant height of ten rice varieties flushed with different depth of water level immediately after seeding

	Treatment	No. of seedlings per m ²	Plant height (cm)
Depth of water level	FL 1 ^{1/}	177	17.5 b ^{2/}
	FL 2	179	19.0b
	FL 3	189	22.0a
	Control	174	21.4a
Variety	Chilseongbyeo	169	15.4e
	Gayabyeo	176	17.7d
	Samgangbyeo	186	18.3cd
	Yeongsanbyeo	197	21.6b
	Yeongdeogbyeo	185	21.4b
	Hwajinbyeo	198	20.1bc
	Palgongbyeo	184	23.7a
	Seomjinbyeo	181	20.1bc
	Tamjinbyeo	181	21.6b
	Milyang 95	166	20.0bc

^{1/} : FL 1 ; Naturally draining after flooding to 10cm above the seed bed.

FL 2 ; Naturally draining after flooding to the top of seed bed.

FL 3 ; Immediately draining after flooding to the top of seed bed.

Control ; Non-flooding.

^{2/} : Means within a column for a given treatment followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DNMRT.

長은 대조구와 床面까지 灌水한 후 排水한 처리에서 床面과 床面 위 10cm까지 灌水 후 자연 감소되게 한 처리보다 더 컸다. 품종간에 立苗數는 차이가 없었으나, 草長은 통일형 품종에서 일반형 품종보다 더 작았다.

4. 土壤의 水分含量과 酸化還元電位(Eh) 變化

灌水 후 지하 5cm 부위에서 조사한 土壤水分의 變化를 보면 그림 1과 같다. 灌水하지 않은 대조구에서는 파종 후 10일간의 土壤水分張力은 pF 2.5~2.8로 圃場容水量에 해당되는 값이었다. 그러나 파종 후 12~14일에는 18.5mm의 降雨로 인하여 pF 0로 土壤水分이 증가하였으며, 비가 그친 후 3일째부터 播種 후 18일 및 19일째에는 pF 치가 다시 각각 2.6 및 2.7로 土壤水分이 급격히 감소되었다.

灌水處理된 모든 토양은灌水 후부터 6일째까지 土壤水分은 pF 0로서 重力水를 많이 포함하고 있었으나灌水 후 7일째부터 土壤水分이 감소되기 시작하여 11일째에는 대조구의 토양수분보다 약간 많았다. 그러나 파종 후 12~14일까지 18.

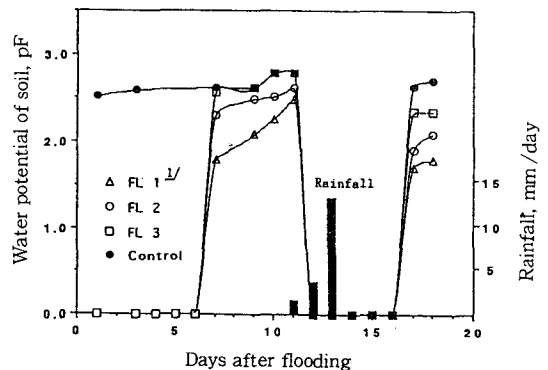


Fig. 1. Changes in water potential of soil after flooding of water.

^{1/} : The same as in Table 3.

5mm의 降雨에 의해서 다시 土壤水分이 飽和狀態를 유지했으며, 비가 그친 후 3일째부터 土壤水分이 다시 감소하기 시작하였으나 파종 후 관수량을 많이 처리한 구에서 토양수분함량이 많았다.

포장에서灌水 후 지하 5cm 부위에서 조사한 酸化還元電位(Eh)의 變化를 보면 표 4와 같다.

Table 4. Changes in redox potential(Eh₆) of soil after flooding (Unit : mV)

Days after flooding ^{1/}	Amounts of water flooded			
	Control	FL 1	FL 2	FL 3
1	476	443	453	448
7	540	504	505	504
16	542	518	542	543
26	562	545	557	562

^{1/} : The same as in Table 3.

灌水하지 않은 대조구에서는 파종 다음날에 Eh가 476mV이었으나 播種 후 8일째에는 540mV로 증가하였으며, 파종 후 17일과 26일째는 파종 후 7일째와 비슷하였다. 灌水處理에서는 灌水 다음 날 Eh는 443~453mV로서 無灌水보다는 낮았지만 灌水量間에는 큰 차이가 없었고, 7일째에는 약 500mV로서 灌水 다음날보다 다소 증가되었다. 그러나 灌水 후 17일과 26일째에는 床面까지 灌水하고 자연 감소되도록 방치한 처리와 灌水 후 바로 排水한 처리는 無灌水處理와 Eh가 비슷하였으나 床面 10cm 위까지 灌水한 처리는 Eh가 다른 처리보다 12~24mV 정도 낮았다. 또 灌水 후 11~13일에는 18.5mm, 19~21까지는 44.3mm의 降雨가 있었으나 降雨가 끝난 후 4~5일 후에 측정된 Eh는 모두 500mV이상으로 酸化狀態이었고, 灌水量間에는 차이가 없었다.

考 察

토양의 空氣量은 水分含量과 負의 相關이 있으므로 乾畚直播할 때 土壤水分은 出芽와 밀접한 관계가 있다. 그러나 본 시험에서는 상면 위 10cm까지 灌水하여도 파종 후 6일 이후에는 土壤水分張력이 pF 2.0~2.5로 증가되었고(그림 1), 파종 후 10일째부터 18.5mm의 降雨가 있어도 土壤의 酸化還元電位는 450mV 이상을 유지하여(표 2) 酸素不足에 의한 피해는 없어 立苗數가 灌水處理量에 영향을 받지 않았는 듯하다. 그리고 파종 후 4일까지 灌水하여도 出芽率에 영향이 없었고(표 1) 실제로 외국에서는 파종 후 土壤水分 부족으로

인한 發芽不良을 방지하기 위하여 한 두번 灌水하는 flushing이 벼 栽培에 이용되고 있어⁴⁾ 파종 후 灌水하거나 비가 와도 그 후 排水가 잘되면 發芽와 苗生育에는 지장이 없을 것으로 생각된다.

그러나 토양표면에는 1.5cm의 깊이로 灌水한 조건에서 1.5cm 覆土하였을 때 出芽率이 覆土하지 않았는 것보다 현저히 떨어지고, 出芽한 것도 床面 위로 자라지 못하여 죽는 개체가 많은 것은(표 2) 장기간 灌水狀態로 있으면 出芽에 심각한 문제가 있음을 보여준다.

벼 종자는 산소가 없어도 발아되고, 발 상태에서는 중배축과 초엽을 합하면 모든 품종이 최소한 4cm 이상 자랄 수 있는 潛在力이 있고^{8,12)}, 또 혐기성 조건에서도 초엽은 1.5~2.5cm 정도 신장하므로¹²⁾, 이론적으로는 물속에서도 알개 복토되면 출아할 수 있을 듯하다. 그러나 본 시험에서는 灌水條件에서 1.5cm 覆土하였을 榮山벼가 40.0%, 蟾津벼가 28.9% 出芽는 되었지만 정상적으로 자라지 못하여, 각각 24.4 및 16.7%만 생존하였으며, 다른 품종들은 15% 이하가 출아하였고, 7% 이하만이 생존하였다(표 2). 또 Tebonnet는 발상태에서는 7cm 복토에서 주로 초엽이 신장하는 다른 품종과 달리 중배축과 초엽이 함께 신장하여 깊은 복토심에서도 다른 품종보다 출아율이 월등히 높았으나¹¹⁾ 담수조건에서는 1.5cm 복토에서도 전혀 발아하지 않아 품종에 따라 酸素濃度, 發芽培地의 영향이 다른 듯하다. 초엽의 신장은 산소농도가 낮을 때 신장이 촉진되지만 뿌리와 잎은 0~5% 범위에서는 거의 직선적으로 증가하여¹¹⁾, 산소농도의 영향이 品種과 幼苗의 部位에 따라 다르고, 또 산소농도가 土壤水分, 覆土深 등에 따라 다르므로 벼 출아에 대한 연구는 더욱 체계적으로 수행되어야 할 것으로 보인다.

그리고 榮山벼, 蟾津벼 등은 다른 품종에 비하여 灌水條件에서 覆土深이 깊어도 出芽力이 크고, 포장에 直播할 때는 低溫, 過濕, 乾燥 등으로 出芽의 遲延과 不均一이 예상되므로 직파재배에 알맞은 品種育成과 아울러 不良環境에서도 出芽가 잘 될 수 있는 방안이 모색되어야 할 것으로 생각된다. 이상에서 고찰해 본 바와 같이 乾畚直播는 토양수분이 너무 많거나 적으면 발아가 불량하고,

乾畚이라도 과중하기 전에 비가 자주오면 과중작업이 어려우며, 과중하더라도 과습으로 인하여 입묘율이 낮다. 그런데 기상조건은 해에 따라 다르고, 비온 후 排水程度도 논에 따라 다르므로 입묘율 향상을 위한 재배방법의 개발이 필요하다. 乾畚直播는 平面과 畦立으로 할 수 있는데 토양수분이 알맞을 때는 어느 방법이나 발아에 문제가 없지만 토양수분이 많거나 적을 때는 畦立이 더 좋을 것으로 생각된다. 즉 乾畚畦立直播에서는 토양이 건조할 때 골에만 물을 관수하면 토양수분이 과다하지 않으며, 또 비가 와도 골로 물이 빠지므로 과습의 해를 막을 수 있다. 현재는 畦立播種機나 平均播種機라도 골을 팔 수 있는 장치를 부착하면 쉽게 과중할 수 있으므로 불량환경에 대비하여 乾畚畦立直播를 하는 것이 좋을 듯하다. 그리고 우리나라에서는 4월중에는 비가 자주 오지 않으므로 이때 비가 오기전에 과중하고, 그 후 5월에도 비가 오지 않으면 골에 관수하면 입묘수 확보에 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

摘 要

벼 건담휴립직과재배에서 발아시 토양수분과 입묘율과의 관계를 구명하기 위하여 七星벼, 伽倻벼, 三剛벼, 榮山벼, 盈德벼, 花珍벼, 八公벼, 蟾津벼, 耽津벼, 密陽 95號, M101, M202, Newbonnet, Tebonnet, Lemont 등 15개 품종을 공시하여 여러가지 토양수분함량과 복토심을 달리하여 과중시험을 하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 과중 후 4일간 灌水하였다가 排水하여도 出芽率에는 영향이 없었다.
2. 灌水條件에서 1.5cm 覆土하였을 때 出芽率은 40%이하로 土壤表面에 과중한 것보다 出芽率이 현저히 낮았고, 품종간에는 榮山벼와 蟾津벼의 出芽率이 가장 높았다.
3. 圃場에서 과중 후 床面 10cm까지 灌水하여도 出芽率에 영향을 미치지 않았다.
4. 土壤水分은 灌水 및 降雨 후 3~6일간은 pF 0이었고, 酸化還元電位는 443~453mV로 無灌水

보다 낮았다.

引用文獻

1. Bewley, J.D. and M. Black. 1985. Seeds. Physiology of development and germination. Plenum Press, New York and London. P. 367.
2. Crawford, R.M.M. 1977. Tolerance of anoxia and ethanol metabolism in germinating seeds. New Phytol. 79 : 511-517.
3. Everard, J.D. and R.A. Kennedy. 1985. Physiology of lipid metabolism during anaerobic germination of *Echinochoa crus-galli* var *oryzicola*. Plant Physiol. 77(4, supplement) : 98.
4. Humphreys, E., W. A. Muirhead, F.M. Melhuish, R.H.G. White, and P.M. Chalk. 1987. Fertilizer nitrogen recovery in mechanized dry seeded rice. In Efficiency of Nitrogen Fertilizers for Rice. IRRI : 107-118.
5. Kennedy, R.A., T.C. Fox, L.D. Dybiec, and M.E. Rumpho. 1989. Biochemical adaptation to anoxia in rice and *Echinochloa* seeds. In Recent advances in the development and germination of seeds : 151-163. Ed. by R. B. Taylorson. Plenum Press, New York.
6. 李哲遠·吳潤鎮. 1992. 韓美 벼品種의 水中發芽와 溶存酸素 吸水特性. 韓作誌 37(別冊 1號) : 72-73.
7. 李載暉. 1969. 中部地方에 있어서의 水稻乾畚直播栽培 技術體系確立에 關한 試驗研究. 韓作誌 7 : 1-30.
8. 李錫淳·白俊鎬·金台主·洪承範. 1993. 乾畚直播栽培에서 覆土深에 따른 벼品種의 生育과 收量. 韓作誌 38(2) : 174-182.
9. Rumpho, M.E. and R.A. Kennedy. 1983.

- Anaerobiosis in *Echinochloa crus-galli* (barnyard grass) seedlings. Intermediary metabolism and ethanol tolerance. *Plant Physiol.* 72 : 44-49.
10. 孫吉滿·洪光杓·宋根禹·李柚植. 1972. 南部地方의 벼 麥後作 直播栽培에 관한 研究. II. 播種深度가 出芽率, 뿌리分布 및 收量에 미치는 影響. 韓作誌 37(別冊) : 84-85.
 11. Turner, F.T., C.C. Chen, and G.N. McCauley. 1981. Morphological development of rice seedlings in water at controlled oxygen levels. *Agron. J.* 73 : 566-570.
 12. Turner, F.T., C.C. Chen, and C.N. Bolish. 1982. Coleoptile and mesocotyl growth in semidwarf rice seedlings. *Crop Sci.* 22(1) : 43-46.