

라이시미터 조건에서 토성이 벼의 생육 및 논토양의 지하삼투수량에 미치는 영향

채제천*† · 김성원*

*단국대학교 생명자원과학부

Effect of Soil Texture on Rice Growth and Paddy Soil Percolation under Lysimeter Condition

Je-Cheon Chae*† and Sung-Won Kim*

School of Bio-Resources Science, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea

ABSTRACT : The lysimeter experiment was conducted to investigate the temporal changes of irrigation requirements, soil water percolation and rice root distribution during rice growing period under different soil texture that were sandy loam, clay loam and clay paddy soil in 1999 and 2000. The irrigation requirement in the first year was 3,306 l/m² in clay loam, 2,650 l/m² in sandy loam and 2,002 l/m² in clay soil. However, the highest irrigation requirement was 5,281 l/m² in sandy loam and the next was 4,984 l/m² in clay loam and 3,968 l/m² in clay soil in the second year. Soil water percolation in the first year was 2,141 l/m² in clay loam, 1,228 l/m² in sandy loam and 862 l/m² in clay soil. However, in the second year, the highest water percolation of 4,448 l/m² was measured in sandy loam, and was followed by 3,833 l/m² in clay loam and 2,925 l/m² in clay soil. Distribution ratio of rice roots measured in 0~10 cm of soil depth was 56.0% in sandy loam, 61.4% in clay loam and 72.1% in clay soil, respectively. It was interpreted that the greater water percolation measured in the second year was caused mainly by the large amount of rice root growth. Therefore, it was concluded that the soil water percolation in rice paddy soil was affected greatly not only by soil texture but also the growth of rice root.

Keywords : paddy soil texture, soil water percolation, irrigation requirement, rice root distribution

벼농사에 쓰이는 관개용수량의 파악은 물 부족국가로 분류되어 있는 우리나라에서(한국수자원공사, 2001) 농업용수 절약은 물론 벼농사의 생산비와 투입에너지 절감을 위한 기초정보로 매우 중요하다(CRC Press, 1980). 또한 논토양에서의 지하삼투수량 파악은 2000년 기준으로 벼농사 농가의 질소 시비량이 기준 시비량보다 28%나 많은 14.1 kg/10a인 우리나라에서(농촌진흥청, 2001) 질산태 질소에 의한 지하수 오염

가능성을 줄이기 위한 실태 파악을 위하여 매우 중요하다.

저자들은 우리나라 논에서 벼 재배양식별 지하삼투수량은 무경운담수직파가 2,963~3,001 l/m²로 가장 많고 그 다음이 경운담수직파(2,500~2,551 l/m²), 무경운이랑(1,996 l/m²), 경운이랑(1,785~2,210 l/m²)이며, 질소용탈량은 무경운담수직파가 701 mg/m²로 가장 많고, 경운담수직파(494 mg/m²) 및 경운이랑(465 mg/m²) 순임을 보고한 바 있다(Chae, 1998; Kim et al., 2001). 논토양에서의 질소 용탈량은 용탈수 중의 질소 농도보다 지하삼투수량에 의해 지배된다고 하는데(채 등, 1999), 우리나라에서 토성에 따른 지하삼투수량은 보고된 바가 없다. 이 연구는 논토성에 따른 지하삼투수량을 밝혀 관개용수 절약과 질산태 질소 용탈량 추정을 위한 기초 자료로 이용코자 수행하였다.

재료 및 방법

논 토양에 하천 모래와 점토 성분의 산흙을 적절히 혼합하여 사양토(SL), 식양토(CL) 및 식토(C)를 인위적으로 만든 후 크기 94 × 49 × 64 cm, 표면적 4,606 cm², 용적 0.32 m³인 플라스틱 라이시미터(lysimeter)에 480kg씩 충전하였다. 토양 충전시 공극과 가비중이 자연상태의 논토양 조건과 유사하도록 하였다. 1999년부터 2000년까지 천안시 안서동 단국대학교 포장에서 난괴법 4반복으로 실험을 수행하였다.

공시 토양의 물리·화학적 특성은 Table 1과 같이 사양토, 식양토 및 식토의 pH가 각각 6.1, 5.3, 5.3이고 유기물 함량은 각각 3.3, 2.6, 1.7로 비교적 지력이 낮은 논 토양이었다.

추정벼 26일묘를 1999년에는 5월31일에, 2000년에는 6월3일에 30 cm × 15 cm의 재식거리로 1주 3본씩 라이시미터당 12주를 재식하였다. 시비량은 N-P-K를 요소, 용성인비 및 염화칼리로 15-8-9 kg/10a 시용하였다. 질소는 기비-분얼비-수비를 50 : 30 : 20%로, 칼리는 기비-수비를 70 : 30%로 분시하였고 인산은 전량 기비로 시용하였다. 물 관리는 라이시미터의

†Corresponding author: (Phone) +82-41-550-3621 (E-mail) chaejc@anseo.dankook.ac.kr

<Received April 30, 2001>

Table 1. Physico-chemical characteristics of soil used in the experiment.

Soil texture	Particle size distribution (%)			pH (1:5)	O.M. (%)	Av. P ₂ O ₅ (ppm)	Electric conductivity (dS/cm)	Ex. cation (cmol ⁺ /kg)			
	Sand	Silt	Clay					Na	Mg	K	Ca
Sandy loam	63.4	16.7	19.9	6.1	3.3	18.9	57.4	0.31	0.13	0.004	0.30
Clay loam	37.2	30.8	32.0	5.3	2.6	24.1	61.1	0.31	0.25	0.005	0.36
Clay	28.8	31.0	40.2	5.3	1.7	28.7	55.3	0.31	0.29	0.004	0.35

담수 깊이가 1~5 cm가 되도록 하였고 기타 재배관리는 표준 경종법에 준하였다. 벼 생육기간중 관수량 및 지하삼투량은 매일 조사하여 1주 단위의 평균으로 1일관개용수량 및 지하삼투수량을 표시하였다. 벼 뿌리 건물중은 2000년 수확기에 라이시미터 토양을 1주 재식면적인 넓이 30×15 cm, 깊이 50 cm 까지 파내고 10 cm 깊이로 나누어 뿌리를 취한 후 78°C에서 48시간 건조한 무게로 나타내었다. 강수량은 라이시미터 옆에 설치한 우량계로 측정하였다.

결과 및 고찰

토성에 따른 벼의 생육 및 수량

사양토, 식양토 및 식토 등 토성에 따른 벼의 초장은 1년차, 2년차 모두 유의차가 없었다. 이앙 후 86일에 조사한 분얼수도 2개년 모두 토성 처리간 유의차가 없었다. 출수기는 1999년이 8월25일, 2000년이 8월21이었다.

벼 정조 수량은 Table 2와 같이 1년차에는 사양토, 식양토, 식토가 각각 769, 798, 783 kg/10a이었고 2년차에는 각각 652, 632, 613 kg/10a이었는데 토성간에 유의한 차이는 아니었다. 기존의 연구(문 등, 1981; 정 등, 1982; 허, 1993)에서도 토성에 따른 벼 수량 차이는 근소하여 유의성은 없는 것으로 보고되었다.

Table 2. Yield and yield components of rice as influenced by soil texture under lysimeter condition in 1999 and 2000.

Soil texture	No. of panicles per hill	No. of spikelets per panicle	1000 grain weight (g)	Grain filling ratio (%)	Rough rice yield (kg/10a)
1st year (1999)					
Sandy loam	20.0	79.5	21.3	81.9	769
Clay loam	20.0	80.2	21.3	84.3	798
Clay	20.0	79.6	20.6	85.9	783
F-value	NS	NS	NS	NS	NS
2nd year (2000)					
Sandy loam	16.9	86.2	20.2	80.9	652
Clay loam	16.8	81.1	20.2	83.2	632
Clay	16.3	81.6	19.9	83.7	613
F-value	NS	NS	NS	NS	NS

Table 3. Total irrigation amount and maximum daily irrigation (l/m²) during rice growing period as influenced by paddy soil texture under lysimeter condition in 1999 and 2000.

Soil texture	1999		2000	
	Maximum daily irrigation	Total irrigation amount	Maximum daily irrigation	Total irrigation amount
Sandy loam	38.0	2,650	66.7	5,281
Clay loam	61.0	3,306	54.2	4,984
Clay	25.6	2,002	45.1	3,968

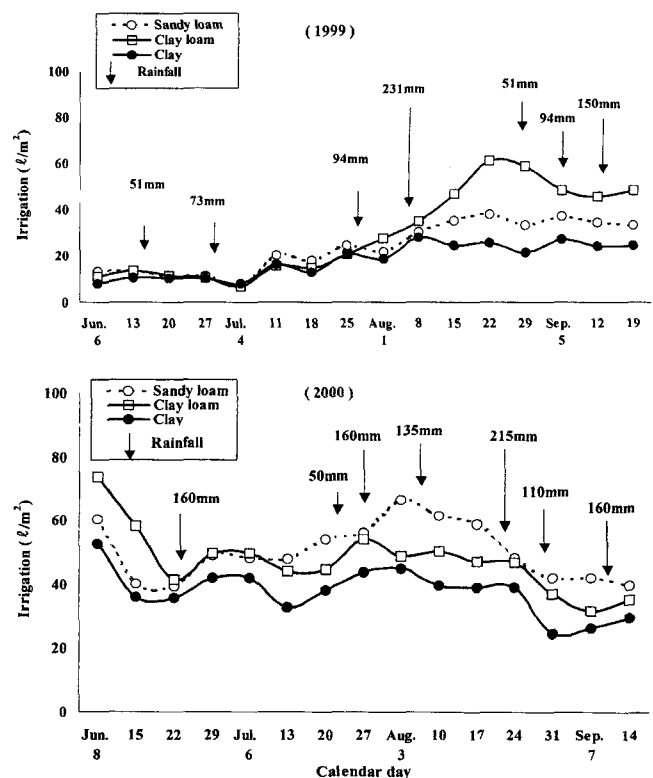


Fig. 1. Time course changes in irrigation during rice growing periods as influenced by soil texture under lysimeter condition in 1999 and 2000.

토성에 따른 관개용수량

벼 재배기간중 토성에 따른 총관개용수량은 Table 3과 같다. 1년차에는 식양토, 사양토, 식토 순으로 관개용수량이 많아서 각각 3,306, 2,650, 2,002 l/m²이었고, 2년차에는 사양토, 식양토, 식토의 순으로 많아서 각각 5,281, 4,984, 3,968 l/m² 이었다. 이러한 결과는 경운이양재배시의 총관개용수량이 2,321~2,389 l/m²라는 보고(Chae, 1998; Kim *et al.*, 2001)와 비교해 볼때 1년차의 관개용수량은 토성 차이를 반영한 합리적인 결과라 생각되나 2년차의 결과는 전반적으로 1년차보다 많았고 특히 사양토의 관개용수량이 많아진 것이 특징적이었다.

토성에 따른 관개용수량을 벼 생육시기별로 보면 Fig. 1과 같다. 1년차 이양 직후에는 토성간 큰 차이 없이 1일 7~18 l/m²의 관개용수량을 보였으나 분얼성기를 지나면서 점차 증가하여 출수기경에 최고를 보인 후 등숙기에는 다소 감소하는 양상을 보였다. 토성간에는 식양토의 관개용수량이 가장 많았고 사양토, 식토의 순으로 적었다. 1일 최대 관개용수량은 사양토가 38.0 l/m², 식양토가 61.0 l/m², 식토가 25.6 l/m²이었다.

2년차의 관개용수량은 1년차와는 달리 이양 직후부터 매우 많았으며 이양후 20일경까지 급감한 후 안정되는 추세를 보였다. 최고분얼기와 출수기 경의 관개용수량은 1년차 만큼 많지 않았고 등숙기에는 상당히 감소하는 양상을 보였다. 토성 간에는 이양 직후에는 식양토의 관개용수량이 가장 많았고 사양토, 식토 순으로 적었으나 분얼 성기 이후에는 사양토에서의 관개용수량이 식양토보다 많았다. 1일 최대 관개용수량은 사양토가 66.7 l/m², 식양토 54.2 l/m², 식토 45.1 l/m²이었다.

2년차의 출수기 이후 관개용수량이 감소한 것은 8월중순~9월중순 사이의 강우량이 1년차보다 487 mm나 더 많았고 또 8월말의 벼 초장은 1년차에 비하여 5 cm나 적고 분얼은 10.6 개나 적어서 증발산량이 감소하는 등 관개수의 소모량이 감소한데서 비롯된 결과로 해석되었다. 관개용수량은 기상, 벼의 생장량 및 지하삼투수량과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Chae, 1998; Kim *et al.*, 2001, 김·김, 1983; 伊藤, 1992).

토성에 따른 지하삼투수량

벼 재배기간중 논토양의 토성에 따른 지하삼투수량을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 지하삼투수량은 1년차에는 식양토

Table 4. Total percolation amount and maximum daily percolation (l/m²) during rice growing period as influenced by paddy soil texture under lysimeter condition in 1999 and 2000.

Soil texture	1999		2000	
	Maximum daily percolation	Total percolation amount	Maximum daily percolation	Total percolation amount
Sandy loam	20.5	1,228	60.4	4,448
Clay loam	39.1	2,141	46.8	3,833
Clay	14.2	862	35.0	2,925

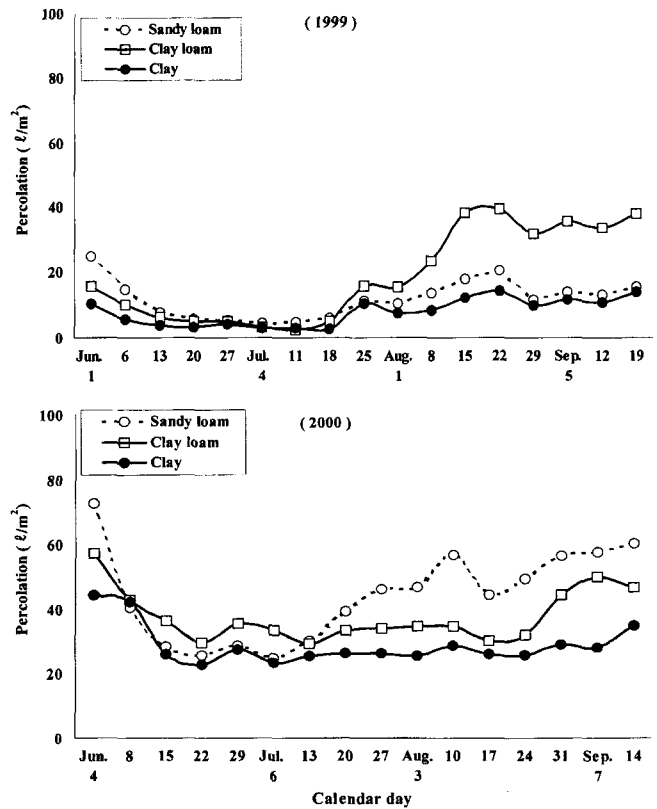


Fig. 2. Time course changes in percolation during rice growing periods as influenced by soil texture under lysimeter condition in 1999 and 2000.

가 2,141 l/m², 사양토 1,228 l/m², 식토 862 l/m²로 식양토에서 가장 많았으나, 2년차에는 사양토 4,448 l/m², 식양토 3,833 l/m², 식토 2,925 l/m²로 사양토에서 가장 많았다.

이러한 결과는 경운이양의 지하삼투수량이 1,785~2,210 l/m²라는 Chae(1998)와 Kim *et al.*(2001)의 보고 및 500 mm라는 이(1995)의 보고와 비교해 볼 때 1년차는 비슷하였으나 2년차는 1년차에 비하여 대단히 많은 것이었다.

한편 벼 재배기간중 토성에 따른 지하삼투수량의 변화 추이를 Fig. 2에서 보면 1년차의 지하삼투수량은 모든 토성에서 이양후 20일경까지 급감한 후 최고분얼기경부터 증가하여 출수기경 최고를 보인 후 등숙기에는 다소 감소하는 양상을 보였다. 토성간 삼투수량은 이양 직후에는 사양토에서 많았으나 최고분얼기 이후부터는 식양토에서 많았고 그 다음이 사양토, 식토 순이었다. 1년차 출수기경의 지하삼투수량은 식양토 39.1 l/m², 사양토 20.5 l/m², 식토 14.2 l/m²이었다.

2년차에는 이양 당초부터 지하삼투수량이 1년차보다 많았고 이양직후 급감하였다가 최고분얼기 이후 등숙기까지 증가하는 양상을 보였다. 토성간에는 이양직후 3일간은 사양토에서의 지하삼투수량이 가장 많았고 식토가 가장 적었으나, 이양 3일 이후부터 최고분얼기까지는 식양토에서 가장 많았다. 최고분얼기 이후 등숙기까지는 사양토에서의 지하삼투수량이 가장 많

Table 5. Root dry weight(g) per rice hill at different soil depth as influenced by paddy soil texture in lysimeter condition at harvest time in 2000.

Soil depth	Soil texture		
	Sandy loam (ratio, %)	Clay loam (ratio, %)	Clay (ratio, %)
0~10 cm	32.7 (56.0)	33.9 (61.4)	39.3 (72.0)
10~20 cm	8.0 (13.8)	9.2 (16.7)	7.3 (13.4)
20~30 cm	8.2 (14.0)	7.0 (12.6)	4.5 (8.2)
30~40 cm	7.2 (12.4)	4.3 (7.8)	3.4 (6.3)
40~50 cm	2.3 (3.9)	0.8 (1.4)	0.1 (0.1)
Total	58.4 (100)	55.2 (100)	54.6 (100)

았다. 2년차 등숙기의 지하삼투수량은 사양토 60.4 l/m², 식양토 46.8 l/m², 식토 35.0 l/m² 이었다.

토성에 따른 벼 뿌리 분포

라이시미터에서 깊이 50 cm 까지 분포하는 벼 뿌리 건물중을 10 cm 깊이로 나타내면 Table 5와 같다. 1주당 뿌리 건물중은 사양토가 58.4 g, 식양토가 55.2 g, 식토가 54.6 g으로 사양토가 다소 많았고 식토가 가장 적었다. 토양 깊이별 벼 뿌리의 분포 비율은 지표하 10 cm의 깊이에 사양토에서는 뿌리의 56.0%가 분포하나 식양토는 61.4%, 식토는 72.0%로 식토일수록 지표부 분포비율이 높았다. 지하삼투수와 밀접한 관련이 있을 것으로 생각되는 지표하 30~50 cm 깊이의 뿌리 건물중은 사양토에서 9.5 g, 식양토에서 5.1 g, 식토에서 3.5 g으로 사양토일수록 심근이 많아 기존의 보고(渡邊, 1969)와 일치하였다.

벼 재배기간 중 지하삼투수량 및 관개용수량이 벼의 생장이 가장 왕성한 최고분얼기를 지나면서부터 증가함은 전보(Chae, 1998; Kim *et al.*, 2001; 채 등, 1999)와 동일하였다. 즉 최고분얼기 경에는 벼의 뿌리가 깊게 신장하고 생식생장기에 접어들면서 뿌리의 노화 및 부식으로 지하삼투수량이 증가하는 것으로 볼 수 있다(Chae, 1998; 김·김, 1983; 伊藤, 1992).

그러나 논 토양의 지하삼투수량이 1년차, 2년차 모두 이양당초에는 사양토, 식양토, 식토 순으로 많으나 최고분얼기를 지나면서 1년차에는 식양토에서 가장 많았고 2년차에는 사양토에서 많았던 것은 지하삼투수량이 토성 자체 뿐 만 아니라 벼의 생육 특히 근계 발달 여하의 영향을 크게 받는 것으로 해석되었다. 즉 1년차에는 식양토에서의 벼 생육이 가장 좋았고 따라서 근계 발달도 좋았을 것이므로 식양토에서의 지하삼투수량이 많게 나타났다고 보여진다. 2년차에는 1년차에서 자란 벼 뿌리의 영향으로 이양 초기부터 지하삼투수량이 많았고 벼의 생육은 사양토에서 좋았기 때문에 이의 영향으로 지하삼투수량도 사양토에서 증가한 것으로 고찰되었다.

논토양에서의 질산태 질소에 의한 지하수 오염 가능성은 지하삼투수량이 많을수록 높아지는데(윤·유, 1993; 채, 1999)

우리나라 논은 사질답의 비율이 31.9%인 41만여 ha나 되는 만큼(농촌진흥청, 1992) 사질계 토양에서의 지하 삼투에 의한 관개용수 손실에 대하여 각별히 유의할 필요가 있다. 또한 벼 생산 투입 에너지의 30%에 달하는(CRC Press, 1980) 관개 에너지의 절약은 쌀 생산비 절감과 농업에너지 절감에도 크게 기여할 것이다. 아울러 출수기 이후 등숙기간 중의 지하삼투수량이 적지 않은 것으로 보아 사질계 논에서는 질산태 질소에 의한 지하수 오염 방지를 위하여 절대 질소 시비량을 줄이면서 특히 수비와 실비 등 생육 후기 질소 시비 비율을 낮추어야 할 것으로 사료되었다. 이는 환경농업 측면에서 뿐만 아니라 쌀알의 질소 함량을 낮추어 식미를 좋게 하는데도(新潟縣農林水産部, 1996) 긍정적인 영향을 미치리라 생각되었다.

한편 이 연구에서 밝혀진 1년차와 2년차의 지하삼투수량 차이는 작물연구에서 pot실험의 어려움을 잘 나타내는 것으로 생각되는데 인위적으로 토양을 담은 pot 실험 첫해에는 전년도에 자란 뿌리가 없어 삼투수량이 매우 적으나 2년차에는 전년도 뿌리의 영향으로 삼투수량이 크게 증가함으로 pot 실험의 정확을 기하려면 토양 충전후 작물을 1년 이상 재배한 이후라야 할 것으로 사료되었다.

적 요

논토양의 토성에 따른 벼의 수량, 관개용수량 및 지하삼투수량의 차이를 구명코자 사양토, 식양토, 식토 등 3종류의 토성에서 1999년과 2000년 라이시미터(lysimeter) 조건에서 실험한 결과는 다음과 같다.

1. 벼의 초장과 분얼 및 쌀 수량은 토성 처리간 유의한 차이가 없었다.
2. 벼 생육기간 중 총관개용수량은 1년차에는 식양토, 사양토, 식토 순으로 각각 3,306, 2,650, 2,002 l/m²이었고 2년차에는 사양토, 식양토, 식토 순으로 각각 5,281, 4,984, 3,968 l/m² 이었다.
3. 벼 재배기간중 총지하삼투수량은 1년차에는 식양토, 사양토, 식토가 각각 2,141, 1,228, 862 l/m²이었고, 2년차에는 사양토, 식양토, 식토에서 각각 4,448, 3,833, 2,925 l/m²이었다.
4. 지표면하 10 cm까지의 깊이에 분포하는 벼 뿌리의 비율은 사양토 56.0%, 식양토 61.4%, 식토 72.0%로 식토일수록 표층부 분포 비율이 높았다.
5. 논토양에서 지하삼투수량은 토성의 영향도 있으나 토양 중 벼 뿌리 성장량의 영향도 있어서, 뿌리 성장량이 많았던 처리구의 지하삼투수량이 증가하는 것으로 나타났다.

사 사

이 연구는 2000학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

인용문헌

- Chae, J.C. 1998. Effect of tillage and seeding methods on percolation and Irrigation requirement in paddy condition. *Korean. J. Crop Sci.* 43(4) : 264-268.
- 채제천, 손상목, 최준수, 권태진, 김연중, 오세익. 1999. 작물생육 시 물레이션 모델 및 환경보전형 최적시비 전문가 시스템 개발. 농림부. pp.25-26.
- 정연태, 양의석, 박래경. 1982. 우리나라 답토양의 실용적 분류에 관한 연구. *한국토양비료학회지*, 15(2) : 138-139.
- CRC Press. 1980. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. pp.94-98.
- 한국수자원공사. 2001. <http://www.kowaco.or.kr>.
- 허봉구. 1993. 토성별 경운방법이 비 수량과 토양 특성에 미치는 영향. *한국토양비료학회지*, 38(3) : 290-295.
- 伊藤純雄. 1992. 水稲根周邊における窒素移動のモデル的解析. *日土肥誌* 63(6) : 65 2-657.
- Kim, D. W., J. C. Chae, and S. W. Kim. Effect of cultural practices on water percolation rate, irrigation requirement and nitrogen leaching under lysimeter condition of rice paddy soil. *Korean J. of Crop Sci.* 46(1) : 6-11.
- 김광식, 김용용. 1983. 논 토양성분의 용탈에 관한 연구. *한국토양비료학회지* 16(4) : 313-315.
- 이선용. 1995. 우리나라에 있어서 벼 직파재배 기술개발. 한·일 벼 직파재배 세미나. 작물시험장. pp. 34-50.
- 新潟縣農林水産部. 1996. 水稻栽培指針. pp.48-49.
- 농촌진흥청. 1992. *한국토양총설*.
- 농촌진흥청. 2001. *식량작물*. p.96.
- 문 준, 엄기태, 윤관희. 1981. 답토양의 형태적 특성과 잠재생산력과의 관계. *한국토양비료학회지* 14(4) : 174-186 .
- 渡邊和之. 1969. 土壤の物理性と作物の生育および収量との關係. *日作記*. 38 : 652-656.
- 윤순강, 유순호. 1993. 토양 중 질산태질소의 행동과 지하수질. *한국환경농학회지* 12(3) : 281-296.