

절개지 토양에서 수분조건과 근류균 접종이 등나무 유묘생장에 미치는 영향¹

박종민²

Effects of Water Conditions and *Rhizobium* Inoculation on the Growth of *Wisteria floribunda* Seedlings in Slope Soils¹

Chong-Min Park²

요 약

본 연구에서는 암석비탈면 등에서 주요 녹화식물로 많이 이용되고 있는 등나무를 대상으로 황폐지 토양조건에서 인위적으로 함수율을 조절하여 등나무의 내건성과 토양수분조건에 따른 성장특성을 시험하였는 바, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 등나무 묘목은 토양함수율 5% 수준에서 수분 스트레스를 받아 고사하였고, 토양함수율 10% 수준에서는 전 성장기간 동안 성장률에 큰 변화가 없었다. 따라서 본 시험토양에서 토양함수율 5% 수준이 등나무 묘목의 위조함수율이며, 토양함수율 10% 수준이 생장에 대한 임계토양수분 범위로서, 등나무는 내건성이 있는 것으로 확인되었다.

2. 묘목의 신장생장, 직경생장, 엽생장, 총 건물생산량 등의 주요 성장요소들을 기준으로 분석한 결과 등나무 묘목의 생장은 전반적으로 토양함수율이 높을수록 양호하였으며, 이들 각 성장요소들(Y)은 토양함수율(W)에 대해 $Y = a + bW + cW^2$ 의 곡선형을 나타내었다.

3. 토양함수율 20% 이상에서는 성장기간이 길어질수록 묘목 성장량이 뚜렷이 증가하였으며, 각 토양함수율 수준에서 묘목 성장량(Y)은 성장기간(D)에 대해 $Y = a + bD + cD^2$ 의 곡선형을 나타내었다.

4. 토양함수율 20% 이상에서는 동일한 수분조건에서 근류균 접종구는 대조구에 비해 총 건물생산량을 기준으로 하면 평균 30%의 성장촉진효과가 있었다.

5. 근류균은 토양함수율이 높을수록 접종이 용이하고 근류의 형성량도 많았다.

주요어 : 영구위조점, 내건성, 묘목생장, 근류

ABSTRACT

The objectives of this research were to investigate the drought resistance as well as the growth of *Wisteria floribunda* seedlings with the soil water conditions. The seedlings for the research were grown in pots with strict water content control on a frame located outdoors. During the experiments, the soil water contents were adjusted to 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, and 70%. In addition, the effects of *Rhizobium* inoculation on the growth of seedlings were investigated. The experimental results are summarized as follows:

1 접수 7월 28일 Received on Jul. 28, 2006

2 전북대학교 산림과학부, 농업과학기술연구소 Division of Forest Science, Chonbuk National University, Jeonju(561-757), Korea (cnpark@chonbuk.ac.kr)

1. The seedlings in the pots with 5% soil water content withered to death due to the water stress. Withering or any distinct growth was not observed from the seedlings in the 10% soil water content. It can be inferred from these results that about 5% of soil water content is the wilting point of *W. floribunda* seedlings and about 10% is the critical soil water content of its growth in this experiment soils. Therefore, it seems that *W. floribunda* possesses a good drought resistance.

2. From the analyses of the main growth parameters such as stem elongation, diameter growth, leaf area growth and total dry weight, it was found that the seedling growth can be improved with increasing soil water contents. The relation between each growth parameter(Y) and the soil water contents(W) was well described by a quadratic equation, $Y = a + bW + cW^2$.

3. In soil water contents higher than 20%, the seedling growth(Y) was remarkable along with its extended growing period, and related to the growing period(D) by a quadratic equation, $Y = a + bD + cD^2$.

4. The artificial inoculation of *Rhizobium* promoted the growth of *Wisteria floribunda* seedlings.

5. *Rhizobium* was found to be more readily inoculated and to form more root nodules compared to seedlings grown in higher soil water contents.

KEY WORDS : WILTING POINT, DROUGHT RESISTANCE, SEEDLING GROWTH, ROOT NODULES

서론

우리나라의 삼림황폐지, 붕괴지 및 황폐계류 등 요소 방지는 토목공학적인 방법과 조림학적 방법으로 복구·녹화하여(박호건, 1987; 산림청, 1989; 우보명, 1967; 이천용, 1986), 1980년대에 복구사방사업이 마무리 단계에 이르렀다. 그러나 급속한 공업화에 따른 공장부지 조성 및 확장, 도시개발에 따른 택지조성과 국토개발에 의한 각종 건설사업으로 절개지 및 훼손지가 많이 발생하고 있어서 이에 대한 복구대책이 요구되고 있다. 뿐만 아니라, 하계의 집중호우로 인한 산사태가 매년 발생하고 있으며, 임도의 절토 및 성토비탈면에서 토사유출과 붕괴가 자주 발생하는 사례가 있어 복구사방은 물론 예방사방이 절실히 요청되고 있다.

절개지 및 훼손지는 식물의 성장기반이 대체로 제한되어 있고 성장기반토양의 이화학적 성질이 불량하여 식물의 생육에 부적합한 상태이다. 즉, 무리한 절취로 인하여 노출된 토양단면은 B, C층이 많아서 유기물을 비롯한 토양층의 각종 양분이 부족하고, 특히 입도분포가 고르지 못하여 점토질이 적기 때문에 토양의 보수력이 낮다. 따라서 녹화수목은 대부분 수분부족상태에서 생육하게 되므로 식재 후에 고사하거나 생장이 불량하여 녹화공의 효과를 발휘하지 못하게 되는 경우가 많다

(Sheldon, 1975; Sheldon *et al.*, 1976; 박병익 등, 1987a; 1987b; 岩川, 1978; 岩川 등, 1980; 박호건, 1987). 이와 같이 성장기반이 불량한 녹화시공지에서는 식물의 여러 가지 내환경성 중에서도 특히 내건성이 녹화공의 성패를 결정짓는 요인이 되므로, 식재기반의 조성과 더불어 녹화식물의 내건성에 관한 연구는 중요한 의의를 갖는다.

우리나라에서 녹화수종의 내건성에 관한 연구는 이일구 등(1971)이 독나지의 토양특성과 식생을 조사하여 독나지 녹화용으로 적합한 몇 가지 내건성 수종을 밝힌 이후 싸리나무, 아까시나무, 족제비싸리, 박태기나무 등 일부 사방 녹화수종에 대한 내건성이 보고된 바 있다(이호준 등, 1975; 김원, 1977; 홍경해 등, 1982; 김원 등, 1984). 그러나 암석 비탈면 등을 전면녹화하는 데에 많이 이용되고 있는 등나무, 담쟁이, 철 등의 만경식물의 내건성에 관한 연구는 아직 수행된 바 없다.

따라서, 본 연구는 우리나라에서 많이 이용되고 있는 녹화용 만경식물 중에서 등나무를 대상으로 하여, 척박한 절개지의 토양에서 수분조건에 따른 내건성과 성장특성을 구명함으로써, 산림 내 및 각종 부지의 토목공사 시공지 가운데서 암석비탈면에 있어서 적절한 식재기반 조성 및 관리방법을 수립하여 경관을 복구하는 데에 기초 자료를 제공할 목적으로 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험재료

1) 시험식물

본 연구에서는 등나무(*Wisteria floribunda*)를 시험식물로 사용하였으며, 등나무의 종자는 1990년 11월 전북대학교 농업생명과학대학 묘포장에 생육하고 있는 20년생 등나무 1본에서 채취하여 겨울동안 노천매장하였다.

2) 시험토양

본 연구에서 사용한 토양은 1990년 11월 전북대학교 농업생명과학대학 내에 위치한 절개지 비탈면의 하단부에서 채취하였다. 채취한 토양은 10번 체(2mm)로 체가름하여 김원(1977) 등의 방법에 따라 Vermiculite와 토양을 용적비율 2:1(v/v)로 혼합하여 시험토양으로 사용하였다. 절개지 비탈면에서 채취하여 체가름한 토양과 vermiculite 그리고 시험토양의 토성, 포장용수량 및 화학적 성분은 Table 1에 나타난 바와 같다. 본 실험에서는 1/5000a Wagner pot를 재배용기로 사용하였다.

2. 연구방법

1) 시험설계

본 연구에서는 식물생장과 관련한 다음의 3가지 요인을 채택하였다.

① 요인 A는 토양함수율로서 공시토양 포장용수량의 60% 범위 내에서 건토량 대비 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%의 8개 수준으로 하였다.

② 요인 B는 근류균 접종처리로서 근류균 접종구와 무접종구(대조구)로 하였다.

③ 요인 C는 생육기간으로서 발아 30일 후부터 매 20일 간격으로 6회의 조사구를 두었다.

시험구 배치는 A, B, C 세 요인을 결합하여 각 시험구에 대해 3반복으로 배치하였다.

2) 시험식물의 파종

1991년 4월 28일 종자의 중량이 1g 정도(1.04±0.11g) 되는 충실한 종자만을 선별하였다. 종자를 멸균증류수로 충분히 세척한 다음 5% 승홍수에 5분간 담갔다, 70% 에칠알코올에 30초 정도 침지시켜 표면살균한 후 멸균수로 5회 이상 세척하였다. 파종상자에 Vermiculite를 채우고 살균한 종자를 파종하여 성장상에서 발아시켜 5월 6일 1cm 정도 발근한 것을 각 pot에 8립씩 1cm 깊이로 파종하였다.

3) 근류균의 분리 배양 및 접종

근류균을 가진 뿌리혹은 1991년 4월 25일 종자를 채취한 등나무에서 채취하였다. 균의 분리는 Behringer (1973), Graham(1969)의 방법에 따라 충분히 세척한 뿌리로부터 근류균을 채취하여 시험관 속에 넣고 멸균증류수로 충분히 세척하였다. 세척 후 70% 에칠알코올에 30초 정도 담갔다 0.1% 승홍수에 5분간 침지시켜 표면살균한 다음 멸균수로 5회 이상 세척하여 표면에 잔류하는 승홍수를 제거하였다. 그 후 멸균된 여과지로 근류균 표면의 수분을 제거하고 멸균된 해부칼로 근류균의 종양을 절개하여 그 즙액을 백금이로 YMA 평판배지(K₂HPO₄ 0.5g, MgSO₄·7H₂O 0.2g, NaCl 0.1g, Mannitol 10g, Agar 15g, Yeast extract 15g, 증류수 1000ml)에 Streak 접종하여 27±1°C 항온기에서 배양하였다. 5일 동안 배양하여 얻어진 집락을 다시 단집락으로 분리하여 순수한 근류균을 분리하였다. 균의 증식은 고체배지상에서 자란 균을 50ml의 액체배지인 Yeast extract mannitol broth(YMB)에 백금이로 접종하여 27°C의 항온 진탕기에서 2일간 배양한 다음, 배양된 균 1ml씩을 증식용 액체배지에 접종하여 27±1°C에서 3일 동안 진탕배양(120 strokes/min.)하였다. 근류균의 접종은 균이 증식되어 있는 액체배양액을 종자 파종 전에 각 pot당 10ml씩 토양 속에 주입하여 접종하였다.

4) 토양함수율 조절

pot 내 전체 토양의 함수율을 설정된 각 실험수준으로

Table 1. Physical and chemical characteristics of experimental soils

Soil materials	Grain size(%)			Texture	Field capacity (%)	pH (1:5)	Organic matter (%)	Total nitrogen (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	C.E.C (me/100g)	Exchangeable Cation (me/100g)			
	Sand	Silt	Clay								Ca	Mg	Na	K
Sampling soils	80.2	10.1	9.7	Loamy sand	62.83	5.02	0.32	0.024	12.8	5.9	1.1	0.3	0.56	0.18
Pot soils	Sampling soils+Vermiculite (1:2,V/V)				123.78	5.84	0.25	0.010	30.4	16.3	7.2	4.0	2.83	2.76

정확히 조절하기 위하여 예비시험을 실시하였다. 시험 결과 가장 적합한 것으로 판단된 포장용수량 상태에서 자연건조 후 급수관을 이용한 배선 급수방법으로 pot 내 토양의 함수량을 목표수준으로 일정하게 유지시켰다. 즉, pot에 일정량의 토양을 채우고 급수관을 매설하고 pot 밑으로 배수 될 때까지 관수한 다음, 12시간 후에 함수율을 측정하고 5일 간격으로 pot의 중량을 칭량하여 토양함수율을 측정하였다, 파종 시에 pot의 토양함수율은 $86.52 \pm 1.37\%$ 이고, 발아개시 후 30일이 경과한 6월 10일에는 $32.41 \pm 2.04\%$ 이었는데, 이때부터 40%~70% 시험구에 대하여 수분조절을 개시하였다. 30% 시험구는 6월 7일, 20% 시험구는 6월 12일, 10% 시험구는 6월 23일, 그리고 5% 시험구는 6월 30일에 목표수준에 도달하여 각각 당일부터 수분조절을 시작하였다. 토양함수율을 일정하게 유지하기 위하여 김원(1977)의 방법에 따라 매일 하오 6시부터 각각의 pot를 저울로 칭량하면서 적정수량을 급수관을 통해 공급하였는데, pot에 공급하는 물은 이온교환수(pH 7.0)를 사용하였다. 또한, 매 표품추출 후에는 식물체의 생중량을 고려하여 각 함수율 수준별로 공급수량을 일정하게 증량하였다.

5) 관리

길이 10m × 폭 5m × 높이 2m의 하우스를 제작하여 고온 및 과량의 광투과를 조절하기 위하여 자연광의 50% 차광망을 설치하였으며, 강우 시에는 비닐멀칭을 하여

빛물을 차단하였다. 지표면으로부터의 오염과 수분침투를 방지하기 위해 Frame(길이 120cm × 폭 90cm × 높이 40cm)을 설치하고 그 위에 pot를 올려놓았다. 5월 30일에 본엽 2~3매 경장 7~8cm인 거의 균일한 식물체를 pot마다 4본씩 남겨 두고 나머지는 제거하였으며, 식물체의 상호 피음이 일어나지 않도록 매일 수분공급 시에 pot의 위치를 바꾸어 놓았다.

6) 묘목의 성장량 조사

발아 후 30일이 지난 6월 10일부터 9월 20일까지 10일 간격으로 6회에 걸쳐서 각 시험구마다 무작위로 3개의 pot로부터 10개체씩을 채취(표품추출)하여 묘목의 성장량과 근류형성량을 조사하였다. 매 조사 때마다 묘목의 줄기 길이, 근원직경, 엽수와 엽면적, 뿌리의 길이, 그리고 줄기·잎·뿌리의 건중량을 측정하였다. 줄기와 뿌리의 길이는 1.0mm까지, 근원직경은 0.05mm까지 측정하였고, 엽면적은 Delta-T Devices의 Area Meter(Model MK2)를 이용하여 1.0cm²까지 측정하였다. 건중량은 생중량을 측정된 개체들을 80℃에서 72시간 건조시킨 후 칭량하였다. 근류의 형성량은 건중량으로 표시하였으며, 균근의 발달상태는 해부현미경으로 관찰하였다.

7) 통계분석

시험결과의 통계분석은 SAS Version 6(SAS Institute, Cary, N.C.)를 이용하여 확률 95% 수준에서 처

Table 2. Effects of the different soil water content and *Rhizobium* treatment on the growth of *W. floribunda* seedlings from the last sampling

Soil Water Content (%)	<i>Rhizobium</i> treatment	Stem height (cm)	Root collar diameter (mm)	Root length (cm)	Number of leaflets	Leaf are// ^a (cm ²)	Total dry wt. (mg)
5	Control	death	death	death	death	death	death
	Inoc.	death	death	death	death	death	death
10	Control	15.75 ^e	4.59 ^c	17.52 ^b	42.3 ^f	196.6 ^g	226.45 ^f
	Inoc.	17.50 ^e	4.69 ^c	17.13 ^b	50.2 ^f	259.6 ^{fg}	232.86 ^f
20	Control	31.94 ^d	6.48 ^d	16.00 ^b	94.8 ^e	383.7 ^f	406.65 ^c
	Inoc.	32.20 ^d	7.89 ^{bc}	15.60 ^b	94.8 ^e	613.2 ^{de}	581.84 ^{cd}
30	Control	36.75 ^{cd}	6.69 ^d	17.60 ^b	101.5 ^{de}	518.5 ^e	548.02 ^d
	Inoc.	38.45 ^{cd}	8.52 ^b	15.80 ^b	105.7 ^{de}	671.1 ^d	703.02 ^{bc}
40	Control	47.03 ^{bc}	7.25 ^{cd}	16.25 ^b	117.0 ^{cde}	638.7 ^{de}	737.68 ^b
	Inoc.	46.80 ^{bc}	9.46 ^a	19.30 ^{ab}	110.8 ^{de}	749.5 ^{cd}	761.48 ^b
50	Control	53.10 ^b	7.60 ^{bc}	15.30 ^b	140.0 ^{abc}	670.1 ^d	755.13 ^b
	Inoc.	53.50 ^b	10.02 ^a	21.90 ^a	123.9 ^{bcd}	962.1 ^{ab}	966.46 ^a
60	Control	56.05 ^b	7.75 ^{bc}	17.60 ^b	136.2 ^{abc}	840.9 ^{bc}	823.71 ^b
	Inoc.	66.63 ^a	10.06 ^a	19.39 ^{ab}	140.9 ^{ab}	1040.1 ^a	980.49 ^a
70	Control	74.30 ^a	7.96 ^{bc}	19.05 ^{ab}	143.0 ^{ab}	808.3 ^c	793.28 ^b
	Inoc.	77.30 ^a	10.27 ^a	21.80 ^a	152.0 ^a	987.8 ^a	1025.83 ^a

* right scripts beside numerals : result of LSD among means within each growth factor

리별 각 성장요인 사인의 최소유의차 검정(LSD)을 실시하였고, 요인과 결과 사이의 회귀식을 구하였다.

결과 및 고찰

1. 토양수분과 근류균 접종에 따른 묘목생장 특성

등나무 묘목의 생장이 끝나는 시기인 9월 20일의 마지막 표품추출 때의 성장량을 대상으로 하여 묘목의 줄기길이, 근원직경, 엽면적, 총건중량에 대하여 토양함수율에 따른 성장량의 차이를 비교분석하였다. 그 결과 Table 2에 나타난 바와 같이 모든 측정요소에서 토양함

수율에 따라 성장량의 차이가 인정되었으며, 전반적으로 토양함수율이 높을수록 생장이 양호한 것으로 나타났다.

대조구와 근류균 접종구에서 토양함수율에 따른 각 성장량 측정요소들에 대한 회귀식과 각각의 회귀식에 의해 나타난 등나무 묘목의 성장 특성을 분석한 결과는 Figure 1에 나타난 바와 같다. 식에서 Y는 줄기 길이, 근원직경, 엽면적, 총건중량 등 각 성장량 측정 요소이고 a·b·c는 상수, W는 토양함수율을 나타내며, Y_C와 Y_R는 각각 대조구와 근류균 접종구를 표시한 것이다.

줄기길이는 대조구와 근류균 접종구에서 모두 토양함수율이 5%에서부터 70%까지 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가하였다. 반면에, 근원직경은 함수율 40%

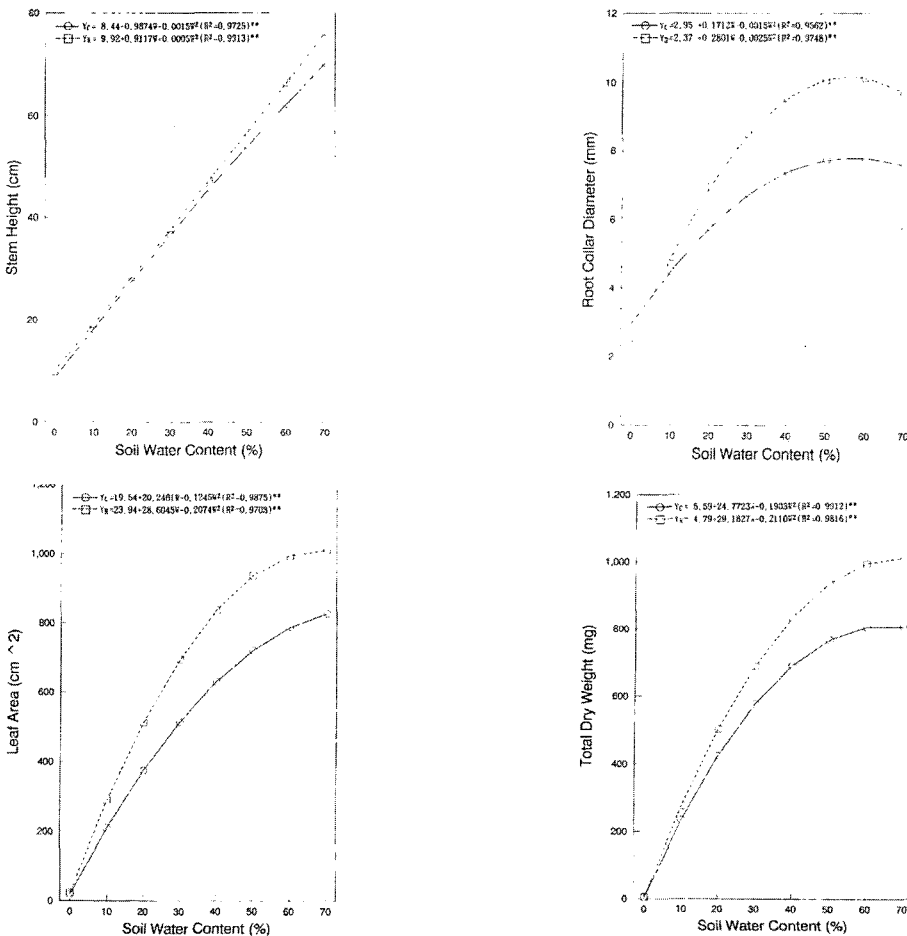


Figure 1. Relation between growth factors of *W. floribunda* seedlings and soil water contents from the last sampling.

까지는 급격히 증가하다가 그 이상의 함수율 수준에서 둔화되는 곡선형을 나타내고, 엽면적과 총건중량은 함수율 50% 수준까지는 큰 차이로 증가하다가 그 이상의 함수율 수준에서 둔화되는 곡선형을 나타내었다.

줄기의 신장생장에 대한 근류균의 접종효과는 단지 함수율 60% 수준에서만 대조구에 비해 20%의 성장 촉진 효과가 나타났을 뿐, 다른 함수율 수준에서는 전혀 접종효과가 나타나지 않았다. 직경생장에 대한 근류균의 접종효과는 함수율 5%와 10%구에서는 나타나지 않았으나, 함수율 20% 이상의 시험구에서는 직경생장의 촉진효과가 있었는데, 마지막 6차 표품추출 때의 직경생장량을 기준으로 할 때 평균 28%의 직경생장 촉진효과가 있었다. 근류균 접종에 따른 엽면적 생장의 촉진효과는 모든 토양함수율 수준에서 나타났는데, 마지막 6차 표품추출시의 엽면적을 기준으로 할 때 근류균 접종구는 대조구에 비해 평균 32.6%의 엽면적 성장 촉진효과가 있었다. 또한 함수율 5%구에서도 고사 전 4차 표품추출 때를 기준으로 할 때 근류균 접종구는 대조구에 비해 엽면적이 22.7%나 많은 것으로 나타났다. 총건중량에 대한 근류균의 접종효과는 직경생장에서와 마찬가지로 함수율 5%와 10%구에서는 나타나지 않았으나, 20% 이상의 함수율 수준에서는 총건중량의 증진효과가 있었다. 즉, 마지막 6차 표품추출시의 총건중량을 기준으로 할 때 대조구에 비해 평균 30%의 총 건물생산량의 증진효과가 나타났다. 즉, 등나무 묘목의 생장에 대한 근류균 접종의 효과는 줄기의 길이생장보다도 직경생장, 엽면적 및 총건중량에서 뚜렷하게 나타났다.

2. 동일 수분조건에서 묘목생장의 경시적 변화

1) 줄기의 신장생장

동일한 토양함수율 조건에서 등나무 묘목 줄기의 신장생장량의 경시적 변화를 분석한 결과는 Figure 2에 나타난 바와 같다. 함수율 5%구의 식물체는 1차 표품추출 이후에 약간 신장하였으나 4차 표품추출 때까지 줄기길이 거의 증가하지 않았고, 4차 표품추출 이후 고사하였다. 함수율 10%구에서도 3차 표품추출 때까지는 유의적인 차이를 나타내면서 줄기길이가 조금씩 증가하였으나, 그 이후의 성장기간 동안에는 거의 증가하지 않고 비슷한 수준을 유지 하였다. 20% 이상의 함수율 수준에서는 성장기간이 경과함에 따라 줄기 길이가 뚜렷이 증가하는 경향을 보였으며 각 조사 시점들 사이에 유의적인 차이가 인정되었다. 즉, 함수율 20%구는 생육기간이 경과함에 따라 1차부터 6차 표품추출 때까지 각각 10.33, 14.28, 19.27, 20.94, 24.93, 31.94cm로서 비교적 완만한

증가를 나타냈었으나, 함수율 30%구부터는 경시적으로 줄기길이의 증가폭이 커졌으며, 최고 함수율인 70% 구에서는 각각 10.33, 23.76, 37.48, 50.50, 59.76, 74.30cm로서 경시적으로 가장 큰 증가율을 보였다. 다만, 5차와 6차 표품추출 때에 줄기의 길이가 감소하거나 신장이 둔화되었다. 그 원인으로서 두 가지를 들 수 있는데 첫째는, 대기온도와 광도가 비교적 낮은 7월 중순부터 8월 초순 사이에 성장한 줄기의 선단부가 8월 중순부터 계속된 고온과 고광도 조건에서 계속 성장하지 못하고 대부분 고사한 때문이었고, 둘째는 각 요인별로 계속 성장하는 동일한 식물체를 대상으로 경시적으로 성장량을 조사한 것이 아니라 매 표품추출 때마다 채집된 식물체는 제반 측정 및 분석용 시료로 사용되고 다음 표품추출 때에는 전혀 다른 식물체들을 무작위로 추출하여 성장량을 측정하였기 때문이었다.

토양함수율 20% 이상의 시험구에서 1차 표품추출 때와 성장말기인 6차 표품추출 때의 줄기 성장량을 비교하면, 함수율 20%구에서는 1차 표품추출 때에 10.33cm이었는데 6차 표품추출 때에는 31.94cm로서 3.1배로 증가하였고, 함수율 30%구에서는 6차 표품추출 때에 36.75cm로서 3.6배, 40%구에서는 47.03cm로서 4.6배, 50%구에서는 53.10cm로서 5.1배, 60%구에서는 56.05cm로서 5.4배, 70%구에서는 74.30cm로서 7.2배로 증가하였다.

한편, 각 토양함수율별로 생육기간에 따른 신장생장의 변이를 회귀분석한 결과 줄기의 신장생장은 생장기

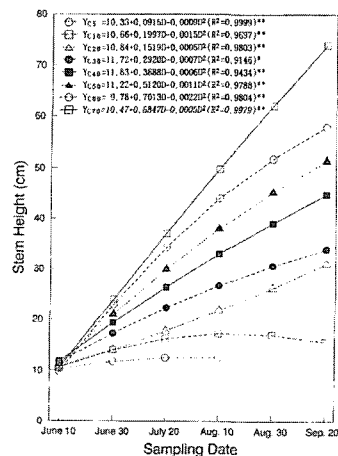


Figure 2. Relation between stem height and growing period factors of *W. floribunda* seedlings for each soil water contents.

간(D)에 대하여 $Y = a + bD + cD^2$ 의 2차식으로 나타낼 수 있었다. 즉, 등나무 묘의 줄기길이는 생육기간이 길어짐에 따라 거의 직선적이거나 완만한 곡선형을 이루면서 계속 증가하는 경향을 보이고 있다.

2) 직경생장

줄기의 근원직경을 측정함으로써 동일한 토양함수율 조건에서 등나무묘의 직경생장의 경시적 변화를 분석한 결과 Figure 3에 나타난 바와 같다. 함수율 5%와 10%구를 제외하고 함수율 20% 이상의 시험구에서는 3차 표품추출 때까지는 직경생장에 큰 변화가 없었으나, 그 이후부터 급격히 증가하였다. 함수율 5% 수준에서 1차부터 4차 표품추출 때까지 3.23, 2.82, 3.15, 3.47mm로서 고사하기 전까지는 완만한 직경의 증가를 보였다. 전 생육기간에 걸쳐서 줄기 길이가 거의 증가하지 않았던 함수율 10%구에서는 1차부터 6차 표품추출 때까지 3.05, 3.01, 3.27, 3.67, 4.60, 4.59mm로서 증가폭은 작으나 생육말기까지 계속적인 직경생장이 이루어진 것으로 나타났다. 함수율 20% 이상의 시험구에서 1차 표품추출 때와 생장말기인 6차 표품추출 때의 직경생장량을 비교하면, 함수율 20%구는 1차 표품추출 때에 3.05mm이었는데 6차 표품추출 때의 근원직경이 6.48mm로서 2.1배 증가하였다. 함수율 30%구는 6차 표품추출 때의 근원직경이 6.69mm로서 2.2배, 40%구는 7.25mm로서 2.4배, 50%구는 7.60mm로서 2.5배로 증가하였다. 또한, 함수율 60%구는 6차 표품추출 때의 근원직경이 7.75mm로

서 2.5배로 증가하였고, 70%구는 7.96mm로서 2.6배 증가하였다.

한편, 각 토양함수율별로 생육기간에 따른 직경생장의 변이를 회귀분석한 결과 직경생장은 생장기간(D)에 대하여 $Y = a + bD^2$ 의 2차식으로 나타낼 수 있었다. 즉, 등나무 묘의 직경생장은 생육 초기에는 정체되었다가 생육 중기 이후에 급격히 증가하는 경향을 보였다.

3) 엽면적 생장

동일한 토양함수율 조건에서 등나무 묘목의 엽면적 생장의 경시적 변화를 분석한 결과 Figure 4에 나타난 바와 같다. 함수율 5%와 10%구에서 전 생장기간 동안 엽면적 증가율이 극히 작았고, 20%구에서도 2차 표품추출 때까지는 엽면적의 증가폭이 작았다가 그 이후부터 각 표품추출 시점 간에 유의적인 차이를 나타내면서 계속 증가하였다. 함수율 30% 이상의 시험구에서는 1차 표품추출 이후 전 생장기간 동안 계속 큰 폭으로 증가하였는데, 전반적으로 토양함수율이 높을수록 엽면적의 증가폭이 큰 것으로 나타났다. 함수율 5%구에서 고사하기 전 4차 표품추출 때까지 각각 100.3, 96.0, 106.9, 123.8cm²로서 고사하기 전까지는 완만한 엽면적의 증가를 보였다. 함수율 10%구에서는 1차부터 6차 표품추출 때까지 각각 100.3, 128.5, 136.3, 157.7, 192.6, 196.6cm²로서 증가 폭은 작으나 생육말기까지 엽면적이 계속 증가하였다. 함수율 20% 이상의 시험구에서 1차 표품추출 때와 생장 말기인 6차 표품추출 때의 엽면적 생장량을 비교하

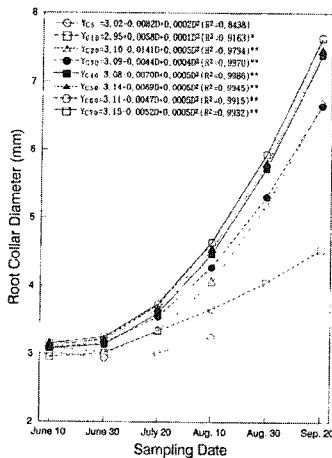


Figure 3. Relation between root collar diameter and growing period factors of *W. floribunda* seedlings for each soil water contents.

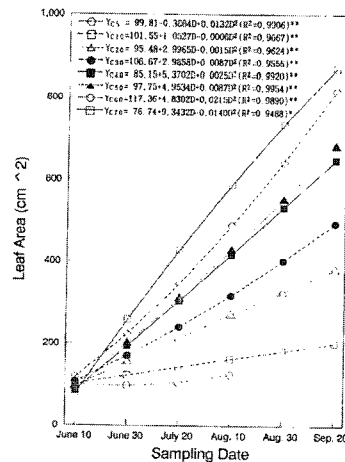


Figure 4. Relation between leafarea and growing period factors of *W. floribunda* seedlings for each soil water contents.

면, 함수율 20%구에서는 1차 표품추출 때에 100.3cm²이었는데 6차 표품추출 때에는 383.7cm²로서 3.8배로 증가하였다. 함수율 30%구에서는 6차 표품추출시의 엽면적이 518.5cm²로서 1차 표품추출 시에 비해 5.2배, 40%구에서는 638.7cm²로서 6.4배, 50%구에서는 670.1cm²로서 6.9배로 증가하였다. 또한, 토양함수율 60%구에서는 6차 표품추출 때에 840.9cm²로서 8.4배로 증가하였고, 70%구에서는 808.3cm²로서 8.1배로 엽면적이 증가하였다.

한편, 각 토양함수율별로 생육기간에 따른 엽면적의 변이를 회귀분석한 결과 엽면적과 생육기간(D) 사이에는 $Y = a + bD + cD^2$ 의 2차식이 적용 가능하였다. 즉, 등나무 묘목의 엽면적은 생장기간이 길어짐에 따라 거의 직선적이거나 완만한 곡선형을 이루면서 계속 증가하는 특성으로서 줄기 길이의 경시적 변화 특성과 비슷한 경향을 나타내었다.

4) 총 건물생산량

동일한 토양함수율 조건에서 등나무 묘목의 총 건물생산량의 경시적 변화를 분석한 결과 Figure 5에 나타난 바와 같다. 줄기의 길이생장, 직경생장 및 엽면적생장의 총합이라고 할 수 있는 묘목의 총 건물생산량의 경시적 변화도 이러한 성장 요소들과 비슷한 경향을 나타내었다. 즉, 함수율 5%구와 10%구에서는 생육기간 동안의 경시적 변화의 폭이 대단히 작은 반면에, 30% 이상의 모든 함수율 수준에서는 성장초기부터 성장말기에 이를 때까지 묘목의 총건중량이 계속 증가하였으며, 각 표품추출 시점들 사이에 유의적인 차이 인정되었다. 함수율 5%구에서 1차부터 고사하기 전 4차 표품추출 때까지 총건중량은 각각 52.00, 99.66, 125.40, 144.41mg으로서 고사하기 전까지 총건중량이 극히 소량씩 증가하였다. 함수율 10%구에서는 1차부터 6차 표품추출 때까지 각각 52.00, 105.33, 148.85, 177.59, 232.21, 226.45mg으로서 5차 표품추출 때까지는 5%구보다는 큰 폭으로 증가하다가 그 이후에는 정체되는 현상을 나타내었다. 함수율 20% 이상의 시험구에서 1차 표품추출 때와 성장말기인 6차 표품추출 때의 총건중량을 비교하면, 함수율 20%구에서는 1차 표품추출 때에 52.00mg이었는데 6차 표품추출 때에는 406.65mg으로서 1차 표품추출 때에 비해 7.8배로 증가하였다. 함수율 30%구에서는 6차 표품추출 때의 총건중량이 548.02mg로서 1차 표품추출 때에 비해 10.5배, 40%구에서는 737.68mg으로서 14.2배, 50%구에서는 755.13mg으로서 14.5배로 증가하였다. 또한, 함수율 60%구에서는 6차 표품추출 때 823.71mg으로서 15.8배, 70%구에서는 793.28mg으로

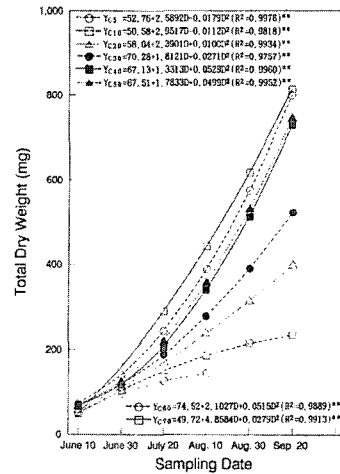


Figure 5. Relation between total dry weight and growing period factors of *W. floribunda* seedlings for each soil water contents.

서 15.3배로 총건중량이 증가하였다.

한편, 각 토양함수율별로 생육기간에 따른 총건물생산량의 변이를 회귀분석한 결과 총 건물생산량과 생육기간(D) 사이에는 $Y = a + bD + cD^2$ 의 2차식이 적용 가능하였다. 즉, 등나무 묘목의 총 건물생산량은 생장기간이 길어짐에 따라 증가하였는데, 생육 초기보다는 생육중기 이후에 많은 증가율을 보이는 특성으로서 줄기 직경의 경시적 변화특성과 비슷한 경향을 나타내었다.

3. 토양수분과 근류균 접종에 따른 근류형성 특성

등나무 묘목에 있어서 토양함수율의 조절과 근류균 접종 및 생육기간의 경과에 따른 근류형성량의 변화를 조사한 결과는 Table 3에 나타난 바와 같다. 토양함수율과 근류형성과의 관계에 있어서는 1차 표품추출 때를 제외하고 각 표품추출시마다 토양함수율이 높은 시험구일수록 근류의 형성량이 많아지는 경향을 보였다. 1차와 2차 표품추출 때에는 근류균을 접종한 시험구에서만 근류의 형성이 관찰되었는데, 1차 표품추출 때에는 토양함수율에 따른 차이가 없었고, 2차 표품추출 때에는 함수율 5%~30%에서는 2.24~2.57mgmg, 40%~70%에서는 5.06~5.27mg으로 각각 비슷한 량을 나타내어 토양함수율에 따라 2개 군으로 구분되었다. 3차 표품추출 때에 근류균 접종구에서는 함수율 5%구에서 3.96mg으로 최소량을 나타내고 토양함수율이 높을수록 증가하

Table 3. Effects of the different soil water contents and Rhizobium treatment on the root nodulation of *W. floribunda* seedlings (Unit; mg, dry weight)

Rhizobium treatment	Soil water content(%)	Sampling Date					
		1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
Control	5	-	-	-	-	death	death
	10	-	-	-	-	4.11 ^c	4.42 ^c
	20	-	-	-	3.22 ^c	5.30 ^c	9.17 ^b
	30	-	-	2.34 ^b	6.01 ^b	7.96 ^b	13.03 ^{ab}
	40	-	-	4.77 ^a	8.36 ^b	9.72 ^b	14.70 ^{ab}
	50	-	-	5.03 ^a	9.79 ^a	12.71 ^a	16.19 ^a
	60	-	-	4.11 ^a	10.16 ^a	13.50 ^a	16.99 ^a
Inoculation	5	2.81	2.38 ^b	3.96 ^c	5.20 ^d	death	death
	10	2.81	2.24 ^b	6.00 ^{bc}	5.27 ^d	4.33 ^c	4.36 ^d
	20	2.81	2.57 ^b	6.11 ^{bc}	5.44 ^d	6.56 ^b	12.03 ^c
	30	2.81	2.42 ^b	6.13 ^{bc}	8.40 ^c	8.36 ^b	15.47 ^{bc}
	40	2.81	5.16 ^a	7.00 ^b	8.57 ^c	10.19 ^{ab}	16.04 ^{bc}
	50	2.81	5.25 ^a	10.39 ^a	9.82 ^{bc}	12.97 ^{ab}	17.20 ^{ab}
	60	2.81	5.27 ^a	10.94 ^a	12.11 ^a	13.98 ^a	19.98 ^a
70	2.81	5.06 ^a	11.78 ^a	11.48 ^{ab}	14.57 ^a	19.22 ^{ab}	

* right scripts beside numerals : result of LSD among means within each water contents

여 70%구에서 11.78mg으로 근류가 가장 많이 형성되었다. 대조구에서는 근류가 형성된 함수율 30%~70% 범위에서 30%구가 최소량을 나타냈으나 40% 이상에서는 토양함수율에 따라 일정한 경향이 없었다. 4차 표품추출 때에도 근류균 접종구는 함수율 5%구에서 5.20mg으로 최소량을, 60%구에서 12.11mg으로 최대량을 나타내었고, 대조구에서는 함수율 20%구에서 최소량을 보이고 70%구에서는 11.14mg으로 근류균 접종구와 비슷한 양으로서 최대량을 나타내었다. 그리고 함수율 5%구의 식물체가 고사한 이후인 5차와 6차 표품추출 때에는 대조구와 근류균 접종구에서 모두 함수율 10%구에서 최소량을 나타내고 토양함수율이 높아짐에 따라 비교적 일정하게 증가하는 경향을 나타내었다.

한편, 묘목의 생장이 끝나는 시기인 6차 표품추출 때를 대상으로 토양함수율에 따른 근류 형성량의 변이를 회귀분석한 결과, 근류의 형성량은 토양함수율(W)에 대하여 $Y = a + bW + cW^2$ 의 2차식으로 나타낼 수 있었다. 즉, 근류 형성량은 토양함수율 40%까지는 함수율의 증가에 따라 급격히 증가하다가 그 이상에서 증가율이 둔화되어 60% 수준에서 최대를 나타내고 70% 수준에서는 감소하는 곡선형을 나타내었다. 이상과 같이 실제의 근류형성량과 회귀분석 결과에서 보면, 등나무에 공생하는 근류균은 토양함수율 50%~60% 범위가 발달 최적조건이고, 30%~50%와 60% 이상의 범위는 비교적 양호한 조건이며, 20% 이하의 범위는 생존과 발달이

가능한 조건이라고 구분할 수 있을 것이다.

또한, 각 토양함수율별로 생육기간에 따른 근류형성량의 변화를 보면, 모든 토양함수율 수준에서 전반적으로 생육기간이 경과함에 따라 점차 근류의 형성량이 많아지는 경향을 나타내었으며, 각 표품추출 시점 간에 유의차가 인정되었다. 근류균 접종구에서는 접종 후 1개월이 경과한 1차 표품추출 때부터 모든 토양함수율 수준에서 근류가 형성되었다. 반면에, 대조구에서는 토양함수율 5% 수준은 식물체가 고사하기 전 4차 표품추출 때까지 근류가 전혀 형성되지 않았고, 10% 수준에서는 5차 표품추출 때부터, 20% 수준에서는 4차 표품추출 때부터, 그리고 30%~70% 수준에서는 접종 후 2개월이 경과한 3차 표품추출 때부터 근류형성이 관찰되었다.

동일한 토양수분조건에서 대조구와 근류균 접종구 간에 근류 형성량의 차이를 비교하면, 대조구에서 근류가 형성되기 시작한 3차 표품추출시의 함수율 30%~70%구에서 근류균 접종구가 대조구에 비해 근류 형성량이 월등히 많았다. 4차 표품추출 때에는 함수율이 낮은 20%와 30%구에서만 유의차가 있을 뿐이고, 함수율 40% 이상의 시험구에서는 차이가 없었다. 또한, 생장 말기인 5차와 6차 표품추출 때에는 동일한 토양함수율 수준에서 대조구와 근류균 접종구 사이에 유의적인 차이는 없었으나, 전반적으로 근류균 접종구에서 근류 형성량이 약간 많았다. 그리고 뿌리의 부위별로는 뿌리의 아래쪽보다 위쪽에서 훨씬 많은 근류가 형성되었다.

4. 고찰

1) 토양수분조건에 따른 등나무 묘목의 성장특성과 내건성

등나무의 내건성과 토양수분조건에 따른 성장 및 생리적 특성을 구명하기 위하여 토양함수율을 5%에서 70%까지 8개 수준으로 조절하고, 발아 후 30일이 경과한 때부터 20일 간격으로 6차로 구분하여 성장량을 조사하였다. 그 결과 토양함수율 5%에서는 수분 스트레스 현상이 나타나 발아 후 110일이 경과한 8월 30일의 5차 표품추출 때에는 완전 고사하였다. 이는 종래 발표된 바 위 조함수량은 토양의 입도에 관계가 있으며 토양 중 점토 입자의 함량에 비례하여 사토 1~3%, 양토 3~10%, 식토 10~15%라는 보고(山崎 등, 1978)와 비교해 보면, 본 연구의 시험토양은 양질사토이기 때문에 5%가 등나무의 위조함수량이라 판단된다.

한편, 토양함수율 5%에서 등나무 묘목이 고사한 것은 아카시나무에 있어서 토양수분 5%에서 100일 이후에 고사하였다고 하는 결과(홍경혜 등, 1982)를 뒷받침하였으나, 박태기나무는 토양수분 5%에서 생장이 저조하였으나 고사하지 않았다는 보고(김원 등, 1984)와 비교할 때, 수종들 사이에 내건성의 차이가 있었거나 환경조건의 차이 때문일 것으로 추정할 수 있었다. 또한, 지금까지의 내건성 시험에서 대체로 10% 이상의 토양함수율 조건에서는 고사한 결과 보고가 없는 것으로 보아(이호준 등, 1975; 김원, 1977; 홍경혜 등, 1982; 김원 등, 1984; 濱野 등, 1987), 본 시험토양 조건에서는 함수율 5% 이하가 등나무 묘목이 수분 스트레스를 받을 수 있는 한계 토양함수량인 것으로 추정할 수 있었다.

줄기의 신장, 직경생장, 잎의 성장 그리고 총 건물생량은 토양함수율에 비례하여 증가하였다. 또한, 동일한 토양함수율 조건에서 묘목생장의 경시적 변화를 보면, 토양함수율 10%에서는 변화가 거의 없었으나 20% 이상에서는 토양함수율이 높을수록 비례하여 성장기간이 경과함에 따라 큰 폭으로 증가하였다. 이는 싸리나무(이호준 등, 1975), 아카시나무(김원, 1977), 쪽제비싸리(홍경혜 등, 1982), 박태기나무(김원 등, 1984) 등에 대한 연구와 일치하는 결과였다. 다만, 직경생장에 있어서만은 토양함수율 20% 이상의 시험구에서 발아 후 2개월이 경과한 이후부터 비대폭이 큰 것이 특이하였는데, 앞으로 그 원인을 구명할 필요성이 있다고 생각된다.

2) 등나무 묘목생장에 대한 근류균 접종효과

등나무에서 분리된 근류균을 인공접종하여 근류균 접종이 등나무의 생장에 미치는 영향을 조사하였던 바,

근류균을 인공접종한 토양함수율 20% 이상의 각 시험구에서는 총 건물생산량을 기준으로 할 때 대조구에 비해 평균 30%의 성장촉진효과를 나타내었다. 이는 오리나무(현영일 등, 1985; 이천용 등, 1989)와 족제비싸리(Cho, 1990)에서 근류균 접종구가 식물의 각 기관의 성장을 촉진시켰다고 한 결과와 일치하였다.

또한, 토양함수율과 근류균 접종에 따른 근류형성의 변화를 조사하였던 바, 근류균 접종구에서는 1차 표품추출 때부터 토양함수율 5%~70%의 모든 시험구에서 근류가 형성되었다. 반면에, 대조구의 경우 5%구에서는 근류가 형성되지 않았고 3차 표품추출 이후부터 점차 근류가 형성되었는데, 토양함수율이 높을수록 근류의 형성시기가 빨랐다. 근류의 형성량은 토양함수율이 높은 시험구일수록 그리고 동일 토양함수율 조건에서는 성장기간이 길수록 많았다. 이러한 결과는 토양수분은 토양 내에서 근류균의 이동과 뿌리의 감염을 그리고 근류의 성장 및 활력에 밀접한 관계를 갖는 요인으로서(Lewis 등, 1959; Bergersen, 1982), 수분 스트레스 조건 하에서는 근류의 체적이 감소하거나 기능이 상실되고(Engin, 1974; Sprent, 1975; Zablutowics 등, 1981; David 등, 1986), 전혀 형성되지 않는 경우도 있다(Brockwell 등, 1970)는 보고들과 일치하는 경향이였다. 그리고 뿌리의 부위별로는 뿌리의 아래쪽보다는 위쪽에서 훨씬 많은 근류가 형성되었는데, 이것은 아카시나무(김원, 1977)에서와 같은 경향이였다.

인용문헌

- 김원(1977) 수분공급조절에 있어서 아카시나무의 내건성과 생장에 관한 연구. 경북대논문집 23:77-197.
- 김원, 조영호(1984) 수분공급조절에 의한 박태기나무의 내건성과 생장에 관한 연구. 경북대논문집(자연과학) 38:163-169.
- 박병익, 박종민(1987a) 퇴석지사면의 녹화공법과 녹화용 적함수종 개발에 관한 연구. 전북대논문집(자연과학편) 29: 237-246.
- 박병익, 박종민(1987b) 폐석퇴적지 사면의 녹화공법에 관한 연구. 전북대 논문집 18: 68-76.
- 박호건(1987) 사방시공법의 변천에 관한 연구(II) - 사방조립 관계를 중심으로. 충북대 농과연보 5(21): 31-71.
- 산림청(1989) 황폐지복구사. pp.9-13.
- 우보명(1967) 산지사방의 발전과정에 관한 고찰. 서울대학교 대학원 석사학위논문, pp. 120.
- 이일구, 이호준, 이용희(1971) 독나지의 식생에 관한 생태학적 연구. 건국학술지 12:815-824.
- 이천용(1986) 우리나라 황폐지 복구사업의 변화와 사방교과

- 에 관한 연구. 자연보존 55: 24-30.
- 이천용, 박재순(1989) 채석적지의 복구에 관한 조사연구. 임연연보 38: 90-97.
- 이호준, 김 원, 이일구(1975) 싸리나무에 있어서 수분공급양이 생장에 미치는 영향. 한국식물학회지 18(4): 143-149.
- 현영일, 김재현, 이석구(1985) *Alnus*류 5개 수종의 근류균 접종에 의한 성장촉진 효과 비교시험. 임육연보 21: 114-120.
- 홍경혜, 김 원(1982) 수분공급조절에 의한 족제비싸리의 생장과 내건성에 관한 연구. 한국생태학회지 5: 123-131.
- 濱野周泰, 吉賀 正, 青木司光, 北澤 清(1987) 造園樹木における無給水日數と生存率ならひに土壤水分との關聯について. 造園雜誌 50(5): 155-160.
- 山崎不二夫, 長田昇, 田淵俊雄(역)(1978) 土壤と水. 東京大學出版會, 東京. pp, 62-69.
- 岩川幹夫(1978) 播種工における綠化不良要因と植被の保育. 林業技術 435: 11-14.
- 岩川幹夫, 原 敏男(1980) 急斜面における綠化工法. 昭和54年度 國有林野事業特別會計技術開發試驗成績報告書(林業試驗場), pp.187-211.
- Behringer, M.P.(1973) Techniques and materials in biology. Mcgraw-Hil Book company, N. Y.. pp, 409.
- Brockwell, J., and E. D. B. Whalley(1970) Studies in seed pelleting as an aid to legume seed inoculation(2), Survival of *Rhizobium meliloti* applied to medic seed sown into dry soil. Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb. 10: 455-459.
- Bergersen, F. J.(1982) Root Nodules of Legumes: Structure and Function. Research Studies Press, New York, pp. 164.
- Cho, K. J.(1990) Artificial inoculation effects of isolated *Vesiculara* Arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* on growth and phosphorus uptake in *Amorpha fruticosa* Linne. A dissertation for the degree of doctor of philosophy, pp. 80.
- David, W. W. and J. C. Miller, Jr.(1986) Influence of water stress on nitrogen fixation in *Vowpea*. J. Amer. Sci. 111(3): 451-458.
- Engin, M.(1974) The effects of water stress on the physiology and fine structure of nitrogen fixing *Trifolium repens* L.. Ph.d. Thesis, University of Dundee.
- Graham, P, H.(1969) Selective medium for growth of *Rhizobium*. Applied Microbiology 17: 5-8.
- Lewis, D.H., and D. C. Smith.(1959) Sugar alcohols(polyols) in fungi and green plants. I. Distribution, physiology and metabolism. New Physiology 66: 148-184.
- Sheldon, J.C.(1975) The reclamation of slate waste. Nature 14(3): 159-168.
- Sheldon, J.C. and A.D. Bradshaw(1976) The reclamation of slate waste tips by tree planting. Landscape Design 113: 31-33.
- Spent, J. I.(1975) Nitrogen Fixation by legumes subjected to water and light stresses, In "Symbiotic Nitrogen Fixation in plants"(P. S. Nutman ed.,). Cambridge Univ. Press, London and New York. pp. 405-420.
- Zablutowicz, R.M., D.D. Focht, and G.H Cannell(1981) Nodulation and fixation of field-grown califonia cowpeas as influenced by well irrigated and droughted conditions. Agronomy Journal 73(1-2): 9-12.