

토양수분의 과, 부족이 연초의 생장과 증발산량에 미치는 영향

홍순달, 이운환, 김재정*, 조성진*

한국인삼연구소 경작시험장

충북대학교 농과대학 *

EFFECT OF SOIL MOISTURE CONDITION ON THE GROWTH AND EVAPOTRANSPIRATION OF THE TOBACCO PLANT

Soon Dal Dong, Yun Hwan Lee, Jai Joung Kim*, and Seong Jin Cho*

Agronomy Experiment Station, Korea Ginseng and Tobacco

*Research Institute, Suweon, Korea**

(Received for publication, March 25, 1985)

Abstract

Growth response and evapotranspiration of tobacco as to each soil moisture condition treated with different height of ground water table such as 30cm, 100cm, 170cm, and 230cm were investigated. The results obtained were as follows;

1. Soil water potential in the rhizosphere (25cm depth from surface) treated with ground water table (G.W.T) of 230 cm was less than -6.5 bar at 60 days after transplanting.
2. Dry weight of leaves per plant was the highest in the pot treated with 100 cm G.W.T and was the lowest in the pot treated with 230 cm G.W.T. . Leaves/Stem ratio of dry weight was the lowest in the pot treated with 230 cm G.W.T. This would show that extension of leaves as compared with elongation of stem was suppressed.
3. In the water stress condition of 230 cm G.W.T., extension of leaves was continued until the latter growth stage. Relative growth rate of leaf area per plant of the pot with 30 cm G.W.T. was the highest through all growth period after fixation of G.W.T., but owing to lower density of leaf, the dry weight of leaves per plant was less rather than that of the pot with 170 cm G.W.T. at 64 days after transplanting.

4. The highest evapotranspiration per plant per day was shown at the 45th day after transplanting in the pots with 30cm and 100cm G.W.T. and at 60 days in the pots with 170cm and 230cm G.W.T. respectively.
5. In the soil moisture conditions with 30cm and 100cm G.W.T., evapotranspiration per plant per hour was much higher in the daytime than at night as well as in clear day than in rain-cloudy day owing to lower relative humidity, but in the water stress condition with 230 cm G.W.T., that was much lower.
6. Total evapotranspiration per plant during the whole growing period of 64 days was in order of 30cm > 100 cm > 170 cm > 230 cm G.W.T. Total evapotranspiration for 34 days after fixation of G.W.T was much higher at night than in the daytime in case of water stress conditions i.e. 170cm and 230cm G.W.T. but in normal condition of the pots with 30cm and 100cm G.W.T. that was much higher in the daytime than at night.
7. Leaf water potential of the 3rd and 6th leaf from top at 64 days after transplanting was in order of 100cm > 30 cm > 170cm > 230cm G.W.T. The reason why leaf water potential in the pot with 30cm was less than that in the pot with 100cm G.W.T.would be the abnormal turgidity with low density of cell substrates by the excess water absorption in the pot with 30cm G.W.T. .

서 론

발작물재배에서 토양수분이 생산성에 미치는 가장 중요한 요인이라는것은 잘 알려진 사실이다. 특히 광엽식물인 연초는 증산작용에 의한 수분소모량이 다른 발작물에 비하여 매우 많기 때문에 토양수분에 민감한 반응을 보여 수량과 품질에 영향을 크게 받는 것으로 알려져왔다. 『(1970)和泉等』은 연초재배기간중 포장에서 소모되는 수분량의 절반이 증산작용에 의한것이며 토양 수분이 양호할때는 증발산량이 야간보다 주간에 많았다고 보고하였고 Ligon 등⁹⁾은 수분부족 상태에서는 연초의 성숙이 지연되어 품질이 나빠지며 줄기의 중량이 감소된다고 하였다. 또한 佐々木 등¹⁰⁾은 pF 3.0의 토양수분상태에서 재배된 연초의 엽면적은 pF 1.5에서 재배된것보다 현저하게 적었다고 보고하였다. 이와같이 연초는 토양수분조건에 따라 상이한 성장반응을 보이며 수분의 소모량 또한 주위환경조건에 따라 다른 것으로 알려져왔다. 이러한 관점에서 지하수위를 조절하여 토양수분을 과습상태부터 부족상태까

지 처리하여 연초의 성장반응과 증발산량의 변화에 대하여 조사한 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

본 시험은 공시품종을 NC 82로하여 직경 40cm의 P.V.C관을 이용한 pF조절 pot에서 1984년에 수원 연초경작시험장에서 수행하였다. 토양수분처리는 재배포장과 유사하게 하기 위하여 그림 1에서와 같이 지하수위를 30 cm, 100 cm, 170 cm 및 230 cm로 조절할 수 있도록 직경 40cm의 P.V.C관을 이용한 pot를 제작하였다. 수분의 공급은 1.5 ℓ의 실린더를 이용하여 일정한 수위가 유지되도록하면서 급수하였고 P.V.C관의 밑면으로부터 20 cm까지 굵은모래를 채운다음 미경작지의 절토지에서 채취한 사질식양토(모래 : 68.9%, 미사 : 6.9%, 점토 : 24.2%, C.E.C 5.0me/100g)를 충전하였다. 그리고 P.V.C관의 토양충전도를 일정하게 하기 위하여 충전토양윗면까지 수분이 함유되도록하면서 급수하고 배수시킨다음 P.V.C관의 윗면으로부터

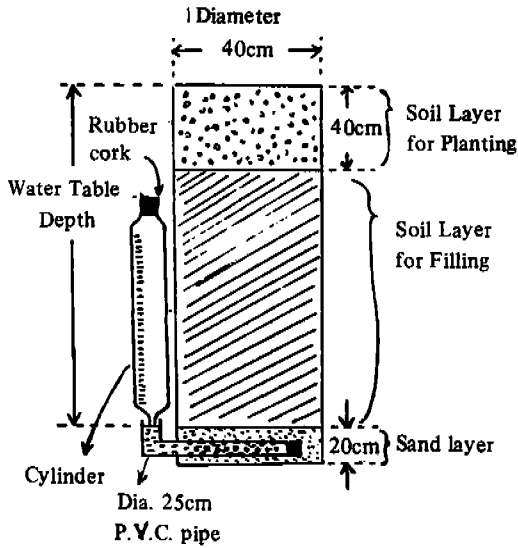


Fig. 1. Schematic feature of experimental pot treated with different ground water table.

40 cm 길이까지 공시토양(표 1)을 채워넣고 시비량은 연초용 복합비료(10-10-20)를 pot 당 30 g 씩 공시토양과 완전 혼합하여 사용한다. 연초묘를 5월 1일 이식하였다. 각각의 pot 윗면은 지표면으로부터 30 cm 위에 위치하도록 pot 를 지하수위에 따라 지하에 설치하였고 비닐하우스로 강우를 차단하였으며 하우스내외부의 환경조건을 동일하게 하기 위하여 하우스 측면하단과 양

쪽면은 개열되게 하였고 자기온습도계를 재배기간동안의 하우스내부온도와 상대습도를 측정하였다. 토양수분처리는 이식후 30 일까지 지하수위낙차를 100 cm로 동일한 조건에서 재배한후에 각각의 지하수위(30 cm, 100 cm, 170, 230 cm)로 조절하였다. 근권의 토양수분조사는 pot 표면으로부터 25 cm 길이에 Tensiometer와 석고블럭을 설치하여 pF 2.5까지는 Tensiometer로 측정하고 그이상의 부족처리는 석고블럭의 전기저항치를 측정하여 토양수분으로 확산하였다. 수분의 증발산량은 하면급수되는 실린더의 감소된 수분량을 매일 09:00와 18:00에 조사하여 소모된 수분량을 증발산량으로 하였으며 pot 상면으로의 수분증발을 억제시키기 위하여 Vermiculite로 지표면을 덮었다. 토양수분 처리후 일주일간격으로 주당 전엽의 장과 폭을 측정하여 생산량변화를 조사하였고 엽중의 Leaf Water Potential은 Knipling씨²⁾가 제안한 Dye method로 측정하였다.

결과 및 고찰

작토층에 충전된 공시토양은 토성이 미사질양토로서 표 1에서와 같이 공극율이 52%, 기상분포비율이 28.4%이고 포장용수상상태인 농기압에서 보수력이 31.4% 그리고 영구위조점인 15 기압에서 10.3%의 보수력을 나타내어 유효수분의 범위가 다소 넓은편이었다.

Table 1. Physico-chemical characteristics of experimental soil.

Soil Texture (U.S.D.A.)				Phase			Water Holding Capacity		
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture	Solid (%)	Liquid (%)	Gas (%)	1/10 (%)	1/3 (%)	15 atm (%)
20.8	56.5	22.6	SiL	48.0	23.6	28.4	37.7	31.4	10.3
pH (1:5)	O.M (%)	T-N (%)	Ava. - P ₂ O ₅ (ppm)	Exch. - Cation (me/100 g)					
				K	Ca	Mg	Na		
4.58	1.17	0.12	104.0	0.70	2.24	1.48	0.13		

그림 2에서 재배기간동안 작토층(지표면으로부터 25 cm 깊이)의 토양수분함량변화를 비교해 볼때 지상부생장이 어느정도 진전된 이식후 30일 이후부터 지하수위 100 cm 이상의 처리에서부터 현저하게 토양수분이 낮아져서 지하수위 230 cm인 경우 이식후 60일 이후에는 -6.5 bar (pF 3.81) 이하로 낮아졌으며 이론적으로 pF 2.0조 전인 지하수위 100 cm인 처리에서도 -4.0 bar (pF: 3.6) 이하로 낮아졌다. 이와같이 지상부생장이 진전됨에 따라 지하수위낙차가 클수록 작

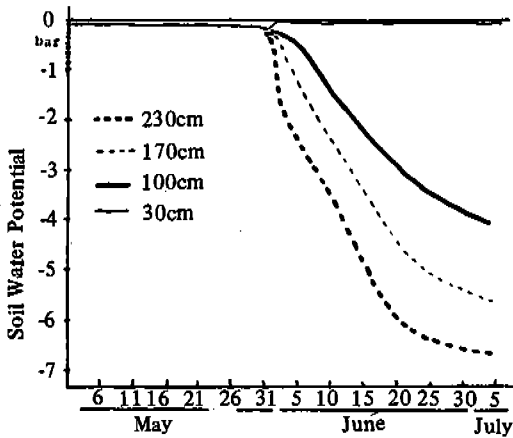


Fig. 2. Changes of soil water potential in the rhizosphere (25cm depth from surface) according to the different ground water table during the growing season.

토층의 토양수분이 현저하게 낮아진것은 광엽의 연초식물체가 증산작용에 의해 소모된 수분량만큼 토양모세관을 통한 지하수로부터의 수분공급이 원활하지 않기때문인것으로 판단되었다. 그러나 과습상태인 지하수위 30 cm처리에서는 수분공급이 충분하여 작토층의 토양수분변화가 거의 없이 $-30 \sim -60 \text{ m bar}$ 의 토양수분장력을 유지하였다. 상기와 같은 토양수분조건하에서 재배된 연초의 주당건엽중과 엽/줄기비율(그림 3)을 이식후 64일째에 비교해 볼때 주당건엽중은 지하수위 100 cm처리에서 가장 많았으며 230 cm 처리에서

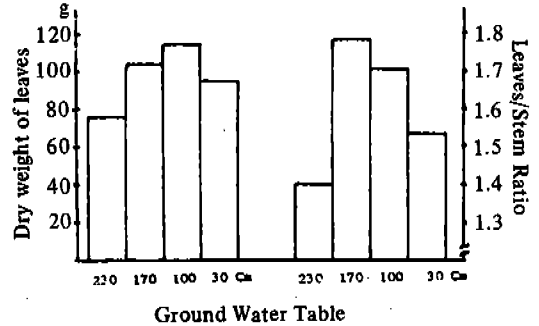


Fig. 3. Dry weight of leaves and leaves/stem ratio per plant according to the different ground water table at 65 days after transplanting.

가장 적었다. 또한 과습조건인 30 cm처리에서는 170 cm처리보다 더 낮아 과습에 의한 호흡억제 등으로 생장이 원활하지 못한 것으로 나타났다. 엽/줄기비율은 지하수위 230 cm와 30 cm처리가 170 cm와 100 cm처리보다 적어서 수분부족 상태와 과습상태에서는 엽의 생장이 줄기의 성장량에 비하여 현저하게 억제된다는 것을 보여주었다.^{9, 10)}

그림 4에서 이식후 30일 이후 생육단계별 엽면적의 상대생장율을 비교해볼때 엽의 신장율은 과습상태인 지하수위 30 cm처리에서 매생육시기마다 가장 양호하였고 이식후 44일까지는 지하수위 230 cm처리에서 엽의 신장율이 가장 낮았다. 그러나 수분 부족상태인 지하수위 170 cm와 230 cm처리는 이식후 45일 이후 생육후기에 100 cm처리보다 더 많은 엽의 신장율을 나타내어 엽의 신장이 생육후기까지 지연되었음을 보여주었다. 과습상태인 지하수위 30 cm처리에서 그림 4에서와 같이 가장 양호한 엽의 신장율을 나타냈음에도 불구하고 그림 3에서 주당건엽중이 170 cm처리보다 적었던 결과는 과습상태에서 재배된 연초의 조직은 치밀하지 못하기때문에 단위면적당 중량이 적었던 때문으로 판단되었다.

그림 5에서 일당 주당증발산량의 경시적 변화를 비교해볼때 토양수분상태가 양호한 지하수위 30 cm와 100 cm처리에서는 최대생장시기인 이식후 45일째에 최대로 각각 1.8 l/주 및 1.7 l/주

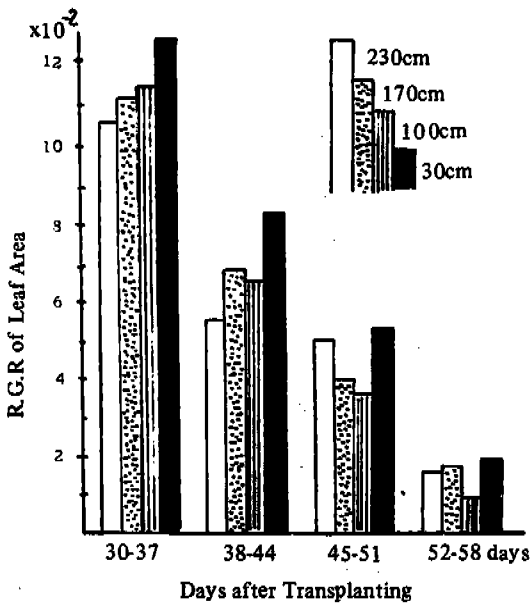


Fig. 4. Relative growth rate (R.G.R) of leaf area per plant at different growth stage from the 30th day initially treated with different ground water tables.

／주 이상의 증발산량을 보였으며 수분 부족상태인 170 cm와 230 cm처리에서는 이식후 60일째에 각각 1.5 ℓ / 주와 0.85 ℓ / 주로 최대증발산량을 나타냈다. 이와같이 수분부족상태에서 더 늦은 생육후기에 최대증발산량을 보인 결과는 지상부생장량이 후기까지 지연되었기 때문인 것으로 생각되었다. 토양수분이 양호한 상태 (지하수위 30 cm와 100 cm처리)에서 일당증발산량의 변화는 지상부생장량이 적은 이식후 30 일까지는 0.2 ℓ / 주 이하로 적었으나 그이후 생육이 진전됨에 따라 급격히 증가되어 이식후 40 일째 부터는 1.2 ℓ / 주 이상이 되었고 엽의 신장이 거의 진전되고 난 후인 이식후 64 일째에는 다시 감소되는 경향을 보였다. 이와같은 결과에서 연초생육기간중 수분의 소모가 가장 많은 기간은 최대생장시기인 이식후 40 일부터 60 일사이인 것으로 판단되었으며 현재의 연초표준재배법에서 이기간은 우리나라의 평년강우량이 가장 적은 5월 하순부터 6월중순사이에 해당되어 이기간 동안

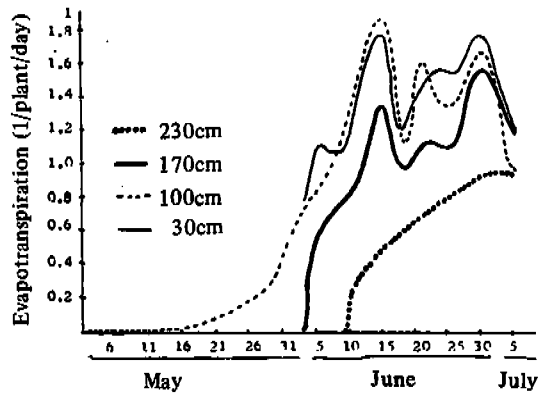


Fig. 5. Changes of evapotranspiration per plant per day according to the different ground water tables during the growing season.

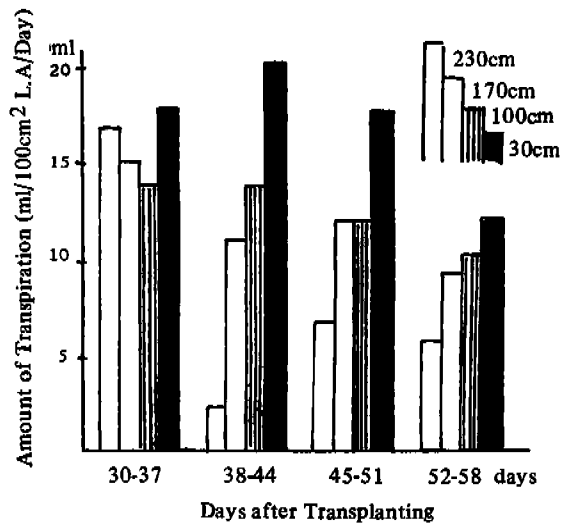


Fig. 6. Amount of transpiration per 100cm² of leaf area per day at different growth stage from the 30th day initially treated with different ground water tables.

의 강우분포에 따른 작토층의 토양수분은 연초의 수량과 품질에 영향을 미치는 중요한 시기로 판단되었다.

그림 6에서 주당엽면적 100 cm²당 하루에 증산되는 수분량을 이식후 30 일 이후 생육시기별로 비교해볼때 토양수분상태가 양호한 지하수위 30

cm와 100 cm처리는 최대생장시기인 이식후 38~44 일사이에 단위면적당 수분증산량이 가장 많았으나 수분부족 상태인 170 cm처리에서는 그보다 더 늦은 이식후 45~51 일 사이에 가장 많았다. 이와같은 결과는 그림 5의 일당증발산량 변화에서 30 cm와 100 cm처리에서는 이식후 45 일째에 그리고 170 cm와 230 cm처리에서는 이식후 60 일째에 가장 많은 일당 증발산량을 나타낸 것과 일치되었으며 토양수분처리에 따른 단위면적당 수분증산량은 매생육시기마다 모두 수분공급량에 비례하여 과습조건인 30 cm처리에서 가장 많았고 수분부족상태인 230 cm 처리에서 가장 낮았다.¹¹⁾

표 2에서와 같이 비닐하우스내부의 주간평균 온도 및 평균상대습도가 29℃ 및 35%였던 청명한 낮과 20℃ 및 85%였던 비오고 구름낀 낮의 증발산량을 주간과 야간으로 구분하여 단위 시간당 증발산량으로 그림 7에 나타냈다. 수분부족이 심하였던 230 cm처리의 경우는 청명한 날보다 비오고 구름낀 날에 또한 주간보다 야간에 더 많은 증발산량을 보였던 반면 수분상태가 더 양호했던 30 cm와 100 cm처리의 경우는 비오고 구름낀 날보다 청명한 날에 훨씬 더 많은 증발산량을 보였고 또한 야간보다 주간에 현저하게 많은 증발산량을 나타냈다.¹²⁾ 그리고 수분 부족이 230 cm보다 약했던 170 cm처리의 경우는 비오고 구름낀 날보다 청명한 날에 더 많은 증발산량을 보였으나 주야간에는 야간에 다소 많은 증발산량을 나타냈다. 이상과 같은 결과에서 연초의 증발산

량은 수분부족 조건이 아닌 경우 기상환경요인의 변화에 의해서 특히 대기온도와 상대습도 변화에 민감하게 반응하여 대기온도가 높고 상대습도가 낮을때에 증발산량이 매우 증대되고 반대로 대기온도가 낮고 상대습도가 높아지면 현저하게 감소 되는 것으로 나타났다. 그리고 대기온도가 비오고 구름낀 날과 청명한 날간에 비슷하였던 야간의 경우에도 증발산량은 청명한 날에 더 많았던 결과로 미루어 상기의 두 환경요인 중에서도 대기온도보다는 상대습도가 증발산량을 더 크게 지배하는 요인이라는 것을 알 수 있다. 그러나 수분부족 상태에서는 상기와는 반대로 상대습도가 낮은 주간보다는 야간에 그리고 청명한 낮보다는 비오고 구름낀 날에 더 많은 증발산량을 보였다. 和泉 등¹³⁾은 지하수위낙차 45 cm의 양호한 수분 상태에서 연초의 증발산량은 야간보다 주간에 많았고 지하수위낙차 75 cm의 수분상태에서는 주야간에 큰 차이가 없다고 보고하였는데 이는 본 시험결과와 일치되는 경향이였다.

그림 8에서 64 일간의 재배기간동안 주당전체 증발산량과 주야간으로 구분했을 때의 단위 시간당 증발산량으로 비교해볼때 토양수분처리하기전인 이식후 30 일까지는 각처리 모두 약 3 ℓ/주의 증발산량을 보였으며 그이후 34 일동안 과습 상태인 30 cm처리는 약 44.5 ℓ/주로 가장 많았고 수분부족 상태인 230 cm처리에서 약 18.1 ℓ/주로 가장 적었다. 이와같은 증발산량을 주, 야간으로 구분하여 비교하면 수분부족 상태인 170 와 230 cm처리에서는 주간보다 야간에 더 많

Table 2. Difference of temperature and relative humidity in the vinyl house between clear and rainy day.

Date	Hour		09:00 - 16:00				20:00 - 06:00			
			Temperature		Relative Humidity		Temperature		Relative Humidity	
	Range	Average	Range	Average	Range	Average	Range	Average	Range	Average
14th. June (Clear Day)	24-31°C	29°C	32-40%	35%	16-19°C	17.5°C	55-69%	63%		
17th. June (Rainy Day)	15-22	20	65-95	85	16-18	17	90-95	93		

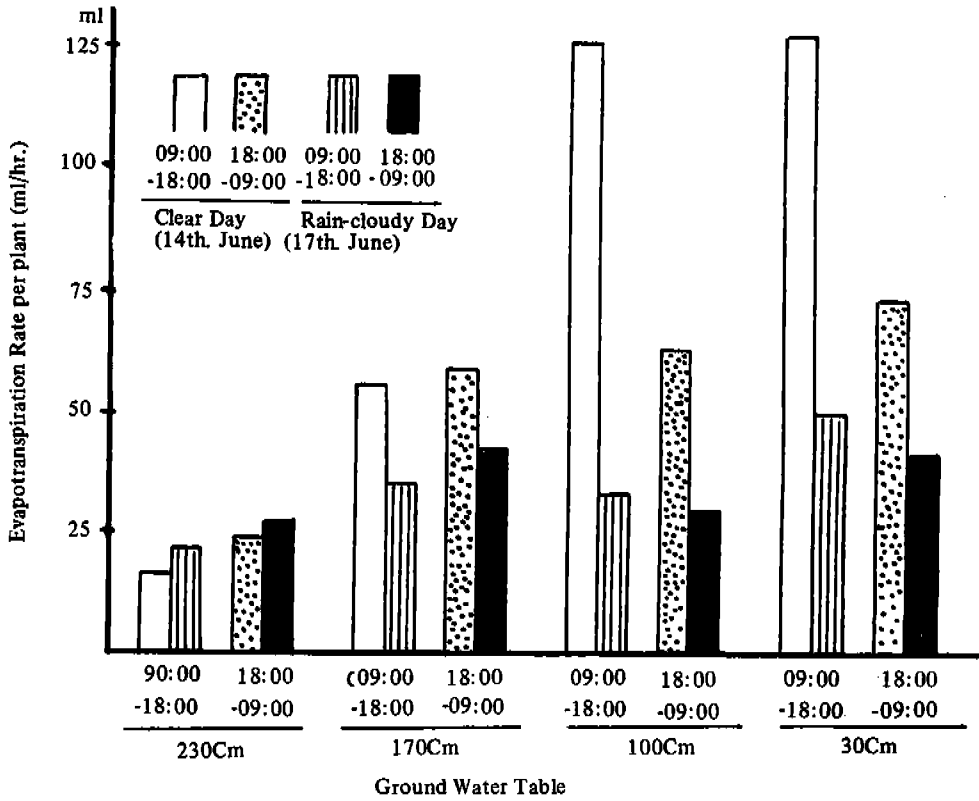


Fig. 7. Evapotranspiration rate per plant per hour as to the changes of meteorological environment i.e. clear and rain-cloudy day, daytime and night, at different ground water tables.

은 증발산량을 보였으며 이보다 수분상태가 양호한 30 cm와 100 cm처리에서는 반대로 야간보다 주간에 현저하게 많은 증발산량을 나타냈다. 이와 같은 결과에서 연초는 양호한 수분상태인 경우 상대습도가 낮은 주간에 더 많은 증산량을 나타내지만 수분부족 조건인 경우는 상대습도가 높은 야간에 증산작용을 더 많이 하는 것으로 생각되었다.

표 3에서 이식후 64 일째에 위로부터 3 매엽과 6 매엽층의 Leaf Water Potential 을 비교해 볼때 근권 (꽃트지표면으로부터 25 cm 깊이)의 토양 수분 potential 이 가장 낮았던 230 cm 처리에서 가장 낮은 엽의 수분상태를 보였고 100 cm처

리에서 가장 양호한 엽중수분상태를 나타냈다. 또한 과습상태인 30 cm처리에서는 100 cm처리보다 오히려 더 낮은 수분상태를 보였는데 이는 과습에 의한 뿌리의 호흡작용저해로 인한 것으로 생각되었다. 엽위간의 Leaf Water Potential은 상위엽인 3 매엽에서 더 높았는데 佐々木등¹¹⁾은 연초에서 기공밀도와 증산율은 상위엽에서 더 크며 이는 확산압부족을 증가시켰다고 하였고 Begg 등¹²⁾은 연초의 줄기와 엽중의 Water Potential은 하엽에서 상엽으로 갈수록 더 낮아진다고 보고하였는데 이는 상기의 결과와 같은 경향이었다.

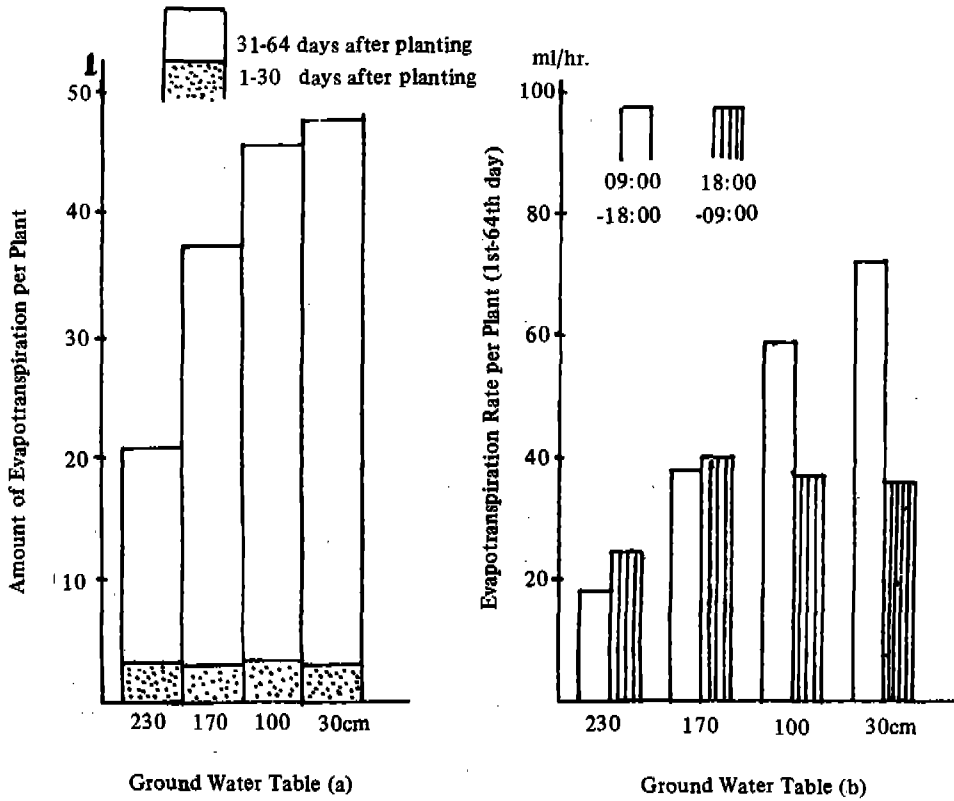


Fig. 8. a) Amount of evapotranspiration per plant for the growing season (64 days), b) evapotranspiration rate of diurnal and nocturnal for 34 days after treatment with different ground water tables.

Table 3. Leaf water potential of leaves at 64 days after transplanting.

Ground Water Table	230 cm	170 cm	100 cm	30 cm
Soil Water Potential (25 cm Depth from the ridge surface)	-6.45 bar	-5.68 bar	-4.00 bar	-0.07 bar
3rd leaf from top	-14.8 bar	-12.9 bar	-9.1 bar	-10.1 bar
6th leaf from top	-12.4	-5.7	-5.3	-8.6

결 론

참 고 문 헌

지하수위를 30 cm부터 230 cm까지 조절한 pot에서 토양수분을 과습과 부족상태로 처리하여 연초의 성장반응과 증발산량의 변화등에 대하여 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 지하수위를 230 cm로 한 경우 근권의 토양수분 Potential은 이식후 60일째에 -6.5 bar 이하로 낮아졌다.

2. 주당전엽중은 지하수위 100 cm 처리에서 가장 많았고 230 cm처리에서 가장 적었다. 또한 엽/줄기의 건중비율은 지하수위 230 cm 처리에서 가장 적어서 줄기에 대한 엽의 생장이 억제되었음을 보여주었다.

3. 수분부족 상태인 지하수위 230 cm 처리에서 엽의 신장은 생육후기까지 지연되었고 엽면적의 상대신장율은 과습상태인 지하수위 30cm처리에서 가장 높았으나 조적이 치밀하지 못하여 주당전엽중은 오히려 지하수위 170 cm 처리보다 적었다.

4. 일당증발산량은 지하수위 30 cm와 100 cm 처리인 경우 이식후 45일째에 최대였으나 지하수위 170 cm와 230 cm처리인 경우는 이식후 60일째에 최대였다.

5. 지하수위 30 cm와 100 cm의 토양수분 조건에서 주당증발산량은 비오고 구름끼날과 야간보다 상대습도가 낮은 청명한날과 주간에 훨씬 더 많았으나 지하수위 230 cm의 수분부족상태에서는 그 반대였다.

6. 재배기간(64 일간) 동안 주당전체 증발산량은 지하수위 30 cm > 100 cm > 170 cm > 230 cm의 순이었고 수분처리후 34 일동안의 주당전체 증발산량은 수분부족상태인 지하수위 170 cm와 230 cm인 경우 주간보다 야간에 더 많았으나 수분부족상태가 아닌 지하수위 30 cm와 100 cm의 경우는 반대로 야간보다 주간에 훨씬 더 많았다.

7. 이식후 64 일째 엽중수분 potential은 지하수위 100 cm > 30 cm > 170 cm > 230 cm의 순으로 과습상태인 30 cm처리가 100 cm처리보다 더 낮은 수분 potential을 나타냈다.

1. Begg, J.E., and N.C., Turner, Plant Physiol, 46, p. 343-346 (1970).
2. 和泉壽, 주자관농학지시보. 5 p167-173 (1967)
3. 和泉壽, 주자관농학지시보. 6. p, 35~44 (1968)
4. 정원채, 노재영, 안장현, 변주섭, 연초연구, 제 2집 p 31-46 (1974)
5. Knipling, E.B., Ecology, 48(6) p. 1038-1040 (1967).
6. Ligon, J.T., and G.R. Benoit, Agronomy, J. 58 p. 35-38 (1966).
7. Maksimova, L.P., E.M. Avetyan and I, G-Mokhnachev, Tob. Abst. 15(1) p. 119.
8. 노재영, 강신우, 연초연구, 제 2집 p 47-60 (1974)
9. 노재영, 연초연구 제 2집 p.107-128 (1974)
10. 佐々木간부, 평전극안, 자도관농학지시보 10 p.15-25 (1971)
11. 산하귀, 송소부삼, 자도관농학지시보. 3 p.80-89 (1966).