

水分 스트레스가 담배의 잎 수분 포텐셜, 光合成 및 뿌리發達에 미치는 影響

이상각* · 서용원* · 제리 존슨** · 강병화*

Effects of Water Stress on Leaf Water Potential, Photosynthesis and Root Development in Tobacco Plant

Sang Gak Lee*, Yong Weon Seo*, Jerry W. Johnson** and Byeung Hoa Kang*

ABSTRACT : Development of shoot and root, leaf water potential and photosynthetic rate affected by water stress in early growing stage of tobacco were surveyed to interpret stress response in terms of plant physiological and agricultural aspects. The growth of shoot and root was highly suppressed by water stress and the difference in dry weight by rewetting was smaller in root than in shoot. The total root length was highly decreased by water stress and the lengths of root for water stress and non-stress were 74m and 84m, respectively, after rewetting. The root growth treated by water stress was increased between 2nd and 3rd day after treatment indicating that temporary water stress at early growing stage might have increased of root zone activity for early growth stage. The leaf water potentials were decreased to -7.63MPa, -9.47 MPa, -11.89MPa, -13MPa at the 2nd, 3rd, 4th and 5th day by water stress. The relative water contents were 75%, 62% and 57% at the 3rd, 4th and 5th day after treatment. Photosynthesis was reduced largely by water stress. The photosynthetic rate after treatment at 2nd day and 3rd day was dropped to $18.15\mu\text{mol. CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$ and $9.35\mu\text{mol. CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$. It was never recovered to the normal, even after rewetting. Stomatal conductance had been reduced since 2nd day after treatment and increased after rewetting.

Key words : Water stress, Leaf water potential, Total root length, Photosynthesis, Stomatal conductance, *Nicotiana tabacum*.

植物의 生長은 細胞分裂과 細胞伸長에 의해 光合成器官에서 생성된 炭水化物을 이용하고 受容器官을 확대하는 과정이다. 植物體의 水分含量은 뿌리를 통해 흡수하는 相對水分量과 蒸散에 의하여 손실되는 蒸散量에 의하여 조절되며^{13,9)}, 자연 상태하에서 水分스트레스는 CO₂同化와 細胞分裂

및 細胞伸長 減少에 직접적으로 영향을 미쳐 作物의 生產力, 生態分布, 農業樣式 등을 결정하는 주요한 요인이 된다¹³⁾. 植物體가 水分스트레스를 받으면 각 器官의 物質分配比의 變動, 分化 및 發達의 억제를 통해서 植物의 生產活動을 현저히 저하시켜, 植物의 生長, 形態, 個體發生 및 代謝生理에

* 고려대학교 자연자원대학 식량자원학과(Dept. of Agronomy, College of Natural Resources, Korea Univ., Seoul 136-075, Korea)

** 미국 조지아대학교(Dept. of Crop and Soil Sciences, Univ. of Georgia, Georgia Station, Griffin, GA 30223, USA)

<'96. 10. 14 接受>

영향을 미치는 것으로 연구되어 왔다^{13,9,14,16)}. 水分 스트레스에 따른 環境에 適應하기 위한 植物의 反應은 새로운 遺傳子의 發現으로 組織, 器官 그리고 生育段階에 따라 조절되며 또한 스트레스 조건에 따라 독립적인 器官別로 發現될 수도 있어 水分反應에 따른 理論的인 分析은 확실히 밝혀지지 않고 있다¹¹⁾. 담배에 있어서 水分스트레스에 대한 生長의 反應은 줄기와 뿌리의 伸長을 지연시키고, 光合成, 蛋白質合成 및 溶質蓄積까지 광범위하게 生理 · 生化學的인 작용에 관여하며^{12,2,4,8,10)}, 우리나라의 기상은 4월 하순부터 5월 중순까지 旱魃의 화률이 대단히 커서 담배의 活着期間 직후의 旱魃은 初期生育을 크게 저하시켜 收量과 品質을 크게 감소시키는 요인이 되었다.

본 실험은 담배의 生育初期 水分스트레스에 따른 地上部 및 地下部의 發達狀態, 잎수분포텐셜과 光合成能을 조사하여 植物의 生理的인 側面과 農業的인 側面에서 스트레스 輕減과 利用을 해석하기 위한 기초자료를 얻고자 실시하였다.

材料 및 方法

본 실험은 미국 조지아주 Griffin에 위치한 조지아대학교 附屬溫室(28 / 21°C:주간 / 야간)에서 1995년 5월부터 7월까지 실시하였다. 실험에 사용된 品種은 미국 North Carolina주립대학교에서 분양 받은 황색종 담배 NC2326과 베어리종 담배 Burley21×Ky11의 交雜種을 이용하였다. 種子는 育苗床에 播種後 子床에 移植하여 일정한 苗齡에 달한 苗(9매출엽)를 1 / 5,000 a 포트에 移植하였으며, 포트재배에 사용한 土壤은 原野土에 完熟堆肥 500g, 硝素 3g, 磷酸 3g, 加里 5g을 全量基肥로 施用하여 담배 標準栽培法에 따라 재배하였다. 土壤水分處理는 移植後 10일째에 水分供給을 충분히 한 후 移植後 11일부터 5일 동안 斷水處理하였고 처리 5일째 마지막날 水分供給을 하였다. 土壤水分含量은 매일 2회 포트무게를 稱量하여 계산하였고 生育調查는 처리 24시간 후 5일간 5회와 水分再供給後 3일째 1회 실시하였다. 光合成과 氣孔傳導測定은 試料採取 당일 10시부

터 11시30분사이에 photosynthesis system(Li-Cor. 6200)과 Porometer(Li-Cor. 1600)를 이용하여 8매째엽(장:21cm, 폭:10.5cm)을 測定하였다. 뿌리의 전체길이는 methyl violet 용액으로 染色한 후 leaf and root analysis system (Agavision, Decagon)으로, 葉面積은 leaf area meter(Li-Cor. 3100)를 사용하여 측정하였다. 잎수분포텐셜은 11시 30분부터 12시 30분사이에 8매째엽을 pressure chamber를 이용하여 측정하였다. 相對水分含量(relative water content ; RWC)은 아래식을 이용하여 구하였다.

$$RWC = (FW - DW) \times 100 / (WSM - DW)$$

여기서 FW은 生葉重, DW은 乾物重, 水分飽和重(water-saturated mass ; WSM, 25cm²)은 生葉을 5°C의 低溫庫에서 수돗물에 24시간 담근 후 吸濕紙로 水分을 제거한 후 稱量하였다. 地上部과 地下部 乾物重은 80°C의 乾燥機에서 48시간 乾燥하여 조사하였다.

結果 및 考察

水分스트레스 處理期間의 土壤水分含量은 그림 1과 같다. 處理期間의 土壤水分含量은 처리 2일

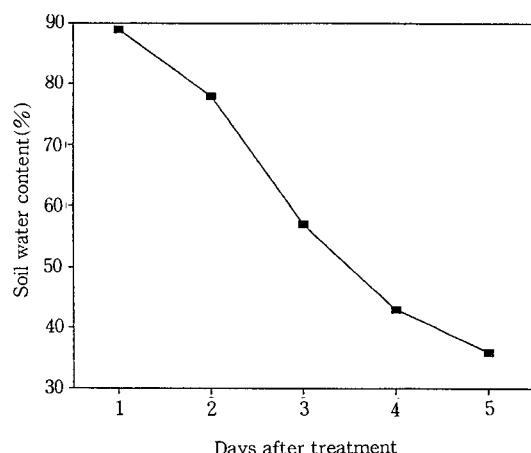


Fig. 1. The moisture content of soil during water stress treatment.

78%, 처리 3일 57%, 처리 4일 43%, 처리 5일 36%이었다. 처리 3일 부터는 담배의 最適水分含量狀態인 60%¹²⁾이하로 떨어지면서 오후에는 잎의 萎調現象이 나타나기 시작하였다.

담배의 生育初期 水分스트레스에 따른 地上部와 地下부의 生育狀態를 조사한 稈長, 葉面積 및 乾物重은 표 1과 같다. 稈長은 NC2326이 交雜種 (Burley21×Ky11)보다 初期生長이 컸고 水分스트레스에 따라 交雜種이 민감하였다. 처리 2일부터 水分스트레스에 따른 차이를 보였으며 처리 3일 土壤水分含量이 60%이하로 떨어지면서 生長은 크게 억제되었다. 水分再供給에 따른 3일간의 生長量은 처리구나 대조구에서 비슷하였으나, NC2326(9.76cm)이 交雜種(4.16cm)보다 회복력이 컸다. 稈長의 生長은 뿌리로 흡수된 養·水分, 잎에서 生成된 同化物質 및 그 외 타기관에서 생성된 호르몬이 상호 연관되어 조절되지만¹⁵⁾ 지속적인 旱魃에 따른 土壤水分含量의 감소는 地上部의 生長에 가장 큰 요인으로 작용하였다. 葉面積은 NC2326과 交雜種의 品種間 差異는 커지만 生長速度는 같은 경향이었다. 水分스트레스에 따른 효과는 처리 2일까지 작았고 처리 3일부터 葉生長이 크게 억제되었다. 葉面積의 변화는 잎의 크기나 葉數에 지배되지만, 처리 3일부터의 葉面積減少는 水分스트레스 기간이 계속됨으로써, 土壤이 건조하여 地下部의 吸水量減少와 地上部의 蒸散量增加로 細胞膨壓의 감소와 잎의活性低下에 따른 高分子化合物의 分解가 同伴하여 잎이 점진적으로 收縮되어 萎調狀態로 들어갔기 때문으로 사료된다. 水分再供給後 대조구에 비해 처리구에서 生長이 큰 것은 葉組織의 收縮과 膨脹은 水分의 에너지 狀態와 細胞膨壓 변화에 반영되는 것으로서 水分吸水의 相對率과 再分配에 따른 調節機能의 향상에 의한 것으로 사료된다. 결국 담배의水分스트레스시 生長量減少의 직접적인 영향은 水分脫水에 따른 것으로 葉發達의 감소는 일시적인 萎調狀態까지는 회복이 가능한 弾性的生物變形機能(elastic biological strain)을 가지고 있는 것으로 사료된다. 乾物重은 水分스트레스에 따라 生長量을 크게 감소시켰으며 地上部의 乾物重은

Table 1. Stem height, leaf area and dry weight affected by water stress during early growing stage in tobacco plant

Variety	Treatment	Stem height (cm)	Leaf area (cm ² /plant)	Dry weight (g/plant)																					
				Shoot				Root																	
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8										
NC2326	Control	5.5	8.0	9.8	12.3	15.0	25.0	597	838	979	1320	1776	2774	2.2	2.6	3.5	4.7	6.6	12.8	0.17	0.39	0.46	0.53	0.62	1.09
	Stressed	5.5	7.1	7.8	8.8	9.7	19.4	581	736	898	895	888	1998	2.1	2.5	3.2	3.5	4.3	8.5	0.17	0.32	0.37	0.46	0.59	0.89
Burley21 × Ky11	Control	5.8	7.0	7.5	8.9	10.8	16.8	570	813	915	1267	1384	2547	2.1	2.7	3.2	4.1	5.9	9.4	0.21	0.38	0.46	0.53	0.62	1.05
	Stressed	5.6	6.0	7.3	7.8	8.2	12.3	572	769	895	889	892	1904	2.0	2.5	3.1	3.6	4.0	7.4	0.20	0.37	0.44	0.49	0.55	0.86
LSD(5%)		0.7	0.9	0.4	0.5	0.9	2.2	36	137	98	110	370	228	0.2	0.4	0.3	0.7	0.5	1.7	0.02	0.08	0.09	0.07	0.09	0.15

* : Days after treatment.

처리 3일까지 차이는 작았지만 處理期間이 경과 할수록 反應은 커져 生長을 크게 감소시켰다. 地下部 乾物重도 地上부와 같은 결과로서 旱魃이 지속됨으로써 뿌리의 發達을 크게 저하시켰지만 地上부보다는 抑制幅이 작았다. 水分再供給에 따른 뿌리발달 차이도 地上부보다 훨씬 작았다. 따라서 水分스트레스에 따른 地下부의 生長鈍化는 地上부의 生長과 직결되며, 이는 담배에서 物質分配의 均衡을 破壞하여 收量과 品質을 감소시키는 요인 이 될 것으로 사료된다.

水分스트레스에 따른 生育初期 전체뿌리의 길이는 그림 2와 같다. 뿌리의 發達程度는 地上부의 氣孔反應, 葉生成, 葉伸長 및 기타 發達機能의 調節³⁾에 관여하지만,水分스트레스에 따른 뿌리발달의 감소는 地上부의 伸長 및 發育을 抑制시켜 生產을 크게 감소시켰다. 담배의 뿌리발달은 일정하게 증가하였지만水分스트레스에 따른 처리구 생장은 크게 억제되었다. 品種間에는 NC2326이 交雜種보다 水分스트레스에 따라 뿌리발달이 적었고, 처리 5일까지 뿌리발달 차이는 처리 2일과 비교하여 대조구의 1/2로 감소되었으며,水分再供給後 뿌리길이는 처리구 74m, 대조구 84m로 성숙한 담배의 전체뿌리 길이는 약 260m⁷⁾로서 移植後 18일까지 약 1/3의 뿌리발달이 이루어지는 것으로 사료된다. 특히 NC2326에서水分再供給後 生長量은 35m로水分스트레스에 민감하였지만 交雜種은 25m로서水分스트레스 조건하에서

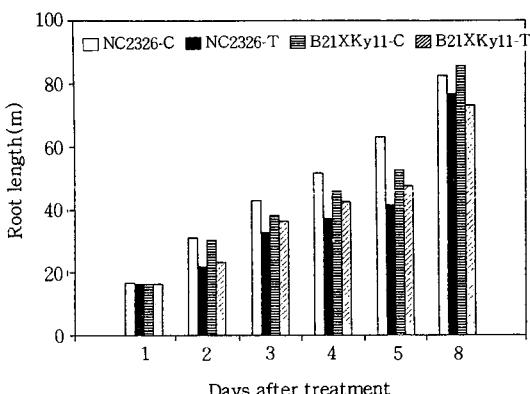


Fig. 2. The changes of total root length affected by water stress during early growing stage in tobacco.

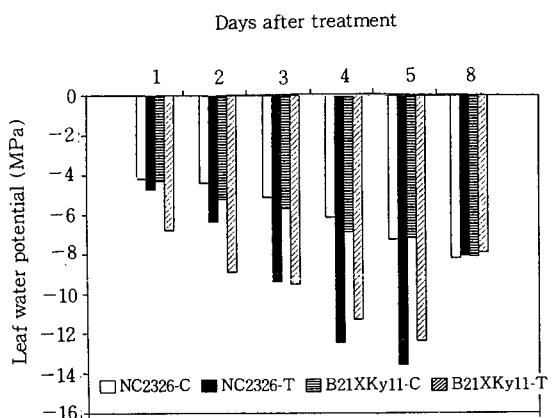


Fig. 3. The changes of leaf water potential affected by water stress during early growing stage in tobacco.

도 뿌리는 지속적인 發達이 이루어졌다. 전체뿌리 길이는 生理的인 감소가 일어나기 시작하는 처리 1일에서 2일, 처리 2일에서 3일, 처리 3일에서 4일, 처리구의 일일뿌리발달은 NC2326에서 7m, 11m, 5m, 交雜種에서 7m, 13m, 6m로서, 대조구의 NC2326에서 15m, 14m, 8m와 交雜種에서 12m, 8m, 8m에 비해 작았다. 처리구에서의 처리 2일에서 3일의 뿌리발달이 크게 이루어져 生育初期 일시적인水分스트레스는 根部의活性를 증가시켰다.

地上水分狀態의 지표로서 生育初期水分스트레스에 따른 잎 수분 포텐셜은 그림 3과 같다. NC2326과 交雜種의 잎 수분 포텐셜은水分스트레스에 따라 크게 감소하였다. 대조구에서의 수분 포텐셜은 葉齡이 증가함으로써 일정하게 감소하였다. 처리구에서는 처리 2일 -7.63MPa, 처리 3일 -9.47MPa 감소하였으며, 처리 4일 (-11.89MPa)은 土壤水分含量이 43%로 떨어지면서 NC2326이 交雜種보다 잎 수분 포텐셜이 낮아서水分스트레스에 민감하였다. 처리 5일에는 대조구 -7.23MPa, 처리구 약 -13.0MPa로서 잎 자체에 심한 스트레스를 받고 있으며萎調現象이 주간에 나타나고 야간에 회복되었다. 잎 수분 포텐셜은 잎의 葉齡과 品種에 따라 차이가 있으며萎調現象은 下位葉에서 上位葉으로 진행

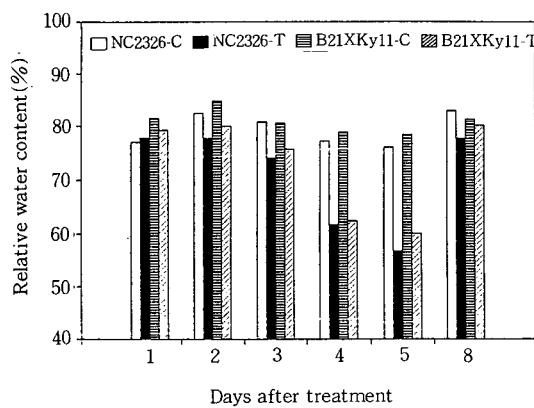


Fig. 4. The changes of relative water content affected by water stress during early growing stage in tobacco.

되었다. 水分再供給에 따라 잎 수분 포텐셜의 회복은 처리구가 대조구수준까지 증가되었다. Hsiao⁹⁾와 Pugnaire 등¹³⁾은 잎이 수분스트레스를 받으면 細胞滲透포텐셜이 낮아져 細胞크기와 細胞擴張이 감소하고 葉厚는 증가한다고 하였는데, 본 실험에서水分再供給後 회복에 따른 잎 수분 포텐셜이 큰 것은 불량한 環境條件의 適應에 따라서生存을 위한 細胞의膨脹을 유지시키려는 힘이 커기 때문으로 사료된다.

잎내의水分不足의 기본적인調節은吸水, 蒸散, 再分配에 의해 이루어지며水分스트레스에 따른相對水分含量의 변화는 그림 4와 같다. 相對水分含量은 잎 수분 포텐셜과 같은 경향으로서

NC2326이 交雜種보다水分含量이 적었다.水分含量은 처리 2일까지水分保有力에서 차이가 5일 57%로 감소하였다. 交雜種도 NC2326과 같은 경향이었으나 처리 4일, 5일의水分含量이 약 60%로 交雜種이水分스트레스에 따른抵抗性이 커고水分再供給에 따른相對水分含量은 交雜種에서 대조구의 수준까지 회복되었다. NC2326은水分스트레스에 따른 심한萎調가 일어나 회복이 대조구에 크게 못미치었다. 最適環境條件에서 生長하는 대조구의 잎相對水分含量은 비슷하지만水分스트레스를 받을 때의萎調現象은 외관상으로 어린 일보다老化葉에서 심하게 나타났다.

生育初期水分스트레스에 따른光合成 및氣孔傳導는 표 2와 같다. 光合成은 NC2326이 交雜種보다 높았으며水分스트레스에 따른光合成能은 현저히 감소하였다. 光合成은水分스트레스에 따라 처리 2일($18.15 \mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$)까지는 정상적인光合成을 수행하였으며 처리 3일부터 급격히 떨어져 $9.35 \mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$.로水分不足에 따라 생존을 위한 최소한의光合成만 유지하였다. 처리 5일에는 $4.77 \mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$.로光合成은 미미하였으며 이와 같은 상태에서는, 李¹¹⁾와 Farquham⁵⁾등은同化產物의移動 및 CO_2 의固定이 거의정지되고加水分解酵素의活性이 촉진된다고 하였다. 처리 3일과 같은경미한旱魃은氣孔閉鎖에 따른光合成能을 감소시키지만 처리 4일부터 심한萎調狀態下에서는呼吸異狀,蛋白質合成의低下 및 각器官의生育을抑制시킬 것으로 사료된다.水分再供給後의光合成

Table 2. Photosynthetic rate and stomatal conductance affected by water stress during early growing stage in tobacco leaves

Variety	Treatment	Photosynthesis ($\text{mol CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$)						Stomatal conductance ($\text{mol / m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$)					
		1	2	3	4	5	8*	1	2	3	4	5	8
NC2326	Control	15.4	19.7	20.3	22.1	19.6	18.0	8.7	8.3	8.4	9.3	12.1	7.7
	Stressed	14.8	18.5	9.3	6.1	4.8	16.6	8.7	6.3	4.3	3.5	2.3	8.6
Burley21 × Ky11	Control	13.0	18.5	20.2	19.6	18.7	17.3	8.8	8.4	8.8	9.1	11.6	7.8
	Stressed	13.9	17.8	9.4	6.1	4.1	15.1	8.5	5.8	3.6	2.0	1.9	8.8
LSD(5%)		2.6	0.6	1.3	0.8	0.5	1.2	1.1	1.0	0.8	0.9	0.9	1.1

* : Days after treatment.

은 대조구에서는 葉齡의 증가에 따라 光合成能이 감소하는 시기이고, 처리구가 대조구에 비해 光合成量이 적은 것은 스트레스 회복에 따른 生理的活性의 低下로 사료된다. Fisher⁶⁾등은 水分再供給狀態下에서는 잎의 膨壓이 급격히 증가하여 회복됨에도 불구하고 氣孔開閉能力은 대부분 1일 안에 氣孔이 열리지만 孔邊細胞와 葉育組織에 損傷을 입을 경우에는 2일에서 5일 정도의 기간이 요구된다고 하였다. 잎에서의 水分포텐셜의 감소는 光合成能의 감소와 직결되지만 水分스트레스에 따른 生長과 機能을 어떻게 調節하는지는 잘 연구되어 있지 않다. 氣孔傳導는 잎이 전개($8.73 \text{ mol/m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$)되면서 증가(약 $12 \text{ mol/m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$)하다가 最大葉에 이르는 時期에 다시 감소($7.70 \text{ mol/m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$)하였다. 水分스트레스에 따라 氣孔傳導는 감소하였고 水分再供給後 細胞膨壓이 정상적으로 유지되면서 증가하였다. 處理時期에 따라 氣孔傳導는 처리 2일부터 감소하기 시작하여 처리 5일에는 약 $2.0 \text{ mol/m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$ 이었다. 결국 水分스트레스에 따른 水分吸水가 감소하고 地上部의 蒸散量이 증가하면서 生理的인 姿調狀態에 이르면 氣孔傳導는 감소하였다.

이상의 결과를 종합하면 水分스트레스에 따라 地下部의 뿌리 發達減少로 잎의 發達이 低下되어 地上部의 乾物重을 감소시켰으며, 葉面積 減少에 따른 光合成面積의 감소는 光合成量을 감소시켰다. 결국 水分스트레스에 따른 잎의 水分포텐셜과 相對水分含量의 감소가 諸要因에 크게 영향을 미친 것으로 사료된다.

摘 要

담배의 生育初期 水分스트레스에 따른 地上部 및 地下部의 發達狀態, 잎수분포텐셜과 光合成能을 조사하여 植物의 生理的인 側面과 農業的인 側面에서의 스트레스 輕減과 利用을 해석하기 위한 기초자료를 얻고자 실시하였다. 水分스트레스에 따라 地上部 및 地下部의 生育이 크게 억제되었으며, 水分再供給에 따른 乾物重은 地下部가 地上部 差異보다 적었다. 水分스트레스에 따라 전체뿌리

발달은 크게 감소하였으며 水分再供給後의 뿌리 길이는 처리구 74m, 대조구 84m 이었다. 또한 처리 2일에서 3일 사이에서 뿌리발달이 크게 이루어져 生育初期 一時的인 水分스트레스는 根部의 活性을 증가시켰다. 잎수분포텐셜은 水分스트레스에 따라 감소하여 처리 2일 -7.63 MPa , 처리 3일 -9.47 MPa , 처리 4일 -11.89 MPa , 처리 5일 -13 MPa 였고, 相對水分含量은 처리 3일 75%, 처리 4일 62%, 처리 5일 57%이었다. 水分스트레스에 따라 光合成量은 크게 감소하였고, 처리 2일 $18.15 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$.에서 처리 3일 $9.35 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$.으로 급격히 떨어지면서, 水分再供給後에도 정상적으로 회복되지 않았다. 氣孔傳導는 처리 2일부터 감소하였고 水分再供給後 증가하였다.

LITERATURE CITED

- Bray E. 1993. Molecular responses to water deficit. Plant Physiol. 103:1035-1040.
- Clough B.F and F.L Milthorpe. 1975. Effects of water deficit on leaf development in tobacco. Aust. J. Plant Physiol. 2:291-300.
- Davies W.J and J ZHang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 42:55-76.
- Delgado E, M.A.J Parry, J Vadell, D.W Lawlor, A.J Keys and H Medrano. 1992. Effect of water stress on photosynthesis, leaf characteristics and productivity of field-grown *Nicotiana tabacum* L. genotypes selected for survival at low CO_2 . J. Exp. Bot. 43(253):1001-1008.
- Farquham G.D and T.D Sharkey. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. Ann Rev. Plant Physiol. 33:317-345.

6. Fischer R.A, Hsiao T.C and Hogan R.M. 1970. After-effect of water stress on stomatal opening. *J. Exp. Bot.* 21:371-385.
7. Gier L.G. 1940. Root systems of bright belt tobacco. *Amer. J. Bot.* 27:780-787.
8. Hopkinson J.M. 1968. Effects of early drought and transplanting on the subsequent development of the tobacco plant. *Aust. J. Agric. Res.* 19:47-57.
9. Hsiao T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann Rev. Plant Physiol.* 24:519 -570.
10. Kaiser W.M. 1987. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiol. Plant.* 71:142-149.
11. Lee S.G. 1993. A study on protein metabolism in the leaf during the senescence of tobacco plant. Ph. D. dissertation. Korea University.
12. Matsuda K and A Rayan. 1990. Anatomy: A key factor regulating plant tissue response to water stress. p. 63-87. In F. Katterma (ed.) *Environmental injury to plants*. Academic Press, Inc. San Diego, California.
13. Pugnaire F.I, Endolz L.S and Pardos J. 1993. Constraints by water stress on plant growth. p. 247-260. In M. Pessarakli (ed.) *Handbook of plant and crop stress*. Marcel Dekker, Inc. New York.
14. Rascio A, M.C Cedola, M Toponi, Z Flagella and G Wittmer. 1990. Leaf morphology and water status changes in *Triticum durum* under water stress. *Physiol. Plant.* 78:462-467.
15. Schonfeld M.A, R.C Johnson, B.F Carver and D.W Mornhinweg. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Sci.* 28:526-531.
16. Sharp R.E and W.J Davies. 1979. Solute regulation and growth by roots and shoots of water-stressed maize plants. *Planta* 147:43-49.