

## 反射필름 멀칭이 토마토의 氣孔特性, 蒸散速度, 光合成速度에 미치는 影響

조일환 · 김완순 · 허노열 · 권영삼  
원예연구소

### Effect of Reflective Film Mulching on the Stomatal Features, Transpiration Rate and Photosynthetic Rate of Tomato Plants in Greenhouse Cultivation

Cho, Ill-Hwan · Kim, Wan-Soon · Heo, Noh-Youl · Kwon, Young-Sam  
National Horticultural Research Institute

#### Abstract

These studies were conducted to verify the effect of the supplementary lighting by reflective film mulching and its establishment in the north side of greenhouse on the utility of light at tomato by means of investigating changes of leaf temperatures, stomatal features, transpiration rates and photosynthetic rates.

Stomatal density of leaves were high in the reflective film mulching but sizes of stomata were not different. As the osmotic potential in rooting zone was low, the stomatal resistance was high, transpiration rate was low, and leaf temperature was increased by 40.62°C. And also in the block of reflective film mulching photosynthetic rates were decreased but chlorophyll contents were not different. Especially, there is an effect of controlling greenhouse whiteflies by treatment of reflective film mulching.

It is thought that the reason of high quality or increasing yield at several crops by supplementary lighting, such as reflective film mulching, would be caused by influences of absorption and distribution of nutrients through high transpiration rate and photosynthesis which resulted from increase of stomata.

주 제 어 : 반사필름 멀칭, 광합성속도, 증산속도, 기공저항, 기공밀도

Key words : reflective film mulching, photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal resistance, stomatal density.

#### 서 언

시설재배에 있어서 시설내 流入光量은 피복

자재의 광투과량, 시설골재 등의 영향으로 일  
반적으로 외부일사량의 50~70%정도이며, 시  
설내 투과된 광량의 15%정도가 토마토의 저

단 과방까지 도달된다<sup>1)</sup>. 특히 겨울철 시설내 광량은 수량을 좌우하는 가장 큰 요인이 된다.

시설내 광환경 개선방법으로는 피복자재의 광투과율, 粉塵防滴性, 시설방향, 작물재배법, 유인방법 등의 개선으로 시설내 광유입을 향상시킬 수 있다. 보다 적극적인 시설내 광환경 개선방법으로는 북쪽 측면에 反射板설치와 반사필름 멀칭이 이용되고 있다.

반사필름 멀칭으로 화훼류 중 카네이션, 스프레이국화, 글라디올러스, 유스토마의 생육, 수량 및 품질을 향상시켰고 시설이용율을 향상과 작부체계를 보고하였다<sup>2)</sup>. 과수류중에서는 복숭아<sup>3)</sup>, 사과<sup>4)</sup>, 포도<sup>5)</sup>, 배<sup>10)</sup>, 밀감<sup>9)</sup>, 감<sup>15)</sup>에서 과실착색촉진, 숙기촉진, 당도향상, 산도감소, 지온저하 등의 효과가 보고되었다. 또한 반사필름 멀칭에 의해 진딧물 등 해충의 忌避效果로 바이러스 방제효과도 보고되었다<sup>6)</sup>.

그러나 반사필름 멀칭 등에 의한 토마토의 광이용에 관한 연구는 극히 일부분에 머무르고 있는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 반사필름 멀칭과 북측면의 반사판에 의한 補光이 토마토의 광이용에 미치는 영향을 밝히기 위해 토마토의 葉溫변화, 토마토 엽의 기공특성, 증산·광합성속도 등의 변화들을 중심으로 검토하였다.

## 재료 및 방법

본 실험은 97년 2월부터 7월까지 원예연구소 탑동포장에서 수행하였다. 공시시설은 유리온실이며, 공시작물은 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill CV. Momotaro)로, 2월 5일 파종하여 3월 30일 토양에 정식하였다. 처리는 토양의 반사필름 멀칭과 함께 북측면 반사판설치구와 토양의 흑색멀칭구의 2개구로 하였다. 멀칭재료는 알미늄 반사필름(두께 0.07mm)과 흑색필름(두께 0.05mm)을 이용하였다. 북측면 반사판은 두께 0.1mm의 알미늄이 부착된 필름을 이용하였다.

溢泌液은 4월 30일 13시부터 14시까지 1시

간동안 처리별 토마토 5주를 취하여 지제부로부터 15cm높이에서 줄기를 절단하여 채취하였고, 溢泌液의 무기성분분석은 원자흡광기(Perkin Elmer 3300)를 이용하였다. 광합성속도는 5월15일 13시에 휴대용 광합성측정기(LI6400, Licor)를 이용하여 3과방 인접엽을 5엽씩 취하여 측정하였다.

또한, 근권부의 삼투포텐셜의 차이와 반사필름 멀칭이 토마토의 기공특성 등에 미치는 영향을 구명하기 위해 3월 2일 파종하여, 5월 20일 DFT식 양액베드에 정식하였다. 양액농도는 저농도 EC(1.7mS·cm<sup>-1</sup>)와 고농도 EC(5.2mS·cm<sup>-1</sup>)의 2수준과 반사필름 멀칭과 흑색멀칭의 2처리로 전부 4처리에 토마토를 정식하였다. 일사량 측정은 quantum sensor(Licor Model 16854)로, 엽온측정은 CC電熱帶와 datalogger(Li-1000 Licor)를 이용하여 10분마다 측정하였다. 엽면에 電熱帶 붙이는 방법은 本條의 연구를 참고하였다<sup>7)</sup>. 엽록소함량 분석은 엽록소 추출시약인 DMSO(dimethyl sulphoxide)을 사용하였다. 토마토 엽의 기공저항과 증산속도 측정은 6월23일 13시에 3과방 인접엽을 5엽씩 선택하여 porometer(Li-1600 Licor)를 이용하였다.

토마토 엽의 기공분포와 기공형태는 3과방 인접엽을 5엽씩 취하여 매니큐어를 이용하여 葉裏面의 표피조직을 벗겨 낸후 현미경 미분간 점위상차(Nikon optiphot-2)를 이용하여 관찰하였다.

## 결과 및 고찰

표 1은 처리에 따른 토마토의 溢泌液速度, 溢泌液内の 무기성분 流入速度와 광합성속도를 나타내고 있다. 흑색필름 멀칭에서 溢泌液은 다소 많았으나 Ca, Mg, K의 유입속도는 낮았다. 일반적으로 토양지온의 변화폭이 크거나 건조하거나, 토양용액농도가 높은경우 뿌리 新壁組織의 內皮에 casparian strips가 형성되어 수분 및 무기성분 吸收가 저해된다. 특히 根의 吸水速度는 작물에 따라 다소 차이

는 있으나 根端으로부터 수 cm위의 부분에서 최대로 되며 그 부분으로부터 아래 부분에는 吸水가 적게 된다. 반면 무기성분의 흡수는 주로 根端 附近에서 이루어 지며 根端에서 멀어질수록 吸收가 저해된다고 보고하였다<sup>6)</sup>. 필자들이 이미 발표했듯이 흑색필름 멀칭구가 반사필름 멀칭구에 비해 지온변화가 크기 때문에 근권부의 신근에 casparian strips의 형성이 촉진되어 무기성분의 흡수가 우선적으로 저해되었다고 생각된다. 광합성속도는 반사필름 멀칭처리에서 이용 가능한 광이 많았음에도 불구하고 낮았다.

표 2는 처리에 따른 토마토엽의 기공저항, 증산속도를 나타내고 있다. 기공저항은 반사필름 멀칭의 고농도 EC처리구에서  $12.28 \text{ s} \cdot \text{cm}^{-1}$ 로 극단적인 기공저항을 나타내고 있으며, 증산속도는  $2.91 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 흑색필름 멀칭의 약 21.9%에 머무르고 있다. 이는 양액의 낮은 삼투포텐셜에 의한 수분 스트레스가 반사필름 멀칭과 북측면 반사판에 의한 과도한 광이 더욱 상승적으로 작용하여 증산속도를 저하시켰다고 생각된다. 반면, 저농도 EC처리구에서 증산속도는 흑색필름 멀칭처리가 반사필름 멀칭처리보다 19.5% 정도 높았다. 반사필름 멀칭에 저농도 EC처리구의 증산속도가  $12.19 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$ 이고 흑색필름 멀칭에 고농도 EC처리가  $13.29 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$ 로 큰 차이를 나타내지 않았다. 이것은 반사필름 멀칭처리 만으로도 수분스트레스에 의한 생산물 품질향상에 이용 가능하다고 생각된다.

기공저항은 기공직경에 반비례하고, 기공직경은 많은 환경요인과 복잡하게 상호관련되어 있다. 기공저항에 영향을 미치는 주요한 환경요인으로는 광, 수분스트레스, 바람, 성장조절물질농도, 내생리듬, 공기습도, 세포간극의 탄산가스 농도, 온도 등이다. C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>식물의 기공개폐는 광강도와 높은 상관성이 있음에도 불구하고 광이 광합성에 의해 엽내CO<sub>2</sub> 농도 변화를 일으키는지, 혹은 직접적으로 작용하는지에 대해서는 확실하지 않다<sup>12)</sup>. 토마토의 기공개폐가 일어나는 수분 포텐셜은  $-0.7 \sim -0.9 \text{ MPa}$ 라고 보고 되었다<sup>4)</sup>. 특히 광질과 기공개

폐 관계는 청색광과 적색광의 광수용체가 공변세포 원형질막의 펌프를 활성화시켜 세포내측으로부터 외측에 轉流가 생기며 이 방향의 轉流가 세포질에의 APT와 무기인산의 공존에서 최대가 된다고 보고했다<sup>13)</sup>.

처리별 토마토엽의 氣孔특성은 표 3과 같다. 단위면적당 氣孔밀도는 반사필름 멀칭이 흑색필름 멀칭보다 약 1.92배 높았다. 반면 氣孔縱徑(A), 氣孔橫徑(B), 氣孔面積(A×B)은 처리별 일정한 경향이 없었다.

남 등<sup>11)</sup>의 해바라기의 氣孔특성에 관한 연구에서 FR이 상대적으로 많고 R/FR비가 낮은 분광특성을 갖은 4과장형광램프의 처리가 氣孔密度 증가와 氣孔開度도 크게 되어 氣孔을 통해 가스교환이 왕성했고 이에 따라 증산속도 및 광합성속도가 증가되어 식물생육이 촉진되었다고 보고하였다. 그러나 본 시험에서는 이와는 반대로 반사필름 멀칭에서 엽의 氣孔密度는 증가되었으나 기공저항이 증대되었고 증산속도, 광합성 속도는 늦었다.

그림 1은 6월23일 하루중 일사량의 변화와 이에 따른 각 처리별 엽온의 변화를 나타내고 있다. 12시 40분경 일사량이  $1009 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 일때 반사필름 멀칭에 고농도 EC처리의 엽온이 40.62℃이며, 흑색필름 멀칭에 저농도 EC가 31.38℃로 약 9.2℃의 차이를 나타내고 있다.

반사필름 멀칭처리에서 엽의 단위면적당 기공밀도가 1.92배나 높고 광이용 효율도 높음에도 불구하고 기공저항이 크고 광합성속도, 증산속도가 낮은 것은 다음과 같은 원인이 단독 혹은 상호작용하였기 때문으로 생각되어진다.

첫째, 토마토엽에 특정과장의 광이 과도하게 반사되어 토마토 내부 생리대사에 영향,

둘째, 토마토 엽온이 약 40℃까지 상승함에 따라 기공개폐에 관여하는 효소들의 불활성이 증가함에 따라 각종 생화학반응의 저하<sup>7)</sup>때문으로 보인다.

특히 반사필름 멀칭처리에서 기공밀도가 높아지는 기작과 그와 함께 기공저항이 높아지는 원인은 금후 세밀한 식물생리적인 검토가

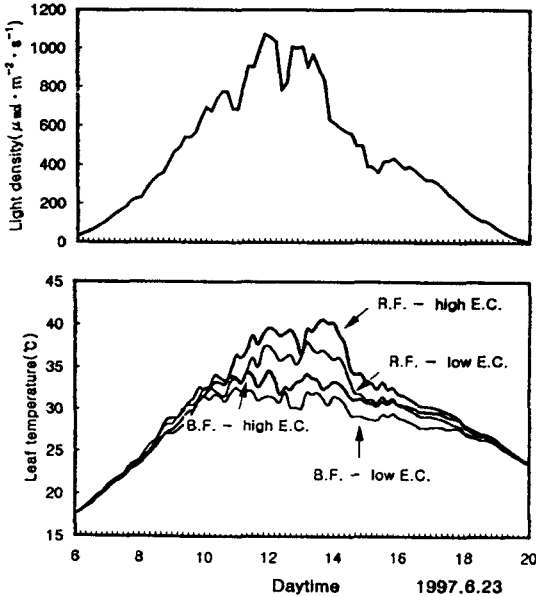


Fig. 1. Diurnal changes of light intensity(A) and leaf temperature(B) in different treatments in Tomato 'Momotaro'(R. F.-reflective film mulching, B. F.-black film mulching).

이루어져야 할 것으로 생각된다.

표 4는 처리에 따른 엽록소 함량을 나타내고 있다. 각 처리별 엽록소 함량 차이는 거의 보이지 않았고, 각 처리 공히 상위엽보다 하위엽이 엽록소 함량이 감소되는 경향을 나타냈다. 이는 일종의 하위엽의 노화현상으로 엽록소가 파괴된 엽에서는 엽록소의 분해의 속도가 재형성의 속도보다 빠르기 때문으로 생각된다. 작물체엽의 엽록소 함유량과 광합성 속도와는 밀접한 관계가 있어 엽록소의 형성 및 파괴에 영향을 주는 주요인은 작물생육과 밀접한 관련이 있다. 또한 작물의 엽에 강광, 질소, 마그네슘, 철분, 구리, 망간결핍 등은 엽록소의 형성을 억제한다<sup>6)</sup>.

표 1에서 반사필름 처리에 의한 광합성속도가 낮은 원인이 광합성기관에 강광으로 인한 엽록소의 광산화(photooxidation)에 의해 엽록소가 이용될 수 있는 이상으로 勵起狀態에

의한 것으로도 생각할 수 있으나, 처리별 엽록소함량의 차이가 없으므로 광수용능력에 의한 차이가 아닌 높은 기공저항에 의한 대기와 식물체 내의 가스교환의 장애에 의한 것으로 생각된다.

그림 2는 6월 23일 8시부터 12시까지의 처리별 토마토 엽온변화이다. 10시 40분까지는 반사필름 멀칭처리의 엽온이 낮았고 그후 높아지는 경향을 나타내고 있다. 10시 40분까지 엽온이 낮은 원인은 반사필름 멀칭에 의한 광반사가 토마토엽의 기공밀도를 증가시켜 이로 인한 순조로운 증산이 엽온을 저하시켰다고 생각된다. 따라서 양액의 삼투포텐셜을 높여 수분스트레스를 저하시켰다면 더 강한 일사량에서도 순조로운 증산작용으로 엽온이 낮게 유지될 것으로 생각된다. 본 연구에서는 반사필름에 의한 토마토엽의 증산 및 광합성에 負의 영향을 나타냈으나 일부 화훼 및 과수에서는 반사필름에 의한 증수 및 품질향상 등의 효과를 얻었다. 이것은 보광에 의한 단순한 광합성산물의 증가라기 보다는 적정 광반사에 의한 기공밀도의 증가로 빠른 증산·광합성속도가 체내의 물질대사나 생장에 영향을 주고 그 결과 간접적으로 무기성분의 흡수나 분배에 영향을 주어 생육 및 수량 등이 양호했다고 생각된다.

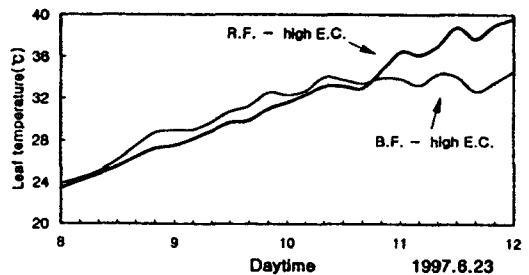


Fig. 2. Changes of leaf temperature in high E. C. treatments of nutrient solution in Tomato 'Momotaro'(R. F.-reflective film mulching, B. F.-black film mulching).

조·김·허·권 : 反射필름 멀칭이 토마토의 氣孔特性, 蒸散速度, 光合成速度에 미치는 影響

Table 1. Difference between reflective film and black film on mineral elements flux rate of xylem and photosynthetic rate in tomato 'Momotaro'.

Treatments	Exudation (ml · plant <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> )	Mineral elements (μg · plant <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> )				Photosynthetic rate (μmol · cm <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> )
		Ca	Mg	K	Fe	
Reflective film	1.70±0.72	991±105	355±28	1,132±190	6±1	9.68±0.32
Black film	2.05±0.86	904±111	344±41	679±142	9±2	11.68±0.36

Table 2. Effect of multhing materials and concentrations of nutrient solution on the stomatal resistance, transpiration rate in tomato 'Momotaro'.

Treatments		Stomatal resistance (s · cm <sup>-1</sup> )	Transpiration rate (μg · cm <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> )
Reflective film	High EC	12.28±2.73	2.91±0.59
	Low EC	2.44±0.66	12.19±1.46
Black film	High EC	2.41±0.69	13.29±2.35
	Low EC	1.96±0.16	14.57±1.52

Table 3. The stomatal features on tomato leaves 'Momotaro'.

Treatments		Stomatal density (number/μm <sup>2</sup> )	Length of aperture (A) (μm)	Width of aperture (B) (μm)	A × B (μm <sup>2</sup> )
Reflective film	High Ec	38.3±2.99	32.4±2.74	24.3±2.00	785.8±5.48
	Low EC	37.8±1.71	32.1±3.19	24.4±2.61	783.3±8.33
Black film	High EC	19.5±7.46	30.5±4.75	21.8±3.00	663.9±14.04
	Low EC	20.1±5.77	39.4±3.58	22.7±2.66	894.9±9.52

Table 4. Effect of multhing materials and concentrations of nutrient solution on chlorophyll content of tomato leaves 'Momotaro'.

Treatments		Chlorophyll contents(mg/7g FW)		
		Position I <sup>2</sup>	Position II	Position III
Reflective film	High EC	0.94±0.16	1.28±0.18	1.73±0.19
	Low EC	1.21±0.15	1.35±0.16	1.95±0.15
Black film	High EC	1.01±0.16	1.46±0.25	1.89±0.23
	Low EC	1.07±0.20	1.36±0.29	1.42±0.31

<sup>2</sup>Position I :leaves near first fruit cluster, Position II :leaves near second fruit cluster, Position III :leaves near third fruit cluster.

표 5은 반사필름 멀칭에 의한 온실가루이 방제효과를 나타냈다. 대부분의 진딧물류는 가시광선중에서 특히 황색에 유인되는 특성이 강하며 멀칭으로부터 반사되어지는 단파장광이 착륙기피 요인으로 되어 있지만 상세한 광질분석에 대하여서는 연구과제로 남아있다. 본 연구에서는 조사시기에 진딧물이 발견되지 않았지만 온실가루이의 방제효과도 어떤 특정 반사파장이 온실가루이의 행동에 이상을 가져왔다고 생각된다. 따라서 저농약 재배법의 하나로서 멀칭재의 선택적 광질의 반사에 의해 가능하다고 생각한다.

Table 5. Effect of mulching materials on the occurrence of greenhouse whitefly in tomato 'Momotaro'.

Treatments	No. of greenhouse whitefly per leaves	
	Larval	Adult
Reflective film	0	Few
Black film	7.6	Many

## 적 요

본 연구에서는 반사필름 멀칭과 북측면의 반사판설치에 의한 보광이 토마토의 광이용에 미치는 영향을 밝히기 위해 토양 및 수경재배를 통해 토마토의 엽온변화, 기공특성, 증산·광합성속도 등의 변화들을 중심으로 검토하였다.

보광 처리에 의해 토마토엽의 기공밀도는 증가하였으나 기공의 크기와 면적은 차이가 없었다. 근권부의 삼투포텐셜이 낮으면 광반사에 의한 기공저항이 컸고 증산속도는 낮았으며 엽온은 40.62℃까지 상승했다. 또한 보광에 의해 광합성속도도 저하했으나 엽록소 함량에는 차이가 없었다. 반사필름 멀칭으로 온실가루이의 기피효과는 있었다

弱光期인 冬節期에 반사필름 멀칭 등의 보광처리에 의한 증수나 품질향상은 엽의 기공

밀도의 증가로 활발한 증산·광합성작용으로 체내의 물질대사나 생장에 영향을 주고 그 결과 간접적으로 무기성분의 흡수나 분배에 영향을 주어 생육 및 수량 등이 양호했다고 생각된다.

## 인 용 문 헌

1. 趙日煥·趙三增·權永杉. 1997: 施設園藝의 被覆資材가 光環境에 미치는 影響. 園藝論文集, 39(1): 140-144.
2. 許建亮. 199: 施設栽培에 있어서 反射필름 멀칭이 切花類의 生育, 收量 및 品質에 미치는 影響. 서울대학교. 博士學位論文.
3. 木條 均. 1983: 表面溫度의 測定, 農業氣象, 39(2): 125-127.
4. Hsiao, T. C. 1973: Plant responses to water stress. Annu. Rev. Plant Physiol. 24: 519-570.
5. 稻田勝美. 1984: 光と植物生育. pp. 308-377. 養賢堂.
6. 石原 邦·倉石 晉·田崎忠良·橋本 康. 1986: 水環境と植物. pp. 147-193.
7. 石井龍一. 1994: 植物生産生理學. pp. 132-144. 朝倉書店.
8. 近藤 亨. 1975: 農耕と園藝. 30(4): 216-218.
9. 栗山隆明·吉田 守. 1976: マルチ栽培研究集錄. IV. pp. 678-679.
10. 眞弓 濟·橋本敏幸·玉村浩司. 1975: 昭和49年度 落葉果試研會議資料.
11. 南俊毅·村上克介·成日慶·洞口公俊·相賀 一郎. 1996: 4波長域發光形螢光ランプがヒマワリ實生の氣孔特性, 蒸散速度, 光合成速度におよぼす影響. 生物環境調節. 34(3): 231-234.
12. Raschke, K. 1975: Stomatal action. Annu. Rev. Plant Physiol. 26: 309-340.
13. 新免輝男. 1991: 環境應答. pp. 98-108. 朝倉書店.

조·김·허·권 : 反射 필름 멀칭이 토마토의 氣孔特性, 蒸散速度, 光合成速度에 미치는 影響

---

14. 鈴木 宏·田口辰雄·久米靖穂. 1974 : 昭和 48年度 秋田果試業務報告. 53.
15. 田村忠男·熊木 茂·渡近勝營·鹽原孝一. 1975 : 昭和49年度 落葉果試研會議資料
16. 朴鍾聲·趙載英·李殷雄·趙東三·卞鍾英·李錫淳·崔寬三. 1992 : 作物生理學. pp. 208-240. 鄉文社.