

## 폴리올레핀계 필름 장기사용이 참외의 생육 및 품질에 미치는 영향

신용습<sup>1\*</sup> · 연일권<sup>1</sup> · 이지은<sup>1</sup> · 정종도<sup>1</sup> · 최성용<sup>1</sup> · 정두석<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경북농업기술원 성주과채류시험장, <sup>2</sup>에이알티에스(주)

### Effect of Long Period Usage of Polyolefin Film on Growth and Fruit Quality in Korea Melon (*Cucumis melo* L. var *makuwa* Makino)

Yong-Seub Shin<sup>1\*</sup>, Il-Kweon Yeon<sup>1</sup>, Ji-Eun Lee<sup>1</sup>, Jong Do Cheung<sup>1</sup>,  
Seong Yong Choi<sup>1</sup>, and Doo-Seok Chung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Seongju Fruit Vegetable Experiment Station, Gyeongbuk AR&ES, Seongju 719-861, Korea

<sup>2</sup>A.R.T.S Co., Ltd., Gyeongnam Yangsan 626-120, Korea

**Abstract.** This experiment was conducted to investigate the difference among 3-years-used Polyolefin films which were J-1, J-2 and J-3 having differences in film thickness, infrared absorption and ultraviolet penetration from Jan. 16, 2006. And 1-year-used Polyethylene film K-1 used from Jan. 16, 2008, for covering film of greenhouse for Korea melon cultivation. J-2, J-3 and J-1 films were better for keeping heat in order, and J-2 film was the best in plant growth at early stage. The first blooming and harvesting days in J-2 film were earlier 10 days than those in K-1 film. Chromaticity and soluble solid of harvested fruit in J-3, J-1 and J-2 films were higher than those in K-1 film. Marketable yields in J-2, J-1 and J-3 films were higher in order.

**Key words :** growth, infrared ray, polyolefin film, quality, ultra violet, yield

## 서 언

참외는 고온성, 호광성 작물로 저온기 무가온 재배 시 광량, 광질 및 하우스 필름 종류에 따라 생육과 품질에 많은 영향을 받고 있다(Chun 등, 2006a, b; Choi 등, 2006). 한국에서 이용되고 있는 하우스 피복 비닐의 대부분은 폴리에틸렌 필름으로 전국 채소재배 시설 48,573ha중 86.1%인 41,821ha를 차지하고 있다(MAF, 2006). 고품질 참외를 생산하기 위해서는 투광율이 우수하고 특정 파장을 흡수, 차단하는 기능성 필름 개발이 요구되고 있으나, 국내에서는 아직 미흡한 수준이다(Choi 등, 2006). 참외는 광 요구도가 높은 작물이지만 약광 조건에서는 초장, 경경은 큰 차이가 없으나 엽면적, 근장, 생체중, 건물중 및 엽록소 함량과 광합성율이 감소하며 과중이 작아지고 sucrose 축적량이 감소한다(Lee 등, 2003; Sin 등, 1991). 또한

온도가 낮으면 생육이 저해되어 품질이 떨어지고 수량이 감소하기 때문에 이를 극복하기 위한 연구결과도 있다(Shin, 2005). 한국 참외 재배면적의 85%를 차지하는 경북지역은 12월부터 이듬해 1월까지 정식하여 재배하기 때문에 저온과 일조부족으로 생육이 불량하고 품질이 저하하는 등 많은 문제가 있으므로 고품질의 과실생산을 위해서 하우스 피복필름을 매년 교체하여 재배하고 있다. 피복필름의 장기사용은 비용 및 작업노력 절감은 물론 소각에 의한 환경오염 예방도 가능할 것이다. 이 연구는 적외선 흡수율 및 자외선 투과율이 다른 몇 가지 필름을 재료로 시설내 온·습도, 작물의 생육 및 품질을 비교하여 피복필름의 장기사용 가능성을 비교하기 위하여 수행하였다.

## 재료 및 방법

필름두께, 적외선 흡수율, 자외선 투과율이 다른 Polyolefin film(J-1, J-2, J-3)을 2006년 1월 16일 피복하여 3년 사용한 필름과 한국의 참외 재배농가에서 관

\*Corresponding author: sys1962@gb.go.kr  
Received February 3, 2009; Revised March 16, 2009  
Accepted March 18, 2009

**Table 1.** Characteristic of the films for this experiment.

Covering films <sup>a</sup>	Film thickness (mm)	Light transmittance (%)	Ultra violet transmittance (%)	Infrared ray absorption (%)	Covering date
J-1	0.10	93	72	66	Jan. 16. 2006
J-2	0.15	93	62	91	Jan. 16. 2006
J-3	0.13	93	0	90	Jan. 16. 2006
K-1	0.06	92	70	48	Jan. 16. 2008

<sup>a</sup>J-1, J-2 and J-3 were polyolefin films supplied from Smitomo chemical Co., Japan and K-1 were domestic polyethylene films.

행으로 사용하는 Polyethylene film(K-1)을 2008년 1월 16일 피복하여 1년 사용한 필름을 대조구로 하였다 (Table 1). 시험에 사용한 품종은 ‘뽕싹토좌호박’에 ‘오복출참외’를 편엽합접하여 2008년 1월 25일에 폭 180cm 이랑에 40cm 간격으로 정식하였다. 정식 1개월 전에 10a당 우분 발효퇴비 1,500kg, 고토석회 200kg, 질소, 인산, 칼리를 18.7, 6.3, 10.9kg을 시비하였으며, 질소와 칼리는 60%를 추비로 5회 분시하고 나머지는 전량 기비로 사용한 후 경운하였다. 아간에 보온을 위하여 하우스 내에 길이 2.4m 강선으로 소형터널을 설치하여 두께 0.03mm의 터널용 비닐과 12온스 보온 부직포를 피복하여 무거운 재배하였다. 적심은 정식 전에 주지 4번째 마디에서 실시하여 그 후 2개의 아들덩굴을 유인하여 17번째 마디에서 적심하였다. 좌과는 아들덩굴 5번째 마디 이상에서 나온 손자덩굴에 착과시켜 한 포기 4~5개의 과실이 달리도록 한 후, 도마도톤(4-chlorophenoxy acetic acid, 4-CPA) 50배액과 GA<sub>3</sub> (gibberellic acid) 50mg · L<sup>-1</sup>를 개화 당일 자방에 분무 처리 하였다. 파장별 일사투과량은 휴대용 분광광도계(LL-1800, EKO)를, 기온은 자동온도측정기(TR-71S, T&D, Japan)를 이용하여 측정하였다. 당도는 정상과의 과육부를 착즙한 후 당도계(Atago N1, Taiwan)로 가용성 고형물 함량을 측정하였고, 색도는 과실 중앙부의 과피를 색도계(NR-3000 Denshoku Ind. Co., Japan)로 측정하였으며, 품질 및 수량은 4월 16일부터 6월 25일까지 수확 조사하였다. 시험구는 하우스 1동을 1처리로 하고 하우스내에서 시험구 면적을 구당 18m<sup>2</sup>로 하고 난괴법 3반복으로 조사하였으며, 기타 관리는 농촌진흥청 표준영농교본에 준하여 재배하였다.

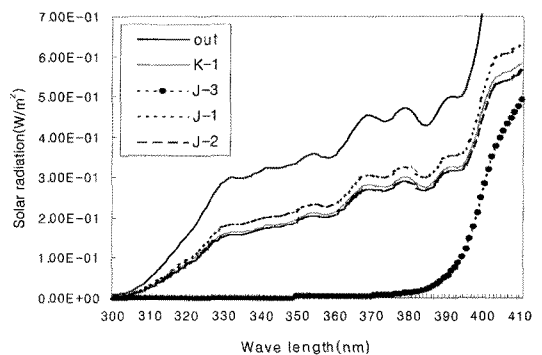
### 결과 및 고찰

시험에 사용된 필름의 두께, 자외선 차단율 및 적외

선 흡수율이 다른 4종의 기능성 강화 연질필름의 특성을 조사한 결과(Table 1), 일본에서 수입 판매되는 polyolefin계 필름인 J-1, J-2, J-3는 두께가 각각 0.1, 0.15, 0.13mm이고, 실내에서 인공광원(550nm)으로 측정된 전광선 투과율은 모두 93%이고, 자외선 투과율은 76, 62, 0%이고, 적외선 흡수율은 66, 91, 90%이었다. 국내에서 생산 판매되는 polyethylene계 필름인 K-1은 두께 0.06mm, 실내에서 인공광원(550nm)으로 측정된 전광선 투과율은 모두 92%였고 자외선 투과율은 70% 적외선 흡수율은 48%였다.

소재별로 파악된 기본 특성에서는 자외선 투과가 전혀 이루어지지 않는 J-3를 제외하고는 자외선 투과율이 62~76% 정도였다. 실제로 시설내 휴대용 분광광도계를 이용하여 측정된 결과, 노지와 대비하여 J-3에서는 380nm 이하가 완전히 차단되었고, 나머지 필름들은 파장별로는 다소 차이는 보였으나 300~380nm 사이에서는 전반적으로 기본 특성과 유사한 결과를 보였다(Fig. 1).

정식 직후부터 40일 동안 참외재배 하우스의 터널내 일평균 기온은 J-2에서 가장 높았고 J-3, J-1 그리고 K-1의 순으로 K-1에 비하여 J-2는 주간에는 약



**Fig. 1.** Spectral solar radiation of the plastic greenhouse covering films measured by spectroradiometer (LI-1800, EKO), on March 15, 2008.

폴리올레핀계 필름 장기사용이 참외의 생육 및 품질에 미치는 영향

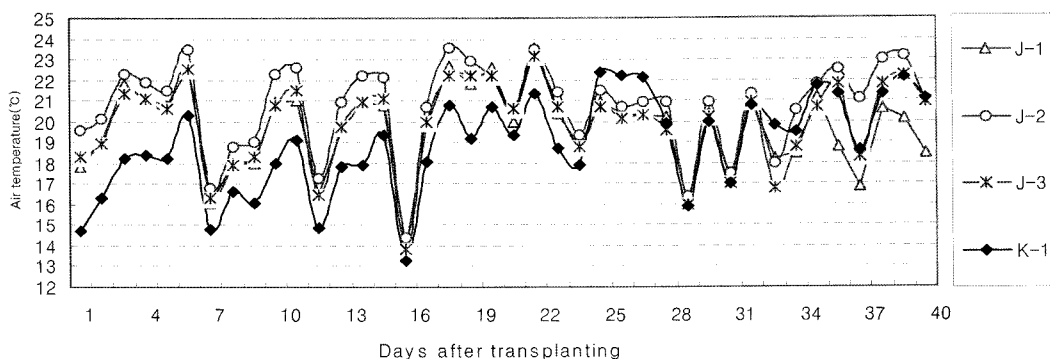


Fig. 2. Changes of air temperature during 40 days after transplanting in the plastic greenhouse covered with various films. Korea melon was transplanted on January 25, 2008.

3~5°C, 야간에는 약 2~3°C 정도 높았는데(Fig. 2), 이것은 필름두께가 두껍고 적외선 흡수율이 높았기 때문으로 생각된다. Chun 등(2006b)은 적외선 흡수율이 48%인 처리구에 비하여 91% 처리구에서 적외선 흡수율이 높을수록 시설 내 적산지온과 적산기온이 높다고 보고하여 이 실험의 결과와 유사하였다.

정식 30일 후 참외의 초장을 조사한 결과, K-1에 비하여 J-1, J-2, J-3에서 생육이 우수한 경향이였다 (Table 2). 초장의 경우 K-1의 74.9cm에 비하여 J-2, J-3, J-1 처리구에서 각각 30.2, 22.4, 13.0cm 더 길었고, 건물중도 K-1에 비하여 J-2, J-3, J-1 처리구 순으로 무거웠으나 엽록소 함량은 처리간 차이가 없었다. Shin 등 (2007a, b)은 ‘오복꿀참외’, ‘슈퍼골드참외’, ‘슈퍼금싸라기은천참외’의 생육을 조사한 결과, 품종에 관계없이 polyethylene film에 비하여 polyolefin film 처리구에서 생육이 촉진된 것은 필름두께가 두껍고 적외선 흡수율이 높았기 때문이라고 하였다. 또한 Chun 등(2006b)도 시설내부의 온도는 필름의 적외선

흡수율이 높을수록 온도가 높아진다는 보고와 같은 경향이였다.

무기온 상태에서 참외재배 시설내 투광율에 영향을 주는 피복소재의 특성과 방적성을 관찰한 결과, 투명도는 K-1 처리구보다 J-1, J-2, J-3 처리구에서 대체적으로 높게 나타났다. 특히 K-1 처리구에서는 필름이 육안으로도 뿌옇게 보이고 하우스 내부의 모습이 선명하지 않는 백화현상이 심하였다(Fig. 3). Chun 등 (2006a)은 폴리에틸렌 필름에서 백화현상은 첨가제인 계면활성제 또는 보온제 사이에 친화력이 떨어져 나타나는 현상으로 배합비율이나 처리온도, 보관 및 유통과정에서의 환경변화로 발생할 수 있다고 보고하였다. 이 실험에서도 K-1 처리구에서는 백화현상이 심한 반면, J-1, J-2, J-3 처리구에서는 투명도가 높았는데 이러한 결과는 Table 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같이 참외의 생육촉진 현상으로 나타나는 것을 알 수 있었다. 이

Table 2. Growth of Korea melons transplanted after 30 days in the plastic greenhouse with different covering films.

Covering films <sup>z</sup>	Plant height (cm)	Chlorophyll content (SPAD value)	Dry weight (g)
J-1	87.9 ab <sup>y</sup>	42.3 a	21.7 b
J-2	105.1 a	38.1 a	33.7 a
J-3	97.3 a	37.0 a	23.5 b
K-1	74.9 b	38.8 a	17.3 c

<sup>z</sup>See Table 1. <sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $P \leq 0.05$ . Transplanted on January 25, 2008.

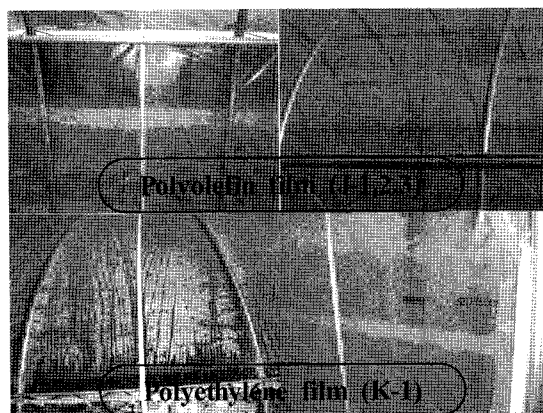


Fig. 3. Comparison of film surface between polyolefin and polyethylene film on January 25, 2008.

시험에 사용된 J-1, J-2, J-3는 상온에서 정상적인 관리가 이루어 질 때는 투명도가 높게 유지되나 탄성을 잃을 정도의 무리한 힘을 주어 늘어났을 때는 K-1 보다 백화현상이 심하게 나타나는 것으로 관찰되었는데, 동일한 필름을 공시하여 시험한 Chun 등(2006a)의 결과와 일치하여 금후 인장강도 등의 기계적인 물성에 대한 검토가 필요한 것으로 생각되었다.

필름 종류별 암꽃개화 및 수확소요일수를 조사한 결과, K-1 처리구에 비하여 J-2, J-3, J-1 처리구에서 암꽃의 첫 개화가 촉진되었고, 첫 수확 소요일수도 단축되었다(Fig. 4). 암꽃의 첫 개화는 K-1처리구에서는 정식 후 43일이 소요되었으나 J-3, J-1, J-2 처리구에서 각각 5일, 4일, 3일 정도 빨랐으며, 수확소요일수는 K-1 처리구에서는 정식 후 80일이 소요되었으나, J-3, J-2, J-1 처리구에서 각각 11일, 10일, 10일 정도 단축되었다. 이러한 결과는 Table 1과 Fig. 2의 결과에서도 알 수 있듯이 polyolefin계 필름이 polyethylene계 필름 보다 필름두께가 두꺼워 기온이 높고 적외선 흡수율이 높았기 때문으로 생각된다.

피복종류별 과실 특성 및 품질을 조사한 결과, 과중, 과육두께 및 상품과율은 처리간 차이가 없거나 유사하였으나, 당도 및 과피의 색도는 K-1에 비하여 J-1, J-2 및 J-3 처리구에서 우수하였다(Table 3). 특히 과육부 당도의 경우 K-1 처리구의 14.6 °Brix에 비하여 J-3, J-2, J-1 처리구에서 0.5~1.2 °Brix 정도 더 높았고, 과피의 색도도 K-1 처리구에 비하여 J-3, J-1, J-2 처리구에서 3.3~3.1 정도 더 높았다. polyethylene film 처리구에 비하여 polyolefin film 처리구에서 당도가 높고 과피의 색도가 우수한 것은 광량의 증가 및 자외선 차단 효과보다는 필름두께가 두껍고 적외

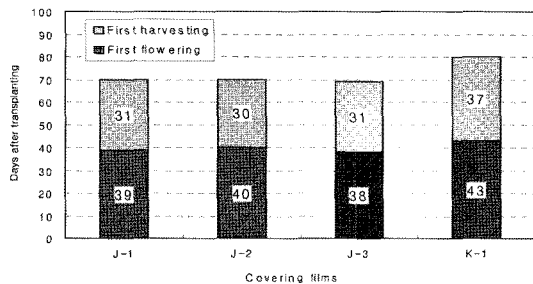


Fig. 4. First flowering and harvest dates of oriental melon covered with different films. Korea melon was transplanted on January 25, 2008.

Table 3. Fruit characteristics of Korea melon in the plastic greenhouse covered with different films.

Covering films <sup>2</sup>	Fruit weight (g)	Flesh thickness (mm)	Soluble solids (°Brix)	Fruit skin color <sup>3</sup> (a value)
J-1	340 a <sup>x</sup>	16.4 b	15.2 a	3.7 a
J-2	346 a	17.0 ab	15.1 a	3.6 a
J-3	346 a	17.0 ab	15.2 a	3.0 a
K-1	335 a	18.5 a	14.6 b	0.5 b

<sup>2</sup>See Table 1. <sup>3</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $P \leq 0.05$ . <sup>x</sup>a=bluish-green/red-purple. Transplanted on Jan. 25, 2008.

선 흡수율이 높아 온도상승에 의한 것으로 생각된다. 이러한 결과는 저온기 시설참외 재배시 기온 및 지온이 높을수록 당도가 증가한다는 Shin 등(2005)과 Sin 등(1991)의 보고와 일치하고 있다. 특히 참외 과실에서 과육과 태좌에서 당 종류 및 함량은 피복종류에 따라 다소 차이는 있지만 적외선 흡수와 투광성이 향상되므로 보온효과가 높아져 이것이 가용성 고형물에 영향을 미친 것으로 생각된다.

과실표면의 색도 조사에서 K-1 처리구의 0.5에 비하여 J-3, J-1, J-2 처리구에서 각각 3.8, 3.7 및 3.6으로 매우 높았으나, 자외선 흡수를 및 적외선 흡수율이 각각 다른 J-1, J-1, J-3 처리구에는 큰 차이가 없어서 금후 온도 및 과장에 대한 보다 정밀한 실험이 필요한 것으로 생각된다. 과피의 색도 중 a값은 적색도를 나타내는 것으로 참외의 경우 과피의 색깔이 진한 노란색일수록 a값이 높기 때문에 우수한 것으로 판정하는데, 본 실험의 결과로 볼 때 polyethylene film(K-1) 처리구에 비하여 polyolefin film(J-1, J-2, J-3) 처리구에서 필름두께가 두껍고 적외선 흡수율이 높아 보온효과가 우수하여 과실내 β-carotene 함량이 높아진 것으로 생각된다. 채소작물에서 β-carotene을 비롯한 phytochemical의 생성과 축적은 온도와 광의 영향을 많이 받는데(Atkinson 등, 2005; Welsch 등, 2000), 광도는 carotenoid의 생합성에 절대적으로 필요하지 않으나 온도는 고온성 작물의 경우 30°C 부근에서 최대의 함량을 보이며 citrus의 경우에는 20~25°C가 가장 효과적이라고 하였다(Simkin 등, 2003; Kitagawa 등, 1978). 이 실험에서도 광량의 증가에 따른 효과보다는 보온효과에 의한 것으로 생각된다. 따라서 고온성 작물인 참외는 대체로 30°C까지 높은 온

**Table 4.** Marketable yield of Korea melon Obokggulchamweo fruits covered with different films.

Covering films <sup>2</sup>	Early <sup>y</sup>		Middle		Late		Total yield (kg/10a)	Yield index
	Yield (kg/10a)	Rate (%)	Yield (kg/10a)	Rate (%)	Yield (kg/10a)	Rate (%)		
J-1	768	23.2	1,223	37.1	1,304	39.7	3,295 a	111
J-2	1,646	46.4	1,108	31.2	792	22.4	3,547 a	120
J-3	1,288	40.8	610	19.3	1,256	39.9	3,154 a	107
K-1	0	0	1,372	46.3	1,586	53.7	2,958 ab	100

<sup>2</sup>See Table 1. <sup>y</sup>Early: April 16 to 23, Middle: April 24 to May 27, Late: May 28 to June 16. Transplanted on January 25, 2008.

도가 색소형성에 유리하게 작용한 것으로 생각되었다 (Choi 등, 2006).

10a당 상품수량은 K-1 처리구의 2,958kg에 비하여 J-2, J-1 및 J-3 처리구에서 각각 20%, 11%, 7% 증가하였다(Table 4). J-2의 처리구의 경우 초기, 중기 및 후기의 수량 비율이 각각 46%, 31%, 22%로 초기에 수량이 많았으며 초기와 중기의 수량이 전체의 79%로 많아 초기 수량이 많았다. 그러나 K-1 처리구는 초기, 중기, 후기의 수량 비율이 각각 0%, 46%, 54%로 초기에는 수량이 전혀 없었으며 중기보다도 후기에 수량이 많았다. 본 실험에서 polyolefin계 필름인 J-1, J-2, J-3 처리구는 필름두께가 각각 0.1, 0.15, 0.13mm이고, 전광선 투과율은 모두 93%이고, 적외선 흡수율은 66, 91, 90%인 반면, polyethylene계 필름인 K-1처리구의 필름두께는 0.06mm이고, 전광선 투과율은 92%이고, 적외선 흡수율이 48% 이었다는 점을 감안하면, J-1, J-2 및 J-3 처리구에서 상품수량이 증가한 것은 Table 1에서와 같이 필름두께가 두껍고 적외선 흡수율이 높아 보온효과가 좋았기 때문으로 생각된다. 이상의 결과로 볼 때 보온성이 강화된 polyolefin계 필름은 저온기 참외 시설재배시 생육을 촉진시키고 수확소요일수를 단축시켜 조기수확이 가능하고 초기수량도 증가되는 것으로 생각된다.

### 적 요

참외 하우스 피복필름 장기사용을 위하여 필름두께, 적외선 흡수율, 자외선 투과율이 다른 Polyolefin film(일본산, J-1, J-2, J-3)을 2006년 1월 16일 피복하여 3년 사용한 처리구와 한국의 참외 재배농가에서 관행으로 사용하는 Polyethylene film(K-1)을 2008년 1월 16일 피복하여 1년 사용한 처리구를 대조구로 설

치하여 피복필름의 장기사용 가능성을 검토한 결과, 보온성은 J-2 처리구에서 가장 높았고 J-3, J-1 순이었으며, 초기생육도 J-2 처리구에서 가장 좋았다. 개화 및 수확소요일수는 K-1 처리구에 비하여 J-2 처리구에서 10일 정도 단축되었다. 과피의 색도 및 당도는 K-1에 비하여 J-3, J-1, J-2 처리구에서 다소 높은 경향이었고 상품과 수량은 J-2, J-1, J-3 처리구 순으로 높았다.

주제어 : PO계 필름, 적외선, 자외선, 생육, 품질, 수량

### 사 사

본 연구는 경북 성주군 성주참외 구조 고도화사업 연구비에 의해 수행되었음.

### 인 용 문 헌

1. Atkinson, C.J., R. Nestby, Y.Y. Ford, and P.A. Dodds. 2005. Enhancing beneficial antioxidants in fruits: a plant physiological perspective, *Biofactors* 23:22--234.
2. Choi, Y.J., H. Chun, H.J. Kim, S.Y. Lee, S.H. Yum, Y.H. Choi, Y.S. Shin, and D.S. Jeong. 2006. Nutritional components content of oriental melon(*Cucumis melo* L. var *makuwa* Makino) fruits cultivated with different greenhouses. *J. Bio-Env. Con.* 15(II):282-287 (in Korean).
3. Chun, H., Y.J. Choi, Y.H. Choi, H.J. Kim, S.Y. Lee, S.H. Yum, and D.S. Jeong. 2006a. Microclimate analysis of greenhouses covered with functional film. *J. Bio-Env. Con.* 15(II):265-271 (in Korean).
4. Chun, H., Y.J. Choi, Y.H. Choi, H.J. Kim, S.Y. Lee, and D.S. Jeong. 2006b. Infrared absorption film on oriental melon(*Cucumis melo* L. var *makuwa* Makino) growth in greenhouses. *J. Bio-Env. Con.* 15(II):272-276 (in Korean).
5. Kitagawa, H., K. Kawada, and T. Tarutani. 1978.

- Effectiveness of ethylene degreening of certain citrus cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103(1):113-115.
6. Lee, S.K., Y.C. Kim, T.C. Seo, Y.G. Kang, H.K. Yun, and H.D. Suh. 2003. Effects of low light intensity after fruit set on growth and quality of oriental melon (*Cucumis melo* L. var *makuwa* Makino). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:31-34 (in Korean).
  7. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF). 2006. Crop statistic (in Korean).
  8. Shin, Y.S. 2005. Influence of root hydraulic conductance, soil water potential and atmospheric vapor pressure deficit on fruit fermentation of oriental melon (*Cucumis melo* L. var. *makuwa* Makino) grown in plastic greenhouse. Thesis for Ph D. Kyungpook National University (in Korean).
  9. Shin, Y.S., I.K. Yeon, H.W. Do, J.E. Lee, J.D. Jeong, C.K. Kang, C.D. Choi, and D.S. Jeong. 2007a. Effect of different greenhouse film on growth and quality in oriental melon (*Cucumis melo* L. var *makuwa* Makino). *J. Bio-Env. Con.* 16:140-148 (in Korean).
  10. Shin, Y.S., I.K. Yeon, H.W. Do, J.E. Lee, Y.J. Seo, C.K. Kang, C.D. Choi, H. Chun, Y.H. Choi, and D.S. Jeong. 2007b. Effect of different greenhouse film on growth and yield in oriental melon (*Cucumis melo* L. var *makuwa* Makino). *J. Bio-Env. Con.* 16:338-343 (in Korean).
  11. Simkin, A.J., C.F. Zhu, M. Kuntz, and G. Sandmann. 2003. Light-dark regulation of carotenoid biosynthesis in pepper (*Capsicum annum* L) leaves. *J. Plant Physiol.* 160:439-443.
  12. Sin G.Y., C.H. Jeong, and K.C. Yoo. 1991. Effects of temperature, light intensity and fruit setting position on sugar accumulation and fermentation in oriental melon (*Cucumis melo* L. var *makuwa* Makino). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 32:440-446 (in Korean).
  13. Welsch, R., P. Beyers, P. Huguency, H. Kleinig, and J. von Lintig. 2000. Regulation and activation of phytoene synthase, a key enzyme in carotenoid biosynthesis, during photomorphogenesis. *Planta* 211:846-854.