

## 기능성 연질필름 온실의 미기상

전 희<sup>1\*</sup> · 최영준<sup>2</sup> · 최영하<sup>1</sup> · 김학주<sup>1</sup> · 이시영<sup>1</sup> · 정두석<sup>3</sup> · 신용섭<sup>4</sup> · 최충돈<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>원예연구소 시설원예시험장, <sup>2</sup>강진군농업기술센터, <sup>3</sup>에이알티에스, <sup>4</sup>경북농업기술원 성주과채류시험장

### Microclimate of Greenhouses Covered with Functional Film

Hee Chun<sup>1\*</sup>, Young-Jun Choi<sup>2</sup>, Young-Ha Choi<sup>1</sup>, Hark-Joo Kim<sup>1</sup>, Si-Young Lee<sup>1</sup>,  
Du-Seok Jeong<sup>3</sup>, Yong-Seub Shin<sup>4</sup>, and Chung-Don Choi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 618-800, Korea

<sup>2</sup>Gangjin Agricultural Technology & Extension Center, Gangjin 527-805, Korea

<sup>3</sup>A.R.T.S Co., Ltd, Yangsan 626-120, Korea

<sup>4</sup>Seongju Fruit Vegetable Experiment Station, Gyeongbuk ATA, Seongju 719-861, Korea

**Abstract.** There was no difference in total light transmissivity of covering materials. But the light transmittance of J-2 in greenhouse was by 78.25 which was higher than any other film. The high light transmittance of J-2 was come from low water condensation and dust attached in film surface. The ultraviolet light of J-3 was completely intercepted. The ultraviolet transmittance rate of others was from 62 to 76%. In no heating oriental melon cultivation, the air temperature in tunnel was 15 to 21°C higher than outer, and the soil temperature in tunnel was 20 to 25°C higher than outer. Air temperature and soil temperature of J-2 were higher than any other film.

**Key words :** anti-attaching dust, anti-pending water, oriental melon, ultraviolet, light transmittance

\*Corresponding author

## 서 언

국내 원예시설의 피복은 대부분 연질필름으로 되어 있고, 이 가운데 고분자 플라스틱 소재인 폴리에틸렌 필름이 가장 많이 차지하고 있다. 즉 채소를 재배하는 원예시설에서 연질필름이 전체 48,573 ha에서 99.5%인 48,312 ha를 차지하고 있으며, 이 가운데 폴리에틸렌 필름이 86.1%를 차지하고 있다(M.A.F., 2006). 연질 필름은 두께가 얇고 자외선에 쉽게 분해되거나 변하는 특성이 있어서 한 해 사용하고 나면 물성과 투명도가 떨어져서 재사용이 어렵다. 또한 연질필름은 결로현상으로 발생하는 물방울을 흘러내리게 하기 위하여 계면활성제를 첨가제 형태로 필름 생산단계에서 배합한다. 이러한 계면활성제를 첨가하는 방식에 따라서는 방적성이 오래 가지 못하고, 시설 내외의 온도와 습도의 환경에 따라 다르다는 보고가 있다(Chun 등, 1997; Chun 등, 2000; Chun 등, 2003; Harazono 등, 1997; Park

등, 1999). 또한 원예시설의 보온성은 피복자재를 통하여 들어온 태양에너지를 야간에 방열시키지 않고 유지하느냐에 따라 크게 달라진다. 피복자재의 종류나 보온 방법에 따라서도 보온성의 차이가 있는데 농가에서 많이 이용하고 있는 다겹보온방법은 화학솥(카시미론)과 발포폴리에틸렌(폴리폼)을 기본으로 2겹의 부직포로 조성된 것이 보온성이 우수한 것으로 보고되고 있다(Kim 등, 2006; Kwon 등, 2004; Shin 등, 2005). 따라서 원예시설의 외부 피복자재로 이용하는 연질필름은 보온 방법과 작물에 따라 적절하게 이용하여야 기능을 제대로 나타낼 수가 있을 것이다. 연질필름은 겨울철 저온과 여름철 고온이 반복되고 태풍이나 눈비에 노출되면서 강도와 기능성이 떨어지게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 두께를 강화시키고 자외선 안정제를 처리하기도 한다. 그러나 현재 국내에서 사용하고 있는 첨가제 방식으로는 내구성상의 한계를 벗어나기가 어렵다. 그러나 일본에서는 1990년 초반부터 환경부담이 큰

## 기능성 연질필름 온실의 미기상

염화비닐을 대체하기 위하여 개발된 기능성 강화 연질 필름이 보급되면서 원예시설의 피복소재로서 기능성과 수명이 크게 향상되었다. 이들 필름은 기존 제품과 차별화된 기능을 바탕으로 대학이나 연구기관 보다는 농가에서 먼저 우수한 특성을 인정받아 보급물량이 크게 늘고 있는 실정이다. 대상이 되는 원예시설도 연동에서 연중재배가 이루어지는 단동으로, 그리고 작물도 가온재배에서 무가온 보온재배가 이루어지는 참외, 딸기 등으로 확대되고 있는 실정이다. 앞으로도 수박, 참외, 딸기 등의 무가온 재배에서 자연에너지인 태양열 이용을 극대화하기 위해서도 투명도와 보온성이 향상된 피복소재는 시설원예의 에너지절감 차원에서 지속적으로 개발이 필요하고 보급이 확대될 것으로 여겨진다.

이 시험에서는 분광에너지 투과도와 방직성, 방직성 등 기능성이 향상된 PO계 필름과 기존의 PE 필름으로 피복된 무가온 참외재배 시설에서의 광과 온도 환경을 분석하여 참외 무가온 재배에 필요한 미기상을 구명하고 나아가 효과적인 필름을 개발하기 위한 기초 자료를 확보하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시설 및 피복소재 특성

시험은 부산에 있는 원예연구소 시설원예시험장 포장에서 2006년도 1월에 이루어졌으며, 시설은 참외를 재배하기 위하여 무가온 다겹 보온 터널을 실시하기에 적절한 폭 5.6 m, 높이 2.7 m, 길이 23 m인 아치형 철재 파이프 하우스이었고, 하우스 옆에는 고정식으로 높이 0.5 m의 치마를 설치하였으며, 측면에서 치마와 겹치는 외부피복소재의 폭은 0.3 m로 유지하였다. 하우스 내부 터널은 폭 1.3 m, 높이 0.47 m, 길이 19.7 m

**Table 1.** Characteristics of structure for microclimate analysis of greenhouses covered with functional covering materials.

Greenhouse structure	Width (m)	Height (m)	Length (m)	Ratio of floor area to covering area
House	5.6	2.7	23	0.59
Tunnel	1.3	0.47	19.7	0.75

의 직경 8.5 mm의 단면이 원형인 폴리에틸렌 필름으로 피복된 강선 지주를 0.8 m 간격으로 유지하였다 (Table 1). 터널 보온은 두께 0.04 mm의 하우스 내피용 폴리에틸렌 필름과 바깥쪽에 2겹의 부직포와 화학솜과 폴리폼이 누벼진 보온재를 사용하여 해가 뜬 후 2시간 후에 열었고, 해가 지기 전 1시간 30분 전에 닫았다. 측면 수동식 권취창은 하우스의 기온이 30°C 이상 오르면 열고 오후에 25°C 이하로 떨어지면 닫았다. 참외가 재배되고 있는 상태에서의 미기상을 구명하기 위하여 2006년 2월 9일 '오복꿀' 참외(대목:원원토 좌호박)를 정식하였다.

시험시설의 외부피복은 두께, 자외선 투과율 및 적외선 흡수율이 다른 6종의 기능성 강화 연질필름으로서 기본적인 특성으로 일본에서 수입 판매되는 PO계 필름인 J-1, J-2, J-3은 두께가 각각 0.1, 0.15, 0.13 mm이고, 실내에서 인공광원(550 nm)으로 측정된 전광선투과율은 모두 93%이고, 자외선 투과율은 각각 72, 62, 0%이고, 일부 적외선의 흡수율은 66, 91, 90%이었다. 국내에서 생산 판매되는 PE 필름인 K-1, K-2, K-3은 두께가 각각 0.1, 0.08, 0.06 mm이고, 실내에서 인공광원(550 nm)으로 측정된 전광선투과율은 모두 92%이고, 자외선 투과율은 각각 76, 68, 70%이고, 일부 적외선의 흡수율은 65, 55, 48%이었다(Table 2). 피복작업은 2006년 1월 17일부터 18일까지 2일간 실시하였다.

**Table 2.** Thickness, total light transmittance, ultraviolet transmittance and infrared ray absorption of outer covering materials.

Covering materials <sup>2)</sup>	Film thickness (mm)	Total light transmissivity (%)	Ultraviolet transmittance (%)	Infrared ray absorption (%)
J-1	0.10	93	72	66
J-2	0.15	93	62	91
J-3	0.13	93	0	90
K-1	0.10	92	76	65
K-2	0.08	92	68	55
K-3	0.06	92	70	48

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

## 2. 시설환경 계속 방법

시설 내부 필름의 방적성을 조사하기 위하여 햇볕의 영향이 상대적으로 적은 동고와 측고의 중간 북측 지붕에서 10개의 지점을 피복 3개월 후 오후에 물방울이 없는 상태에서 유성매직으로 직경(내경) 11 cm의 원을 표시하였다. 다음날 오전 10시에 미리 정량된 직경 11 cm(Whatman, Cat No 1006 110)의 여과지를 이용하여 물방울을 빨아들인 상태에서 무게를 측정하였다. 따라서 필름 표면에 부착된 물방울의 양은 전체 무게에서 미리 측정된 여과지의 무게를 제외시켜 측정하였다.

시설 외부 필름의 방진성을 조사하기 위하여 피복 3개월 후 바람을 맞이하는 동고와 측고의 중간 남측 지붕에서 길이 50 cm 정사각형을 10개의 지점에서 유성매직으로 표시하였다. 분진수거용으로 평량이  $24 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  이상이고 파열강도가  $0.5 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$  이상인 facial tissue를 사용하였다. 분진수거는 정식 50일 후 피복자재 외부에 부착된 먼지를 facial tissue를 이용하여 깨끗하게 닦아서 전체무게를 측정한 다음 미리 정량된 facial tissue 무게를 제외하는 방법으로 측정하였다.

피복자재의 투광률은 피복 3개월 후 휴대용 조도계(ANA-F12, TOKYO PHOTOELECTRIC)를 시설 내외에서 10개 지점에서 동시에 측정하여 외부 광도에 대한 내부 광도의 비율로 산정하였다. 파장별 일사투과량은 2006년 3월 29일 휴대용 분광광도계(LI-1800, EKO)로 측정하였다. 온도 측정은 2006년 3월 13일부터 14일까지 2일간 자동온도기록계(HOBO, ONSET)를 이용하여 기온은 터널 내 30 cm 높이에서 지온은 지표에서 10 cm 지하에서 각각 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 피복자재 특성

무거운 상태에서 참외재배 시설 내 투광률에 영향을 주는 피복자재의 투명성과 방적성을 관찰한 결과 투명도는 K-1, K-2, K-3보다 J-1, J-2, J-3에서 대체적으로 높게 나타났다. 특히 K-2에서는 필름이 육안으로도 뿌옇게 보여 불투명하게 나타나는 백화현상이 두드러졌다(Fig. 1). 폴리에틸렌 필름과 같은 투명소재에서 발생하는 백화현상은 소재인 폴리에틸렌과 첨가제인 계면활성제나 보온제 사이에 친화력이 떨어져서 나타나

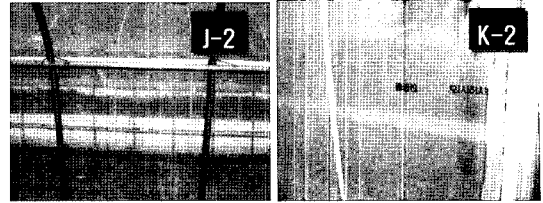


Fig. 1. Optical comparison of film transparency between J-2 and K-2 in greenhouse at 3 months after coverings.

는 것으로 생산 공정에서 배합과정의 비율이나 처리온도 및 보관 유통과정에서의 환경변화로 발생할 수가 있다. 특히 폴리에틸렌 필름은 밀도가 높아지면서 투명도가 떨어지고 충격강도가 약해지며 신장률이 감소하는데 시설원예용 외피복자재는 ASTM D1248 기준으로 밀도가 0.910에서 0.925사이의 저밀도폴리에틸렌(Low density Polyethylene)이나 0.925에서 0.940사이의 중밀도폴리에틸렌(Middle density polyethylene) 필름을 많이 사용하는데(Hanhwa chemical corp. 2004), 일부 필름에서 백화현상이 발생하는 이유는 강도, 인장강도 및 내화학성을 높이기 위하여 0.941에서 0.959사이의 고밀도폴리에틸렌(High density polyethylene)을 무리하게 사용하여 나타나는 것으로 판단된다.

이 시험에서 사용된 필름 가운데 J-1, J-2와 J-3은 상온에서 정상적인 관리가 이루어질 때는 투명도가 높게 유지되나 탄성을 잃을 정도의 무리한 힘을 주어 늘어났을 때는 K-1, K-2과 K-3 보다 백화현상이 심하게 나타나는 것으로 관찰되어 앞으로 인장강도, 연신율 및 인열강도와 같은 기계적인 물성과 함께 흐림도, 광택도 및 투과도의 경시적인 변화를 점검해야 할 것으로 여겨진다.

원예시설의 피복자재에 있어서 필름의 보관이나 사용 중에 서로 인접한 필름과 달라붙는 블로킹 현상이나 먼지와 같은 이물질이 달라붙는 정전기 현상 역시 투광률을 저하시키기 때문에 피해야 한다. 폴리에틸렌 필름은 밀도가 높거나 용융지수가 낮으면 블로킹 현상이 감소한다. 또한 표면의 광택이나 평활도가 높고 가공단계에서의 필름온도가 높거나 저장온도가 높어도 블로킹 현상이 심해지므로 oleamide, erucamide 및 stearamide와 같은 슬립제를 사용한다(Hanhwa chemical corp. 2004). 이 시험에 사용된 피복자재 사이에 블로킹과 정전기의 차이로 분진량이 다르게 나타난 것은 슬립제의 농도 차이로 나타나기 보다는 소재의 밀

**Table 3.** Weight of dust and water drop on film surface, and light transmittance in greenhouse at 3 months after coverings.

Covering materials	Weight of dust (mg·m <sup>-2</sup> )	Weight of water drop (g·m <sup>-2</sup> )	Light transmittance (%)
J-1	61.0±2.5 <sup>2</sup>	1.315±0.021	74.9±1.4
J-2	59.8±1.4	0.835±0.014	78.2±1.7
J-3	60.2±2.4	1.873±0.024	74.8±1.2
K-1	82.5±1.7	2.453±0.041	73.6±1.5
K-2	83.3±3.4	2.557±0.047	67.4±1.3
K-3	82.8±2.4	2.681±0.051	70.5±1.4

<sup>2</sup>Mean±SD of 10 spots

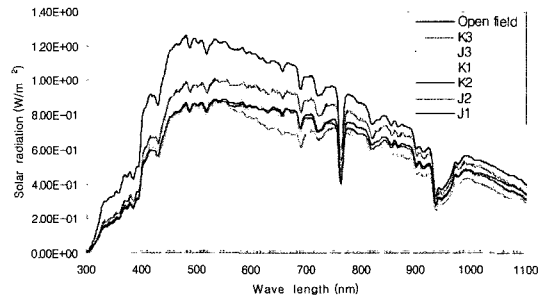
도 차이로 나타나는 결과로 여겨진다. 즉 J-2에서 분진량이 59.8 mg·m<sup>-2</sup>로 가장 적었던 것은 물성의 강화를 목적으로 결합된 고무성분이 밀도를 높여서 정전기 발생이 적었던 것으로 판단되었다(Table 3).

**2. 시설환경 특성**

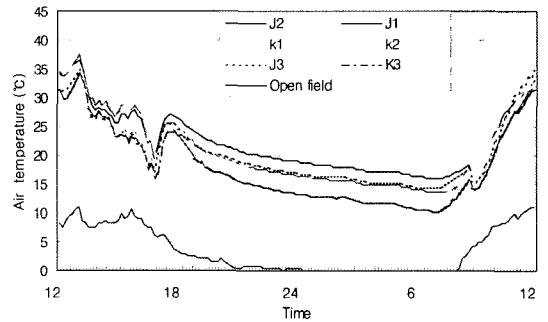
실내에서 인공조명으로 측정된 투광률의 차이는 거의 없었지만(Table 2), 시설 내 투광률은 분진 부착량과 수적량이 적었던 J-2에서 78.2%로 가장 높았고, 반면에 분진 부착량과 수적량이 많았고 피복자재의 특성 검토에서 알 수 있듯이 백화현상이 심하게 나타난 K-2에서 가장 적어 67.4%를 나타내었다(Table 3). 이것은 노지를 기준으로 피복자재 종류별 투광률의 차이가 10.8%이었지만, 두 피복자재 사이의 투광률 차이는 16%로서 물방울 맺힘으로 저해되는 시설 내 투광률이 15~20% 정도라는 기존의 보고와 일치하는 경향이였다(Jaffrin과 Makhlouf, 1990).

소재별로 파악된 기본 특성에서는 자외선 투과가 전혀 이루어지지 않는 J-3를 제외하고는 자외선투과율이 62~76% 정도이었다. 실제로 시설 내 휴대용 분광광도계를 이용하여 측정한 결과, 노지와 대비하여 J-3에서는 380 nm 이하가 완전히 차단되었고, 나머지 필름들도 파장별로는 다소 차이를 보였으나 300~380 nm 사이에서는 전반적으로 기본 특성과 유사한 결과를 보였다(Fig. 2).

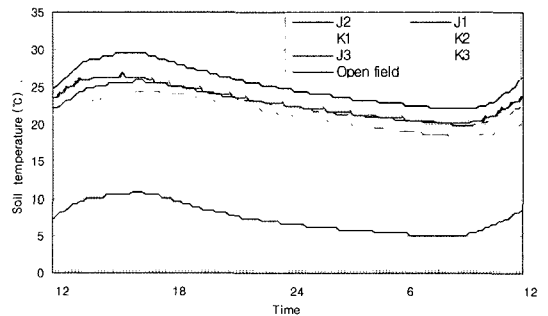
시설 내 터널에서의 야간 기온은 24시를 기준으로 노지보다는 15~21°C 정도 높게 나타났다(Fig. 3). 이것은 참외의 생육 공간이 되는 터널에서는 1중 하우스와 비닐과 다겹보온재의 영향으로 보온효과가 컸던 것으로 여겨진다. 그러나 이러한 보온시스템이라도 야간



**Fig. 2.** Spectral solar radiation measured by spectroradiometer (LI-1800, EKO) in greenhouse on March 29, 2006.



**Fig. 3.** Change of air temperature in greenhouse from March 13 to 14, 2006.



**Fig. 4.** Change of soil temperature in greenhouse from March 13 to 14, 2006.

기온이 0°C 이하인 날씨에서는 야간 생육온도 이하로 떨어지기 때문에 현재의 무기온 참외재배시스템에서는 저온의 조우가 예상되기에 태양에너지의 보존을 위한 다각적인 검토가 요구된다고 하겠다. 특히 국내 대다수 무기온으로 재배되고 있는 시설수박, 시설딸기 및 시설 참외 재배에서 저온에 의한 생리장해 없이 고품질의 과실을 생산하기 위해서는 보다 근본적인 저온 해결을 위한 난방기 이용과 같은 적극적인 기온시스템을 도입 하던지 아니면 보다 개선된 보온재배시스템이 필요하다고 하겠다. 이 시험에서는 피복자재의 보온성 차이로

피복자재 종류별로 6°C 정도의 차이를 보였는데 저온 기 반복시험을 통하여 효과를 명확히 할 필요가 있었다. 지온은 노지에서는 해맞이 경에 최저로 나타났었는데 시설 내 터널에서는 그보다 늦은 오전 9~10시 경에 최저를 보였다(Fig. 4). 노지보다 시설 내 터널에서 20~25°C 정도 높게 나타나 기온보다 큰 효과를 보였다. 지온은 야간에 땅속에서 지상부로 나와 시설 내부의 온도를 상승시키므로 기온보다 시설 내 열수지에 더 크게 영향을 미친다고 볼 수가 있다. 특히 난방을 실시하는 토마토, 오이, 풋고추와 같은 과채류 재배에 있어서는 지온 확보가 어려우면 제대로 생육을 할 수가 없어서 지중기온을 실시하므로 지온을 확보하기 위한 노력이 필요하다. 앞으로 멀칭 자재나 방법의 개선으로 흑한기에 지온을 확보할 수 있는 노력이 요구된다고 하겠다.

결론적으로 무가온 참외재배에서 하우스와 다겹보온 터널로 노지보다 기온이 15~21°C, 정도 향상되었고, 지온이 20~25°C 정도 향상되었고, 피복자재 종류에 따른 차이로는 기온이 6°C, 지온이 5°C 향상될 수 있다. 이러한 결과는 시설원에 에너지절감 차원에서 생산비 절감 효과가 클 수 있기에 앞으로 정밀하고 반복적인 시험결과가 필요하다고 하겠다.

## 적 요

피복자재별로 전광선투과율은 차이가 거의 없었으나, 물방울과 먼지의 부착량이 적은 J-2에서 시설 내 광투과율은 78.2%로 가장 높았다. 자외선 투과율이 완전히 차단된 필름은 J-2이었고, 나머지의 자외선 투과율은 62~76% 정도이었다. 무가온 참외재배시기에 터널 안이 노지보다 기온은 15~21°C, 지온은 20~25°C 정도 높았다. 피복자재별로 기온은 6°C, 지온이 5°C 정도 차이가 나타났으며 기온과 지온 모두 J-2에서 가장 높았다.

**주제어** : 방직성, 방진성, 자외선, 투광률, 참외

## 인 용 문 헌

1. Chun, H., H.E. Lee, S.H. Yum, H.J. Kim, S.Y. Lee, Y.I. Nam, and K.J. Kim. 2003. Effect of surfactant concentrations on anti-waterdrop, environment and lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth in polyethylene film greenhouse. J. of Bio-Environment Control. 12(4):195-199 (in Korean).
2. Chun, H., K.J. Kim, J.Y. Kim, H.H. Kim, and S.Y. Lee. 2000. Growth of green pepper (*Capsicum annuum* L.) in a plastic greenhouse covered with anti-dropping plasma film. J. of Bio-Environment Control. 9(3):156-160 (in Korean).
3. Chun, H., Y.S. Kwon, H.H. Kim, and S.Y. Lee. 1997. Effect of anti-dropping on environment and oriental melon (*Cucumis melo* L. var. makuwa) growth in soft plastics film house. J. of Bio-Environment Control (Abstract). 6(1):53-58 (in Korean).
4. Hanwha Chemical Corp. 2004. Structure and mechanical property of polyethylene. Proceeding of greenhouse film techniques for expert (in Korean).
5. Harazono, Y., Q. Chen, and M. Yoshimoto. 1997. Effects of dewdrop on plastic films on light transmittance, temperature and humidity in greenhouse. J. Aric. Meteorol. 53(3):175-183 (in Japanese).
6. Jaffrin, A., and S. Makhlof. 1990. Mechanism of transmission through wet polymer films. Acta Horticulturae. 281:11-24.
7. Kim, H.J., S.Y. Lee, T.Y. Kim, H. Chun, I.H. Cho, and K.B. Kwon. 2006. Research on the farm adaptability of energy saving techniques in greenhouse. J. of Bio-Environment Control (Abstract). 15(II):277-281 (in Korean).
8. Kwon, J.K., J.H. Lee, N.J. Kang, K.H. Kang, and Y.H. Choi. 2004. Effect of covering materials and methods on heat insulation of a plastic greenhouse and growth and yield of tomato. J. of Bio-Environment Control. 13(4):251-257 (in Korean).
9. Park, H.B., J.C. Kim, S.H. Kwon, J.S. Kong, S.W. Kong, and K.H. Wang. 1999. Effects of soft covering films on fruit vegetable production in greenhouse. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40(2):200-204 (in Korean).
10. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF). 2006. Status of vegetable production in South Korea.
11. Shin, Y.S., I.K. Yeon, J.H. Kim, S.D. Park, and B.S. Kim. 2005. Effect of nonwoven fabrics weight on the growth, quality and yield of oriental melon (*Cucumis melo* L. var. makuwa Mak.). J. of Bio-Environment Control. 14(2):89-94 (in Korean).