

Incidence and Visual Symptoms of Chilling Injury in Greenhouse Watermelons

Sung Whan Kwon* · Hyong Gwon Chon · Dong Chil Choi · Jae Cheol Kim¹

Gochang Watermelon Experiment Station, Chonbuk ARES, Gochang 585-861, Korea

¹Dept. of Hort. Chonbuk National Univ., Chonju 561-756, Korea

Abstract

This experiment was carried out to investigate temperature distribution in the double layer plastic greenhouse and chilling injury to watermelons grown during a cold season. Temperatures on eastern and western sides were about 6.2% and 14.7%, respectively, lower than that of central section in a south-north oriented greenhouse. Daily mean temperature in the northern part was about 1-2°C higher than that in the southern part of the greenhouse. In terms of vertical temperature distribution inside the greenhouse, temperature at ground surface was approximately 1°C lower during the day and 0.5°C higher during the night than that in the upper part, 2 m from the ground surface. Leaf mould medium kept higher ground temperatures as compared to sandy soil, red clay soil, or clay soil. More chilling injured plants were observed in the western side as compared to the eastern side, and in the northern and southern sides as compared to the central part of the greenhouse. A symptom of chilling injury on leaves was upward curling, followed by chlorosis and necrosis. A severe symptom of chilling injury to plants was the breakdown of vascular bundles. Root growth was more susceptible than stem or leaf growth to low temperatures. At 30°C, main and lateral roots grew vigorously, while lateral root growth was inhibited at 22°C and root growth was stopped at 14°C and 6°C. Small and puffy fruits with dark green surface were produced at low temperatures. In cold season cultivation of watermelons, it is suggested that plants be transplanted in the central part and train to sides of the greenhouse in order to reduce chilling injuries.

Key words: watermelon, chilling plant, root growth, visual symptom

*Corresponding author

서 론

수박은 열대 아프리카 지역이 원산지로서 겨울철 시 설재배시 저온으로 인하여 여러 가지 생리적 장애가 발생되고 있다. 또한 조숙재배나 억제재배에서도 저온 장애가 발생되고 있으며, 심한 경우에는 생장이 정지되어 다시 육묘해야 하기 때문에 이에 따른 경제적 손실이 발생되고 있다. 저온에 민감한 대부분의 식물들은 약 10°C 정도에서 저온장애를 받는 것으로 알려져 있는데, 특히 수박은 약 23°C 이상에서 생육하는 고온성 작물로서 대규모로 재배되기 때문에 경제적인 측면에서 볼 때 저온기 가온재배가 불가능한 실정이다 (Buttrose and Sedgley, 1978). 또한 주야간의 온도차이가 15°C 이상인 봄과 가을철에도 냉해가 발생되어 과실의 생장이 불량할 뿐만 아니라 기형과 발생 등으

로 인하여 상품율이 급격히 떨어져 농가소득의 감소요인이 되고 있다(Mills et al., 1990). 수박의 저온장애는 초기에는 가시적 증상이 나타나지 않기 때문에 판단이 곤란하며, 가시적 증상이 나타난 후에도 양분결핍 증상과 유사하여 정확한 판단이 어렵다.

따라서 하우스내부의 온도 변화를 측정하고, 냉해에 대한 식물체 부위별 증상을 조사하여 조기에 대책을 마련함으로써 수박의 저온장애를 최소화시킬 목적으로 실시하였다.

재료 및 방법

1. 하우스내 온도 측정

고창 수박시험장에 설치되어 있는 60평형(200 m²) 2중 플라스틱 하우스를 모델로 하여 저온기 동안에 구

역별 온도의 변화를 조사하였다. 남북형으로 된 3개의 단동형 하우스중 바람의 영향을 비교적 적게 받는 가운데 위치한 하우스를 설정하여 온도 및 하우스내 냉해 발생률을 조사하였다(Baeten et al., 1985). 하우스의 크기는 외부 34 m(L)×7 m(W)×3 m(H)이고, 내부는 33(L)×6 m(W)×2.5 m(H)이며, 창문은 남쪽으로 설치하였으며, 온도 측정기간 동안에는 수박관리를 위하여 최소한의 출입만 허용하였다. 하우스 내부의 구역별 온도는 동·서·남·북, 중앙 및 외기로 나누어 데이터 로거(CR23X Campbell, Scientific, Inc.)를 이용하여 측정하였으며, 시간별 평균온도를 구하여 조사하였다. 각각의 온도 센서는 수박의 잎이 위치하고 있는 지표면으로부터 약 10 cm 상단에 설치하였으며, 동편과 서편은 내피면으로부터 20 cm, 남과 북은 2 m 정도 떨어진 곳에 설치하였다. 그리고 토양별 온도변화는 컨테이너 박스(50 cm×50 cm×100 cm)에 각각 다른 토양을 채우고 지표면으로부터 약 10 cm 깊이에 온도 센서를 설치한 후 1일 변화되는 온도를 측정하였다.

2. 냉해의 가시적 변화

수박종자(*Citrullus lanatus* Thunb cv. festival)를 9월 중순에 파종하여 배대목에 접목한 후 10월 하순에 무가운 2중 하우스에 정식하였다. 하우스내에 정식은 2개의 이랑을 내고 중앙부위에 재식하여 양측면으로 줄기를 유인하였으며, 재식거리는 45 cm로 정하였다. 관리는 11월 중순까지는 낮에만 측창을 열어주고, 정지 및 착과 등, 일반 농가의 관행에 준하였다. 냉해발생률 조사는 수확과 동시에 12월 하순경에 8구역으로 나누어 실시하였으며, 식물체 15개를 한 구역으로 설정하여 전체 염수에 대한 냉해받은 염수를 퍼센트로 하여 구하였다. 또한 냉해정도에 따라 잎의 형태, 기공의 변화, 줄기의 도관 및 과실의 특징을 조사하였다. 줄기는 냉해를 받은 줄기와 정상적인 줄기를 cross section하여 sffranine 용액에 염색한 후 현미경을 이용하여 관찰하였다. 엽조직내의 엽록소 함량은 탄산칼슘이 함유된 80% 아세톤 용액으로 추출하여 645 nm와 663 nm에서 흡광도를 측정하였으며, Beer의 법칙을 이용하여 정량하였다(Ross, 1974). 안토시안닌 함량은 Fargher and Chalmers(1977)의 방법으로 엽조직 1g을 HM buffer(1% HCl-methanol) 20 ml로 추출하여 530 nm 흡광도에서 OD 값으로 비교하였다. 이때 시

료는 가시적으로 저온장해 증상을 보인 잎과 정상적인 잎을 각각 3개씩 3반복으로 채취하여 측정하였다.

저온에 따른 뿌리의 생육정도는 직육면체로 된 투명 한 아크릴 박스에 양측면에 여과지를 끼운 후, 펠라이트를 채우고, 최어진 종자를 양측면에 각 처리당 20개씩 파종하였다. 처리온도는 30°C 적정온도를 control구로 하여 22°C, 14°C, 그리고 6°C로 유지되는 성장상에서 암상태로하여 실시하였으며, 시간별 뿌리의 길이를 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 하우스내 미기상의 변화

온도는 식물생장의 가장 중요한 요소이자 인위적으로 조절하기 쉬운 환경적 요소로서 온도조절이 용이하다면 년중 작물의 재배가 가능하다. 수박은 고온성 채소로서 하우스 재배시 보온시설이 필수적이며, 효율적인 보온방법은 작물의 성장을 촉진시킬 뿐만 아니라 난방비 절감에도 크게 기여할 수 있다.

수박이 재배되고 있는 남북형 2중 하우스내의 온도 분포는 Fig. 1, 2, 3에서 보는 바와 같이 하우스 중앙부위의 온도를 기준으로 외기온도가 61.7% 정도 온도가 떨어졌을 때 서편은 14.7%, 동편은 6.2% 낮게 나타났다. 12월 중 하우스 중앙부위의 온도는 양측면에 비하여 주간최대 3-4°C, 야간에는 최대 2-3°C의 차이를 보임으로서 야간보다는 주간에 구역별 온도차가 심한 경향을 보였다. 또한 습도는 오전 9시경부터 떨어지기 시작하여 12-14시경에 약 40% 이내로

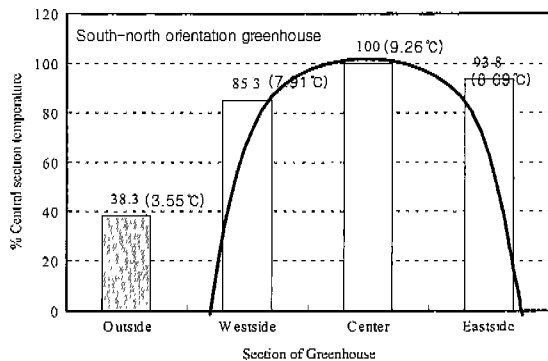


Fig. 1. Percent of temperature in the sections of double layer greenhouse and outside from Dec. 10 to 12, 1999 as compared to central section.

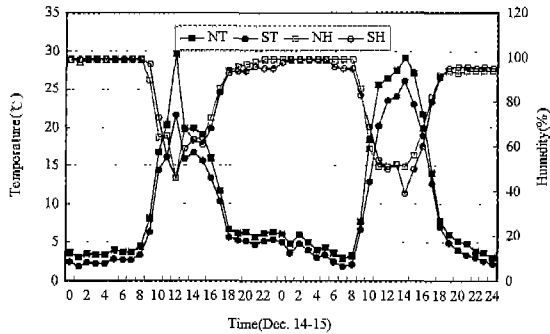


Fig. 2. Comparison of temperature and humidity in double layer greenhouse under winter condition. The entrance located in the south and sensors installed about 2 m from each fence of greenhouse. ST and NT: temperatures of south and north section in south to north greenhouse. SH and NH: humidities of south and north section in south-north greenhouse. Average: ST=8.37°C, NT=10.38°C; SH=84.57%, NH=85.59%.

감소되었으며, 16시경부터 다시 상승하여 18시 이후에는 95% 이상의 습도를 유지하였다. 남쪽과 북쪽 구역의 온도 분포는 북쪽이 평균 2°C 정도 높았으나 주야간의 온도교차가 남쪽 구역에 비하여 심한 것으로 나타났다. 이는 창문이 설치된 남쪽 구역은 수박 관리로 인하여 외부와의 공기 순환이 이루어지고 있는 반면, 북쪽 구역은 공기 순환이 잘 이루어지지 않기 때문에 평균 온도가 높고 온도교차가 심한 것으로 사료된다. 또한 하우스 내부의 수직적 온도 분포는 주간에는 지상부위의 온도가 높고, 야간에는 지표면의 온도가 높게 나타났다. 평균 온도는 지표면이 지상부위보다 0.14°C 가량 높은 경향을 보였다. 토양별 하루 평균 지온은 점토와 사토가 가장 낮게 유지되었으며, 다음으로는 황토(고창지역), 그리고 퇴비와 혼합한 토양(2.5 ton/200 m²)에서 가장 높게 유지되는 경향을 보였다(Table 1).

이상의 결과로 볼 때 저온기 무거운 재배시에는 온도가 높은 중앙부위에 수박을 정식하여 양쪽 가장자리로

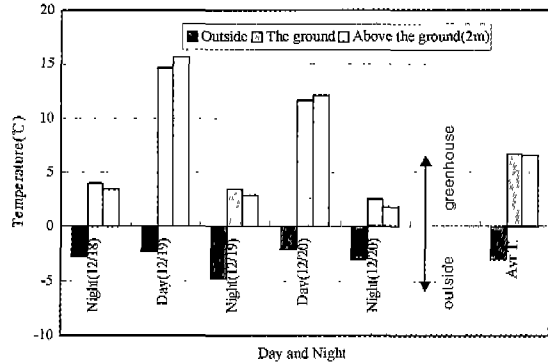


Fig. 3. Vertical temperature distribution in double layer greenhouse from Dec. 18 to 20, 1999. Night and day was defined by sunset and sunrise time.

줄기를 유인하는 재배양식이 온도관리 측면에서 훨씬 효율적인 것으로 나타났으며, 주야간의 온도교차가 심한 북쪽 구역에는 방풍막이나 보온메트 또는 단열재 등의 설치가 요구된다. 또한 토양에 퇴비를 시비하여 지온을 상승시켜줌으로써 수박재배에 유리할 것으로 사료된다.

2. 냉해의 가시적 변화

남북형 2중 하우스내 냉해발생은 동편보다는 온도가 낮은 서편에서 많이 발생되었고, 남쪽구역보다는 북쪽 구역에서 더 많이 발생되었으며, 중간구역에서 가장 적게 발생하는 경향을 보였다(Fig. 4). 한 식물체내에서도 냉해발생은 생장이 왕성한 성장점부위보다는 잎의 활동이 가장 왕성한 잎일수록 증가되는 경향을 보였다. Buttrose and Sedgley(1978)에 의하면 수박의 생육적 온은 주간 25~28°C, 야간 16~18°C로 보고하였으며, 냉해는 생육적온에 비하여 10°C 이상 갑자기 온도가 떨어질 때 발생된다고 하였다.

저온기 역제재배시 엽조직의 가시적인 냉해증상은 야간 최저온도가 6°C 이하로 1~2일정도 떨어질 때

Table 1. Comparison of temperatures on various soils at 10 cm below the ground.

Date	Outside	Sand	Yellow	Clay	Y+compost ²
May 1	17.80	19.68	19.96	19.93	20.48
May 2	21.36	22.98	22.95	23.07	23.30
May 3	16.69	17.90	17.68	17.83	17.43
Avr. T (during exp.)	18.62	20.19	20.19	20.03	20.40

²Y+compost: Yellow soil+compost (2.5 ton/200 m²)

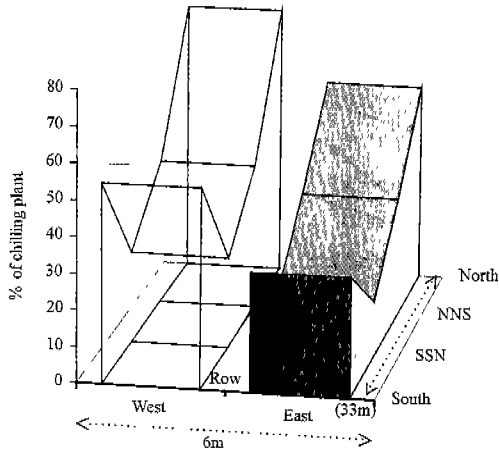


Fig. 4. Chilling plant distribution in double layer greenhouse (south-north) section under winter grown watermelon plants. Its was investigated 15 plants per greenhouse section on Dec. 7, 1999.

Table 2. Effects of chilling temperature on chlorophyll and anthocyanin contents in watermelon plant.

	Chlorophyll content ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Anthocyanin
Normal leaf	2.22 a ²	0.140 a
Chilled leaf	2.12 a	0.145 a

²Mean separation within column by DMRT, P 0.05.

비로소 나타나기 시작했다. 냉해받은 잎은 정상적인 잎과 비교할 때 엽록소와 안토시아닌 함량은 거의 차이가 없었다(Table 2). 외부환경에 직접적으로 노출되어 있는 잎은 다른 조직에 비하여 환경적응능력이 뛰어나기 때문에 저온장해가 상당히 진전된 후에 가시적인 증상이 관찰되었다. 그러나 기공은 냉해증상이 가시적으로 판단될 때 이미 기공세포는 파괴된 상태였고, 도관도 막혀 물질의 이동이 어려운 상태로 변화되었다(Fig. 5와 6). 저온장해를 받은 잎은 2가지의 형태로 나타났는데, 하나는 수침상의 형태를 띤 후 위쪽으로 말리기 시작하여 결국, 황화되면서 갈색으로 고사되었다(Fig. 7-right). 또 다른 증상으로는 전자와 같이 잎이 말리지 않지만 붉은 색소가 드러나면서 연약한 형태로 변화되는 것도 있었다(Fig. 7-left). 이는 Table 2의 결과에서 보는 바와 같이 안토시아닌 색소의 함량이 증가된 원인이라기 보다는 엽에 존재하는 다른 색소들이 탈색되기 때문에 나타난 현상으로 사료된다. Locascio(1994)에 의하면 저온기가 되면서 성숙된 잎들이

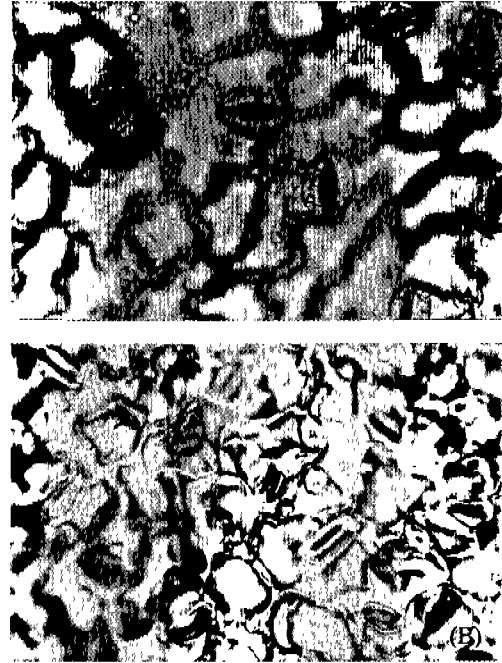


Fig. 5. Watermelon stomata after chilling injury (6°C) under microscope (x100). Watermelon stomata were destructured after chilling injury (B), as compared with control plant (A).

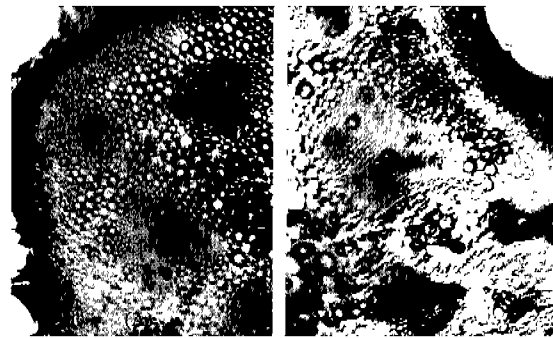


Fig. 6. Changes in vascular bundle of watermelon plant after chilling treatment at 6°C. (A); normal plant, (B); chilling plant.

분해되는 원인은 인(P)의 함량이 0.2% 이하에서 발생된다는 점으로 미루어 볼 때 Fig. 7-left는 인산이 부족한 상태에서 저온에 의하여 나타난 증상으로 생각된다. 또한 장기간 저온관리는 수박의 엽육조직이 생장하지 못하여 엽장이나 엽폭이 정상잎보다 작은 경향을 보였다(Fig. 7-right). 30°C에서 주근의 신장율은 발아 후 36시간까지 계속 증가하다가 48시간 이후, 측근이

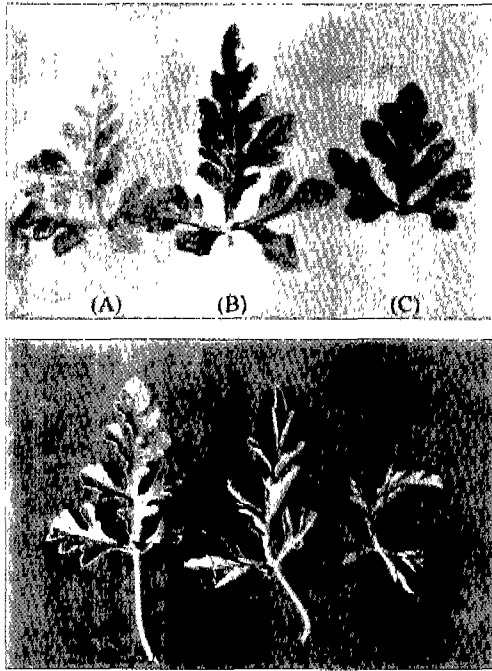


Fig. 7. Changes in visual symptoms of watermelon leaves on low temperatures. Left to right normal leaves (A), chilling injury (B), and severely chilling injury (C).



Fig. 8. Effect of low temperatures on root growth in watermelon explants. From left to right 30°C, 22°C and 14°C grown plants.

발생되기 시작하면서 급격히 감소되었다(Fig. 8). 22°C 에서는 발아 후 60시간까지 계속 신장하였으나 30°C 에 비하여 측근 발생이 현저히 감소되는 경향을 보였

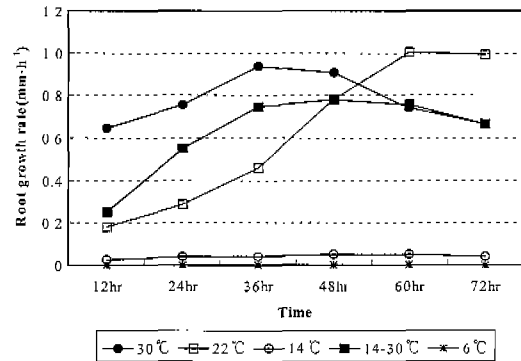


Fig. 9. Root growth rate for watermelon plants was investigated using the seed pack growth pouches, which was measured from 6 to 30°C at 8°C intervals. 14-30°C indicates where plants were immediately transferred from 14°C(72 h) to 30°C of growth chamber. Before this experiment, all plants were grown at 30°C in growth chamber.

으며(Fig. 9), 14°C와 6°C 처리에서는 뿌리의 생장이 거의 억제되었다. 그러나 14°C에서 72시간 저온 처리 한 후, 온도를 30°C로 높여주면 주근의 생장이 회복 되는 경향을 보였다. 가시적으로 판단할 때 수박의 저온장해는 잎과 줄기보다는 뿌리가 훨씬 더 민감한 반응을 보임으로써 저온기에 근권온도의 관리가 수박재배에 있어서 가장 중요한 요소중 하나로 생각된다. 우리나라 수박농가에서 가장 시급한 문제로 대두되고 있는 급성 시들음증이 저온관리에서 주로 발생되고 있는 것도 줄기의 생장에 비하여 뿌리의 생장이 상대적으로 저온에 민감하기 때문으로 추정된다. 저온기 수박 재배 시 과실은 일반 노지나 조숙재배시와는 달리 과일이 작고, 과피가 두꺼우며, 공동과 발생이 현저히 증가되는 경향을 보였다. Noh 등(2000)이 보고한 바에 따르면 노지재배시(3월 정식) 공동과 발생은 10% 이내로서, 90% 이상의 상품율을 보인 반면, 본 실험에서는 약 80% 이상의 공동과가 발생하였다. 이는 저온에 의한 전류불질의 억제원인으로 사료되며, 전류억제에 관한 문제는 연구할 하나의 분야로 남아있다.

Literature Cited

1. Bacten, S., H. Verlodt, S. El Fahem, and Y. Harbouai. 1985. Visualization of temperature distribution in PE greenhouses with static aeration. Acta Hort. 170:173-180.
2. Buttrose, M.S. and M. Sedgley. 1978. Some effects of

저온환경이 수박의 냉해발생과 형태적 증상에 미치는 영향

- light intensity, daylength and temperature on growth of fruiting and non-fruiting watermelon (*Citrullus lanatus*). Ann. Bot. 42:599-608.
3. Fargher, J.D. and D.J. Chalmers. 1977. Regulation of anthocyanin synthesis in apple skin. Aust. J. Plant Physiol. 4:133-141.
 4. Locascio, J.S. 1994. Cucurbits: cucumber, muskmelon and watermelon. Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop Plants p.123-130
 5. Mills, P.L. I.E. Smith, and G. Mararis. 1990. A greenhouse design for cool subtropical climate with mild winter based on microclimatic measurements of protected environments. Acta Hort. 281:83-94.
 6. Noh, J.J., D.C. Choi, and K.D. Choi. 2000. Effects of vine-training materials and its fixing methods for reducing diseases of watermelon in open culture. Korean. J. Hort. Sci. & Tech. Vol. 18(5):700 (in Korean).
 7. Ross, C.R. 1974. Plant Physiology Laboratory Manuals. Wadsworth Publishing Company, Inc. p.2-6

저온환경이 수박의 냉해발생과 형태적 증상에 미치는 영향

권성환 · 전형권 · 최동철 · 김재철¹

전북농업기술원 고창수박시험장, ¹전북대학교 원예학과

적 요

저온기 플라스틱 하우스내의 기상에 따른 수박의 저온장해 방지를 목적으로 하우스내의 위치별 온도분포와 냉해 발생률을 측정하였으며, 저온장해시 수박의 가지적인 증상을 조사하였다. 남북동 2중 하우스(남쪽 창)에서 온도분포(12월 중순)는 중앙을 기준으로 동편(93.8%)이 서편(85.3%)보다 높고, 북쪽이 남쪽보다 1일 평균온도가 약 1~2°C 높게 나타났다. 지상부와 지표면의 온도는 주간에는 지상부의 온도가 높고, 야간에는 지표면의 온도가 높게 나타났다. 또한 부엽토(황토+퇴비: 2.5 ton/200 m²)가 사토나 황토 또는 점토에 비하여 지온이 높게 유지되는 경향을 보였다. 시설내 수박의 냉해 발생도 동편보다는 서편이, 중앙부위보다는 남·북의 양방향에서 높게 발생되었다. 잎에서 냉해의 형태적 증상으로는 잎이 수침상으로 되었다가 잎이 점점 위로 말기며, 황화되는 경향을 보였으며, 냉해가 심할수록 줄기의 도관이 점점 막히는 경향을 보였다. 뿌리의 신장은 줄기나 잎의 생육보다 저온에 대하여 더욱 민감하게 작용하였다. 30°C에서 주근과 측근의 생장이 왕성하였으나 22°C에서는 측근의 발생이 억제되는 경향을 보였으며, 14°C와 6°C에서는 뿌리의 신장이 거의 정지되는 현상을 보였다. 이상의 결과에서 저온기에는 온도가 높은 중앙부위에 수박을 정식하여 양쪽 가장자리로 줄기를 유인하는 채배양식이 온도관리 측면에서 훨씬 효율적인 것으로 나타났으며, 하우스내의 온도는 최저 22°C 이상으로 하는 것이 뿌리생장에 유리할 것으로 사료된다.

주제어 : 수박, 냉해식물, 뿌리신장, 가지적 증상