

냉온처리 전후의 광환경 조건이 오이 묘의 생존율에 미치는 영향

Effect of survival rate of chilled cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings as influenced by light exposure and chilling started at different time of day.

남윤일* · 우영희 · 전 희 · 김형준

원예연구소 시설재배과

Nam, Yooun-Il* · Woo, Young-Hoe · Chun, Hee · Kim, Hyung-Jun
Protected Cult. Div., Nat. Hort. Res. Inst., RDA, Suwon, Korea 441-440

서 론

최근 겨울동안에 폭설과 강풍과 같은 기상이변이 잦아지면서 기상재해와 함께 정전에 의한 시설 원예작물의 저온피해도 빈번하게 발생하고 있으나, 실제적으로는 어느 정도의 피해가 있는지 파악되지 못하고 있으며 피해 예측에 관한 정보도 축적되어 있지 못한 실정으로 이에 관련된 연구가 요구되고있다. 시설재배시 겨울철 온도환경 관리에 대한 연구는 주로 난방비 절약을 위한 저온관리 한계온도 구명(Tanaka 등, 1986), 또는 근권부 온도 조절에 의한 작물의 생산성 증진 연구와 같은 실용적 측면의 연구(Lee, 1994; Fujie와 Saidou, 1983) 및 저온 장해의 생리기작(Herner, 1990; Patterson 등, 1976; Reyes와 Jennings, 1994; Wolk와 Herner, 1982; Wright and Simon, 1973)에 관련된 연구가 수행되고 있으며 냉온 피해를 받을 당시의 전후환경조건과 산화작용에 관련된 연구는 토마토(Kerdnaimongkol 등, 1997)등 몇 개 작물(King 등 1982)에서 보고된바 있다. 그러나 국내에서 정전이나 난방기 고장 등으로 시설내의 온도 조절이 어려울 경우에 원예작물이 받는 냉온 장해나 피해에 대한 연구는 거의 찾아 볼 수 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 겨울철에 시설 재배 시 갑작스런 정전이나 난방기의 고장 등으로 작물이 생육한계 온도 이하 상태에서 장시간 경과되었을 때 받는 여러 가지의 생리적인 장해나 피해를 밝히기 위해 오이 작물을 공시하여 냉온처리 당시의 전후의 환경조건이 오이묘의 생존율에 미치는 영향을 구명코자 실시하였다.

재료 및 방법

은성 백다다기 오이를 공시하여 원예연구소의 실험용 PET온실 내에서 수행되었다. 육묘기간은 실험내용에 따라 13일, 25일 및 30일간이었다. 기타 재배법 및 온도처리는 Nam(1996)처리방법과 동일하게 하였다. 육묘기간 동안 묘의 뿌리 부분이 20℃정도 유

지되도록 하였으며, 온실 내 기온은 온풍기를 가동하여 주/야 20/17°C가 되도록 하였다. 냉온처리 개시 시각이 오이의 생존율에 미치는 영향을 알고자, 25일묘를 2°C의 암상태에서 12~96시간 동안 처리하되, 냉온처리 개시를 일중에 해가 뜨기 직전인 07:00시(암기말)와 저녁 해가 떨어진 18:00시(암기 개시기)에 시작하여 생존율을 비교하였다. 07:00시 냉온처리는 묘를 05:00시에 육묘용 터널에서 생육상으로 옮긴 후 암상태에서 10분에 2°C 온도를 낮추어 06:00시까지 8°C까지 낮추고 07:00시부터는 처리온도인 2°C가 유지되도록 설정하였다. 18:00시 처리는 낮동안에는 육묘상을 20°C로 유지하고 16:00시에 생육상으로 묘를 옮겨 위와 같은 방법으로 온도처리를 하였다. 처리시간은 12, 24, 48, 72 및 96시간 암상태에서 처리하였고 온도처리 후에는 반대로 6→10→20°C로 순차적으로 온도를 높여서 갑작스런 온도 상승에 따른 세포막의 파괴를 방지하였다.

당 함량측정은 잎을 채취하여 24시간 동결 건조시켜 마쇄한 후 5g을 EtOH : H₂O = 50 : 50용액 25ml에 녹이고 50°C 항온수조에서 1시간 추출하여 냉각한 다음 증류수 50ml로 정용하고 seppak C18, 0.45 μm membrane filter로 여과한 후 HPLC(Waters, 410)를 사용하여 측정하였다. 전분 분석은 파종후 25일된 오이 묘의 2~3본엽을 06:00시부터 3시간 간격으로 채취하여 60°C에 건조시켜 사용하였다. 시료는 0.5g을 평량하여 삼각플라스크에 넣고 0.7N HCl 20ml를 첨가하여 100°C의 항온수조에서 2시간 동안 추출하여 메스플라스크에 여과한 후 여과액 0.5ml에 증류수 2.5ml와 0.2% anthrone 용액 6ml를 가하여 혼합하고, 항온수조에서 10분간 가온한 후 급랭시켜 분광광도계(Spectronics- 601)를 사용하여 630nm에서 흡광도를 측정하여 정량한 후 시료량으로 나누어 계산하였다. 전해질 누출 및 양이온 측정은 1.5g의 잎을 채취하여 2mm 정도로 잘게 썰어서 40ml의 deionized water와 함께 100ml의 삼각후라스크에 넣고, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 및 24시간 동안 25°C 항온기에 두었다가 EC meter(YSI, model 35. UAS)로 전기전도도를 측정하였다. 측정이 끝난 시료들은 100°C에서 10분간 끓여 식힌 다음 재차 전기전도도를 측정하였다. 전해질 누출량 계산은 시간별로 25°C에서 측정된 전기전도도를 100°C에서 10분간 끓여서 추출된 전해질의 전기전도도로 나누어 총량에 대한 비율로 계산하였다.

$$\text{Electrolyte leakage} = \frac{\text{Electrical conductivity of 24 hrs at 25}^\circ\text{C}}{\text{Electrical conductivity of 10 min at 100}^\circ\text{C}}$$

양이온량은 위의 방법으로 2시간 동안 추출한 전해질에 대하여 원자흡광분석기(Perkin Elmer 3300)를 이용하여 정량하였다. 광처리에 따른 영향을 알아보기 위해 육묘상에서 생육시킨 오이묘를 생육상으로 옮긴 후 냉온처리전 야간(19:00~07:00)을 20°C의 조건에서 광 조사 또는 암상태를 유지하다가 3°C로 12, 24 및 48시간 냉온처리하였다. 또한 냉온처리 중에 광을 조사(310 μ Em⁻²s⁻¹)하거나 암상태로 처리한 후 생존율을 조사하였다.

결과 및 고찰

냉온처리 개시 시각이 오이의 생존율에 미치는 영향을 보면 오전 7시에 냉온처리를 시작하여 24시간, 48시간, 72시간 경과 후 생존율은 각각 $70.0 \pm 5.4\%$, $30.6 \pm 9.4\%$, $9.8 \pm 2.3\%$ 이었으며, 96시간 처리는 완전히 고사하였다. 그러나 암기 개시시기인 오후 6시 처리를 시작하였을 경우에는 48시간 경과 후 생존율은 $92.2 \pm 5.2\%$, 72시간 경과 후에는 $85.0 \pm 5.4\%$, 그리고 96시간 경과 후에는 $46.2 \pm 10.2\%$ 의 높은 생존율을 나타내었다 (Fig. 1). 냉온처리 시각이 달라짐에 따라서 생존율에 차이가 발생하는 원인을 구명하기 위하여 오이묘의 자당과 전분 함량의 일변화를 조사한 결과 (Fig. 2) 자당 함량은 06:00시에 2.8 mg/g이던 것이 아침해가 뜨기 시작하면서 급격히 증가하여 09:00시에는 8.1mg /g까지 높아졌고, 15:00시에 최고치인 9.3mg을 나타내었고, 이후에는 감소하였다. 전분함량은 낮동안 서서히 증가하여 암기가 시작되는 18:00시에 최대치인 13.1%를 나타내었고, 이후에는 감소하여 다음날 아침 06:00시에는 4.7% 수준까지 낮아지는 일변화를 나타내었다. 이와 같은 현상은 자당이 광합성에 의하여 일차적으로 형성되고 이들이 2차적으로 polysaccharide인 전분으로 만들어져 세포조직에 축적되기 때문인 것으로 생각되었다. Levitt(1980)도 starch 와 sucrose의 일변화를 콩에서 조사보고한 바 있는데, 본 시험 결과와 매우 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 냉온처리 개시 시각에 따른 생존율 변화는 광합성에 의한 탄수화물의 축적과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단되었으나 Kerdnaimongkol 등 (1997)은 냉온처리 전 광 조건에 따른 생존율 차이는 catalase, superoxide dismutase와 같은 산화작용 defense enzyme의 활성정도에 좌우되며, defense enzyme의 activity는 냉온처리 전 광선 유무에 밀접한 관련이 있다는 보고가 있어 추후 더욱 연구 할 과제라고 생각된다.

식물체가 냉온에 처하게 되면 처리기간이나 온도 등에 따라서 세포막이 파열되어 전해질이 누출된다는 보고가 많은데(Patterson 등, 1976; Wright와 Simon, 1973; Reyes와 Jennings, 1994), 냉온처리 기간 및 개시 시각에 따른 엽 조직의 전해질 누출량을 보면 Fig. 3과 같다. 냉온처리 개시 시각을 07:00시와 18:00시로 하고 처리 기간은 12시간부터 96시간까지로 하여 2°C의 암조건에서 처리하였다. 세포로부터의 전해질 누출은 24시간 처리까지는 07:00시나 18:00시 모두 무처리와 차이가 없었으나 처리기간이 길어짐에 따라 증가하여 18:00시에 냉온처리를 시작하였을 때에는, 48시간 처리시 전해질 누출율 $13.1 \pm 1.3\%$, 72시간처리는 $25.9 \pm 1.8\%$, 96시간 처리에서는 $40.6 \pm 4.5\%$ 로 비교적 완만한 증가곡선을 나타내었다. 그러나 07:00시에 처리를 개시하였을 때에는 48시간에 $27.2 \pm 1.6\%$, 72시간 $57.1 \pm 5.8\%$, 및 96시간에는 $70.7 \pm 4.5\%$ 로 높은 전해질 누출율을 나타내었다. 따라서 07:00시에 냉온처리를 개시하면 18:00시 개시에 비하여 세포막의 투과성이 더욱 증대되는 것으로 나타났다. 전해질 누출율 20% 정도 이하에서는 외관상 일부 위조되는 증상을 나타내었으나 그 이상의 누출이 일어나면 육안상으로도 피해가 심하였다.

광을 몇시간 정도 조사하면 생존율이 높아지는가를 알기 위하여 2℃로 07:00시부터 48시간 냉온처리에 앞서서 10, 30, 60 및 120분 동안 광조사($310 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$)가 생존율에 미치는 영향을 Fig. 4에 나타내었다. 암상태에서 바로 냉온처리된 오이묘는 생존율이 $35.0 \pm 5.3\%$ 이었던데 비하여 10분간 광을 조사하면 $43.1 \pm 5.0\%$ 로 높아졌고, 30분간 조사에서는 $62.7 \pm 6.0\%$, 60분 처리에서는 $81.3 \pm 2.5\%$ 로 크게 높아졌으며, 120분간 처리시에는 $86.7 \pm 4.1\%$ 까지 높아졌다. 아울러 광조사에 따른 체내의 전당 함량을 분석한 결과 생존율과 거의 같은 경향으로 증가하여, 암조건에서는 엽신 건물 g당 $6.2 \pm 1.0 \text{ mg}$ 인데 비하여 10분간 광을 조사하였을 때에는 $11.5 \pm 0.7 \text{ mg}$ 으로 급증하였고, 30분간 처리에서는 $12.4 \pm 0.6 \text{ mg}$, 60분에는 $15.8 \pm 0.7 \text{ mg}$ 으로 증가하였으며, 120분간 광을 조사하였을 때에는 $20.3 \pm 1.1 \text{ mg}$ 까지 증가하였다. Levitt(1980)은 광을 조사하면 식물체내의 전당함량은 1~2시간 이내에 최대치에 달한다고 보고한 바 있으며, King 등(1988)은 토마토 유묘를 2℃로 80시간 냉온처리에 앞서서 10분에서 60분간 광($1,200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)을 조사한 결과, 30분 동안만 광을 조사하여도 90% 정도의 생존율을 나타낸다고 하였다. 이때의 광은 강할수록 효과가 높았으며, $1,200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 10% 정도의 광량을 조사하였을 때에도 무처리에 비하여는 효과가 있으나 강광에 비하여는 낮았다고 하였다. Pomeroy 와 Mudd(1987)는 오이자엽을 4℃에서 2, 4 및 6일간 처리하되 냉온처리 전에 광($130 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$)을 조사하면, 4일 동안 냉온을 처리하여도 100% 생존하였으나 암상태에서 곧바로 냉온처리를 시작하였을 때에는 4일간 처리에서 68%로 생존율이 낮아졌다고 보고한 바 있다.

요약 및 결론

겨울철 시설내에서 정전 등으로 인하여 수시간 동안 작물체가 생육한계 온도로 경과 시 오이묘에 나타나는 피해와 피해발생의 생리적 요인 및 피해 경감대책을 구명하기 위하여 저온처리 전후의 광환경 조건이 오이 묘의 생존율 및 생육반응에 미치는 영향을 연구한 결과는 다음과 같다. 냉온처리(2℃, 48시간)에 따른 오이묘의 생존율은 암기말인 07:00시 처리에서 30.6%이었고, 암기개시시기인 18:00시 처리에서는 92.2%로 높았다. 세포의 전해질 누출은 07:00시 처리에서(72시간) 57.1%, 18:00시 처리에서는 25.9%로 낮았다. 누출액중 무기이온 함량은 K^+ 이온이 가장 많았고, Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} 순으로 적었다. 냉온처리전 야간에 광을 조사하면 생존율이 광 무처리에 비해 56% 더 높아졌으며, 광조사는 2시간 처리로 충분한 효과가 있었다. 광 조사에 의하여 생존율이 높아지는 것은 광합성에 의한 당함량의 증가 때문인 것으로 해석 되었다. 냉온처리(3℃, 48시간) 기간중 광을 조사하면, 생존율이 43.3%로 낮아진 반면, 암조건에두면 92%로 높았다.

인용문헌

1. Fujie, K. and R. Saidou. 1983. General technique of agriculture. Chapter Vegetable. 1. Cucumber. pp.29-154.
2. Garber, M.P. 1977. Effect of light and chilling temperature on chilling sensitive and chilling resistant plant. *Plant Physiol.* 59: 981-985.
3. Herner, R. 1990. The effect of chilling temperature during seed germination and early seedling growth. *In: C. Y. Wang, (ed). Chilling Injury of Horticultural Crops.* CRC Press
4. Horvath, L., P.R. Vigh, and J. Van Hassent. 1985. Inhibition of chilling-induced photooxidative damage to leaves of *cucumis sativus* L. by treatment with amino alcohols. *Planta* 164: 83-88.
5. Kerdnaimongkol, K., A. Bhatia, R.J. Joly, and W.R. Woodson. 1997. Oxidative stress and diurnal variation in chilling sensitivity of tomato seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(4): 485-490.
6. King, A.I., M.S. Reid and B.D. Patterson. 1982. Diurnal change in the chilling sensitivity of seedlings. *Plant Physiol.* 70: 211-214.
7. Lee, J.W. 1994. Effect of root zone warming by hot water in winter season on rhizosphere environment, growth and yield of greenhouse grown. Kyungpook National University. Ph thesis. pp. 1-83.
8. Levitt, J. 1980. Responses of Plant to Environmental Stress Vol. I. Chilling, freezing and high temperature stress. Academic Press, New York. p.23~64.
9. Nam, Y.I. 1996. Influence of Chilling Treatment during Seedling Stages on Growth, Physiological Responses and Yield of Greenhouse-Grown Cucumber(*Cucumis sativus* L.). Dankook University. Ph thesis. pp. 1-108.
10. Patterson, B.D., T. Murata and D. Graham. 1976. Electrolyte leakage induced by chilling in *Passiflora* species tolerant to different climates. *Aust. J. Plant Physiol.* 3:435-442
11. Pomeroy, M.K. and J.B. Mudd. 1987. Chilling sensitivity of cucumber cotyledon protoplasts and seedlings. *Plant Physiol.* 84: 677-681.
12. Reyes, E. and P.H. Jennings. 1994. Response of cucumber and squash root to chilling stress during early stages of seedling development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 119(5): 964-970.
13. Tanaka, K., S. Nakanura, and H. Yasui. 1986. Studies on energy saving cultivation of fruit vegetables in greenhouse. I Physiology responses of tomato and cucumber to low temperature. *Bulletin of the national research institute of vegetables, ornamental plants and tea.* Series A. 14: 159-168.

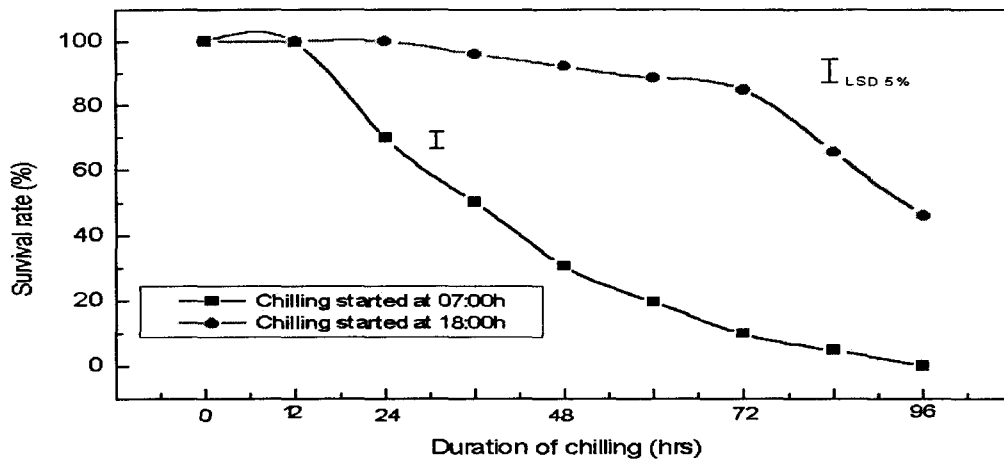


Fig. 1. Changes in survival rate of 25-day-old cucumber seedlings as influenced by duration of chilling(2°C) started at different time of day.

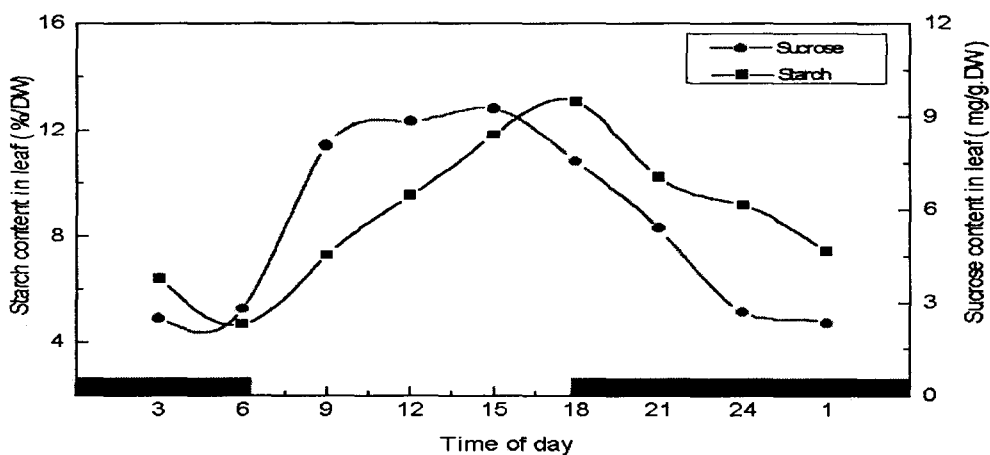


Fig. 2. Starch and sucrose content in cucumber seedling leaves sampled at different time during the diurnal cycle. The shaded bar indicates the dark period.

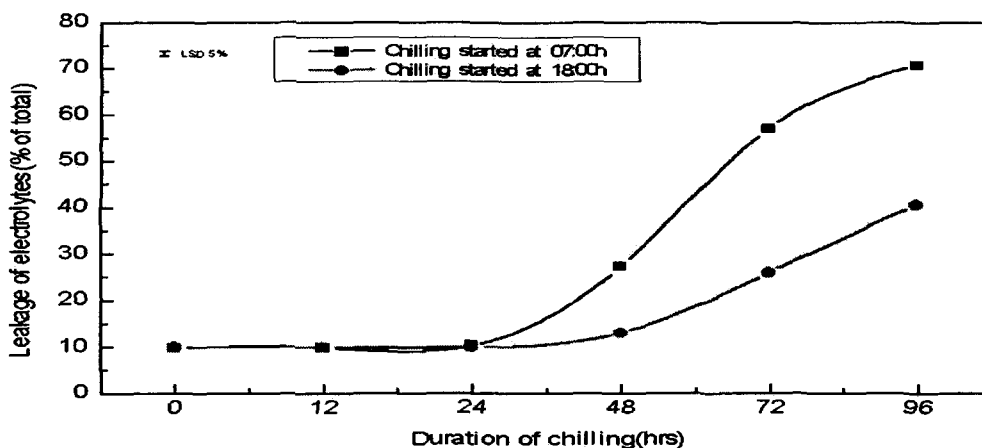


Fig. 3. Changes in leakage of electrolytes from 25-day-old cucumber leaves as affected by duration of chilling (2°C) started at different time of day.

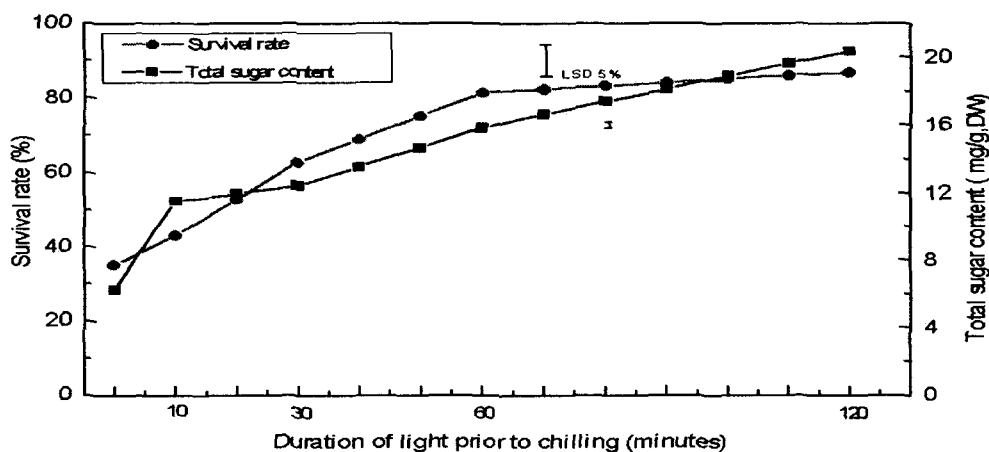


Fig. 4. Survival rate and total sugar content of leaves of 25-day-old cucumber seedlings as influenced by duration of light exposure prior to 48 hours of chilling at 2°C. Light treatment was given at 07:00AM, the end of dark period in growth chamber at the intensity of $310 \mu Em^{-2}S^{-1}$.