

오이묘에 냉온 Stress가 광합성 및 생리반응에 미치는 영향 Influence of chilling stress seeding stages on photosynthetic rate and physiological reponses of cucumber(*Cucumis sativus* L.)

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

시설 원예작물의 겨울철 온도환경 관리에 대한 연구는 난방비 절약을 위한 저온관리 한계온도 구명(Tanaka 등, 1986), 또는 근권부 온도 조절에 의한 작물의 생산성 증진 연구와 같은 실용적 측면의 연구가 많이 수행된바 있다(Fujie와 Saidou, 1983). 그러나 시설의 온풍기 고장 또는 정전 등으로 작물이 생육한계 온도이하의 저온상태에서 장시간 경과 되었을 때 나타나는 여러가지의 생리적인 장애나 피해에 대한 연구는 매우 적은 실정이다(Reyes와 Jennings, 1994). 오이묘의 생육 최저 한계온도로 알려진 8°C (Fujie와 Saidou, 1983) 이하의 조건에서 수시간 정도 경과될때, 생리적으로나 생육면에서 어떤 반응을 나타내는지, 또는 냉온 피해를 받은 오이묘를 정식할때 생산성과 품질은 어느 정도나 영향을 받는지 등에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. 다만 식량작물을 중심으로 한 냉온장애의 기작 구명 및 생리에 관해서는 많은 연구결과가 발표된 바 있다(Levitt, 1980; Wang, 1990).

따라서 본 연구는 오이 묘에 대하여 냉온 stress가 광합성 및 생리반응에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다

재료 및 방법

시험재료로 겨울살이청장오이(홍농종묘)를 공시하여 12cm 흑색 비닐포트(0.76 l)에서 육묘를 하였으며 기타 재배법 및 온도처리는 Nam(1996)처리방법과 동일하게 하였다. 광합성측정은 30일묘의 2분엽에 대하여 냉온처리 별로 오전 10시부터 12시 사이에 휴대용 광합성 측정기(Licor-6200)로 20°C 온실(광량 700~900 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$)과 할로젠 등으로 보광된 생육상(310 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$)내에서 측정하였다. 엽을 1 l 용적의 chamber에 끼우고, 공기유속 1.0 l/min. 조건에서 측정하였다. 근활력은 Youshita(1996)의 방법에 따라 측정하였다. 냉온 처리된 오이묘 뿌리를 깨끗하게 세척한 후 2cm로 절단하여 생체중 1.5g을

100ml의 삼각플라스크에 넣고, α -naphthylamine용액 40ppm 및 M/10의 인산 완충액(pH 7.0)의 등량혼합액 50ml을 넣은 후 5분간 가볍게 진탕한 후 7분간 정치시켰다. 2ml를 채취하여 초기의 α -naphthylamine 농도를 측정하였다. 남은 액은 뚜껑을 닫고 4시간 동안 진탕시킨 후 2ml를 채취하여 10ml의 증류수를 첨가하고, 1% sulfanilic acid(1g의 sulfanilic acid 을 30%의 초산 100ml로 용해) 1ml 및 100ppm NaNO₂ 용액 1ml를 넣은 후 교반하여, 5분간 실온에 방치해서 발색시킨 다음 증류수를 첨가하여 20ml로 만든 다음 분광광도계에 510 μ m 필터를 이용해서 비색 정량하였다.

목부 일비액은 오이의 지체부로 부터 2번째와 3번째 마디 사이를 절단하여 10:00시부터 12:00까지 2시간 동안 배출된 액의 양으로 측정하였다. 당함량분석은 30일묘를 3°C에서 5, 24 및 48시간 냉온처리 후 엽 중의 총 당함량을 분석하였는데, 분석방법은 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 μ m menbrane filter로 여과한 후 HPLC(Waters, 410)를 사용하여 측정하였다. 지방산 분석은 냉온처리된 오이묘의 엽을 80°C에 건조시킨 후 분쇄하여 hexane 20ml와 함께 이형 플라스크에 넣고 여기에 Na : CH₃OH(1:100) 1ml을 첨가한 다음, 70~75°C의 항온수조에서 30분간 반응시킨 후, 실온에서 식혀 페놀프탈레인 0.1% 용액으로 적색을 확인한 후, H₂SO₄ 0.1N 용액으로 적정하였다. 적정된 시액을 분별깔때기에 넣은 후, H₂SO₄ 0.1N 용액을 넣고 밀봉후 진탕하면, 두 층으로 분리되는데, 분리된 증류수는 버리고 다시 증류수를 넣어 이와 같은 과정을 3회 반복하였다. 분리된 시액은 100ml 삼각 플라스크에 넣고 Na₂SO₄ 와 hexane을 각각 0.1g 넣은 후, 1일간 방치 후 Na₂SO₄는 걸러내고, hexane을 증발시킨 후 특급 hexane으로 회석한후 gas chromatography(Varian 6000)로 정량하였다. 지방산의 불포화도와 이중결합지수는 다음과 같이 계산하였다.

$$\frac{\text{Unsaturated}}{\text{Saturated}} \text{ ratio} = \frac{\%18:1 + \%18:2 + \%18:3}{\%16:0 + \%18:0}$$

$$\text{Double bond index (D.B.I)} = \frac{(\% \text{ of } 18:1) \times 1 + (\% \text{ of } 18:2) \times 2 + (\% \text{ of } 18:3) \times 3}{100}$$

결과 및 고찰

가. 생리반응 변화

냉온처리 기간중 광 또는 암조건이 광합성량에 미치는 영향을 조사한 결과는 그림1과 같다. 냉온처리 동안에 암조건이었을 때에는 6°C에서 10시간 처리시 무처리에 비해 83.1±9.8%의 광합성을 나타내었으며, 3°C에서는 50.8±8.9%, 0°C에서도 40.5±11.6%의

비교적 높은 수준의 광합성량을 나타내었다. 그러나 냉온처리시에 광($310\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$)을 조사하면 6°C 처리는 무처리의 $40.2\pm 8.2\%$, 3°C 처리는 $21.2\pm 6.1\%$, 0°C 의 냉온에서는 무처리의 $13.8\pm 4.9\%$ 의 광합성을 보여 냉온기간 중의 광조사가 광합성을 크게 낮추는 것으로 나타났다. 3°C 에서 냉온처리 기간을 달리하였을 때 광과 암조건이 광합성량에 미치는 영향을 조사한 결과를 그림2에 나타내었다. 냉온처리시 암조건이었을 때는 무처리에 비하여 5시간 처리는 $75.3\pm 9.7\%$, 10시간 처리는 $63.0\pm 14.2\%$, 15시간 처리에서는 $35.3\pm 9.5\%$ 광합성량을 나타내었다. 그러나 냉온처리시 광을 조사하였을 때에는 무처리에 비하여 5시간 처리는 $56.4\pm 11.7\%$, 10시간 처리는 $31.1\pm 8.1\%$, 15시간 처리에서는 $22.4\pm 10.4\%$ 로 광합성은 크게 감소하였다.

Lasley 등(1979)은 오이 자엽을 $2, 6$ 및 8°C 에서 $2\sim 13$ 시간 처리할 때 광($440\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$)을 조사한 경우와 암조건에서 5°C 로 10시간 처리하였을 때와를 비교한 결과, 암조건에서 처리하였을 때에는 광합성이 억제되지 않았으나, 광을 조사하면 8°C 에서 8시간 처리시 무처리의 30%, 13시간 처리에서는 87%가 감소되었다고 하였다. Van Hasselt 등(1980)은 $2\sim 3$ 주된 오이묘 엽편을 1°C 에서 $2, 4$ 및 6시간 동안 처리하였을 때, 암조건에서는 6시간 처리하여도 광합성이 대조구와 같거나 오히려 다소 높았으나, 광($270\text{W}/\text{m}^2$)이 조사되면 2시간 처리는 대조구의 63%, 4시간 28%, 6시간 처리에서는 2% 정도의 광합성을 하였다고 보고한 바 있다. 이와 같이 냉온에 의해 광합성이 억제되는 원인에 대하여 Van Hasselt 등(1980)은 광산화작용에 의한 엽록소, 지방산 및 지질의 감소에 기인한다고 하였으며, 그 밖에도 많은 연구자들이 비슷한 결과를 보고한바 있다. 수수에서는 10°C 로 처리할 때 광($160\text{W}/\text{m}^2$)을 조사하면 24시간 후에는 체내의 전분이 급속히 가수분해되어 광합성 감소와 냉해가 나타났다고 하며(Rowley와 Taylor, 1972), 암상태에서 냉온처리를 하면 광합성의 명반응에서 제II광계에만 영향을 주나 광이 조사되면 제I과 제II광계 모두에 영향을 주어 전자 전달에 문제가 발생하여 광합성이 억제된다는 보고도 있다(Kee 등, 1986)

냉온처리후 식물체를 생육 적온으로 옮겨 회복될 때의 광조사 여부가 광합성에 미치는 영향을 알고자 시험한 결과를 그림3에 나타내었다. 광이 조사되는 상태에서 3°C 로 5시간과 15시간 냉온처리후 1시간을 경과시킨 다음 이를 20°C 의 생육상으로 옮긴 후 암상태에서 12시간을 유지시킨 다음 광합성을 측정한 결과, 5시간 냉온처리시는 무처리에 비교하여 12시간 후에는 $77.3\pm 10.7\%$ 까지 광합성량이 회복되었으며, 24시간 후에는 $86.0\pm 6.1\%$ 로 높아졌다. 그러나 회복기간 중에 광을 조사하였을 때에는 12시간에 $41.7\pm 6.3\%$, 24시간에는 $50.3\pm 9.9\%$ 정도만이 회복되었다.

또한 3°C 에서 15시간 처리하였을 때는 20°C 의 암조건에서 12시간 경과시켰을 때의 광합성량은 무처리의 $37.9\pm 8.8\%$ 수준을 나타내었고, 24시간에는 $51.8\pm 6.1\%$ 수준까지 회복되었으나, 광을 조사하면 12시간에 $7.8\pm 5.5\%$, 24시간에는 $0.4\pm 0.6\%$ 수준으로 낮아져 광합성 기능을 거의 상실하였다. Lasley 등(1979)은 오이 자엽에 광을 조사하는 조건에서 2°C 에서 6시간 처리후 회복기간에 광을 조사한 경우와 암조건인 경우의 광합성량 회복정도를 비교한 결과, 암조건에서는 20시간 후에 대조구 광합성량의 40%정도

까지 회복되었으나 광조건에서는 광합성 기능을 회복하지 못하였다고 보고한 바 있다. 이러한 현상이 일어나는 원인에 대하여는 아직까지 명백히 밝혀져 있지는 않으나, Lasley 등(1979)는 세포막의 지질과 지방산의 변화와 관련이 있는 것 같다고 하였다. 본 시험의 결과들로부터 유추하여 보면, 냉해를 받은 세포가 광광에 조사되면 지질이나 지방산 변화 뿐만 아니라, 세포내의 효소 활성을 증대시켜 대사작용에 불균형이 초래되어 독소의 축적(Patterson 등1981)이 일어나고 전해질의 누출을 촉진시켜 이온의 균형이 파괴되거나 또는 광에 의하여 기공이 열림으로써 세포로부터의 수분 손실을 촉진시키는 등과 같은 생리, 화학적 반응들이 종합적으로 작용하였기 때문이 아닌가 추찰되었다. 오이 묘가 냉해를 받으면 지상부뿐만 아니라 뿌리 세포막 지질에도 상전이가 일어나 원형질 유동이 정지되고, ATP공급이 감소됨으로써 미토콘드리아의 호흡이 억제되며(Levitt, 1980), 양수분의 공급이 감소됨으로써, 식물체가 위조현상을 일으킨다(Levitt, 1980).

냉온처리 기간이 오이묘의 근활력에 미치는 영향을 보기 위하여 2°C에서 12, 24, 48, 72, 및 96시간 처리 후, 처리종료 3일과 6일에 근활력을 측정한 결과는 그림4와 같이 처리기간이 길어질수록 근활력은 직선적으로 감소하였다. 07:00시에 냉온처리를 개시하였을 때에는 냉온처리후 3일에 조사한 결과, 24시간 냉온처리는 무처리(81.4±9.6 μg/g.Fw)의 69%까지 낮아졌고, 48시간 처리에서는 21%까지, 72시간 처리 이후에는 무처리의 9% 수준으로 크게 감소하였다. 24시간 정도의 단시간 냉온처리는 6일후 다소 근활력이 회복되나, 48시간 이상의 냉온처리에서는 거의 회복되지 못하였다.

08:00시에 냉온처리를 개시하였을 때도 07:00시 처리와 비슷한 경향이나, 다만 단기간 처리시 근활력의 감소가 적고 회복이 빠른 경향이었다.

Creencia와 Bramilage(1971)는 옥수수를 0.3°C에 처리하였을 때 가시적인 엽의 피해증상은 36~60시간만에 나타났으나, 지하부의 반응은 그 보다 늦게 나타난다고 하였다.

30일묘를 10시간동안 0, 3 및 6°C에 냉온처리후 토양에 정식한 다음 생육시기별로 목부의 일비액량을 조사한 결과를 Table 1에 나타내었다.

냉온처리를 하여 정식후 20, 40 및 70일에 오이 식물체의 지체부를 절단 후 10~12시까지 2시간 일비액을 채취하였는데, 일비액으로 본 오이 뿌리의 활력은 냉온처리후 20일 조사시 0°C와 3°C 처리만이 유의하게 낮았을 뿐 6°C 처리는 무처리와 차이가 없었으며 40일 이후에는 냉온처리에 따른 일비량 감소가 유의하게 나타나지 않았다.

나. 엽중 성분 변화

냉온처리가 오이 묘의 당함량에 미치는 영향을 조사한 결과는 표2와 같다. 30일묘를 3°C에서 5, 24 및 48시간 처리하였으며 당함량은 일중 시간에 따라 큰 변화를 나타내기 때문에(Nam, 1996) 12:00시에 시료를 채취하여 분석하였다.

엽중 전당 함량은 5시간 냉온처리는 무처리와 차이가 없었으나, 24시간 처리는 무처

리에 비하여 12%, 48시간 처리는 23% 증가하였다. Sieckmann와 Boe(1978)는 회양목과 Cranberry를 7°C에서 8일간 냉온처리를 한 결과, 전당이 2일간 처리에서는 무처리에 비해 38%, 4일 처리에서는 48% 증가하였고 6일간 처리에서는 80%까지 증가하였으나 그 이후에는 증가되지 않았다고 하였으며, Guinn(1971)는 목화에서 야간에 5°C로 2일간 유지하였을때는, 무처리에 비해 전당이 52% 증가하였고, 전분은 24%가 증가되었다고 보고한 바 있다. 식물체가 냉온장해를 받게 되면 세포막 지질이 액체 결정상에서 고체 교질상으로 상전이(transition)가 일어나 생체막의 기능을 잃기 때문에 투과성이 증대되어 결국에는 위조 또는 이온의 균형이 깨져서 식물체가 직접적인 냉해를 받게 된다고 하는데, 상전이는 막지질의 지방산 조성에 따라 차이를 보인다고 하였다 (Raison와 Chapman,1976).

오이 30일묘를 0, 3 및 6°C에서 10시간 처리하였을 때의 총 지질 중 지방산 조성 변화를 Table 3에 나타내었다. 처리온도가 낮아질수록 불포화지방산인 linolenic acid(18:3)와 oleic acid(18:1)의 비율은 높아지고 포화지방산인 palmitic acid(16:0)의 함량은 무처리가 가장 높았고 온도가 낮아질수록 감소하는 경향이였다. 지방산의 불포화도는 무처리구는 5.1인데 비하여 0°C 처리에서는 7.1로 높아졌고, 탄소와의 이중결합 정도를 나타내는 이중결합지수도 0°C 처리가 유의하게 가장 높았다. Horvath 등(1983)은 내냉성 정도가 다른 오이 품종들에 대하여 엽신의 지질 조성을 분석한 결과 지질조성은 재배방법과 유전적 변이에 따라 차이가 있으며, 내냉성 품종들은 인지질내의 불포화지방산인 linolenic acid(18:3)가 더 많고 냉온에 의해 식물체가 경화되면 인지질 내의 linolenic acid는 크게 증가한다고 보고한 바 있다. Judith 등(1976)은 목화 유묘를 8°C로 냉온처리 하였을때 극성지질중 linolenic acid의 함량이 증가한다고 하였다. 또한 Passiflora종에서 내냉성인 계통들은 1°C에서 막지질이 변하는데, 내냉성이 약한 계통들은 9°C에서 변하였다고 하며, 냉온에 대한 민감성 차이는 막지질의 물리적 차이와 관련이 있는 것 같다고 하였다(Patterson 등, 1981). 본 시험의 결과도 이들 보고와 비슷하였으나 냉온처리 시간이 10시간으로 짧았고, 총 지질의 지방산만 분석하였기 때문에 처리간 차이가 적었던 것으로 생각되었다.

요약 및 결론

냉온처리(0°C)는 무처리에 비한 오이묘의 광합성량이 10시간 처리는 52.8%, 24시간 처리에서는 67.6% 감소시켰으나, 5시간처리는 무처리와 큰 차이가 없었다. 냉온처리 기간중의(3°C, 15시간)광조사는 암상태에서 보다 광합성을 크게 저해시켰다. 냉온처리후 회복기간 중에 암조건을 주면 광합성량이 다소 회복되었으나 광조사 시에는 회복되지 못하였다. 0~6°C 범위내의 냉온처리는 무처리에 비해 뿌리 활력을 유의하게 감소시켰고, 냉온처리 40일후 채취된 오이줄기의 일비액량은

처리간 유의차를 보이지 않았다. 냉온처리(3℃)시 전당 함량은 무처리에 비해 24시간 처리에서는 12%, 48시간 처리에서는 23% 증가되었다. 한편 냉온처리에 의하여, 불포화지방산 인 linolenic acid와 oleic acid는 증가되었으나, 포화지방산인 palmitic acid는 감소되었다.

인용문헌

1. Creencia, R.P. and W.J. Bramlage. 1971. Reversibility of chilling injury to corn seedlings. *Plant Physiol.* 47: 389-392.
2. Fujie, K. and R. Saidou. 1983. General technique of agriculture. Chapter Vegetable. 1. Cucumber. pp.29-154.
3. Guinn, G. 1971. Changes in sugars, starch, RNA, protein and lipid-soluble phosphate in leaves of cotton plants at low temperatures. *Crop. Sci.* 11: 262-265.
4. Horvath, L., P.R. Vigh, J. Van Hassent and P.J.C. Kuiper. 1983. Lipid composition in leaves of cucumber genotypes as affected by different temperature regime and grafting. *Physiol. Plant.* 57:532-536.
5. Kee, S.C., B. Martin and D.R. Ort. 1986. The effects of chilling in the dark and in the light on photosynthesis of tomato: electron transfer reactions. *Photosyn. Res.* 8: 41-46.
6. Lasley, S.E., M.P. Garber and C.F. Hodges. 1979. After effects of light and chilling temperatures on photosynthesis in excised cucumber cotyledons. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104(4): 477-480.
7. Levitt, J. 1980. Responses of Plant to Environmental Stress I. Academic Press p.23~64.
8. 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.
9. Patterson, B.D., J.A. Pearson and L.A. Payen. 1981. Metabolic aspects of chilling resistance: alanine accumulation and glutamate depletion in relation to chilling-sensitivity in passionfruit species. *Aust. J. Plant Physiol.* 8: 395-403.
10. Raison, J.K. and E.A. Chapman. 1976. Membrane phase changes in chilling sensitive *Vigna radiata* and their significance to growth. *Aust. J. Plant Physiol.* 3: 291-295.

Table 1. Amount of xylem exudates from cucumber plants as affected by chilling temperatures for 10 hours.

Chilling temperature (°C)	Xylem exudates (ml/plant/2hrs)		
	20 DAT ^z	40 DAT	70 DAT
0	10.2 b ^y	38.8 a	31.1 a
3	13.1 ab	44.7 a	32.4 a
6	15.8 a	49.8 a	35.8 a
Untreated (20°C)	16.3 a	48.7 a	35.3 a

^zDays after transplanting.

^yMeans followed by the same letter within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 2. Total sugar content in leaves of 30-day-old cucumber seedlings as affected by duration of chilling at 3°C for 48 hours.

Duration of chilling at 3°C(hour)	Total sugar content in leaves (mg/g DW)
5	24.8 a ^z
24	27.4 b
48	30.1 c
Untreated	24.5 a

^zMeans followed by the same letter within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 3. Fatty acid composition in leaves of 30-day-old cucumber seedlings as influenced by chilling temperature for 10 hours.

Chilling temperature (°C)	Fatty acid					Degree of unsaturated fatty acid	Double bond index
	Palmitic acid (16:0)	Stearic acid (18:0)	Oleic acid (18:1)	Linoleic acid (18:2)	Linolenic acid (18:3)		
0	10.89 b ^z	1.52 c	8.20 a	7.29 a	72.10 a	7.1 a	2.40 a
3	12.03 b	2.13 b	7.23 ab	7.28 a	71.33 a	6.1 b	2.36 ab
6	12.18 b	2.32 b	5.68 b	8.86 a	71.31 a	5.9 b	2.37 ab
Untreated (20°C)	13.67 a	2.85 a	4.92 b	9.05 a	69.62 a	5.1 c	2.32 b

^zMeans followed by the same letter within column are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

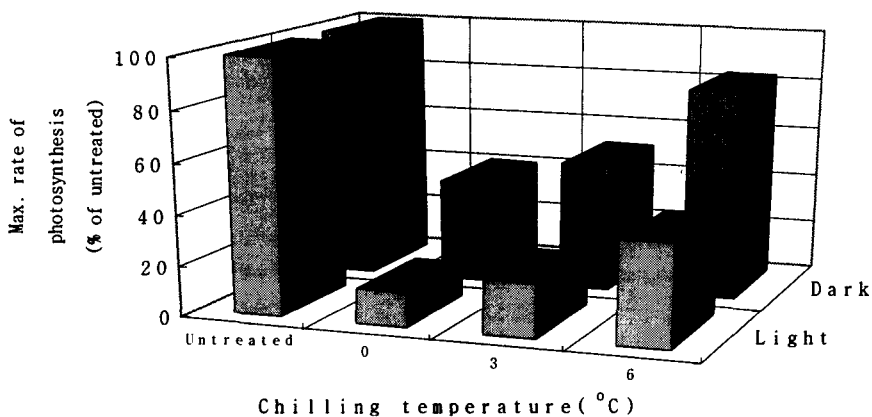


Fig. 1. Relative photosynthetic rate of 30-day-old cucumber seedlings as affected by 10 hours of chilling temperature and light exposure. Maximal rate of photosynthesis was $17.8 \pm 2.1 (\mu \text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{S}^{-1})$.

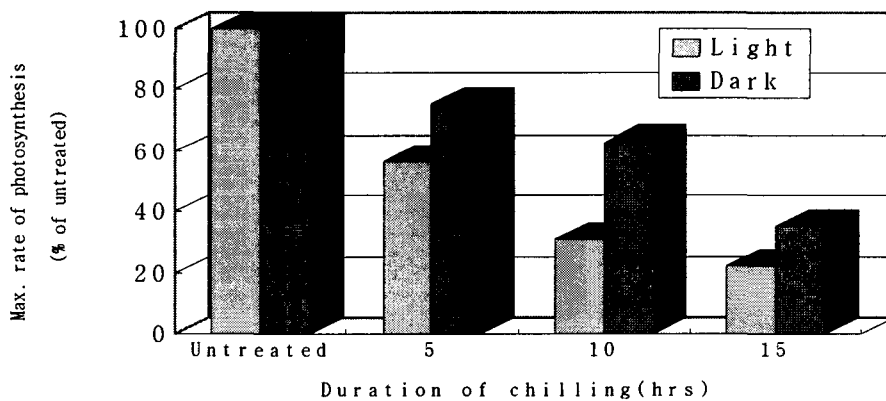


Fig. 2. Relative photosynthetic rate of 30-day-old cucumber seedlings as affected by duration of chilling at 3°C and light exposure. The photosynthesis was measured at 25°C, 11:00AM and maximal rate measured was $19.2 \pm 3.5 (\mu \text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})$.

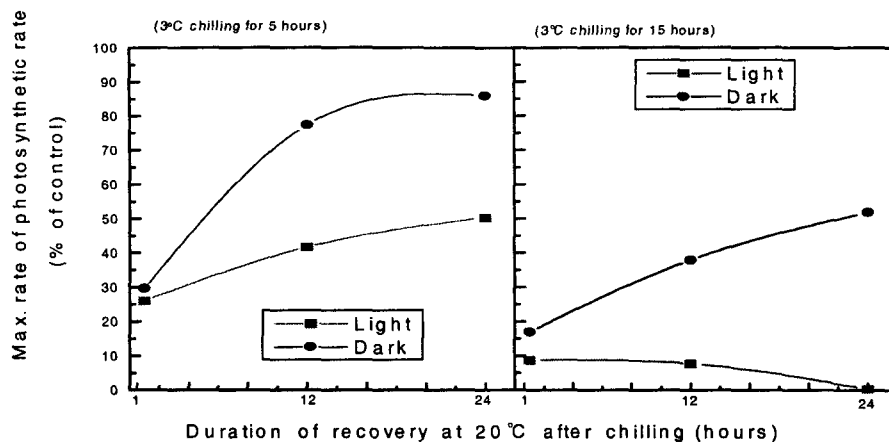


Fig. 3. Relative photosynthesis of 30-day-old cucumber seedlings pretreated at 3°C under the light and allowed to recover at 20°C in the light or dark conditions. The photosynthesis was measured at 25°C, 13:00 PM and maximal rate measured was 17.5 ± 1.8 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

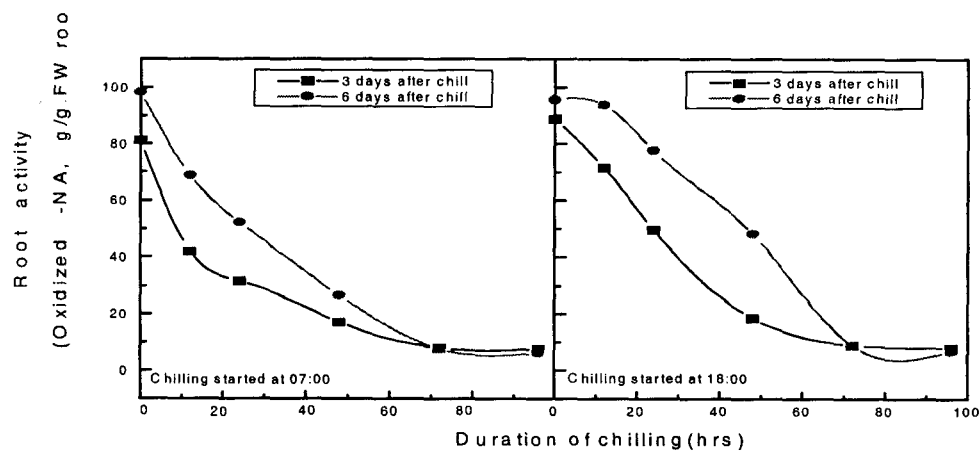


Fig. 4. Root activity of 30-day-old cucumber seedlings as affected by duration of chilling at 2°C. The chilling treatment was started at 07:00 AM and 18:00 PM, and root activity was measured 3 and 6 days after treatments, respectively.