열화상을 이용한 감자묘의 생장 감시+

Growth Monitoring of Potato Transplants Using Thermography

이상헌[1*] · 김용현[2] · 김진국[1] · 최유화[1] · 이명규[1]
[1]전북대학교 대학원 농업기계공학과
[2]전북대학교 농과대학 생물자원시스템공학부(농업과학기술연구소)
S.H. Lee[*] · Y.H. Kim[2] · J.K. Kim[1] · Y.H. Choi[1] · M.G. Lee[1]
[1]Dept. of Agricultural Machinery Eng., Graduate School, Chonbuk National Univ., Jeonju 561-756, Korea
[2]Division of Bioresource Systems Eng., Chonbuk National Univ., Jeonju 561-756, Korea (The Institute of Agricultural Science & Technology)

서론

우리 나라의 씨감자 생산체계는 기본종, 기본식물, 원원종, 원종, 보급종 등 5단계의 증식체계를 거쳐 씨감자를 생산농가에 보급하고 있으나 보급률은 25% 정도 밖에 안 되는 실정이다. 또한 씨감자 증식과정에서 토양중 괴경이나 지상부 경엽이 병해충에 쉽게 노출되기 때문에 병해충의 감염을 완전히 차단하는 것은 불가능하다. 따라서 현재의 증식단계를 줄여야 씨감자의 품질이 향상될 것이므로 이것을 실현하기 위해서는 상위단계 씨감자의 생산력을 획기적으로 증대시킬 수 있는 기술이 전제되어야 한다(구, 2002).

현재 국내에서는 상위단계 씨감자의 생산력을 증대시키기 위해 양액재배를 이용하고 있으나, 미국과 유럽에서는 경삽을 이용한 종서 생산이 상대적으로 높은 비중을 차지하고 있다. 그러므로 국내외의 종서 생산 기술에 대한 종합적인 검토와 더불어 품질이 우수한 종서 생산 기술이 제시되어야 할 것으로 판단된다(김, 2002).

경삽을 이용한 종서 생산에서 묘소질이 우수한 감자묘의 생산은 매우 중요한 일이다. 묘소질이 우수한 묘, 즉 외관이 우수하며, 병충해에 오염되지 않고, 생리 · 생태적 상태가 우수한 우량묘를 재배에 이용하면 정식 단계에서 활착 환경에 쉽게 적응하거나, 재배과정에서 비료, 농약, 자재, 관리 노력 등을 적게 투입할지라도 수량이 증대되거나 품질 향상이 예상된다(김과 박, 2002). 그런데 묘소질은 묘생산 시스템 내의 기온, 상대습도, 광량, 기류속도, CO_2 농도, 양분, 수분 등의 물리 · 화학적 환경 요인의 영향을 받게 된다(김과 송, 1999; 김, 1998; Kim 등, 1996). 따라서 묘소질이 우수한 감자묘를 생산하려면 경삽 후 생장 과정에서 묘생산 시스템 내의 물리 · 화학적 환경 요인이 적정 수준으로 제어되어야한다.

+ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-000-00391-0)지원으로 수행되었음.

식물은 물리·화학적 환경에 의해 생장에 나쁜 영향을 받으면 스트레스를 받게 된다. 스트레스나 질병에 의한 증상은 여러 가지로 나타날 수 있다. 물공급이 잘 안되거나 표피의 수분 함량의 평형이 잘 안맞으면 기공이 닫히고, 광합성과 증산이 줄게되어 잎표면의 온도가 증가한다(김 등, 1998). 배양액의 전기전도도(EC)는 근권의 수분포텐셜을 변화시키며 이것이 지상부로의 양분과 수분흡수에 제한인자가 된다(박, 2002).

생육중인 작물에 대한 계측은 작물의 잎이나 줄기의 비파괴적인 생체 계측을 필요로 하며 비접촉으로서 원격측정이면 더욱 효과적이다. 이러한 특성을 갖춘 계측기로서 그 이용의 가능성이 높은 측정기의 종류와 특성은 성(1998)이 논의한 바와 같다. 원격측정의 한 방법인 열화상은 식물로부터 나오는 적외선을 측정하여 관찰 대상 작물을 물리적으로 접촉하지 않고도 비파괴적이며 연속적으로 정보를 얻고 해석하게 해준다(채, 2000).

본고의 목적은 폐쇄형 묘생산 시스템(Kim 등, 2002)에서 묘소질이 우수한 감자묘를 생산하기 위해 경삽된 감자묘의 생장에 영향을 주는 물리·화학적 환경 요인 중에서 광량, 배양액의 전기전도도, 수분부족이 감자묘의 생장에 미치는 영향을 열화상을 이용하여 비파괴적인 방법으로 분석하는데 있다.

재료 및 방법

본 실험에 사용될 감자(*Solanum tuberosum* L. cv. *Dejima*)묘를 준비하고자 적용된 방법은 다음과 같다. 배양기내에서 14일 동안 발근시킨 감자 유식물체를 배지(BM2, Berger Peat Moss Co.)가 충전된 플러그트레이(Bumnong)에 이식하였다. 감자묘의 모주로 사용되는 감자 유식물체는 김(2002)에 의해 개발된 폐쇄형 묘생산 시스템에서 20일 동안 광주기와 광량이 각각 16/8h, 50μmol·m^{-2}·s^{-1}인 조건하에서 생장되었다. 최초 5일동안은 상대습도 90%, 온도 20℃를 유지하였고, 그 후부터는 상대습도 70%, 온도 20℃를 유지하였다. 실험에 사용된 감자묘는 모주의 줄기를 절단하여 폐쇄형 묘생산 시스템에서 10일 동안 발근을 시켰다. 초기 5일 동안은 온도와 상대습도를 각각 20℃, 90%로 유지하였으며, 나머지 5일 동안은 온도와 상대습도를 각각 20℃, 70%로 유지하였다. 경삽 후 첫째날의 암조건을 제외하고 2일째부터는 형광등을 이용하여 16/8h의 광주기 동안 50μmol·m^{-2}·s^{-1}의 광량을 주었다.

배양액의 전기전도도, 광량 및 수분부족에 의한 감자묘의 생체정보를 알기 위해서 다음과 같이 처리를 하였다. 전기전도도 처리는 3수준 700μS·cm^{-1}, 1400μS·cm^{-1}, 2100μS·cm^{-1}이었으며, 광량 처리는 3수준 50μmol·m^{-2}·s^{-1}, 150μmol·m^{-2}·s^{-1}, 250μmol·m^{-2}·s^{-1}으로 설정하였다. 수분부족인 처리구는 6일에 한번씩 양액을 공급하고, 정상 처리구는 2일에 한번씩 양액을 공급하였다.

실험에 사용된 감자묘는 각 처리에 대해서 처음으로 실험구를 만든 날을 기준으로 매일 동일한 실험구를 만들어서 10일 동안 10개의 처리구를 만들어 실험하였다. 감자묘의 각 실험구에 대한 생체정보를 분석하기 위하여 처음으로 경삽한 실험구가 경삽 후 20일째에 되는날 10개 실험구를 동시에 열화상 측정 시스템(IQ812, FLIR System)을 이용하여 측정하였다.

열화상 장치를 이용하여 온도를 측정할 때 외부 영향을 배제하기 위하여 폐쇄형 묘 생산 시스템 내부에서 열화상을 획득하였다. 열화상 측정 시스템은 플러그 트레이로부터 50cm 떨어진 곳에서 45°의 경사를 유지하며 측정하였다. 열화상을 촬영할 때 작물과 배경의 방사율을 유사하게 하기 위해서 스티로폼을 배경으로 사용하였고, 주변에서 직접 들어오는 방사열을 차단하고자 촬영체 주변은 스티로폼으로 3면을 차단하였다. 실험중 대기의 온도는 20℃, 상대습도는 70%로 유지하였다. 열화상을 측정할때 작물에 광원이 조사되고 충분히 활성화 되어야 하므로 2시간이 경과된 시점부터 촬영을 개시하였다.

획득된 열화상은 가로 640 화소, 세로 240 화소로 이루어진 TIFF 이미지 파일이며, 온도에 따라 각기 다른 256색으로 표현된다. 획득된 열화상은 LabView를 이용하여 배경과 작물을 분리한 후 감자묘 3본엽에 대한 식물체온의 평균값을 결정하였다.

결과 및 고찰

열화상 측정 시스템을 이용하여 1일째에서 10일째까지의 감자묘의 식물체온을 측정한 결과, 초기 1일째에서 4일째까지는 감자묘의 발근이 이루어진 정도가 서로 달라서 실험 처리에 의한 효과보다 발근의 정도에 따라 식물체 온도의 편차가 더욱 크게 나타났다. 발근 정도에 따른 식물체 온도의 영향을 줄이기 위해서 각 처리구의 1일째 식물체온으로 2일째부터 10일째까지의 식물체온을 빼주었다. 그림 1은 각 처리의 2일째에서 10일째까지의 식물체온을 1일째 실험구의 식물체온으로 뺀 온도를 나타냈다. 모든 처리구가 날수가 지날수록 최초의 식물체온보다 낮아졌다. 특히 EC700$\mu S \cdot cm^{-1}$의 처리구에서 1일째에 비하여 10일째에 -2.6℃로 가장 큰 온도차이를 보였다. 2일, 3일, 4일째의 경우 모든 처리구가 1일째에 비하여 -1℃ 미만의 온도차이를 나타냈다. 초기 2일, 3일, 4일째에 온도차가 크게 나지 않는 것은 경삽 후 발근이 충분히 되지 않아 실험 처리에 대한 효과가 크게 나타나지 않았던 것으로 판단된다. 경삽을 이용하여 감자묘를 생산하는 경우 모주의 생육 상태에 따라서 감자묘의 생장이 큰 영향을 받게 된다. 50$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$의 처리구에서 1일째 식물체온과의 온도차는 -0.9℃로 가장 적은 온도차가 나타났다. 수분 부족의 경우도 유사하게 나타났다.

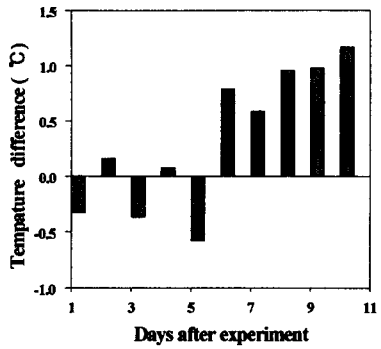

Fig. 2. Temperature difference between water deficiency treatment and control as affected by the days after experiment.

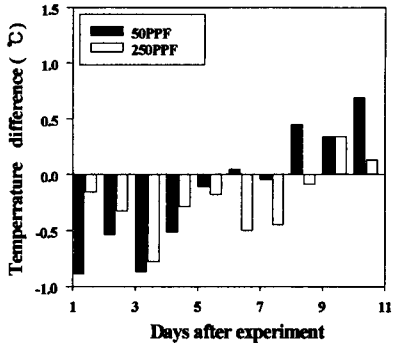

Fig. 3. Temperature difference at the treatments of 50μmol·m^{-2}·s^{-1} and 250μmol·m^{-2}·s^{-1} based on 150 μmol·m^{-2}·s^{-1} as affected by the days after experiment.

after experiment at different treatment.

그림 2는 정상적으로 수분을 공급한 처리구에서 수분부족인 처리구의 온도차를 나타낸 것이다. 수분부족인 경우는 6일째 이후부터는 계속 0.5℃ 이상 높게 나타났다. 마지막 10일째에는 수분을 충분히 공급한 처리구에 비해서 약 1.2℃ 높게 나타났다. 1일, 3일, 5일째의 경우는 정상적으로 수분을 공급한 경우보다 낮게 나타났다. 이것은 발근이 잘 이루어지지 않은 상태에서는 소량의 수분만을 필요로하는데 실험 0일째에 모든 처리구에 양액관수를 실시하여 수분부족 처리구의 현상이 잘 나타나지 못한 결과로 판단된다.

다른 광량하에서 생장하는 감자묘의 영향을 알아보기 위해 150μmol · m^{-2} · s^{-1}를 기준으로 250μmol · m^{-2} · s^{-1}와 50μmol · m^{-2} · s^{-1} 처리구의 온도차를 그림 3에 표시하였다. 그림 3에서 보면 50μmol · m^{-2} · s^{-1}의 처리구는 150μmol · m^{-2} · s^{-1}의 처리구에 비하여 4일째 까지는 0.5℃이상 온도가 낮게 나타났다. 5일째부터 온도차가 점차 감소하다가 8일, 9일, 10일째는 150μmol · m^{-2} · s^{-1}의 처리구 보다 0.3℃ 이상 온도차가 높게 나타났다. 실험 마지막날인 10일째에는 온도차가 0.7℃ 높게 나타났다. 250μmol · m^{-2} · s^{-1}의 경우 3일째에 150μmol · m^{-2} · s^{-1}에 비하여 약 0.8℃ 낮게 나타났다. 8일째까지는 150μmol · m^{-2} · s^{-1}에 비하여 낮게 나타났으나, 9일과 10일은 높게 나타났다.

그림 4는 1400μS · cm^{-1}의 EC에 대한 2100μS · cm^{-1}과 700μS · cm^{-1}의 EC처리구에 대한 온도차를 나타내었다. EC700μS · cm^{-1}은 4일째까지는 EC1400μS · cm^{-1} 보다 온도차가 크게 나지 않았다. 5일째에 0.7℃로 가장 크게 온도차이를 보였으며 그 이후로는 계속 0.2℃ 이상 낮게 유지되었다. 5일째를 기준으로 2100μS · cm^{-1}과 700μS · cm^{-1}의 EC처리구는 1400μS · cm^{-1} 보다 각각 온도가 높고 낮게 나타났다. EC2100μS · cm^{-1}은 1400μS · cm^{-1} 보다 항상 온도가 높게 나타났다. 6일째 이후로는 0.5℃이상 온도가 높게 나타났다. 10일째에는 1400μS · cm^{-1}의 EC에 비해서 1.3℃정도 높게 나타났다.

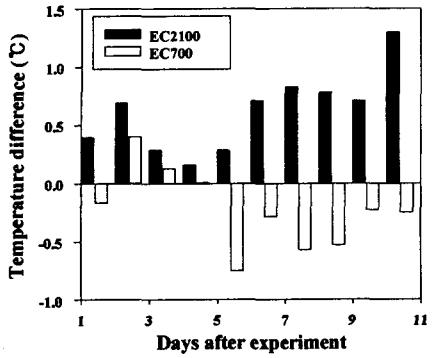

Fig. 4. Temperature difference at the treatments of 700μS·cm^{-1} and 2100 μS·cm^{-1} based on 1400 μS·cm^{-1} as affected by the days after experiment.

요약 및 결론

열화상 측정 시스템을 이용하여 각 처리에 대한 감자묘의 식물체온을 측정한 결과 수분 부족은 5일째 이후부터 온도차가 높게 나타났고, 전기전도도 차이의 경우 2100μS · cm^{-1}과 700μS · cm^{-1}의 EC처리구는 1400μS · cm^{-1} 보다 온도차가 각각 높거나 낮게 나타났다. 광량에 따른 처리의 경우는 상대적으로 낮은 광을 가진 50μmol · m^{-2} · s^{-1} 경우는 3일째까지 온도가 낮게 나타났으며 4일째에 온도차가 감소하다 10일째에는 더 높게 나타났다. 250μmol · m^{-2} · s^{-1}의 경우는 상대적으로 낮은 온도를 8일째까지 유지하다가 9일과 10일째에는 좀더 높게 나타났다. 생장환경의 변화가 감자묘 생장에 미치는 영향을 열화상 측정 시스템을 이용하여 조사한 결과, 각각의 환경 변화에 따라 감자묘의 온도 변화를 감지할 수 있었으며, 열화상 측정 시스템을 이용하면 감자묘의 비파괴적이고 연속적인 생장 감시를 할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 보다 효율적인 폐쇄형 묘생산 시스템에서의 감자묘 생장 감시를 위해서는 작물 군락에 대한 열화상 측정 시스템의 반응 구명이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 구외석. 2002. 상위단계 종서의 급속 증식 기술. "우량 종서 생산 기술" 세미나. 2002. 5. 23, 전북대학교 농과대학 생물자원기계공학전공, pp. 35-44.
2. 김기영, 류관희, 채희연. 1998. 열화상 정보를 이용한 온실 재배 작물의 수분 스트레 스 분석. 한국농업기계학회지 24(5):439-444.
3. 김용현. 2002. 폐쇄형 묘생산 시스템에서 감자 플러그묘의 생산. "우량 종서 생산 기 술" 세미나. 2002. 5. 23, 전북대학교 농과대학 생물자원기계공학전공, pp. 61-71.
4. 김용현, 박현수. 2002. 오이 플러그묘의 생장에 미치는 광주기와 광합성유효 광양자속의 영향. 생물환경조절학회지 11(1):40-44.
5. 김용현, 송대빈. 1999. 인공광하에서 CO_2 농도와 기류속도 제어가 플러그묘의 생육에 미치는 효과. 생물환경조절학회지 8(4):275-280.
6. 김용현. 1998. 인공광하의 풍동내에서 기류속도가 가지 플러그묘의 생장에 미치는 영 향. 한국생물생산시설환경학회지 7(1):9-14.
7. 박현춘. 2002. 감자의 기내배양 및 양액재배에서 환경요인이 작물체생장과 괴경형성 및 광합성특성에 미치는 영향. 충북대학교 대학원 박사학위논문.
8. 성재훈. 1998. 오이 생육장해의 비파괴적 진단법 개발. 전남대학교 대학원 박사학위

논문.
9. 채희연. 2000. 열화상을 이용한 작물 생장 감시. 서울대학교 석사학위논문.
10. Kim, Y.H., Kim, J.K., Lee, S.H., Choi, Y.H., Lee, M.G. and Kim, H.J. 2002. Production of potato transplants under controlled environment. ASAE Paper No. 024114.
11. Kim, Y.H., T. Kozai, C. Kubota, and Y. Kitaya. 1996. Effects of air current speeds on the microclimate of plug stand under artifical lighting. Acta Horticulturae 440:354-359.