

가시영상을 이용한 감자 플러그묘의 성장 분석^{*}

Growth Analysis of Potato Plug Seedlings Using Visual Image

이상헌¹ · 김용현² · 최유화^{1*} · 이명규¹

¹전북대학교 대학원 농업기계공학과

²전북대학교 농과대학 생물자원시스템공학부(농업과학기술연구소)

S.H. Lee¹ · Y.H. Kim² · Y.H. Choi^{1*} · M.G. Lee¹

¹Dept. of Agricultural Machinery Eng., Graduate School, Chonbuk National Univ., Jeonju 561-756, Korea

²Division of Bioresource Systems Eng., Chonbuk National Univ., Jeonju 561-756, Korea (The Institute of Agricultural Science & Technology)

서 론

작물의 성장상태를 측정하고자 기존의 연구자들에 의해서 많은 연구가 수행되고 있다(Hatou 등, 1995; Shimizu와 Heins, 1995; 김 등, 1998; 성, 1995). 그러나 작물의 성장을 감시하기 위한 기존의 방법은 파괴적이며 지속적이지 못한 단점을 지니고 있다. 작물이 스트레스를 받아 눈에 띄게 작물의 성장변화가 보일 경우 작물은 이미 영구적인 손상을 받게 된다. 그러므로 작물의 성장 장애를 조기에 진단하여 작물의 성장 장애에 능동적으로 반응할 수 있는 비파괴적인 방법의 개발이 절실히 요구된다(이 등, 2002, 2003).

본 연구는 폐쇄형 묘생산 시스템에서 묘소질이 우수한 감자 플러그묘를 대량으로 생산하기 위해 아직까지 정립되지 못한 감자묘의 묘소질 판단을 위한 기초 자료를 제공하고 감자묘의 성장에 영향을 미치는 물리·화학적 환경 요인 중에서 광합성유효광양자속(photosynthetic photon flux, PPF)과 배양액의 전기전도도(Electric conductivity, EC)에 따른 감자 플러그묘의 성장상태를 가시영상처리 시스템을 이용하여 판별하고자 수행되었다.

재료 및 방법

가. 공시 품종 및 실험 조건

본 실험에 사용될 감자(*Solanum tuberosum* L. cv. *Dejima*)묘를 준비하고자 적용된 방법은 다음과 같다. 조직배양된 감자 식물체를 모주로 육성한 후 모주의 줄기를 절단하여 Kim 등(2002)이 개발한 폐쇄형 묘생산 시스템에서 10일 동안 발근시켰다.

^{*}본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-000-00391-0)지원으로 수행되었음.

초기 5일 동안 온도와 상대습도를 각각 20℃, 90%로 유지하였으며, 나머지 5일 동안은 온도와 상대습도를 각각 20℃, 70%로 유지하였다. 경삼 후 첫재날의 암조건을 제외하고 2일째부터는 3파장 형광등을 이용하여 16/8h의 광주기 동안 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 PPF를 조사시켰다. PPF와 배양액의 EC에 따른 감자 플러그묘의 생체정보를 살펴보고자 3수준(50, 150, 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)의 PPF, 3수준(700, 1400, 2100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)의 EC를 설정하였다.

나. 가시영상 처리 시스템의 구성

물리적 환경 변화에 따른 감자묘의 실제 성장 상태를 비교하기 위하여 생육중인 감자묘에 대하여 1일 단위로 영상을 획득하였다. 가시영상 처리 시스템을 이용하여 영상 입력부(카메라, 설치대 등), 영상 수집장치 및 주컴퓨터로 구성된다. 영상입력장치는 컬러 디지털 카메라(VK-C370, Hitachi, Ltd.)를 사용하였다. 영상수집장치로는 National Instruments Co.에서 제작한 PCI-1411을 사용하였다. 영상은 주컴퓨터(Pentium IV, 1.6GHz, 512M RAM)에 전송되어 모니터를 통해 출력되었다.

다. 영상 처리 및 인자 설정

영상처리 시스템에 의해서 획득된 영상은 640×480 화소로 이루어진 24bit 색채 이미지로, BMP화일로 저장된다. 카메라로부터 영상신호를 외란없이 받아들이기 위해 영상신호 전용 케이블을 사용하였다. 그림 1은 본 연구에서 사용된 폐쇄형 묘생산 시스템 내의 가시영상처리 시스템에 해당한다. 저장된 이미지를 이용하여 감자묘의 성장 변화를 알아보기 위해 National Instruments Co.에서 같이 제공하는 LabVIEW(Ver. 6.0)를 이용하여 이미지 분석 프로그램을 작성하였다. LabVIEW를 이용하여 개발한 색채정보 추출 프로그램은 그림 2에 있다. 획득된 영상에서 배경과 작물의 분리를 용이하게 하기 위해서 우선 24bit 색채 이미지를 8bit 흑백이미지로 변환하였다. 8bit 흑백이미지에서 분석 영역인 작물 부분만을 선정한 후 문턱값을 이용하여 배경과 이미지를 분리하였다.

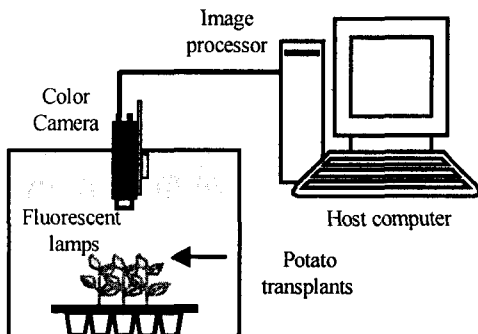


Fig. 1. Schematic diagram of the computer vision system for monitoring the growth of potato transplants.

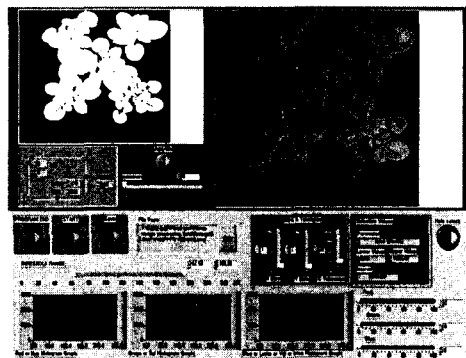


Fig. 2. Color image processing program using LabVIEW.

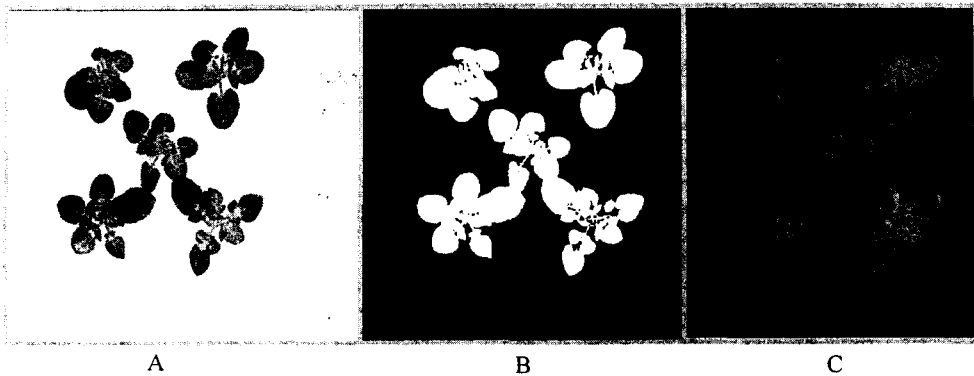


Fig. 3. Original image(A) and segmantation mask(B) and segmented image(C) changed by color image processing program.

문턱값 처리로 배경과 감자잎을 분리하면 감자잎 주변에 완전히 제거되지 못한 배경 영역이 있으므로 이를 제거하기 위해 3*3 마스크 방법을 이용한 저역통과필터(lowpass filter)를 사용하여 배경과 감자잎을 구분하였다. 감자잎과 구분된 배경 내부에 문턱값 영역 안에 있는 배경을 제거하고자 감자잎보다 작은 면적을 갖는 영역은 제거하였다. 획득된 영역은 배경이 모두 0의 값을 가지는 이미지가 된다. 변환된 이미지를 이용하여 원래 RGB(red, green, blue)로 구성된 색채 이미지의 배경 영역을 제거하였다. 변환이 완료된 배열을 역으로 이미지를 만들어서 배경과 감자잎이 분리된 이미지를 획득하였다. 원래 이미지에서 변환된 이미지는 그림 3과 같다. 배경과 감자잎이 분리된 24bit 색채 이미지를 이용하여 감자잎의 색을 분석하였다. 색 분석을 위해서 3개의 색채 프레임(R, G, B)으로 구성된 24bit 이미지에서 각각에 대한 프레임을 추출하여 8bit로 구성되는 적색(red), 녹색(green)과 청색(blue)의 3가지 프레임을 만들었다. 각각의 색에 대하여 추출한 3개의 8bit 프레임과 흑백의 8bit 이미지로부터 0~255의 값을 가지는 히스토그램(histogram)을 얻었다. 각각에 대한 히스토그램에서 가중평균을 내어 각각의 프레임을 대표하는 값(R, G, B)을 결정하였다. 결정된 각각의 값은 0~255내의 값을 갖는다. 적색(R), 녹색(G) 및 청색(B) 프레임 값의 기준을 설정하고자 적색, 녹색 및 청색의 평균($M=R+G+B/3$)값을 구하였다. 적색, 녹색 및 청색 프레임이 평균(M)보다 크거나 작음을 알아보기 위해서 평균값(M)으로 나누었다($r=R/M$, $g=G/M$, $b=B/M$). 이때 나누어준 값(r, g, b)이 평균(M)보다 크면 1 이상의 값을 가지며, 작으면 1 이하의 값을 갖게 된다. 본 연구에서는 실험 기간동안 적색, 녹색 및 청색이 평균에 비하여 증가 또는 감소 여부를 살펴보고자 r, g, b에서 1을 뺀 값($r1=r-1$, $g1=g-1$, $b1=b-1$)의 매일 누적 값을 주요 인자로 설정하여 감자 플러그묘의 성장 분석에 활용하였다.

결과 및 고찰

물리·화학적 환경 변화가 감자 플러그묘 잎의 색 변화에 미치는 영향을 살펴보고자 컬러 영상의 각각의 적색, 청색 및 녹색 프레임에 대하여 분석을 실시하였으며 적색프레임의 $r1$ 을 이용한 경우에서 배양액의 전기전도도 및 광량에 의한 차이를 구별할 수 있었다. $r1$ 에 대한 누적값은 그림 4와 같다. 그림 4(a)는 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 PPF서 다른 배양액의 EC 처리에 대한 결과를 나타내고 있다. $700 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 의 EC서 $r1$ 의 경우 3일까지 증가하였고 4일째부터 감소하기 시작하여 7일째부터는 평균값 이하로 내려갔다.

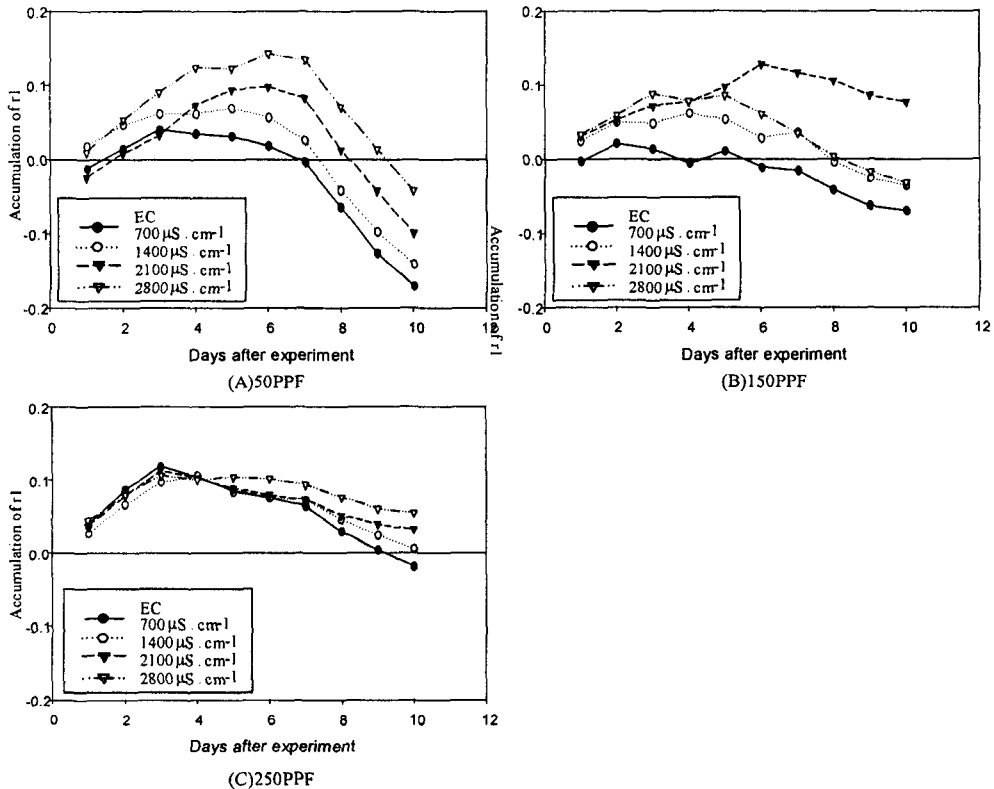


Fig. 4. Accumulation of $r1$ of potato transplants grown under PPF of 50(A), 150(B) and 250(C) $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ as affected by the days after experiment and electric conductivity(EC).

$1400 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 에서의 $r1$ 은 5일까지 증가하였으며 6일째부터 감소하여 8일째에 평균값 이하로 내려갔다. $2100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 의 $r1$ 은 6일째까지 증가하였으며 9일째부터 평균값 이하로 내려갔다. $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 PPF에서는 측정 3일째부터 각각의 EC 처리에 따른 $r1$ 의 증가 감소가 뚜렷하게 나타났다. $r1$ 인자를 이용하여 배양액의 전기전도도 차이를 구별할 수 있을 것으로 판단되었다. 그림 4(b)는 $150 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 각각의 배양액의 전기전도도 처리에 따른 $r1$ 을 나타낸 것이다. $700 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 은 다른 처리와 달리 초기에 $r1$ 의 증가가 거의 없이 6일째부터 감소하였다. $1400 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 에서 $r1$ 은 4일까지 증가한 후 감

소하였으며 8일째부터 평균값 이하로 내려갔다. 2100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 에서는 r1이 6일째까지 증가한 후 감소하기 시작하였으나 다른 처리의 r1과 다르게 평균값이하로 내려가지 않았다. 2800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 에서 r1은 5일째까지 증가한 후 감소하였으며 9일째에 평균값 이하로 내려갔다. 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 PPF 처리에서는 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 비하여 배양액의 EC 차이에 따른 r1 값을 분명하게 구별할 수 없었으나, 700 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 과 2100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 의 처리에서는 구분할 수 있었다. 그림 4(c)는 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 PPF에서 각각의 EC처리 결과를 나타낸 것이다. 700 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 의 r1은 10일째를 제외하고는 모든 처리에서 평균값 이상으로 나타났다. 700 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 의 r1은 3일째까지 증가한 후 감소하였으며, 10일째에 평균값 이하로 감소하였다. 1400 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 의 r1은 4일째까지 증가한 후 감소하여 10일째에는 평균값과 거의 유사하게 나타났다. 2100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 의 r1은 3일째까지 증가 후 감소하였다. 2800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 의 r1은 3일째까지 증가 후 6일째까지 거의 비슷한 값을 가지고 있었으며 7일째부터 감소하였으나, 전체적으로 배양액의 EC에 따른 r1 값이 가장 적은 변화를 나타냈다. 8일째 이후부터는 각각의 배양액의 EC 차이를 구별할 수 있었다.

상기의 결과를 고려할 때 본 연구에서 설정된 인자 r1을 적용하여 감자 플러그묘의 발근 과정에서 PPF와 배양액의 EC에 따른 감자묘의 성장 차이를 구분할 수 있을 것으로 판단된다. 한편 일부 처리에서는 명확하게 구분되지 않는 경우도 있어 이에 대해서는 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

요약 및 결론

본 연구는 감자 플러그묘의 묘소질 판단을 위한 기초 자료를 제공하고자 대지 (Dejima) 품종을 사용하여 경삼된 감자묘의 성장에 영향을 미치는 물리·화학적 환경 요인 중에서 PPF와 배양액의 EC에 따른 감자묘의 성장상태를 가시영상처리 시스템을 이용하여 판별하고자 수행되었다.

폐쇄형 묘생산 시스템에서 3수준(50, 150, 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)의 PPF, 4수준(700, 1400, 2100, 2800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)의 배양액의 EC를 설정하였다. 가시영상 분석에 따라 본 연구에서 설정된 인자 r1을 적용한 결과 일부의 광합성유효광양자속을 제외한 대부분의 처리에서 배양액의 EC에 따른 성장 차이를 구분할 수 있었다.

인용문헌

1. Hatou, K., H. Nonami, T. Fukuyama, and Y. Hashimoto. 1995. Physiological diagnosis of tomato plants grown in hydroponic culture by using image analysis. *Acta Horticulture*. 399:255-232.
2. 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.
3. Shimizu, H. and R.D. Heins. 1995. Computer-vision-based system for plant growth analysis. *Trans. of the ASAE* 38(3):959-964.

4. 김기영, 류관희, 한재성, 전성필. 1998. 영상정보를 이용한 자동화 온실에서의 작물 성장 상태 파악에 관한 연구. 한국농업기계학회 학술대회 논문집 3(2):136-141.
5. 성제훈. 1998. 오이 생육장해의 비파괴적 진단법 개발. 전남대학교 대학원 박사학위 논문.
6. 이상헌, 김용현, 김진국, 최유화, 이명규, 이상헌. 2002. 열화상을 이용한 감자묘의 생장 감시. 한국생물환경조절학회 학술발표 논문집 11(2):320-325.
7. 이상헌, 김용현, 최유화, 이명규, 김진국. 2003. 감자묘 엽온 변화에 미치는 광합성유효광양자속과 전기전도도의 영향. 한국농업기계학회 2003년 동계학술대회 논문집 8(1):412-417.