

기계시각을 이용한 상추의 엽색 분석에 관한 연구[†]

Leaf Color Analysis of Lettuces Using Machine Vision

이중환*, 최승민*
정희원

J. W. Lee, S. M. Choi

1. 서론

고품질의 안전한 농산물을 계획적으로 생산할 수 있는 온실 자동화 시스템을 개발하기 위해서는 기본적으로 작물 자체의 생육 상태에 관한 정보를 충분히 수집할 수 있는 기술이 확보되어야 한다. 그러나, 작물을 대상으로 하는 각종 계측 시스템은 주위 환경의 영향을 받기 쉽다.

영상처리기술은 작물의 형상이나 구조 분석에 널리 이용되어 왔으며(이 등, 1996; Singh 등, 1996^a; 김과 류, 1998), 작물의 생육진단을 위해 색채 카메라(Color camera)를 이용한 방법(Singh 등, 1996^b; 大角雅晴, 1996), 카메라에 광학필터를 부착하여 이용하는 방법(Franz 등, 1991; Shimizu와 Yamazaki, 1996; Adamsen 등, 1999), Tunable filter를 갖춘 카메라를 이용하는 방법(Thai 등, 1998) 등이 사용되었다.

영상처리장치를 이용하여 작물의 엽색을 분석하기 위해서는 온실 내 광 조건(Lighting condition)의 변화에 적응적이어야 하고 재현성을 유지할 수 있어야 한다. 따라서, 일반적인 색채 카메라를 이용하여 작물의 영양상태를 탐색하기 위해서는 Hetzroni와 Miles(1992)가 수행한 바와 같은 색채 측도 설정(Color calibration) 방법이 선행되어야 한다.

이 연구에서는 온실 내 상추의 생육 상태를 분석하기 위한 컴퓨터 시각장치를 구축하고 광 조건의 변화에 적응적으로 엽색을 분석하기 위해 측도봉을 이용하는 방안을 제시하였다. 또한, 기계시각을 이용한 엽색 분석을 통하여 상추의 건강성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

상추(청치마) 군락을 대상으로 정식 후 4일째부터 2~4일 간격으로 7회 동안 영상처리장치를 이용하여 영상을 획득하였다. 상추의 재식거리는 20cm×20cm이었으며, 영상 촬영을 위한 상추 군락의 넓이는 60×40cm이고 하나의 군락에는 6주(2열×3주)의 상추가 포함되었다. 이 때, 표준색 측도봉과 활용색 측도봉을 각각 대상 상추군락의 상단과 하단에 설치하여 작물과 함께 영상을 입력하였으며, 재배장치의 재배판을 흰색스티로폼으로 덮음으로써 상추와 배경이 명확하게 구분되도록 하였다.

[†] 이 연구는 농림부 특정연구과제 연구비 지원에 의해 수행되었음.

* 한경대학교 생물자원기계학과

나. 컴퓨터 시각 시스템

작물의 생육상태를 분석하고 감시하기 위해 구축한 컴퓨터 시각장치는 RGB 색채 카메라와 광각렌즈, 다중영상신호 분할장치, 프레임 그래버, 영상저장장치 및 주컴퓨터로 구성된다.

기계시각장치를 설치할 수 있는 온실 내 공간이 협소하여 작물과 카메라간의 거리가 약 1m로 제한되었으므로 카메라에는 광각렌즈를 사용하였다.

Table 1 Specifications of computer vision system for plant growth monitoring system

	Item	Specifications
Input devices	Camera	RGB camera : Sony, XC-711 (Wide angle lens : 6.4mm)
Image processing	Frame grabber	FlashPoint(Integral Technologies Inc.)
	Image signal	RGB, S-VHS, NTSC, RS-170
Host	Host computer	Pentium III-600MHz, 128M
computer and peripheral devices	Image signal multiplexor	LG-Honeywell, GCQ-430
	Image storage	1.3GB MO Disc interfacing with IEEE-1394 card

다. 측도봉

작물의 생장이나 배열위치에 따라 작물과 카메라 사이의 거리가 변하므로 동일 작물에 대한 시계열 영상은 영상 내 작물의 크기와 위치가 서로 다르게 나타난다. 또한, 광 조건이 일정하지 않으므로 시계열 영상을 분석함에 있어 절대적인 화소치를 이용하는 것이 불가능하다. 이 연구에서는, 크기 및 색채정보를 이미 알고 있는 색지들을 작물영상에 포함하여 촬영한 후, 작물-카메라간 거리에 따른 기하학적 측도설정 및 외부광 변화에 동반하여 나타나는 표준색지-작물에 대한 색채 측도설정을 선행하도록 하였다.

이를 위해, 작물의 다양한 색채를 포함할 수 있도록 색모음집으로부터 100종의 기준색지를 선정하였다. 즉, 다양한 색지에 대해 상추의 색채와 가장 유사하다고 판단되는 표준색지 50종과 Lab 색좌표계 내에서 고른 분포가 되도록 선정한 활용색지 50종이 각각 부착된 2개의 측도봉(Calibration bar)을 제작하였다. 색지 선정을 위해 색채색차계(Minolta, CR-100)를 이용하여 Lab값을 측정하였다. 색지들은 2개의 측도봉(ϕ 19mm)에 폭 13mm, 사이 간격 2cm로 부착하였다.

Fig. 1은 이 연구에서 고안한 측도봉을 나타낸다. 두 측도봉의 간격을 40cm로 하여 상추의 재배열(Plant row)과 평행이고 재배상 표면으로부터 25cm되는 높이에 설치하였다.



Fig. 1 Calibration bars having color reference papers.
(upper: complementary group, lower: standard group)

라. 엽색 분석 알고리즘 개발

(1) 전처리 과정

각 영상마다 기하학적 측도설정 및 색채 측도설정을 수행하면 화소의 수평 및 수직방향으

로의 실제크기(mm), 종횡비(aspect ratio), 각 색지의 평균 화소치 및 표준편차가 얻어진다. 이들 결과를 이용함으로써 서로 다른 시점 및 지점에서 얻는 시계열 영상을 동일한 기준으로 비교할 수 있다.

영상분석을 위한 전처리 과정은, 2개 측도봉의 위치탐색 → 측도봉 경계 검출 → 측도봉 지름에 해당하는 화소수 조사 → 두 측도봉에 부착된 색지들의 위치 탐색 → 각 색지의 중심 및 크기 계산 → 기하학적 측도 설정 → 각 색지에 대한 색채성분의 평균 및 표준편차 계산 → B 프레임에 대한 히스토그램으로부터 작물과 배경의 영상 영역화를 위한 문턱값 설정 → 대상 작물군락과 배경 영상의 분리 → 군락 내 작물의 위치 검출 등의 순서로 진행하였다.

(2) 엽색 및 건강성 분석

영상에서 작물영역에 속하는 화소들을 대상으로 각각의 화소치와 측도봉 색지의 화소치와의 거리를 계산하여 가장 작은 값을 나타내는 색지로 할당하면, 상추에 대한 다양한 색채값은 100가지 색채값으로 매핑(mapping)이 되어 상추의 엽색을 나타내는 100가지 색지에 대한 할당 빈도수(Histogram)를 얻을 수 있다. 이 때, 색지 할당을 위한 임계값을 지정하여 100종 색지 중 어느 색지에도 해당하지 않는 경우도 고려하였으나 그 빈도수가 매우 작아 무시할 수 있었다.

한편, 상추의 건강성은 엽색, 형상 및 초세, 병충해 유무 등으로 판단할 수 있다. 이 연구에서는 농민 및 전문가에 의해 상추의 건강성을 기준으로 1등급 16주와 2등급 16주를 육안 분류하였으며, 각각에 대한 영상으로부터 두 등급간의 색지 할당분포의 특성을 분석함으로써 컴퓨터 시각 시스템에 의한 상추의 건강성 판단 가능성을 구명하고자 하였다.

Fig. 2는 1등급 상추(원으로 표시)와 2등급 상추(사각형으로 표시)에 대한 영상의 예이다.

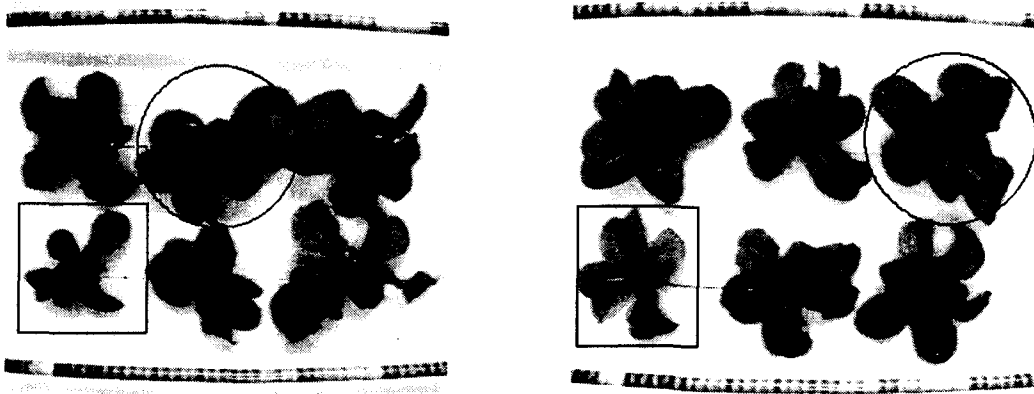


Fig. 2 Example images of 1st class(circled) and 2nd class(rectangled).

3. 결과 및 고찰

가. 측도봉 색지의 특성

2개의 측도봉에 부착된 100종의 색지에 대한 Lab값의 분포는 Fig. 3~Fig. 4와 같다. 표준 색지만으로는 L, a 및 b값이 고른 분포를 보이지 않았지만, 활용색지에 의해 전체적으로 고

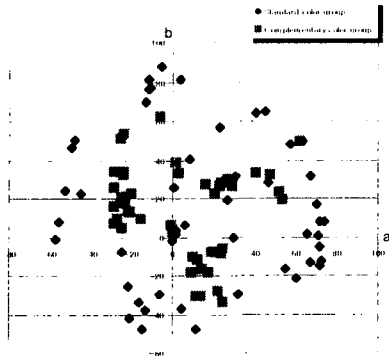


Fig. 3 Distribution of a and b values for color reference papers.

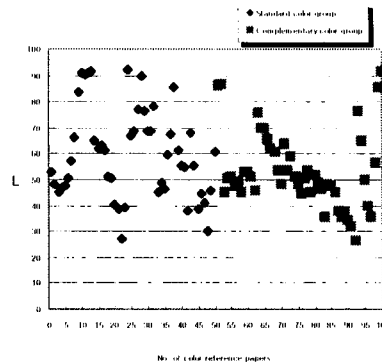


Fig. 4 Distribution of L value for color reference papers.

른 분포를 갖게 됨을 알 수 있다. 그리고, 100종의 색지는 전체적으로 넓은 범위를 나타내고 있어 상추의 색채분석에는 큰 문제가 없을 것으로 판단되었다.

나. 측도봉에 의한 엽색 측정의 재현성 분석

측도봉을 사용하는 주된 이유는 컴퓨터 시각장치를 이용한 엽색 분석의 재현성을 확보하는 것이다. 여기에서는 상추의 건강성 분석을 위해 선정한 26주의 상추에 대해 약 10~30분의 사이를 두고 영상을 반복 획득하였다. 그리고, 총 52개(26주×2회) 영상을 대상으로 반복 간 차이가 있는지를 쌍체 t-test를 통하여 분석하였다.

그 결과, Table 2와 같이 5%의 유의수준에서 26주의 상추 중 23주의 상추에서 두 반복간의 색지 할당 분포에 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 약 10~30분 경과에 의해 조명조건은 차이가 있었다는 점을 고려하면 측도봉을 이용한 엽색 측정의 재현성은 우수한 것으로

Table 2 Result of paired comparison t-test for repeatability of lettuce color analysis using calibration bars

Name of samples	Degree of freedom	t-values	P(T<=t) in two-tailed test	Name of samples	Degree of freedom	t-values	P(T<=t) in two-tailed test
img1	27	-0.0396	0.9687	img14	27	-0.0015	0.9989
img2	27	0.0000	1.0000	img15	27	-0.0522	0.9587
img3	27	0.0000	1.0000	img16	27	0.0000	1.0000
img4	27	0.0000	1.0000	img17	27	0.0000	1.0000
img5	27	0.0000	1.0000	img18	27	0.0000	1.0000
img6	27	0.0000	1.0000	img19	27	0.0000	1.0000
img7	27	0.0000	1.0000	img20	27	0.0000	1.0000
img8	27	0.0000	1.0000	img21	27	0.0000	1.0000
img9	27	0.0013	0.9990	img22	27	-0.0020	0.9984
img10	27	0.0040	0.9968	img23	27	0.0000	1.0000
img11	27	0.0000	1.0000	img24	27	0.0000	1.0000
img12	27	-0.5704	<u>0.5731</u>	img25	27	-0.5695	<u>0.5737</u>
img13	27	0.0000	1.0000	img26	27	-0.5695	<u>0.5737</u>

Note: t-values for $H_a = 2.0518$

판단되었다.

다. 엽색과 건강성 분석

다양한 색채값을 가지는 상추의 엽색을 측도봉에 부착된 100종의 색지로 할당한 후, 색지별 할당빈도율을 이용하여 다음과 같이 상추의 엽색 및 건강성을 분석하였다.

100종의 색지 중 26주의 상추에 의해 한 번도 할당되지 않는 색지가 72종이었다. 따라서, 28개의 색지를 대상으로 1등급 상추와 2등급 상추간의 색지별 할당비율을 비교, 분석하였는데, Fig. 5에서 보는 바와 같이 두 그룹간에 상이한 분포 특성을 나타냈다.

이러한 특성을 바탕으로 26(13주×2그룹) 상추에 대한 2반복 영상 중에서 첫 번째 반복 시료 26주를 대상으로 하여 분석한 상추의 건강성 판정을 위한 판별식을 구하였다. SAS의 PROC STEPDISC(Backward)에 의해 p=0.15수준에서 통계적으로 유의한 색지를 선정한 후, PROD DISCRIM에 의해 각 색지에 대한 계수들(a_i)을 구한 결과는 Table 3과 같다.

첫 번째 반복 시료에 의해 구한 건강성 판별식을 검증하기 위해 두 번째 반복 시료 26주에 대한 영상을 사용하였다. 그 결과, Table 4와 같이 26주 중 5주에서 판별 오류를 보였고 21주에 대해서는 육안에 의한 상추의 건강성 판정 결과와 부합하였다. 전문가에 의한 상추의 건강성 판정이

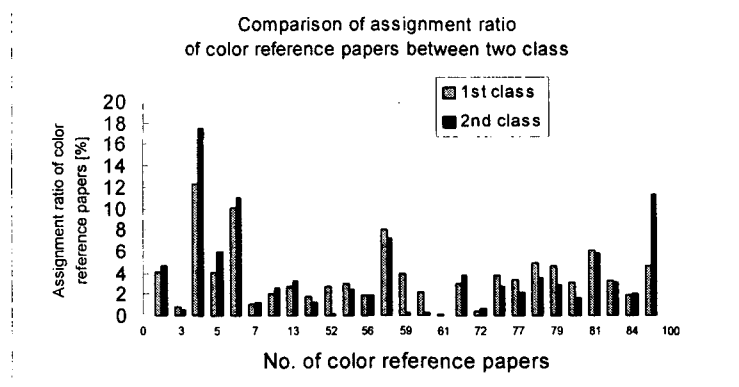


Fig. 5 Comparison for assignment ratio of color reference papers between 1st class and 2nd class lettuces.

Table 3 Discrimination equations developed by PROC DISCRIM of SAS for classifying into 1st class and 2nd class of lettuces

$$\text{Discrimination equation : } Y = \sum_{i=1}^{i=16} a_i X_n + a_0$$

X _n [¶]	a _i for 1st class	a _i for 2nd class
X3	0.60814	0.52913
X5	0.39841	0.34813
X7	0.72489	0.62939
X9	0.3555	0.30536
X13	1.25337	1.05624
X21	0.02131	0.14567
X52	-1.83167	-1.0342
X55	4.3675	3.76029
X56	0.52187	0.32088
X59	6.15758	5.356
X77	4.59953	3.88604
X78	-6.61485	-5.98236
X80	0.69985	0.94728
X81	0.94693	0.5406
X82	-0.40029	-0.78997
X84	1.61805	1.31773
Constant, a ₀	-22.47554	-16.66667

¶ Subscript, n means number of color reference paper in this study.

엽색 뿐만 아니라 형상이나 영양상태 등을 이용한다는 점을 고려하면, 80.8%는 높은 성공률이라고 사료된다.

Table 4 Results for classification of lettuces according to two groups by their health

		By the computer vision system	
		1st class	2nd class
By expert	1st class	10	3
	2nd class	2	11
Summary		success : 80.8%	

4. 요약 및 결론

이 연구에서는 온실환경과 작물(상추)의 특성을 고려하여 컴퓨터 시각장치를 구축하고, 온실 내 광 조건의 변화에도 불구하고 영상처리장치를 이용하여 상추의 엽색을 분석하기 위해 고안된 측도봉의 유용성을 분석하였다. 또한, 엽색 분석에 의한 상추의 건강성 판별의 가능성을 구명하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 온실 내 광 조건의 변화에 불구하고 컴퓨터 시각 시스템을 이용하여 엽색을 적응적으로 분석하기 위해 측도봉을 제안하였다. 측도봉의 색지는 상추의 색채와 가장 유사하다고 판단하는 표준색지 50종과 활용색지 50종을 선정하였다. 그리고, 영상 분석시 선행적으로 색채 측도 설정에 이용하였다.

2. 26주의 상추를 대상으로 다른 시점에서 영상을 반복 획득하고 각각에 대한 색채 분포를 분석한 결과, 동일하지 않은 광 조건일지라도 상추의 엽색 분석 결과에 대해 재현성이 확보됨을 알 수 있었다.

3. 전문가의 육안에 의해 상추의 건강성 등급을 2 수준으로 나누고 각 수준에 대해 기계시각을 이용하여 얻은 엽색 분석 결과를 바탕으로 건강성 판별식을 개발하였다. 그리고, 상추 13주를 대상으로 개발된 건강성 판별식을 검증한 결과 정확도가 80.8%로 나타났다.

5. 참고문헌

1. Adamsen, F.J., P.J. Pinter, Jr., E.M. Barnes and R.L. Lamorte. et. al. 1999. Measuring wheat senescence with a digital camera. *Crop Science*. 39:719-724.
2. Franz E., M. R. Gebhardt and K. B. Unklesbay. 1991. The use of local spectral properties of leaves as an aid for identifying weed seedlings in digital images. *Transaction of the ASAE*. Vol. 34(2):682-687.
3. Hatou, K., H. Nonami. T. Fukuyama and Y. Hashimoto. 1995. Physiological diagnosis of tomato plants grown in hydroponic culture by using image analysis. *Acta*

- Horticulturae 399. Greenhouse Environment Control and Automation. 225-232.
4. Hetzroni, A. and G.E. Miles. 1992. Machine vision monitoring of plant health. ASAE paper No. 92-3574.
 5. Shimizu, H. and M. Yamazaki. 1996. Generalized system for plant growth analysis using infrared led. Proc. Int. Sym. Plant Production in closed Ecosystems Acta Hort. 440. 446-451.
 6. Singh, N., W. W. Casady. and T. A. Costello. 1996^a. Machine vision for measurement of rice canopy dimensions. Transaction of the ASAE. Vol. 39(5):1891-1898.
 7. Singh, N., W. W. Casady. and T. A. Costello. 1996^b. Machine-vision-based nitrogen management models for rice. Transaction of the ASAE. Vol. 39(5):1899-1904.
 8. Thai, C. N., M. D. Evans, J. C. Grant and S. J. Kays. 1998. Spectral imaging applications using liquid crystal tunable filter. Proc. of '98 Int. Sym. on Current Nondestructive Technologies for Quality Evaluation of Agricultural Products. 13-34.
 9. 류관희, 김기영 1998. 화상처리를 이용한 온실에서 식물성장도 측정 -상추성장을 중심으로- 1998년 한국농업기계학회지. Vol. 23(3):285-290. (In Korean)
 10. 이종환, 노상하, 류관희. 1996. 영상처리에 의한 식물체의 형상분석. 한국농업기계학회. Vol 21(3):315-324. (In Korean)
 11. 大角雅晴. 1996. 画像処理による水稻の葉色測定に関する研究. (In Japanese)