

블루베리 잎 이미지를 이용한 잎맥 밀도 산출 시스템의 구현

장경주¹, 박은석², 최동환³, 김영균¹

¹융합소프트웨어랩

²강원대학교 사범대학 과학교육학부 지구과학전공

³강원대학교 의생명융합학부 의생명공학전공

grud9@naver.com¹, kiva0814@gmail.com², tmspraus1702@naver.com³, ygkim-2004@hanmail.net¹

A Leaf Vein Density Calculation System Using Blueberry Leaf Images

GyeongJu Jang¹, EunSeok Park², DongHwan Choi³, YoungGyun Kim¹

¹Convergence Software Lab.

²Dept. of Earth Science Education, Kangwon National University

³Dept. of Medical Biotechnology, Kangwon National University

요 약

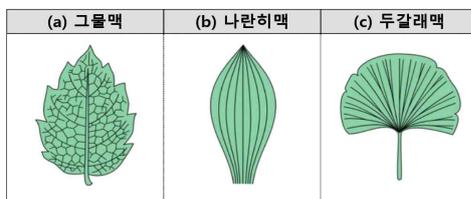
채식이 점차 보편화되어감에 따라 소비자를 만족시키기 위한 양질의 작물 생산 및 신제품 개발 필요성도 커져가고 있다. 이 때 식물의 건강 상태나 당도, 식감 등의 품질 조사를 위해서는 표현형 데이터 획득이 필수적이다. 표현형이란 식물의 잎과 줄기, 과실 등에서 길으로 드러나는 형질을 의미하며, 잎맥밀도도 중요한 표현형 중 하나이다. 하지만 이를 연구자가 수작업으로 조사할 경우에는 시간과 노동력 소모가 크며 측정 인력이나 측정 환경에 따른 오차도 큰 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 디지털 기술을 통해 잎 이미지에서 잎맥을 추출하여 잎맥 밀도를 분석하는 시스템을 구현함으로써 작물 생산 자동화 및 신제품 개발 효율성 향상에 기여하고자 한다.

1. 서론

최근 건강하고 윤리적인 식생활이 각광 받으면서 채식 인구가 급격히 증가하고 있다[1]. 커져가는 채식 시장에서 경쟁력을 갖추기 위해서는 고품질 작물의 대량 생산 및 다양한 신제품 육종 기술이 더욱 중요해질 것으로 전망된다.

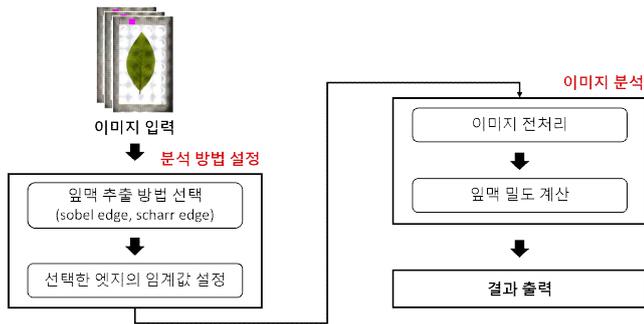
이때 잎과 줄기, 과실 등에서 나타나는 외관상 특징인 표현형은 식물의 건강 상태나 당도, 식감과 같은 품질을 파악할 수 있는 유용 정보를 포함하고 있다. 따라서 디지털 기술을 이용한 식물의 수고 및 잎 면적 성장량 측정 연구도 진행된 바 있다[2]. 특히 잎맥은 작물 재배 시 중요한 표현형 중 하나이다. 일례로 샐러드나 쌈 채소로 소비되는 엽채류는 보통 잎맥 밀도가 낮을수록 식감이 부드러워 신제품 개발 시 잎맥 밀도를 조사하기도 한다[3,4]. 또한 잎맥은 당분이 직접적으로 이동하는 통로이므로 식용 작물의 맛과도 상관관계가 있다. 예를 들어 토마토의 경우 소엽이 둥글고 잎맥 밀도가 낮을수록 과실 당도가 높아진다[5].

하지만 지금까지도 현장에서는 연구자의 주관에 따라 잎맥 밀도를 '아주 넓은', '넓음', '보통', '조밀함', '아주 조밀함' 등의 등급으로 분류하는 경우가 많다. 이는 시간과 노동력 소모가 크고 측정자의 주관, 숙련도, 작업 환경 등에 의한 오차 발생률도 높다. 전문 연구 기관에서는 정확도를 높이기 위한 방법 중 하나로 잎살을 화학적으로 제거한 뒤 잎맥만 남겨 스캔하고, MATLAB 등의 영상 처리 프로그램으로 잎맥 밀도를 분석한다[7]. 하지만 이 경우 화학약품과 값비싼 분석 장비, 전문 인력이 필요하므로 접근성이 크게 낮아진다. 이러한 문제를 디지털 기술을 통해 해결하고자 생잎 이미지에서 잎맥을 추출, 분석하기 위한 기술 연구가 이루어지고 있다[8,9]. 그러나 이러한 기술은 직관적인 소프트웨어로 개발되어 있지 않아 프로그래밍에 익숙한 농업 종사자나 자연계열 연구자가 사용하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 생잎 이미지에서 잎맥을 추출하여 잎맥밀도를 계산하는 소프트웨어를 구현하였다. 잎맥의 대표적인 형태 중 하나가 그물맥이므로, 그물맥을 가진 식용 작물 블루베리의 잎 이미지를 연구에 활용하였다(그림 1). 본 논문의 연구 결과를 이용하면 객관적인 잎의 수치 데이터를 빠르게, 대량으로 획득할 수 있어 신제품 개발 비용 절감, 균일한 품질의 식재료 공급 등에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.



(그림 1) 잎맥의 종류[6]

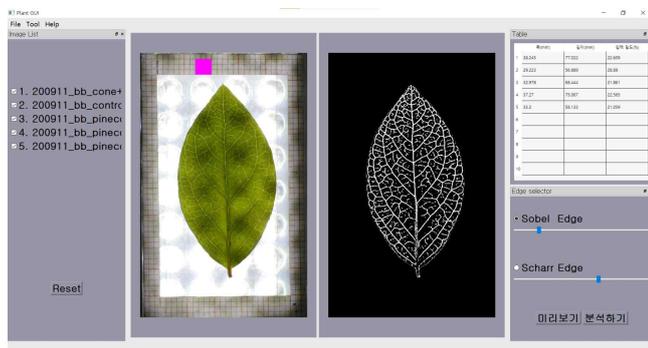
2. 전체 흐름도



(그림 2) 전체 흐름도

잎맥 밀도 산출 프로그램의 흐름도는 그림 2와 같다. 잎 이미지를 읽어와서 잎맥 추출 파라미터를 설정하고 ‘미리보기’를 클릭하면 대표 이미지의 잎맥 추출 결과를 확인할 수 있다. 이후 추출 결과를 바탕으로 파라미터를 재설정하고 전체 이미지 분석을 수행하도록 하였다. 미리보기를 생략하면 파라미터에 기본 설정된 값으로 전체 이미지 분석이 실행된다. 분석이 완료되면 표 형식으로 잎 크기(길이, 폭)와 잎맥 밀도 데이터가 출력된다.

3. 구현(Implementation)



(그림 3) 잎맥 밀도 계산 프로그램

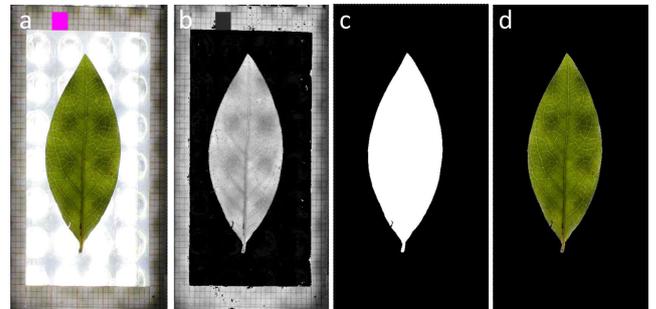
본 프로그램은 Python 3.9.7 기반으로 구현하였으며, GUI(Graphical User Interface) 구현에는 PyQt5를 활용하였다. 메인 화면은 원본과 잎맥 추출 이미지, 측정 결과를 동시에 확인할 수 있도록 구성하였다(그림 3). 사용자가 이미지를 여러 장 불러오면 좌측 위젯에 이미지 리스트가 표시되며, 체크된 이미지 중 첫 번째 이미지가 대표로 화면에 표시된다. 이 상태로 우측하단 위젯에서 잎맥 추출 파라미터를 설정할 수 있다. 이후 ‘미리보기’, ‘분석하기’ 버튼을 이용해 잎맥 밀도를 분석할 수 있다. 분석 결과는 우측 상단 위젯에 표 형식으로 출력되며, 이 데이터를 엑셀 파일로 저장할 수 있다.

4. 잎맥 밀도 계산 알고리즘 구현

잎맥 밀도 계산 알고리즘 구현 시에는 OpenCV 4.6.0 버전을 활용하였다.

4.1. 이미지 전처리

이미지에서 실제 크기(mm) 정보를 추출하고 배경을 제거하고자 이미지 전처리를 진행하였다(그림 4). 먼저 크기 정보가 포함된 잎 이미지를 프로그램에 입력한다. 실험에 사용한 이미지 원본은 그림 4. a와 같이 RGB 이미지를 입력으로 사용한다. 다음으로는 RGB 이미지에서 HSV(Hue, Saturation, Value) 이미지로 전환하고, 이미지 중앙부(잎이 위치한 영역)에서 HSV 값을 추출하였다. 이때 HSV를 사용한 이유는 조명에 덜 민감하고 색상, 채도, 명도 데이터를 각각 추출할 수 있으므로 RGB보다 활용성이 높기 때문이다. 다음으로 배경을 제거하기 위한 Grayscale로 변환하였다(그림 4. b). 그림 4. c와 같이 Grayscale 이미지에서 윤곽선(Contour)을 추출하여 잎과 배경을 서로 다른 계층으로 분리함으로써 잎 외곽선을 추출하였고, 이 외곽선 내부에 원본 이미지를 합성하여 그림 4. d와 같은 이미지를 획득하였다.



(그림 4) 잎 이미지 전처리 과정. a : 원본, b : 원본을 Grayscale로 변환, c : 배경 제거하고 잎만 추출, d : a와 c 결합

4.2. 잎맥 밀도 계산

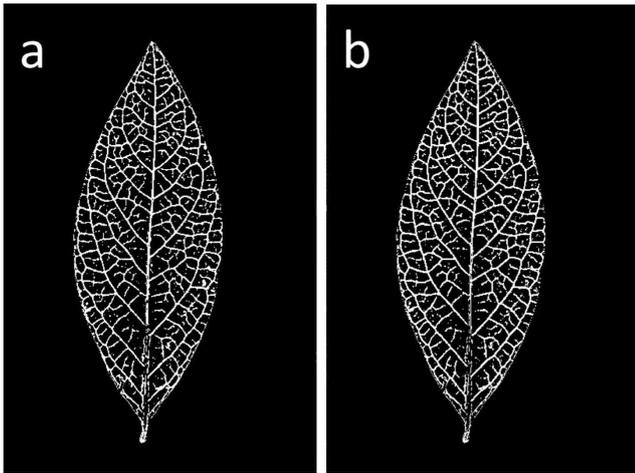
본 프로그램의 잎맥 밀도는 식 1을 통해 계산하였다.

$$\text{잎맥 밀도} = \frac{\text{에지픽셀(잎맥부분) 개수}}{\text{잎면적픽셀개수}} \quad (\text{식1})$$

4.3. 잎맥 추출

그림 4. d에 샤를 에지(Scharr edge) 혹은 소벨 에지(Sobel edge)를 적용하여 잎맥을 추출하였다(그림 5). GUI 상의 우측 하단 위젯에서 잎맥을 추출할 에지와 해당 에지의 임계값을 설정한 뒤 미리보기 버튼을 누르면 대표 이미지의 잎맥 추출 결과를 확인할 수 있다. 미리 보기 없이 기본 설정으로 바로 분석하는 것도 가능하다.

에지 추출 방식은 캐니에지(Canny edge)가 널리 사용되지만, 잎맥에 캐니에지를 적용하면 외곽선만 추출되어 잎맥 면적의 픽셀 개수를 추출할 수 없다[10]. 식 1과 같이 잎맥의 면적을 기반으로 잎맥 밀도를 구하는 방식이므로 샤를 에지와 소벨 에지로만 잎맥을 추출할 수 있도록 하였다.



(그림 5) 잎맥 추출 결과.

a : Scharr edge, b : Sobel edge

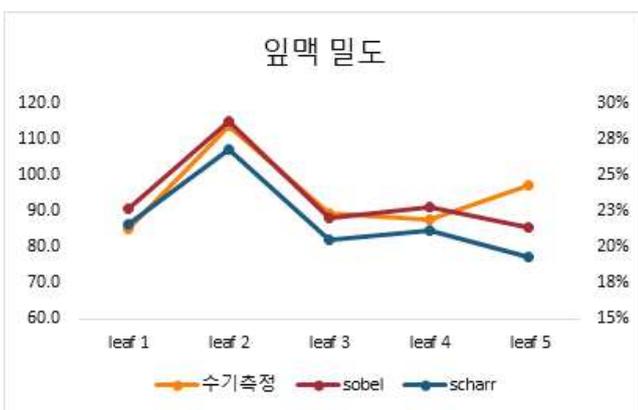
5. 결과

본 연구에서 잎맥 밀도 측정 결과를 수기 측정 결과와 비교하였다. 수기 측정 시에는 미국 국립보건원(NIH)에서 개발한 오픈소스 소프트웨어인 ImageJ를 활용하였다[11].

ImageJ는 사용자가 마우스로 측정 포인트를 설정함으로써 이미지 상의 물체 길이, 면적, 개수 등을 측정할 수 있는 프로그램이다.

<표 1> 잎맥밀도 측정 결과

잎맥 밀도	수기 측정 (ImageJ)	프로그램(%)	
		Sobel	Scharr
leaf 1	84.94	22.70	21.62
leaf 2	113.98	28.75	26.80
leaf 3	89.61	22.04	20.57
leaf 4	87.94	22.86	21.19
leaf 5	97.10	21.39	19.31



(그림 6) 잎맥밀도 비교. ImageJ를 사용한 수기 측정은 좌측 축, 프로그램 측정(Scharr, Sobel)은 우측 축.

본 연구에서는 ImageJ에 잎 이미지를 입력하고 수작업으로 잎맥의 측정 포인트를 지정하여 잎맥 길이와 잎 면적을 측정하였고, 엑셀을 사용하여 잎맥 밀도를 계산하였다.

ImageJ를 사용한 수기 측정된 값과 식1을 이용한 두 방식으로(Scharr edge, Sobel edge) 얻은 잎맥 밀도 값의 그래프를 중첩시킴으로써 비교를 수행하였다. 그 결과 그림 6과 같이 본 프로그램으로 측정된 잎맥 밀도 그래프는 수기 측정 그래프와 유사한 값을 가짐을 확인할 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 블루베리 잎 이미지를 활용하여 잎맥 밀도를 계산하는 소프트웨어를 구현하였다. 본 연구에서 개발한 프로그램으로 자동 측정된 잎맥 밀도와 수기 측정 결과를 비교한 결과, 두 그래프의 모양이 유사한 값을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 본 프로그램은 여러 잎의 잎맥 밀도를 측정하여 비교 분석하는 용도로 사용 가능할 것으로 판단된다. 또한 본 프로그램으로 측정된 값의 정확도를 검증하고자 잎맥 밀도를 수기로 측정하는 과정에서 시간과 노동력의 소모가 매우 큼을 확인하였다. 이러한 어려움을 해결할 수 있다는 점에서 식물연구와 농업인의 업무 환경 개선에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 추후 지속적으로 기능을 개선함으로써 더욱 효과적인 잎 분석 소프트웨어를 개발할 필요가 있다.

참고문헌

[1] 김보라, “미래 먹거리된 ‘비건’...풀무원·농심·신세계푸드 격돌”, 뉴데일리경제, 2023년 1월 26일자
 [2] 남수철, 장경주, 김영균, “이미지 기반 식물 성장량 측정 지원 시스템 구현”, 한국정보과학회, 한국소프트웨어종합학술대회 논문집, 2020, pp.334-336
 [3] Suh, Jong Taek, et al. "Development of 'Soomany' for new cultivar of Gomchwi with disease resistant and high yield." Korean Journal of Plant Resources 33.2 : 80-85, 2020
 [4] Suh, Jong Taek, et al. "Breeding of 'Greenbear' for New Cultivar of Gomchwi with Disease Resistant and High Yield." Korean Journal of Plant Resources 34.4 : 339-345, 2021
 [5] Nakayama, Hokuto, Yasunori Ichihashi, and Seisuke Kimura. "Diversity of tomato leaf form provides novel insights into breeding." Breeding Science : 22061, 2023
 [6] <https://bio.libretexts.org/@go/page/13753>
 [7] Shi, Peijian, et al. "Scaling relationships of leaf vein and areole traits versus leaf size for nine Magnoliaceae species differing in venation density." American Journal of Botany 109.6 : 899-909, 2022
 [8] Zhu, Jiyu, et al. "A fast and automatic method for leaf vein network extraction and vein density measurement based on object-oriented classification." Frontiers in Plant Science 11 : 499, 2020
 [9] Lagergren, John, et al. "Few-Shot Learning Enables Population-Scale Analysis of Leaf Traits in Populus trichocarpa." arXiv preprint arXiv:2301.10351, 2023
 [10] 장경주, 최동환, 김영균, “블루베리 잎 이미지를 이용한 잎맥 추출 성능 비교” 한국정보과학회, 한국소프트웨어종합학술대회 논문집, 2022, pp.464-466
 [11] ImageJ, <https://imagej.net>