

Original article

스마트폰 애플리케이션을 활용한 왁스질의 식물잎표면에서의 계면활성제의 역할과 접촉각 측정을 교육하는 실험 교안 개발과 교육효과 분석

구강모*

전남대학교 원예생명공학과

Development of Lab Curriculum for Teaching Role of Surfactant on Waxy Leaf Surface and Contact Angle Measurement Using Smartphone Application and Its Educational Efficacy Analysis

Kang-Mo Ku*

Department of Horticultural Biotechnology, Chonnam National University

**Corresponding author: ku9@jnu.ac.kr*

ABSTRACT

Due to the presence of epicuticular wax on the plant surface and other reasons, surfactant is widely used in agricultural industry. However, there is no well-designed lab curriculum for teaching role of epicuticular wax and surfactant on it. Here, we developed inexpensive and easy lab curriculum for above topic using smartphone and smartphone application. In order to evaluate students' learning form this lab curriculum, anonymous survey was conducted from the students who participated (n=22). Students responded to survey positively: students expressed their opinions either "positive" or "very positive" to the statement on "the experiment explains on the role of epicuticular wax" (95.5%), "the experiment was easy" (100%), and "the experiment was fun" (77.3%). This newly-developed lab curriculum would help students' learning on the concept of epicuticular wax and role of surfactant on waxy leaf surface.

Additional key words: Waxes, Contact angle, Smartphone, Lab curriculum, Wettability

서 론

식물표면왁스(plant epicuticular wax)는 식물 잎, 줄기 등의 최외곽에 존재하는 매우 얇은 막으로 보통은

2차원의 필름 형태로 존재하지만, 브로콜리, 양배추, 블루베리, 그리고 포도 등의 작물 표면에서는 2차원의 필름같은 막위에 3차원 구조의 식물표면왁스 결정체가 더해진 3차원 구조의 표면을 구성한다(1). 식물표면왁

스는 탄소가 20개 이상인 알칸, 지방산, 알데하이드 및 케톤 등의 물질들로 이루어져 있어 물이 잘 붙지 않는 표면을 만든다. 이뿐만 아니라, 3차원 구조의 식물표면 왁스 결정체가 만들어진 식물표면의 경우 물이 묻었을 때 왁스결정체를 사이에 생기는 공기주머니에 의해 물이 잘 붙지 않는 고도의 소수성 표면(superhydrophobic surface)를 가지게 된다. 이런 고도의 소수성 표면에서는 물과 식물의 잎, 줄기 표면의 접촉각이 커서 물이 굴러 떨어지게 되고, 물의 젖음성(wettability)이 낮아진다. 이로 인해 식물표면이 건조하게 유지가 되어 곰팡이와 박테리아의 생존과 번식을 억제할 수 있다. 큐티클층과 함께 표면왁스는 식물체가 물을 손실하지 않게 도와주어 가뭄에 대한 내성도 증가한다. 최근 연구들에 의하면 식물병원균뿐만 아니라, 대장균과 살모넬라 박테리아와 같은 식품병원균의 접촉각도 관련이 있다는 연구들이 보고되었다(2-4). 하지만, 작물에 식물표면왁스가 많고 3차원 구조의 왁스 결정체가 존재한다면 작물에 살충제, 살균제, 그리고 생장조절제 등의 농약이 잘 흡착되지 않아 균일한 농약의 도포가 어렵게 된다. 또한 잡초에 모용체(trichomes)나 3차원 구조의 왁스구조가 있다면 제초제가 잘 도포되지 않고 체내로 흡수가 적어 제초 효율이 떨어지게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해 농약에는 계면활성제를 일반적으로 사용하고 있다.

계면활성제는 대부분의 농약에 이용이 되고 있고, 세제류, 식품과 향장품에도 이용되고 있어 매우 큰 시

장을 가지고 있다. 한 보고서에 의하면 2021년 전 세계 계면활성제의 시장은 40조 원에 이른다고 보고하였다(5). 또한 계면활성제의 성능이 향상된다면 적은 양의 농약으로 식물표면을 도포하여 농약의 효율을 증대시키고, 토양으로 바로 떨어져 주변의 환경을 오염시키고, 생태계에 악영향을 주는 부작용 또한 줄일 수 있을 것이다. 계면활성제는 농업 및 일상생활(식품, 음료, 세제, 섬유, 화장품 등)에서 흔히 쓰이는 중요도가 높은 물질이다. 계면활성제의 효율과 물질의 표면장력을 정량적으로 측정할 때 접촉각(contact angle)을 측정한다. 접촉각이란 액체와 기체가 고체 표면 위에서 열역학적으로 평형을 이룰 때 이루는 각을 말한다. 접촉각의 측정은 평평한 고체표면에 접촉한 액체의 액체-고체-기체 접합점에서 물방울 곡선의 끝점과 고체 표면의 접촉점으로 측정한다(Fig. 1). 90도 각도를 기준으로 90도보다 작은 각은 젖음성이 좋은 친수성 표면을 가졌다고 하고 90도를 초과하는 각을 가진 표면은 젖음성이 나쁘고 소수성의 표면을 가졌다고 정의한다. 현재로서는 식물의 표면왁스와 계면활성제에 대해 재미있고 손쉽게 실험적으로 교육할 수 있는 방법이 만들어져 있지 않아 학생을 교육하고 농업에 직, 간접적으로 종사할 인력을 양성하는 부분에 있어서 아쉬운 점이 있다. 또한, 대부분의 실험 교안들은 값비싼 장비들이 필요한 경우가 있어 실제로 실험수업을 통한 교육에 큰 부담이 있다. 이에 저자는 식물표면왁스와 왁스표면에서의 계면활성제의 역할을 교육하는 실험 교안을 만들어 출판하였으나

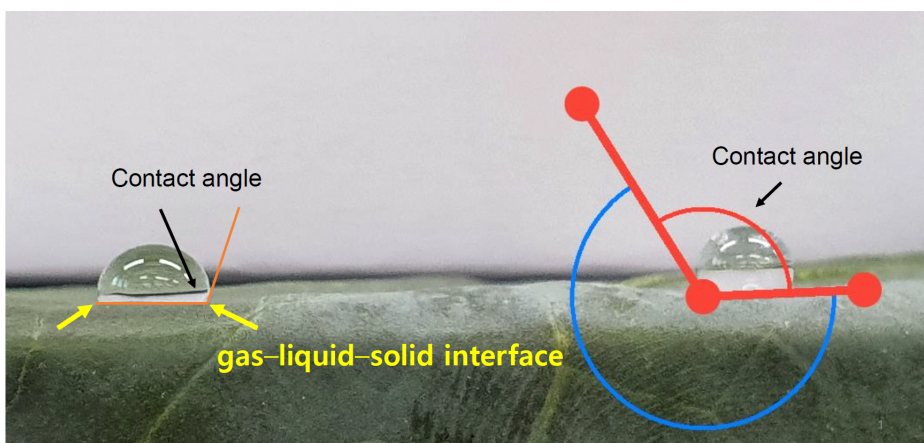


Fig. 1. Representative image of contact angle measurements before (right) and after epicuticular wax removal (left) from broccoli leaf. Contact angle is defined angle through the liquid, where a liquid-gas interface meets a solid surface. It quantifies the wettability of a solid surface by a liquid.

(6) ImageJ 소프트웨어를 이용한 접촉각의 계산은 노트북에 소프트웨어를 설치해야 하며, 이 소프트웨어를 사용하는 방법에 대해 추가적인 강의를 하여야 하는 시간과 노력이 필요하여 교사와 학생 모두 편리성이 떨어졌다. 이런 문제점을 보완하기 위해 스마트폰과 스마트폰의 각도기 애플리케이션을 사용하여 왁스질 식물표면 위 물방울의 접촉각들을 측정하여 고가의 장비 없이 재미있게 배울 수 있는 실험 교안으로 보완하였다. 이 실험은 전남대학교에서 대학생들을 대상으로 교육하고, 참가학생들의 설문조사를 통해 스마트폰과 스마트폰 애플리케이션을 이용한 농업교육의 효과에 대해 분석하였다.

재료 및 방법

1. 식물재배

‘어얼리유’ 브로콜리 품종을 육묘장에서 구입하여, 파종 후 4주가 된 시점에서 1리터 부피의 화분에 바이오상토1호(홍농종묘사, 경기도 평택)를 채워 옮겨 심었다. 부족한 영양분은 관행적으로 이용되는 복합비료(Novatec Supreme N-P-K:21-5-10, Münster, Germany)를 통해 공급하였다. 주야간의 온도가 18℃-26℃ 사이를 유지하는 온실에서 6주간 재배 이후, 표면왁스가 잘 유도될 수 있게 건조한 실내(상대습도 30%-35%, 온도 22℃)로 옮겨 6,000 lux의 LED조명 밑에서 1주간 표면왁스를 유도하였다.

가. 실험에 필요한 도구

왁스가 잘 유도된 브로콜리 잎(위 단락에서 설명), 가위, 양면테이프, 스마트폰과 Angulus 각도기 애플리케이션(Hanover, NH, USA, 안드로이드 폰에서만 작동됨)이 실험실습을 위해 필요하다. 왁스를 제거할 때 4 cm 너비의 페인트솔을 이용하였고, 접촉각 측정을 위해서 1 mL 주사기(BD, Baltimore, MD, USA), 수돗물(15 mL 원심분리 튜브에 보관), 0.1% 비눗물(가정용 세제를 V/V 농도로 미리 만들어 15 mL 튜브에 보관)이 필요하다.

나. 학생들의 실험 수행

본 실험은 2019년 2학기 전남대학교 원예생명공학과의 “노지채소화 및 실습” 수업의 일환으로 26명의 학

생이 실험에 참가하였다. 효율적인 실험의 진행과 학생의 학습효율을 고려하여 5명이 한 조인 그룹활동으로 실험수업을 진행하였다. 각도를 측정하는 모바일 애플리케이션인, Angulus가 안드로이드 폰에서만 다운로드되어 사용이 가능하기 때문에 안드로이드폰이 아닌 휴대폰을 가진 학생이 실험실습에 참여 못하는 것을 방지하기 위해 5명이 한 조를 이루어 수행하게 하였다.

다. 왁스제거 및 접촉각 측정 절차

준비된 브로콜리 잎을 가위로 자를 때, 중간에 있는 큰 잎맥을 피하여 자른다(Fig. 2a). 준비된 잎은 실험대 표면에 양면테이프를 이용하여 평평하게 잘 고정한다(Fig. 2b, c). 이때 작은 잎맥을 피하고 사진촬영이 용이하게 최대한 평평한 상태에서 실험대 바깥쪽 표면에 접촉할 수 있도록 적당히 당긴 후 손가락으로 눌러 고정시킨다(Fig. 2c). 총 3개의 브로콜리 잎표면을 준비한다(생물학적반복 n=3). 1 mL 주사기에 물을 넣고 일정한 속도로 천천히 물을 밀어 물 한 방울을 왁스가 있는 곳에 떨어뜨린다. 이때 왁스가 제거되지 않은 부분은 물이 잘 굴러 떨어지므로 굴러 떨어지지 않게 평평하게 한다(Fig. 2d). 페인트솔로 표면왁스를 제거하기 위해 부드럽게 왼쪽 끝의 잎표면을 사방으로 8번씩 쓸어내면서 왁스를 제거한다(Fig. 2e). 왁스가 제거된 곳(Fig. 2f)에 1 mL 주사기로 물 한방울을 떨어뜨린다. 3개의 잎에 d-f과정을 2번 더 반복한다. 비눗물과 물이 주사기에 반복적으로 들어와 오염이 되지 않게 하기 위해 0.1%의 비눗물은 마지막에 3개의 왁스질 잎표면 위에 주사기를 이용하여 동일한 방법으로 물방울을 떨어뜨린다. 이후, 스마트폰의 사진기로 실험대의 표면과 같은 카메라 렌즈의 높이로 맞추어 사진을 촬영한다(Fig. 2h). 작은 사진은 Angulus 애플리케이션을 이용하여 식물잎표면-물-공기가 만나는 끝점과 다른 끝점을 연결하고 여기에서 물방울이 만나는 접점(Fig. 1)을 만들어 접촉각을 측정한다(Fig. 2i).

라. 보고서 및 설문조사

학생들은 실험에서 얻은 결과를 다음 수업시간에 조별로 모여 보고서를 작성하는 시간을 가졌다. 이때 논문의 구조와 논문작성법에 대한 강의가 있었다. 학생들의 실험교안에 대한 의견과 실험교안의 효율성을 측정하기 위하여 질문들을 구글 설문지를 이용하여 카카오



Fig. 2. Procedure of conducting experiment and measuring the contact angle using smartphone application.

특 애플리케이션을 통해 무기명으로 설문조사를 하였다. 응답은 만족도를 5개로 구분하여 객관식으로 응답을 받았으며, 마지막 질문은 개방식 주관식으로 의견을 수렴하였다. 설문지의 신뢰성을 높이기 위해 설문은 수업이 끝난 이후 실시되었다.

마. 식물표면 사진, 전자현미경 사진, 나노포커스 사진

교사들을 위한 추가 자료를 위해 같은 *Brassica oleracea*인 콜라드 잎에서 왁스가 있는 것과 제거된 것을 일반카메라로 촬영하였다(Fig. 5A, B). 미세구조를 보여주기 위해 전자현미경 사진을 제시하였으며 방법은 동결건조된 브로콜리 잎에 금-플루토늄 스퍼터 코팅(sputter-coating, K575 sputter, Emitech Ltd, Ashford, Kent, UK)을 한 이후, JSM-6060LV(JEOL Ltd, Tokyo, Japan) 전자현미경으로 촬영하였다(4)(Fig. 5C, D). 공초점 현미경(confocal microscope, NanoFocus, mSurf explorer)과 Mountains(Digital, Surf) 소프트웨어를 이용하여 표면 3차원 구조를 보여주었다(Fig. 5E, F).

바. 가스크로마토그래피-불꽃 이온화 검출기를 활용한 표면왁스 정량

콜라드 잎 표면 왁스의 정량을 위해 17 mm 코르크 절단기(cork borer)를 이용하여 잎 디스크를 3장을 만들어 5 mL의 클로로폼에 20초 동안 넣었다 빼서 추출하였다(4). 추출물에 *n*-tetracosane(1 mg/mL)을 넣어 내부표준품으로 이용하였다. 추출물은 질소가스를 이용하여 휘발시키고, 50 μ L 피리딘과 100 μ L의 bis-*N*, *N*-(trimethylsilyl) trifluoroacetamide(10% trimethylchlorosilane 포함, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO)을 이용하여 75°C에서 75분간 가열하여 작용기를 치환하였다. 준비된 추출물 1 μ L를 가스 크로마토그래피-불꽃 이온화 검출기를(Trace 1310 GC, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 외부표준품을 이용한 검량곡선을 이용하여 정량하였다. 30 m 길이, 0.25 mm 직경, 0.25 μ m 두께의 Rxi-5Sil MS 컬럼(Restek, Bellefonte, PA, USA)을 이용하였으며, 오븐의 초기시작 온도는 120°C에서 시작하여 1분 동안 유지한 후, 1분에 10°C 증가하여 250°C까지 올라간 이후에는 1분당 2°C씩 증

가하여 320℃까지 올라간 후 5분 동안 유지 되었다. 주 입구와 검출기의 온도는 270℃로 세팅되었으며, 헬륨 가스는 1분에 1.2 mL가 흘러갔다.

사. 통계처리

대응표본 *T*-test를 엑셀에서 *t*-test 함수를 사용하여 두 처리 간의 통계적 유의차를 계산하였다. *p*값이 0.05와 0.01보다 작은 것을 기준으로 통계적 유의차가 있는 처리 간에는 아스테리크(*,**)로 표시하였다. 실험은 3반복으로 실시되었다.

결과 및 고찰

1. 접촉각 측정 결과

왁스질의 브로콜리 잎 표면 위에 떨어진 물방울의 접촉각은 평균 126.3°이었고, 표면왁스를 제거한 잎 위에서의 접촉각은 평균 85.2°로 왁스를 제거한 이후에는 접촉각이 33%가 줄어들었다(Fig. 3). 대응표본 *T*-검정 결과 식물표면왁스가 있는 표면과 제거된 표면사이의 접촉각의 *p*-값은 0.0016으로 고도로 유의한 차이가 있었다(Fig. 3). 표면왁스가 제거되지 않은 잎 위에 비눗

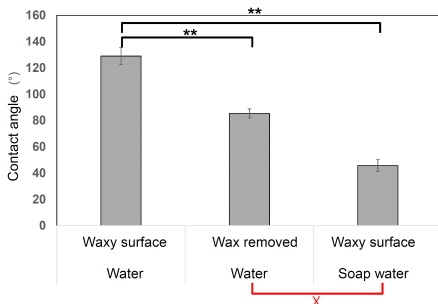


Fig. 3. Contact angles of applied water droplets both before and after epicuticular wax removal from broccoli leaves and soap water droplets on waxy surface (N=3). **indicates significant difference between two group by paired Student *t*-Test at *p*=0.01. Wax removed surface with water treatment and waxy surface with soap water treatment cannot be reasonably compared because two variables are different. This is educational point during this lab activity (red line).

물을 떨어뜨린 후 즉시 측정한 접촉각의 경우 평균 68.2°로 표면왁스가 존재하는 브로콜리잎 위에 물방울을 떨어뜨렸을 때와 비교할 때 접촉각이 46% 줄었다. 5분이 지난 후, 측정한 비눗물의 접촉각은 10° 미만으로 브로콜리 잎표면에 균일하게 도포되었다. 따라서, 브로콜리, 케일, 콜라드처럼 3차원 결정체의 표면왁스로 이루어진 잎의 표면에는 계면활성제를 이용하여 균일하게 도포할 수 있음을 학생들이 실험을 통해 배울 수 있었다.

미국에서 웨스트버지니아 대학교 학생들을 대상으로 같은 실험을 실시하였을 때는 사진의 접촉각을 ImageJ 프로그램으로 분석하였다(6). 이를 위해서는 학생들이 노트북을 가지고 와야 하였으며, ImageJ 프로그램에 대해서도 사용법을 강의하여야 해서 교수와 학생 모두 시간과 노력이 많이 소요되는 실험활동이었다(24명이 참여하는 4회의 실험 세션을 운영하였으며, 평균 2시 30분의 시간이 소요). 하지만, 이번 실험활동에서는 스마트폰으로 찍은 사진을 바로 스마트폰 애플리케이션으로 접촉각을 측정하여 접촉각을 계산하기까지 소요된 시간은 60분으로 짧은 시간에 수행할 수 있는 실험활동이 되었다.

2. 엑셀을 이용한 통계처리 및 보고서 작성

대학생뿐만 아니라 고등학생 및 일반인들도 이 실험을 할 수 있게 설계를 하였다. 값 비싸고 어려운 통계 프로그램을 사용하기보다는 엑셀을 이용하여 데이터를 입력하고 기본적인 평균, 표준오차 및 *T*-검정을 엑셀을 통해 배우고, 그래프를 그려보는 연습을 실험 후 진행하여 대학생들이 사회에 나아갔을 때 꼭 필요한 스프레드시트의 기본기능을 미리 익히는 시간을 가졌다. 특히 3개의 처리 중 왁스와 왁스제거 그룹 그리고 왁스에 물을 떨어뜨린 것과 왁스에 비눗물을 떨어뜨린 것은 독립변인이 하나이기 때문에 비교가 가능하지만, 왁스를 제거한 그룹에 물을 떨어뜨린 것과 왁스에 비눗물을 떨어뜨린 것은 독립변인이 2개 이상이기 때문에 비교의 의미가 없다(Fig. 3). 다시 말해 통계적으로 유의한 차이가 있다고 하더라도 어떤 원인에 의해 유의한 차이가 발생했는지 원인과 결과를 추정할 수 없다. 이 점은 실험활동을 통해 배울 수 있는 또 하나의 교육적 효과이다. 이런 기본적인 실험설계에 대한 강의는 일반적으로 행해지는 강의식 수업에서 학생들에게 교육하기 어려운 부분이므로 실험을 통하여 통계와 실험설계까지를

배울 수 있다면 이 실험교안이 200% 활용되는 것이 될 것이다. 마지막으로 전남대학교 원예생명공학과는 학부졸업 필수요건 중 하나로 실험을 수행하고 졸업논문을 써야 한다. 학생들과 함께 서언-재료 및 방법-결과 및 고찰-인용문헌 순의 정형화되었지만 분량이 짧은 보고서를 같이 써보는 활동은 논문쓰기에 익숙하지 않은 학생들에게 친숙함을 주고, 졸업을 위해 필요한 학술적 글쓰기를 교육할 수 있는 좋은 기회였다.

3. 학생 설문조사 결과

수업에 참여한 총 26명의 학생 중 22명이 응답하였다(Fig. 4). “실험을 통해 표면왁스의 존재와 기능에 대해 잘 알게 되었다”라는 물음에 13명(59.1%)과 8명(36.4%)의 학생이 각각 “매우 그렇다” 그리고 “그렇다”로 대답하여 21명의 학생이 실험을 통해 표면왁스의 존재와 기능에 대해서 실험을 통해 배우는 것에 대해 긍정적(“매우 그렇다”와 “그렇다”)으로 응답하였다. “실험을 통해 계면활성제의 역할에 대해 잘 알게 되었다”라는 물음에 12명(54.5%)과 10명(45.5%)이 각각 “매우 그렇다” 그리고 “그렇다”로 대답하여 실험을 통해 계면활성제의 역할에 대해서 배운 점이 있다고 긍정적으로 응답하였다. “실험은 간단했다”라는 질문에 9명

(40.9%)과 8명(36.4%)이 각각 “매우 그렇다” 그리고 “그렇다”로 대답하였다. 또한 3명은 “보통이다”와 2명은 “그렇지 않다”라고 응답하여 일부 학생은 “실험수행이 간단하지 않다”라고 응답하였다. 다양한 피드백을 받기 위해 개방형 의견을 받은 결과 중 “실험방법에 대해 성문화하여 미리 전달해 주었으면 좋겠다”라는 피드백을 받았다. 한 학생은 “사진을 찍는 사람에 따라 접촉각이 달라진다.”라는 피드백을 주어 사진 찍기와 접촉각의 측정에 있어 사람의 측정 오차가 유입될 우려가 있다고 표현해 주었다. 이 실험은 간단한 장비들을 이용하여 값싸게 할 수 있는 실험을 고안하다 보니 다소 정교하지 못한 면이 있을 수 있다는 점을 우려하는 학생의 의견이었다. 하지만 사람에 의한 측정 오차에도 불구하고, 5개의 그룹 모두에서 유의한 결과가 나와서 실험이 간단하면서도 재현성을 있음을 알 수 있다. “실험은 재미있었다”라는 질문에 대해서 10명(45.5%), 7명(31.8%), 그리고 5명(22.7%)이 각각 “매우 그렇다”, “그렇다”, 그리고 “보통이다”로 대답하여 대부분의 학생이(17명) 긍정적인 반응을 보였다. “스마트폰 애플리케이션을 이용한 실험에 대해 긍정적으로 생각한다”라는 질문에 7명(31.8%), 12명(54.5%)의 학생이 각각 “매우 그렇다”와 “그렇다”라고 응답하였다. 2명의 학생은

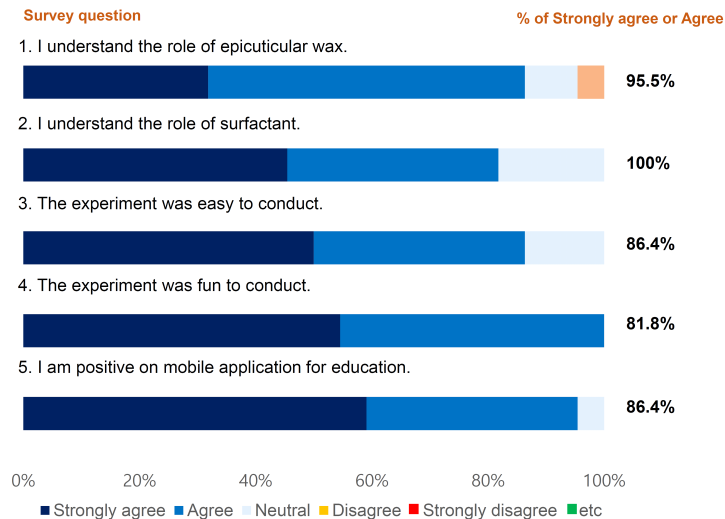


Fig. 4. Students' responses (n=22) to the statements at the left, shown on a Likert scale: strongly agree (dark blue), agree (blue), neutral/neither agree or disagree (light blue), disagree (yellow), strongly disagree (red), and etc (green). The percentage of respondents' who indicated “strongly agree” or “agree” to each statement is given to the right of each statement.

“보통이다”로 응답하였으며, 1명의 학생은 “아이폰이 안돼요 ㅠ”라고 울고 있는 표정의 문자로 응답하여 안드로이드에서만 실행이 되는 스마트폰 애플리케이션을 이용하다보니 실험에 능동적으로 참여하고 싶지만 할 수 없는 아쉬움의 의견을 남겨주었다. 따라서, 스마트폰과 스마트폰 애플리케이션을 이용한 실험실습 교안에서는 가능한 모든 학생이 실습에 참여할 수 있는 운영체제에 따른 이용의 제한이 없고 무료인 애플리케이션을 이용하는 것이 교육적 효과와 학습자의 만족도를 높이는 데 도움이 될 것이라고 생각된다.

4. 실험시 주의사항(교사를 위한 노트)

본 실험에서는 접촉각을 정확하게 촬영하기 위해서 물방울이 실험대 끝자락에 가깝게 위치하는 것이 중요하며, 왁스가 있는 표면 위에 물방울이 굴러 떨어지는 경우가 흔하기 때문에 최대한 평평한 표면을 만들어주는 것이 중요하다. 이런 사항을 교수/교사는 학생들에게 잘 지도해 주어야 한다. 접촉각을 잘 측정하기 위해서는 물방울에 인공색소 적색 40호와 같은 인공색소를 첨가하여 가시화가 잘되도록 하는 것도 하나의 팁이다. 이전 논문에서는 이런 방법을 제안하였으나 본 실험에서는 적색 40호와 같은 인공색소가 미국에서 보다 구하기가 어려워 맑은 수돗물을 이용하여 실험하였으며, 접촉각을 측정하는 데에 문제는 없었다. 안토시아닌이 많이 함유되어 있는 아로니아 파우더에서 얻은 빨간물을 실험에 사용하는 것도 하나의 방법이며, 아로니아 추출물이 실험수행에는 차질이 없음을 확인하였다.

접촉각의 측정은 사진이 선명하게 나왔을 때 용이하다. 따라서 접촉각을 찍을 때 배경으로 하얀색 종이를 준비하는 것이 하나의 팁이다. 또한 접촉각은 카메라 렌즈와 물방울이 평평한 위치에서 찍혔을 때 정확하게 측정을 할 수 있다. 따라서 피사체보다 높은 곳에서 내려찍거나 올려 찍으면 정확한 접촉각을 분석하기 어렵다. 또한 교사는 학생들이 접촉각을 측정할 때 어디에서 직선이 꺾여야 하는지(지면과 물방울이 만나는 지점의 끝) 정확하게 알려주고, 또한 꺾여서 올라간 직선이 물방울과 만나는 점선에 이르게 하여야 하는데, 이 부분이 어디인지 예시를 들어 잘 설명해준 후 실험을 할 수 있게 하여야 한다(Fig. 1). 또한, 각도 측정용 스마트폰 애플리케이션이 현재는 안드로이드 폰에서만 작동하므로 적당한 수의 학생을 각 조별로 잘 배치하여 교육의 효율성과 평등성 사이의 균형을 맞추어야 한다.

본 실험의 파워포인트 교안은 추가자료(Supplementary Material)로 발표하여 교수자가 이 실험교안을 바로 이용할 수 있게 하였다.

5. 교사를 위한 식물표면의 왁스 성분 변화 정보 및 토의 주제들

본 실험에서는 브로콜리 표면왁스의 제거 전후의 식물표면사진과 전자현미경 사진 그리고 왁스농도와 왁스 조성에 대한 기초정보를 제공함으로써 교사들이 학생들에게 나노수준에서 식물표면의 물리적 특성 변화를 확인하고, 분자수준에서 표면왁스의 양과 조성의 차이를 확인할 수 있게 정보를 제공하게 되었다(Fig. 5). 식물표면 왁스가 제거된 이후 식물표면은 왁시한 표면(waxy surface)에서 그로시(glossy surface)로 표현형이 변하였다(Fig. 5A, B). 전자현미경으로 관찰된 왁스질의 식물표면에서는 3차원 구조의 왁스 결정체가 확인되었으나(Fig. 5C), 페인트솔로 왁스를 제거한 이후에는 결정체를 볼 수 없었다(Fig. 5D). 공초점 나노포커스 장비로 측정이 된 표면이 왁스 결정체로 인해 요철이 심한 표면을 가지고 있음을 알 수 있다. 하지만 왁스 제거이후에는 평평한 표면이 되었다(Fig. 5E). 가스크로마토그래피-불꽃이온화로 표면왁스를 정량한 결과를 보면 콜라드의 표면왁스는 제곱센티미터당 80 μg 이나 왁스 제거이후에는 24 μg 으로 줄었다(Fig. 6A). 왁스가 제거된 이후에는 케톤과 지방산류들의 표면왁스의 조성 또한 유의하게 변하였다. 이는 표면왁스층에 지방산류는 상대적으로 적고 케톤류들은 상대적으로 많음을 의미한다. 다른 표면왁스 요소들은 통계적으로 변하지 않았다. 왁스제거가 일부 표면왁스의 조성을 유의하게 변화시켰지만, 수치적으로는 작은 변화이므로 이런 변화가 접촉각의 차이를 변화시켰다고 말하기에는 논리적 증거는 약하다. 표면왁스를 제거한 식물체의 표면은 여전히 소수성의 표면이다. 따라서, 3차원 구조의 결정체를 가진 표면왁스 결정체의 유무에 의해 접촉각의 변화가 기인한다고 생각된다(2).

6. 실험이후 토의주제들

본 실험을 통해 표면왁스가 농약살포와 매우 밀접한 관계가 있음을 학생들이 알게 되었다. 이뿐만 아니라 교사들이 일상생활과 표면왁스가 어떤 상관관계가 있는지를 잘 설명해줄 수 있다면 학생들이 더욱더 이 주

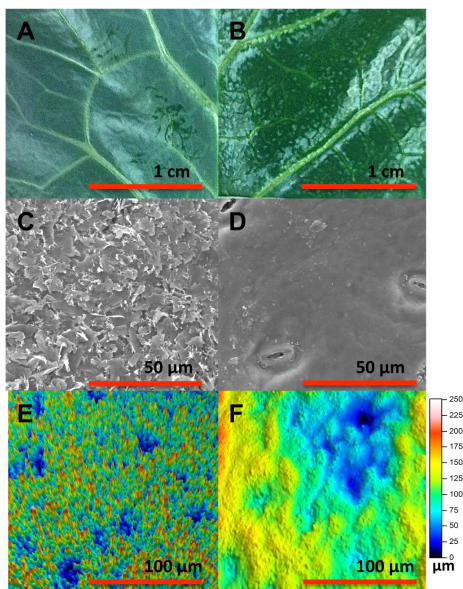


Fig. 5. Leaf surface image of *Brassica oleracea* (a) and its wax removed leaf (b); scanning electron microscope image of *Brassica oleracea* (c) and its wax removed leaf (d); 3-dimensional Nano Focus image of *Brassica oleracea* (e) and its wax removed leaf (f). Scale bars are presented in red color.

제에 대해 흥미를 가지게 될 것이다. 하나의 예로 왁스가 많으면 샐러드 드레싱이 잘 묻지 않게 된다. 케일 잎은 노지에서 재배가 되어 표면왁스가 많아도 우리나라에서는 고기와 싸 먹게 되어 쌈 채소로서는 문제가 없다. 또한 된장이나 찜장은 샐러드 드레싱과 달리 케일표면에 잘 묻게 된다. 하지만 서양 샐러드 채소의 경우 거의 대부분이 물이 잘 묻는 표면을 가지고 있는 상추, 아르굴라(루꼴라), 시금치 등이 대표적이다. 간혹 드레싱이 샐러드 표면에 잘 붙지 않을 것을 고려하여 물과 기름을 같이 넣어 만든 샐러드 드레싱들도 있다. 이 드레싱들은 평소에 층이 만들어진 상태로 존재하다가 샐러드에 뿌리기 직전에 위아래로 여러번 흔들어주어 에멀전(emulsion)이 만들어지면서 채소표면에 지용성 및 수용성 드레싱이 모두 잘 붙게 되어 식미를 높여준다. 또한, 표면왁스라고 하면 “Lotus effect”가 빠질 수 없다. 연잎은 물이 잘 붙지 않는 특수한 큐티클 돌기와 표면왁스의 구조를 가지고 있다. 이런 식물표면에서 감명을 받아 물이 묻지 않는 페인트, 섬유, 신발 등 다

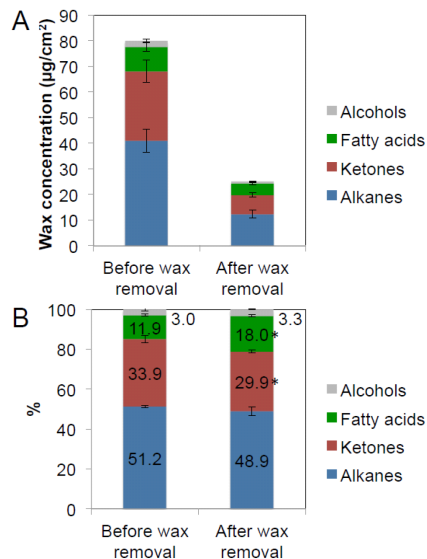


Fig. 6. Epicuticular wax quantification of *Brassica oleracea* leaf and its wax removed leaf (A) and percentage (%) of wax composition (B) measured by GC-FID. *indicates significant difference between two group by Student *t*-Test at $p=0.05$.

양한 소재가 개발이 되고 있다. 식물표면왁스와 관련된 또 하나의 일상생활 예는 표면왁스와 식품병원균의 관계이다. 농업용수가 오염됨에 따라 식품병원균들이 노지채소에 붙어 소비자들에게 전달이 되고 있어 문제점으로 지적되고 있다. 표면왁스가 많을수록 로타바이러스(rotavirus)와 살모넬라와 같은 식품유해균이 잘 붙지 않는다는 연구결과가 최근 나왔다(2-4). 미세먼지 또한 식물의 표면왁스에 따라 붙는 정도가 달라(7) 먼지를 잘 붙이는 식물표면을 가진 식물들이 많은 도시는 미세먼지를 일부 제거해 주는 역할을 할 가능성도 있을 것이다. 마지막으로, 표면왁스가 많은 양배추 품종은 유전적 돌연변이로 표면왁스가 발달하지 않은 양배추보다 수확 후 저장중 수분손실이 유의적으로 낮았다(8). 이런 주제들을 학생들에게 조별로 토의할 수 있는 시간을 주어 표면왁스의 역할과 일상생활과의 연관성에 대해 생각해 보고, 더 많은 예시를 찾아보게 하는 것이 하나의 실험 후 활동으로 제안할 수 있는 교육안이다.

7. 스마트폰과 스마트폰 애플리케이션을 활용한 실험에 대한 고찰

실제 대학교 교육현장에서는 스마트폰이 없는 학생을 찾기 힘들 정도로 스마트폰은 식사 시간에 사용되는 수저와 같이 일상생활에 깊이 들어와 있는 도구가 되었다. 수업 중 스마트폰을 쓰거나 게임을 하는 학생들도 교육현장에서 간혹 있기도 하며, 메신저 프로그램에 집중력이 떨어지기도 한다. 따라서, 많은 교육자들이 스마트폰을 쓰지 못하게 하는 전략에서 오히려 스마트폰을 적극 활용하여 일상생활의 친밀한 도구를 통해 수업을 더욱 효율적이고 즐겁게 만들려는 시도들을 하고 있다(9-11). 스마트폰은 각종 센서들이 내장되어 쉽게 광량, 각도, 거리 및 시간 등 다양한 측정이 가능하다. 또한 계산기가 내장되어 있어 신속하게 계산도 가능하며, 다른 학우에게 메신저 프로그램이나 이메일로 정보전달도 용이하다. 구글 문서(Google Doc)와 같은 온라인 공간에서 공동으로 과제를 쓸 수 있고 공유도 가능하다. 대학교나 고등학교 교육현장에서 실습수업을 위해 필요한 고가의 실험기구들 때문에 실험 실습이 생략되는 경우가 있다. 하지만, 스마트폰을 이용하면 고가의 장비 없이도 가능한 실험들이 만들어지고 있다. 스마트폰의 RGB 센서로 시약의 색을 읽어 스마트폰으로 분광광도계를 대신할 수 있음을 보여준 실험이 있었다(11). 이런 사실을 바탕으로 할 때, 채소잎의 엽록소들 같은 조명환경에서 주기적으로 측정하여 수확 후 저장 중 엽록소가 분해되는 것을 휴대폰을 이용하여 정량화할 수 있을 것이다. 이런 활동은 스마트팜에서의 식물의 생육 모니터링 및 모델링과 같은 농업동향과도 관련이 깊다. 스마트폰에는 다양한 센서들(가속센서, 자이로 센서, 근접 센서, RGB 센서, 밝기 센서, 모션 센서, 온도/습도 센서, 기압계, 지자기 센서, 심장 박동 센서, 지문인식 센서, GPS 센서)이 부착되어 있다. 이를 활용한 재미있고 효율적인 실험 교안들이 많이 개발되어 교육에 이용된다면 학생들이 적극적으로 참여하고 즐겁게 배우는 교육이 가능할 것이라 생각한다.

요 약

왁스질 표면을 가진 식물의 젖음성을 높이기 위해 농약에 계면활성제가 많이 사용되고 있으나, 현재 식물 표면의 왁스의 역할과 계면활성제의 역할에 대해서 교육할 수 있는 실험 교안이 없어 실험교안의 개발이 절실하다. 따라서, 식물왁스와 계면활성제의 역할에 대해 학생이 보다 손쉽게 재미있게 개념을 파악할 수 있게

스마트폰 애플리케이션과 왁스질 식물잎을 이용한 실험교안을 개발하였다. 이 실험교안의 교육적 효과에 대한 설문조사를 수행한 결과, 실험을 통해 식물표면왁스와 계면활성제에 대한 개념을 잘 알게 되었고(95.5%), 쉽고(100%), 재밌었다(77.3%)고 긍정적 또는 매우 긍정적으로 응답한 학생의 수가 팔호안의 숫자와 같은 결과가 나왔으며, 전체 설문조사수는 22명이었다. 따라서, 본 실험교안은 손쉽게 접할 수 있는 실험교안으로 학생들의 식물표면왁스와 계면활성제에 대한 학습에 도움이 될 것이라고 생각된다.

감사의 글

2019년 2학기 “노지채소학 및 실습” 수업에 참가한 학생들에게 감사의 말을 전하며, 전남대학교 교수학습지원센터에서 지원하는 티칭랩의 “썬더 티칭랩” 모둠을 통해 Youtube와 스마트폰을 활용한 교육법에 대해 응원과 고견을 주신 한태호, 이옥란, 이동욱, 조철웅 교수님께 감사의 말씀을 전합니다.

Supplementary Material

교수자를 위한 강의자료는 추가자료(Supplementary Material) 형태로 온라인에서만 확인하실 수 있습니다.
<https://doi.org/10.29335/tals.2019.57.33>

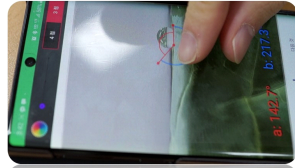
참고문헌

1. Koch, K. and Ensikat, H-J. 2008. The hydrophobic coatings of plant surfaces: epicuticular wax crystals and their morphologies, crystallinity and molecular self-assembly. *Micron*. 39: 759-772.
2. Ku, K-M., Chiu, Y-C., Shen, C. and Jenks, M. 2020. Leaf cuticular waxes of lettuce are associated with reduced attachment of the foodborne pathogen *Salmonella* spp. at harvest and after postharvest storage. *LWT*. 117: 108657.
3. Fuzawa, M., Ku, K-M., Palma-Salgado, S. P., Nagasaka, K., Feng, H., Juvik, J. A., Sano, D., Shisler, J. L. and Nguyen, T. H. 2016. Effect of leaf surface chemical properties on efficacy of sanitizer for rotavirus inactivation. *App. and*

- Environ. Microbio. 82: 6214-6222.
4. Lu, L., Ku, K-M., Palma-Salgado, S. P., Storm, A. P., Feng, H., Juvik, J. A. and Nguyen, T. H. 2015. Influence of epicuticular physicochemical properties on porcine rotavirus adsorption to 24 leafy green vegetables and tomatoes. PLoS One. 10: e0132841.
 5. Markets and Markets. 2016. Surfactants Market by Type (Anionic, Non-Ionic, Cationic, and Amphoteric), Substrate (Synthetic, and Bio-based), Application (Detergents, Personal Care, Textile, Elastomers & Plastics, Crop Protection, Food & Beverage) - Global Forecast to 2021. Market Research Report.
 6. Chiu, Y-C., Jenks, M. A., Richards-Babb, M., Ratcliff, B. B., Juvik, J. A. and Ku, K-M. 2017. Demonstrating the effect of surfactant on water retention of waxy leaf surfaces. J. of Chem. Edu. 94: 230-234.
 7. Mo, L., Ma, Z., Xu, Y., Sun, F., Lun, X., Liu, X., Chen, J., and Yu, X. 2015. Assessing the capacity of plant species to accumulate particulate matter in Beijing, China. PLoS One. 10: e0140664-e.
 8. Jun, T., Dongming, L., Zezhou, L., Limei, Y., Zhiyuan, F., Yumei, L., Mu, Z., Yangyong, Z., Honghao, L., Dengxia, Y. and Peitian, S. 2015. Preliminary study of the characteristics of several glossy cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) Mutants. Horticultural Plant J. 1: 93-100.
 9. Williams, A. J. and Pence, H. E. 2011. Smart phones, a powerful tool in the chemistry classroom. J. of Chem. Edu. 88: 683-686.
 10. Libman, D. and Huang, L. 2013. Chemistry on the go: review of chemistry apps on smartphones. J. of Chem. Edu. 90: 320-325.
 11. Knutson, T. R., Knutson, C. M., Mozzetti, A. R., Campos, A. R., Haynes, C. L. and Penn, R. L. 2015. A fresh look at the crystal violet lab with handheld camera colorimetry. J. of Chem. Edu. 92: 1692-1695.

Supplementary Material

과학 실험교안 소개: 모바일 앱을 활용한 식물 표면왁스와 계면활성제의 역할 교육



전남대학교 원예생명공학과 구강모 교수

실험교안의 목표:

식물표면왁스와 계면활성제의 역할을 모바일 앱을 통해 교육



식물표면왁스의 역할

- 수분손실을 막아줌
 - ✓가뭄 스트레스에 대한 저항성
 - ✓수확후 저장중 수분 손실 방지
- 해충 및 병원균에 대한 저항성
- 자외선에 의한 조직 손상 방지
- 식물유해균의 정착 저하



전남대학교 원예생명공학과 구강모

식물표면왁스와 농약살포

- 제초제
- 살균제
- 살충제
- 영양제 (엽면시비 - 기공으로 침투)
- 생장조절제 (식물호르몬)



유틸리움과 표면왁스층의 물리적 화학적 특성이 젖음성을 결정 (전일표현)

전남대학교 원예생명공학과 구강모

접촉각: 젖음성(wettability)을 측정하는 잣대

Lotus effect

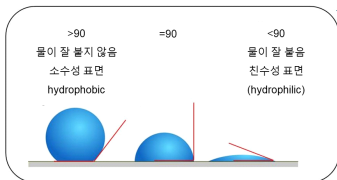
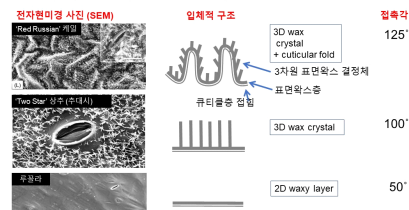


Figure source: <https://mpfs.fbk.eu/contact-angle-platform>

접촉각과 식물표면 계층 구조



Lee, A. et al. (2015) Influence of Epicuticular/Procuticular Properties on Plant Surface Wettability. In: Plant Surface Wettability and Plant Surface Properties. P. 1-15. DOI: 10.1007/978-94-007-6104-4_1

전남대학교 원예생명공학과 구강모

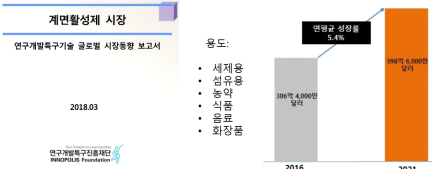
계면활성제 (Surfactant)

- 소수성과 친수성이 있어 다리와 같은 역할을 한다.
- 농약의 도포성을 증진 시킴
- 효율적인 계면활성제가 농약의 사용을 줄이고 (안전성) 환경을 보호 할 수 있다.



전남대학교 원예생명공학과 구강모

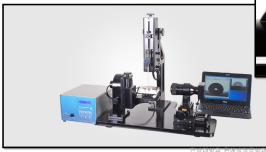
계면활성제 시장



※ 자료 : Marketandmarkets, Surfactants Market, 2016

전남대학교 원예생명공학과 구강모

접촉각 측정 전문기구



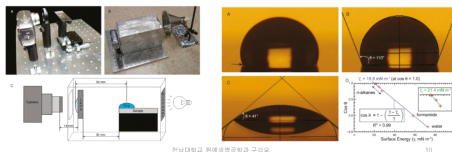
연세대학교 원세영생명과학과 교수님

9

Contact Angle Measurements Using a Simplified Experimental Setup

Guillaume Lamour and Ahmed Hamraoui
Neuro-Physique Cellulaire, Université Paris Descartes, 75006, Paris, France

Andri Buvalle, Yangjun Xing, Sean Keuleyan, Vivek Prakash, Ali Eftekhari-Bafroei, and Eric Berguet*
Department of Chemistry, Temple University, Philadelphia, Pennsylvania 19122, United States
*aberguet@temple.edu



연세대학교 원세영생명과학과 교수님

10

논문제목: Demonstrating the Effect of Surfactant on Water Retention of Waxy Leaf Surfaces (Chiu et al., 2017)

JOURNAL OF CHEMICAL EDUCATION



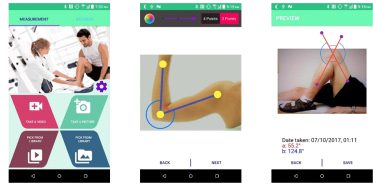
기존 ImageJ 프로그램을 이용한 실험은 컴퓨터와 소프트웨어 설치 및 사용법에 대한 설명이 필요하여 실험시간이 오래 걸린다는 단점이 있었음.

모바일 앱을 통해 2시간 이상의 실습 시간을 1시간으로 줄일 수 있음

연세대학교 원세영생명과학과 교수님

11

Angulus: Measure angles on images/videos Apps on Google Play



연세대학교 원세영생명과학과 교수님

12

실험재료 및 준비물

브로콜리 (양배추, 케일, 클라드 같이 평평한 잎이 더 좋음)



가위, 양면테이프, 피펫트유, 물, 비눗물

연세대학교 원세영생명과학과 교수님

13

실험절차



물 인방울의 무게
33.81 ± 0.97 mg
(N=20) (Chiu et al., 2017)

연세대학교 원세영생명과학과 교수님

14

주의점

접촉각을 정확하게 측정하기 위해서 평평하게 찍기

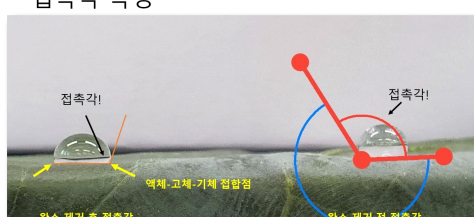


(Chiu et al., 2017)

연세대학교 원세영생명과학과 교수님

15

접촉각 측정



연세대학교 원세영생명과학과 교수님

16

통계처리

B7

A	B	C	D
1	반복	왁스표면	계면활성제
2	1	121	90
3	2	125	92
4	3	130	88
5			40
6			45
7			35
8			
9			

같은 일위에서 처리전후를 측정하므로 대응 표본 t-test를 써야함.

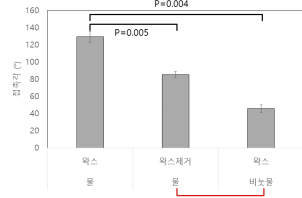
*P-value (두 집단이 통계적으로 같지 않을 확률이 0.9%)
P-value 1이 100%를 뜻함.

*P = Probability

연세대학교 원세영생명과학과 교수님

17

기대결과



P=0.004

P=0.005

연세대학교 원세영생명과학과 교수님

18

실험 후 학생 설문조사

실험을 통해 표면현미경의 존재와 기능에 대해 알게 되었다.

22 responses



실험을 통해 계면활성제의 역할에 대해 알게 되었다.

22 responses



한남대학교 환경생명공학과 교수님

19

실험 후 학생 설문조사

실험을 간단했다.

22 responses



실험을 복잡했다.

22 responses



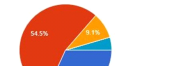
한남대학교 환경생명공학과 교수님

20

실험 후 학생 설문조사

모바일 앱을 이용한 실험에 대해 긍정적으로 생각함

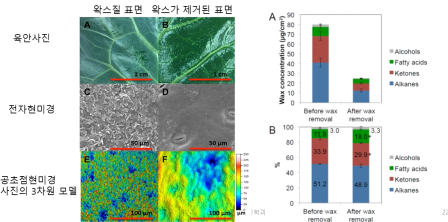
22 responses



한남대학교 환경생명공학과 교수님

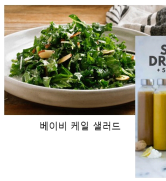
21

교사를 위한 보충 자료



22

학생그룹 토의 주제



베이비 케일 샐러드



샐러드 드레싱

- 실생활과 본 실험과의 관계?
- *케일잎을 생산할 때 상대습도와 표면현미경의 상관관계
- *케일잎을 샐러드용으로 이용할 때 표면현미경이 적게 생기는 이유는 어떤가요? 오려낸 잎?
- *샐러드 드레싱을 개발할 때 유의점?
- *농약/계면활성제/이 샐러드된 브로콜리 잎에는 식물유해균의 감염이 용이할까?

한남대학교 환경생명공학과 교수님

23

스마트폰을 활용한 교육제한 및 응용

- 스마트폰의 센서들을 적극 활용한 실험교안 개발 필요
- 가속센서, 자이로 센서, 근접 센서, RGB 센서, 밝기 센서, 홀 센서, 모션 센서, 온도/습도 센서, 기압계, 지자기 센서, 심장 박동 센서, 지문인식 센서, GPS 센서
- 컬러리미터를 활용한 식물색의 정량화
- RGB나 컬러리미터를 활용한 spectrophotometer의 기능을 대신

한남대학교 환경생명공학과 교수님

24

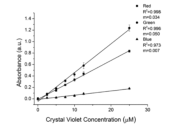
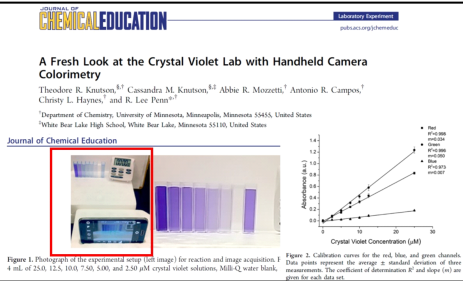


Figure 1. Photograph of the experimental setup for reaction and image acquisition. 4 mL of 25.0, 12.5, 6.25, 3.125, and 1.5625 μ M crystal violet solutions, Milli-Q water blank.

감사합니다.

한남대학교 환경생명공학과 교수님

25