



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

# RGB영상과 다분광영상을 이용한 잔디 녹기 평가

Evaluating greenness using RGB images  
and multispectral images in turf

濟州大學校 大學院

農學科

鄭智現

2022年 8月

# RGB영상과 다분광영상을 이용한 잔디 녹기 평가

指導教授 鄭 鏞 碩

鄭 智 現

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

2022 年 8 月

鄭智現의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長

전 용철



委 員

박 원표



委 員

정 응석



濟州大學校 大學院

2022 年 8 月

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	iv
ABSTRACT .....	1
I. 서 론 .....	3
II. 연 구 사 .....	6
1. 한국잔디 .....	6
2. 잔디에서 내환경성 연구 .....	7
2.1. 기존 방법 .....	7
2.2. 화상 기반 연구 .....	8
2.3. 내한성과 관련된 화상 기반 연구 .....	9
III. 재 료 및 방 법 .....	11
1. 잔디 재배 .....	11
2. 이미지 획득 .....	16
3. 이미지 전처리 .....	19
4. 이미지 분석 .....	22
4.1. RGB영상 기반의 녹기율 산출 .....	22
4.2. 다분광영상 기반의 NDVI 산출 .....	25
5. 통계분석 .....	27
IV. 결 과 .....	28

V. 고찰 .....	39
VI. 인용 문헌 .....	43
VII. 실험 데이터 .....	52

## List of Tables

Table 1. Twenty turf germplasm used in this study .....	12
Table 2. Sensor information of Phantom 4 Multispectral .....	17
Table 3. Kruskal-Wallis test results for GCP and NDVI data .....	30
Table 4. Average differences of GCP among germplasm for August to December .....	31
Table 5. Average differences of NDVI among germplasm for August to December .....	32
Table 6. RGB, GCP and NDVI images of twenty turf germplasm .....	35

## List of Figures

Fig. 1. Two germplasm that is different each other planted in one pot .....	13
Fig. 2. Temperature near the turf greenhouse from where the automatic weather system in Sancheondan provided .....	14
Fig. 3. The schedule of mowing and data acquisition in this study .....	15
Fig. 4. RGB camera sensor and multispectral sensor mounted Phantom 4 Multispectral .....	17
Fig. 5. Customized vehicle for turf image acquisition (A) and captured DJI GS pro application image (B) where radiometric calibration target was located in .....	18
Fig. 6. Distortion correction (A) distorted image (B) undistorted image .....	19
Fig. 7. Various illumination of image in days .....	20
Fig. 8. Image pre-processing step in RGB image (original image, radiometric calibrated, and histogram equalized) .....	21
Fig. 9. Image alignment of Red image into NIR image (A) before, (B) after .....	21
Fig. 10. Applying otsu threshold in NIR images and RGB images .....	23
Fig. 11. Region of interest (ROI) in NIR images for extracting turf canopy area .....	24
Fig. 12. Region of interest (ROI) in NDVI images .....	26
Fig. 13. Comparison different variance of GCP and NDVI per month .....	33
Fig. 14. Decline in monthly green cover percentage (GCP) of twenty turf germplasm .....	34
Fig. 15. Decline in monthly NDVI of twenty turf germplasm .....	37
Fig. 16. Pearson correlation coefficient of GCP and NDVI per month .....	38

## ABSTRACT

Zoysiagrass (*Zoysia* spp.) is the most widely used warm-season turfgrass in Korea due to its durability and resistance to environmental stresses, which has a big problem to lose its greenness as the temperature gets down. To develop new longer-period greenness cultivars, it is essential to screen and monitor germplasm which maintains greenness as the temperature lowers. Conventional methods to visually evaluate the greenness of turf is too time-consuming and laborious and subjective because of the different results by raters. Therefore, in this study, we demonstrate an objective and efficient method to screen maintaining longer greenness germplasm using RGB images and multispectral images. From August to December, time-series data were acquired and calculated green cover percentage (GCP) and NDVI (normalized difference vegetation index) values of germplasm from RGB images and multispectral images by applying a vegetation index, respectively ExG (excess green) and NDVI. The result showed significant differences in GCP and NDVI among germplasm ( $p < 0.05$ ). The GCP, which evaluated the quantity of greenness by counting pixels of the green area from RGB images, exhibited maintenance of greenness over 90% for August and September but, sharply decrease from October. As time went by, the NDVI values, which showed the quality of greenness, was also declined, but not sharply. In san208, it was observed to show over 90% GCP and high NDVI values. In san9dangugdae, it showed the highest GCP until October, although the lowest NDVI values simultaneously. Significant correlation coefficients ( $r$ ) were observed in only November ( $r = 0.78$ ). Consequently, the results of this study suggest that the complementary



use of two indicators, GCP and NDVI, could be an efficient method for objectively assessing the greenness of turf both quantitatively and qualitatively.

## I. 서 론

잔디 (turfgrass)는 화분과 (*Poaceae*)에 속하는 키가 낮게 자라는 유형의 다년생 초본을 말하며, 전세계적으로 10세기 이전부터 사람들의 삶의 질을 향상시키기 위해 기능적, 심미적으로 쓰여 온 매우 가치 있는 식물이다 (Beard and Green, 1994). 이들은 생육에 적합한 기후 조건(온도, 강수량 등)에 따라 한지형 잔디와 난지형잔디로 분류된다 (Beard, 1998; De, 2017). 한지형잔디는 온대, 아한대 기후를 가진 서늘한 유라시아 지역이 원산지로 10℃~25℃ 사이에서 잘 자라며 *Agrostis*속, *Festuca*속, *Lolium*속, *Poa*속 등이 있다. 난지형잔디는 따뜻한 열대, 아열대 기후를 가진 주로 적도 주변 지역이 원산지이며, 25℃~35℃ 사이에서 생육이 좋고 *Cynodon*속, *Paspalum*속, *Zoysia*속, *Stenotaphrum*속, *Buchloe*속 등이 있다. 잔디는 광합성 작용에 따라서도 구분되는데, 한지형잔디는 C3형 식물, 난지형잔디는 C4형 식물로 분류된다 (Xie et al., 2020). C3형 식물 (한지형 잔디)은 C4형 식물 (난지형 잔디)보다 낮은 광보상점과 광포화점을 가지는데 이는 한지형잔디가 빛이 적은 조건에서도 내성을 가질 수 있는 이유가 된다. C4형 식물은 C3형 식물에서는 볼 수 없는 특별한 잎 내부 구조, 크란츠 구조 (kranz anatomy)를 보이며 C3형 식물보다 더 많은 엽록체를 가지고 있고, C3형 식물보다 탄소 고정과 광 이용이 효율적이기 때문에 온도가 높고 강한 빛 조건에서 C3형 식물과 다르게 광합성이 가능하다.

잔디가 자라는 동안 다양한 스트레스들이 잔디의 성장을 저해하고 잔디의 품질을 감소시키는 문제를 가져 온다 (Martínez-Espinoza, Burpee, and Waltz, 2009). 이렇게 잔디에 부정적인 영향을 주는 스트레스들은 크게 생물적, 비생물적 스트레스로 구분된다. 생물적 스트레스는 곰팡이, 세균, 해충 등 살아있는 생물에 의한 것을 말한다. 대표적으로 곰팡이에 의한 병으로는 라이족토니아마름병 (large patch) (Shim, Kim, and Kim, 1994), 세균에 의한 병으로는 세균성 위조병 (bacterial wilt) (Sarkar and Chaudhuri, 2016), 해충에 의한 피해로는 검거세미나방 (*Agrotis ipsilon*) (Lee and Potter, 2015) 등이 있다. 반면, 비생물적

스트레스는 생물이 아닌 것에 의한 스트레스로 잔디가 자라고 있는 주변 환경으로부터 영향을 받아 발생하는 것을 말한다. 예를 들어, 너무 건조하거나 물이 많은 경우 (Loka et al., 2019), 온도가 너무 높거나 낮은 경우 (Huang, DaCosta, and Jiang, 2014), 빛이 부족한 경우 (Jiang, Duncan, and Carrow, 2004), 토양 내 염 농도가 높은 경우 (Koch and Bonos, 2011) 등이 있으며 고온일 때 건조 스트레스가 동시에 수반될 수 있듯이 한 번에 여러 개의 스트레스가 동시에 발생할 수 있다 (Tester and Bacic, 2005).

사계절이 뚜렷한 특징을 가지고 있는 우리나라는 예로부터 장례 문화로 묘지에 잔디를 주로 사용해왔으며 최근에는 그 쓰임이 더욱 확대되어 공원, 도심녹화, 산림훼손지, 도로경사면, 골프장 등 다양한 분야에서 잔디가 활용되고 있다 (Bae et al., 2010; Chang et al., 2017). 특히, 우리나라는 난지형잔디에 속하는 한국잔디류 (Zoysia속)를 많이 이용하고 있는데 한국잔디류는 생육기인 4월 중순부터 10월 중순까지 약 6개월 동안 녹색을 유지하여 온도가 낮아지는 겨울철에는 휴면기에 들어가 점점 녹색을 잃는 문제가 있다 (Bae et al., 2010). 이에 한국잔디류의 녹기를 유지하는 특성에 대해 여러 차례 연구가 이루어져 왔는데, Rim 등 (2003)의 연구에서는 한국잔디류 중에서 녹기가 오래 유지되는 특성을 조사한 바 있으며, Yang 등 (2021)은 온도가 낮은 겨울 동안 한국잔디류 중 녹기 연장을 보이는 잔디를 육안으로 평가하여 녹기가 우수한 품종을 개발하였다. 이처럼, 우리나라에서 쓰임이 많은 난지형잔디인 한국잔디류 중에서 겨울철에도 푸른색을 오래 유지하는 잔디에 대한 선발과 내한성 잔디 육종은 앞으로도 계속 필요하다.

잔디의 품질 (색, 밀도, 균일함 등)을 평가 하는데 있어 기존에는 주로 전문가에 의한 시각적 평가 (visual ratings)가 이루어졌으며 우리나라와 대부분의 나라에서 미국의 NTEP (National Turfgrass Evaluation Procedure)에 따라 진행되어 왔다 (Bell, Martin, Koh, and Han, 2009; Horst, Engelke, and Meyers, 1984). 그러나 이러한 시각적인 평가는 시간이 오래 걸리고 많은 노동력을 요구하여 대량의 샘플을 평가하기 어려울 뿐만 아니라 전문가마다 평가 결과의 차이가 상이하여 매우 주관적이며 재현 가능성이 낮다는 단점이 있다 (Bell et al.,

2009). 이에 기존의 평가를 대체할 보다 객관적이면서 정확한 방법으로 이미지 기반의 식물 표현형 (plant phenotyping)을 평가하는 기술들이 개발되었고 최근 들어 크게 주목 받고 있다 (Li, Guo, Li, Chen, and Li, 2020).

식물 표현형은 식물과 환경 간의 상호관계를 이해하고 다루는 중요한 분석 도구로, 식물의 특징이 되는 각각의 표현형적 매개변수들을 정량화 시키는 방법을 말한다 (Pieruschka and Schurr, 2019). RGB (Red, Green, and Blue) 카메라, multispectral 센서, fluorescence 센서 등 다양한 센서를 통해 획득된 식물의 이미지는 컴퓨터로 분석되기 때문에 객관적이며 재현성이 높고, 기존의 전통적인 식물 표현형 방법보다 시간과 노동력이 적게 소모되어 방대한 양의 데이터를 처리할 수 있다. Richardson 등 (2003)은 잔디 연구에 있어 정확한 피복 면적을 평가하기 위해 *Zoysia*속, *Cynodon*속 잔디의 컬러 이미지를 디지털 이미지 분석 도구인 SigmaScan을 이용하여 분석하였고 이러한 디지털 이미지 분석이 잔디 피복을 평가와 상당히 일치하는 결과 ( $R^2=0.99$ )가 나왔다. Zhang 등 (2019)의 연구에서는 야외 잔디 포장에서 무인 항공기 (unmanned aerial vehicle, UAV) 기반으로 획득된 RGB 이미지와 다분광 이미지로 색지수 (color index)와 식생지수 (vegetation index, VI)를 계산해냈고 그 결과 무인 항공기 기반의 이미지로 나온 NDVI (normalized difference vegetation index)와 VARI (Visible Atmospherically Resistant Index)이 지상 실측값인 녹색 커버 비율 (각각  $R^2=0.86$ ,  $R^2=0.87$ )과 높은 상관관계 있음을 보여주었다.

따라서 본 연구에서는 RGB 카메라와 다분광센서를 이용해 대한민국 전국에서 수집한 야생잔디를 대상으로 시계열적인 영상을 획득한 후 이를 보정하여 생육기에서 비 생육기로 접어들어 따라 잔디 녹색 영역의 변화를 관찰하고 RGB영상 기반의 녹기율과 다분광영상 기반의 NDVI를 이용해 잔디의 녹기를 평가 해보려 한다.

## II. 연 구 사

### 1. 한국잔디

한국잔디류 (zoysiagrass)는 우리나라에서 많이 이용되는 난지형잔디로 Zoysia속에 속하며 약 16종으로 구성되어 있고, 온대 기후를 보이는 한국, 일본 등 동북아시아 지역부터 열대 기후를 보이는 필리핀, 태국 등 동남아시아 지역까지 태평양을 따라 넓게 자생하여 분포되어 있다 (Cai et al., 2005; Choi, Ahn, and Yang, 1997). 지상포복경과 지하경이 옆으로 뻗는 성질이 강해 낮게 유지되어 자라며, 5~6월에 개화하고 6~7월에 결실하지만 발아율이 높지 않아 대부분 영양번식에 의존하는 특징이 있다. 한국잔디류는 4월 중순부터 10월 중순까지, 약 6개월간의 생육기간동안 푸른 상태를 유지하지만 겨울철에는 생육을 중지하고 휴면에 들어가 비 생육기동안에 황색 또는 황갈색의 상태를 보인다 (Bae et al., 2010). 한국잔디류는 내병성, 내충성, 내한성, 내서성, 내마모성 등 생물적, 비생물적으로 인한 스트레스에 대하여 내성이 강하며 관리가 용이하다는 장점이 있는 반면 동시에 성장 속도가 늦으며, 상해 후 더딘 회복 속도, 춘기 그린업의 지연과 같은 단점을 가지고 있다 (Schwartz, Kenworthy, Engelke, Genovesi, and Quesenberry, 2009).

Choi 등 (1997)의 연구에 따르면, 국내에서 자생지가 관찰된 한국잔디류의 종류로는 들잔디 (*Zoysia japonica*), 금잔디 (*Z. matrella.*), 갯잔디 (*Z. sinica*), 왕잔디 (*Z. macrostachya*), 중지류 (hybrid zoysiagrass)가 있다고 보고되었다. 이 중 들잔디는 다른 잔디에 비해 다소 거친 질감을 나타내고 낮은 밀도 형성을 보이지만 환경에 적응력이 강한 특성을 가져 다양한 방면에서 쓰임이 적합하기 때문에 국내 이용의 대부분을 차지하고 있다. 금잔디 역시 들잔디와 마찬가지로 국내에서 많이 쓰이고 있으며 가는 잎으로 인한 부드러운 질감과 우수한 뗏장 형성 능력으로 잔디 품질면에서 높은 평가를 받고 있다. 갯잔디와 왕잔디의 경우

아직까지 상업적으로 이용되고 있지는 않지만 내염성이 강한 특성이 있어 앞으로의 육종 재료로써 그 가치가 높게 평가되고 있다. 중지류는 들잔디와 금잔디, 들잔디와 갯잔디의 중간적 특성을 보이는 잔디로 우리나라 남부지방에서 자라고 있는 것으로 확인되었다. 비단잔디 (*Z. tenuiflora*)의 경우, 국내에서 자생지가 확인되지 않았지만 이용되고 있다.

이러한 한국잔디류는 예로부터 우리나라 문화에 맞게 국내 전역에서 다방면으로 활용, 식재 되었으며 최근에는 그 이용범위가 더욱 확대되어 일상 생활에서 쉽게 접할 수 있게 되었다. 이에 따라 한국잔디류에 대한 연구가 계속해서 진행되어 왔는데, Hyun 등 (2012)은 한국잔디류 연구 초창기인 1960년대부터 최근 2010년대까지 국내 학술지에 발표된 274편의 논문들을 크게 식물학적 분야 (세분류: 식물학적 접근, 생리·생태, 유전 육종학적 접근), 재배학적 분야 (세분류: 조성, 경종적 재배, 시비, 생장조절제, 병·충·잡초방제), 환경학적 분야 (세분류: 기후 등 환경요소, 토양 분야)로 나누어 정리, 분석하였고, 이를 통해 한국잔디류의 연구동향 분석을 발표한 결과 환경학적 분야로 연구된 논문 수가 전체 논문 중 38편으로, 식물학적 분야 (102편)와 재배학적 분야 (134편)에 비해 연구가 활발하지 않음을 보여주었다. 그러나 최근 급변하는 기후변화로부터 오는 환경적인 스트레스와 관련된 연구는 활발하지 않아 관련 연구가 시급하다. 이 중에서도 특히 경제적 가치가 높은 겨울철 녹기 연장에 대한 연구 또한 병행되어 한국잔디류의 단점을 보완하는 연구가 활발히 진행되어야 할 필요가 있다.

## 2. 잔디에서 내환경성 연구

### 2.1. 기존 방법

잔디를 둘러싸고 있는 주변 환경은 잔디의 생육에 밀접한 영향을 주며, 수분, 온도, 광, 토양 등 환경적인 요인들이 건조 (drought), 열 (heat), 저온 (cold), 음달 (shade), 고염 (high salt) 등 생육에 있어 적합하지 않게 될 경우, 스트레

스가 되어 잔디의 생장을 억제하고 품질을 저하시키는 결과를 일으키게 된다 (Huang, DaCosta, and Jiang, 2014a; Lee, Carrow, and Duncan, 2005). 이에 잔디의 내환경성을 향상시키기 위해 많은 연구자들이 각각의 환경적인 스트레스에 대해 생리학적, 형태학적, 물질대사 등 다양한 측면에서 잔디의 반응을 연구하였고 (Fan et al., 2020), 이러한 스트레스에 대해 변화된 반응을 지표로 여러 가지 파라미터들을 측정하여 내환경성이 우수한 잔디를 알아내는 실험이 진행되어 왔다.

Cui 등 (2015)은 서로 다른 6개의 지역에서 수집된 페레니얼 라이그라스 (*Lolium perenne* L.) 계통 잔디들을 건조 스트레스에 노출시켜 표현형적 다양성을 비교하였는데, 생장 감소, 광합성 감소, 수분 함량 감소, 전해질 누출 증가 등 내건성 평가에 자주 이용되는 건조에 대한 반응들을 평가하기 위해, 잎의 시들 정도 (leaf wilting)와 잔디의 키를 각각 시각적인 평가, 도구를 이용해 측정하였고, 광합성 효율에 대해서는 형광 측정기를 이용해 무작위로 잎을 선택한 후 엽록소 형광을 측정하였으며, 또한 잎의 수분 함량과 전해질 누출을 측정하기 위해서 잎을 채취한 후 무게를 제거나, 막자사발을 이용해 가는 등 일련의 수작업 과정을 거쳐 데이터를 획득하였다. 그러나 Kimball 등 (2017)과 Qiu 등 (2018)은 위와 같은 기존의 실험실 기반의 방법들은 숙련된 기술을 필요로 하며, 평가자가 다르기 때문에 결과가 일관적이지 못하고, 샘플을 채취함에 있어 파괴적이며, 상당한 시간과 노동력이 소요되어 많은 샘플을 다루는데 한계가 있다고 발표하였다. 이에 기존의 방법을 대체할 새로운 방법으로 화상 기반의 연구가 개발되어 왔고, 연구자들 사이에서 주목받기 시작하였다.

## 2.2. 화상 기반 연구

식물의 이미지 (Imaging plant)는 단순히 식물 사진 촬영을 뛰어넘어 광자 (photon) 흡수, 반사, 방출과 같은 식물과 빛 사이의 상호관계를 통해 식물의 표현형을 양적으로 수치화 시켜 측정하는 것을 말하며 (Li, Zhang, and Huang, 2014), 이러한 화상 기반의 표현형 기술을 실행하기 위해서는 생물학은 물론 센

서학, 컴퓨터 비전, 수학, 전자 공학 등 이외에도 다양한 학문의 통합과 이해가 필수적이다 (Qiu et al., 2018). 또한, 이는 비접촉, 비파괴적인 방법으로 식물의 해부학적, 생리학적인 특성을 객관적으로 얻어 낼 수 있으며, 높은 정확도와 감도, 그리고 처리량 측면에서 인간의 한계를 능가함을 보여준다 (Rousseau et al., 2015). Zhang 과 Huang (2014)와 Qui 등 (2018)은 이미지 기반의 식물 표현형에서 디지털 카메라, 다분광센서, 열화상, 엽록소형광 센서 등 여러가지 센서 중에 어떤 센서를 이용하는지에 따라 색상, 생물량, 수분 함량, 캐노피 온도, 엽록소 형광 등 알아낼 수 있는 식물의 특성이 다름을 정리하여 발표하였다.

Büchi 등 (2018)은 두 가지 이미지 분석 툴 (Assess 2.0, Canopeo)을 사용하여 디지털 카메라로 획득한 피복식물들 간의 캐노피 커버 면적을 시각적인 평가와 비교하는 실험을 하였으며 이 두 평가간 양의 관계에 있음을 확인하였다. 그러나 획득한 이미지의 품질 면에서 더욱 객관적인 결과를 얻어내기 위해 빛과 그림자와 같은 환경적인 제약을 통제할 수 있는 방법이 필요함을 인식하였고, 단순히 디지털 이미지 분석 도구로만 피복식물과 잡초를 구분하는데 한계가 있어 정확한 캐노피 면적을 위해서는 또 다른 과정이 있어야 함을 강조하였다. Bremer 등 (2011)의 연구에서는 잔디의 품질을 평가하는데 다분광센서를 통해 얻은 잔디의 캐노피 영상을 이용하여 NDVI를 산출하였고, 이는 시각적인 평가로 나온 잔디의 녹색 커버 면적과 매우 높은 상관관계 ( $R^2=0.88$ ,  $p < 0.0001$ )를 보여주었다. 또한 NDVI를 구성하는 RED상과 NIR영상 중 RED영상이 잔디 간 밀도 차이와 엽록소 함량에 영향을 미친다는 것과 특히 NIR영상을 통해 스트레스 증상 발현 전 식물의 수분 스트레스 상태를 유추하는 추가적인 연구가 필요함을 언급하였다.

### 2.3. 내한성과 관련된 화상 기반 연구

저온 스트레스는 잔디에 광저해 (photoinhibition)로 인한 광합성 감소, 세포 내 탄수화물 축적, 기온이 영하 이하에서 세포 내, 외로 생성되는 얼음결정에 의한 세포막 파괴로 탈수 (dehydration), 세포막 구성의 변화, 단백질 변성을 일으



키며 심각한 경우 잔디를 고사하게 하는 매우 해로운 환경적인 스트레스 요인 중 하나이다. 저온에 대해 저항성인 잔디는 탄소 대사와 관련된 효소의 활성화, 세포막을 구성하는 지질에서 불포화지방산 함량, 그리고 당, 유당, 전분과 같은 비구조성 탄수화물 함량, 세포막 안정성 유지와 활성산소종을 소거하는 프롤린 (proline)의 축적이 감수성인 잔디보다 높다 (Huang, DaCosta, and Jiang, 2014b). 또한, 저온 스트레스에서 잔디는 2차 대사산물로 항산화물질인 안토시아닌 (anthocyanin)을 생성, 축적하여 산화적인 피해를 줄이며 이것은 겨울철 잔디의 색상이 옥안으로 붉게 보이는 것으로 확인된다 (Jin et al., 2022).

이러한 저온 스트레스의 반응들은 각각 지표로 삼아 다양한 센서를 활용하여 내한성 화상 기반의 연구를 진행할 수 있다. 대표적으로 잔디의 색상, 녹기율을 관찰하기 위해 RGB센서로 얻은 디지털 이미지를 분석하는 방법과 (Büchi, Wendling, Mouly, and Charles, 2018; Karcher and Richardson, 2001), 다분광 센서 (multispectral sensor)를 이용해 잔디 품질 (색상, 밀도 등)과 식생 활력을 보는 방법이 있다 (Leinauer, VanLeeuwen, Serena, Schiavon, and Sevostianova, 2014). 특히, 다분광 영상은 파장대마다 다르게 얻어진 영상으로 광합성 색소 함량, 캐노피 구조, 엽면적지수 등을 알 수 있으며 (Slaton, Raymond Hunt Jr, and Smith, 2001), 이들을 다양하게 조합하여 산출해낸 여러 식생지수들로 식물의 수분 및 영양 상태를 확인할 수 있어 환경적인 스트레스를 보는데 많이 이용된다 (Walter, Liebisch, and Hund, 2015). 또한 형광 센서 (fluorescence sensor)를 통해 잎의 엽록소 형광을 측정하여 저온에서의 광합성 기구의 상태를 확인할 수 있으며, 야외 포장에서는 주변 빛과 온도가 일정하지 않은 이유로 레이저 유도된 엽록소 형광 측정 방법이 제안되었다 (Thoren, Thoren, and Schmidhalter, 2010). 이외에도 LIDAR/laser센서 (light detection and ranging or laser scanner)를 통해 나온 3D 영상으로 식물의 구조, 생물량 등을 입체적으로 분석하여 저온 스트레스에 노출된 잔디의 형태적인 변화에 대한 실시간 연구가 가능할 것으로 보인다 (Geldhof, Pattyn, Eyland, Carpentier, and Van de Poel, 2021).

### Ⅲ. 재료 및 방법

#### 1. 잔디 재배

본 연구를 수행하기 위하여 제주도 제주시 아라동 제주대학교 내에 위치한 시설하우스에 잔디 재배지를 조성하였다. 실험에 이용된 잔디는 제주대학교 산림생명자원 보존포에서 채취된 유전자원으로 2020년 7월 29일부터 8월 6일까지 약 9일에 걸쳐 이식되었다 (Table 1). 포트는 32구 트레이 (1구당 가로 5cm, 세로 5cm, 높이 12cm)를 이용하였고 여기에 농우바이오 수도용 상토와 보금자리 수도용 상토를 채워 넣었으며, Fig. 1과 같이 트레이 하나 당 가운데 8구를 비운 후 양 옆 12구에 각각 한 자원을 구당 1개씩 총12개 삽목하였다. 잔디가 식재된 트레이는 지상에서 약 70cm 떨어진 높이의 배드 위에 무작위로 배치시켰다. 이후 잔디가 정상적으로 활착하도록 스프링 쿨러와 호스를 이용하여 관수를 실시하였다.

잔디 관리는 환풍기 설치와 시설하우스의 측면 창은 항상 열어 두어 외부 환경과 비슷한 온도에서 잔디가 자랄 수 있도록 하였다 (Fig. 2). 또한 잔디가 높은 밀도를 형성하며 성장할 수 있도록 주기적으로 시기에 맞게 2021년 5월과 6월에 한 번씩 총 2회 시비를 실시하였고, 2021년 4월부터 9월까지 7회의 예초를 실시하였다 (Fig. 3). 무엇보다도 한 트레이 내에 두 자원이 섞이지 않도록 하기 위해 지정된 구역에서 넘어오는 포복경을 잘라주는 작업을 매일 확인하며 잔디 유전자원을 관리하였다.

Table 1. Twenty turf germplasm used in this study.

No.	Germplasm	Species	No.	Germplasm	Species
1	aewolbudu	-	11	san2daejogu	-
2	san41	<i>Zoysia tenuifolia</i> Willd. ex Trin.	12	san568	<i>Zoysia tenuifolia</i> Willd. ex Trin.
3	san303	<i>Zoysia tenuifolia</i> Willd. ex Trin.	13	san86	<i>Zoysia japonica</i> Steud.
4	san45	<i>Zoysia japonica</i> Steud.	14	suncheon	-
5	san351	<i>Zoysia tenuifolia</i> Willd. ex Trin.	15	san9dangugdae	-
6	san208	<i>Zoysia tenuifolia</i> Willd. ex Trin.	16	san184	<i>Zoysia japonica</i> Steud.
7	san177	<i>Zoysia tenuifolia</i> Willd. ex Trin.	17	san180	<i>Zoysia japonica</i> Steud.
8	san254	<i>Zoysia tenuifolia</i> Willd. ex Trin.	18	san135	<i>Zoysia japonica</i> Steud.
9	san128	<i>Zoysia japonica</i> Steud.	19	san218	<i>Zoysia japonica</i> Steud.
10	san398	<i>Zoysia tenuifolia</i> Willd. ex Trin.	20	san187	<i>Zoysia japonica</i> Steud.

- : not sure what species is.

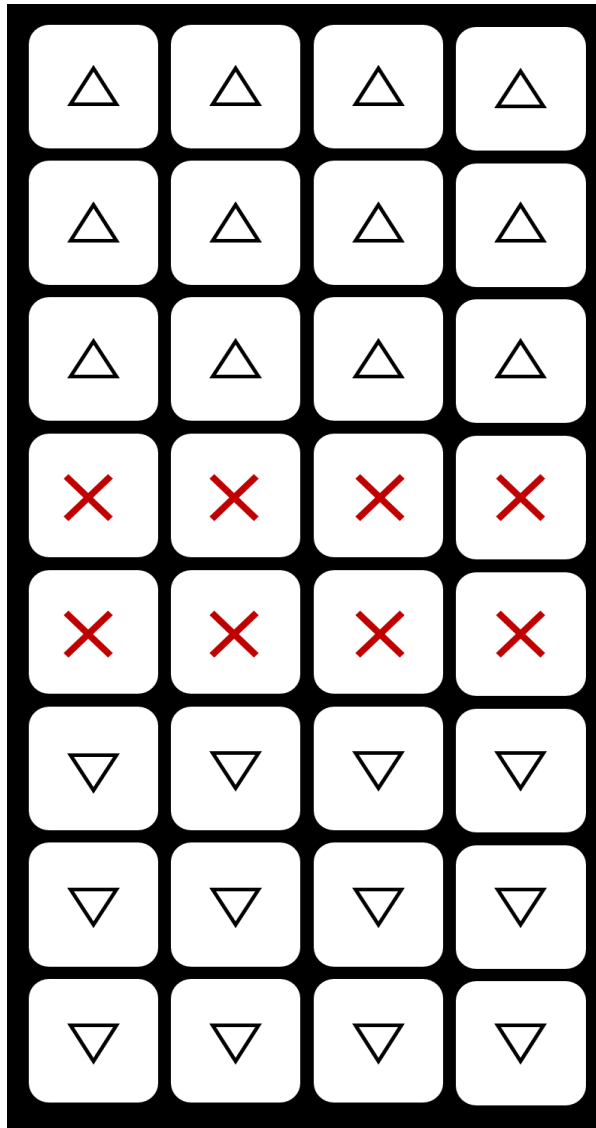


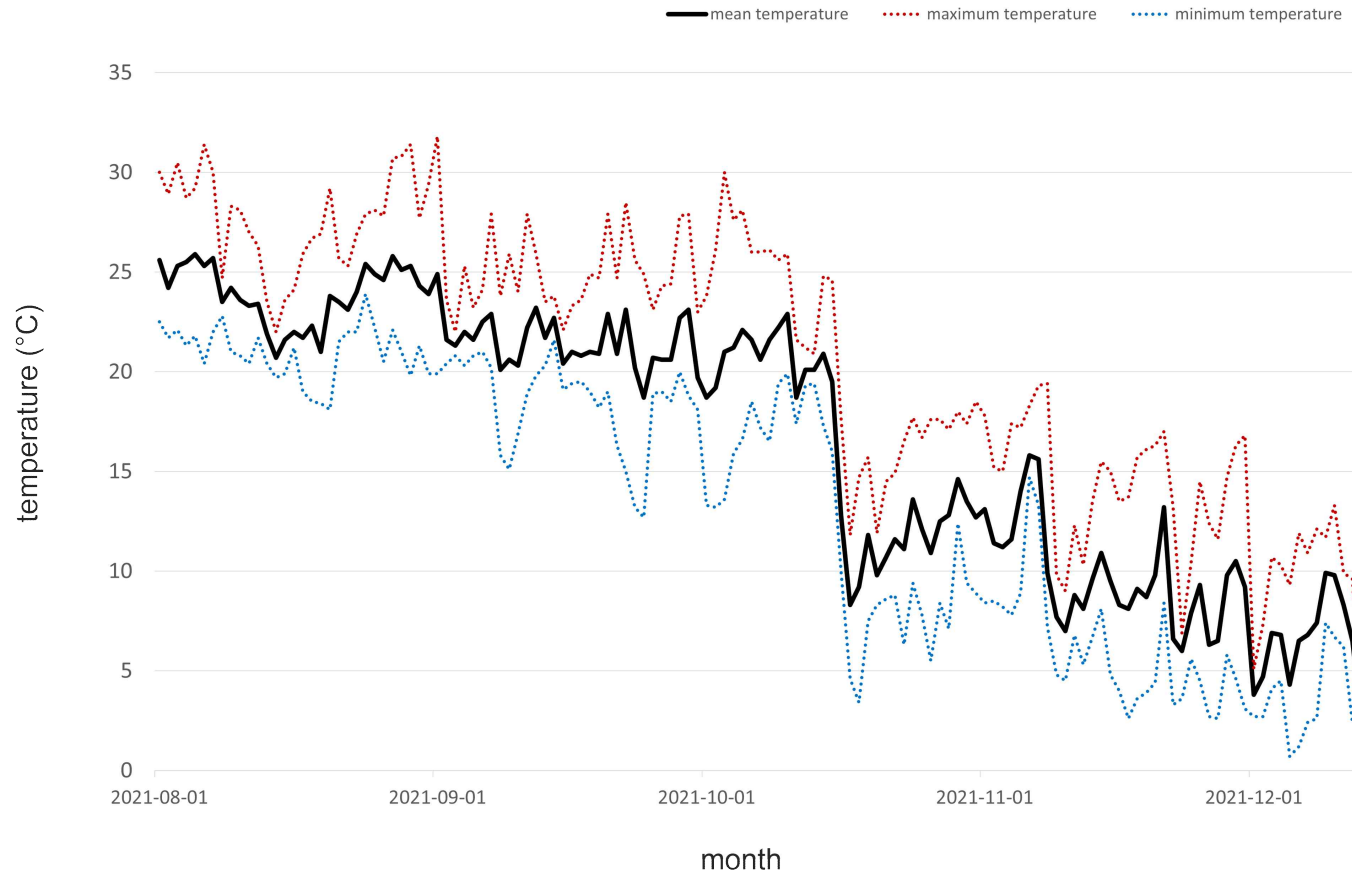
Fig. 1. Two germplasm that were different each other planted In one pot.

Δ : one germplasm.

▽ : the other germplasm that is different Δ.

X : no germplasm, it is empty.

Fig. 2. Temperature near the turf greenhouse from where the automatic weather system in Sancheondan provided.



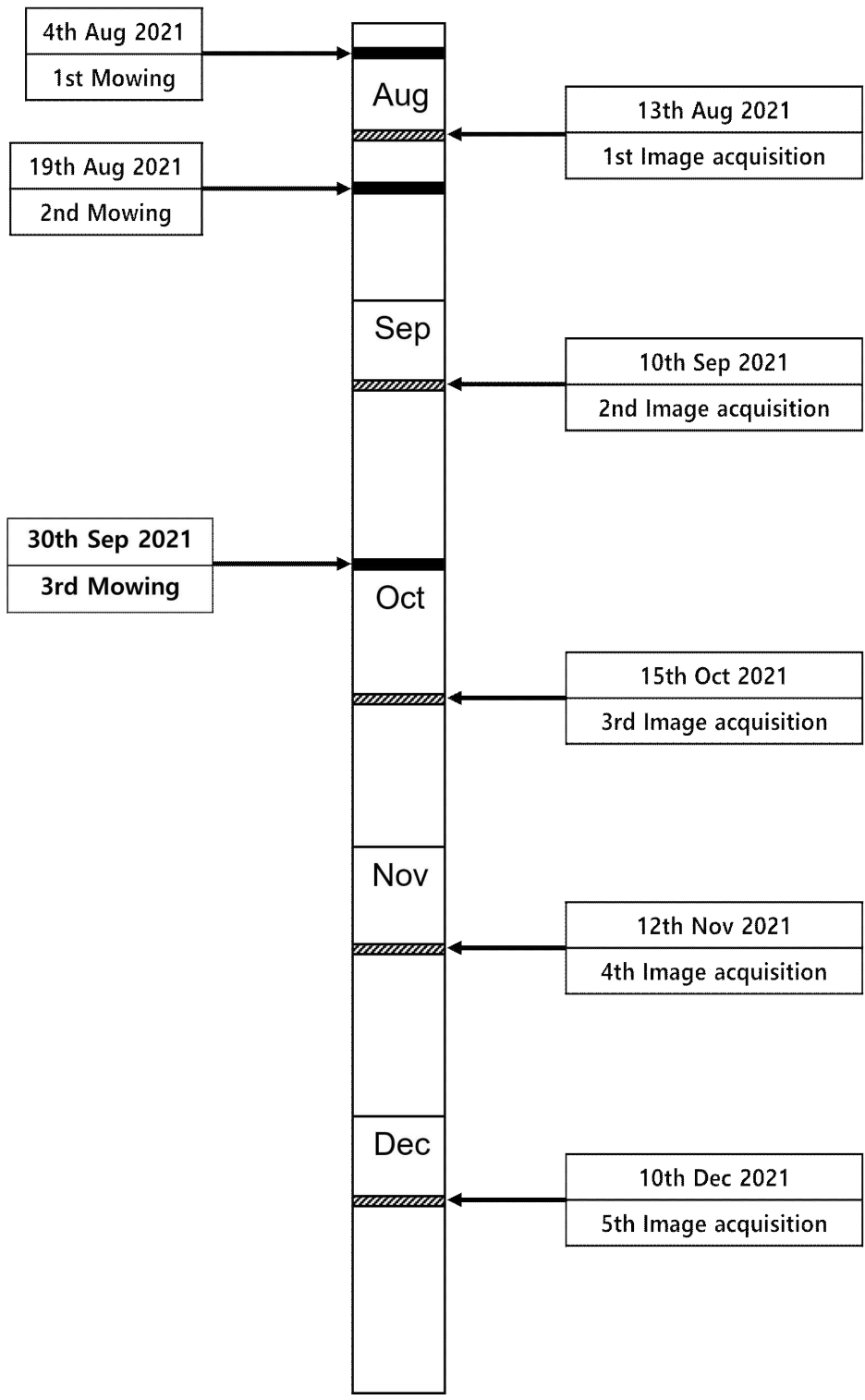


Fig. 3. The schedule of mowing and data acquisition in this study.

## 2. 이미지 획득

1년생 잔디를 대상으로 2021년 8월부터 12월까지 5개월간 매달 중순(8월 13일, 9월 10일, 10월 15일, 11월 12일, 12월 10일)에 한번씩 촬영을 진행하였다. 실험에 쓰인 촬영 장비로 무인항공기인 Phantom 4 Multispectral (WM336, DJI)부착된 6개의 1/2.9" CMOS 센서를 이용하였으며 (Fig. 4), 각 센서의 과장 영역대 정보는 Table 2와 같다. 본 촬영에 앞서 잔디 외에 다른 식물이 영상에 나오지 않게 하기 위하여 잡초 제거와 모래를 뿌려 이끼를 가리는 작업이 미리 수행되었다.

촬영 방법은 DJI사에서 제공하는 어플인 DJI GO pro을 실행시킨 후, 카메라 설정으로 ISO값은 400, 화이트밸런스는 자동으로 맞추고 13시부터 시작하여 약 2시간 동안 촬영하였다. 이때 잔디 촬영을 위해 맞춤 제작된 전용 기구 위에 센서가 부착된 드론을 올려 놓아 잔디와 센서가 수직으로 2m 떨어진 위에서 고정된 간격을 유지하며 데이터가 획득되도록 하였다 (Fig. 5A). 또한 기구를 옮겨 잔디를 촬영할 때마다 방사 보정 기준 판(Type 822 Woven polyester target fabric, Group 8 Technology, United states)도 같이 이동시켜 모든 이미지에 방사 보정 기준 판이 보이도록 하였다 (Fig. 5B). 이미지는 센서에 따라 파일 형식이 다르게 저장되었는데 RGB 영상은 JPEG 확장자로, 다분광 영상은 TIFF 확장자로 저장되었으며 크기는 센서간 차이 없이 1600×1300 화소수로 모두 동일하게 저장하였다. 이렇게 총 5회차에 걸쳐 285장 (1회당 57장)의 시계열적인 데이터가 획득하였다.



Fig. 4. RGB camera sensor and multispectral sensor mounted Phantom 4 Multispectral.

Table 2. Sensor information of Phantom 4 Multispectral.

Band	Central wavelength (nm)	Wavelength width (nm)
blue	450	32
green	560	32
red	650	32
red edge	730	32
near-infrared	840	32



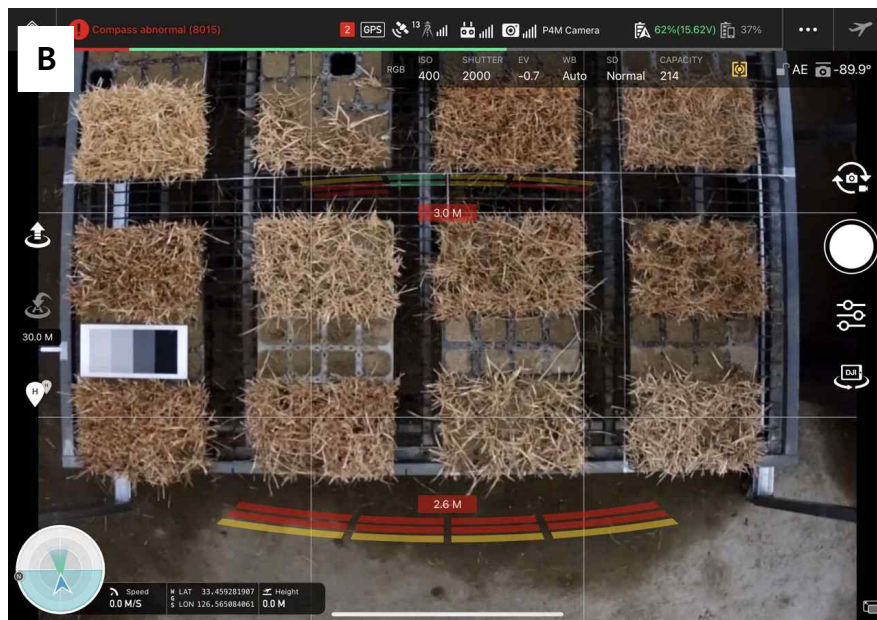


Fig. 5. Customized vehicle for turf image acquisition (A) and captured DJI GS pro application image (B) where radiometric calibration target was located in.

### 3. 이미지 전처리

이미지 분석에 앞서 필수적으로 수행되어야 할 몇 가지 전처리 과정이 있다. 첫 번째는 왜곡 보정 (distortion correction)으로, 획득된 영상을 보면 가운데가 볼록하게 솟아오른 형태로 방사형 왜곡이 되어있음이 확인된다 (Fig. 6A). 이를 해결하기 위하여 소프트웨어 Pix4D Mapper (Pix4D SA, Switzerland)를 이용해 초기 프로세싱 처리를 하여 카메라 렌즈 왜곡 보정을 실시하였다 (Fig. 6B).

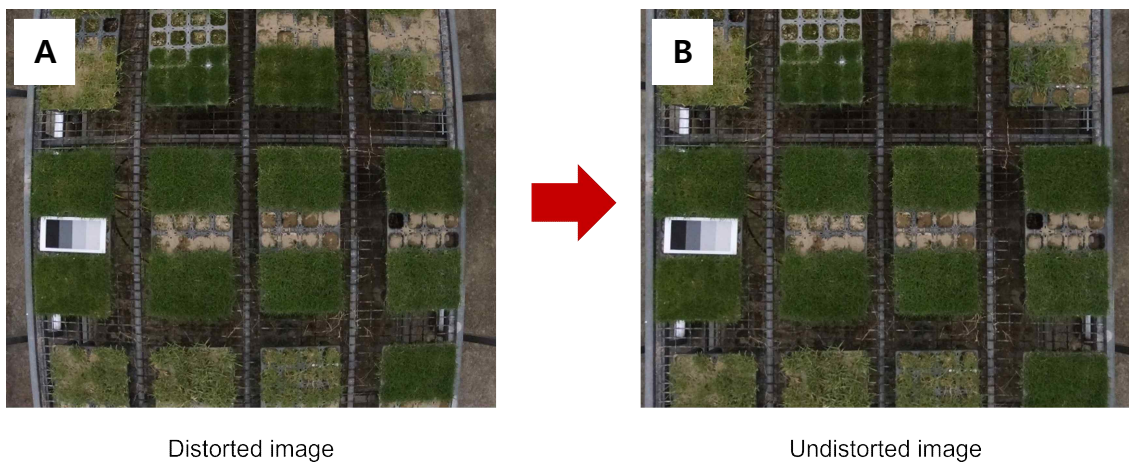


Fig. 6. Distortion correction (A) distorted image (B) undistorted image.

Fig. 7을 보면 데이터를 획득한 날마다, 심지어 동일한 날에 획득한 데이터라도 날씨에 따라 빛 조건이 달라지는 것을 볼 수 있다. 빛 조건을 균일화하기 위해 필요한 과정이 방사 보정 (radiometric calibration)으로, 이는 영상의 디지털 숫자값과 반사율이 변하지 않고 균일한 물체 사이의 관계에서 밴드별로 나온 최적의 방정식을 가지고 영상 내의 모든 디지털 숫자값을 그 물체의 표면 반사율로 변환, 수정함으로써 실행 가능하다 (Tu, Phinn, Johansen, and Robson, 2018). 본 연구에서는 반사율이 균일한 물체에 전문적인 방사 보정용 기준 판을 이용하였으며, Group 8 Technology 제조 회사에서 방사 보정판의 표면 반사율 값을 제공 받았다. 방사보정을 하기 위해 필요한 정보인 RGB영상 카메라 스펙트럼 반응값과 다분광영상 카메라 스펙트럼 반응값은 각각 Burggraaff 등 (2019)의 연구와 Lu 등 (2020)의 연구를 통해 알 수 있었다. 마지막으로 RGB 영상과 다분광 영상의 방사 보정을 위한 각각의 선형 모델식은 Wang과 Myint (2015)의 연구에서 제시한 식을 이용하였으며, 이렇게 얻은 정보들을 가지고 각각의 영상에 대해 디지털 숫자값을 구한 후 방사 보정을 진행하였다.



Fig. 7. Various illumination of image in days.

이후, 방사 보정이 완료된 RGB영상에만 따로 영상의 밝기 값이 어두운 쪽으로 몰려 있는 픽셀의 히스토그램을 전체적으로 균등하게 퍼주는 히스토그램 평활화 (Histogram Equalization) 작업을 MATLAB (R2014b, MathWorks)을 이용하여 진행하였다 (Fig. 8).

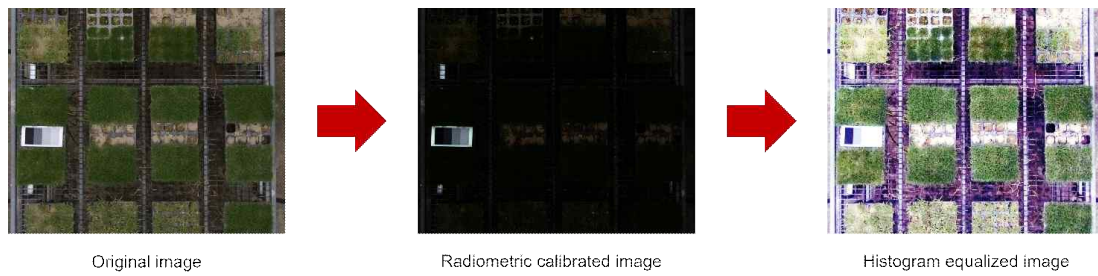


Fig. 8. Image pre-processing in RGB images (original image, radiometric calibrated, histogram equalized image).

방사 보정이 완료된 다분광영상의 경우에는 따로 NIR영상을 기준으로 Red영상과 차이나는 픽셀 수 만큼을 이동시켜 NIR영상과 일치시키는 이미지 정렬 보정을 실시하였다 (Fig. 9). 영상의 디지털 숫자값을 얻는 과정, 방사 보정식을 적용하여 실행하는 것, 그리고 다분광영상의 위치 정렬 과정은 컴퓨터 프로그래밍 언어인 Python을 기반으로 하여 자체 제작된 소프트웨어를 이용하여 처리되었다.

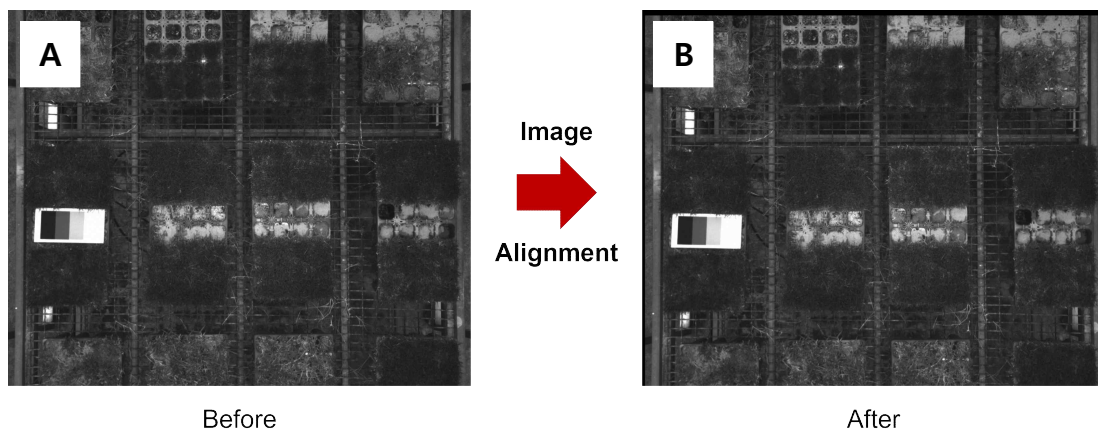


Fig. 9. Image alignment of Red image into NIR image (A) before, (B) after.

## 4. 이미지 분석

### 4.1. RGB영상 기반의 녹기율 구하기

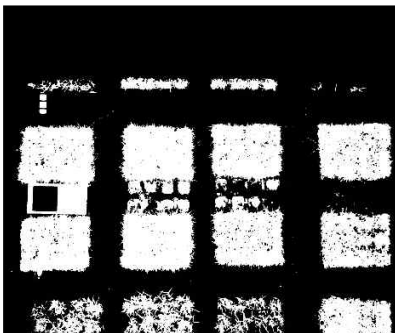
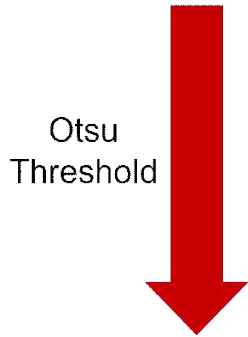
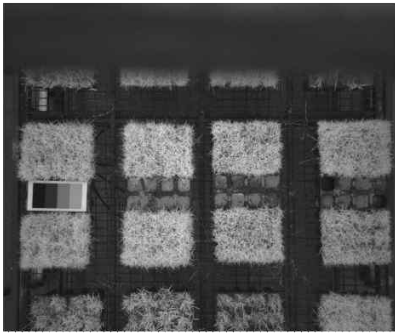
매 회차별 잔디의 녹기율을 구하기 위해서는 각각 잔디의 전체 캐노피 면적과 녹색 커버 면적을 알아야 하며 아래의 식과 같이 계산하였다.

$$\text{녹기율(\%)} = \frac{\text{잔디 내 녹색 영역 면적}}{\text{잔디 전체 면적}} \times 100$$

먼저 잔디의 전체 캐노피 면적은 NIR영상을 이용하여 구할 수 있었는데, 이는 NIR영상이 다른 영상보다 식물과 토양의 더 나은 그레이 스케일 레벨 대비를 보여주어 식물의 잎의 경계를 쉽게 찾을 수 있게 하기 때문이다 (Agostini et al., 2017). 식물의 녹색 면적은 히스토그램 평활화까지 마친 RGB영상에 색 기반의 지수 중 하나인 ExG (Excess Green)를 이용하여 MATLAB에서 녹색 영역 부분만 추출하였다. 마지막으로 잔디와 토양의 분리를 위해 MATLAB에서 NIR영상과 ExG이 적용된 RGB영상에 Otsu threshold 방법을 적용하여 영상 내 픽셀이 검정색과 하얀색, 두 개의 종류로만 구분되게 하였으며, 본 실험에서는 검정색 픽셀이 배경, 하얀색 픽셀이 잔디 혹은 잔디의 녹색면적을 나타내도록 하였다 (Fig. 10).

이후 Fig. 11에서와 같이 영상에서 잔디 부분에만 48.5×132 화소 크기의 직사각형 모양 관심영역을 반복 수대로 4개 지정하여 그 안에 있는 하얀색 픽셀 개수를 세어 잔디의 전체면적과 녹색면적을 알아냈으며, 이는 Python을 기반으로 하여 본 실험을 위해 자체 개발된 소프트웨어를 이용하여 진행되었다.

NIR image



RGB image

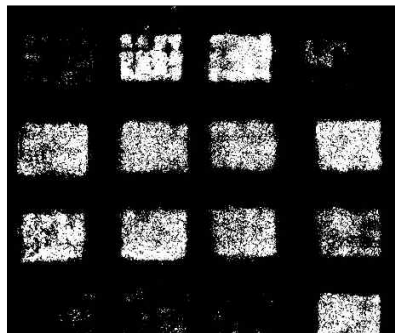
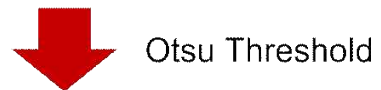
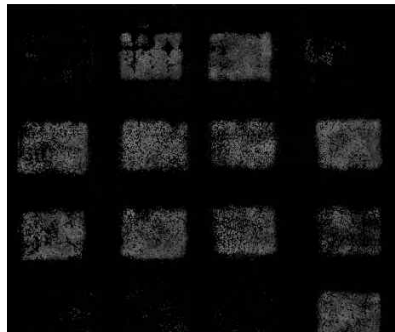


Fig. 10. Applying Otsu threshold in NIR images and RGB images.

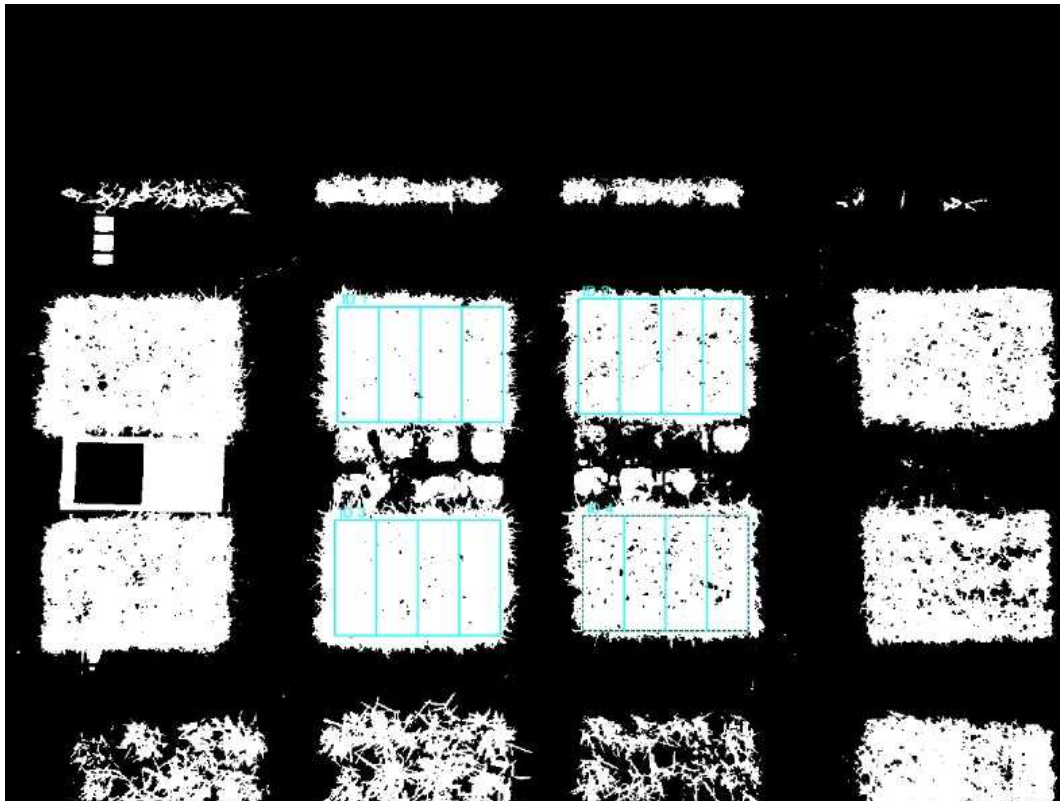


Fig. 11. Region of interest (ROI) in NIR images for extracting turf canopy area.

## 4.2. 다분광영상 기반의 NDVI 구하기

시간의 흐름에 따라 잔디의 스트레스 정도를 모니터링 하기 위해 본 연구에서는 다양한 식생지수 중 가장 폭넓게 이용되는 NDVI (normalized difference vegetation index)를 택하였다. 이는 건강한 식생일수록 가시광선의 Red영역에서 빛 흡수가 많이 되고 근적외선 영역에서는 반사가 많이 되는 것을 기본 원리로 하여 엽면적지수, 엽록소함량, 광합성 흡수 복사량, 식생의 성장 상태, 활력도 등을 알 수 있는 지수이다 (Cha et al., 2011). 잔디의 NDVI를 구하기 위해 방사 보정된 Red영상과 NIR영상을 아래의 식에 대입하여 산출하였다.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

이후 NDVI 영상 내에서 잔디 부분에만 녹기율에서 관심영역을 지정했던 것과 동일한 크기의 관심영역을 4개 지정하여 배경은 제외하고 잔디에 해당하는 픽셀의 NDVI값을 추출한 후 그것들의 평균값으로 각 잔디에 대한 NDVI를 나타내었다 (Fig. 12). 위 과정 역시 본 실험을 위해 자체 개발된 Python기반의 소프트웨어를 이용하여 진행되었다.



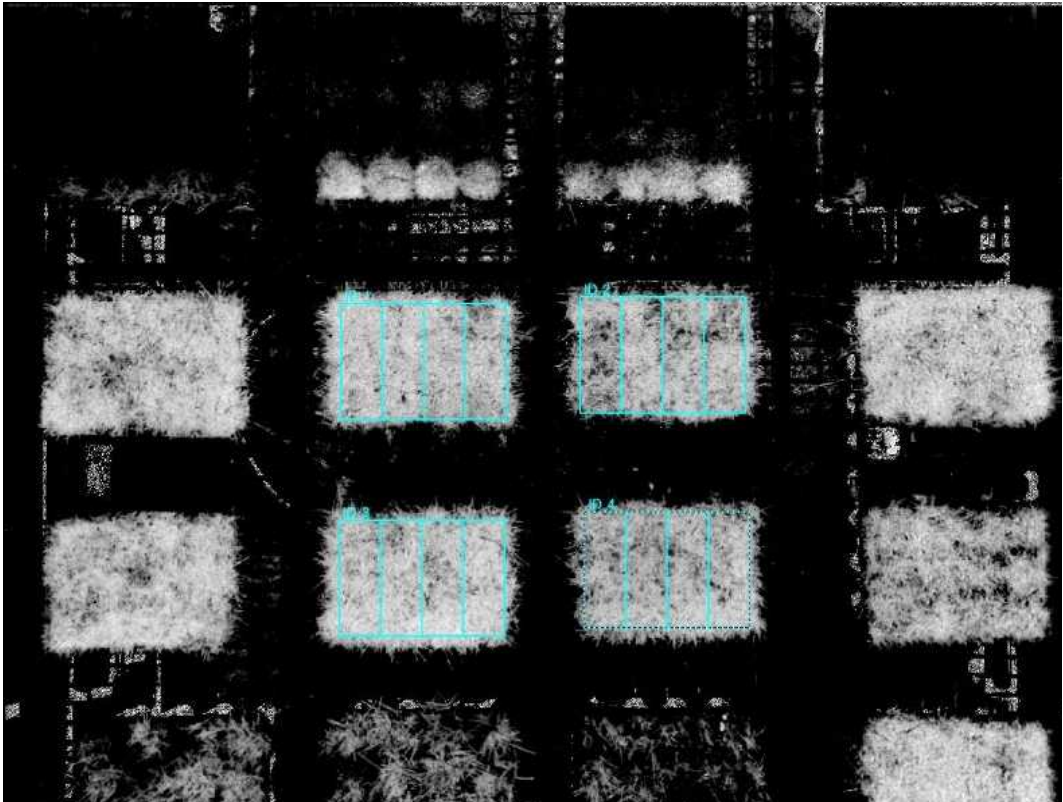


Fig. 12. Region of interest(ROI) in NDVI images.

## 5. 통계분석

통계 분석에 앞서 녹기율에서 100% 이상의 값에 대해 Excel (version 2205, Microsoft)을 이용해 100으로 일괄적으로 처리하였다. 이는 이미지 획득 당시 이끼를 제거하는 과정에서 충분히 제거되지 않아 발생한 문제로 보이며, ROI를 지정하는데 있어 반자동으로 이루어져 잔디 전체 영역과 잔디 내 녹색 영역이 미세하게 위치가 달라 녹기율 계산에서 발생한 실험 오차로 판단되었다. 자원들 간의 녹기율과 NDVI값의 시계열적인 데이터의 통계 분석은 R 프로그램을 사용하였으며, 데이터가 정규성을 만족하지 못해 비모수적 방법인 Kruskal-Wallis test를 이용하여 통계적 유의성을 판단하였다. 이후, 사후 분석으로 순위 Duun test를 실시하였는데, 이때 Benjamini-Hochberg (BH)방법을 이용해 p-value를 보정하였다. 회차별 녹기율과 NDVI의 상관관계를 분석하기 위해 피어슨 상관 계수 (pearson correlation coefficient)를 이용하여 분석하였다.

## IV. 결 과

8월부터 12월까지 5개월간 매달 잔디의 녹기율과 NDVI를 측정하였다. 모든 측정 회차에서 각 유전자원별 녹기율과 NDVI 데이터의 Kruskal-Wallis 검정 분석 결과는 Table 3 에서 확인할 수 있듯이 P값이 0.05보다 작아 통계적으로 매우 유의미하였다. Table 4 에는 관찰한 모든 유전자원의 녹기율 변화와 이에 따른 사후검정 결과가 나타나 있으며 Tabel 5 에는 NDVI 변화와 이에 따른 사후검정 결과가 나타나 있다. 이를 통해 회차마다 자원들의 녹기 변화에서 회차별로 순위의 변동과 자원간 녹기가 어느 정도 다른지 볼 수 있었다. Fig. 13 을 보면 각 월별 유전자원의 녹기율과 NDVI 반복수간 분산의 크기 변화를 볼 수 있는데 녹기율의 경우 거의 모든 유전자원에서 일정했다가 10월에 들어 유전자원별 차이가 시작하여 11월에 가장 극적으로 크게 나는 것을 확인할 수 있으며, NDVI의 경우에는 유전자원별 차이가 어느 정도 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

녹기율에 대한 각 유전자원의 차이와 변화 양상을 나타낸 Table 4와 Fig. 14 를 종합하여 보면, 5개월간의 유전자원별 녹기율의 변화 상황을 확인할 수 있었다. 각 유전자원별 녹기율 차이는 8, 9월에는 95% 이상으로 몇몇 유전자원을 제외하고는 비슷하게 유지되는 것을 확인할 수 있으나, 10월부터 san180과 san568 유전자원이 녹기율 100%를 보였던 지난 월에 비해 각각 녹기율 67.22%, 60.97%를 보이며 9월에 비해 급격히 감소함을 보였다. 그러나 이와는 대조적으로 san303 유전자원의 경우 8월에는 96.90%의 녹기율을 보이며 하위권이었으나, 녹기가 증가하여 10월에는 98.37%의 녹기율을 보였다. 또한 san187 유전자원의 경우 8월에 95.99%에서 9월에 91.11%로 녹기율이 감소하였지만 다시 10월에 94.87%로 증가하였다. 이처럼 같은 기간 동안 san180과 san568 유전자원은 녹기율이 감소한 데 비해 san303과 san187의 경우 증가한 것을 바탕으로 보면, 유전자원별로 시간이 지남에 따라 녹기율의 변화가 상이하다는 것을 알 수 있었다. 11월의 녹기율을 보면 가장 상위권에 위치한 자원은

san208 유전자원으로 녹기율 94%를 보였다. san208의 경우 8월에는 97.48%, 9월에는 97.81%, 10월에는 96.86%로 지속적으로 높은 녹기율을 보이다가 11월에 소폭 감소하였지만, 다른 유전자원에 비해 감소율이 적었던 것으로 보였다. Table 6을 보면 유전자원 suncheon, san 218 그리고 san 187의 12월달 RGB 이미지와 GCP이미지를 보면 토양 (모래) 부분을 녹기로 인식하여 나타낸 것을 볼 수 있었는데, 이는 촬영 전 이끼를 가리는 작업을 할 때 잔디에 묻은 모래 먼지를 가볍게 씻어내는 과정에서 모래 속에 이끼가 다시 드러난 것으로 사료되었다. 추후 연구에서는 우선적으로 잔디와 토양을 확실히 분리할 수 있도록 이미지 분석 방법에서 보완이 필요할 것으로 판단되었다.

NDVI에 대한 각 유전자원의 차이와 변화 양상을 나타낸 Table 5와 Fig. 15를 종합하여 보면, 5개월간의 유전자원별 NDVI의 변화 상황을 확인할 수 있다. 8월의 경우 san568 유전자원이 NDVI값 0.85로 가장 높은 값을 보여주고 있으며 san9dangugdae 유전자원이 NDVI값 0.45로 가장 낮은 값을 보여주고 있다. 10월의 NDVI값을 확인하면 NDVI값도 녹기율과 마찬가지로 유전자원별로 변화가 상당하다는 것을 확인할 수 있다. san568의 경우 NDVI값이 0.45로 떨어져 있는 것을 볼 수 있고, san208 유전자원이 NDVI 0.65로 가장 우수한 값을 보이는 것을 확인할 수 있다. san9dangugdae의 경우 지속적으로 가장 낮은 NDVI값을 보이며 이는 11월까지 이어진다. 12월을 확인하면, 가장 높은 NDVI값은 0.32로 san218 유전자원이며, 가장 낮은 NDVI 값은 0.08로 san128 유전자원이다.

녹기율과 NDVI간 상관관계가 있는지 각 월별로 분석한 결과 (Fig. 16), 11월만 P값이 0.05보다 작아 유의하였고, r은 0.78로 나타났다. 다른 관찰 시점에서는 녹기율과 NDVI간 상관관계가 없었고, 서로 영향을 미치지 않는 것으로 보였다.

Table 3. Kruskal-Wallis test results for GCP and NDVI data.

	GCP			NDVI		
	df	$\chi^2$	P value	df	$\chi^2$	P value
Aug	19	42.241	< 0.01	19	69.054	< 0.001
Sep	19	44.776	< 0.001	19	63.959	< 0.001
Oct	19	51.79	< 0.001	19	58.244	< 0.001
Nov	19	54.285	< 0.001	19	58.21	< 0.001
Dec	19	68.687	< 0.001	19	70.277	< 0.001

Table 4. Average differences of GCP among germplasm for August to December.

Aug		Sep		Oct		Nov		Dec	
Germplasm	Measured value	Germplasm	Measured value	Germplasm	Measured value	Germplasm	Measured value	Germplasm	Measured value
san9dangugdae	100±0.00 *a	san9dangugdae	100±0.00 a	san303	98±3.11 a	san208	94±4.16 a	san208	92±2.05 a
san568	100±0.00 a	san180	100±0.00 a	san351	98±1.66 ab	san351	93±5.34 a	aewolbudu	51±5.52 ab
san184	100±0.00 a	san568	99±0.21 ab	san9dangugdae	98±1.37 ab	aewolbudu	76±17.12 ab	san187	36±10.28 abc
san351	99±0.27 ab	san184	98±2.75 abc	san187	94±10.26 ab	san218	75±14.27 ab	san218	26±5.77 bcd
san135	97±4.49 ab	san351	99±0.37 abcd	san208	96±1.78 abc	san568	61±12.82 abc	san45	26±9.08 bcd
suncheon	98±0.72 abc	san2daejogu	99±0.50 abcd	san41	93±3.58 abcd	san180	57±14.81 bcd	san351	23±6.13 cde
san41	98±0.69 abc	san254	99±0.73 abcd	san254	90±9.07 abcde	san41	53±32.54 bcde	san41	21±13.01 def
san128	97±2.72 abc	san398	99±0.87 abcd	san177	89±5.01 abcde	san254	47±20.11 bcde	san86	18±10.57 def
san218	97±5.04 abc	san303	98±1.96 abcd	san184	89±13.46 abcde	san86	54±7.07 bcde	san184	15±8.08 efg
san180	96±4.74 abc	san128	98±2.92 abcd	san128	84±13.80 bcdef	suncheon	51±3.86 bcde	san9dangugdae	12±1.74 efg
san254	97±0.96 bc	san135	96±4.18 abcde	san398	84±8.06 cdefg	san184	50±10.21 bcde	san303	12±1.47 fgh
san398	97±1.76 bc	san187	91±13.01 abcdef	aewolbudu	82±9.80 cdefg	san187	53±17.65 bcde	suncheon	9±6.74 ghi
san208	97±1.58 bc	san41	98±0.85 bcdef	san45	79±9.38 defgh	san303	43±31.57 cdef	san180	7±4.16 ghi
san45	97±0.50 bc	suncheon	98±0.92 bcdef	san2daejogu	82±12.33 defgh	san45	39±8.41 cdefg	san128	7±4.64 hi
san303	96±1.66 bc	san208	97±1.75 bcdef	san86	81±4.67 defgh	san128	37±27.65 cdefg	san398	4±2.04 ij
san2daejogu	96±4.30 bc	san45	98±0.30 cdef	san218	80±14.10 defgh	san177	32±17.71 defg	san2daejogu	3±2.40 ij
san187	95±3.55 bc	san86	97±0.80 cdef	suncheon	76±11.66 efg	san398	31±12.28 efg	san177	4±3.99 ijk
san86	96±0.54 c	san177	95±2.69 def	san180	67±10.53 fgh	san9dangugdae	20±3.82 fg	san568	3±1.53 jk
aewolbudu	95±2.14 c	san218	86±9.86 ef	san568	60±10.93 gh	san135	17±8.31 fg	san254	2±1.53 jk
san177	95±3.30 c	aewolbudu	87±5.99 f	san135	54±16.74 h	san2daejogu	14±7.39 g	san135	1±0.51 k

\* Means of ± standard deviation followed by different letters within columns are significantly different by Dunn test with Benjamini-Hochberg (BH) adjustment. Non-parametric rank data were used for statistical analysis; however, untransformed data are presented.

Table 5. Average differences of NDVI among germplasm for August to December.

Aug		Sep		Oct		Nov		Dec	
Germplasm	Measured value	Germplasm	Measured value	Germplasm	Measured value	Germplasm	Measured value	Germplasm	Measured value
san568	0.85±0.01 *a	san351	0.76±0.02 a	san208	0.65±0.06 a	san208	0.37±0.05 a	san218	0.32±0.03 a
san45	0.73±0.01 ab	san208	0.69±0.03 a	san351	0.58±0.02 ab	san568	0.32±0.02 ab	san208	0.28±0.03 ab
san351	0.75±0.02 ab	san254	0.74±0.02 ab	san254	0.58±0.07 abc	aewolbudu	0.31±0.05 abc	san568	0.23±0.03 abc
san254	0.73±0.01 bc	san568	0.73±0.02 ab	san41	0.51±0.09 abcd	san351	0.31±0.01 abc	san187	0.22±0.00 abc
san2daejogu	0.72±0.07 bcd	san177	0.60±0.04 abc	san135	0.52±0.05 abcd	san187	0.30±0.02 abc	aewolbudu	0.22±0.03 bc
san184	0.73±0.03 bcd	san2daejogu	0.65±0.03 bcd	san187	0.50±0.01 bcde	san180	0.25±0.04 bcd	san184	0.21±0.02 cd
san208	0.70±0.03 cde	san45	0.77±0.02 cde	san45	0.49±0.05 bcdef	san41	0.27±0.09 bcde	san180	0.20±0.01 cde
san398	0.68±0.06 def	san128	0.64±0.06 cde	aewolbudu	0.47±0.07 cdefg	san218	0.24±0.02 bcdef	san135	0.19±0.01 de
aewolbudu	0.66±0.04 ef	san303	0.64±0.08 cdef	san568	0.45±0.02 defgh	san254	0.24±0.04 cdef	san351	0.18±0.01 ef
san41	0.67±0.05 ef	san398	0.59±0.07 def	san184	0.45±0.08 defgh	san398	0.21±0.04 defg	san86	0.17±0.02 ef
san303	0.66±0.05 ef	san184	0.59±0.09 def	san180	0.43±0.05 defgh	san2daejogu	0.21±0.02 defg	suncheon	0.18±0.01 ef
san128	0.64±0.03 f	san180	0.59±0.08 def	san303	0.42±0.14 defghi	suncheon	0.22±0.04 defg	san41	0.15±0.07 fg
suncheon	0.65±0.04 f	san135	0.59±0.03 def	san177	0.40±0.10 efghi	san135	0.20±0.02 defg	san398	0.15±0.03 fg
san177	0.63±0.04 fg	aewolbudu	0.57±0.03 ef	san128	0.40±0.13 efghi	san45	0.20±0.02 efgh	san2daejogu	0.15±0.01 fg
san135	0.58±0.03 gh	san41	0.62±0.04 ef	san2daejogu	0.40±0.04 fghi	san303	0.20±0.08 fgh	san254	0.14±0.01 gh
san218	0.52±0.01 gh	suncheon	0.57±0.06 ef	san218	0.37±0.04 ghij	san86	0.19±0.02 fgh	san45	0.13±0.01 ghi
san180	0.57±0.04 h	san187	0.56±0.04 fg	suncheon	0.35±0.06 hij	san184	0.19±0.04 fgh	san9dangugdae	0.12±0.00 hij
san86	0.49±0.01 hi	san86	0.42±0.02 gh	san398	0.31±0.07 ij	san177	0.16±0.03 gh	san303	0.10±0.03 ij
san187	0.52±0.03 hi	san218	0.42±0.05 gh	san86	0.26±0.04 j	san128	0.13±0.04 h	san177	0.09±0.01 j
san9dangugdae	0.45±0.04 i	san9dangugdae	0.36±0.06 h	san9dangugdae	0.22±0.03 j	san9dangugdae	0.14±0.01 h	san128	0.08±0.02 j

\* Means of ± standard deviation followed by different letters within columns are significantly different by Dunn test with Benjamini-Hochberg (BH) adjustment. Non-parametric rank data were used for statistical analysis; however, untransformed data are presented.

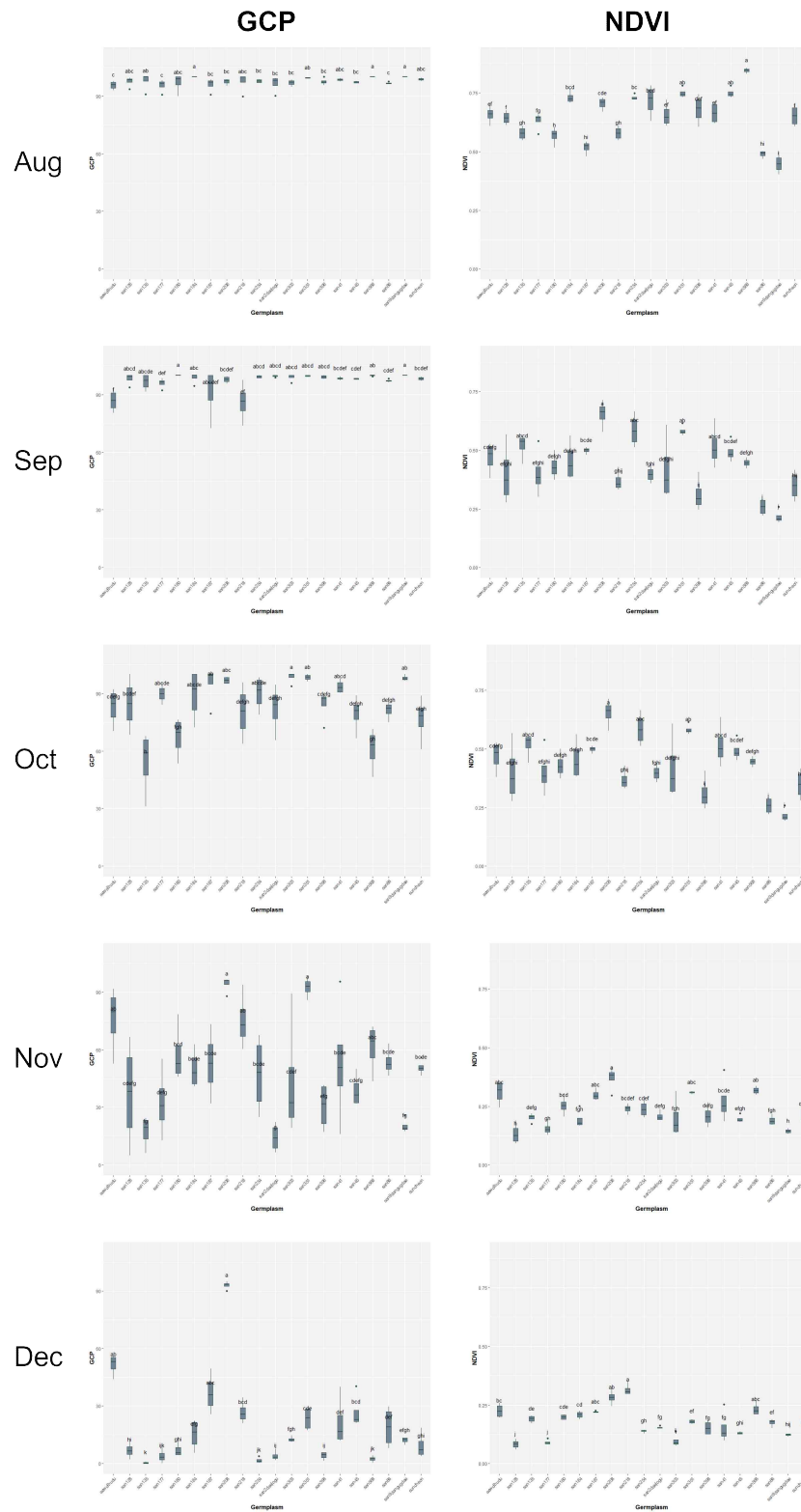


Fig. 13. Comparison different variance of GCP and NDVI per month.



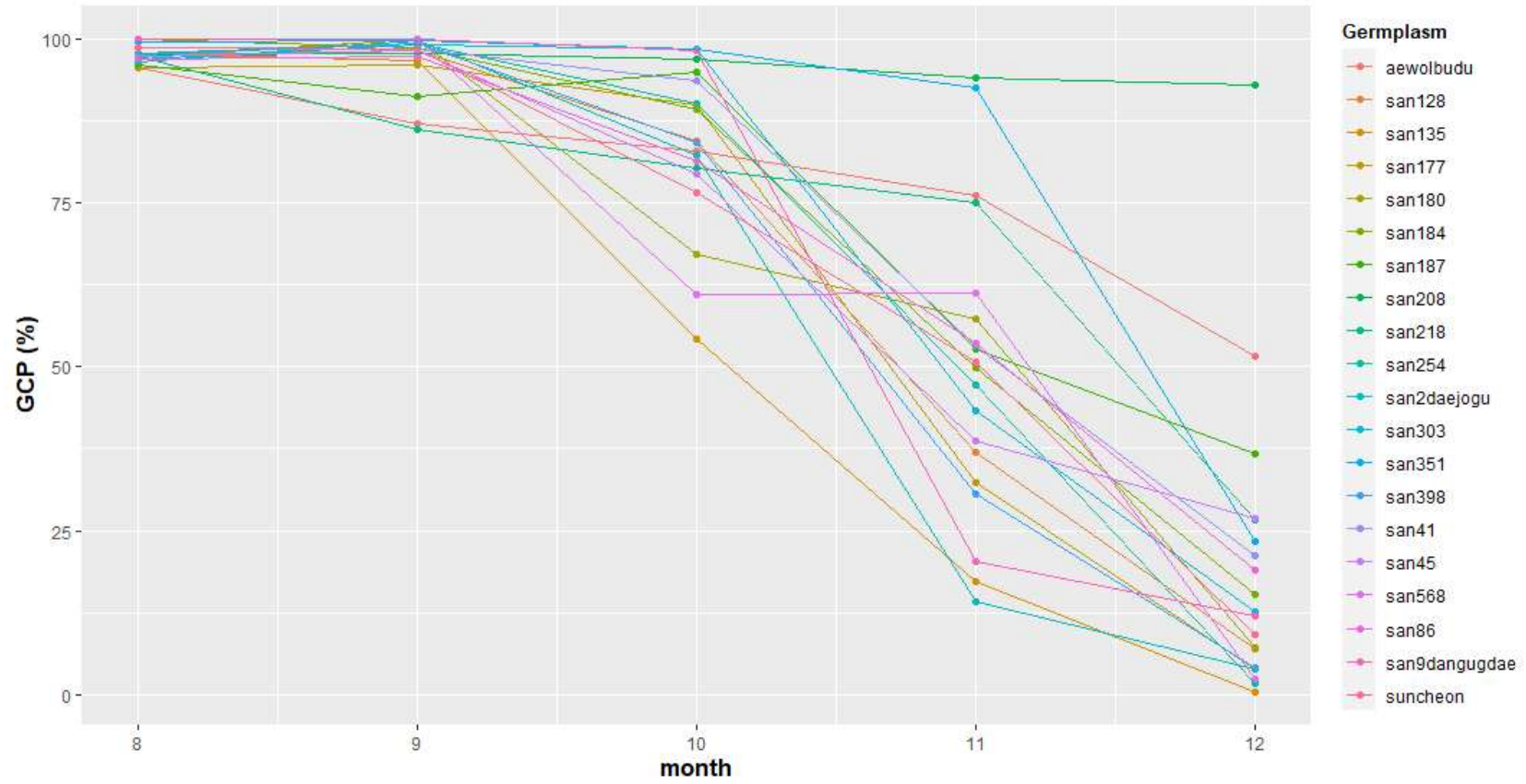
























































































































































Fig. 14. Decline in monthly GCP of twenty turf germplasm.

Table 6. RGB, GCP and NDVI images of twenty turf germplasm.

		RGB					GCP					NDVI				
		Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	aewolbudu															
2	san41															
3	san303															
4	san45															
5	san351															
6	san208															
7	san177															
8	san254															
9	san128															
10	san398															

	RGB					GCP					NDVI				
	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
11 san2daejogu															
12 san568															
13 san86															
14 suncheon															
15 san9dangugdae															
16 san184															
17 san180															
18 san135															
19 san218															
20 san187															

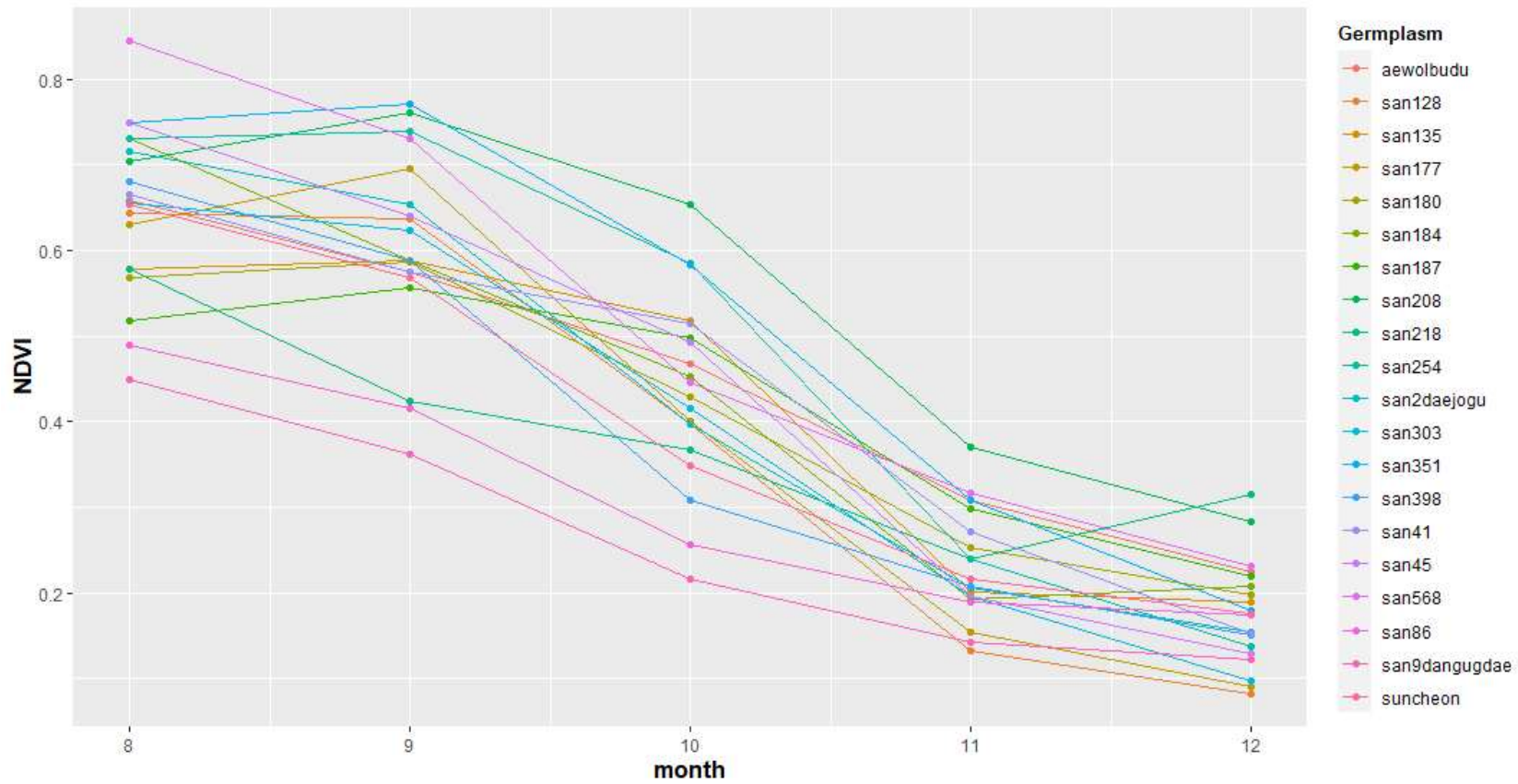


Fig. 15. Decline in monthly NDVI of twenty turf germplasm.

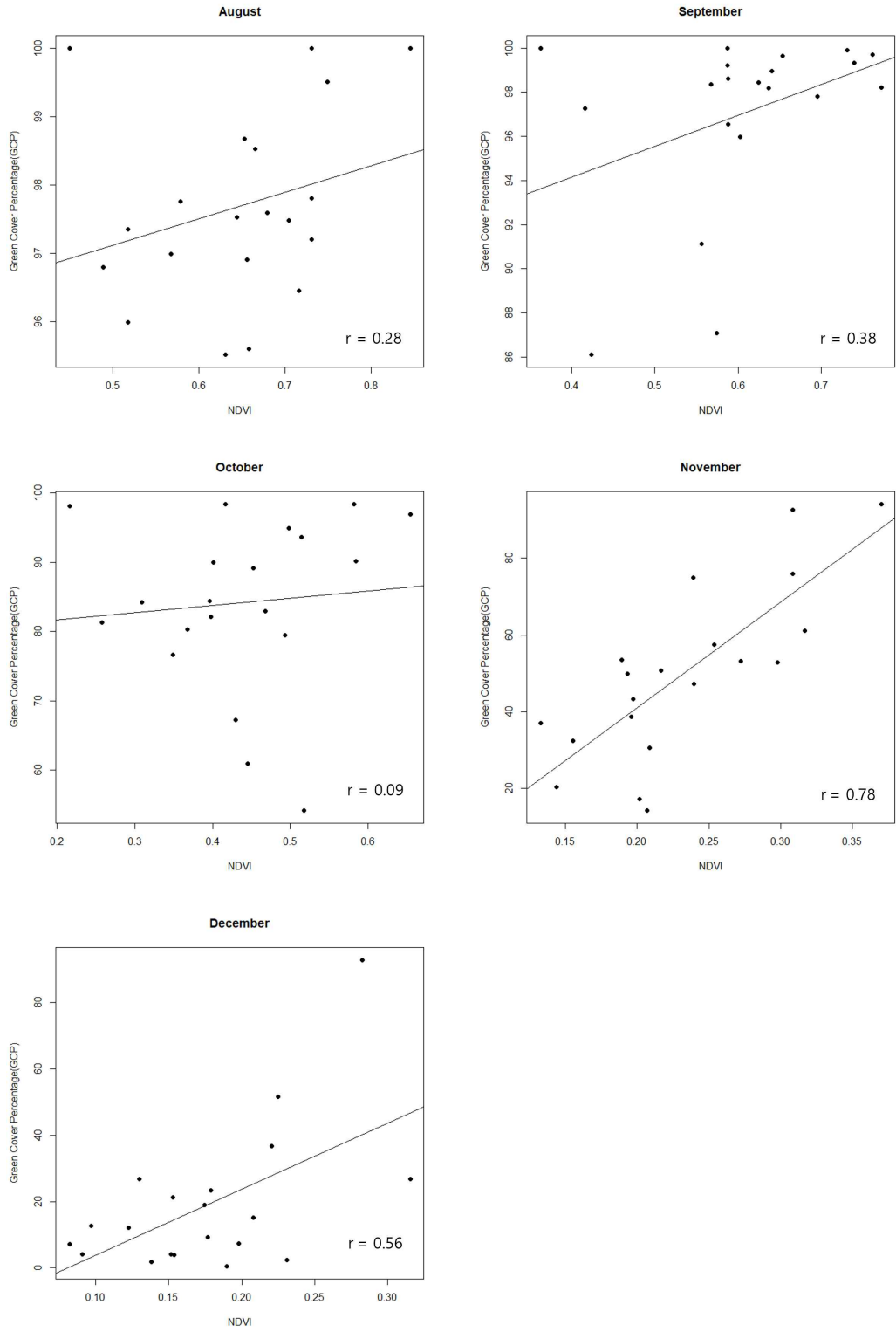


Fig. 16. Pearson correlation coefficient of GCP and NDVI per month.

## V. 고 찰

본 연구에서 우리는 잔디의 품질을 객관적으로 평가하는 기준을 제안하기 위해, RGB 카메라와 다분광 센서를 이용하여 잔디의 녹색의 양과 질을 평가하고자 한다. 일정 면적당 녹색 부분이 차지하는 비율과 식물체의 바이오매스는 식물의 내한성과 상관관계가 있음이 이미 보고 되어있다 (Schafleitner et al., 2007). 또한 잔디의 품질 평가를 위한 시각적 평가에서 색이 포함되어 있다 (Kim et al., 2003). RGB 이미지 분석을 통해서도 사람이 눈으로 보는 것과 비슷한 평가가 가능하며, 특히 픽셀의 수를 파악하여 녹색이 차지하는 면적의 비율을 확인할 수 있어 이를 통해 잔디 녹색의 양을 평가하였다. NDVI의 경우 근적외선 대의 반사율을 이용하여 작물의 성장 상태를 수치화한 값으로, 식생 정량화를 위해 폭넓게 사용되고 있는 지수이다 (Rouse et al., 1974). 또한 NDVI는 녹기에 대하여 가장 빈번하게 이용되는 지수로, 반사율을 통해 식물이 녹색으로 보이게 하는 엽록소 함량을 추정 가능하여 본 연구에서는 NDVI를 통해 잔디 녹기의 질을 평가할 수 있을 것이라고 판단하였다 (Walter, Liebisch, and Hund, 2015).

이미지 분석을 위해 수행된 다섯 가지 전처리 과정의 필요성에 대해 보자면, 첫 번째로 실시된 왜곡 보정의 경우 카메라 렌즈 특성 때문에 발생하는 문제로 (Yu and Chung, 2003), 방사형 왜곡이 된 부분을 평평하게 펴주어야 할 필요가 있어 실시되었다. 두 번째 방사 보정의 경우, 획득된 모든 영상이 불균일한 빛 조건을 보여 정확한 식생의 특성을 파악하기 위해서는 빛 조건의 균일화가 필수적이기에 진행되었다 (Guo et al., 2019). 세 번째 히스토그램 평활화 과정은 방사 보정 이후 RGB영상의 밝기가 어둡게 되어 잔디의 색상을 파악하기 어려워 이를 개선하기 위해 실행되어야 하는 과정으로, 영상의 밝기값이 어두운 쪽으로 몰려 있는 히스토그램을 전체적으로 균등하게 펴주어 명암 개선을 해주었다 (Stark, 2000). 마지막으로 이미지 정렬은 NDVI를 산출하기 위해 이용되는 NIR 영상과 Red영상에 대해 수행되었는데, 이는 본 연구에서 이용한 센서 카메라 위

치의 물리적인 차이로 인해 두 영상이 미세하게 위치가 다르게 촬영되어 NIR영상을 기준으로 차이 나는 픽셀 수 만큼 Red영상을 이동시켜 두 영상을 일치시키기 위해서 필요한 과정이었다.

8월 기준으로 모든 유전자원이 95% 이상의 녹기율을 보였으나, 10월까지의 변화 양상을 보면 일부 유전자원(san303과 san187)의 녹기율이 소폭 증가한 것을 확인할 수 있었는데, 이는 한국잔디의 생육기간이 4월부터 10월 중순까지 인 것을 보았을 때 다른 유전자원에 비해 이 두 유전자원이 비교적 다소 오래 생장이 지속 되었음을 나타낸다. 그러나 대부분의 유전자원들은 10월에서 녹기율이 감소함을 보였다. 이는 최종 12월의 결과를 보았을 때 더욱 극적으로 드러나는데 san208 유전자원 90%이상의 매우 우수한 녹기율을 유지하였으나, san125 유전자원의 경우는 녹기율 0.4%로 san208과 매우 극명한 차이를 보였다. 이러한 결과는 유전자원별로 녹기율 변화에 대한 특질이 각자 다르게 발현된다는 것을 나타내고 있다.

2021년 8월부터 12월까지 연구가 진행되는 동안 잔디 재배지에서 가까운 기상관측소에서 얻은 최고기온, 최저기온, 평균기온을 나타낸 그래프를 보면 (Fig. 3), 8월부터 12월까지 시간이 지남에 따라 기온이 감소하는 경향을 보이는데 특히 10월 중순에서 급격하게 온도가 감소함을 보여주고 있다. 기온 그래프와 Table 6를 함께 보면 8월과 9월은 생육에 적절한 온도로 모든 잔디 유전자원이 양질의 녹색을 보였으나, 10월 중순에 급격하게 온도가 감소하여 대부분의 유전자원에서 잔디의 색이 녹색에서 황색, 또는 황갈색으로 변화하였음을 볼 수 있다. 11월과 12월에서는 황색은 물론 적색, 적청색으로 눈에 띄게 잔디의 색이 변화하였다. 잔디의 색상이 붉게 변한 것은 저온으로 인해 식물체 내부에서 다량 발생한 활성산소종이 잔디에 산화적인 피해를 입히는 것을 방지하고자 2차 대사 산물이자 항산화제로 알려진 안토시아닌 (Anthocyanin)이 생합성, 수송, 축적된 것이며, 이러한 안토시아닌의 축적이 잔디의 높은 내한성과 관련이 있다는 결과를 보여주는 연구가 있다 (Jin et al., 2022).

NDVI는 식물이 녹색으로 보이게 하는 엽록소 함량과 관련이 있어 본 연구에서 한국잔디의 생육기간을 고려했을 때 생육기인 8, 9월에는 모든 잔디가 녹색

을 띄어 NDVI값도 높게 관찰되었고, 비생육기에 접어든 10월부터 12월까지의 잔디가 휴면에 들어가 녹기를 잃어 NDVI값이 점차 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 12월에 가장 높은 NDVI값을 보인 san218 유전자원의 경우, 9월에는 0.42로 매우 낮은 NDVI값을 보였으나, 12월에는 0.32로 다른 유전자원에 비해 높은 NDVI값을 나타냈다. 이와 다르게 san9dangugdae 유전자원은 8월에는 0.45로 san218보다 높은 NDVI값을 보였으나 12월에는 0.12로 유전자원 중에서도 상대적으로 낮은 NDVI값을 나타냈다. 이처럼 NDVI값 역시 녹기율과 마찬가지로 그 변화율이 유전자원별로 변화 양상에서 극명한 차이를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 그런데 다른 유전자원에서는 녹기율이 감소하면서 NDVI값이 낮아지는 경향을 보인 반면, 유전자원 san208의 경우에서만 8월부터 12월까지 90%이상의 높은 녹기율을 보이면서 NDVI값은 높은 값을 유지하지 않고 시간이 흐를수록 점차 낮아지는 것이 관찰되었다. 이는 san208이 저온 스트레스를 받으면서 생성된 다른 색소의 함량이 증가되면서 상대적으로 엽록소가 차지하는 비율이 점차 줄어들어 NDVI값이 낮아진 것으로 보이며 (Seo, 2009), 그럼에도 불구하고 다른 유전자원들보다는 녹기가 높게 관찰된 것을 볼 때 san208에 대해 추가적으로 잎 색소 구성에 대해 자세하게 분석해 볼 필요가 있을 것으로 사료 되었다.

녹기율과 NDVI의 상관관계를 보았을 때도 11월을 제외하고는 유의한 결과를 얻지 못하였으며, 이는 일정 면적을 잔디가 차지하면서 녹색을 유지하는 특질 (RGB 카메라로 확인한 녹기율 데이터)과 잎 자체의 엽록소 함량 정도로 양질의 녹색을 유지하는 특질 (다분광 영상 기반의 NDVI) 사이에 상관관계가 거의 없음을 보여주고 있다. 두 특질 간 상관관계가 있는 것으로 나타난 11월은 잔디의 생육상태가 몹시 안 좋은 상태로 돌아선 뒤이며, 이때 잔디의 질적 상태 (NDVI)와 양적 상태 (녹기율)가 상관관계를 보인 것으로 보인다. 이 전에는 질적 상태인 NDVI값이 낮게 확인되더라도 양적 상태가 높은 잔디 유전자원이 많아 상관관계를 보일 수 없는 것으로 보이며, 12월의 경우에는 우수한 유전자원에서도 양적 질적 상태 모두가 나빠져서 다시 상관관계를 보이지 않은 것으로 추측된다. 결국, 두 영상을 통해 나온 특질 간의 상관관계를 확인하려면 정확한 관찰 시기



를 선택하는 것이 필요하다.

결론적으로 이 연구를 통해 잔디의 녹기를 평가하기 위해 목적에 따라 RGB영상 기반의 녹기율을 사용할지, 다분광영상 기반의 NDVI를 사용할지가 달라질 것으로 보인다. 본 연구에서는 경제적인 측면에서 녹기를 평가하려고 할 때는 육안과 비슷하게 직관적으로 녹색의 양을 알 수 있는 RGB영상 기반의 녹기율을 선택하되, 이 중에서 녹색의 정도를 높게 유지하는 잔디를 선별하기 위해 다분광영상 기반의 NDVI를 이용함으로써 생물학적인 측면에서 한 번 더 평가하여 보다 좋은 녹색을 오래 유지하는 잔디를 선별하는데 녹기율과 NDVI가 상호 보완적으로 사용해야 함을 제안하는 바이다. 또한 두 영상을 모두 사용해 잔디를 선별하기 위해서는 두 특질이 상관관계를 보이는 시기를 찾아 선별하는 것이 유리하다는 것도 고려할 수 있다. 마지막으로 본 연구에서 다룬 녹기율과 NDVI를 이용하면, 잔디 품질 평가에 드는 시간과 에너지를 절약할 수 있을 뿐 아니라, 객관적이고 재현 가능성이 높은 방법으로 우수한 품질의 잔디를 선별할 수 있을 것으로 기대하는 바이다.

## VI. 인 용 문 헌

- Agostini, A., Alenyà, G., Fischbach, A., Scharr, H., Wörgötter, F., & Torras, C. 2017. A cognitive architecture for automatic gardening. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 69-79. doi:10.1016/j.compag.2017.04.015
- Bae, E., Park, N., Lee, K., Lee, S., Choi, J., & Yang, G. 2010a. Distribution and morphology characteristics of native zoysiagrasses (zoysia spp.) grown in south korea. *Asian Journal of Turfgrass Science*, 24(2), 97-105.
- Bae, E., Park, N., Lee, K., Lee, S., Choi, J., & Yang, G. 2010b. Distribution and morphology characteristics of native zoysiagrasses (zoysia spp.) grown in south korea. *Asian Journal of Turfgrass Science*, 24(2), 97-105. Retrieved from <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201015537948913.page>
- Beard, J. B. 1998. The origins of turfgrass species. *Golf Course Management*, 66(3), 49-55.
- Beard, J. B., & Green, R. L. 1994. The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans. *Journal of Environmental Quality*, 23(3), 452-460.
- Bell, G. E., Martin, D. L., Koh, K., & Han, H. R. 2009. Comparison of turf grass visual quality ratings with ratings determined using a handheld optical sensor. *HortTechnology*, 19(2), 309-316.

- Bremer, D. J., Lee, H., Su, K., & Keeley, S. J. 2011. Relationships between normalized difference vegetation index and visual quality in cool-season turfgrass: II. factors affecting NDVI and its component reflectances. *Crop Science*, 51(5), 2219–2227. doi:10.2135/cropsci2010.12.0729
- Büchi, L., Wendling, M., Mouly, P., & Charles, R. 2018. Comparison of visual assessment and digital image analysis for canopy cover estimation. *Agronomy Journal*, 110(4), 1289–1295.
- Burggraaff, O., Schmidt, N., Zamorano, J., Pauly, K., Pascual, S., Tapia, C., . . . Snik, F. 2019. Standardized spectral and radiometric calibration of consumer cameras. *Optics Express*, 27(14), 19075–19101.
- Cai, H., Inoue, M., Yuyama, N., Takahashi, W., Hirata, M., & Sasaki, T. 2005. Isolation, characterization and mapping of simple sequence repeat markers in zoysiagrass (*zoysia* spp.). *Theoretical and Applied Genetics*, 112(1), 158–166.
- Cha, Y., Kim, K., Park, D., & Kim, D. (2011). Selection of creeping bentgrass (*agrostis palustris* huds.) cultivar for fairway in golf course. *Asian Journal of Turfgrass Science*, 25(2), 147–152.
- Chang, S., Lee, J., Kwon, B., Hong, J. K., Park, S., Byun, J., & Jee, J. 2017. Survey of current status of the graveyard lawn maintenance in korea. *Weed & Turfgrass Science*, 6(2), 130–135.
- Choi, J. S., Ahn, B. J., & Yang, G. M. 1997. Distribution of native zoysia grasses (*zoysia* spp.) in the south and west coastal regions of korea

- and classification using morphological characteristics. *Journal-Korean Society for Horticultural Science*, 38, 399-407.
- Cui, Y., Wang, J., Wang, X., & Jiang, Y. 2015. Phenotypic and genotypic diversity for drought tolerance among and within perennial ryegrass accessions. *HortScience*, 50(8), 1148-1154.
- De, L. C. 2017. Lawn grasses—a review.
- Fan, J., Zhang, W., Amombo, E., Hu, L., Kjorven, J. O., & Chen, L. 2020. Mechanisms of environmental stress tolerance in turfgrass. *Agronomy*, 10(4), 522.
- Geldhof, B., Pattyn, J., Eyland, D., Carpentier, S., & Van de Poel, B. 2021. A digital sensor to measure real-time leaf movements and detect abiotic stress in plants. *Plant Physiology*, 187(3), 1131-1148.
- Guo, Y., Senthilnath, J., Wu, W., Zhang, X., Zeng, Z., & Huang, H. 2019. Radiometric calibration for multispectral camera of different imaging conditions mounted on a UAV platform. *Sustainability*, 11(4), 978
- Horst, G. L., Engelke, M. C., & Meyers, W. 1984. Assessment of visual evaluation techniques 1. *Agronomy Journal*, 76(4), 619-622.
- Huang, B., DaCosta, M., & Jiang, Y. 2014. Research advances in mechanisms of turfgrass tolerance to abiotic stresses: From physiology to molecular biology. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(2-3), 141-189.

- Hyun, Y., Choi, B., Kim, Y., & Joo, Y. 2012. Analysis of research trend on zoysiagrass (*zoysia* spp.). *Asian Journal of Turfgrass Science*, 26(2), 89-95.
- Jiang, Y., Duncan, R. R., & Carrow, R. N. 2004. Assessment of low light tolerance of seashore paspalum and bermudagrass. *Crop Science*, 44(2), 587-594. doi:10.2135/cropsci2004.5870
- Jin, H., Jiang, M., Yang, J., Wu, Z., Ma, L., Wang, C., . . . Chen, S. 2022. A survey of enhanced cold tolerance and low-temperature-induced anthocyanin accumulation in a novel *zoysia japonica* biotype. *Plants*, 11(3), 429.
- Karcher, D. E., & Richardson, M. D. 2003. Quantifying turfgrass color using digital image analysis. *Crop Science*, 43(3), 943-951. doi:10.2135/cropsci2003.9430
- Kim, K. N., Park, W. K., & Nam, S. Y. 2003. Comparison of establishment vigor, uniformity, rooting potential and turf quality of sods of kentucky bluegrass, perennial ryegrass, tall fescue and cool-season grass mixtures grown in sand soil. *Kor.J.Turfgrass Sci*, 17(4), 129-146.
- Kimball, J. A., Tuong, T. D., Arellano, C., Livingston III, D. P., & Milla-Lewis, S. R. 2017. Assessing freeze-tolerance in st. augustinegrass: Temperature response and evaluation methods. *Euphytica*, 213(5), 1-10.
- Koch, M. J., & Bonos, S. A. 2011. Correlation of three salinity tolerance screening methods for cool-season turfgrasses. *HortScience*, 46(8), 1198-1201.

- Lee, D. W., & Potter, D. A. 2015. Biological control of the black cutworm, *agrotis ipsilon* (lepidoptera: Noctuidae) with the korean entomopathogenic nematode, *steinernema carpocapsae* GSN1 strain (rhabditida: Steinernematidae) in turfgrasses. *Weed & Turfgrass Science*, 4(1), 58-64.
- Lee, G., Carrow, R. N., & Duncan, R. R. 2005. Growth and water relation responses to salinity stress in halophytic seashore *paspalum* ecotypes. *Scientia Horticulturae*, 104(2), 221-236. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.08.011>
- Leinauer, B., VanLeeuwen, D. M., Serena, M., Schiavon, M., & Sevostianova, E. 2014. Digital image analysis and spectral reflectance to determine turfgrass quality. *Agronomy Journal*, 106(5), 1787-1794. doi:10.2134/agronj14.0088
- Li, L., Zhang, Q., & Huang, D. 2014. A review of imaging techniques for plant phenotyping. *Sensors*, 14(11), 20078-20111.
- Li, Z., Guo, R., Li, M., Chen, Y., & Li, G. 2020. A review of computer vision technologies for plant phenotyping. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176, 105672. doi:10.1016/j.compag.2020.105672
- Loka, D., Harper, J., Humphreys, M., Gasior, D., Wootton-Beard, P., Gwynn-Jones, D., . . . Robinson, D. 2019. Impacts of abiotic stresses on the physiology and metabolism of cool-season grasses: A review. *Food and Energy Security*, 8(1), e00152. doi:10.1002/fes3.152

- Lu, H., Fan, T., Ghimire, P., & Deng, L. 2020. Experimental evaluation and consistency comparison of uav multispectral minisensors. *Remote Sensing*, 12(16), 2542.
- Martínez-Espinoza, A. D., Burpee, L. L., & Waltz, C. 2009. Abiotic injuries and disorders of turfgrasses in georgia. Retrieved from <http://athenaeum.libs.uga.edu/handle/10724/12432>
- Patton, A. J., Schwartz, B. M., & Kenworthy, K. E. 2017. Zoysiagrass (zoysia spp.) history, utilization, and improvement in the united states: A review. *Crop Science*, 57(S1), S-72.
- Pieruschka, R., & Schurr, U. 2019. Plant phenotyping: Past, present, and future. *Plant Phenomics*, 2019
- Qiu, R., Wei, S., Zhang, M., Li, H., Sun, H., Liu, G., & Li, M. 2018. Sensors for measuring plant phenotyping: A review. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(2), 1-17. doi:10.25165/ijabe.v11i2.2696
- Richardson, M. D., Karcher, D. E., & Purcell, L. C. (2001). Quantifying turfgrass cover using digital image analysis. *Crop Science*, 41(6), 1884-1888.
- Rim, Y. M., Kim, K. Y., Kim, M. J., Sung, B. R., Lim, Y. C., Chung, E. S., . . . Kim, Y. S. 2003. Comparison on the growth characteristics of superior lines in the collected lines of zoysiagrass. *Weed & Turfgrass Science*, 17, 75-80.

- Rouse, J.W, Haas, R.H., Scheel, J.A., and Deering, D.W. 1974. 'Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS.' proceedings. *3rd earth resource technology satellite (ERTS) symposium* (pp. 48-62)
- Rousseau, D., Chéné, Y., Belin, E., Semaan, G., Trigui, G., Boudehri, K., . . . Chapeau-Blondeau, F. 2015. Multiscale imaging of plants: Current approaches and challenges. *Plant Methods*, *11*(1), 1-9.
- Sarkar, S., & Chaudhuri, S. 2016. Bacterial wilt and its management. *Current Science*, , 1439-1445.
- Schafleitner, R., Gutierrez, R., Espino, R., Gaudin, A., Pérez, J., Martínez, M., . . . Numberto, G. 2007. Field screening for variation of drought tolerance in solanum tuberosum L. by agronomical, physiological and genetic analysis. *Potato Research*, *50*(1), 71-85.
- Schwartz, B. M., Kenworthy, K. E., Engelke, M. C., Genovesi, A. D., & Quesenberry, K. H. 2009. Heritability estimates for turfgrass performance and stress response in zoysia spp. *Crop Science*, *49*(6), 2113-2118.
- Seo, G. 2009. Using reflectance techniques to diagnose physiological status of plant. *Biowave*, *2*(2), 1-10. Retrieved from <https://www.ibric.org/myboard/read.php?Board=review0&id=170>
- Shim, G. Y., Kim, J. W., & Kim, H. K. 1994. Occurrence of rhizoctonia blight of zoysiagrasses in golf courses in korea. *Korean Journal of Plant Pathology (Korea Republic)*,



- Slaton, M. R., Raymond Hunt Jr, E., & Smith, W. K. 2001. Estimating near-infrared leaf reflectance from leaf structural characteristics. *American Journal of Botany*, 88(2), 278-284.
- Stark, J. A. (2000). Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization. *IEEE Transactions on Image Processing*, 9(5), 889-896.
- Tester, M., & Bacic, A. 2005. Abiotic stress tolerance in grasses. from model plants to crop plants. *Plant Physiology*, 137(3), 791-793.
- Thoren, D., Thoren, P., & Schmidhalter, U. 2010. Influence of ambient light and temperature on laser-induced chlorophyll fluorescence measurements. *European Journal of Agronomy*, 32(2), 169-176.
- Tu, Y., Phinn, S., Johansen, K., & Robson, A. 2018. Assessing radiometric corrections for UAS multi-spectral imagery in horticultural environments. Paper presented at the *IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 5449-5452.
- Walter, A., Liebisch, F., & Hund, A. 2015. Plant phenotyping: From bean weighing to image analysis. *Plant Methods*, 11(1), 1-11.
- Wang, C., & Myint, S. W. 2015. A simplified empirical line method of radiometric calibration for small unmanned aircraft systems-based remote sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(5), 1876-1885.

- Xie, F., Shi, Z., Zhang, G., Zhang, C., Sun, X., Yan, Y., . . . Fahad, S. 2020. Quantitative leaf anatomy and photophysiology systems of C3 and C4 turfgrasses in response to shading. *Scientia Horticulturae*, 274, 109674.
- Yang, D., Sun, H., Jeong, O., Kang, H., Song, I., Jin, I., . . . Lee, H. 2021. Development of 'Halla green 7': A zoysiagrass cultivar with greening period extending phenotype at lower temperatures. *Korean Journal of Breeding Science*, 53(4)
- Yu, W., & Chung, Y. (2003). Geometric and photometric distortion correction method for low cost digital cameras. *한국정보과학회 학술발표논문집*, 30(1B), 205-207.
- Zhang, J., Virk, S., Porter, W., Kenworthy, K., Sullivan, D., & Schwartz, B. 2019. Applications of unmanned aerial vehicle based imagery in turfgrass field trials. *Frontiers in Plant Science*, 0 doi:10.3389/fpls.2019.00279

## VII. 실험 데이터

Addendum 1. Dataset of GCP and NDVI of germplasm.

germplasm	rep <sup>1</sup>	month	gcp <sup>2</sup>	ndvi <sup>3</sup>
aewolbudu	1	8	95	0.61
aewolbudu	2	8	97	0.67
aewolbudu	3	8	98	0.70
aewolbudu	4	8	93	0.65
san41	1	8	98	0.62
san41	2	8	98	0.63
san41	3	8	99	0.70
san41	4	8	99	0.71
san303	1	8	95	0.61
san303	2	8	99	0.63
san303	3	8	98	0.67
san303	4	8	97	0.72
san45	1	8	97	0.74
san45	2	8	97	0.75
san45	3	8	98	0.73
san45	4	8	98	0.78
san351	1	8	99	0.74
san351	2	8	100	0.75
san351	3	8	100	0.73
san351	4	8	99	0.78
san208	1	8	99	0.73
san208	2	8	99	0.72
san208	3	8	97	0.70
san208	4	8	95	0.67
san177	1	8	91	0.57
san177	2	8	96	0.66
san177	3	8	98	0.65
san177	4	8	97	0.65
san254	1	8	97	0.73
san254	2	8	97	0.73
san254	3	8	99	0.72

san254	4	8	99	0.75
san128	1	8	94	0.61
san128	2	8	98	0.63
san128	3	8	99	0.66
san128	4	8	99	0.67
san398	1	8	96	0.61
san398	2	8	97	0.66
san398	3	8	100	0.71
san398	4	8	97	0.74
san2daejogu	1	8	90	0.63
san2daejogu	2	8	99	0.70
san2daejogu	3	8	99	0.76
san2daejogu	4	8	97	0.78
san568	1	8	100	0.85
san568	2	8	100	0.86
san568	3	8	100	0.84
san568	4	8	100	0.83
san86	1	8	98	0.49
san86	2	8	96	0.50
san86	3	8	96	0.50
san86	4	8	97	0.47
suncheon	1	8	99	0.68
suncheon	2	8	99	0.61
suncheon	3	8	98	0.62
suncheon	4	8	99	0.70
san9dangugdae	1	8	100	0.43
san9dangugdae	2	8	100	0.50
san9dangugdae	3	8	100	0.46
san9dangugdae	4	8	100	0.40
san184	1	8	100	0.77
san184	2	8	100	0.72
san184	3	8	100	0.71
san184	4	8	100	0.73
san180	1	8	100	0.52
san180	2	8	100	0.57
san180	3	8	98	0.58
san180	4	8	90	0.60
san135	1	8	100	0.61

san135	2	8	100	0.56
san135	3	8	100	0.59
san135	4	8	91	0.55
san218	1	8	100	0.61
san218	2	8	100	0.56
san218	3	8	100	0.59
san218	4	8	90	0.55
san187	1	8	91	0.48
san187	2	8	97	0.52
san187	3	8	99	0.54
san187	4	8	98	0.53
aewolbudu	1	9	81	0.53
aewolbudu	2	9	90	0.58
aewolbudu	3	9	94	0.60
aewolbudu	4	9	84	0.59
san41	1	9	98	0.53
san41	2	9	97	0.58
san41	3	9	98	0.60
san41	4	9	100	0.59
san303	1	9	96	0.61
san303	2	9	100	0.58
san303	3	9	100	0.63
san303	4	9	100	0.68
san45	1	9	98	0.58
san45	2	9	98	0.58
san45	3	9	98	0.66
san45	4	9	98	0.75
san351	1	9	100	0.77
san351	2	9	100	0.79
san351	3	9	100	0.77
san351	4	9	99	0.75
san208	1	9	96	0.76
san208	2	9	100	0.75
san208	3	9	99	0.74
san208	4	9	97	0.79
san177	1	9	92	0.67
san177	2	9	96	0.73
san177	3	9	99	0.71

san177	4	9	97	0.67
san254	1	9	99	0.72
san254	2	9	99	0.73
san254	3	9	100	0.75
san254	4	9	100	0.75
san128	1	9	94	0.56
san128	2	9	99	0.62
san128	3	9	100	0.67
san128	4	9	100	0.70
san398	1	9	99	0.50
san398	2	9	100	0.58
san398	3	9	100	0.59
san398	4	9	98	0.68
san2daejogu	1	9	99	0.61
san2daejogu	2	9	100	0.66
san2daejogu	3	9	100	0.68
san2daejogu	4	9	100	0.66
san568	1	9	100	0.75
san568	2	9	100	0.73
san568	3	9	100	0.74
san568	4	9	100	0.70
san86	1	9	96	0.40
san86	2	9	97	0.40
san86	3	9	97	0.43
san86	4	9	98	0.43
suncheon	1	9	99	0.63
suncheon	2	9	98	0.51
suncheon	3	9	97	0.52
suncheon	4	9	99	0.61
san9dangugdae	1	9	100	0.31
san9dangugdae	2	9	100	0.44
san9dangugdae	3	9	100	0.38
san9dangugdae	4	9	100	0.32
san184	1	9	100	0.69
san184	2	9	100	0.62
san184	3	9	100	0.56
san184	4	9	94	0.49
san180	1	9	100	0.47

san180	2	9	100	0.60
san180	3	9	100	0.63
san180	4	9	100	0.65
san135	1	9	100	0.61
san135	2	9	100	0.62
san135	3	9	92	0.56
san135	4	9	95	0.56
san218	1	9	74	0.38
san218	2	9	89	0.48
san218	3	9	84	0.38
san218	4	9	98	0.46
san187	1	9	100	0.60
san187	2	9	100	0.57
san187	3	9	92	0.54
san187	4	9	72	0.51
aewolbudu	1	10	70	0.38
aewolbudu	2	10	80	0.46
aewolbudu	3	10	92	0.53
aewolbudu	4	10	89	0.51
san41	1	10	90	0.48
san41	2	10	91	0.43
san41	3	10	95	0.52
san41	4	10	98	0.63
san303	1	10	94	0.31
san303	2	10	100	0.32
san303	3	10	100	0.43
san303	4	10	100	0.61
san45	1	10	80	0.48
san45	2	10	89	0.56
san45	3	10	82	0.48
san45	4	10	67	0.45
san351	1	10	99	0.61
san351	2	10	100	0.56
san351	3	10	96	0.58
san351	4	10	98	0.58
san208	1	10	95	0.68
san208	2	10	98	0.71
san208	3	10	99	0.65

san208	4	10	95	0.58
san177	1	10	84	0.30
san177	2	10	88	0.38
san177	3	10	92	0.39
san177	4	10	96	0.54
san254	1	10	79	0.51
san254	2	10	87	0.54
san254	3	10	97	0.62
san254	4	10	98	0.67
san128	1	10	68	0.28
san128	2	10	79	0.32
san128	3	10	91	0.42
san128	4	10	100	0.57
san398	1	10	88	0.28
san398	2	10	87	0.31
san398	3	10	72	0.25
san398	4	10	89	0.41
san2daejogu	1	10	66	0.36
san2daejogu	2	10	88	0.41
san2daejogu	3	10	95	0.44
san2daejogu	4	10	81	0.38
san568	1	10	46	0.47
san568	2	10	67	0.44
san568	3	10	71	0.45
san568	4	10	59	0.42
san86	1	10	75	0.23
san86	2	10	81	0.22
san86	3	10	84	0.28
san86	4	10	86	0.29
suncheon	1	10	80	0.39
suncheon	2	10	61	0.28
suncheon	3	10	77	0.31
suncheon	4	10	89	0.42
san9dangugdae	1	10	97	0.19
san9dangugdae	2	10	97	0.26
san9dangugdae	3	10	100	0.20
san9dangugdae	4	10	98	0.21
san184	1	10	100	0.56



san184	2	10	100	0.47
san184	3	10	84	0.38
san184	4	10	72	0.39
san180	1	10	65	0.37
san180	2	10	53	0.41
san180	3	10	75	0.44
san180	4	10	76	0.50
san135	1	10	65	0.55
san135	2	10	68	0.56
san135	3	10	53	0.52
san135	4	10	31	0.44
san218	1	10	64	0.33
san218	2	10	96	0.43
san218	3	10	74	0.34
san218	4	10	87	0.37
san187	1	10	100	0.51
san187	2	10	100	0.50
san187	3	10	100	0.48
san187	4	10	79	0.50
aewolbudu	1	11	53	0.24
aewolbudu	2	11	74	0.29
aewolbudu	3	11	92	0.35
aewolbudu	4	11	86	0.35
san41	1	11	49	0.24
san41	2	11	16	0.18
san41	3	11	52	0.26
san41	4	11	95	0.40
san303	1	11	27	0.14
san303	2	11	19	0.14
san303	3	11	38	0.19
san303	4	11	89	0.31
san45	1	11	33	0.18
san45	2	11	50	0.22
san45	3	11	40	0.19
san45	4	11	32	0.19
san351	1	11	99	0.31
san351	2	11	86	0.30
san351	3	11	92	0.31

san351	4	11	94	0.31
san208	1	11	96	0.38
san208	2	11	96	0.42
san208	3	11	96	0.38
san208	4	11	88	0.30
san177	1	11	13	0.13
san177	2	11	27	0.14
san177	3	11	35	0.15
san177	4	11	55	0.19
san254	1	11	25	0.20
san254	2	11	36	0.22
san254	3	11	61	0.25
san254	4	11	68	0.29
san128	1	11	5	0.09
san128	2	11	24	0.10
san128	3	11	52	0.14
san128	4	11	67	0.19
san398	1	11	23	0.19
san398	2	11	40	0.22
san398	3	11	17	0.16
san398	4	11	41	0.27
san2daejogu	1	11	6	0.19
san2daejogu	2	11	18	0.21
san2daejogu	3	11	22	0.24
san2daejogu	4	11	10	0.19
san568	1	11	44	0.34
san568	2	11	60	0.30
san568	3	11	72	0.31
san568	4	11	69	0.32
san86	1	11	46	0.18
san86	2	11	51	0.17
san86	3	11	54	0.19
san86	4	11	63	0.22
suncheon	1	11	50	0.25
suncheon	2	11	46	0.18
suncheon	3	11	56	0.19
suncheon	4	11	50	0.24
san9dangugdae	1	11	26	0.14

san9dangugdae	2	11	18	0.16
san9dangugdae	3	11	19	0.13
san9dangugdae	4	11	19	0.15
san184	1	11	63	0.25
san184	2	11	53	0.18
san184	3	11	43	0.17
san184	4	11	41	0.17
san180	1	11	46	0.21
san180	2	11	48	0.25
san180	3	11	57	0.26
san180	4	11	78	0.31
san135	1	11	6	0.17
san135	2	11	23	0.22
san135	3	11	24	0.21
san135	4	11	16	0.20
san218	1	11	94	0.25
san218	2	11	77	0.26
san218	3	11	60	0.21
san218	4	11	69	0.24
san187	1	11	73	0.28
san187	2	11	59	0.28
san187	3	11	47	0.30
san187	4	11	32	0.33
aewolbudu	1	12	44	0.20
aewolbudu	2	12	55	0.20
aewolbudu	3	12	56	0.24
aewolbudu	4	12	51	0.26
san41	1	12	20	0.12
san41	2	12	13	0.10
san41	3	12	12	0.14
san41	4	12	40	0.25
san303	1	12	12	0.09
san303	2	12	15	0.08
san303	3	12	12	0.08
san303	4	12	11	0.14
san45	1	12	24	0.12
san45	2	12	40	0.14
san45	3	12	22	0.13

san45	4	12	21	0.13
san351	1	12	19	0.17
san351	2	12	29	0.17
san351	3	12	29	0.19
san351	4	12	17	0.18
san208	1	12	93	0.28
san208	2	12	95	0.32
san208	3	12	94	0.28
san208	4	12	90	0.24
san177	1	12	4	0.08
san177	2	12	2	0.09
san177	3	12	10	0.09
san177	4	12	0	0.11
san254	1	12	0	0.13
san254	2	12	4	0.14
san254	3	12	1	0.14
san254	4	12	1	0.14
san128	1	12	2	0.06
san128	2	12	6	0.07
san128	3	12	13	0.09
san128	4	12	7	0.10
san398	1	12	4	0.13
san398	2	12	6	0.17
san398	3	12	6	0.12
san398	4	12	1	0.18
san2daejogu	1	12	2	0.15
san2daejogu	2	12	4	0.15
san2daejogu	3	12	7	0.16
san2daejogu	4	12	3	0.15
san568	1	12	0	0.27
san568	2	12	3	0.21
san568	3	12	2	0.21
san568	4	12	4	0.23
san86	1	12	12	0.15
san86	2	12	26	0.18
san86	3	12	30	0.19
san86	4	12	8	0.18
suncheon	1	12	4	0.18

suncheon	2	12	19	0.17
suncheon	3	12	9	0.16
suncheon	4	12	5	0.19
san9dangugdae	1	12	10	0.13
san9dangugdae	2	12	12	0.13
san9dangugdae	3	12	13	0.12
san9dangugdae	4	12	13	0.12
san184	1	12	6	0.20
san184	2	12	22	0.22
san184	3	12	21	0.22
san184	4	12	12	0.19
san180	1	12	13	0.19
san180	2	12	4	0.19
san180	3	12	5	0.21
san180	4	12	7	0.21
san135	1	12	1	0.17
san135	2	12	0	0.20
san135	3	12	0	0.18
san135	4	12	1	0.20
san218	1	12	34	0.35
san218	2	12	21	0.30
san218	3	12	27	0.31
san218	4	12	24	0.30
san187	1	12	40	0.22
san187	2	12	49	0.22
san187	3	12	26	0.23
san187	4	12	32	0.22

rep<sup>1</sup> = replication

gcp<sup>2</sup> = green cover percentage (%)

ndvi<sup>3</sup> = normalized difference vegetation index

Addendum 2. Raw data of Canopy area, Green portion area, and Green cover percentage of germplasm.

month 8		Canopy area				Green portion area				Green cover percentage (%)			
no	germplasm	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4
1	aewolbudu	6229	6227	6363	6210	5893	6041	6217	5780	94.61	97.01	97.71	93.08
2	san41	6233	6238	6303	6252	6087	6132	6253	6186	97.66	98.30	99.21	98.94
3	san303	6194	6088	6292	6238	5868	6000	6152	6023	94.74	98.55	97.77	96.55
4	san45	6257	6384	6267	6264	6046	6190	6122	6110	96.63	96.96	97.69	97.54
5	san351	6259	6259	6370	6260	6225	6240	6353	6206	99.46	99.70	99.73	99.14
6	san208	6261	6378	6260	6250	6169	6298	6094	5956	98.53	98.75	97.35	95.30
7	san177	6212	6226	6359	6210	5636	5986	6242	6026	90.73	96.15	98.16	97.04
8	san254	6267	6382	6260	6260	6089	6179	6180	6168	97.16	96.82	98.72	98.53
9	san128	6204	6190	6322	6132	5801	6087	6285	6062	93.50	98.34	99.41	98.86
10	san398	6102	6221	6295	6325	5844	6056	6327	6150	95.77	97.35	100.51	97.23
11	san2daejogu	6183	6231	6324	6309	5573	6170	6279	6142	90.13	99.02	99.29	97.35
12	san568	6231	6216	6221	6162	6355	6261	6247	6250	101.99	100.72	100.42	101.43
13	san86	6203	6299	6261	6311	6054	6076	6041	6099	97.60	96.46	96.49	96.64
14	suncheon	6262	6334	6333	6275	6229	6244	6190	6207	99.47	98.58	97.74	98.92
15	san9dangugdae	5835	5819	5825	5807	6135	6220	6143	5836	105.14	106.89	105.46	100.50
16	san184	6118	6117	6066	6084	6209	6293	6156	6191	101.49	102.88	101.48	101.76
17	san180	4921	5681	5640	5698	5236	5781	5523	5130	106.40	101.76	97.93	90.03
18	san135	5975	5741	5988	5735	6126	5948	6086	5220	102.53	103.61	101.64	91.02
19	san218	5978	5680	5665	5920	5983	5779	5643	5316	100.08	101.74	99.61	89.80
20	san187	5991	5989	5928	5894	6170	6074	5613	4399	90.80	96.66	98.63	97.86

month 9		Canopy area				Green portion area				Green cover percentage (%)			
no	germplasm	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4
1	aewolbudu	6242	6257	6389	6240	5027	5632	5998	5235	80.54	90.01	93.88	83.89
2	san41	6258	6260	6392	6262	6152	6101	6294	6232	98.31	97.46	98.47	99.52
3	san303	6209	6150	6313	6201	5963	6140	6326	6211	96.04	99.84	100.21	100.16
4	san45	6266	6396	6266	6268	6128	6292	6170	6152	97.80	98.37	98.47	98.15
5	san351	6258	6250	6335	6249	6257	6223	6341	6201	99.98	99.57	100.09	99.23
6	san208	6263	6396	6268	6259	5992	6367	6198	6079	95.67	99.55	98.88	97.12
7	san177	6246	6224	6371	6226	5757	6004	6276	6021	92.17	96.47	98.51	96.71
8	san254	6263	6375	6244	6268	6178	6297	6244	6264	98.64	98.78	100.00	99.94
9	san128	6209	6225	6355	6183	5829	6154	6367	6247	93.88	98.86	100.19	101.04
10	san398	6214	6197	6260	6261	6134	6191	6307	6151	98.71	99.90	100.75	98.24
11	san2daejogu	6260	6244	6396	6254	6191	6248	6389	6238	98.90	100.06	99.89	99.74
12	san568	6323	6179	6232	6179	6296	6182	6247	6203	99.57	100.05	100.24	100.39
13	san86	6221	6345	6235	6243	5996	6164	6060	6139	96.38	97.15	97.19	98.33
14	suncheon	6274	6328	6274	6340	6236	6206	6100	6258	99.39	98.07	97.23	98.71
15	san9dangugdae	6183	6140	5987	5705	6192	6259	6293	6165	100.15	101.94	105.11	108.06
16	san184	6164	6078	5914	6102	6233	6275	6038	5766	101.12	103.24	102.10	94.49
17	san180	4992	5887	5922	6017	5622	6080	6082	6185	112.62	103.28	102.70	102.79
18	san135	6050	5994	6033	6087	6254	6018	5522	5764	103.37	100.40	91.53	94.69
19	san218	5018	5628	5680	5783	3707	4996	4783	5642	73.87	88.77	84.21	97.56
20	san187	6056	6046	6099	6074	6170	6074	5613	4399	101.88	100.46	92.03	72.42

month 10		Canopy area				Green portion area				Green cover percentage (%)			
no	germplasm	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4
1	aewolbudu	6157	6226	6281	6221	4330	4991	5780	5548	70.33	80.16	92.02	89.18
2	san41	6239	6234	6316	6330	5643	5670	6002	6204	90.45	90.95	95.03	98.01
3	san303	6092	5976	6075	6148	5709	6039	6062	6151	93.71	101.05	99.79	100.05
4	san45	6250	6326	6333	6264	4982	5636	5206	4176	79.71	89.09	82.20	66.67
5	san351	6240	6199	6348	6220	6205	6212	6116	6083	99.44	100.21	96.35	97.80
6	san208	6377	6226	6251	6244	6083	6114	6163	5948	95.39	98.20	98.59	95.26
7	san177	6158	6202	6286	6196	5177	5468	5758	5939	84.07	88.17	91.60	95.85
8	san254	6382	6246	6182	6259	5037	5414	5979	6150	78.93	86.68	96.72	98.26
9	san128	6071	6090	6208	6083	4154	4789	5629	6115	68.42	78.64	90.67	100.53
10	san398	6042	6061	6183	6206	5314	5287	4464	5551	87.95	87.23	72.20	89.45
11	san2daejogu	6221	6216	6374	6243	4085	5440	6026	5036	65.66	87.52	94.54	80.67
12	san568	6296	6105	6131	6121	2920	4092	4369	3625	46.38	67.03	71.26	59.22
13	san86	6148	6206	6140	6194	4604	5038	5127	5309	74.89	81.18	83.50	85.71
14	suncheon	5900	5567	5082	5087	4292	3967	3944	3502	72.75	71.26	77.61	68.84
15	san9dangugdae	6244	6350	6252	6243	4989	3869	4796	5551	79.90	60.93	76.71	88.92
16	san184	5561	5942	5763	5262	5413	5757	5875	5157	97.34	96.89	101.94	98.00
17	san180	5124	5357	5578	5708	6075	5874	4710	4123	118.56	109.65	84.44	72.23
18	san135	4975	5698	5681	5939	3219	3043	4233	4530	64.70	53.40	74.51	76.28
19	san218	5956	5986	6129	6025	3884	4050	3231	1870	65.21	67.66	52.72	31.04
20	san187	5020	4797	5458	5719	5988	5915	5510	4545	119.28	123.31	100.95	79.47



month 11		Canopy area				Green portion area				Green cover percentage (%)			
no	germplasm	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4
1	aewolbudu	6169	6224	6364	6175	3256	4602	5832	5284	52.78	73.94	91.64	85.57
2	san41	6139	6126	6277	6224	3036	984	3240	5938	49.45	16.06	51.62	95.40
3	san303	5899	5743	5866	6045	1576	1103	2224	5391	26.72	19.21	37.91	89.18
4	san45	6223	6347	6232	6258	2030	3173	2494	1998	32.62	49.99	40.02	31.93
5	san351	6165	6105	6239	6118	6074	5237	5716	5774	98.52	85.78	91.62	94.38
6	san208	6244	6339	6253	6209	6009	6080	6029	5456	96.24	95.91	96.42	87.87
7	san177	6077	6129	6265	6151	779	1649	2171	3398	12.82	26.90	34.65	55.24
8	san254	6290	6117	6093	6237	1571	2190	3687	4210	24.98	35.80	60.51	67.50
9	san128	5796	5905	5957	5933	294	1427	3122	3947	5.07	24.17	52.41	66.53
10	san398	6044	6030	6190	6205	1394	2434	1060	2575	23.06	40.36	17.12	41.50
11	san2daejogu	6202	6215	6388	6232	403	1140	1429	603	6.50	18.34	22.37	9.68
12	san568	6206	6111	6161	6219	2702	3652	4428	4308	43.54	59.76	71.87	69.27
13	san86	6105	6206	6206	6168	2834	3161	3327	3895	46.42	50.93	53.61	63.15
14	suncheon	6209	6324	6248	6252	3130	2940	3490	3134	50.41	46.49	55.86	50.13
15	san9dangugdae	5406	5654	5517	5151	1405	994	1046	969	25.99	17.58	18.96	18.81
16	san184	5958	5703	5687	6039	3742	3045	2422	2472	62.81	53.39	42.59	40.93
17	san180	4200	5507	5623	5742	1927	2660	3202	4503	45.88	48.30	56.94	78.42
18	san135	6108	5805	5937	5589	370	1323	1443	897	6.06	22.79	24.31	16.05
19	san218	4411	5235	5476	5490	4140	4017	3299	3795	93.86	76.73	60.24	69.13
20	san187	5647	5397	5534	5956	4135	3202	2580	1900	73.22	59.33	46.62	31.90

month 12		Canopy area				Green portion area				Green cover percentage (%)			
no	germplasm	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4
1	aewolbudu	6227	6145	6375	6226	2740	3395	3576	3177	44.00	55.25	56.09	51.03
2	san41	6124	6087	6346	6204	1229	793	761	2484	20.07	13.03	11.99	40.04
3	san303	6081	5899	6085	6191	727	868	757	702	11.96	14.71	12.44	11.34
4	san45	6186	6387	6212	6242	1459	2581	1383	1323	23.59	40.41	22.26	21.20
5	san351	6241	6197	6325	6227	1175	1773	1820	1085	18.83	28.61	28.77	17.42
6	san208	6259	6374	6253	6235	5830	6048	5848	5613	93.15	94.89	93.52	90.02
7	san177	6118	6189	6213	6032	243	152	592	9	3.97	2.46	9.53	0.15
8	san254	6250	6353	6226	6259	31	250	89	63	0.50	3.94	1.43	1.01
9	san128	6128	6162	6240	6018	125	352	823	442	2.04	5.71	13.19	7.34
10	san398	6017	6064	6181	6207	215	345	349	87	3.57	5.69	5.65	1.40
11	san2daejogu	6217	6236	6389	6245	114	231	471	183	1.83	3.70	7.37	2.93
12	san568	6320	6116	6160	6089	31	158	139	257	0.49	2.58	2.26	4.22
13	san86	6126	6234	6176	6183	728	1625	1836	499	11.88	26.07	29.73	8.07
14	suncheon	6246	6351	6262	6260	242	1189	576	317	3.87	18.72	9.20	5.06
15	san9dangugdae	5863	5755	5906	5851	566	696	782	786	9.65	12.09	13.24	13.43
16	san184	6108	6055	5761	6082	339	1355	1231	703	5.55	22.38	21.37	11.56
17	san180	4701	5597	5680	5810	624	246	260	390	13.27	4.40	4.58	6.71
18	san135	6197	5812	6033	5681	34	0	0	60	0.55	0.00	0.00	1.06
19	san218	4827	5354	5592	5743	1663	1127	1536	1378	34.45	21.05	27.47	23.99
20	san187	5608	5369	5540	5720	4135	3202	2580	1900	73.22	59.33	46.62	31.90

Addendum 3. Raw data of NDVI of germplasm from August to December.

no	germplasm	Aug				Sep				Oct				Nov				Dec			
		Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep1	Rep2	Rep3	Rep4
1	aewolbudu	0.61	0.67	0.70	0.65	0.53	0.58	0.60	0.59	0.38	0.46	0.53	0.51	0.24	0.29	0.35	0.35	0.20	0.20	0.24	0.26
2	san41	0.62	0.63	0.70	0.71	0.61	0.58	0.63	0.68	0.48	0.43	0.52	0.63	0.24	0.18	0.26	0.40	0.12	0.10	0.14	0.25
3	san303	0.61	0.63	0.67	0.72	0.58	0.58	0.66	0.75	0.31	0.32	0.43	0.61	0.14	0.14	0.19	0.31	0.09	0.08	0.08	0.14
4	san45	0.71	0.73	0.74	0.74	0.77	0.79	0.77	0.75	0.48	0.56	0.48	0.45	0.18	0.22	0.19	0.19	0.12	0.14	0.13	0.13
5	san351	0.74	0.75	0.73	0.78	0.76	0.75	0.74	0.79	0.61	0.56	0.58	0.58	0.31	0.30	0.31	0.31	0.17	0.17	0.19	0.18
6	san208	0.73	0.72	0.70	0.67	0.67	0.73	0.71	0.67	0.68	0.71	0.65	0.58	0.38	0.42	0.38	0.30	0.28	0.32	0.28	0.24
7	san177	0.57	0.66	0.65	0.65	0.55	0.62	0.60	0.64	0.30	0.38	0.39	0.54	0.13	0.14	0.15	0.19	0.08	0.09	0.09	0.11
8	san254	0.73	0.73	0.72	0.75	0.72	0.73	0.75	0.75	0.51	0.54	0.62	0.67	0.20	0.22	0.25	0.29	0.13	0.14	0.14	0.14
9	san128	0.61	0.63	0.66	0.67	0.56	0.62	0.67	0.70	0.28	0.32	0.42	0.57	0.09	0.10	0.14	0.19	0.06	0.07	0.09	0.10
10	san398	0.61	0.66	0.71	0.74	0.50	0.58	0.59	0.68	0.28	0.31	0.25	0.41	0.19	0.22	0.16	0.27	0.13	0.17	0.12	0.18
11	san2daejogu	0.63	0.70	0.76	0.78	0.61	0.66	0.68	0.66	0.36	0.41	0.44	0.38	0.19	0.21	0.24	0.19	0.15	0.15	0.16	0.15
12	san568	0.85	0.86	0.84	0.83	0.75	0.73	0.74	0.70	0.47	0.44	0.45	0.42	0.34	0.30	0.31	0.32	0.27	0.21	0.21	0.23
13	san86	0.49	0.50	0.50	0.47	0.40	0.40	0.43	0.43	0.23	0.22	0.28	0.29	0.18	0.17	0.19	0.22	0.15	0.18	0.19	0.18
14	suncheon	0.68	0.61	0.62	0.70	0.63	0.51	0.52	0.61	0.39	0.28	0.31	0.42	0.25	0.18	0.19	0.24	0.18	0.17	0.16	0.19
15	san9dangugdae	0.43	0.50	0.46	0.40	0.31	0.44	0.38	0.32	0.19	0.26	0.20	0.21	0.14	0.16	0.13	0.15	0.13	0.13	0.12	0.12
16	san184	0.77	0.72	0.71	0.73	0.69	0.62	0.56	0.49	0.56	0.47	0.38	0.39	0.25	0.18	0.17	0.17	0.20	0.22	0.22	0.19
17	san180	0.52	0.57	0.58	0.60	0.47	0.60	0.63	0.65	0.37	0.41	0.44	0.50	0.21	0.25	0.26	0.31	0.19	0.19	0.21	0.21
18	san135	0.61	0.56	0.59	0.55	0.61	0.62	0.56	0.56	0.55	0.56	0.52	0.44	0.17	0.22	0.21	0.20	0.17	0.20	0.18	0.20
19	san218	0.52	0.53	0.50	0.52	0.38	0.48	0.38	0.46	0.33	0.43	0.34	0.37	0.25	0.26	0.21	0.24	0.35	0.30	0.31	0.30
20	san187	0.48	0.52	0.54	0.53	0.60	0.57	0.54	0.51	0.51	0.50	0.48	0.50	0.28	0.28	0.30	0.33	0.22	0.22	0.23	0.22

## 사 사

드디어 사사를 쓰게 된 날입니다! 제게 허락된 이 공간을 빌어 논문을 쓰는데 부족함 없게 많은 가르침, 조언, 도움 그리고 응원을 주신 귀한 분들께 감사의 말을 남기려 합니다.

저의 지도교수이신 **정용석 교수님!** 감사하단 말을 얼마나 해야될 지 도무지 감이 안 잡힐 정도로 감사합니다. 진심입니다. 석사 과정 해보길 잘했다라고 느끼는데에 제 지도교수님이 교수님이셔서인 이유가 반 이상을 차지합니다. 학교를 떠나 전쟁 같은 사회에서 도태되지 않도록 내 사람이라며 애정과 진심 듬뿍 담긴 말씀으로 태도와 정신을 가르쳐주신 것 잊지 않겠습니다. 심사위원이셨던 **전용철 교수님**과 **박원표 교수님**께도 너무나 감사하다는 말씀드리고 싶습니다. 두 분 모두 제 첫 논문이 좋은 논문이 되길 바라는 마음으로 기초적인 부분부터 자세하게 봐주셨습니다. 다시 한번 머리 숙여 감사함을 전합니다. 그리고 제 이야기를 귀담아 들어주시고 진심으로 응원해주신 **김주성 교수님**과 좋은 강의를 해주셨던 **김동순 교수님**께도 마음 깊이 감사드립니다. 지금은 학교에 계시지 않지만 학부 때 든든하게 계셔주셨던 **송창길 교수님**과 **현해남 교수님**께도 감사합니다. 마지막으로 저희 농학과 조교 선생님, **이종훈 선생님**과 **이희선 선생님** 논문 내는 날까지 부족한 부분이 많았는데 세심하게 챙겨주시고 좋은 말씀 많이 해주셔서 감사합니다.

우리 전작재배육종학 실험실 사람들! 논문보다 사사 보러 제 논문을 펼 거 같다는 느낌이 강하게 듭니다. 기대에 미칠지 모르겠지만 한마디씩 하겠습니다.

**지은언니**, 언니와 같은 실험실에서, 같은 시간에, 같은 추억을 나눌 수 있어 행복했어요. 누구보다 마음이 여린 우리 언니, 하고 싶은 거 있어도 전체를 위해서 기꺼이 자신을 포기하는 우리 언니, 너무 미안했고 고마웠어요. 언니 또 연락할게요.

**뚜안**, 논문 쓰는 동안 밤늦게까지 옆에서 할 일 해줘서 고마웠어요. 덕분에 외롭지 않고, 또 잠깐 잠깐 나누는 대화에 위로받고, 힘내고 그렇게 논문을 썼네요. 건강해야 해요!

**기본언니**, 언닐 만난 건 내 인생의 로또입니다!!! 언니에게도 진짜 감사하단 말을 얼마나 해야될 지 모르게 감사합니다. 어디 가서도 언니는 꼭 필요한 사람이 될 거예요. 여기서도 언니의 뭇보다 더 많은 걸 해내는 모습이 멋있었어요. 좋은 일 생기면 연락할게요!

잔디 아빠 현석아. 나 같은 것도 보스라고 잘 따라와 줘서 고마웠고 고생 많았다! 너 내가 많이 아꼈는데 알지? 넌 뭘 해도 잘 될 거니 건강하게 룡런 하자!

잔팁, 잔디 키우느라 고생 많았어~ 지금처럼 공부도 열심히 하고, 아픈 곳 없이 건강해야 해!

재영오빠, 실험실 초반에 기초를 잘 잡아준 육종방 스탠다드죠! 든든했고 고마웠어요.

정민오빠, 지은언니와 셋이 같은 시기를 보냈다는 게 진짜 행운이었고 나나, 뚜비, 뽀 포에버!

성문오빠, 민아언니 앞으로 실험실에서 생활이 기대되고 맛있는 밥, 간식 감사했어요!

마지막으로 통계에 많은 도움을 주신 **한경덕 박사님**과 이미지 처리에 많은 도움을 주신 **동욱오빠**, **규진이** 모두에게 감사합니다.

저와 가장 가까운 데에서 두 번째 논문을 함께 겪은 우리 가족과 논문 쓰는 동안 아낌 없는 응원과 용기를 불어넣어 준 친구들에게도 한마디 남깁니다.

부모님, 세 글자만 적어도 눈물이 핑 돌습니다. 연구실에서 언제 집 들어간단 말도 없이 그냥 많이 늦을 거라던 딸. 새벽 3시에 들어왔던 날, 주무시지도 않고 들어올 때까지 기다렸다가 수고했다고 박수쳐준 것, 사랑한단 말이 부족할 정도로 사랑합니다. 고맙습니다. 이 논문과 학위를 부모님께 드립니다. 그리고 논문 잘 읽고 시간 관리 잘 하라며 아이패드를 선물해준 **준현오빠**와 누나 논문 쓰는데 맛있는 거 먹고 하라며 주머니 털어 초밥, 타코야끼, 과자 등 선물 준 인심 좋은 빈털터리 **막내 보현이**, 고맙습니다. 또 우리 할머니와 할아버지에게도 감사합니다.

내 친구 **보람이**와 **승희오빠**, 석사가 되기 전부터 척척 석사라며 자신감을 가지고 이 여정을 마무리 할 수 있게 응원해주어 고맙습니다.

**민태선 교수님**, 예고 없이 불쑥 찾아가도 늘 따뜻한 차와 간식으로 반겨주셔서 감사했습니다. 공부와 일에 찌들어 메마른 감성을 촉촉하게 해준 봄비 같은 분, 오래오래 이 인연이 이어지길 바라는 마음입니다. 감사합니다.

**진현**, 우리가 언젠가 한 방향을 보고, 함께 연구를 할 수 있게 되길 바라며 그 초석을 잘 쌓을 수 있도록 온 사랑을 담아 부족한 나를 보듬어줘서 고마워요.♥

마지막으로 여기에는 적지 못했지만 응원해주신 모든 분들께 마음 깊이 감사드리며 이 글을 마칩니다. 감사합니다.

2022년 6월 여름의 시작에서