Check for updates



지황 생장의 파괴·비파괴적 해석

남효훈^{1†} · 김광섭² · 서영진³

Growth Analysis of *Rehmannia glutinosa* using Destructive and **Non-Destructive Methods**

Hvo Hoon Nam^{1†}, Kwang Seop Kim² and Young Jin Seo³

ABSTRACT

Background: This study was conducted to develop a productivity evaluation technique of Rehmania glutinosa (Gaertn.) Libosch. ex Steud., by comparatively analyzing changes over time using either a destructive or non-destructive method.

Received: 2021 July 7 1st Revised: 2021 August 2 2nd Revised: 2021 August 13 3rd Revised: 2021 August 18 Accepted: 2021 August 18

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http:// creativecommons.org/licenses/ by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium. provided the original work is properly cited.

Methods and Results: Growth characters were measured every 10 days, and several growth parameters were calculated using leaf area and dry weight. The normalized difference vegetation index (NDVI) was obtained by a multispectral sensor on an unmanned aerial vehicle. As the growth period progressed, growth characteristics decreased or remained constant after the August month during a high temperature period after the linear increase. The relative growth rate, net assimilation rate, and crop growth rate were 26.6 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 2.7 $\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ and 7.4 $\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, respectively. The NDVI ranged from 0.08 to 0.71 and changed in a pattern similar to the growth characteristics. The NDVI was highly correlated with plant height, dry weight, and leaf area index. The main growth characteristics affecting NDVI were plant height and fresh weight, with the following relationship was NDVI = $-0.0001 + (0.016 \times \text{plant height}) + (0.0002 \times \text{fresh weight})$. **Conclusions:** The NDVI correlates well with the growth and growth analysis parameters of *R. glu*-

tinosa and can be considered an adequate index of quantitative growth.

Key Words: Rehmania glutinosa (Gaertn.) Libosch. ex Steud., Growth Analysis, Normalized Difference Vegetation Index, Unmanned Aerial Vehicle

서 ы

지황 [Rehmania glutinosa (Gaertn.) Libosch. ex Steud.]은 현삼과의 다년생 초본식물로서 지하경을 약용으로 사용하며 한 방에서는 경옥고, 십전대보탕 등의 원료로 널리 사용되고 있다. 2019년 재배 규모는 134 ha, 1,008 M/T 정도이며 (MAFRA, 2020), 2011년부터 2019년까지 수입량은 평균 1,075 M/T에 달하고 있다 (APQA, 2021). 최근 기후변화로 인해 약용작물 주산지의 평균기온이 상승하여 인삼, 천궁 등 내서성이 약한 대부분의 작물들의 재배적지와 생산성이 감소 하는 추세이며 (RDA, 2014) 비교적 호온성 작물이고 영양번 식이 가능한 지황이 대체 작물로 선택하는 사례가 늘어나고

있다. 또한 생물자원 이익 공유를 규정한 나고야의정서에 따 라 국내 소비량의 절반에 달하는 수입량을 대체할 필요가 있 으므로 지황의 재배 규모 확대 및 자급률 제고가 필요한 시점 이다.

국내 재배환경에서 지황 생장의 생리생태적 연구는 미흡한 실정이며 최근 비대시기 구명 (Lee et al., 2019), 플러그 육 묘재배 (Lee et al., 2020) 등이 보고된 바 있다. 재배환경에 따라 노지 밭작물의 생산성 변화가 크기 때문에 적절한 생산 성 평가를 실시하여 재배기술의 투입 여부를 결정하는 것이 중요하다.

작물 생산성을 평가하는 전통적인 방법으로는 일정 생육주 기에 따라 식물체를 파괴적으로 측정하는 생장해석 기법이

[†]Corresponding author: (Phone) +82-53-320-0456 (E-mail) whoisnam@korea.kr

^{&#}x27;경상북도농업기술원 봉화약용작물연구소 연구사 / Researcher, Bonghwa Herbal Crop Research Institute, GBARES, Bonghwa 36229, Korea.

²경상북도농업기술원 봉화약용작물연구소 연구사 / Researcher, Bonghwa Herbal Crop Research Institute, GBARES, Bonghwa 36229, Korea.

³경상북도농업기술원 봉화약용작물연구소 연구사 / Researcher, Bonghwa Herbal Crop Research Institute, GBARES, Bonghwa 36229, Korea.

1900년대 초반부터 실시되어 왔고 (Evans, 1972) 참당귀 (Nam et al., 1999), 마 (Cho et al., 2000), 홍화 (Kim et al., 2008) 등 국내 약용작물의 1차 생산성이 보고된 바 있다. 그러나 이와 같은 전통적인 생육 진단은 특정한 조사시점에서 의 일부 생육량을 대상으로 평가하고 조사자의 주관 또는 능 력에 따라 생육진단 결과가 달라질 수 있으며 노지 밭작물은 토양 등 환경의 균일도가 낮아 전체적인 생육을 파악하기 곤 란할 수도 있다. 따라서 객관화, 수치화된 생육진단 지표의 활 용이 요구된다.

1960년대 이후 인공위성과 다중분광센서가 적용된 작황예측 기술이 발달하였고 최근에는 무인비행체의 상용화와 정보통신 기술의 급속한 발달로 비파괴적 작물생육 원격진단 연구가 활 발히 이루어지고 있다 (Lee et al., 2017a; Na et al., 2018). MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 자료의 식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 또는 Unmanned Aerial vehicle (UAV) NDVI 영상 을 활용하여 벼 (Hong et al., 2012; Zhou et al., 2017; Guan et al., 2019), 콩 (Lee et al., 2017c), 밀 (Hassan et al., 2019) 등의 식량작물과 배추 (Lee et al., 2017b), 마늘 (Na et al., 2017; 2018) 등 원예작물에서 1차 생산성과 수량 을 예측할 수 있는 모델을 개발하였다. 약용작물은 산간 또는 곡간의 경사지에서 주로 재배되고 있어 접근이 용이하지 않고 군락내 생육의 균일도가 낮을 뿐 아니라 1차 생산성에 대한 검 토도 부족한 등 생육진단을 위한 여건이 불리하다. 따라서 기 후변화 등의 영향으로 재배환경이 악화되고 있고 환경 변화에 민감하게 반응하는 약용작물 재배에 있어 신속한 의사결정을 지원할 수 있는 원격탐사 생육진단 기술의 도입이 요구된다.

본 연구는 지황 생장을 파괴적 또는 비파괴적인 방법으로 경시적 변화를 비교 분석함으로써 현장 적용 가능한 생산성 평가기법을 개발하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험포장 및 재배환경

경상북도 봉화군 봉성면 외삼리 소재 경상북도농업기술원 봉화약용작물연구소 시험포장 (128°48'27.24" E 36°53'56.57" N)에서 수행하였다. 시험포장의 토양은 지산통 (JiB, Jisan Series, fine loamy, mixed, mesic family of Fluvapuentic Endoaquepts, classification of soil taxonomy by USA), 표 토는 사양토이고 화학성은 pH 6.7, EC 0.38 dS·m⁻¹, 유기물 27.8 g·kg⁻¹, Av. P₂O₅ 408 mg·kg⁻¹, Ex. K 0.3 cmol_c·kg⁻¹, Ex. Ca 9.3 cmol_c·kg⁻¹, Ex. Mg 2.8 cmol_c·kg⁻¹이었다.

시험 기간 중 지황 [*Rehmania ghutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Steud.]의 재배환경은 Fig. 1과 같이 평균기온은 20.4℃, 적 산온도 3,639℃, 강수량 759.5 mm, 일조시수 1,190 시간으로 평년 (1991년 - 2020년) 대비 평균기온 2.3℃, 적산온도 203 ℃, 일조시수 78 시간이 높거나 길었으며 강수량은 212 mm 적 었다. 기온과 지온은 정식 이후 증가하였고 120 DAP (days after planting)를 기점으로 감소하였으며, 일사량은 생육 후기 로 갈수록 감소하는 경향이었다. 100 DAP과 140 DAP에는 일사량이 적고 기온 또는 지온이 낮았다.

2. 식물재료

지황 '다강' (*Rehmannia glutinosa* cv. *Dagang*)을 식물재 료로 하여 2019년 4월 24일에 길이 5 cm, 직경 7 mm - 10 mm 정도의 지하경을 절단하여 30 cm × 15 cm 의 재식거리로 10 cm 깊이에 정식하였고 시험구 배치는 완전임의배치 3 반복 이었다. 시험구당 이랑은 흑색 PE 필름으로, 고랑은 흑색 부 직포로 피복하였으며 점적 호스를 설치하여 관수하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 실시하였다 (RDA, 2013).



Fig. 1. Weather conditions from 1 (24 April) to 196 (30 October) days after planting in 2019 at Bonghwa, Korea. A; average soil and air temperature, B; solar radiation, C; precipitation.

3. 생육특성 조사

활착 및 출엽이 완료된 5월 13일 후 약 10 일 간격으로 18 회에 걸쳐 시험구당 33 주씩 3 반복으로 초장, 엽수, 엽면 적을 측정하였고 잎, 잎줄기, 꽃, 지하경으로 구분하여 생체중 과 건물중을 실측하였다. 엽면적과 건물중으로부터 상대생장률 (RGR, relative growth rate, Eq. 1), 순동화율 (NAR, net assimilation rate, Eq. 2), 엽면적률 (LAR, leaf area ratio, Eq. 3), 비엽중 (SLW, specific leaf weight, Eq. 4), 엽면적지수 (LAI, leaf area index, Eq. 5), 작물생장률 (CGR, crop growth rate, Eq. 6)



Fig. 2. Normalized difference vegetation index map of Rehmannia glutinosa cv. Dagang according to growing period.

등 생장해석 요소들을 산출하였다.

$$RGR = (lnW_2 - lnW_1)/(t_2 - t_1)$$
(1)

NAR =
$$[(W_2 - W_1)(lnLA_2 - lnLA_1)]/[(t_2 - t_1)(LA_2 - LA_1)]$$

(2)

$$LAR = [(LA_2 - LA_1)(lnW_2 - lnW_1)]/[(lnLA_2 - lnLA_1)(W_2 - W_1)]$$
(3)

$$SLW = [(LW_2/LA_2) + (LW_1/LA_1)]/2$$
 (4)

$$LAI = [(LA_2 + LA_1)/2]/GA$$
(5)

$$CGR = NAR \times LAI$$
(6)

위 식에서 W_x은 조사시기 t_x일 때 1 주당 건물중을 의미 하며 RGR에서는 잎, 잎줄기, 꽃, 지하경 및 전체 건물중을 구분하여 각각 사용하였다. LA_x, LW_x는 t_x의 엽면적, 잎 건 물중을 각각 나타내고 GA는 잎이 피복하고 있는 지면의 면 적이다.

4. 분광영상 획득 및 분석

다분광센서 (Sequoia, Parrot, Paris, France)가 장착된 무인 멀티콥터 (Inspire 1RAW, DJI, Shenzhen, China)를 이용하여 Red (660 nm), NIR (790 nm) 영역의 reflectance map과 RGB 영상을 얻었다. 조사 시기와 간격은 생장특성 조사와 동일하 였다. 균일한 영상을 획득하기 위하여 일출 후 1 시간 - 2 시 간 사이에 동일한 고도와 경로를 이동하였고 분광센서 이미지 의 중첩률은 85% 이상으로 설정하여 촬영 간격 및 운반체의 이동속도를 조절하였다.

NDVI는 이미지분석소프트웨어 (Pix4D mapper, Pix4D, Prilly, Switzerland)를 이용하여 산출하였다 (Rouse *et al.*, 1973; Eq. 7 and Fig. 2).

$$NDVI = (R_{790} - R_{660})/(R_{790} + R_{660})$$
(7)

식 (7)에서 R₆₆₀과 R₇₉₀은 각각 660 nm 와 790 nm 에서의 분 광값이다. NDVI값 들과 실측한 생육 특성 및 RGR, NAR 등 생장해석 요소와의 상관관계를 구하여 약용작물의 생육 진 단에 있어 NDVI의 유효성을 검증하였다.

5. 통계분석

통계분석은 R (v3.6.2)과 Sigmaplot (v14.0, Systat Software Inc., CA, USA)을 이용하였으며 유의수준 5%에서 유효성을 검증하였다 (*p* < 0.05). 생육특성, 생장해석 요소와 NDVI간에 는 biplot을 이용한 단순 상관분석을 실시하였다.

또한 NDVI와 생장 요인들에 대하여 AIC (Akaike information criteria)를 기준으로 단계별 회귀분석을 통해 유효

한 요인과의 다중회귀모형을 산출하였다. 이 때 산출된 유효 요인의 영향력을 평가하기 위하여 회귀계수에 NDVI와 요인 의 표준편차의 비를 곱하여 표준화 회귀계수 (Standardized regression coefficient)를 각각 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 파괴적 방식의 생산성 평가

지황 [*Rehmania glutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Steud.]의 초장, 엽수, 엽면적, 지상부 건물중 등 지상부 생장과 지하경 길이는 90 DAP까지 선형적으로 증가하여 각각의 최대값인 39.1 cm, 87.8 개, 0.24 ㎡, 23.2 g, 50.6 cm를 보인 뒤 정체 또는 감소하였다 (Fig. 3). 지하경 건물중은 지상부 생장이 정 체된 10 일 후인 100 DAP에 잠시 정체한 뒤 증가하여 수확 기에는 47.2 g이었다.

지황은 호온성 작물로 고온기 생장에 영향을 적게 받지만 다습한 장마기에는 점무늬병, 뿌리썩음병 등에 의해 지상부가 고사하는 사례가 많다 (RDA, 2013). 본 실험에서도 7월 하 순 - 8월 상순 강우 일수가 늘어나고 일사량이 감소하여 증발 량이 감소된 상태가 지속됨에 따라 토양이 과습한 상태가 지 속적으로 유지되어 지상부 생장이 부정적인 영향을 받았다. 고 온·다습한 환경이 개선된 8월 중순, 111 DAP를 기점으로 생 장이 재생되었다.

Lee 등 (2019)은 지황의 지하경 생장은 정식 후 100 일 경 에 증가하여 150 일 후에 완료된다고 보고한 바와 비교하면 지하경 비대 시점은 일치하였으나 수확기까지 지속적으로 생 장량이 늘어나고 있다는 점에서는 차이를 보였다 (Fig. 3E and 3F). 생육 후기 지하경의 생장량 증가 경향과는 달리 잎, 잎줄기 등 지상부 생장량은 급속히 감소하여 전체 생장량은 정체하는 경향이었다. 전체 생육기간 중 1 주당 지하경 건물 중의 변화는 Sigmoidal 함수로 표현되었으며 [R² = 0.97, Root mean square error (RMSE) = 4.7] 생육일수에 따라 지황 수확량의 추정이 가능하였다 (Eq. 8).

Dry weight of rhizome (g per plant)
=
$$44.21/\{1 + \exp[-(\text{Days after planting} - 113.82)/23.38]\}$$
 (8)

지상부 건물중과 초장, 엽수, 엽면적은 각각 상관계수 0.89 (p < 0.01), 0.74 (p < 0.01), 0.89 (p < 0.01)로서 유의한 정의 상관관계를 보였다. 또한 지하경 건물중도 초장 (r = 0.65, p < 0.01), 엽면적 (r = 0.58, p < 0.01)과 유의한 정 의 상관관계를 나타내어 지하부 수량 예측에 있어 지상부 형 질을 이용하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

개체 단위의 생산성을 반영하는 RGR은 기관별로 생육 초 기인 50 DAP에 최대값을 보인 뒤 생육 후기로 갈수록 변동



Fig. 3. Changes of growth characteristics of *Rehmannia glutinosa* cv. *Dagang*. A; plant height, B; number of leaves per plant, C: leaf area, D: rhizome length, E; fresh weight per plant, F; dry weight per plant.

폭이 크면서 감소하는 추세를 보였다 (Fig. 4A). 생육기 전체 평균 RGR은 잎 35.6 mg·g⁻¹·d⁻¹, 엽병 34.5 mg·g⁻¹·d⁻¹, 꽃 -3.5 mg·g⁻¹·d⁻¹, 지하경 25.5 mg·g⁻¹·d⁻¹이었고 식물체 전체 평 균은 26.6 mg·g⁻¹·d⁻¹로 참당귀 (Nam *et al.*, 1999)와 유사한 수준이었다. NAR은 생육 후기로 갈수록 감소하는 경향이었으 나 잎의 발생, 고사의 주기가 짧아서 조사 시점에 따른 변동 폭이 컸으며 연평균 순동화율은 2.7 g·m⁻²·d⁻¹이었다 (Fig. 4B).

광합성 기관의 분배율을 나타내는 LAR은 생육시기 경과에 따라 감소하였고 (Fig. 4C) 광합성 기관의 충실도를 나타내는 SLW은 증가하는 추세였다 (Fig. 4D). LAI은 140 DAP일 때 7.31로 최대값을 보였다 (Fig. 4E). 군락 단위 생산성을 대변 하는 CGR은 구성요소인 NAR의 영향으로 생육 후기 변화폭 이 컸으며 평균 CGR은 7.4 g·m⁻²·d⁻¹이었다 (Fig. 4F).

지황의 1차 생산성은 생육 초기에는 높은 순동화율, 즉 광 합성 기관의 효율에서 기인하며 생육 후기에는 광합성 기관의 양적 확장에 기인하는 것으로 보인다. 이와 같은 생산성 변화 는 일반적인 작물에서 보여주는 변화 양상이다 (Evans, 1972). 저장기관이 비대하는 작물들에서 보이는 생육 후기 작물생장 률의 재상승구간은 확인되지 않았는데 100 DAP에 발생한 생 육 불량과 생육 후기 잎의 고사량 증가에 따른 엽면적 확보가 부족했기 때문으로 판단된다.

전통적인 방식의 생장해석을 통해 개체 또는 군락 단위에서 지황의 1차 생산성이 광합성 기관의 양적, 질적 변화에 영향 을 받으며 최대 생산성을 나타내는 시기와 평균 생산성 등을 평가할 수 있었다. 하지만 조사 기간 사이의 건물중과 엽면적 의 변화를 통해 생산성을 평가하는 방법은 장시간이 소요되고 표본 오차에 따른 변동성이 발생하는 등 방법론상의 한계로 인해 군락의 건물 생산성을 대변하지 못하는 단점이 있다.

2. 비파괴적 방식의 생산성 평가

NDVI는 적색광과 근적외광의 분광 특성 조합에 따라 -1 -+1의 범위를 보이는데 1에 가까울수록 적색광 흡수는 높고 근 적외광 흡수는 낮아져 작물 군락의 생리적 활성이 높은 것으 로 판단한다 (Rouse *et al.*, 1973). 지황의 생육 기간 중 NDVI는 0.08 - 0.71의 범위를 나타내었고 시계열 변화는 초 남효훈 · 김광섭 · 서영진



Fig. 4. Changes of growth analysis characters of *Rehmannia glutinosa* cv. *Dagang*. A; relative growth rate, B; net assimilation rate, C; leaf area ratio, D; specific leaf weight, E; leaf area index, F; crop growth rate.



Fig. 5. Changes of reflectance for two wavelengths [660 mm (Red, -●-) and 790 mm (NIR, near infrared, -○)] and normalized difference vegetation index (NDVI, -▼-) of *Rehmannia glutinosa* cv. *Dagang* according to growing period. NDVI was calculated as difference of red and NIR reflectance divide with sum of them. Vertical bars mean standard deviations (n = 3).

장, 엽면적 등 생장 특성 변화 양상과 유사하였다 (Fig. 2 and Fig. 5).

NDVI는 정식 후부터 S자형으로 증가하였는데 100 DAP에 일시 감소하였다가 149 DAP에 최대값을 보였다. NDVI는 파 괴적 방식의 생장해석을 통해 조사된 초장, 엽면적 등 생장 특성과 유의한 상관관계를 보였고 (Fig. 6) 초장, 엽면적과의 상관계수는 각각 0.97 (*p* < 0.01), 0.86 (*p* < 0.01)이었다. 생장해석 요소 중 잎과 관련된 RGR, SLW, LAI와도 유의한 정 또는 부의 상관관계를 보였으며 상관계수는 각각 -0.81 (*p* < 0.01), 0.64 (*p* < 0.01), 0.91 (*p* < 0.01)이었다.

NDVI는 다양한 작물에서 생장의 양적평가에 매우 유효한 상관관계를 보이는데 벼, 밀은 지상부 생체중 또는 곡실 수 량과 밀접한 관계를 보여서 초기 등숙기 NDVI를 통해 수확 량을 추정할 수 있음을 보고하였다 (Hong *et al.*, 2012; Hassan *et al.*, 2019).

또한 국내 배추, 마늘 등에서 초고, 엽수 등 지상부의 양적 형질과 NDVI가 높은 상관관계를 보였고 생육특성과 NDVI간 에 유의한 추정모델을 개발하기도 하였다 (Na *et al.*, 2017;

지황 생장해석의 방법론적 비교



Fig. 6. Relations among normalized difference vegetation index (NDVI) and growth (A) or growth analysis characteristics (B) in *Rehmannia glutinosa cv. Dagang.* PH; plant height, LN; leaf number, RL; Rhizome length, LA; leaf area, FW_A; fresh weigh of aerial part, DW_A; dry weight of aerial part, RGR; Relative growth rate of leaf, NAR; net assimilation rate, LAR; leaf area rate, SLW; specific leaf weight, LAI; leaf area index, CGR; crop growth rate. *, ** Mean signigicant at *p* < 0.05, 0.01, respectively.

 Table 1. Standardized regression coefficients among growth, climate factors with normalized difference vegetation index in Rehmannia. glutinosa cv. Dagang.

Factors	Growth		Climate			
	PH ¹⁾	FW ²⁾	RH ³⁾	$SR^{4)}$	AccSR ⁵⁾	$P^{6)}$
Standardized regression coefficient	0.821**	0.182**	0.978^{**}	0.479**	0.473**	-0.094**

¹⁾PH; plant height, ²⁾FW; fresh weight, ³⁾RH; relative humidity, ⁴⁾SR; solar radiation, ⁵⁾AccSR; accumulated solar radiation, ⁶⁾P; precipitation. ^{**}Means significant at p < 0.01.

Na et al., 2018). 기존에 보고된 여러 작물과 유사하게 지황 에서도 NDVI는 지상부 생장량의 양적 변화를 잘 대변하는 식생지수로 판단된다.

실측된 생장 특성들과 NDVI와의 상호관계를 파악하기 위 하여 NDVI와 유의한 단순상관을 보이는 생장 특성들을 변수 로 사용하여 다중선형회귀를 실시하였고, 그 결과는 Eq. 9, Eq. 10, Fig. 7과 같다. 생장 특성 중 초장과 생체중이 유의한 특성으로 선발되었고 결정계수는 0.95, RMSE는 0.05이었다 (Eq. 9, Fig. 7A). 기상요인으로는 상대습도, 누적일사량, 평균 일사량, 강수량이 유의한 변수로 선택되었으며 결정계수는 0.90, RMSE는 0.07이었다 (Eq. 10, Fig. 7B).

NDVI =
$$-0.0011 + 0.0156 \times$$
 Plant height + 0.0002
× Fresh weight (9)

NDVI =
$$1.758 + 0.021 \times \text{Relative humidity} + 0.0001$$

 $\times \text{Accumulated solar radiation} + 0.026$
 $\times \text{Solar radiation} - 0.001 \times \text{Precipitation}$ (10)

다중회귀분석에서 선택된 각 생장, 기상요인 특성이 NDVI 에 대해 가지는 설명력을 분석하기 위하여 표준화 회귀계수를 각각 산출한 결과 생장 특성은 초장 > 생체중, 기상요인은 상 대습도 > 평균일사량 > 누적일사량의 순으로 기여도가 높았 다 (Table 1).

따라서 비파괴적인 방식에 따라 산출된 NDVI가 지황 지상 부 생장 특성을 적절히 반영하고 있으며, 지하경의 생장량은 지상부 생장 특성과 관련되어 있으므로 지하경 생장량 예측 등 양적 생장량 평가에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또 한 100 DAP 무렵에 발생한 지상부 생장량 감소에 대해서도 신속한 판단이 가능하여 (Fig. 3 and Fig. 6) 재배포장에서의 이상 생육반응을 조기에 진단할 수 있고 다른 재배지와의 상 호비교도 가능하다고 생각된다.

지황에 있어 전통적 의미의 생장해석을 통한 파괴적 방식의 생산성 평가는 소규모 시료를 대상으로 특정 시점의 생장 상 황을 잘 반영하는 반면 원격탐사와 같은 비파괴적 방식의 생 산성 평가는 개별 포장 또는 들녘 단위의 특성들을 반영하게 되므로 두 가지 방법의 상호 절충을 통한 진단 기술의 개발도 요구된다. 아울러 비파괴적인 방식의 원격탐사를 활용할 경우



Fig. 7. Relations between observed and predicted normalized difference vegetation index (NDVI) which were derived from multiple regressions of growth (A) and climate factors (B) with NDVI in Rehmannia glutinosa cv. Dagang. (A); NDVI = -0.0011 + 0.0156 × plant height + 0.0002 × fresh weight, (B); NDVI = 1.758 + 0.021 × relative humidity + 0.0001 × accumulated solar radiation + 0.026 × solar radiation - 0.001 × precipitation.

조사 대상의 추출, 다양한 반사 특성으로부터 유래하는 분광 값의 편차, 이미지 해상도에 따른 변이, 조사시기 등 기술적인 고려뿐만 아니라 환경, 품종, 생육 시기 등 작물별 고유 특성 에서 유래하는 한계값 설정 등에 대한 지속적인 검토도 필요 하다.

REFERENCES

- Animal and Plant Quarantine Agency(APQA). (2021). https:// okminwon.pqis.go.kr/minwon/information/statistics.html (cited by 2021 May 6).
- Cho JH, Lee SP and Oh SM. (2000). Study on quantitative growth analysis of yam(*Dioscorea* spp.). Korean Journal of Medicinal Crop Science. 8:362-372.
- **Evans GC.** (1972). The quantitative analysis of plant growth. Blackwell Scientific Publications. Oxford, England. p.189-417.
- Guan S, Fukami K, Matsunaka H, Okami M, Tanaka R, Nakano H, Sakai T, Nakano K, Ohdan H and Takahasi K. (2019). Assessment correlation of high-resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs. Remote Sensing. 11:112. https://mdpi.com/

2072-4292/11/2/112 (cited by 2021 May 6).

- Hassan MA, Yang M, Rasheed A, Yang G, Reynolds M, Xia X, Xiao Y and He Z. (2019). A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multispectral UAV platform. Plant Science. 282:95-103.
- Hong SY, Hur JN, Ahn JB, Lee JM, Min BK, Lee CK, Kim YH, Lee KD, Kim SH, Kim GY and Shim KM. (2012). Estimating rice yield using MODIS NDVI and meteorological data in Korea. Korean Journal of Remote Sensing. 28:509-520.
- Kim JC, Ryu JG, Kim SY and Park KS. (2008). The growth analysis of sowing times in safflower(*Carthamus tinctorius* L.). Korean Journal of Plant Resources. 21:47-51.
- Lee KD, Na SI, Hong SY, Park CW, So KH and Park JM. (2017c). Estimating corn and soybean yield using MODIS NDVI and meteorological data in Illinois and Iowa, USA. Korean Journal of Remote Sensing. 33:741-750.
- Lee KD, Park CW, Na SI, Jung MP and Kim JH. (2017a). Monitoring on crop condition using remote sensing and model. Korean Journal of Remote Sensing. 33:617-620.
- Lee KD, Park CW, So KH, Kim KD and Na SI. (2017b). Characteristics of UAV aerial images for monitoring of highland kimchi cabbage. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 50:162-178.
- Lee SH, Hong CO, Lee SH, Koo SC, Hur M, Lee WM, Chang JK and Han JW. (2019). Investigation of rhizome enlargement stage and harvest time in *Rehmannia glutinosa*(Gaertn.) Libosch. ex Stued. Korea Journal of Medicinal Crop Science. 27:315-321.
- Lee SH, Lee YJ, Oh MW, Lee SH, Koo SC, Hur M, Lee WM, Chang JK, Kim EH and Han JW. (2020). Appropriateness evaluation of plug seedling cultivation of *Rehmannia glutinosa*. Korean Journal of Plant Resources. 33:73-79.

- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). (2020). Production statistics of special crops. Sejong, Korea. p.52.
- Na SI, Min BK, Park CW, So KH, Park JM and Lee KD. (2017). Development of field scale model for estimating garlic growth based on UAV NDVI and meteorological factors. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 50:422-433.
- Na SI, Park CW, So KH, Ahn HY and Lee KD. (2018). Application method of unmanned aerial vehicle for crop monitoring in Korea. Korean Journal of Remote Sensing. 34:829-846.
- Nam HH, Choi DW, Kim KU, Kwon OH and Choi BS. (1999). Growth analysis of *Angelica gigas* Nakai affected by cultivation methods. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 7:218-228.
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA and Deering DW. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation(green wave effect) of natural vegetation. Final Report. RSC 1978-4. Remote Sensing Center. Texas A&M University. TX, USA. p.371.
- **Rural Development Administration(RDA).** (2013). Manual for medicinal crop cultivation. Rural Development Administration. Jeonju, Korea. p.176-183.
- **Rural Development Administration(RDA).** (2014). Prediction map for major fruit and medicinal crops with future climate scenario. Rural Development Administration. Jeonju, Korea. p.85-94.
- Zhou X, Zheng H, Xu X, He J, Ge X, Yao X, Cheng T, Zhu Y, Cao W and Tian Y. (2019). Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 130:246-255.