

# VEGETÁCIÓS INDEXEK ALKALMAZHATÓSÁGA A FITOMASSZA FELTÉRKÉPEZÉSÉRE

HAFENSCHER VIKTÓRIA PRISZCILLA <sup>1\*</sup>, KONCZ PÉTER <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Állatorvostudományi Egyetem

<sup>2</sup> MTA-SZIE Növényökológiai Kutatócsoport

\*e-mail: haf.viktoria@gmail.com

## Absztrakt

A vegetációs indexek a föld feletti fitomassza (növényi tömeg) mennyiségének becslésére, és a növényzet egészségi állapotának felmérésére használható mérőszámok. Az indexeket a növényzetről reflektált és a szenzorok által detektált fény alapján állítjuk elő. Az indexek felhasználási köre a primer produkció-becsléstől a természetvédelmi gyepterületeken át a növényzet klímaváltozásra adott válaszáig terjed. Hagyományos, és átalakított kamerákkal készített felvételek alapján eddig használt, valamint saját fejlesztésű vegetációs indexek segítségével az adott területen levő vegetáció hatékonyan feltérképezhető. A módszer gyors, egyszerű, és nem destruktív. Drón bevonása esetén nagyobb területekre is kellő pontossággal alkalmazható. Megállapítottuk, hogy a vizsgálatban alkalmazott vegetációs indexek megbízhatóbb becslést adtak a növényzet friss tömegére a száraztömeghez képest. Diverz vegetációban feltehetően fajspecifikus a vegetációs indexek időbeli dinamikája. A különböző magasságú, illetve nedvesség-tartalmú vegetációban a különböző indexek hatékonysága eltérő. Mindezek tudatában a felhasználók számára célirányosabb módszerek állnak rendelkezésére.

---

## Bevezetés

A vegetációs indexek dimenziómentes mérőszámok, melyek segítségével a növényzet föld feletti tömegét (fitomasszáját), produkcióját (Hong et al., 2007), terméshozamát (Chung et al., 2008) klorofilltartalmát (Cui et al., 2009), nitrogéntartalmát (Wei et al., 2010) valamint fejlettségi és egészségi állapotát (Aparicio, 2000) jellemezhetjük.

Nem határozzák meg közvetlenül a növényzet tömegét (pl. kg ha<sup>-1</sup>-ban kifejezve), annak relatív mennyiségét fejezik ki. A relativitás miatt a felvételezések során terepi mintavételre (fitomassza közvetlen levágására és mérésére) van szükség ahhoz, hogy az aktuális



fiziológiai-fenológiai állapotoknak megfelelően a kalibrált indexek alkalmasak legyenek a fitomassza becslésre (a kalibráció segítségével a fitomassza becslés nagyobb területre extrapolálható).

A vegetációs indexek számításában optikai módszerek állnak rendelkezésre. A szabadföldi mérések mellett egyre elterjedtebbek a levegőből végzett távérzékelési módszerek, melyek eltérő léptékű vegetációtérképezésre adnak lehetőséget, a táblaszintűtől a regionális szintig (pl. Hancock és Dougherty, 2007).

A vegetációs indexeket legszélesebb körben a primer produkció becslésére használják. Ennek nagy jelentősége van többek közt globális klímaváltozással kapcsolatos kutatásokban (Pettorellia et al., 2005). Az indexeket a precíziós mezőgazdaságban (szenzorokkal gyűjtött adatok- ismert koordinátákkal-, mely alapján a szükséges beavatkozások a megfelelő helyen végezhető el), a hozambecslésben, a gazdálkodás optimalizációjában, illetve a természetvédelmi gyepkezelés is alkalmazza. Az elmúlt években jelentőségük az állattenyésztésben is nőtt; a várható takarmány minőségének, és mennyiségének meghatározásában (Kawamura et al., 2004). A fitomassza becslésére használt korábbi módszerekhez képest a távérzékelés alkalmazása kevésbé destruktív, és egyszerre nagyobb területeket fel lehet mérni rövidebb idő alatt.

Az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Bernhofer et al., 2009) alapja, hogy a növényzet a látható fény (VIS, 400-700 nm), illetve ezen belül is a vörös fény (R, 600-700 nm) nagy részét elnyeli, míg a közeli infravörös sugárzást (NIR, 700-1100 nm) visszaveri. Képlete:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

A standardizált VIGreen (Green Vegetation Index) (Gitelson et al., 2002), amely nem használja az infravörös tartományt. Képlete a zöld (G, 490-550 nm) és vörös színt (R, 670-700 nm) tartalmazza:

$$VIGreen = \frac{\frac{(G - R)}{(G + R)}}{(VIGreenMAX - VIGreenMIN)}$$

A LAI (Leaf Area Index), mely a vegetációt a teljes egyoldali, egységnyi területre vetített levél-felülettel jellemezi, és fontos jelzője a vegetáció növekedésének. Képlete:

$$LAI = -\frac{1}{k} * \ln \frac{I}{I_0}$$

[ $k$ : extinkciós koefficiens (levél szögállása),  $I_0$ : beeső fényintenzitás,  $I$ : növényzet aljára lejutó átlagos fényintenzitás [ $\mu\text{mol}(\text{foton}) \times \text{m}^2 \times \text{sec}^{-1}$ ]].

Az indexek értékére azonban a fitomassza mennyiségén kívül egyéb tényezők is hatnak, melyek miatt a fitomassza becslése pontatlanabbá válik.

Skidmore et al. (2004) alapján az NDVI és a fitomassza kapcsolatát leíró görbe a vegetáció mennyiségének növekedésével mutatott telítődést. Ennek oka, hogy a magas, dús vegetáció alsó leveleihez már csak kevés fény jut le. A kamera-felvételeken nem látható a növényzet alsó részeinek reflektanciája. A fitomassza tömegét viszont növelik az alsó levelek is.



A többi vegetációs index esetében, a működési alapelv hasonlósága miatt, ugyanezen problémák merülnek fel, melyek nehezítik a fitomassza pontos megbecslését.

A fentiek mellett a virágzás is erősen befolyásolja a vegetációs és a fitomassza közti kapcsolatot, mivel a virág reflektanciája eltér a levélétől. Ezáltal a vegetációs indexek értéke változik (Behrens et al. 2006).

### Mintaterület

A vizsgálatokat a Szent István Egyetem Globális Klímaváltozás és Növényzet Kísérleti terében végeztük el (Gödöllő, 2015-2016) (1. ábra). A méréseket a kísérleti tér löszpusztagyepi növényeket tartalmazó, fajgazdag (38 db, 60m<sup>2</sup>) vegetációjában végeztük el. A mérés helyszínén bolygatás nem történt.

### Módszerek

A helyszínen bizonyos területek hasonlóságot mutattak fajösszetétel szempontjából. Eszerint elkülönítettünk magas (max 120cm) és alacsony (max 60cm) vegetációjú gyepfoltokat. A különböző gyepfoltokban a növényzet magasságának, valamint sűrűségének vegetációs indexekre gyakorolt zavaró hatását kívántuk vizsgálni.

Az előforduló domináns növényfajok az alacsony vegetációban elhelyezett kvadrátokban a *Trifolium repens* (24±3 %), valamint *Medicago spp.*, (21±3 %) voltak, magas vegetációban *Dactylis glomerata* (32±3 %), és a *Lolium perenne* (29±3 %) voltak.

Mindkét foltban voltak állandó és változó helyzetű, 40\*40 cm-es kvadrátok (1. ábra). Az állandó helyzetű kvadrátok esetében az indexek értékei ugyanazon gyepfoltokon vizsgálhatók, mely alkalmas az indexek időbeli dinamikáját reprezentálására. A mintavételként változó kvadrátokkal vizsgálhatóvá tettük a vegetációs indexek kapcsolatát a fitomassza mennyiségével.



1. ábra: Kísérleti elrendezés: magas- és alacsony vegetáció, valamint állandó- és változó helyzetű kvadrátok



Négy blokkban, méterenként helyeztünk le blokkonként 7 db kvadrátot. Az állandó helyzetű kvadrátokról felülről fényképet készítettünk, lehetőleg minél közelebb a legmeredekebb napálláshoz (solar noon). Majd a LAI számításához a ceptométerrel végeztünk méréseket.

A változó helyzetű kvadrátokból a fent leírtak után a fitomasszát közvetlenül a talajfelszín felett eltávolítottuk, majd papírzacskóban, szárítószekrényben kiszárítottuk 48 órán át, 80 °C-on. Az eltávolított növényzet friss és száraz tömegét kvadrátonként lemértük. A kvadrátokat, a következő mérés előtt a korábbi mintavételekből kieső vegetációban helyeztük el ismét.

A mintavételek közt eltelt időt a vegetációs periódushoz alkalmazkodva határoztuk meg. Korábbi, hasonló éghajlaton és vegetációtípuson végzett vizsgálat alapján a fitomassza változása áprilisban, és május elején még lassabb (Frank és Karn 2003). Ebben az időszakban másfél-két hetente történt a mintavétel, majd hetente.

A kamerákkal készített képekből, a növényzet reflektanciájára vonatkozó adatokból számoltuk az indexeket. A VIGreen esetében az általunk alkalmazott fényképezőgép egy digitális Canon (Canon Eos 350D (Canada)) kamera, melyen nem történt átalakítás a gyártáshoz képest. Ebből az Image\_RGB program (Beurs és Henebry 2005) segítségével állítottuk elő a standardizált VIGreen vegetációs indexet, a korábban említett képlet szerint.

A Red-Green-Blue (RGB) vegetációs index egy új, általunk fejlesztett index, melyet speciális műszer segítségével számoltuk. A Pentax digitális kamerából átalakított, különböző szűrőket tartalmazó digitális kamera (Interspect Kft) specifikus hullámhossztartományokban érzékel, melyek kombinációival korábban nem történtek vizsgálatok. Az első „red” (R) csatorna az 590-1030 nanométer hullámhosszú fényt érzékeli. A második, „green” (G) csatorna két tartományban érzékel: 550-610 és 700-850 nm -t. A harmadik, „blue” (B) a 790-1030 nm hullámhosszú fényt rögzíti.

Az RGB index értékét az NDVI képletét alapul véve határoztuk meg. A Pentax kamera érzékeny csatornáit figyelembe véve a képlet a következőképp alakul:

$$RGB = \frac{B + R - G}{B + R + G}$$

Az adatokat az ENVI 4.8 (Exelis Visual Information Solutions, Boulder, Colorado) program segítségével elemeztük.

A harmadik fényképezőgép egy digitális, átalakított Canon (Canon PowerShot SX260 Hs (converted to NGB, Event38 , USA)). A kamera a hagyományos fényképezőgépektől eltérő fény-hullámhossz sávokban érzékeny (200-360 nm; 380-530 nm; 550-670 nm; 690-770 nm). A kamerát oly módon specializálták, hogy az egyik sáv vörös tartomány helyett a közeli infravörös (NIR)- 690-770 nm - hullámhossztartományban legyen (4/C ábra). Az NGB index képlete:

$$NGB = \frac{B - N - G}{B + N + G}$$

Ez esetben is az ENVI 4.8 programmal végeztük a képek elemzését. Ára 700\$ körül mozog, mely még mindig többször kedvezőbb, mint a Tetracam.



Adataink egyrészt a kamerák által készített képek elemzéséből és a ceptométerrel végzett mérésekből nyert, számszerűsített információ volt. Másrészt a fitomassza minőségi (fajösszetétel, szárazodási arány), és mennyiségi (négyzetméterre számolt föld feletti növényállomány tömege) jellemzői voltak.

A kvadrátból eltávolított fitomassza nedvességtartalmát a következő képlet alapján számoltuk:

$$\text{Nedvességtartalom} = \frac{\text{Friss tömeg} - \text{Kiszáritott tömeg}}{\text{Friss tömeg}}$$

A statisztikai elemzéseket R program segítségével végeztük.

A fitomassza (friss, száraz) és az egyes vegetációs indexek közti kapcsolatot egyszerű lineáris regressziós modellek, és nemlineáris regressziós modellek segítségével vizsgáltuk. A különböző indexek várhatóan eltérő mértékben (eltérő determinációs koefficiens mellett) és eltérő tartományban írják le jól - becsülik - a fitomassza mennyiségének változását. Az indexek használhatóságát azon fitomassza-tartomány jelöli ki, amelyben a legmagasabb a korreláció az indexek és a fitomassza között. A várt telítődés miatt egy adott fitomassza mellett az indexek már nem használhatóak, de kérdés, hogy hol található ez a tartomány ( $\text{g m}^{-2}$ -ben), illetve ebben a tartományban mekkora a becslés megbízhatósága ( $R^2$ , szórás). Az alacsony és magas vegetációt külön-külön, valamint egyben is vizsgáltuk (1. táblázat).

1. táblázat: Kezelési csoportok, mért- és származtatott változók

Kezelési csoportok	Mért változók	Származtatott változók
Alacsony vs magas vegetáció	Friss tömeg	Nedvességtartalom
Állandó és változó helyzetű kvadrátok	Kiszáritott tömeg	Vegetációs indexek
	Növényzet reflektanciája	

## Eredmények

A LAI kapcsolatát az egyes kezelési csoportok friss, valamint kiszáritott tömegével nemlineáris regresszióval vizsgáltunk. A LAI, és a friss, valamint kiszáritott tömeg logaritmusának kapcsolata a magas és alacsony vegetációt együtt vizsgálva mindkét évben telítődési görbét mutat. A lineárisan növekvő szakaszt a vizsgálati időszak első felében mért értékek adják (április-május), ezután telítődik a görbe (június-július).

Külön az alacsony, és a magas vegetációt figyelembe véve a telítődési görbe szintén jól leírja mindkét évben a fitomassza-mennyiség logaritmusának és a LAInak a kapcsolatát. Kivételt képez 2015-ben a magas kiszáritott fitomassza, mely nem szignifikáns.

A LAI jól használható mind a friss, mind a kiszáritott vegetáció mennyiségének becslésére. Friss tömeget véve a magas vegetáció esetén, a két évet átlagolva  $1826.58 \text{ gm}^{-2}$  felett kezd telítődni a görbe, alacsony vegetációban ezen érték  $1421.42 \text{ gm}^{-2}$ . Kiszáritott tömeg esetén a telítődési szintek  $708.14 \text{ gm}^{-2}$  a magas, és  $422.13 \text{ gm}^{-2}$  az alacsony vegetációban.

A VIGreen és a fitomassza logaritmusának kapcsolatát lineáris regresszióval vizsgáltuk.

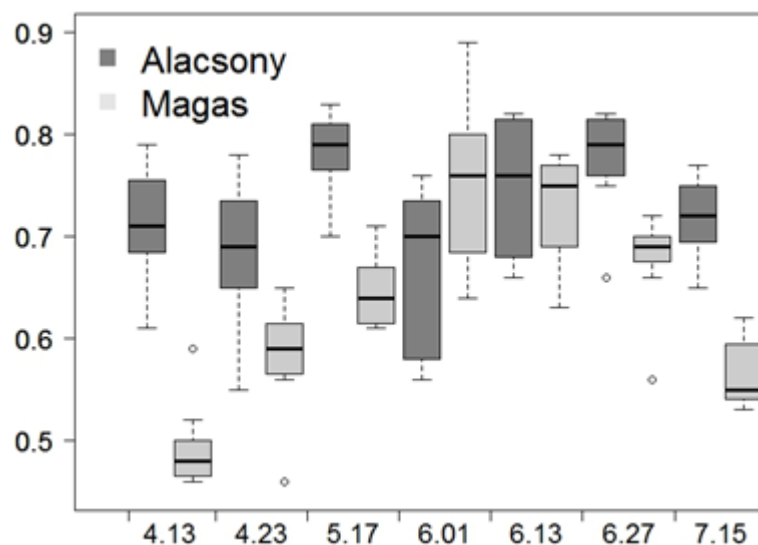


A két év eredményében eltérés van az index alkalmazhatóságának tekintetében. 2015-ben mind a friss, mind a kiszáritott vegetáció esetében az alacsony növényzet fitomasszáját prediktálja eredményesebben, míg 2016-ban a magas vegetációra illesztett modell jobb. Összességében elmondható, hogy a VIgreen mind a friss, mind a kiszáritott fitomassza becslésére alkalmas a magas valamint az alacsony vegetáció esetében.

2015-ben az NGB index nem bizonyult alkalmasnak a kiszáritott fitomassza becslésére a magas vegetációban, ellentétben a 2016-os eredményekkel. A friss fitomasszának mindkét év minden kezelési csoportjában jó jelzője az NGB.

2015-ben az RGB a friss, alacsony vegetációval mutatta a legszorosabb összefüggést. A kiszáritott fitomassza esetében a magas vegetáció mennyiségével való kapcsolatára illesztett modell nem adott szignifikáns összefüggést. Ezzel szemben következő évben friss, valamint kiszáritott fitomassza esetében is a magas vegetáció mennyiségének jelzésére bizonyult alkalmasnak (2.táblázat).

2015-ben az alacsony vegetáció nedvességtartalma szignifikánsan magasabb volt a magas vegetációhoz képest (Kolmogorov-Szmirnov teszt,  $p < 0.001$ ). 2016-ban a két csoport közt nem volt szignifikáns eltérés a nedvességtartalomban (2. ábra).



2. ábra: 2015-ben az alacsony, valamint a magas vegetáció nedvességtartalma (%)

## Diszkusszió

Megállapítottuk, hogy az indexek szorosabb kapcsolatban állnak a fitomassza friss tömegével, szemben a kiszáritott tömeggel. Ez előnyös a felszín növényzettel való borítottságának felmérésében. A friss tömegre érzékeny vegetációs indexek jelentős segítséget nyújthatnak a jelenleg is zajló globális klímaváltozás kutatásában, mivel információt szolgáltatnak a gyeptermelésű területek produktivitásának aktivitásáról, így a jelentős a széndioxid megkötő és -elnyelő kapacitásról, valamint a növényzet klímaváltozásra adott fenológiai változásairól (Menzel et al., 2006).

Magas diverzitású vegetációban a különböző fajok virágzása csak részleges átfedésben van. Mindkettő torzíja a fitomassza kapcsolatát a vegetációs indexekkel.



Az irodalmi adatoknak megfelelően a vegetációs indexek és a fitomassza kapcsolata a fitomassza tömegének egy bizonyos határon túli növekedésével romlott. Korábbi kutatásokkal ellentétben nem telítődési görbét kaptunk (Thenkabail et al., 2000), az index értékeinek szórása kezdett növekedni, kivéve a LAI esetében.

Az alacsony vegetációra illesztett modellek jobbak. Ez a fajok eltérő levél-szögállásával magyarázható. Az alacsony vegetációhoz képest a fűfélék levelei meredekebb szögben állnak, a napsugárzást nagyobb mértékben penetrálják. Azonos levélfelület esetén a meredekebb szögállás kisebb mértékű reflektanciát eredményez.

Kiszáritott fitomassza mennyiségének becslésére alacsony vegetáció esetén a VIGreen, magas növényzet esetén az NGB index alkalmas. Gyakorlati alkalmazását tekintve lényeges módszer lehet az állattenyésztés terén a száraz takarmányhozam becslésére.

Friss és kiszáritott fitomassza, illetve magas és alacsony vegetáció esetén más-más indexek bizonyultak hatékonynak, mely indokolhatja többféle index célirányosabb alkalmazását.

A LAI, és a VIGreen lényegesen kisebb standard hibával rendelkezik, mint a többi vizsgált index, ezért ezekkel nagyobb biztonsággal becsülhetjük a fitomasszát. Ezeknél nincs szükség a NIR hullámhossz-tartományra. A VIGreen-hez tartozó eszköz olcsóbb, hagyományos digitális kamera. Már százezer forintos nagyságrendben hozzá lehet jutni, így jóval többen megengedhetik maguknak alkalmazását, mint pl. az NDVI méréséhez szükséges Tetracam beszerzését (milliós nagyságrend).

### **Köszönetnyilvánítás**

A kutatási feltételek biztosításáért köszönettel tartozom az MTA-SZIE Növényökológiai Kutatócsoportnak, illetve a Kutató Kari Kiválósági Támogatásnak - Research Centre of Excellence (8526-5/2014/TUDPOL, 9878-3/2016/FEKUT).

Külön köszönet illeti témavezetőmet, Dr. Koncz Pétert, és társtémavezetőmet, Dr. Nagy Zoltánt eddigi kutatómunkámban nyújtott segítségért, és támogatásért.

### **Irodalomjegyzék**

- Annette M., Sparks T. H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K., Bissolli P, Braslavská O, Frank A.B., Chmielewski M., Crepinsek Z., Curnel Y Måge A.D.C., Mestre A, Nordli O., Peñuelas J., Pirinen P., Remišová, Scheifinger, Striz, Susnik, Arnold J. H. Wielgolaski, Zach, Zust (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern, *Global Change Biology*, Volume 12, Issue 10, Pages 1969–1976
- Behrens T, J. Müller, W. Diepenbrock (2006) Utilization of canopy reflectance to predict properties of oilseed rape (*Brassica napus* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) during ontogenesis, *Volume 25, Issue 4, Pages 345–355*
- Bernhofer Ch., Fan, L., Gao, Y., Brück, H. (2009) Investigating the relationship between NDVI and LAI in semi-arid grassland in Inner Mongolia using in-situ measurements, *Theoretical and Applied Climatology*, Volume 95, Issue 1, pp 151–156



- Beurs, K. M., & Henebry, G.M. (2005). A statistical framework for the analysis of long image time series. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 1551–1573.
- Chung, B.–girma, K.–Martin, K. L.–Tubaña, B. S.–Arnall, D. B.–Walsh, o.–Raun, W. R. (2008): Determination of optimum resolution for predicting corn grain yield using sensor measurements. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 54. 5: 481–491.
- Cui, D.–Li, M.–Zhang, Q. (2009): Development of an optical sensor for crop leaf chlorophyll content detection. *Computers and Electronics in Agriculture*. 69. 2: 171–176.
- Frank A. B. and J. F. Karn (2003) Vegetation Indices, CO<sub>2</sub> Flux, and Biomass for Northern Plains Grasslands, *Journal of Range Management*, Vol. 56, No. 4, pp. 382–387
- Gitelson A. A., Yoram J. K., Starkc R, Don Rundquista (2002) Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction, *Remote Sensing of Environment* Volume 80, Issue 1, Pages 76–87
- Hancock, D. W.–Dougherty, C. T. (2007): Relationships between blue- and red-based vegetation indices and leaf area and yield of alfalfa. *Crop Science*. 47. 6: 2547–2556.
- Hong, S. D.–Schepers, J. S.–Francis, D. D.–Schlemmer, M. R. (2007): Comparison of ground-based remote sensors for evaluation of corn biomass affected by nitrogen stress. *Communications in Soil*
- Kawamura K., Tsuyoshi A., Hiro-omi Y., Michio T, Taisuke Y, Osamu W, Wang W. (2004) Comparing MODIS vegetation indices with AVHRR NDVI for monitoring the forage quantity and quality in Inner Mongolia grassland, China *Japanese Society of Grassland Science* ISSN1744-6961
- Pettorelli N., Vik J.O., Mysterud A., Jean-Michel Gaillard, Compton J. Tucker and Nils Chr. Stenseth (2005) Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change, *TRENDS in Ecology and Evolution* Vol.20 No.9
- Skidmore A. K., O. Mutanga Corresponding author (2004) Narrow band vegetation indices overcome the saturation problem in biomass estimation, *International Journal of Remote Sensing*, Volume 25, 2004 - Issue 19
- Thenkabail P.S., Smith R. B, Pauw E. (2000) Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics, *Remote Sensing of Environment*, Volume 71, Issue 2, Pages 158–182
- Wei, Y.–Minzan, L.–Sigrimis, N. (2010): Estimating nitrogen content of cucumber leaves based on NIR spectroscopy. *Sensor Letters*. 8. 1: 145–150.

