

A normalizált vegetációs index (NDVI) és a terméseredmények közötti összefüggések értékelése fűszerpaprika (*Capsicum annuum* L. var. *longum*) állományban

¹Dobos Attila Csaba – ¹Vig Róbert – ¹Nagy János – ²Takácsné Hájos Mária

Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,

¹Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

²Kertészettudományi Intézet, Debrecen

dobosa@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálatunk célja a normalizált vegetációs index (NDVI) és a terméseredmények közötti összefüggések értékelése, valamint az NDVI alapján történő termésbecslés lehetőségének vizsgálata volt fűszerpaprika állományban.

Az NDVI és a termés közötti összefüggések vizsgálata során szignifikáns összefüggéseket tapasztaltunk, valamint megállapítottuk, hogy a regressziós egyenletek alapján a termés 6,6–8,3%-os átlaghibával becsülhető. A különböző regresszió típusokkal végzett becslések hibája és a különböző időpontokban végzett becslések hibája között nem tudtunk lényeges különbséget kimutatni, ezért az optimális becslési módszer és a becslés optimális időpontjának meghatározása további vizsgálatokat igényel.

Kulcsszavak: fűszerpaprika, lombtrágyázás, NDVI, termésbecslés

SUMMARY

The aim of our examination was to evaluate the correlations between the normalized difference vegetation index (NDVI) and yield, as well as to examine the possibility of yield estimation based on NDVI in a seasoning paprika population.

Significant correlations were observed during the examination of the correlation between NDVI and yield. Furthermore, it was concluded that yield can be estimated with a 6.6–8.3% mean error based on the regression equations. No significant difference was shown between the error of estimations performed with various regression types and that of the estimations performed at various dates. For this reason, the identification of the optimum estimation method and the determination of the optimum date for estimation call for further examinations.

Keywords: seasoning paprika, foliar fertilisation, NDVI, yield estimation

BEVEZETÉS

Minden olyan technológiai elem, amely a növény kondícióját javítja, elősegíti a termés mennyiségének és minőségének kedvezőbb alakulását, valamint növeli a növények ellenállóképességét az abiotikus és biotikus stressztényezőkkel szemben (Jaafar, 1995; Dagdelen et al., 2004; Çimrin et al., 2010).

A növények klorofilltartalmából következtethetünk az állomány kondíciójára (Carter, 1994), ami ma már jól mérhető nem destruktív, optikai mérőműszerekkel is (Yadava, 1986; Madeira et al., 2003; Hong et al., 2006; Ványiné et al., 2012). Az optikai mérések azon az elven alapulnak, hogy a klorofill molekulák a vörös fénysugarakat elnyelik, míg az infravörös fénysugarakat átengedik, így a leveleken áthaladó, vagy a levelekről visszaverődött fénysugarak intenzitása alapján olyan indexek képezhetők, melyek szoros összefüggésben állnak a levelek klorofilltartalmával (Plant, 2001; Zhang et al., 2009).

A széles körben alkalmazott index az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), mely egy olyan dimenzió nélküli mérőszám, ami egy adott terület fotoszintetikus aktivitását fejezi ki. Az NDVI értéket a növényzet által a közeli infravörös és a látható vörös sugárzások tartományában visszavert intenzitások különbségének és összegének hányadosaként határozzák meg (Roderick et al., 1996). Ez szoros összefüggésben van a növényállomány klorofilltartalmával, nitrogénellátottságával, a levélterület indexszel (LAI –

Leaf Area Index) és a terméssel (Teal et al., 2006; Cui et al., 2009; Drissi et al., 2009; Wei et al., 2010).

Számos kísérletben igazolták, hogy a magasabb NDVI értékkel jellemezhető növényállományok nitrogénfelvétele és nitrogénellátottsága kedvezőbb, így ezeknél nagyobb mennyiségű biomassza és termés mennyiségre számíthatunk (Hancock és Dougherty, 2007; Freeman et al., 2007). Az NDVI érték a vegetációs periódus alatt változik, ebből következően a növényállomány különböző fejlődési stádiumaiban mért NDVI érték eltérő erősségű összefüggést mutat a terméssel és a biomasszával (Teal et al., 2006; Hong et al., 2007). A normalizált vegetációs index a növény fejlődésével párhuzamosan mindaddig növekszik, amíg az állomány el nem éri az öregedés, szenescencia szakaszát, amikor már az NDVI érték csökkenővé válik (Raun et al., 2005).

Számos kísérletben igazolták, hogy műtrágyázás hatására a növényállomány NDVI értéke növekszik a kontrollhoz képest, valamint az NDVI a növekvő trágyaadagok hatására emelkedő tendenciát mutat mindaddig, amíg a kontrollhoz viszonyított termésnövekedés csökkenővé nem válik (Flowers et al., 2003; Li et al., 2008; Rambo et al., 2010).

Az NDVI mérés és a terméseredmények közötti összefüggések értékelését elsősorban szántóföldi növényekre vonatkozóan végezték el. A dolgozatban célul tűztük ki a normalizált vegetációs index időben történő változása, valamint az NDVI és a terméseredmények közötti összefüggések zöldségkultúrákban, ezen esetben fűszerpaprikánál történő vizsgálatát.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatokat fűszerpaprika (*Capsicum annuum* L. var. longum) állományban végeztük fűtetlen fóliasátor alatt, kispárcellás (2 m²) kísérletben, Délibáb F1 fajtaival. A kiültetést 2010. ápr. 25-én végeztük a kialakított bakhátakra ikersoros elrendezésben.

A vizsgálat évében (2010) július 1. és október 14. között 11 alkalommal mértük a lombzat relatív klorofilltartalmát GreenSeeker Model 505 műszerrel. A készülék a lombzat relatív klorofilltartalmát NDVI értékben fejezi ki, amit a 660 nm hullámhosszú fény-sugarak reflektanciája alapján kalkulál, referenciaként infravörös fényt (770 nm) használva (NTech Industries Inc. 2007): $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, ahol NIR = a lombzatról visszaverődött infravörös fény (770 nm) intenzitása és RED = a lombzatról visszaverődött vörös fény (660 nm) intenzitása (Rouse et al., 1973).

A statisztikai értékelést SPSS for Windows 14.0 statisztikai programcsomaggal végeztük. Az NDVI értékeket az idő függvényében grafikonon ábrázoltuk, majd az NDVI értékek változásának tendenciája alapján négy szakaszt különítettünk el. Az eltelt napok száma és a normalizált vegetációs index közötti összefüggést polinomiális, valamint az NDVI átlagok és a variációs koefficiens (CV) közötti összefüggést másodfokú regresszió-analízissel vizsgáltuk. A variációs koefficiens a mért értékek variabilitásának értékelésére alkalmaztuk, amit az alábbi képlettel határoztunk meg: $CV = Sd / (M / 100)$, ahol Sd = szórási és M = átlag (Senders, 1958).

A terméseredmények és az NDVI közötti összefüggések értékelését lineáris, harmadfokú, logaritmus és exponenciális regresszió-analízissel értékeltük, majd a regressziós egyenletek alapján termésbecslést végeztünk oly módon, hogy a regressziós egyenletekbe behelyettesítettük a mért NDVI értékeket. A becslési hiba vizsgálata során azt határoztuk meg, hogy a mért termés és az NDVI érték alapján becsült termés közötti különbség hány százalékát teszi ki a mért értéknek: $BH_{\%} = \text{Abs}(M\acute{e} - B\acute{e}) / (M\acute{e} / 100)$, ahol $BH_{\%}$ = becslési hibája, $M\acute{e}$ = mért termés, $B\acute{e}$ = becsült termés. A különböző regressziós egyenletek alapján végzett becslések hibáját Duncan teszttel hasonlítottuk össze.

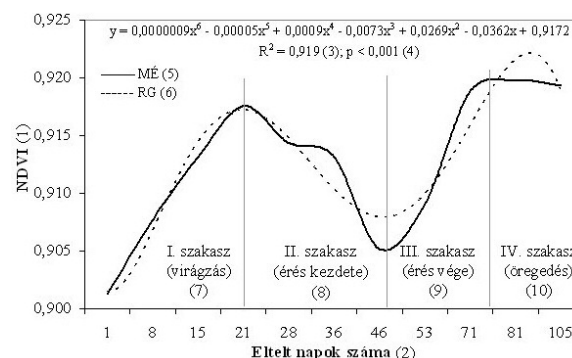
EREDMÉNYEK

Az NDVI és a mért értékek variabilitásának időbeli változása

A vegetációs periódusban a növényállomány NDVI értéke a növény fejlődési állapotától függően változik (Doraiswamy et al., 2004). A növények növekedése és az NDVI közötti összefüggések vizsgálata során megállapították, hogy a növényállomány normalizált vegetációs indexe a növényi növekedés időszakában növekvő, a generatív fázishoz közeli időszakban stagnáló, majd az öregedés fázisában csökkenő (Aparicio et al., 2000; Raun et al., 2005; Nambuthiri, 2010). A fűszerpaprikában végzett NDVI mérések átlagértékeit idősoros grafikonon ábrázoltuk, majd az eredmények alapján az NDVI változását négy szakaszra osztottuk (1. ábra).

A virágzás időszakában (I. szakaszban) az állomány normalizált vegetációs indexe 0,901-től növekvő mértékben növekedett, maximumát pedig 0,917 NDVI értékben érte el. Az érés kezdeti szakaszában (II. szakasz) az állományban mért értékek változása csökkenő tendenciát mutatott, melynek inflexió pontja 0,905 NDVI értéknél jelentkezett, majd az érési időszak végén (III. szakasz) a mérési eredmények újra növekedtek, az öregedés időszakában (IV. szakasz) pedig 0,919–0,920 NDVI értéken stagnáltak (1. ábra).

1. ábra: Az NDVI és az első méréstől eltelt napok száma közötti összefüggés



Megjegyzés: NDVI = normalizált vegetációs index, MÉ = az NDVI mérés eredménye, RG = az NDVI és az első méréstől eltelt napok száma közötti regresszió görbéje, R² = determinációs együttható, p = elsőfajú hiba

Figure 1: Correlation between NDVI and the number of days since the first measurement

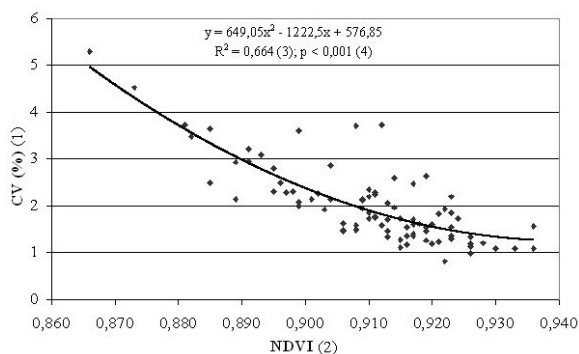
Normalized difference vegetation index(1), Number of days after the first measurement(2), Coefficient of determination (R²)(3), Alpha error (p)(4), Results of NDVI measurements (MÉ)(5), Regression curve between NDVI and the number of days after the first measurement (RG)(6), Phase I (flowering)(7), Phase II (beginning of ripening)(8), Phase III (end of ripening)(9), Phase IV (ageing)(10)

A vizsgálati periódus II. szakaszában bekövetkező NDVI csökkenés, majd a III. szakaszban tapasztalt növekedés ellentmond a szakirodalmi adatoknak, ugyanis a normalizált vegetációs index változása a vegetációs periódusban egy növekvő és egy csökkenő szakaszra osztható (Raun et al., 2005; Martin et al., 2007; Xiong et al., 2007). Az ellentmondás abból adódhatott, hogy az NDVI csökkenés időszakában (II. szakasz) a fűszerpaprika-állományban jelentős levéltetű kártétel jelentkezett, ami a levelek sodródása miatt a levélfelület csökkenésével járt együtt. A növényvédő szeres kezeléseket követően (III. szakasz) a levéltetű fertőzöttség megszűnt, a fűszerpaprika pedig az elvesztett levelek pótlására új hajtások fejlesztésével reagált.

A vegetációs periódusban eltelt idő és az NDVI érték között szoros korreláció áll fenn, amit Xiong et al. (2007) csillagpázsitban (*Cynodon dactylon* L.) 0,75–0,96 R² értékű harmadfokú regressziós egyenlettel írtak le. A fűszerpaprikában az első méréstől eltelt napok száma és az NDVI közötti összefüggést 0,92 R² értékű polinomiális regressziós egyenlettel határoztuk meg, mely p < 0,001 szinten szignifikánsnak bizonyult (1. ábra).

A növények klorofilltartalmával, nitrogénellátottságával és a terméssel összefüggésben álló indexek (SPAD – Soil Plant Analysis Development, NDVI) mérési eredményeinek átlaga és szórása között szoros összefüggés állt fent, ebből adódóan a mért értékek variabilitását kifejező variációs koefficiens az átlagértékek és a szórások változásának függvényében, a növény különböző fejlődési állapotaiban eltérő (Raun et al., 2005; Fontes és Araujo, 2006; Gholizadeh et al., 2009). A fűszerpaprikában végzett NDVI mérések átlaga és a mért értékek variációs koefficiense közötti összefüggést $p < 0,001$ szinten szignifikáns, 0,664 determinációs együtthatóval jellemezhető másodfokú regressziós egyenlettel írtuk le. A regresszió negatív, vagyis az NDVI átlagok növekedésével a variációs koefficiens csökkent (2. ábra), melyből arra a következtetésre jutottunk, hogy az NDVI érték növekedése a mérési eredmények variabilitásának csökkenésével és homogénebb növényállományok kialakulásával jár együtt.

2. ábra: Az NDVI mérés átlaga és variációs koefficiense közötti összefüggés



Megjegyzés: CV = variációs koefficiens, NDVI = normalizált vegetációs index, R^2 = determinációs együttható, p = elsőfajú hiba

Figure 2: Correlation between the mean value of NDVI measurement and coefficient of variation

Coefficient of variation (CV) (%) (1), Normalized difference vegetation index (NDVI) (2), Coefficient of determination (R^2) (3), Alpha error (p) (4)

Az NDVI és a termés közötti összefüggés értékelése

A növényállomány NDVI értéke összefüggésben áll a terméssel, melynek erőssége nagymértékben függ attól, hogy az NDVI mérés a növényi fejlődés mely szakaszában történt (Aparicio et al., 2000; Teal et al., 2006; Chung et al., 2008). A fűszerpaprika termése mind a négy vizsgált szakaszban szignifikáns összefüggést adott az NDVI értékkel, az összefüggés erőssége viszont szakaszonként változott. A virágzás és az érés kezdeti szakaszában (I. és II. szakasz) 0,451–0,537 R^2 értékű ($p < 0,001$ és $p < 0,01$ szinten szignifikáns) összefüggéseket határoztunk meg. Az érés későbbi szakaszában (III. szakasz) ez 0,373–0,462 determinációs együtthatóval (R^2) volt jellemezhető ($p < 0,01$ szinten), míg az öregedés idején (IV. szakasz) 0,229–0,346 R^2 értéket ($p < 0,05$ szinten) kaptunk.

Az összefüggés erőssége (R^2) az alkalmazott regresszió típusának függvényében is változott, ugyanis a legerősebb összefüggéseket minden esetben harmadfokú és exponenciális regresszióval, míg a leggyengébb összefüggéseket lineáris és logaritmus regresszióval kaptuk (1. táblázat).

A regressziós egyenletek felhasználásával az NDVI mérések alapján becsültük a termés nagyságát, és százalékos értékben meghatároztuk a becslés hibáját. A becslési hibák szimultán összehasonlító értékelése során megállapítottuk, hogy a virágzás és az érés szakaszában (I. II. és III. szakasz) szignifikánsan kisebb volt a becslési hiba, mint az öregedés szakaszában (IV. szakasz), valamint erre vonatkozóan nem adódott statisztikailag igazolható különbség az I., II. és III. szakasz között. A legkisebb hiba érték harmadfokú regresszió alkalmazásával, a legnagyobb pedig lineáris és logaritmus regresszióval jelentkezett, de ezek a különbségek nem bizonyultak szignifikánsnak (2. táblázat).

KÖVETKEZTETÉSEK

A fűszerpaprikában végzett NDVI mérések átlagértékeit idősoros grafikonon ábrázolva, az NDVI változás négy szakaszát állapítottuk meg. A virágzás időszakában (I. szakasz) az állomány normalizált vegetációs indexe növekvő mértékben növekedett, majd az érés kezdeti szakaszában (II. szakasz) csökkenő tendenciát mutatott. Az érési időszak végén (III. szakasz) a mérési eredmények újra növekedtek, az öregedés időszakában (IV. szakasz) pedig stagnáltak.

A fűszerpaprika fejlődése során a mérési eredmények átlagértékével összefüggésben a mérési eredmények variabilitása is változott. A nagyobb NDVI értékű fejlődési szakaszokban a mérési eredmények variációs koefficiense (CV) kisebb volt, mint az alacsonyabb NDVI értékű fejlődési szakaszokban, melyből arra a következtetésre jutottunk, hogy trágyakezelések esetén a trágyázás növényi kondícióra gyakorolt hatásának értékelése során fontos szempont, hogy a növény fejlődésének mely szakaszában történik a kezelések összehasonlítása. A trágyakezelések növényi kondícióra gyakorolt hatását célszerű a növényállomány magasabb NDVI értéket mutató fejlődési állapotaiban értékelni, ugyanis ekkor kisebb az NDVI értékben jelentkező variabilitás, így nagyobb valószínűséggel kisebb különbségek is kimutathatóak.

Az NDVI és a termés közötti összefüggések vizsgálata során szignifikáns összefüggéseket tapasztaltunk, valamint megállapítottuk, hogy a regressziós egyenletek alapján a termés 6,6–8,3%-os átlaghibával becsülhető. A fűszerpaprika termése mind a négy vizsgált szakaszban szignifikáns összefüggést adott az NDVI értékkel, az összefüggés erőssége viszont szakaszonként változott. A virágzás és az érés kezdeti szakaszában (I. és II. szakasz) 0,451–0,537 R^2 értékű összefüggéseket határoztunk meg. Az érés későbbi szakaszában (III. szakasz) ez 0,373–0,462 determinációs együtthatóval (R^2) volt jellemezhető, míg az öregedés idején (IV. szakasz) 0,229–0,346 R^2 értéket kaptunk.

A fűszerpaprika különböző fenofázisaiban mért NDVI érték és a termés közötti összefüggések

Az NDVI változás szakasza (1)	Regresszió típusa (RT)(2)	Determinációs együttható (R ²) (3)	F-próbastatisztika (F) (4)	Regressziós egyenlet(5)
I. szakasz – virágzás(6)	Lineáris regresszió (Li)(10)	0,497	17,8***	y = 3192,3x - 2415,9
	Logaritmus regresszió (Lo)(11)	0,496	17,7***	y = 2871,2Ln(x) + 760,0
	Harmadfokú regresszió (H)(12)	0,508	8,8**	y = 14631,9x ³ - 32407,9x + 18948,0
	Exponenciális regresszió (E)(13)	0,537	20,9***	y = 0,959e ^{6,843x}
II. szakasz – érés kezdete(7)	Lineáris regresszió (Li)(10)	0,451	14,8**	y = 3399,5x - 2608,5
	Logaritmus regresszió (Lo)(11)	0,452	14,9**	y = 3082,8Ln(x) + 776,0
	Harmadfokú regresszió (H)(12)	0,475	7,7**	y = 70259,5x - 27164,7x ³ - 42970,8
	Exponenciális regresszió (E)(13)	0,491	17,4***	y = 0,617e ^{7,319x}
III. szakasz – érés vége(8)	Lineáris regresszió (Li)(10)	0,373	10,7**	y = 2377,1x - 1682,3
	Logaritmus regresszió (Lo)(11)	0,375	10,8**	y = 2163,9Ln(x) + 685,3
	Harmadfokú regresszió (H)(12)	0,462	7,3**	y = 88694,7x - 34932,2x ³ - 53885,4
	Exponenciális regresszió (E)(13)	0,409	12,5**	y = 4,449e ^{5,138x}
IV. szakasz – öregedés(9)	Lineáris regresszió (Li)(10)	0,229	5,3*	y = 2108,3x - 1450,0
	Logaritmus regresszió (Lo)(11)	0,232	5,4*	y = 1942,2Ln(x) + 651,8
	Harmadfokú regresszió (H)(12)	0,346	4,5*	y = 84932,2x - 32928,6x ³ - 51992,8
	Exponenciális regresszió (E)(13)	0,264	6,5*	y = 6,630e ^{4,669x}

Megjegyzés: ***p<0,001, **p<0,01, *p<0,05

Table 1: Correlations between NDVI values measured at different phenophases of seasoning paprika and yield

Phase of NDVI change(1), Regression type (RT)(2), Coefficient of determination (R²) (3), F test statistics (F)(4), Regression equation(5), Phase I – flowering(6), Phase II – beginning of ripening(7), Phase III – end of ripening(8), Phase IV – ageing(9), Linear regression (Li)(10), Logarithmic regression (Lo)(11), Third degree regression (H)(12), Exponential regression (E)(13), Note: ***p<0,001, **p<0,01, *p<0,05

Az NDVI érték alapján történő termésbecslés becslési hibájának összehasonlító értékelése

Az NDVI változás szakasza(1)	I. szakasz – virágzás(2)	II. szakasz – érés kezdete(3)	III. szakasz – érés vége(4)	IV. szakasz – öregedés(5)
Becslés hibája(6)	6,6 ± 4,0 a	6,9 ± 3,9 a	7,1 ± 4,5 a	8,3 ± 4,3 b
F-próbastatisztika (F)(7)	2,6*			
Regresszió típusa (RT)(8)	Lineáris regresszió (Li)(9)	Logaritmus regresszió (Lo)(10)	Harmadfokú regresszió (H)(11)	Exponenciális regresszió (E)(12)
Becslés hibája(6)	7,4 ± 4,1 a	7,4 ± 4,1 a	6,8 ± 4,5 a	7,3 ± 4,2 a
F-próbastatisztika (F)(7)	0,4 ⁿ			

Megjegyzés: *p<0,05, n = nincs szignifikáns különbség

Table 2: Comparative evaluation of the estimation error of the yield estimation performed on the basis of NDVI values

Phase of NDVI change(1), Phase I – flowering(2), Phase II – beginning of ripening(3), Phase III – end of ripening(4), Phase IV – ageing(5), Error of estimation(6), F test statistics (F)(7), Regression type (RT)(8), Linear regression (Li)(9), Logarithmic regression (Lo)(10), Third degree regression (H)(11), Exponential regression (E)(12), Note: *p<0,05, n = not significant different

Az összefüggés erőssége (R²) az alkalmazott regresszió típusának függvényében is változott, ugyanis a legerősebb összefüggéseket minden esetben harmadfokú és exponenciális regresszióval, míg a leggyengébb összefüggéseket lineáris és logaritmus regresszióval kaptuk. A különböző regresszió típusokkal végzett becslések hibája és a különböző időpontokban végzett becslések hibája között nem tudunk lényeges külön-

séget kimutatni, ezért az optimális becslési módszer és a becslés optimális időpontjának meghatározása további vizsgálatokat igényel.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az FP7-REGPOT-2010-1 UD_AGR_REPO projekt támogatta.

IRODALOM

- Aparicio, N.–Villegas, D.–Casadesus, J.–Araus, J. L.–Royo, C. (2000): Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy Journal*. 92. 1: 83–91.
- Carter, G. A. (1994): Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *International Journal of Remote Sensing*. 15. 3: 697–703.

- Chung, B.–Girma, K.–Martin, K. L.–Tubana, 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.
- Çimrin, K. M.–Önder Türkmen, Ö.–Turan, M.–Tuncer, B. (2010): Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. *African Journal of Biotechnology*. 9. 36: 5845–5851.
- 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.
- Dagdelen, N.–Yılmaz, E.–Sezgin, F.–Gürbüz, T. (2004): Effects of water stress at different growth stages on processing pepper (*Capsicum annuum* Cv. Kapija) yield water use and quality characteristics. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 7. 12: 2167–2172.
- Doraiswamy, P. C.–Hatfield, J. L.–Jackson, T. J.–Akhmedov, B.–Prueger, J.–Stern, A. (2004): Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 92. 4: 548–559.
- Drissi, R.–Goutouly, J. P.–Forget, D.–Gaudillere, J. P. (2009): Nondestructive measurement of grapevine leaf area by ground normalized difference vegetation index. *Agronomy Journal*. 101. 1: 226–231.
- Flowers, M.–Weisz, R.–Heiniger, R. (2003): Quantitative approaches for using color infrared photography for assessing in-season nitrogen status in winter wheat. *Agronomy Journal*. 95. 5: 1189–1200.
- Fontes, P. C. R.–de Araujo, C. (2006): Use of a chlorophyll meter and plant visual aspect for nitrogen management in tomato fertigation. *Journal of Applied Horticulture*. 8. 1: 8–11.
- Freeman, K. W.–Girma, K.–Arnall, D. B.–Mullen, R. W.–Martin, K. L.–Roger K.–Teal, R. K.–Raun, W. R. (2007): By-plant prediction of corn forage biomass and nitrogen uptake at various growth stages using remote sensing and plant height. *Agronomy Journal*. 99. 2: 530–536.
- Gholizadeh, A.–Amin, M. S. M.–Anuar, A. R.–Aimrun, W. (2009): Evaluation of SPAD chlorophyll meter in two different rice growth stages and its temporal variability. *European Journal of Scientific Research*. 37. 4: 591–598.
- 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.–Seong-Soo, K.–Hyun-Cheol, J.–Jai-Joung, K.–Kang, B. G. (2006): Comparison of ground-based remote sensors for evaluation of red pepper biomass affected by nitrogen stress. 18th World Congress of Soil Science. July 9–15, 2006. Philadelphia. Pennsylvania. USA. 21–45.
- 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 Science and Plant Analysis*. 38. 15–16: 2209–2226.
- Jaafar, H. Z. (1995): Impact of environmental stress on reproductive development in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Dissertation. Department of Agriculture and Horticulture and Department of Physiology and Environmental Science. University of Nottingham. Sutton Bonington. Loughborough. Leicestershire. UK.
- Li, F.–Gnyp, M. L.–Jia, L.–Miao, Y.–Yu, Z.–Koppe, W.–Bareth, G.–Chen, X.–Zhang, F. (2008): Estimating N status of winter wheat using a handheld spectrometer in the North China Plain. *Field Crops Research*. 106. 1: 77–85.
- Madeira, A. C.–Ferreira, A.–de Varennes, A.–Vieira, M. I. (2003): SPAD meter versus Tristimulus Colorimeter to estimate chlorophyll content and leaf color in sweet pepper. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 34. 17–18: 2461–2470.
- Martin, K. L.–Girma, K.–Freeman, K. W.–Teal, R. K.–Tubana, B.–Arnall, D. B.–Chung, B.–Walsh, O.–Solie, J. B.–Stone, M. L.–Raun, W. R. (2007): Expression of variability in corn as influenced by growth stage using optical sensor measurements. *Agronomy Journal*. 99. 2: 384–389.
- Nambuthiri, S. S. (2010): Soil water and crop growth processes in a farmer's field. Dissertation. College of Agriculture at the University of Kentucky. Lexington. Kentucky. USA.
- NTech Industries Inc. (2007): Operating Manual of GreenSeeker Model 505. Ukiah. California. United States of America.
- Plant, R. E. (2001): Site-specific management: the application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*. 30. 1–3: 9–29.
- Raun, W. R.–Solie, J. B.–Martin, K. L.–Freeman, K. W.–Stone, M. L.–Johnson, G. V.–Mullen, R. W. (2005): Growth stage, development, and spatial variability in corn evaluated using optical sensor readings. *Journal of Plant Nutrition*. 28. 1: 173–182.
- Rambo, L.–Ma, B. L.–Xiong, Y.–da Silva, P. R. F. (2010): Leaf and canopy optical characteristics as crop-N-status indicators for field nitrogen management in corn. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 173. 3: 434–443.
- Roderick, M.–Smith, R.–Cridland, S. (1996): The precision of the NDVI derived from AVHRR observations. *Remote Sensing of Environment*. 56. 1: 57–65.
- Rouse, J. W.–Haas, R. H.–Schell, J. A.–Deering, D. W. (1973): Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. [In: Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351 I]. December 10–14, 1973. Washington. 309–317.
- Senders, V. L. (1958): Measurement and statistics. Oxford University Press. New York.
- Teal, R. K.–Tubana, B.–Girma, K.–Freeman, K. W.–Arnall, D. B.–Walsh, O.–Raun, W. R. (2006): In-season prediction of corn grain yield potential using Normalized Difference Vegetation Index. *Agronomy Journal*. 98. 6: 1488–1494.
- Ványiné Széles, A.–Megyes, A.–Nagy, J. (2012): Irrigation and nitrogen effects on the leaf chlorophyll content and grain yield of maize in different crop years. *Agricultural Water Management*. 107: 133–144.
- Wei, Y.–Minzan, L.–Sigrimis, N. (2010): Estimating nitrogen content of cucumber leaves based on NIR spectroscopy. *Sensor Letters*. 8. 1: 145–150.
- Xiong, X.–Bell, G. E.–Solie, J. B.–Smith, M. W.–Martin, B. (2007): Bermudagrass Seasonal Responses to Nitrogen Fertilization and Irrigation Detected Using Optical Sensing. *Crop Science*. 47. 4: 1603–1610.
- Yadava, U. L. (1986): A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. *HortScience*. 21. 6: 1449–1450.
- Zhang, J.–Han, C.–Li, D. (2009): New vegetation index monitoring rice chlorophyll concentration using leaf transmittance spectra. *Sensor Letters*. 7. 6: 1–6.

