

Precíziós almatermesztési technológiák fejlesztése a Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetben

Riczu Péter¹ – Tamás János¹ –
Mesterházi Péter Ákos² – Nagy Gábor³

¹Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen

²IKR Termelésfejlesztési és Kereskedelmi Zrt., Bábolna

³Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, Térinformatika Tanszék, Székesfehérvár
riczu@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A precíziós gazdálkodás szemszögéből vizsgált technológiai elemek – globális helymeghatározás, távérzékelés és térinformatika – rohamos fejlődésével egyre tágul azon szolgáltatások köre, amelyek eddig sebességük, bonyolultságuk vagy áruk miatt nem voltak elérhetőek. A nagy pontosságú high-tech műszerek mára lehetőséget nyújthatnak a különböző gyümölcsstermesztési technológiák kidolgozásában, amelyeknek célja a minőségi termékek előállítása mellett a víz- és energiatakarékos rendszerek kiépítése, üzemeltetése. Ennek érdekében méréseket végeztünk a GreenSeeker 505 típusú szenzorral, valamint a kezelőfelületként működő Trimble AgGPS FmX fedélzeti számítógéppel és a Leica cég által forgalmazott ScanStation C10 lézershakkennerrel a Pallagi Kertészeti Kísérleti Telepen. Az eredmények ismeretében megállapítható a használt eszközök precíziós kertészeti alkalmazhatósága.

Kulcsszavak: precíziós kertészet, almatermesztés, GreenSeeker, lézershakkenner

SUMMARY

From the precision agriculture point of view, by the rapid development of the investigated technological elements – global positioning system (GPS), remote sensing (RS), global information system (GIS) – the number of services, which were not available in the past, because of their speed, complexity or price are increasing. The high accuracy high-tech instruments provide opportunity to elaborate several fruit production technologies, which aim is creating and operating water and energy safe quality fruit production systems. To evaluate these possibilities, experience was carried out in the Study and Regional Research Farm of the University of Debrecen near Pallag with the use of a GreenSeeker 505 Hand Held™ Optical Sensor Unit, and its interface the Trimble AgGPS FmX Integrated Display board computer, and a ScanStation C10 laser scanner by Leica. The results show the absolute applicability of these equipments in precision horticulture.

Keywords: precision horticulture, apple production, GreenSeeker, laser scanning

BEVEZETÉS

Magyarországon jelenleg kevesebb, mint 100 ezer ha gyümölcsös található, melyből az alma az egyik legnagyobb területen termesztett. Az alma az összes gyümölcsstermesztésnek mintegy 60%-át adja, bár az elmúlt időszakban a termelés jelentősen visszaesett. Jelenleg

35 000 hektáron évente mindössze 400–600 ezer tonna almát állítunk elő. Az almatermesztők feladata, hogy az egyre kisebb termőterületen a termésterjesztés mértéke ne csökkenjen. A nagy biológiai teljesítményű alany-fajta kombinációjú ültetvények 40–45 t/ha-os jó minőségű gyümölcs hozama csak optimális termőhelyen és megfelelő kertészeti gyakorlattal érhető el (Gonda és Apáti, 2011). Ebben, a kertészeti területen ma még kevésbé elterjedt fejlett távérzékelési és térinformatikai technikák nyújthatnak segítséget.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A precíziós mezőgazdaság, ezen belül a minőségi mezőgazdasági és kertészeti termékek előállítása egyre pontosabb talaj-, és vegetáció térképeket igényelnek, melyek adatigényét a nagy mintaszám, gyors és olcsó elemzésével, valamint a távérzékeléssel előállított adatok értékelésével elégíthetjük ki (Burai, 2007). A távérzékelés egy olyan robbanásszerűen fejlődő tudományterület, amely magában foglalja azon technikák, módszerek és eszközök összességét, amelyekkel a földfelszín, vagy egy felszíni objektum megfigyelése anélkül történik, hogy a vizsgált objektum és az érzékelő között közvetlen fizikai kapcsolat alakulna ki (Belényesi et al., 2008).

A távérzékelés a beérkező fény és a vizsgált objektum anyagi kölcsönhatásain alapszik. Ezeket a gondolatokat Krinov orosz tudós már az 1930-as években megfogalmazta. A beérkező elektromágneses sugarak, hullámok formájában érik el az objektum felszínét. Ezen elektromágneses hullámok egy része visszaverődik (E_r), egy része elnyelődik (E_a), egy része pedig áthalad a tárgyon (E_t). Minden elektromágneses hullám jellemezhető egy hullámhosszal (λ), amplitúdóval és fázis értékkel. Mindezek alapján felírhatjuk a következő egyenletet:

$$E_r(\lambda) + E_a(\lambda) + E_t(\lambda) = E_1(\lambda)$$

Az egyenletből kitűnik, hogy adott hullámhosszon a visszaverődés, az elnyelődés és az objektumon való áthaladás értékei egyenlők a teljes beeső sugárzás (E_1) mennyiségével (Aggarwal, 2004). Ezen mennyiségek értéke mindig az adott objektum fizikai jellemzőitől, geometriai szerkezetétől függ. A távérzékelés során a tárgyról visszavert sugárzást (E_r) tudjuk mérni (Aggarwal, 2004; Molenaar, 1993).

A távérzékelési technikáknak két típusát különböztethetjük meg, úgymint passzív és aktív távérzékelés. A passzív távérzékelés során a felszínről visszaverődött napsugárzás, vagy az objektumok által kibocsátott sugárzás mennyiségét mérjük (Belényesi et al., 2008). A

szoláris sugárzás abszorpciója és reflexiója a különböző növényi anyagok számos kölcsönhatásának eredménye, ami számottevően különbözik a hullámhossz szerint (Berke et al., 2004). A távérzékelési eszközök által mért érték alapján tehát közvetve következtethetünk a megfigyelt tárgy fizikai, esetleg kémiai jellemzőire (Molenaar, 1993). A víz, a pigmentek, a tápanyagok, és a szén mind a 400 nm és 2500 nm közötti reflektált optikai spektrumban kerülnek kifejezésre, gyakran átfordással, de spektrálisan különböző reflektancia viselkedéssel. A reflektált optikai spektrum változik a különböző fenológiai fázisokban és a növény morfológiájától függően. A spektrum látható tartományában jelentkező minimum a növényi levelekben található pigmenthez köthető. A klorofill erősen elnyeli a 450–670 nm közötti hullámhossztartományt. Az infravörös tartomány felé haladva 700 nm-nél az egészséges növényzet visszaverődése ugrásszerűen megnő (Berke et al., 2004). A 700–1300 nm közötti sávban az egészséges növényzet a beérkezett energia 40–50%-át visszaveri. A növényzet visszaverő képessége a 700–1300 nm közötti sávban főleg a levélzet belső szerkezeti sajátosságából következik (Berke et al., 2004), melyet első sorban a sejtfal lignintartalma és a parenchima szövet szerkezete határozza meg (Gates et al., 1965). A passzív távérzékelés a biomasza-előállítás nyomon követésének egyik hatékony eszköze, amelynek segítségével ún. vegetációs indexek elkészítésére és vizsgálatára nyílik lehetőség. Ez a vizsgált növények által a fotoszintézis során előállított biomasszával, vagyis a termelt klorofillal áll összefüggésben. A növényzet a látható fényt (VIR tartomány) csak kis mértékben veri vissza, míg a közeli infravörös (NIR) tartományban (760–900 nm) a visszaverődés a növényzet klorofilltartalmával, a termelt biomasszával arányos mértékben változik. A termelt növényi tömeg úgy mutatható ki, hogy a látható (ezen belül a vörös (RED) tartományt használjuk: 630–690 nm) és a közeli infravörös tartományban visszavert hullámok intenzitásának különbségével számolunk. A felszínborítás, illetve növényi biomasza vizsgálatára a leggyakrabban használt vegetációs index a Normalizált Differenciál Vegetációs Index (NDVI) (Neményi et al., 2010). Az NDVI a NIR és a RED tartomány más-más sávját használva a zöld biomasza mennyiségen, a klorofilltartalomtól kívül egyéb fontos információt is szerezhetünk a vizsgált növényről. Ilyen meghatározható paraméter többek közt a levélfelület (Quan et al., 2005), a nitrogénellátottság (Yoder és Pettigrew-Crosby, 1995; Cabrera-Bosquet et al., 2011), vagy akár a növényi szövet víztartalmára adhat választ a Víz Tartomány Index (Water Band Index–WBI) (Peñuelas et al., 1997; Gamon és Qiu 1999; Champagne et al., 2001; Nagy et al. 2010), míg a kártevők és betegségek és egyéb stressz hatások is vizsgálhatók más-más csatornák és indexek segítségével.

Az távérzékelés másik típusa az aktív távérzékelés, melynek során a szenzor maga bocsájt ki elektromágneses sugárzást. A műszerből kisugárzott energiának a vizsgált objektum felszínéről visszaverődött részét mérjük aktív szenzorokkal. Az aktív távérzékeléssel végzett felvételezés napszaktól független. Ma már számos olyan eszköz, illetve szenzor áll a rendelkezésre, amellyel könnyen tudunk NDVI értéket meghatározni.

A GreenSeeker egy gyakorlatban könnyen használható földi szenzor, ami az általa kibocsátott sugárzásnak a lombzat által visszavert részéből gyorsan kalkulálja ki az NDVI értéket (Flynn et al., 2008). Az adatok kiértékeléséhez szükséges ismerni a vegetáció szerkezetét és funkcióját (Fórián et al., 2010). Az aktív távérzékelési technikák – ma már egyre szélesebb területen való – alkalmazásának másik típusa a vizsgált terület lézeres letapogatása (LIDAR = LIght Detection And Ranging), amely során lézerefény pásztázza a felszínt (Belényesi et al., 2008), miközben a rendszer gyorsan és pontosan gyűjt adatokat a vizsgált tárgy alakjáról, formájáról, az objektum távolságáról. A 3D modellépítés feltétele a távolság pontos ismerete. A kibocsátott lézerpont távolságának meghatározása több mérési elv alapján is történhet (háromszögelés, fáziskülönbség és a repülési idő mérése). A tényleges 3D objektum elkészítésének az alapja, hogy a több százezer, vagy akár több millió lézerpontnak (a pontfelhőnek) ismerjük a térben való elhelyezkedését (Lerma García et al., 2008). A vizsgált objektum egyes részeinek takarásmentes felmérésének érdekében több mérőállásból szükséges a lézerekirányítást elvégezni (Vosselman és Hans-Gerd 2010).

A légi lézerekirányítási technológia megjelenésétől számított rövid időn belül kezdték a technikát alkalmazni erdészeti alkalmazásokban. Ezzel szemben a földi lézerekirányítási technológia használata kevésbé terjedt el (Vosselman és Hans-Gerd 2010). Úgy az erdészeti, mint a kertészeti alkalmazásokban egyaránt a lézerekirányítási technológia segítségével megismerhetővé válik a fa struktúrája, lombzat nagysága, kiterjedése, amivel számos biofizikai folyamatot képesek vagyunk nyomon követni, a változásokat detektálni (Rosell et al., 2009). A lombzat megismerésével pontos képet alkothatunk a fotoszintézisről, a CO₂-fluxusról, a növekedés üteméről, a párolgatásról (Li et al., 2002; Pereira et al., 2006; Rosell et al., 2009).

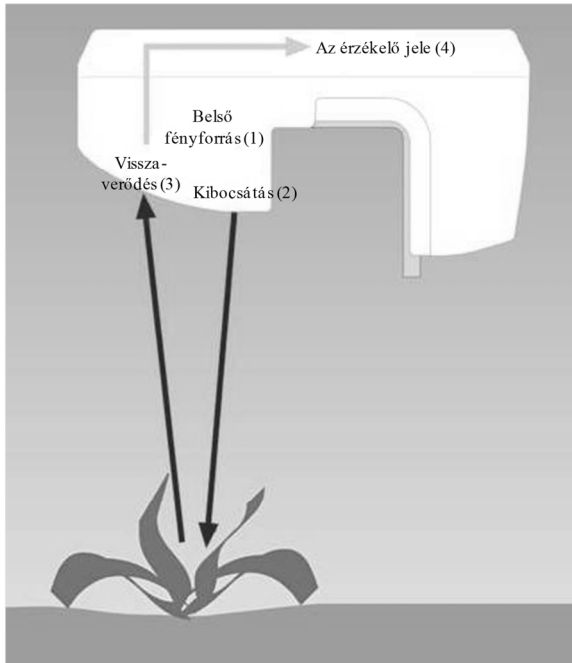
ANYAG ÉS MÓDSZER

A GreenSeeker 505 szenzorral való mérést 2011. november 8-án végeztük el a Pallagi Kertészeti Kísérleti Telep jéghálóval védett, csepegtető öntözőrendszerrel ellátott, intenzív termesztésű alma gyümölcsöskéiben. Az NTech Industries, Inc. által forgalmazott GreenSeeker 505 szenzorral vizsgáltuk meg gyümölcsös talajfelszínének gyomboritottságát, valamint határoztuk meg a vizsgált almafák lombzatának NDVI értékét. A műszer az aktív távérzékelők családjába tartozik, hiszen saját megvilágítást használ, így bármely napszakban használható. A GreenSeeker két hullámhossz-tartományban bocsát ki fényt egy téglalap alakú résen (*l. ábra*).

A vörös (RED – 656 nm) és a közeli infravörös (NIR – 774 nm) tartományban a vizsgált objektumról visszaverődött (reflektálódott) fényt a kör alakú ablakban gyűjti be a műszer, majd a kapott értékekből számolja ki az NDVI (Normalizált Differenciál Vegetációs Index) értékeit a következő egyenlet alapján:

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

1. ábra: A GreenSeeker 505 vegetációs indexméter működési elve



Forrás: Crop optics – Australia Pty Ltd. alapján, saját szerk.

Figure 1: Working principle of GreenSeeker 505
Internal light(1), Emission(2), Reflection(3), Sensor signal(4), Source: by Crop optics – Australia Pty Ltd., own construction.

A szenzorral a földfelszíntől kb. 0,8–1 m-es, míg a lombzat a koronától számított 50–100 cm-es távolságban végeztük az adatgyűjtést. A GreenSeeker kezelőfelületeként működik a Trimble cég által forgalmazott AgGPS FmX fedélzeti számítógép, amely két beépített GNSS (GPS és GLONASS) vevővel rendelkezik a nagyobb pontosság elérése érdekében. A jobcomputer a külső AgGPS 25 antenna segítségével vette a műholdak jelét. További, ún. EGNOS korrekciót használva a mérési és pozícióbeli pontosság 15–20 cm-re volt csökkenthető. A FmX monitor a szélességi és hosszúsági koordináták alapján összegezte a GreenSeeker 505 NDVI adatait, amit aztán USB háttértáron keresztül lementettünk, majd további számítógépes feldolgozásra a Surfer 10 térinformatikai szoftvert használtuk. Az NDVI, a magassági és sebességi értékeket a fedélzeti számítógép másodpercenként rögzítette a hardverén. Mind az AgGPS FmX monitort, mind pedig a GreenSeeker 505 típusú szenzort egy traktorra szereltük, melynek átlagos haladási sebessége a mérés során 2,38 km/óra volt, amit a fedélzeti számítógép adataiból számoltunk ki. A traktor haladása a mérés során egyenletesnek volt mondható, amit a sebességi adatokból számolt kis értékű szórás bizonyított.

A földi lézerszkenneres mérést 2011. szeptember 2-án végeztük el. A Leica ScanStation C10 lézerszkennerek mérési elve a lézernyaláb repülési idején alapszik: egy adott közegben a fény halad egy véges és konstans sebességgel, a vizsgált objektumot elérő, majd visszajutó fény időkülönbségéből lehet kiszámítani a távolságot. A szkennerek egy zöld lézernyalábbal pásztázza a vizsgált objektumot. A lézernyaláb eltérítését a Smart X-Mirror™

forgó poligon tükörrendszer biztosítja, így készítette el a műszer a több millió pontból álló pontfelhőt. A lézerszkennerek látószöge horizontálisan 360°, vertikálisan 270°. A lézer kibocsátó mellett egy integrált digitális kamera is segíti a mérést a pontfelhő kiszínezésében. A beépített 4 megapixeles (1920×1920 pixel) kamera látószöge 17°, így a kupola-szerű, automatikusan térben kiigazított, színes panoráma felvétel 260 képből épül fel.

A mérés során 7 szkennállásból mértük fel a vizsgált terület egy sorát. A szkennelési területek közötti átfedés biztosította a pontfelhők összeillesztését. Az átfedésekre a pontosság növelése céljából is szükség volt. A felbontás 10 m-en 8 mm volt, ami azt jelenti, hogy maximum 1 cm-es hibával dolgozott a szkennerek. A pontfelhő feldolgozása a Leica Cyclone 7.1 nevű szoftverrel történt. A szoftverben tisztítottuk a pontfelhőt, modellezést, valamint mérnöki számításokat is végeztünk.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

A GreenSeeker szenzorral gyűjtött adatokat a Surfer 10 térinformatikai szoftverrel dolgoztuk fel és értékeltük ki. Az első mérés során a gyümölcsös talajfelszínét, illetve annak gyomborítottságát vizsgáltuk (2. ábra). A vizsgált terület bal oldali sorának magas NDVI értékei az erős gyomborítottsnak voltak köszönhetőek, míg a jobb oldali – a jégghálós területen túlnyúló – „hosszú sor” alacsony NDVI értékei a fedetlen talajfelszín jellemzőit tükrözi. A bal szélső sor kivételével a teljes jégghálós terület gyommentes volt. A térképen a további közepesnek mondható (0,5–0,6) értékek a nagy mennyiségű lehullott lombtakarónak volt köszönhető. A szoftver a térképet interpolációval hozza létre, amely egy matematikai közelítő módszer, melynek során a nem ismert értékekre az ismert értékek alapján ad közelítést a program. Valamennyi térbeli adat interpolációját krigeléssel végeztük.

2. ábra: A vizsgált almaültetvény talajának NDVI térképe

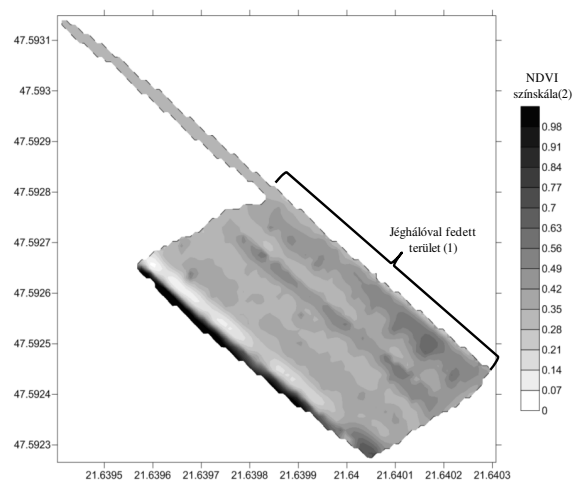


Figure 2: NDVI soil map of the investigated apple plantation
Area covered by hail protection net(1), NDVI color scale(2)

A második mérési sorozat esetében a lombzat NDVI értékeit vizsgáltuk. A szenzor a lombzattól számított kb. 50–100 cm-es távolságból gyűjtötte az adatokat. A ka-

pott NDVI-térkép (3. ábra) alapján megállapítható, hogy a vizsgált terület mely részén nagyobb a klorofilltartalom.

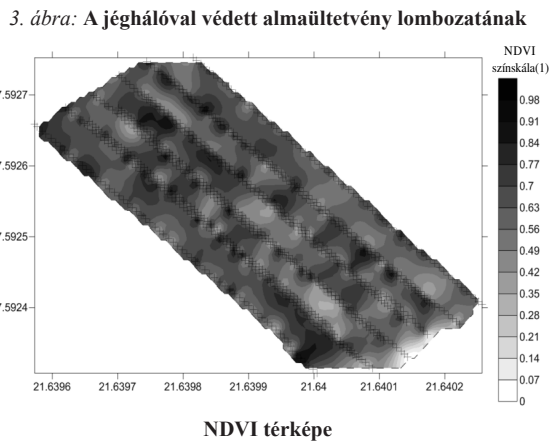


Figure 3: NDVI vegetation map of the hail net protected apple plantation

NDVI colour scale(1)

A magasabb értékek mutatják azokat a sorokat, illetve fákat, amelyek még nem hullatták le leveleiket, és még a klorofilltartalmuk sem bomlott le.

A jégghálós területéről készült lézerszkenneres felmérés lehetőséget nyújtott az intenzív almaültetvény teljes 3D-s struktúrájának megismerésére, a gyümölcsfák geometriájának meghatározására.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A GreenSeekerrel folytatott mérés eredményei alapján megállapítható, hogy az eszköz kertészeti alkalmazásával gyorsan és pontosan megismerhetjük mind a növényzet, mind pedig a talajfelszínen elhelyezkedő gyomok vegetációs aktivitását. Ennek az alapját az adja, hogy az NDVI szoros kapcsolatban van a klorofilltartalommal, amiből tudunk következtetni a növény egészségügyi állapotára is. A lombzat NDVI értékei

egy precíziós tápanyag-visszapótlási technológiát alkalmazhatnak meg, hiszen a klorofilltartalom szoros korrelációt mutat a levél nitrogéntartalmával. Ezen kívül az almafák vegyszeres növényvédelmében is segítséget nyújthat a GreenSeeker szenzor. A talajfelszín aktív gyomflóráját detektálva pedig egy energia- és vegyszertakarékos precíziós gyomirtási technológia dolgozható ki.

A lézerszkenneres mérés első eredményei alapján igazolható, hogy a 3D felmérés gyorsan, megbízható, nem destruktív módon megbecsülhetővé teszi a vizsgált növény struktúráját. A Leica Cyclone-ban számolható paraméterek segítségével képesek vagyunk meghatározni a fák bizonyos paramétereit, melyek segítséget nyújthatnak a precíziós kertészeti alkalmazásokban. A modellezés során választ kaphatunk a fák geometriájára. Az optimális koronaszervezet kialakítása pedig biztosíthatja a nagyobb terméshozamot. A továbbiakban mérési módszerekkel kell kidolgozni a lombzat pontos meghatározására, mivel ha ismerjük a lombzat nagyságát, kiterjedését, illetve a levek felületét, úgy a párolgás dinamikájáról kaphatunk pontosabb képet. A 3D-s modell tovább bővíthető légi, vagy kézi hiperspektrális kamerás, valamint hőkamerás felvételekkel. Ezen felvételek segítségével további információt nyerhetünk a gyümölcsfák párolgási értékeiről, dinamikájáról. Mivel a vizsgált pallagi intenzív almaültetvény csepegtető mikroöntöző rendszerrel ellátott, így a továbbiakban lehetőség nyílt egy víz- és energia-takarékos öntözési rendszer kiépítésére.

KÖSZÖNETNYILVÁNYÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki a Nyugat-magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Karának, hogy rendelkezésünkre bocsátotta a Leica ScanStation C10 3D lézerszkennert, mellyel hozzájárult a méréshez, valamint Váradi Attilának a Leica Geosystems Hungary Kft. dolgozójának, aki a Leica Cyclone szoftverhez biztosított elérhetőséget és munkám során segítette a 3D pontfelhő feldolgozását.

IRODALOM

- Aggarwal, S. (2004): Principles of Remote Sensing. [In: Sivakumar et al. (eds.) Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology.] AGM-8. WMO/TD No. 1182. WMO. Geneva. 23–38.
- Belényesi M.–Kristóf D.–Skutai J. (2008): Távérzékelés a környezetgazdálkodásban. Elméleti jegyzet. Szent István Egyetem. Környezetgazdálkodási Intézet. Gödöllő. 78.
- Berke J.–Kelemen D.–Szabó J. (2004): Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai. PICTRON Kft. Keszthely.
- Burai P. (2007): Távérzékelési módszerek összehasonlító elemzése mezőgazdasági területeken. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen.
- Cabrera-Bosquet, L.–Molero, G.–Stellacci, A.M.–Bort, J.–Nogués, S.–Araus, J.L. (2011): NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions Cereal Res. Commun. 39. 1: 147–159.
- Champagne, C.–Pattey, E.–Bannari, A.–Strachan, I.B. (2001): Mapping Crop Water Status: Issues of Scale in the Detection of Crop Water Stress Using Hyperspectral Indices. [In: Proceedings of the 8th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing.] Aussois. France. 79–84.
- Flynn, E.S.–Dougherty, C.T.–Wendroth, O. (2008): Assessment of pasture biomass with normalised difference vegetation index from active ground-based sensors. Agronomy Journal. 100: 114–121.
- Fórián T.–Nagy A.–Tamás J. (2010): Precíziós gyümölcsstermesztés térinformatikai rendszerének kiépítése. [In: VIII. Alkalmazott Informatika Konferencia.] Kaposvári Egyetem. Kaposvár.
- Gamon, J.A.–Qiu, H.L. (1999): Ecological Applications of Remote Sensing at Multiple Scales. [In: Pugnaire, F.–Valladares, F. (eds.) Handbook of Functional Plant Ecology.] Marcel Dekker. New York. 805–845.

- Gates, D.M.–Keegan, H.J.–Schleter, J.C.–Weidner, V.R. (1965): Spectral properties of plants. *Applied Optics*. 4: 11–20.
- Gonda I.–Apáti F. (2011): Almatermesztésünk helyzete és jövőbeni kilátásai. [In: Tamás J. (szerk.) *Almaültetvények vízkészlet-gazdálkodása*.] Debreceni Egyetem AGTC, Kutatási és Fejlesztési Intézet – Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar. 13–25.
- Lerma García, J.L.–Van Genechten, B.–Heine, E.–Santana Quintero, M. (2008): *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Spain. 261.
- Li, F.–Cohen, S.–Naor, A.–Shaozong, K.–Erez, A. (2002): Studies of canopy structure and water use of apple trees on three rootstocks. *Agricultural Water Management*. 55: 1–14.
- Molenaar, M. (1993): Remote Sensing as an Earth Viewing system. [In: Buiten, H.J.–Clevers, J.G.P.W. (eds.) *Land Observation by Remote Sensing – Theory and Applications*.] Overseas Publishers Association. Amsterdam. 27–36.
- Nagy A.–Tamás J.–Szabó Z.–Soltész J.–Nyéki J. (2010): Fejlett nem invazív technológiák alkalmazása almatermésűek vízkészlet-gazdálkodásának értékelésére. [In: Kovács Gy.–Gelencsér G. (szerk.) *Élhető vidékért 2010*.] Környezetgazdálkodási Konferencia Természeti Erőforrásaink a Globális Környezeti Folyamatok Tükrében. Siófok. 2010. szept. 22–24.
- Neményi M.–Tamás J.–Fenyvesi L.–Milics G. (2010): A távérzékelés alkalmazása a biomassza és a vízkészletek mennyiségének, valamint minőségének megállapításánál. [In: Csete L. (szerk.) *Klíma-21 Füzetek*. 59. *Klímaváltozás-Hatások-Válaszok*.] MTA-KSZI Klímavédelmi Kutatások Koordinációs Iroda. Budapest. 51–60.
- Peñuelas, J.–Pinol, J.–Ogaya, R.–Filella, I. (1997): Estimation of Plant Water Concentration by the Reflectance Water Index WI (R900/R970), *International Journal of Remote Sensing*. 18. 2863–2868.
- Pereira, A.–Green, S.–Villa Nova, N. (2006): Penman–Monteith reference evapotranspiration adapted to estimate irrigated tree transpiration. *Agricultural Water Management*. 83: 153–161.
- Quan, W.–Adikua, S.–Tenhunena, J.–Granierb, A. (2005): On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment*. 94: 244–255.
- Rosell, J.R.–Llorens, J.–Sanz, R.–Arno, J.–Ribes-Dasi, M.–Masip, J.–Escola, A.–Camp, F.–Solanelles, F.–Gracia, F.–Gil, E.–Val, L. (2009): Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2d terrestrial LIDAR scanning. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149: 1505–1515.
- Vosselman, G.–Hans-Gerd, H. (2010): *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Whittles Publishing. CRC Press. 336.
- Yoder, B.J.–Pettigrew-Crosby, R.E. (1995): Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400–2500 nm) at leaf and canopy scales. *Remote Sens. Environ.* 53. 3: 199–211.

