

A távérzékelés felhasználása a mezőgazdaságban és talajtanban

A 60-as évek óta fokozódó ütemben fejlődnek a kutatási és gyakorlati feladatok megoldására alkalmas távérzékelési módszerek. Az eljárások alkalmazhatósága azonban még sok bonyolult műszaki, fizikai feltétel pontos ismeretétől függ. A távérzékelést világszerte számos népgazdasági ágazat és tudományág hasznosítja. Ezek közé tartozik a mezőgazdaság, ezen belül a talajtan is.

A következőkben a termésbecslés, talajnedvesség-meghatározás és erózió területén elért eredményekről, illetve a távérzékelési módszerek alkalmazási lehetőségeiről számolok be.

Termésbecslés

Termésbecslés fényképezéssel

A légi illetve űrfelvételek felhasználásával előre becsülhető a termés mennyisége, amennyiben az egyes kultúrák minősége, valamint termőterülete és fejlettségi állapota ismert [17, 18, 33].

A növényzet minőségi azonosítását befolyásolja a fényképezés időpontja. Az egyes növények fényképezésére legalkalmasabb időpontot — az adott területen — meg kell határozni. HAY [20] vizsgálatai szerint a felismerhetőség hibaszázalékát erősen befolyásolja, hogy milyen növények fordulnak elő egymás mellett, és azok milyen fejlődési fázisban vannak. A fejlettségi állapot egyértelmű felismerését segíti, ha ún. fejlődési naptárakat készítenek minden termesztett növényfajra, mivel így az egyes fejlődési jellemzők időbeni változása követhető [32]. Ez a későbbi azonosítási munkát jelentősen meggyorsítja. A fejlődési jellemzők olyan, az interpretációt segítő jellemzőket jelentenek, amelyek a képeken jól láthatók (pl. vetés utáni állapot, kelés, lombosodás, virágzás, érés stb.).

A fényképezési időpont kiválasztásánál a tapasztalat szerint az az optimális, amikor az adott növényfaj egyedeinek egymáshoz viszonyított külső megjelenésében a legkisebbek, a környező más fajokhoz képest pedig a legnagyobbak a különbségek.

Minden növényfaj egymás melletti előfordulás-kombinációjának felvétele megoldhatóan, ezért legalább két időpontban kell fényképezni, és az eredményeket összehasonlítani [4, 20]. A fényképezési időpontok minimális számának meghatározása céljából végzett kísérlet során megállapították, hogy két időpont elegendő, harmadik felvételi időponttal történő kiegészítés nem növelte számottevően a pontosságot [4].

Az irodalmi tapasztalatok szerint a növényfajok azonosítására a színes film, a fejlettségi állapot meghatározására az infravörös érzékenyített film (IR) az alkalmasabb [20, 25, 53, 54].

Fontos szempont a fényképek méretarányának helyes megválasztása, mert az egyes növényfajok felismerése más-más léptékű felvételeken a legkönnyebb. A kiértékelés folyamán a léptékbecslésben elkövetett hiba a területszámításban és ezen keresztül a termésbecslésben okoz hibát [13]. Az egyes növények termőterületét úgy határozzák meg, hogy a lépték ismeretében a felismert területeket összegezik.

A meghatározás pontossága:

$$\frac{A}{B} \cdot 100 (\%),$$

ahol A = a helyesen értelmezett terület nagysága,
 B = teljes termőterület (a valóságban).

A termésbecslés hibája hasonló módon kifejezhető:

$$\frac{C}{D} \cdot 100 (\%)$$

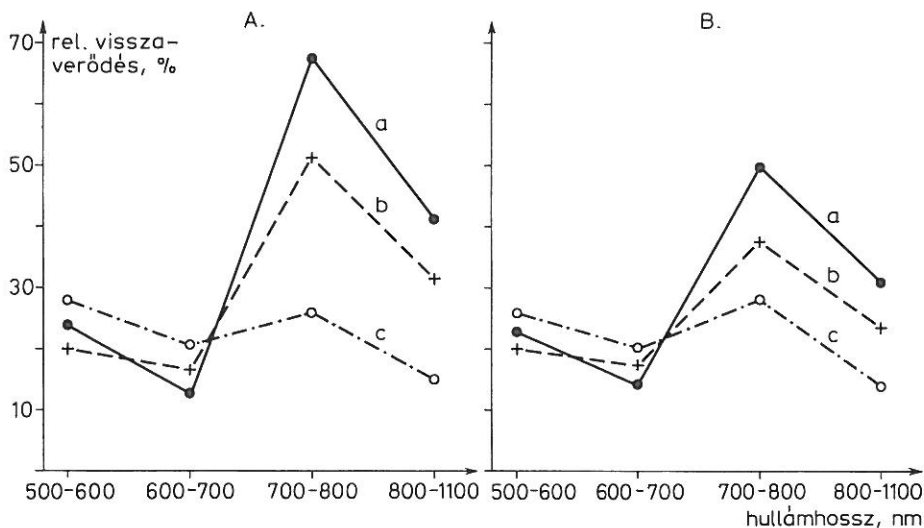
ahol C = a pontatlanul értelmezett terület nagysága,

D = az értelmező által teljes termőterületnek minősített összterület (a felvételeken).

A helyes területet akkor kapjuk meg, ha a területbecslésben elkövetett hibával korrigáljuk az egyes területeket.

A növények azonosításánál abból az alapelvből kell kiindulni, hogy a földi, vagyis a növényben bekövetkezett változások (pl. a zöld szín eltolódása a sárga vagy barna felé) tükröződnek a spektrális válaszokban. Az elkülönítést pedig az teszi lehetővé, hogy az egyes növényfajok esetében ezek a változások eltérő sebességűek [56]. Így tehát, ha felvesszük az egyes növényfajok spektrális visszaverődési értékeit az idő függvényében, azt tapasztaljuk, hogy különböző növénypárok esetében mindig található legalább egy olyan időpont, ahol a görbék közötti euklideszi távolság maximális a vizsgált spektrumsávban (1. ábra). Az így meghatározott időpont a fényképezés optimális időpontja a vizsgált növény pár esetében [4].

Az azonosítás pontossága tovább növelhető, ha az adott időpontban a mérést két hullámhossztartományban (vörös és IR) végezzük el. A kapott értékeket egy koordináta-rendszerben ábrázolva minden növényfajhoz a sík egyetlen pontja rendelhető (2. ábra).



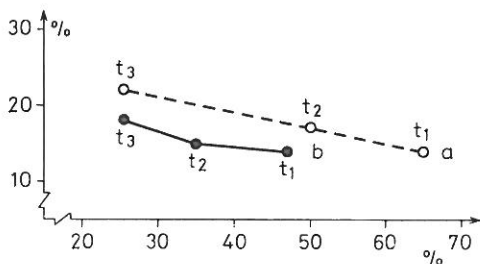
1. ábra

A szója (A) és a kukorica (B) relatív spektrális visszaverése három időpontban (BAUER [4] nyomán). a) aug. 9., b) szept. 14., c) okt. 2.

Termésbecslés radar segítségével

Az utóbbi években egyre szélesebb körben használják fel a radartechnika lehetőségeit [3, 5, 6]. Kezdetben nedvességvizsgálatoknál alkalmazták [43], de az utóbbi időben a növénytakaró állapotának felmérésére [8, 39] is használják.

Az 1982-es müncheni távérzékelési konferencián [43] ismertetett kísérlet során két növény (kukorica és szója) radar-visszaszórását mérték különböző hullámhosszúság (λ), polarizáció és nadirtól számított beesési szög kombinációkban. A cél az volt, hogy



2. ábra

A szója (a) és a kukorica (b) spektrális visszaverődése két hullámsávban, három időpontban mérve (BAUER [4] nyomán). t₁: aug. 9., t₂: szept. 14., t₃: okt. 2. Független tengely: spektrális visszaverődés a 600—700 nm-es hullámsávban (vörös), %. Vízszintes tengely: spektrális visszaverődés a 700—800 nm-es hullámsávban (IR), %

megállapítsák, az egyes paraméter-kombinációk közül melyik adja a legtöbb és legpontosabb információt. A hullámhossz és a polarizáció 5 kombinációját használva, 10 látószög alatt két repülési időpontban mérték radar-visszaszórást. A két repülés tengelye között az elcsúszás minimális volt, így a két mérés kb. ugyanarra a helyre esett, illetve a szögek közötti időkéssel korrigálták az adatokat.

A légi radar-szórás mérővel végzett kísérletnél 3 sávban (Ku-, C-, és L-sáv) mérték, amelyek a 2,3; 6,3 és 19 cm-es hullámhossznak felelnek meg. A hullámkibocsátás és vétel vízszintes (H) és függőleges (V) polarizációjú kombinációi mellett, nadirtól számított 5°—50° között mérve a következő eredményeket kapták. Száraz talajfelszín esetében a kukorica és szója elkülönítésére az egyes csatornák közül a C-sáv volt a legjobb HV és 50° esetén. A második legjobb az L-sáv, HH és 50° kombináció volt. Nedves napokon az elkülöníthetőség sokkal gyengébb. A talajnedvességnek erős hatása van a C-sáv adataira, HH és HV polarizációban, minden beesési szögnél. Az L-sáv, HH, 10° kombinációnál jelentős, ún. vetéssorirány-hatás figyelhető meg. (Vetéssorirány- és sorszerkezet-hatásnak nevezik azt, amikor a radar-visszaszórás a sorokra keresztirányban lényegesen nagyobb, mint a sorirányban.)

Termésbecslés hőmérsékletméréssel

A termés becslésének közvetett módja, amikor a növénytakaró hőmérsékletét mérik, és abból következtetnek a hozamokra. A kísérletek szerint a felszíni hőmérsékletmérések felhasználhatók hozammodellek készítésére, és az evapotranspiráció becslésére [7, 22, 24, 28, 37, 51], valamint következtetések vonhatók le belőle a vízháztartásra vonatkozólag is [14, 28]. A hőmérsékletmérés repülőgépre szerelt hőletapogatóval végezhető, ill. néhány műhold — a LANDSAT-3, valamint a HCMM (Heat Capacity Mapping Mission) — is alkalmas hőmérsékletmérésre [21, 22]. A repülőgépre szerelt hőletapogató alkalmazásával az adatok

korrigálhatók a felszínre, ha a vizsgálatot megelőzően különböző magasságokban elvégzik a hőmérséklet és a páratartalom mérését.

A kísérletek során bebizonyosodott [19, 36], hogy az egyidejűleg végzett földi és légi hőmérsékletmérések közötti eltérés a növényzettel borított területeken 1 °C-on belül volt. Nagyobb volt az eltérés (3,6 °C) száraz, növényzet nélküli talajfelszínek esetén, ahol egy-egy táblán belül is erősen változott a hőmérséklet. Ennek oka a táblán belüli domborzat- vagy nedvességtartalombeli eltérés. (Nedvesebb területek hőmérséklete alacsonyabb. Ebből levonható az a következtetés is, hogy az IR-mérések alkalmasak az öntözés hatásosságának, valamint egyenletességének felmérésére is.)

A növénytakaró szerkezete erősen befolyásolja mind a hőmérsékleti, mind a multi-spektrális méréseket [30, 31, 35]. A növénytakaró mértani szerkezetét a növények eloszlása és sűrűsége, a levél-felületindex és a levél-szögfrekvencia-megoszlás ismeretében lehet matematikailag leírni [30, 44]. KIMES [30] bebizonyította a fotoszintetikusan aktív hullámhosszakra, hogy a növénytakaró alatti talaj spektrális elnyelése is a takaró geometriájának, valamint a Nap zenitszögének függvényében változik.

Talajnedvesség-meghatározás

A korszerű növénytermesztés gyors és pontos információkat igényel a talajokról, elsősorban azok nedvességállapotáról. A szakirodalomban számos cikk foglalkozik a talajnedvesség levegőből [27, 28, 47], ill. vízből [38, 41, 47] történő meghatározásának távérzékelési módszereivel.

A talajnedvesség meghatározásának lehetőségei:

- hőmérsékleti sugárzás mérése a mikrohullám-tartományban [2, 46];
- polarizációs mérés a mikrohullám-tartományban [23];
- reflektált napsugárzás mérése a közeli IR-ben [10, 34, 49]
- felszíni hőmérsékletmérés a 8—14 μm-es légköri ablakban [2, 52]
- reflektált napsugárzás polarizációjának mérése [11, 12];
- radarreflexiós mérés [2].

Nedvességmeghatározás mikrohullámú sugárzással

Az utóbbi években egyre elterjedtebben alkalmazzák a talajnedvesség meghatározására mind a passzív, mind pedig az aktív mikrohullámú sugárzást.

Régebben a talajnedvességet pontonként mérték, és területre extrapolálták az adatokat. Ennek az eljárásnak a megbízhatósága kicsi. A távérzékelés a mikrohullámú tartományban való méréssel új módszert adott a talajnedvesség meghatározására. A mikrohullámú tartomány azért alkalmas nedvességmeghatározásra, mert a víz ebben a hullámhossz-tartományban erősen befolyásolja a sugárzás visszaverődését, ugyanakkor a talaj egyéb kémiai, ásványtani tulajdonságainak hatása nem számottevő [50].

Az *aktív mikrohullám* — azaz a radar — alkalmazása azon alapszik, hogy a vett jelek nagysága összefüggésben van a radarsugár behatolási mélységének (héjvastagságának) megfelelő vastagságú talajréteg nedvességtartalmával, és a csillapítási tényező (α) ennek függvényében változik:

$$\delta = \frac{1}{\alpha}.$$

A csillapítási tényező a nedvességkoncentráció monoton függvénye, tehát felhasználható a nedvességtartalom jellemzésére a vizsgált talajrétegben. A vizsgálható talajréteg-vastagság az alkalmazott frekvencia és nedvességtartalom függvénye; ha e két utóbbi nő, akkor δ csökken [2].

A vizsgálható talajréteg a héjvastagságnak felel meg (a héjvastagság a teljes szórt energia 98%-át adó mélység). Ilyen értelmezés mellett a héjvastagságnál mélyebb rétegek hatása nem jelentős, mivel ezek a visszavert sugárzás teljesítményében csak 2%-os elhanyagolást jelentenek [56].

Nem homogén közeg esetén a vele ekvivalens csillapítású homogén közeg δ -ját használják, az ún. effektív csillapítási tényezővel dolgoznak.

A mérés során csak a visszaszórt jeleket mérik, ezek nagyságából számolják a héjvastagságot. Az eredményt az előzetesen elkészített héjvastagság/nedvességtartalom görbéről olvassák le. A módszer elsősorban a függőlegeshez közeli beesési szögek esetében és közepes nedvességtartalmú talajoknál volt eredményes.

A mikrohullámok másik felhasználási módszere a talaj által kisugárzott ún. *passzív mikrohullámok*at hasznosítja [42]. Az adott felületen a természetes mikrohullámú sugárzás a fényességi hőmérséklettel fejezhető ki. A mérés műszere a radiométer, amelyet ismert fényességi hőmérsékletű sugárforrásra kalibráltak.

Természetes talajok mikrohullámú fényességi együtthatói a talaj nedvességtartalmától, felületi érdességétől, valamint a termometrikus hőmérséklettől függenek. Ezek — a termometrikus hőmérséklet kivételével — befolyásolják a talaj dielektromos tulajdonságait, ezen keresztül a kisugárzóképeséget, amely az alábbi képlet szerint közvetlen kapcsolatban áll a mérhető fényességi hőmérséklettel [2]:

$$T(\Theta, h) = [\varepsilon(\Theta)T + r(\Theta)T_s] \tau(h) + \int_0^h T_A(h) \frac{\partial \tau}{\partial h} dh,$$

ahol:

- T = a felszíni anyag környezeti hőmérséklete;
- T_s = az égbolt fényességi hőmérséklete;
- T_A = az atmoszféra környezeti hőmérséklete;
- ε = az anyag kisugárzóképesége;
- r = az anyag visszaverőképesége;
- τ = az atmoszféra átteresztőképesége;
- Θ = a radiométer-antenna látószöge;
- h = repülési magasság.

Nedvességmeghatározás hőkapacitás-méréssel

Néhány éve vezették be a távérzékelésben az ún. hőinercia-térképezés fogalmát. Ez a módszer mind repülőgépről, mind pedig mesterséges holdról történő távérzékelésre alkalmas. A NASA által 1978-ban felbocsátott hőkapacitás-mérő műholdat speciálisan azért tervezték, hogy a hőinercia-térképezéshez adatokat szolgáltatson. A módszer elvei már több éve ismertek, azonban az alkalmazási és értelmezési eljárások még kezdetlegesek. A módszer elterjedését akadályozza, hogy alkalmazásához a talajok termikus tulajdonságainak pontos és átfogó ismerete szükséges. Bár ezek az ismeretek hiányosak, mégis vannak próbálkozások a talajnedvesség relatív változásának mérésére. (Abszolút változásokat csak megfelelő földi ellenőrzés mellett és gyér vegetációjú területeken sikerült mérni.)

A talaj nem tekinthető homogén közegnek, ezért definíció szerint hőinercia alatt a talaj felső 10-es rétegében levő függőleges termikus eloszlás súlyozott átlagát értik [9, 46]. Ennek ellenére — a számítások megkönnyítése érdekében — a talajt homogénnek tételezik fel, és ún. látszólagos hőinercia-értékkel dolgoznak.

Képlettel kifejezve a hőinerciát (P):

$$P = \sqrt{k \cdot C}$$

ahol k = hővezetési tényező;

C = térfogategységre vonatkozó hőkapacitás.

Ahhoz, hogy P -t becsülni tudjuk, két paramétert kell mérni: a maximális napi hőmérséklet-különbséget (ΔT) és az albedót (A). Ezután P értékét kalibrációs diagrammal lehet megbecsülni, amely diagram különböző meteorológiai viszonyoknak megfelelő napi hőmérséklet-változások modellszimulációs eredményeiből készül [45]. A P -becslés pontossága az alkalmazott modelltől és a meteorológiai mérésektől függ. Ahhoz, hogy a ΔT mérésekből becsült P -értékek felhasználhatók legyenek a talajnedvesség meghatározásához, a talajok hőtulajdonságait modulálták különböző nedvességtartalom és különböző mechanikai összetétel esetén. Ezt görbesereg formájában adják meg.

A tapasztalat szerint a hőinercia egyértelmű, erős összefüggést mutat a nedvességgel és a porozitással (ugyanolyan nedvességtartalom, de eltérő porozitás 100%-os P -különbséget is okozhat), ugyanakkor csak kis mértékben függ a talajtípustól [46].

Ezek a kísérletek a talaj felső 0,1–0,2 m-es rétegét homogén közegként kezelik, és az alsóbb talajrétegek hatását is figyelmen kívül hagyják. Éppen ezért a kutatások következő fázisában szükséges annak vizsgálata, hogy a változó nedvességprofil milyen hatással van a felső talajrétegek átlagos nedvességtartalmának becsülésére.

Nedvességmeghatározás a látható tartományban

A. Az egyik módszer a színes kép vörös és kék sávjában mért fényvisszaverési arányt használja.

A vörösnek kékhez viszonyított aránya döntő annak megítélésében, hogy a képen két különböző denzitású talajfoltnál a tónuskülönbséget a nedvesség vagy a talajszerkezet okozza. Amennyiben a sötétebb talajfoltnál nagyobb a vörös/kék visszaverési arány, akkor a sötétebb szín oka a nagyobb nedvességtartalom, ellenkező esetben a tónuskülönbséget a szerkezetbeli eltérés okozza.

a) Ha a tónusváltozás oka a szerkezet, akkor

$$\frac{R_1}{B_1} < \frac{R_2}{B_2};$$

b) ha a tónusváltozás oka a nedvességtartalom, akkor

$$\frac{R_1}{B_1} > \frac{R_2}{B_2}$$

ahol R a vörös, B a kék sávban mért fényvisszaverést, az 1-es index a sötétebb, a 2-es index a világosabb talajt jelöli. Ez azzal magyarázható, hogy a megnövekedett nedvességtartalom a talajt sötétíti, ugyanakkor a részecskeméret csökkenése világosítja. A részecskék méretének csökkenésével az abszorpció csökken, míg a fényvisszaverődés nő, és mivel minden részecske/levegő határfelületen visszaverődés lép fel, így kis részecskék esetén a visszaverődés mértéke nagy. A nagy visszaverődés viszont a spektrum vörös sávját emeli ki kis adszorpció mellett [1, 15, 16, 29]. Mindez nem érvényes, ha a felület szerkezetét a nedvességtartalom változása jelentősen befolyásolja, ill. kivételt képeznek a nagy vas-szulfid-tartalmú talajok, ahol csökkenő részecskeméret esetén feketedés tapasztalható.

B. A visszavert elektromágneses sugárzás polarizáltságának vizsgálata is alkalmas nedvességmeghatározásra. A polarizációs szög jellemző a felszíni objektumokra. A víz erősen polarizálja az elektromágneses sugárzást (csaknem egy síkban rezeg), míg a növényzetről vagy kőzetről visszavert sugár alig polarizált. Ez a tulajdonság teszi lehetővé a talajnedvesség meghatározását polarizációs mérésekkel.

A mérést két kamerával végzik, olyan speciális szűrők alkalmazásával, amelyek csak egyetlen síkban rezgő sugárzást engednek át. A keresztpolarizáció úgy állítható elő, hogy az egyik polarizációs szűrőt a Nap-kamara — tárgy által meghatározott síkban, míg a másik szűrőt

egy erre merőleges síkban forgatják [23]. A két felvételen azok az objektumok, amelyek erősen polarizálják az elektromágneses sugárzást, eltérően képződnek le. A kísérletek szerint a polarizációs mérések alkalmasak a talajnedvesség meghatározására mind a látható [12], mind pedig a mikrohullám-tartományban [23].

Eróziós folyamatok vizsgálata

Az eredményes mezőgazdasági termelés számára nemcsak a talaj tulajdonságairól, nedvességtartalmáról nyerhető információk fontosak, hanem a talajt károsító folyamatok ismerete is, így pl. az erózió megfigyelése, várható irányának előrejelzése, valamint a kár mennyiségi becslése.

Az erózió által okozott talajvesztéséget az ún. általános talajvesztés-becslési egyenlettel lehet leírni (U.S.L.E. = Universal Soil Loss Equation). Az egyenletet WISCHMAIER és SMITH fejlesztette ki 1965-ben. Az általános talajvesztés-becslési egyenlet hosszútávú, átlagos évi talajvesztéséget ad meg:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

ahol R , K , L , S a vízgyűjtő terület paraméterei. Számunkra C és P lényeges, mivel ezek állnak kapcsolatban a mezőgazdasági műveléssel. C az ún. vegetáció- vagy tarlógazdálkodási tényező (a „tarlógazdálkodás” az aratás után visszamaradt tarlón végezhető mezőgazdasági tevékenységet jelenti, vagyis a tarlóbeszántást, a tarlóégetést, ill. a tarlómeghagyást), ami a specifikus vegetációjú, ill. tarlógazdálkodású területről származó talajvesztés és a parlagon hagyott területekre vonatkozó érték viszonya. A P -tényezőben veszik figyelembe az adott területen alkalmazott eróziós szabályozási gyakorlatot (teraszok, vízelvezetők stb.).

WISCHMAIER vizsgálta a tarlógazdálkodás hatását a C -tényezőre. Megállapította, hogy C értéke, és ezen keresztül a talajvesztés, a legmagasabb azokon a területeken, ahol a tarlót beszántják, míg a legalacsonyabb ott, ahol a tarlót a betakarítás után a földeken hagyják (cit. in [40]).

A légifényképek segítségével becsülhető azon területek nagysága, ahol a tarlót beszántották, ill. meghagyták, és az egyenlet felhasználásával előre lehet jelezni a várható évi talajvesztéséget.

Jelentős segítséget nyújtanak a légifényképek az erózió területi kiterjedésének vizsgálatában is. A megfelelő periodicitással készülő felvételek pontos információt adnak a különböző eróziós formák időszaki változásáról, az érintett terület nagyságáról.

Irodalom

- [1] ANSON, A.: Color aerial photos in the reconnaissance of soils and rocks. *Photogr. Engin.* **36.** 343—353. 1970.
- [2] ANSON, A., REEVES, R. G. & LANDEN, D.: *Manual of remote sensing.* Amer. Soc. of Photogrammetry. Falls Church. 1975.
- [3] BANYARD, S. G.: Radar interpretation based on phototrueth keys. *ITC Journal.* (2). 267—276. 1979.
- [4] BAUER, M. E. et al.: Identification and area estimation of agricultural crops by computer classification of LANDSAT MSS data. *Remote Sens. of Environ.* **8.** 77—92. 1979.
- [5] BERGER, D. H.: Texture as a discriminant of crops on radar imagery. *TEEE Trans. on Geo. Sci. Elektr. Ge.* **8.** 344—348. 1970.
- [6] BERLIN, G. L., SCHABER, G. G. & HORSTMAN, K. C.: Possible fault detection in Cottonball Basin, California: An application of radar remote sensing. *Remote Sens. of Environ.* **10.** 33—43. 1980.

- [7] BLAD, B. L. & ROSENBERG, N. J.: Evaluation of resistance and mass transport evapotranspiration models requiring canopy temperature data. *Agron. J.* **68**, 764—796. 1976.
- [8] BUSH, T. F. & ULABY, F. T.: Radar as a crop classifier. *Remote Sens. of Environ.* **7**, 15—36. 1978.
- [9] BYRNE, G. F. & DAVIS, J. R.: Thermal inertia, thermal admittance and effect of layers. *Remote Sens. of Environ.* **9**, 295—300. 1980.
- [10] CONDIT, H. R.: The spectral reflectance of American soils. *Photogr. Engin.* **36**, 955—966. 1970.
- [11] CURRAN, P. J.: The photographic method for the recording of polarised visible light for soil surface moisture indications. *Remote Sens. of Environ.* **7**, 305—322. 1978.
- [12] CURRAN, P. J.: The use of polarised panchromatic and false color infrared film in the monitoring of soil surface moisture. *Remote Sens. of Environ.* **8**, 249—267. 1979.
- [13] DAVID, E. P. & GAUTAM BADHWAR: Field size, length and width distributions based on LACIE ground truth data. *Remote Sens. of Environ.* **10**, 201—213. 1980.
- [14] EHRLER, W. L. et al.: Wheat canopy temperature: Relation to plant water potential. *Agron. J.* **70**, 251—257. 1978.
- [15] EVANS, R.: Air photos for soil survey in Lowland England: Factors affecting the photographic images of bare soils and their relevance to assessing soil moisture content and discrimination of soils by remote sensing. *Remote Sens. of Environ.* **8**, 39—65. 1979.
- [16] EVANS, R., HEAD, J. & DIRKZWAGER, M.: Air phototones and soil properties. *Remote Sens. of Environ.* **4**, 265—280. 1976.
- [17] FEYERHERN, A. M. & PAULSEN, G. M.: A universal model for estimating wheat yield. In: A technical description of the Large Area Crop Inventory Experiment (LACIE). The LACIE Symp. NASA. Johnson Space Center. 951—960. 1978.
- [18] GRUMSTRUP, P. D. & MEYER, M. P.: Aerial photographic assessment of transmission line structure impact on agricultural crop production. *Photogr. Engin. & Remote Sens.* **48**, 1313—1317. 1982.
- [19] HATFIELD, J. L. & MILLARD, J. P.: Variability of surface temperature in agricultural fields of Central California. *Photogr. Engin. & Remote Sens.* **48**, 1319—1325. 1982.
- [20] HAY, N.: Agricultural inventory techniques with orbital and high-altitude imagery. *Photogr. Engin.* **40**, 1283—1293. 1974.
- [21] HEILMAN, J. L. & MOORE, D. G.: HCMM detection of high soil moisture areas. *Remote Sens. of Environ.* **11**, 73—77. 1981.
- [22] HEILMAN, J. L. et al.: Thermal scanner measurement of canopy temperature to estimate evapotranspiration. *Remote Sens. of Environ.* **5**, 137—145. 1976.
- [23] HIROSAWA, H., KOMIYAMA, S. & MATSUZAKA, Y.: Cross-polarized radar backscatter from moist soil. *Remote Sens. of Environ.* **7**, 211—219. 1978.
- [24] IDSO, S. B. et al.: The utility of surface temperature measurements for the remote sensing of surface soil water status. *J. Geophys. Res.* **80**, 3044—3049. 1975.
- [25] IDSO, S. B., JACKSON, R. D. & REGINATO, R. J.: Remote sensing of crop fields. *Science*. **196**, 19—25. 1977.
- [26] JACKSON, T. J. & SCHMUGGE, T. J.: Aircraft remote sensing of soil moisture and hydrologic parameters Chichasha, Okl., ... and Riesel, Tex. 1978 data report. USDA Agricultural Research Results. Beltsville. 1980.
- [27] JACKSON, T. J. & SCHMUGGE, T. J.: Aircraft remote sensing of soil moisture and hydrologic parameters Taylor Creek, ... and Little River. 1979 data report. USDA Agricultural Research Results. Beltsville. 1981.
- [28] JACKSON, T. J., REGINATO, R. J. & IDSO, S. B.: Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements. *Water Resources Res.* **13**, 651—656. 1977.
- [29] KENNETH, P. R. & WALKER, J. E.: Interpretation of soils. *Photogr. Engin.* **40**, 87—94. 1974.
- [30] KIMES, D. S.: Effects of vegetation canopy structure on remotely sensed canopy temperatures. *Remote Sens. of Environ.* **10**, 165—174. 1980.
- [31] KRISTOF, S. J. & BAUMGARDNER, M. F.: Changes of multispectral soils patterns with increasing crop canopy. *Agron. J.* **67**, 317—321. 1975.
- [32] LEAMER, R. W., NORIEGA, J. R. & WIEGAND, G. L.: Seasonal changes in reflectance of two wheat cultivars. *Agron. J.* **70**, 113—118. 1978.
- [33] LEAMER, R. W., WEBER, D. A. & WIEGAND, G. L.: Pattern precognition of soils and crops from space. *Photogr. Engin.* **41**, 471—478. 1975.

- [34] MICHALYNA, W. & EILERS, R. G.: Effects of various soil properties and management practices on infrared scan and panchromatic imagery from Portage la Prairie, Manitoba. *Can. J. Soil Sci.* **53**. 445—497. 1973.
- [35] MILLARD, J. P., GOETTELMAN, R. C. & LEROY, M. J.: Infrared-temperature variability in a large agricultural field. *Internat. J. of Remote Sens.* **2**. 201—211. 1981.
- [36] MILLARD, J. P., HATFIELD, J. L. & GOETTELMAN, C. R.: Equivalence of airborne and ground acquired wheat canopy temperatures. *Remote Sens. of Environ.* **8**. 273—275. 1979.
- [37] MILLARD, J. P. et al.: Crop water stress assessment using an airborne thermal scanner. *Photogr. Engin.* **44**. 77—85. 1977.
- [38] MISKOLCI F.: A talajnedvesség műholdas megfigyelése. *Asztr. Közl. Földfelszíni és Meteorológiai Megfigyelések a Világűrben.* 127—133. 1976.
- [39] MORAIN, S. A. & SIMONETT, D. S.: K-band radar in vegetation mapping. *Photogr. Engin.* **32**. 730—740. 1967.
- [40] MORGAN, K. M.: Cropping management using color and color infrared aerial photographs. *Photogr. Engin. & Remote Sens.* **45**. 768—774. 1979.
- [41] MURPHREE, J. S. & ANGER, C. D.: An empirical method for determining albedo contribution to satellite photometer data. *Remote Sens. of Environ.* **9**. 183—189. 1980.
- [42] NJOKU, E. G. & KONG, J. A.: Theory for passive microwave remote sensing of near surface soil moisture. *J. Geophys. Res.* **82**. 3108—3117. 1977.
- [43] PARIS, J. F.: Radar remote sensing of crops. *Proc. IGARRS: The promise of remote sensing. Conf. München.* 1982.
- [44] POLLOCK, R. B. & KANEMHSU, E. T.: Estimating leaf-area index of wheat with LANDSAT data. *Remote Sens. of Environ.* **8**. 307—313. 1979.
- [45] PRATT, D. A.: Two-dimensional model variability in thermal inertia surveys. *Remote Sens. of Environ.* **9**. 325—338. 1980.
- [46] PRATT, D. A. & ELLYETT, C. D.: The thermal inertic approach to mapping of soil moisture and geology. *Remote Sens. of Environ.* **8**. 151—168. 1979.
- [47] RÁDAI Ö.: Repülőgépről és űrből készült felvételek vízügyi interpretációja. *Mezőgazd. Vizgazd. Kut. Magyarország.* *VITUKI Közl.* **1**. 59—60. 1978
- [48] RAO, U. R., BRACH, E. J. & MACK, A. R.: Bidirectional reflectance of crops and the soil contribution. *Remote Sens. of Environ.* **8**. 115—127. 1979.
- [49] SKIDMORE, E. L., DICKERSON, J. D. & SCHIMMELPHENIG, H.: Evaluating surface-soil water content by measuring reflectance. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **39**. 238—242. 1975.
- [50] SLHANDA, E. et al.: Soil moisture estimation by correlated ground based and seasat microwave observation. *COSPAR 22. Bangalore. India.* 1979.
- [51] SOER, G. J. R.: Estimation of regional evapotranspiration and soil moisture conditions using remotely sensed crop surface temperatures. *Remote Sens. of Environ.* **9**. 27—45. 1980.
- [52] TAYLOR, S. E.: Measured emissivity of soil in the Southeast United States. *Remote Sens. of Environ.* **8**. 359—365. 1979.
- [53] TUCKER, C. J.: Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. of Environ.* **8**. 127—150. 1979.
- [54] TUCKER, C. J.: Remote sensing of leaf water content in the near infrared. *Remote Sens. of Environ.* **10**. 23—33. 1980.
- [55] ULABY, F. T. & CIHLAR, J.: Active microwave measurement of soil water content. *Remote Sens. of Environ.* **3**. 185—203. 1974.
- [56] WALKER, G. K. & HATFIELD, J. L.: A test of the stress-degree-day concept using multiple planting dates of kidney beans. *Agron. J.* **71**. 967—971. 1979.

JUHÁSZ ILONA
MTA Talajtani és Agrokémiai
Kutató Intézet, Budapest

Érkezett: 1983. november 8.