

Alma- és körtefák levélfelületi indexeinek számítási lehetőségei

Riczu Péter – Tamás János

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar
Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen
riczu@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A növény föld feletti zöld- és szárazanyag-tömegének jelentős hányadát a levélzet alkotja. A levélfelület a növényfejlődés fontos tényezője. A levélzet nyeli el egyrészt a fotoszintézishez szükséges napenergiát, másrészt a gyökér által felvett növényi tápanyagokat halmozza fel. A lombozaton keresztül történik a vízleadás nagy része is. Egy fa esetében a teljes lombzat felületének meghatározása nem egyszerű folyamat. Kutatásunkban egy mérési módszert dolgoztunk ki a levélfelület meghatározására. A vizsgált fa leveleinek egyes paraméterei (a levél hosszúsága, és legnagyobb szélessége) és az ADC AM 100 levélszkennerek adatai alapján megállapítottuk a k -értéket, mellyel viszonylag könnyen, és gyorsan megbecsülhetővé válik a levélmez felülete.

Kulcsszavak: levélfelületi index, párologtatás

SUMMARY

A significant proportion of the aboveground green and dry weight of the plant constitutes the foliage. The canopy is an important factor of plant growth. On one hand the canopy absorbs the solar energy, which is necessary for the photosynthesis, on the other hand accumulates the absorbed nutrients by the roots, and the most of the water-loss happens through the foliage. The determination of the full canopy is not an easy target. In our research we developed a measurement method to determine the leaf area. With the parameters of the examined tree (leaf length and maximum width) and the data of ADC AM 100 leaf area scanner we determined the k -value, with which we can easily and fast evaluate the leaf surface.

Keywords: leaf area index, evapotranspiration

BEVEZETÉS

Magyarországon jelenleg kb. 100 ezer ha gyümölcsös található, melyből az alma az egyik legnagyobb területen termesztett. Az alma- és körteültetvények összterülete több mint 45 000 ha. A KSH adatai alapján az alma és körteültetvények 28%-a öntözhető, viszont csak 21%-a öntözött. A kertészet egy vízigényes ágazat, így a minőségi gyümölcstermesztés hazánkban nehezen megvalósítható szakszerű öntözés hiányában. Ennek ellenére számos kertészetben nincs öntözés, vagy öntözéstechnológiailag kifogásolható a rendszer működése. Több kísérlet folyik világszerte olyan öntözési módszerek kidolgozására, amely különböző technológiai kombinációkat dolgoz ki a víz- és energiatakarékos mikroöntözés terén. A következő évek egyik legnagyobb szakmai kihívása, az alma- és körtefák fa és ültetvény szintű vízkészletgazdálkodásának kidolgozása. Ehhez meg kell határozni a fenológiai fázisokhoz kötött víznormákat, az öntözési fordulókat, a kijuttatási technológiát és a párologtató felületet.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Huzsvai et al. (2005) megállapították, hogy a levelek a környezeti hatások jó indikátorai, ami alkalmassá teszi őket fenometriai mérésekre. A levelek több jellemzője is alkalmas a környezeti hatások kimutatására, amelyek közül leginkább a levélfelület használatos, pl. horizontális és vertikális levélfelület mérete, geometriája, stb.

A levelek méretétől és elhelyezkedésétől függ, hogy a fénysugárzásból mennyit képes a növény felvenni. A levelek méretét alapterületükkel (LA) fejezzük ki, amit levélfelületnek hívunk. Az egyedül álló növények optimális körülmények között annál több fényt képesek hasznosítani, minél nagyobb a levélfelületük. Állományban viszont a levélfelület növelésével csak bizonyos határig növekszik a fényhasznosítás, addig, amíg a növények kölcsönös árnyékolása nem gátolja azt (Balázs et al., 2004).

$$LA = \frac{s_{\max} \cdot h_{\max}}{K} = k \cdot (s_{\max} \cdot h_{\max})$$

ahol: s_{\max} : a levél maximális szélessége, h_{\max} : a levél maximális hosszúsága, K : fajra és fajtára jellemző osztótényező, k : fajra és fajtára jellemző szorzótényező (Huzsvai et al., 2005).

Polster és Reichenbach (1958) a növények leveleit alakjuk szerint tipizálta, és meghatározta K és k értéküket (1. táblázat).

1. táblázat

K és k értékek Polster és Reichenbach mérései alapján

Forma(1)	K	k
A: vese(2)	1,019	0,982
B: nyárs(3)	1,086	0,921
C: hosszúkás(4)	1,167	0,857
D: szív(5)	1,169	0,856
E: nyíl(6)	0,816	1,126
F: kör(7)	1,300	0,769
G: lándzsa(8)	1,528	0,654
H: rombusz(9)	1,635	0,612

Forrás: Polster és Reichenbach (1958)

Table 1: K and k values measured by Polster and Reichenbach

Shape(1), Kidney-shaped(2), Spit-shaped(3), Oblong(4), Heart-shaped(5), Arrowhead-shaped(6), Circular(7), Spear-shaped(8), Diamond-shaped(9), Source: Polster and Reichenbach (1958)

Egy állományban a növényzet levélfelületét nemcsak abszolút értékben, hanem a tenyészterülethez (T) viszonyítva is meg kell állapítani. A kettő arányát levélfelületi indexnek (LAI = leaf area index) nevezzük, amely az 1 m² talajfelületre jutó levélfelület (m²). A LAI a növénytermesztési gyakorlatban a legalkalmasabb mutató növénytömeg jellemzésére (Szász, 1988; Balázs et al., 2004).

$$LAI = \frac{LA}{T} \text{ (m}^2\text{/m}^2\text{)}$$

A LAI – mint biofizikai állapotjelző – szoros kapcsolatban van a biomassza mennyiségével, a fotoszintézis és a transzspiráció mértékével (Nemani és Running, 1989). A levélfelületet (LA) a levelek mérete és száma határozza meg. A fákon lévő levelek mennyiségét számos tényező befolyásolja. A vízstressz, a tápanyaghiány, vagy különböző negatív hormonális hatások a levélszám növekedését csökkentik. Az új hajtásokon fejlődő levelek számát és növekedési paramétereit irányított hőmérsékleti körülmények közt többen is vizsgálták (Abbott, 1984; Johnson és Lakso, 1985; Lindhagen, 1996). A LAI maximális értékét – a genetikai határok között – számos környezeti és agrotechnikai tényező határozza meg. Környezeti tényezők: a hőmérséklet és a csapadék-ellátottság mértéke a növényi igényhez mérten, valamint a talajjellemzők, így a felvehető tápanyagok mennyisége és aránya; agrotechnikai tényezők: az állományűrűség, a tápanyagellátás, az öntözés, stb. (Huzsvai et al., 2005). A levélfelületi index értéke a fent felsoroltakon kívül fajonként a fejlettségi állapottól, a termesztés módtól, az állományűrűségtől függően változhat. Wagenmakers (1989) rájött arra, hogy a LAI értéke függ az ültetési sűrűségtől. Verheij (1972) megállapítása szerint ugyanakkor a növekvő ültetési sűrűség mellett csökken a fák levélfelülete, ha nem metszik azokat, valamint az alsó részen egy relatív oldalirányú növekedés kísérte az almafák fejlődését.

A levélfelület nagysága határozza meg a párologtató felület méretét is, mivel a párologtatás legnagyobb részben a levéllemez fonákján található gázcserenyílásokon keresztül történik. A vízleadás szervei a gázcserenyílások, vagy sztómák, amelyek eredetileg az epidermisz sejtjeinek egyenlőtlen osztódásával létrejövő egymással érintkező zárósejtek közötti középlemez hasadásával keletkező légrések (Boldizsár, 2007). A különböző almafajták esetében a sztómák száma levélfelületenként változó lehet: 200–450 db/m² (Cowart, 1935; Slack, 1974). Az erőteljesebben növekvő almaalanyokon nagyobb a sztómák sűrűsége, mint a törpealanyokon (Beakbane és Majumdar 1975). Cowart (1935) megállapította, hogy az alsóbb leveleken kevesebb a gázcserenyílások száma, mint a magasabb lombkoronaszinten elhelyezkedőknek.

A LAI meghatározásával számos szakirodalom foglalkozik. Ezek a mérések elsősorban szántóföldi kultúrák levélfelületi indexének meghatározására szolgálnak, míg a gyümölcsösökben végzett levélfelület meghatározása kevés esetben történt meg. A levélfelület meghatározására számos módszer alakult ki és terjedt el.

A levélfelület mérésnek vannak direkt és indirekt módszerei, azonban a terepi mérések az állományban nehezen értelmezhető, pontszerű adatokat ad és költséges (Gower et al., 1999; White et al., 2000). A lenyomatos módszer a legősibb eljárás a levélfelület mérésére. Nagyon pontos eredményt érhetünk el vele, viszont maga a módszer meglehetősen lassú. Az eljárás során meg kell rajzolni mm-papírra a leszakított levelek kontúrvonalát és ezen a lenyomaton, kell elvégezni a felület meghatározását. A hibalehetőség kb. 1,5%. Az összehasonlítás módszerével a hibalehetőség nagyobb, mint a lenyomatos módszer esetében. A mérés előtt olyan etalonokat kell használatba venni, melyeknek mérete megfelel az adott növényfaj leggyakoribb levélnagyságának. Az eljárás

során össze kell hasonlítani az etalonnal a meghatározandó felületeket és mindig a minimális eltérésű etalonfelületet veszik figyelembe (Bognár, 2003). A hagyományos módszerek közül a terepi levélfelület mérésére a leggyakrabban számításon, tömegmérésen alapuló, és planimetriás módszereket használják (Ross, 1981). Anderson (1981) halszem optikás fényképezőgépet alkalmazott, mely az elkészült felvételen kiszámolta az égbolttakarás arányából az erdő LAI-t. A levélfelület nagyságát sugármérő műszerrel is meg lehet határozni (Hunkár, 1984). Automatikus levélfelület-mérővel is meg lehet határozni a LAI-t. Ez egy olyan elektronikus működő eszköz, amivel pontosan és gyorsan lehet elvégezni a méréseket és használatbavételekor nem szükséges leszakítani a leveleket (Bognár, 2003). A levélfelület tradicionális meghatározása tömegmérési eljárás elvén is történhet. Ebben az esetben a levél tömegének egy empirikus együtthatónak a szorzata adja a levélfelület értékét. A tömegmérési eljárás csak a lehullott leveleknél alkalmazható és az empirikus együttható hibája nagymértékben gyakorol hatást a pontosságára (Járó, 1959).

A térbeli és idősoros vizsgálatokra széles körben elterjedt a távérzékelt adatok elemzése, mivel a LAI számos biogeokémiai model elengedhetetlen input adat, amelyre térkép formátumban van szükség (Reich et al., 1999). Elterjedt, és praktikus módszer a levélfelület vizsgálatra a különböző növényi index és a LAI között számított regressziós modellek használata (Turner et al., 1999). A reflektancia értékeket azonban nem csak a növényi felület, és a növényi pigmentek nagysága, hanem a levelek alakja és térbeli elhelyezkedés is befolyásolja (Clevers és Verhoef, 1993). A levélfelületi index becsléséhez a távérzékelt adatok elemzése során az NDVI a legáltalánosabb módszer (Cohen et al., 2003). Az normalizált vegetációs index (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) a világszerte legelterjedtebb vegetációs index, amelyet levélfelület, zöld biomassa mennyiségének, a klorofiltartalomnak, növényi szövet víztartalmának meghatározására alkalmaznak (Tucker, 1979; Cihlar et al., 1991, Sellers et al., 1992, Goward et al., 1994).

ANYAG ÉS MÓDSZER

2010. március 1-én 2 körte- (Bosc kóbab és Vilmos) és 1 almafafajtát (Regal Prince) – összesen 9 egyedet – ültettünk el a DE AGTC Karcagi Kutatóintézet kompenzációs súlylizimétereibe. Fafajtánként három különböző agrotechnikai kezelést alkalmaztunk. 2010. szeptember 29-én valamennyi fáról megtörtént a levelek begyűjtése. A begyűjtés úgy történt, hogy minden egyes fa lombját két részletben szedtük le, úgymint alsó- és felső koronarész, valamint az egyes súlyliziméterek talaján található lehullott leveleket is összegyűjtöttük.

A levelek beszkenelése a DE AGTC MÉK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet laboratóriumában történt. A levélfelület meghatározására egy, az Analytical Development Company által kifejlesztett Area Meter 100 nevű levélfelület mérőt használtunk. A szkennelő segítségével a megmért levelek adatai az AM 100 saját memóriájában rögzültek. Az eszköz több mint 2000 mérési eredményt tud tárolni. A mérési adatok egy szoftver segítségével a számítógépre lementhetők. Emellett a digitális kijelzőn folyamatosan nyomon tudtuk követni a mérési eredményeket. A levélszkennelővel a különböző méretű, beteg, elszíneződött, vagy rovarok által károsított levelek felületét is meg tudtuk határozni, melyekben további segítséget nyújtott a kontrasztbeállító gomb. Minden szkennelés után megjelennek a kijelzőn a levél fontos paraméterei: a területe, a levél hosszúsága és szélessége, a szkennelés száma, az átlagos és az összes terület, valamint a mérés dátumának és idejének kijelzése.

Kísérletünkben arra keressük a választ, hogy a levél hossza és szélessége ismeretében, és az általunk kiszámolt szorzótényezővel megadható-e levél felülete. Megmértük a leveleknek a hosszát és a legnagyobb szélességét. A két szám szorzatából megkaptuk annak a négyzetnek a területét ($t_{négyzet}$), amelyben a levél elhelyezkedik; majd megtörtént a levél szkennelése. Az így kapott érték a levél területét ($t_{levél}$) mutatta. A levélfelület meghatározásában szorzótényezőként szolgál a $t_{levél}$ és a $t_{négyzet}$ hányadosával kapott k -érték.

$$k = \frac{t_{levél}}{t_{négyzet}}$$

EREDMÉNYEK

A fenológiai stádium végén begyűjtött gyümölcsfa leveleket beszkeneltük, és meghatároztuk az összes levélzet területét, valamint az átlagos levélfelületet is (2. táblázat).

A táblázat értékei alapján megállapítható, hogy átlagosan a legkisebb levélmérettel a Vilmos körtefajta rendelkezett az adott klimatikus és edafikus körülmények között, ugyanakkor a fajták átlagát tekintve a legnagyobb átlagos levélfelülettel a Regal Prince almafajta rendelkezett.

További vizsgálatokat végeztünk, ahol arra kerestük a választ, hogy megadható-e egy olyan „ k ” szorzószám, amellyel meg lehet határozni a levek felületének méretét terepi körülmények között (3. táblázat).

2. táblázat

A begyűjtött levelek levélfelületei

Fafajta megnevezése(1)	Fa száma(2)	Lehullott levelek(3)	Alsó lombkorona szint(4)	Felső lombkorona szint(5)	Összes levélfelület (cm ²)(6)	Átlagos levélméret (cm ²)(7)	Fajta átlagos levélmérete (cm ²)(8)
Bosc kobak levélterület (cm ²)(9)	1. fa(13)	8,65	188,31	464,04	661,00	4,35	4,42
	4. fa(13)	61,46	273,97	289,90	625,33	3,22	
	7. fa(13)	30,65	586,88	320,90	938,43	5,69	
Regal Prince levélterület (cm ²)(10)	2. fa(13)			Kiszáradt(12)			4,97
	5. fa(13)	183,16	121,25	293,89	598,30	5,07	
	8. fa(13)	127,45	512,98	775,59	1 416,02	4,87	
Vilmos levélterület (cm ²)(11)	3. fa(13)	48,11	806,12	1 385,97	2 240,21	3,87	3,24
	6. fa(13)	54,70	129,35	66,24	250,29	2,53	
	9. fa(13)	52,56	273,14	72,17	397,88	3,32	

Table 2: Leaf area of the collection leaf

Tree species name(1), Number of tree(2), Fallen leaves(3), Lower canopy cover(4), Upper canopy cover(5), Total leaf area (cm²)(6), Mean leaf area (cm²)(7), Mean leaf area of species (cm²)(8), Bosc kobak leaf area (cm²)(9), Regal Prince leaf area (cm²)(10), William's leaf area (cm²)(11), Dry tree(12), Tree(13)

3. táblázat

Az általunk meghatározott k-értékek

Fafajta megnevezés(1)	Fa száma(2)	Alsó lomb k-érték(3)	Felső lomb k-érték(4)	A k-értékek átlaga(5)
Bosc kobak(6)	1. fa(10)	0,276	0,284	0,280
	4. fa(10)	0,304	0,289	0,297
	7. fa(10)	0,276	0,274	0,275
Regal Prince(7)	2. fa(10)		Kiszáradt(9)	
	5. fa(10)	0,275	0,269	0,272
Vilmos(8)	8. fa(10)	0,268	0,272	0,270
	3. fa(10)	0,291	0,289	0,290
	6. fa(10)	0,277	0,279	0,278
	9. fa(10)	0,263	0,283	0,273

Table 3: Our defined k-values

Tree species name(1), Number of tree(2), Lower canopy cover k-value(3), Upper canopy cover k-value(4), Mean of k-values(5), Bosc kobak(6), Regal Prince(7), William's(8), Dry tree(9), Tree(10)

Arra a megállapításra jutottunk, hogy a Regal Prince almafajta esetében voltak a k-érték a legkisebbek, amelyből arra lehet következtetni, hogy a levelek alakja kissé elnyújtottabb volt, mint a körtefék esetében. A vizsgált gyümölcsfajok tekintetében a Vilmos körtefajtán volt a legtöbb levél (összesen 798 db), a viszonylag magas k-érték a kerekesebb levélformára utal. Kiegyenlítettebb levélszámmal a Bosc kobak fajta esetében találkoztunk. A 3 gyümölcsfajta levélszámai esetében megvizsgált szórás értéke itt volt a legkisebb.

Az 1 m² talajfelületre vetített, levélfelülettel megkaphatjuk a LAI értékét. Kísérletünkben a súlykompenzációs liziméterek ismert felületére (0,8 m²) számítottuk ki a LAI értékét. Megállapítottuk, hogy az adott liziméter monolitra a legnagyobb levélfelületi indexe a Vilmos körtefajtának volt, annak ellenére, hogy a vizsgált gyümölcsfák esetében a legkisebb átlagos levélfelülettel rendelkezett. Ez annak köszönhető, hogy a levélszám a Vilmos körtefajta esetében volt a nagyobb.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A terepi levélfelület meghatározásának egyik nagy problémája, hogy a viszonylag pontosan mérő eszközök ára magas. Az általunk elvégzett számítás alapuló módszer előnye, hogy gyors becslő eljárás, nem invazív és gyümölcsfajta specifikus. Az alkalmazott mérési metódus lehetőségét nyújt arra, hogy néhány falevél legnagyobb hosszúságát és szélességét ismerve, illetve a k-érték kalkulálásával megfelelő eredményt kapjunk a levélfelület meghatározására.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

- Abbott, D. L. (1984): The Apple Tree: Physiology and Management. London: Grower Books.
- Anderson, M. C. (1981): The geometry of leaf distributions in some south-eastern Australian forests. *J. Agric. Meteorol.* 25: 195–205.
- Balázs S.–Ackerl I.–Bittsánszky J.–Farkas J.–Fehér B.né.–Filius I.–Gyúró J.–Hodossi S.–Hódosy S.–Kapeller K.–Nagy J.–Szabó I.–Szalay F.–Tarjányi F.–Terbe I.–Velich I.–Zatykó F.–Zatykó L. (2004): Zöldségtermesztők kézikönyve Elektronikus tankönyv az Oktatási Minisztérium Felsőoktatási Tankönyv és Szakkönyvtámogatás keretében. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, Debrecen.
- Beakbane, B.–Majumdar, P. K. (1975): A relationship between stomatal density and growth potential in apple rootstocks. *J. Hortic. Sci.* 50: 285–289.
- Bognár K. R. (2003): A sugárzási egyenleg faállományokon belüli változásai. Szakdolgozat. NYME Erdőmérnöki Kar, Keszthely.
- Boldizsár A. (2007): Párolgás és mikroklíma vizsgálatok balatoni nádállományokban. Doktori (PhD) értekezés. Keszthely. 127.
- Cihlar, J.–St-Laurent, L.–Dyer, J. A. (1991): Relation between the normalized difference vegetation index and ecological variables. *Remote Sensing of Environment.* 35: 279–298.
- Clevers, J. G. P. W.–Verhoef, W. (1993): LAI Estimation by Means of the WdVI: A sensitivity analysis with a combined PROSPECT-SAIL model. *Remote Sensing Reviews.* 7: 43–64.
- Cohen, W. B.–Maierpserger, T. K.–Gower, S. T.–Turner, D. P. (2003): An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data. *Remote Sensing of Environment.* 84: 561–571.
- Cowart, F. F. (1935): Apple leaf structure as related to position of leaf upon the shoot and to type of growth. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 33: 145–148.
- Goward, S. N.–Haemrich, K. F.–Waring, R. H. (1994): Visible-near infrared spectral reflectance of landscape components in western Oregon. *Remote Sensing of Environment.* 47: 190–203.
- Gower, S. T.–Kucharik, C. J.–Normann, J. M. (1999): Direct and indirect estimation of leaf area index, fapar, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment.* 70: 29–51.
- Hunkár M. (1984): A napsugárzás és a növényállományok viszonya (különös tekintettel a fotoszintetikusan aktív sugárzás kukorica állományba történő behatolására és hasznosulására). ELTE Egyetemi Doktori Értekezés. Budapest.
- Huzsvai L.–Rajkai K.–Szász G. (2005): Az agroökológia modellezéstechnikája Elektronikus tankönyv az Oktatási Minisztérium Felsőoktatási Tankönyv és Szakkönyvtámogatás keretében. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. Debrecen.
- Járó, Z. (1959): The leaf area in some forest types. *Erdsz. Kut.* 6: 103–110.
- Johnson, R. S.–Lakso, A. N. (1985): Relationships between stem length, leaf area, stem weight, and accumulated growing degree days in apple shoots. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 110: 586–590.
- Lindhagen, A. (1996): Model analysis of leaf unfolding rate in *Malus domestica* Borkh. *Scientia Horticulturae.* 67. 1–2: 65–78.
- Nemani, R. R.–Running, S. W. (1989): Testing a theoretical climate-soil-leaf area hydrologic equilibrium of forests using satellite data and ecosystem simulation. *Agricultural and Forest Meteorology.* 44. 3–4: 245–260.
- Polster, H.–Reichenbach, H. (1958): Bestimmung von Blattflächen in situ durch lineare Messungen. *Biol. Zentralblatt.* 77:265–277.
- Reich, P. B.–Turner, D. L.–Bolstad, P. (1999): An approach to spatially distributed modeling of Net Primary Production (NPP) at the landscape scale and its application in validation of EOS NPP products. *Remote Sensing of Environment.* 70: 69–81.
- Ross, J. K. (1981): The radiation regime and architecture of plant stands. Netherlands: Junk Publishers. The Hague. 391.
- Sellers, P. J.–Berry, J. A.–Collatz, G. J.–Field, C. B.–Hall, F. G. (1992): Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. III. A re-analysis using improved leaf models and a new canopy integration scheme. *Remote Sensing of Environment.* 42: 1–30.
- Slack, E. M. (1974): Studies of stomatal distribution on the leaves of four apple varieties. *Journal of Horticultural Science.* 49: 95–103.
- Szász G. (1988): Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 462.
- Tucker, C. J. (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment.* 8: 127–150.
- Turner, D. P.–Cohen, W. B.–Kennedy, R. E.–Fassnacht, K. S.–Briggs, J. M. (1999): Relationship between Leaf Area Index and Landsat TM Spectral Vegetation Indices across three temperate zone sites. *Remote Sensing of Environment.* 70: 52–68.
- Verheij, E. W. M. (1972): Competition in apple, as influenced by Alar sprays, fruiting, pruning and tree spacing. PhD thesis. Wageningen.
- Wagenmakers, P. S. (1989): High-density planting system trial with pear. 4. International Symposium on Research and Development on Orchard and Plantation Systems. Dronten. Netherlands. 29 Aug – 2 Sep 1988.
- White, M. A.–Asner, G. P.–Nemani, R. R.–Privette, J. L.–Running, S. W. (2000): Measuring fractional cover and leaf area index in arid ecosystems: Digital camera, radiation transmittance, and laser altimetry methods. *Remote Sensing of Environment.* 74: 45–75.