

## Kukorica levélterületének modellezése számítógépes szimulációval

Bakó Károly István<sup>1</sup> – Huzsvai László<sup>2</sup>

Debreceni Egyetem

<sup>1</sup>Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

<sup>2</sup>Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar, Gazdaságelemzés-módszertani és Alkalmazott Informatikai Intézet, Debrecen  
bakok@agr.unideb.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben egy PHP alapú, a kukorica levélterület-indexének számítására alkalmas modellt mutatunk be. A modell a keléstől a 75%-os nővirágzásig kalkulálja a LAI értékét. A számítás alapját a napi átlaghőmérsékleti értékek képzik. A modell alkalmazhatóságát három év hőmérsékleti adatsorával és a mért LAI értékekkel teszteltük, mely adatok a Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Látóképi Kísérleti Telepén létesített meteorológiai állomás által mért értékekből származtak 1994-től 1996-ig. A modell futtatása során megfigyeltük, hogy a hőmérséklet eltérő mértékben befolyásolja a levelek fejlődésének intenzitását.

**Kulcsszavak:** levélterület-index, kukorica, hőmérséklet

### SUMMARY

This study presents a PHP-based model capable of calculating maize leaf area index. The model calculates LAI from emergence to 75% silking. The basis of calculation is represented by the daily average temperature values. The usability of the model was tested using three years' temperature and LAI data series from the values obtained by the weather station set up at the Látókép Experiment Site of the University of Debrecen, Centre for Agricultural Sciences between 1994 and 1996. During the running of the model, it was observed that temperature affects the intensity of leaf development to a various extent.

**Keywords:** leaf area index, maize, temperature

### BEVEZETÉS

A kultúrnövények vegetatív és generatív produktóját jelentősen befolyásolja az asszimilációs felület nagysága. Az asszimilációs felület nagyságának mérésére többek között a levélterület-index szolgál. Néhány tényező befolyásolja a LAI értékét. Ezek a tényezők a megvilágítás, hőmérséklet, tápanyag és a talajban lévő felvehető víz mennyisége. Magyar kutatók is felismerték a levélterület szerepét, és több közlemény is utal a korábbi évekből arra, hogy a biomassa és a levélfelület között szoros az összefüggés (Précsényi et al., 1976; Bálint, 1977; Menyhért, 1985). Sokan a levél felületét és a levél területét szinonim fogalomként kezelik, de ez helytelen, mivel a levél felületén a levél mindkét oldalát értjük, míg a levél területén csak a levél felső – a direkt napsugárzást elnyelő oldalát vesszük figyelembe. Sabo (2002) szerint a levélterület nagyságát jelentősen befolyásolja a termőhely, a fenofázis és a genotípus. Huzsvai (2008) szerint a növény föld feletti zöld- és szárazanyag-tömegének jelentős hányadát a levélzet alkotja. A levélfelület nagymértékben meghatározza a növény növekedését, szárazanyag-beépülését. A környezeti hatások egyik indikátora a levél, ami alkalmassá teszi fenometriai mérésekre. Több jellemzőt is vizsgálhatunk a leveleken, amelyek jelzik a környezeti hatásokat. Ilyen jelző a levél színe (SPAD-érték), mely a tápanyagellátás zavaraira utalhat (Yadava, 1986; Ványiné és Nagy, 2012; Ványiné et al., 2012), a levélzet nagysága, mely a tápanyag és a víz rendelkezésre állására utal, illetve a levél hidratáltsága, mely a vízellátottságot jelzi (Nagy, 2012). Az egyik leggyakrabban alkalmazott indikátor a levélterület. A vertikális

megoszláson azt veszik figyelembe, hogy a fotoszintetikusan aktív levelek hogyan helyezkednek el függőlegesen a növényen, míg a geometriai elhelyezkedésen a levélállás szögét figyelik meg. A levélterület meghatározása egyszerű feladatnak tűnhet. Meghatározására mindenki által szabadon megvásárolható eszközök állnak rendelkezésre. A levélzet tényleges sugárzáselnyelő képességének meghatározása azonban egy igen bonyolult feladat, mivel ehhez a levélterület mellett figyelembe kell venni a levelek geometriáját és a Nap látszólagos napi mozgását. Mivel a levelek elhelyezkedése más és más, azok különböző szögben érintkeznek a napsugárzással, így a sugárzástelnyelő képességük is eltérő. A szögállástól függően Huzsvai (2008) 6 féle térállást különböztet meg:

- planofil típus: döntően horizontális levelek;
- erectofil típus: döntően vertikális levelek;
- plagiofil típus: döntően 45°-os inklinációjú levelek;
- extremofil típus: zömében 0°-os és 90°-os levelek jellemzik, így az eloszlásnak két módusza van;
- uniform típus: egyenletes eloszlás, minden irányban azonos valószínűséggel fordul elő;
- gömbi-szférikus típus: a gömb felületelem eloszlásával egyezik meg.

A levél területének nagysága jelentősen felülmúlja a növény tenyészterületét, ezt többen is vizsgálták és számszerűsítették (Ruzsányi, 1974; Berzsényi, 1988; El Hallof, 2008; Micskei, 2011).

A kukorica LAI maximális terméshez tartozó értékével sokan foglalkoztak. Brown et al. (1970) mérései alapján mindig megközelítően azonos LAI = 3,5 érték esetén kapták a legnagyobb termést. Magyarországon a maximális terméshez tartozó LAI értéke 4,1–5,9 kö-

zött változott (Menyhért et al., 1980; Berzsényi, 1989). A nagyobb LAI oka, hogy a kukorica egy rövidnappalos növény, és ezen az égövön a hosszú nappalok miatt késik a virágzás, és ez hosszabb vegetációs periódust eredményez, mint az eredeti származási helyén.

Az 1950-es évek végére a kutatók elkezdték modellezni a kukorica fejlődésével kapcsolatos egyes folyamatokat. A 80-as években már néhány publikáció (Jones et al., 1984, 1986; Jones és Kiniry, 1986; Kiniry és Jones, 1986) tárgyát képezte a kukorica potenciális produkciója és a növény fejlődése. Az idők folyamán a kutatók rájöttek arra, hogy a növény fejlődésének realisabb modellezése nem valósulhat meg anélkül, hogy a fejlődési folyamatot ne bontanák fázisokra, és az egyes fenofázisokat külön ne írják le. Hazai vonatkozásban az MTA TAKI által létrehozott 4M szaktanácsadási rendszerben használt fenofázisokra lebontott LAI-modellt (Fodor, 2005).

### LEVÉLTERÜLET-INDEX BECSLÉSE

Célkitűzéseink között szerepelt egy olyan fejlődési modell megalkotása, amely az egyes fenofázisokban különböző környezeti tényező hatására befolyásolja a levél terület növekedését. A modell adatai inputként szolgálnának egy nagyobb modellhez, amely az értékek alapján becsülné a növények párolgását. Szakirodalmi források segítségével PHP futtatási környezetbe adaptáltuk a CERES – Maize Jones et al. (1986) kukorica fejlődési és növekedési modelljét. A fejlődési modellt különböző fenofázisokra bontották ezt adaptáltuk a modellünkbe és így jobban tudtuk érvényesíteni a környezeti tényezők hatását a növényre. Szakirodalmi források alapján a környezeti tényezők közül a hőmérséklet befolyásolja legjelentősebben a növény fejlődését. Ezért ezt a befolyásolást a programozás során a fejlődési modellünkbe igyekeztünk beépíteni. A hőmérséklet befolyásoló hatását egy általunk hőstressztényezőnek nevezett függvény végzi, amely a hőmérséklet változásával párhuzamosan befolyásolja a kukorica levélterület indexének növekedését.

Több szerző (Bittera, 1922; Grábner, 1948; Menyhért, 1985; Pepó és Sárvári, 2011) is vizsgálta azt a hőmérsékleti tartományt, ahol a növény fotoszintetikus aktivitást végez. Ezt az intervallumot programunkban 8 és 44 °C (Jones et al., 1986) közé helyeztük. Nagy (2007) szerint a hőmérséklet a tartomány egyes szakaszaiban eltérő tömeggyarapodást biztosít. A kukorica hőmérsékletfüggő fejlődési görbéje igen sajátos formát vesz fel. A bázishőmérséklet és az optimális 25 °C között folyamatos növekedés tapasztalható, míg az optimum és a felső hőmérsékleti határ között folyamatos csökkenés, majd pedig a növényi aktivitás teljes leállása. Modellünket 1994 és 1996 közötti hőmérsékleti adatokkal vizsgáltuk, melyek a Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Látóképi Kísérleti Telepén létesített meteorológiai állomás által mért adatokból származtak. A fejlődési modellünket 9 szakaszra osztottuk fel. A számítások során egy középérésű (FAO 300-as) hibrid levélterület-indexét modellezzük. A modellben a vetést követő nap már megtörténik a csírázás.

A hőösszeg számításánál a csírázás szakaszában 10 °C-os bázishőmérsékletet határoztunk meg, míg minden további szakaszban ezt az értéket 8 °C-ra mó-

dosítottuk. A hőösszeg számítására a Gilmore és Roger (1958), Arnold (1959, 1960), valamint Cross és Zuber (1972) által felvázolt képletet alkalmaztuk.

$$HU = \sum \left( \frac{(T_{\max} - T_{\min})}{2} - 10 \right)$$

Ahol:

$T_{\max}$  = Napi maximum hőmérséklet,

$T_{\min}$  = Napi minimum hőmérséklet,

10 = kukorica asszimilációs küszöbérték.

Az adatok többszöri futtatása után megfigyeltük, hogy a modellben a LAI értékek a szakirodalmi forrásokban meghatározott értékekhez képest irreálisan magasak voltak. Így szükségesnek láttuk egy olyan tényező bevezetését, mellyel a függvény által kiszámított értékek korrigálhatóak. Modellünk napi léptékű, így ezeket a számításokat minden nap végre lehet hajtani. Az egyes szakaszokból, hogy a növény átlépjen a következő stádiumba, különböző feltételeket határoztunk meg. Ezek a feltételek külön meghatározhatóak mint generikus paraméterek. Figyelmen kívül lehet hagyni azt a tényezőt, amely a LAI értékeinek kiszámítását fix teljes időszakhoz kötötte. Ezáltal az értékek számítása és az egyes szakaszok hossza nincs előre determinálva a programban, azok úgy változnak, ahogy a hőmérséklet és a nappal hosszúság befolyásolja a növény fejlődését. Ha az adott hónapra nem áll rendelkezésre a teljes adatsor, a program akkor is lefut a hiányzó adatig, ezt követően pedig a kiszámított értéket kijelzi a leállás időpontjáig.

### A hőstressztényező bemutatása

A hőstressztényező segítségével korrigálni tudtuk az irreálisan magas LAI értékeket, így jobban közelített a mért értékekhez. Ha a hőmérséklet a bázis hőmérséklet és az optimális érték között van, akkor a hőstressztényező pozitívan befolyásolja a LAI növekedését, amennyiben a hőmérséklet az optimális fölé emelkedik egészen a felső küszöb értékig, akkor a hőstressztényező negatívan befolyásolja a LAI növekedését. Ha a hőmérséklet magasabb lenne, mint a felső küszöbérték akkor a függvény a LAI értékét nem változtatja, ezzel jelzi, hogy az adott napon a növény nem asszimilál, és így nem változik a LAI értéke. A hőstressztényező a juvenilis fázisban, és az azt követő időszakban másképpen számítható. A juvenilis fázis hossza genetikailag adott tulajdonság, melyet a hőösszeggel adunk meg. A juvenilis fázis végétől a 75%-os nővirágzásig a hőösszeg mellett a nappalhosszúság is szerepet játszik a modellben A LAI számítása során 7 növény/m<sup>2</sup> növényűrsűrűséget adtunk meg, generikus paraméterként. A levélterület-index maximális értéket a 75%-os nővirágzás időpontjára éri el. A modellt minden évben csak eddig az időpontig futtattuk le.

### EREDMÉNYEK

A modell által kalkulált értékek az 1994-es évben 1,3%-kal alacsonyabbak, mint a valódi érték a 75%-os nővirágzás időpontjában (1. ábra).

## A nővirágzás időpontjának LAI-értékei

Évek(1)	Vetés(2)	Kelés(3)	Nővirágzás időpontja(4)	LAI értéke(5)	Felvételezés időpontja(6)	Mért LAI(7)	Eltérés(8)
1994	1994. 04. 29.	1994. 05. 15.	1994. 07. 17.	3,5270	1994. 07. 12.	3,573	1,30%
1995	1995. 04. 29.	1995. 05. 12.	1995. 07. 18.	5,4013	1995. 07. 12.	2,991	55,38%
1996	1996. 04. 29.	1996. 05. 06.	1995. 07. 07.	2,6031	1996. 07. 06.	3,667	40,87%

Table 1: LAI values of the silking date

Years(1), Sowing(2), Emergence(3), Silking date(4), Value of LAI(5), Date of Observations(6), Measured LAI(7), Difference(8)

1. ábra: A LAI alakulásának napi menete 1994-ben

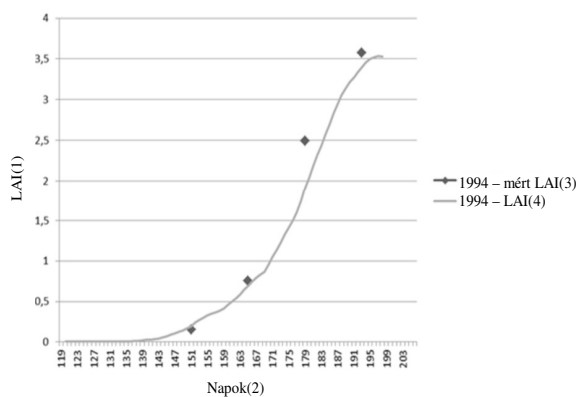


Table 1: Daily course of LAI in 1994

LAI(1), Day(2), Measured LAI(3), LAI(4)

2. ábra: A LAI alakulásának napi menete 1995-ben

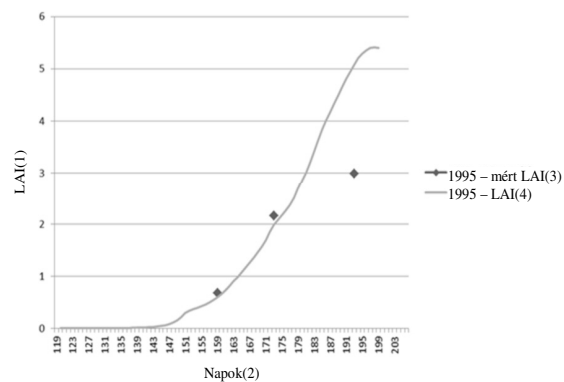


Table 1: Daily course of LAI in 1995

LAI(1), Day(2), Measured LAI(3), LAI(4)

Az 1995-ös évben a 75%-os nővirágzás időpontjában 55,38%-kal alacsonyabb a mért érték, mint a modellezett, azonban a korábbi két mért időpontban az értékek nagymértékben nem tértek el (2. ábra). Az 1995-ben és 1996-ban a mért és a becsült adatok eltérést mutattak, ezért modellünket tovább kívánjuk alakítani, hogy a modellezett értékek jobban közelítsenek a mért értékekhez.

Ha az adott évben alacsonyok a napi hőmérsékletek, akkor a LAI alacsonyabb értéket vesz fel a 75%-os nővirágzás időpontjára. A vizsgált 3 évben az értékek napi alakulását az 1. táblázat szemlélteti.

A modell kialakítása során megfigyeltük többszöri futtatást követően, hogy a keléstől a 75%-os nővirágzásig a hőmérséklet eltérő mértékben befolyásolja a levelek fejlődésének intenzitását. A túlzottan magas hőmérséklet lassítja a fejlődést. Az optimálisnál alacsonyabb hőmérséklet azonban a fejlődés kezdeti szakaszában lassítja a levélterület-index növekedését.

## IRODALOM

- Arnold, Y. C. (1959): The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 74: 430–445.
- Arnold, Y. C. (1960): Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat unit. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 76: 682–692.
- Bálint A. (1977): A kukorica jelene és jövője. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Berzsenyi Z. (1988): A N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) növekedésének és növekedési jellemzőinek dinamikájára. Növénytermelés. 37. 3: 239–248.
- Berzsenyi Z. (1989): A növényszám hatása a kukorica növekedésének és növekedési jellemzőinek dinamikájára I. Növénytermelés. 38. 5: 395–407.
- Bittera M. (1922): Növénytermesztéstan. Pátria Irodalmi Vállalata és Nyomdai Részvénytársaság. Budapest. 2: 59–60.
- Brown, R. H.–Beatty, E. R.–Ethered, W. J.–Hayes, D. D. (1970): Influence of row width and plant population on yield of two varieties of corn (*Zea mays* L.). Agronomy Journal. 62: 767–770.
- Cross, H. Z.–Zuber, M. S. (1972): Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. Agronomic Journal. 64: 351–355.
- El Hallof N. (2008): Az NPK műtrágyázás és a különböző genetikai adottságú kukoricahibridek termésmennyisége, valamint minősége közötti összefüggés vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés Debrecen. 83–91.
- Fodor N. (2005): 4M – rendszermodellezési programcsomag. [In: Pethő A.–Herdon M. (szerk.) Informatika a felsőoktatásban – Konferencia.] Debrecen, 2005. augusztus 24–26. 2–3.
- Gilmore, E. C.–Rogers, J. S. (1958): Heat unit as a method of measuring maturity in corn. Agronomic Journal. 50: 611–615.
- Grábner E. (1948): Szántóföldi Növénytermesztés. Pátria Kiadó. 303.
- Huzsvai L. (2008): Kutatói pályára felkészítő akadémiai ismeretkörön alapuló tananyagfejlesztés – Környezet- és természetvédelem ismeretkörben. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032\\_kornyezetved\\_termved\\_kutatoit/ch03s03s.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_kornyezetved_termved_kutatoit/ch03s03s.html)

- Jones, C. A.–Ritchie, J. T.–Kiniry, J. R.–Godwin, D. C.–Otter, S. I. (1984): The CERES wheat and maize models. [In: Proc. Int. Symp. Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer.] 21–26 March, 1983. ICRISAT Center. Patancheru, India. 95–100.
- Jones, C. A.–Ritchie, J. T.–Kiniry, J. R.–Godwin, D. C. (1986): Subroutine structure. [In: Jones, C. A.– Kiniry, J. R. (eds.) CERES – Maize: a Simulation Model of Maize Growth and Development.] Texas A&M University Press. College Station. 49–111.
- Jones, C. A.–Kiniry, J. R. (1986): CERES-Maize: a Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A&M University Press. College Station. 194.
- Kiniry, J. R.–Jones, C. A. (1986): Model Evaluation. [In: Jones, C. A.– Kiniry, J. R. (eds.) CERES-Maize: a Simulation Model of Maize Growth and Development.] Texas A&M University Press. College Station. 113–144.
- Menyhért Z.–Ángyán J.–Radics L. (1980): A levélfelület-index (LAI), a fényviszonyok és a termés kapcsolata eltérő vetésidejű és tenyésztésű kukorica állományokban. Növénytermelés. 29. 4: 357–369.
- Menyhért Z. (1985): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 273–278.
- Micskei Gy. (2011): Szerves- és műtrágya hatásának összehasonlító vizsgálata a kukorica produkciójára tartamkísérletben. Doktori (PhD) értekezés Martonvásár 62–65.
- Nagy J. (2007): Kukoricatermesztés. Akadémia Kiadó. Budapest.
- Nagy, J. (2012): The effect of fertilization and precipitation on the yield of maize (*Zea mays* L.) in a long-term experiment. Időjárás. 116. 1: 39–52.
- Pepó P.–Sárvári M. (2011): Gabonanövények termesztése. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010\\_1A\\_Book\\_09\\_Gabonanovenyek\\_termesztese/ch03s05.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_09_Gabonanovenyek_termesztese/ch03s05.html)
- Précsényi I.–Czímber G.–Csala Z.–Szöcs E.–Molnár E.–Melko E. (1976): Studies on the growth analysis of maize hybrids OSSK 218 and DKXL 342. Acta Botanica. Acad. Sci. Hungariae. 22: 185–200.
- Ruzsányi L. (1974): A műtrágyázás hatása egyes szántóföldi növényállományok vízfogyasztására és vízhasznosítására. Növénytermelés. 23: 249–258.
- Sabo, M. (2002): Photosynthetic productivity of six winter wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). Acta Agronomica Hungarica. 50. 4: 399–409.
- 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.
- Ványiné Széles, A.–Nagy, J. (2012): Effect of nutrition and water supply on the yield and grain protein content of maize hybrids. Australian Journal of Crop Science. 6. 3: 381–290.
- Yadava, U. L. (1986): A rapid and non-destructive method to determine chlorophyll in intact leaves. HortScience. 21. 6: 1449–1450.