

*A fenológiai megfigyelés
szerepe és jelentősége az
agrometeorológiai
modellezésben és a
klímaváltozás kutatásában*

**Hunkár Márta ^[1], Vincze Enikő ^[2] ,
Szenyán Ildikó ^[2], Dunkel Zoltán ^[2]**

[1] Pannon Egyetem, Gazdaságmódszertani Tanszék

[2] Országos Meteorológiai Szolgálat

A „fenológia” történetéből

Carl Linné (1707-1778)

- Az alapvető botanikai rendszerező munkája mellett
 - Évenként adatokat gyűjtött a vadmadarak költözésének és visszatérésének idejéről. Feljegyezte, hogy mikor áll be a tavaszi olvadás, melyek a legelőbb virító tavaszi növények, mikor hozzák termésüket. A többéves megfigyelés alapján hasznos következtetéseket vont le a mezőgazdászok számára
- Ezekkel a tanulmányaival Linné megalapította a fenológia tudományát.

A „fenológia” történetéből Adolphe Quetelet (1796-1874)

- A brüsszeli obszervatórium igazgatója
- Hálózatot hoz létre a „Periodikus jelenségek megfigyelésére”
- Útmutatót ad a megfigyelések módszerére
 - *„Sur le Climat de la Belgique”* (1849)
 - Mindenhol azonos időpontban történjenek a megfigyelések- a növényekre vonatkozóan is

A „fenológia” történetéből

Charles Morren (1807-1858)

- A Liège-i Egyetem botanika professzora
- Vitatja Quetelet instrukcióit a periodikus jelenségek megfigyelésére vonatkozóan
 - Álláspontja szerint a jelenség időpontjának feljegyzéséből állítandó össze a természet kalendárium
- Ő használja először tudományos cikkben a fenológia –mint diszciplína kifejezést.
 - „Souvenirs phénologiques de l’hiver 1852-1853”

Hazai előzmények

A „fenológia” történetéből

Kitaibel Pál (1757-1817)

- Botanikai és földrajzi terepmunkája során följegyezte az egyes fajok virítási idejét, időtartamát.
- Ezekből az élőhelyek eltérő éghajlati adottságaira következtetett.
- Néhány haszonnövény- egyes gyümölcsfák és gabonafélék fenológiai adatainak országos feltérképezése céljából felhívást tett közzé.
 - Sajnos kevés adat érkezett, így nem tudta megrajzolni a virágzási fenológiai térképet.

A meteorológiai és növényfenológiai megfigyelések összekapcsolódása

- A kapcsolat létezése kezdettől fogva nyilvánvalónak tűnt.
- Így a XIX. század második felében megalakuló nemzeti meteorológiai szolgálatok mérési programjában szerepel a növények megfigyelése is.

A Magyar Királyi Meteorológiai és Földdeleljességi Intézet *1871-1885 évkönyvei*

- 57 helyről vannak megfigyelések
- Hosszabb, legalább 7 éves adatsor:
 - Eger
 - Török-Becse
 - Nagy-Szeben
 - Oravicza
 - Bakonybél
 - Gospic
 - Kőszeg
 - Pécs
 - Körmend

Részlet az 1871-es évkönyvből

I. A lombfejlődés kezdete.

I. Beginn der Belaubung.

A növény neve Name der Pflanzen	Árva- Várallya	Nagy- Szeben	A növény neve Name der Pflanzen	Árva- Várallya	Nagy- Szeben
Acer campestre L.	5.13	4.13	Prunus avium L.	—	4.10
„ Pseudoplatanus L.	—	4.18	„ Cerasus L.	—	4.10
Aesculus Hippocastanm L.	—	4.9	„ domestica L.	—	4.19
Alnus glutinosa Gaertn.	—	4.15	„ spinosa L.	—	4.13
Amygdalus nana L.	—	3.24	Pyrus Malus L.	—	4.11
Berberis vulgaris L.	—	4.19	Quercus pedunculata Ehrh.	—	4.20
Betula alba L.	—	4.22	Rhamnus cathartica L.	—	3.24
† Caragana arborescens Link.	—	4.12	„ Frangula L.	—	4.13
Carpinus Betulus L.	—	4.12	„ saxatilis Jacq. β. erectus Neilr. .	—	3.24
Cornus sanguinea L.	—	4.8	(Rh. tinctoria W. et K)	—	—
Corylus Avellana L.	—	3.24	Ribes aureum Pursh.	—	3.28
Crataegus Oxyacantha L.	—	4.13	„ Grossularia L.	—	3.16
Cydonia vulgaris Pers.	—	4.11	„ rubrum L.	—	4.3
Evonymus europaeus L.	—	3.17	Robinia Pseudacacia L.	—	4.39
„ verrucosus L.	—	3.17	Rosa canina L.	—	3.21
Fagus silvatica L.	5.10	—	Rubus idaeus L.	—	4.5
Fraxinus excelsior L.	—	5.1	Salix Caprea L.	—	4.15

-
- Ezt követően 1910-ben a Magyar Földrajzi Társaság, később pedig 1934-ben az Erdészeti Kutató Intézet létesített növényfenológiai hálózatot

Réthy Antal 1936-ban írja

- Hazánkban sok helyen végeznek rendszeres növényfenológiai megfigyeléseket s a feljegyzéseket a klimatológia már régóta felhasználja.
- A *Magyar Földrajzi Társaság Alföldi Bizottsága* által szervezett, jelenleg mintegy 60 állomást magába foglaló hálózat megfigyelései úgy a hazai, mint a nemzetközi éghajlatkutatás szolgálatában állanak.
- A megfigyelők jelentései a *Meteorológiai Intézetbe* futnak be s 15 állomás adatai a Meteorológiai Intézet közlései alapján *E. Ihne* professzor szerkesztésében *Darmstadtban* megjelenő „*Phaenologische Mitteilungen*” című kiadványában megjelennek.

-
- A nemzetközi meteorológiai szervezet (*Organisation Météorologique Internationale*) agrármeteorológiai bizottsága 1932 szeptember havában Münchenben tartott üléseiben foglalkozott azzal a kérdéssel is, hogy miként kellene a növény fejlődési megfigyeléseket nemzetközileg megszervezni.

A megfigyelések célja

- A XX. század közepéig
 - Természettudományos érdeklődés
 - Ismeretszerzés
- A XX. század közepétől
 - Mezőgazdasági termelés fellendítése
 - Termés optimalizálás
 - Vegyszeres növényvédelem

Az OMI-ban

- 1951-ben kezdték megszervezni a fenológiai hálózatot.
 - Elkészítették az „Útmutatás növényfenológiai megfigyelésekre” c. kiadványt, amelyben Csapody Vera rajzaival 75 vadon termő növény szerepel.
- A hálózatban túlnyomórészt a vadon termő növények fenológiai megfigyelését végezték — mintegy 200 helyen —, főként a csapadékmérő állomások észlelői.
- A mezőgazdasági növények megfigyelését 13 helyen, mezőgazdasági kutatóintézetekben, fajta kísérleti állomásokon kezdték meg.

Az OMI-ban

- 1965-ben mezőgazdasági növények fenológiai megfigyelő hálózatának felújítása, bővítése.
 - Útmutatás kultúrnövény fenológiai megfigyelésekre
- 34 növény faj megfigyelése történt 80 helyen

-
- 1975-ben az Agrometeorológiai Előrejelző Osztály rekonstrukciós tervet nyújtott be 33 vadnövény fenológiai és 26 kultúrnövény fenológiai állomás újra létesítésére. Terv készült egy 30 megfigyelőhelyes gyorsjelentő hálózatra is.

-
- 1982-ben új alapokra helyezték a fenológiai hálózatot .
 - A megfigyeléseket a MÉM-NAK növényvédő szakembereire bízták, olyan hivatalos személyre, aki abban a mezőgazdasági termelő-üzemben dolgozik ahol a megfigyelés történik, hogy az adatok hitelességéhez kétség ne férhessen.
 - Ez a hálózat működött egészen 2001-ig, amikor az OMSZ anyagi okokra hivatkozva felszámolta.

Problémák

- A fenológiai megfigyelések nem kerültek bele az OMSZ számítógépes adatbázisába.
- A megfigyelések helye nem volt állandó.
- Sok esetben nem volt meteorológiai állomás sem a megfigyelések közelében.

Nemzetközi kitekintés

- 1957-ben a Nemzetközi Biometeorológiai társaság kezdeményezésére Schnelle és Volkert létrehozták a fenológiai megfigyelő kertek hálózatát.
- A ma is működő 89 kertből álló hálózat Skandináviától Macedóniáig Európa különböző éghajlati öveiben biztosítja az egységes szempontok szerinti megfigyeléseket.

A növényfenológiai kutatások

- A 80-as évek végén és 90-es években a növény fejlődés és növekedés szimulációs modelljeinek fejlesztése ugyancsak előtérbe helyezte a növények fenológiai ciklusainak tanulmányozását a környezeti, elsősorban meteorológiai tényezők általi meghatározottságát.
- A főként a hőmérséklet által vezérelt fenológiai modellek beépültek a komplex növényi produkciót matematikai számítások révén meghatározó növényi produkciós modellekbe.

Növényi produkció modelljében

- Mezőgazdasági szempontból jelentős növényekre fejlesztettek ki szimulációs modelleket.
- A tömeggyarapodás ütemét számító algoritmusokban a hatásfüggvények paraméterei a növény fenológiai állapotától függenek.
- A fenológiai fejlődés almodellként épül be.

A fenológiai fejlődés modelljei különbözhetnek:

- ❑ a figyelembe vett fenológiai fázisok,
- ❑ a fázisok közötti időszak hosszát meghatározó környezeti tényezők
 - Hőmérséklet, nappal hossza, vernalizáció, stressz tényezők
- ❑ a tényezők hatását leíró függvények alakja
 - Lineáris, nem lineáris
- ❑ a modell szerkezete szerint
 - Additív, multiplikatív

Wang & Engel (1998) modellje a búza fenológiai fejlődésére:

$$r = R_{\max} f(T) f(P) f(V)$$

r a napi fejlődési ütem (nap^{-1})

R_{\max} a maximális fejlődési ütem (nap^{-1})

$f(T)$ a hőmérséklet

$f(P)$ a fotoperiódus

$f(V)$ a vernalizáció

} hatásfüggvényei

} értékük 0 és 1 közötti

Wang & Engel (1998) modellje a búza fenológiai fejlődésére:

$$r = R_{\max} f(T) f(P) f(V)$$

A modell két alapvető szakaszt különít el:

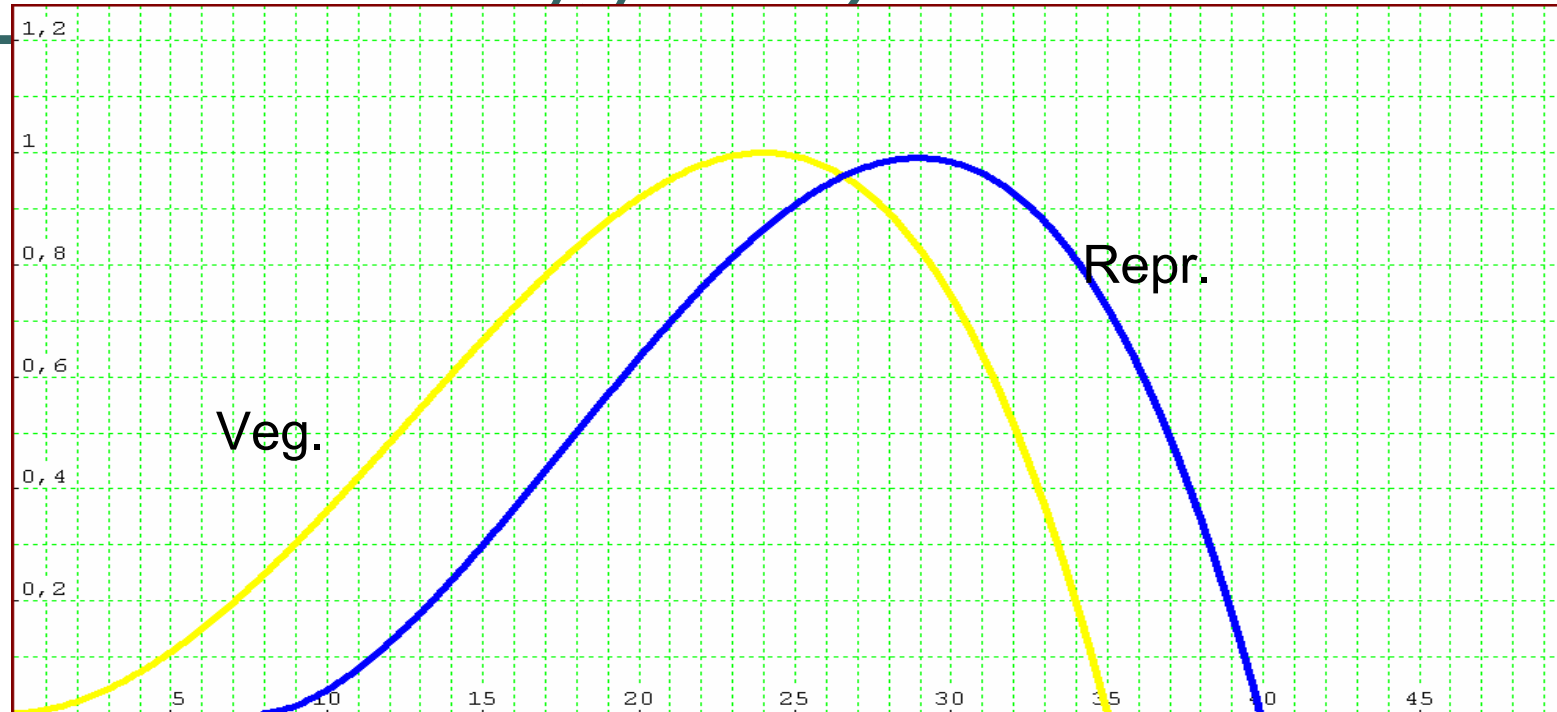
a vegetatív fázist és a reproduktív fázist.

R_{\max} paraméter értékei különböznek a két fázisban

A vegetatív fázisban mindhárom hatásfüggvénnyel számol.

A reproduktív fázisban csak a hőmérséklet hatásfüggvény jelenik meg.

Wang & Engel (1998) modellje A hatásfüggvények



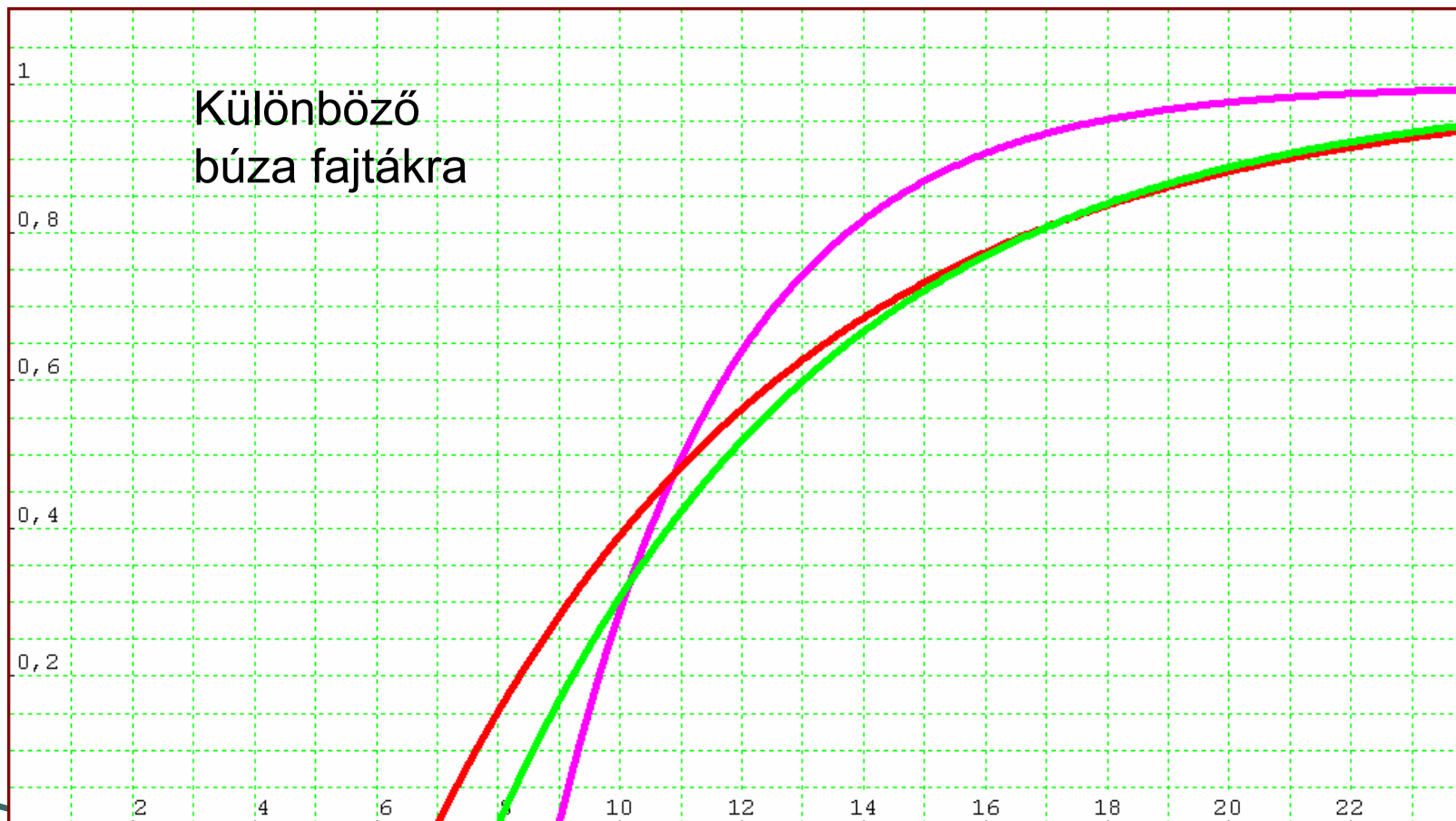
T a napi középhőmérséklet (°C)

A T_{\max} , T_{\min} , T_{opt} paraméterek
különböznek a vegetatív és a
reproduktív fázisban

Wang & Engel (1998) modellje

A hatásfüggvények

- A fotoperiódus hatásfüggvénye:



Wang & Engel (1998) modellje

A hatásfüggvények

- A vernalizáció hatásfüggvénye

$$f(V) = \min\{1; \max[0; (V_n - V_{nb}) / (V_{nd} - V_{nb})]\}$$

V_n Az akkumulált vernalizációs napok száma

V_{nd} A teljes vernalizációhoz szükséges napok száma

V_{nb} A kelés után azon napok száma, amennyi a vernalizációs hatás életbelépéséig eltelik.

V_n függ a napi középhőmérsékletektől: $V_n = \sum f_{v_n}(T)$

$f_{v_n}(T)$ hasonló szerkezetű, mint a hőmérsékleti hatásfüggvény

A modellek parametrizálása

Termesztett növényeknél

Célirányos kísérletekkel

fitotronban

szántóföldi parcellákon

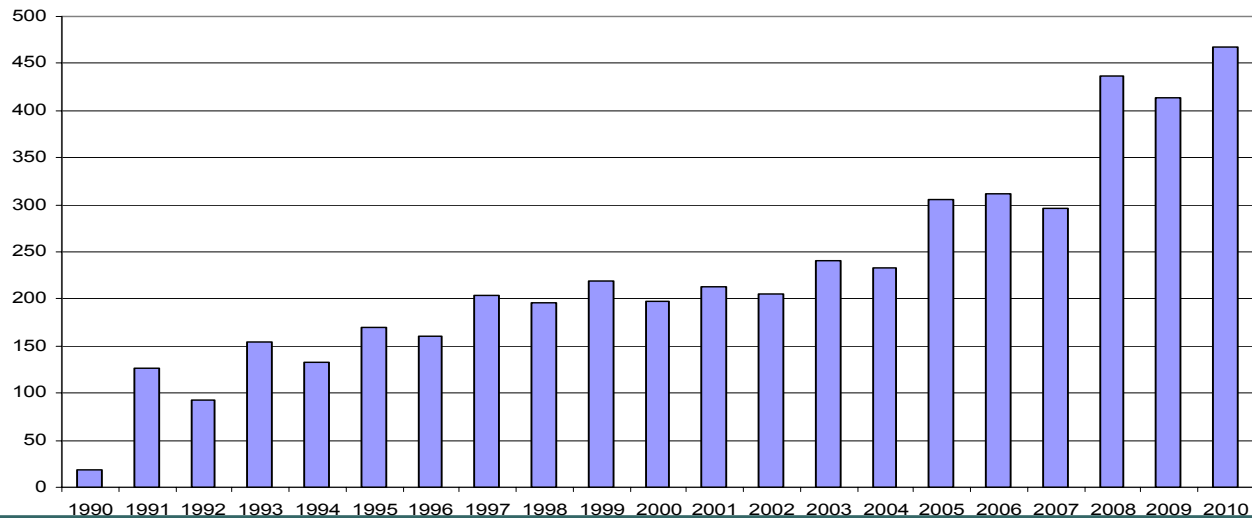
Vadnövényeknél

fenológiai adatsorok alapján

A klímaváltozás hatása

- Új hangsúlyok a fenológiai tanulmányokban
 - Modellezés útján
 - Hosszú fenológiai adatsorok alapján

A növényfenológiával foglalkozó cikkek száma (ISI-Web of Science)



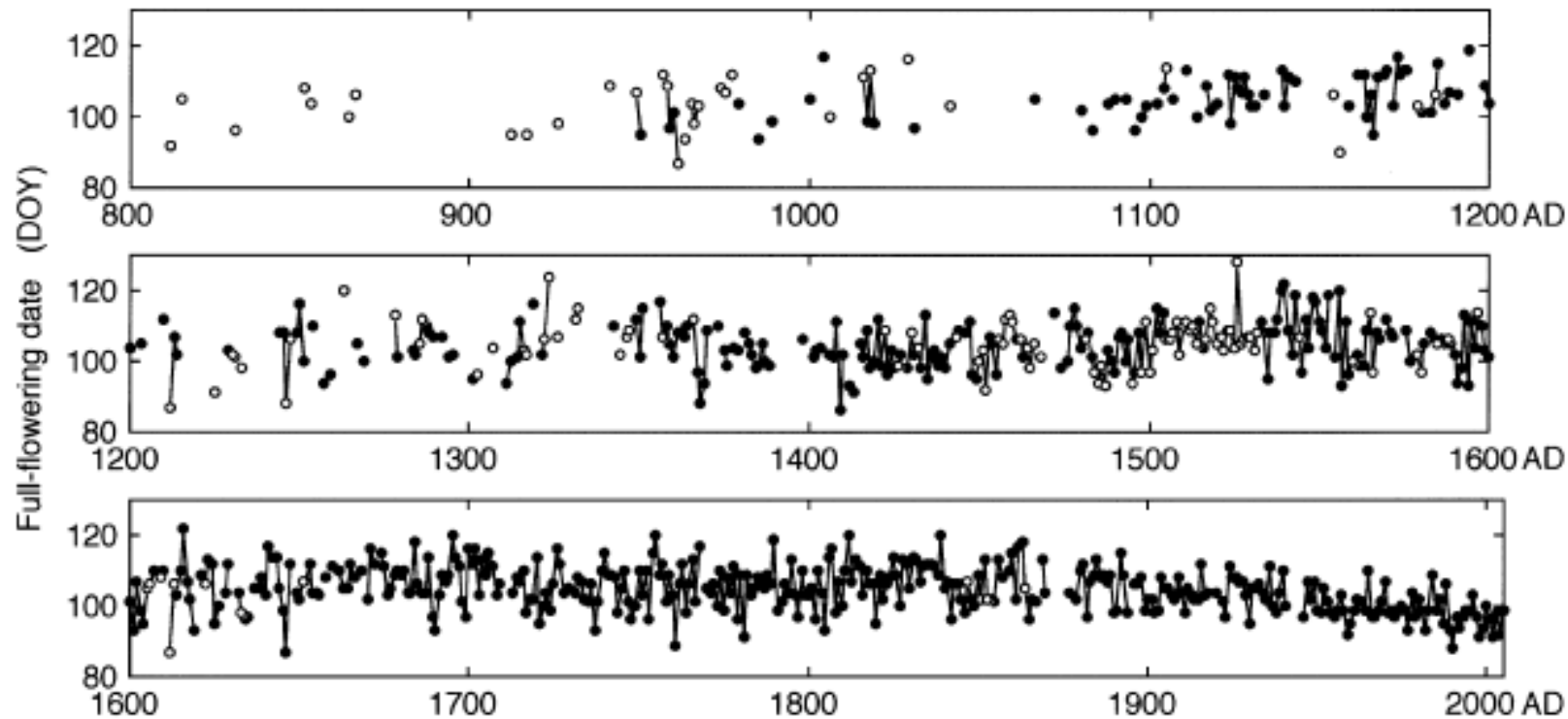
Növényfejlődés szimulációs modelljei

- A hőmérséklet emelkedése felgyorsuló növényi fejlődést jelent.
- Csökken a biomassa akkumulálódás időtartama.
- Kevesebb lesz a termés.

Fenológiai adatsorok

- Tükrözik a klíma változását.
- Azonos helyről származó hosszú adatsorok viszonylag ritkák.

A cseresznyevirágzás időpontjai Japán, Kyoto IX. századtól napjainkig



Yasuyuki Aono és Keiko Kazui
Int. J. Climatol. 2008.

COST 725 Akció (2004-2009)

- Célja: Európai léptékben összegyűjteni a fenológiai adatsorokat.
- 125 000 megfigyelési adatsort gyűjtöttek össze 542 növényfajra és 19 állatfajra vonatkozóan 21 országból az 1970-2000 időszakból.

COST 725 Akció (2004-2009)

- Az elemzések szerint a levélzet megjelenése, a virágzás és érés időpontjai 78%-ban korábbra helyeződtek (30%-ban szignifikánsan) és csak 3%-ban volt megfigyelhető szignifikáns későbbre tolódás.
- Európai átlagban
 - a tavaszi/nyári fenológiai fázisok mintegy -2,5 nap/10 év meredekségű trendet mutattak
 - Az őszi elszíneződés/ levélhullás időpontjaiban azonban nem volt kimutatható trend.

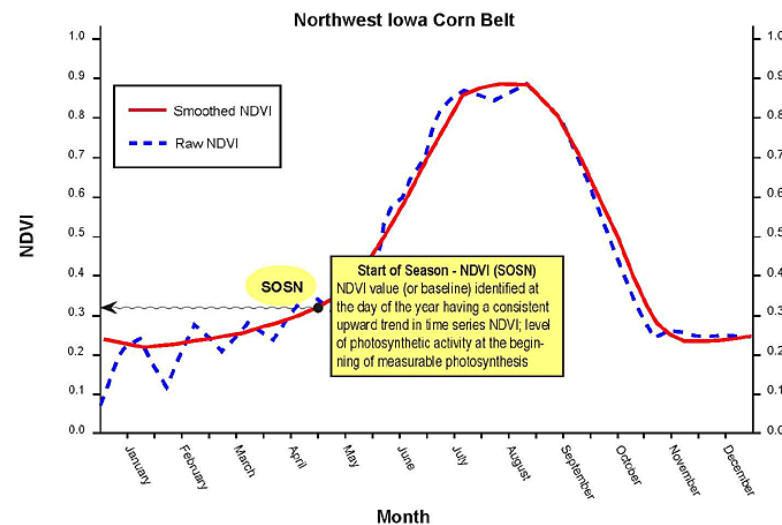
Műholdas megfigyelések

- A pontszerű megfigyelések a mikroklíma által befolyásoltak.
- Nagyobb térségre vonatkozóan a műholdas megfigyelés kézenfekvőnek tűnik.
- Mit is „lát” a műhold?
 - Reflektanciákat (ρ) különböző tartományokban

A műholdas megfigyelések lehetőségei

- NDVI (Normalized Vegetation Index)-

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{nir}} - \rho_{\text{red}}}{\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{red}}}$$



- szoros kapcsolatban van a biomassza mennyiségével.
- A vegetációs időszak kezdetét és végét küszöbérték alapján határozza meg

A műholdas megfigyelések lehetőségei

- EVI (Enhanced Vegetation Index)-

$$\text{EVI} = G \times \frac{\rho_{\text{nir}} / \rho_{\text{red}} - 1}{\rho_{\text{nir}} / \rho_{\text{red}} + \left(C_1 - C_2 \times \rho_{\text{blue}} / \rho_{\text{red}} \right) + L / \rho_{\text{red}}}$$

ahol L a talajra vonatkozó faktor (L=1),

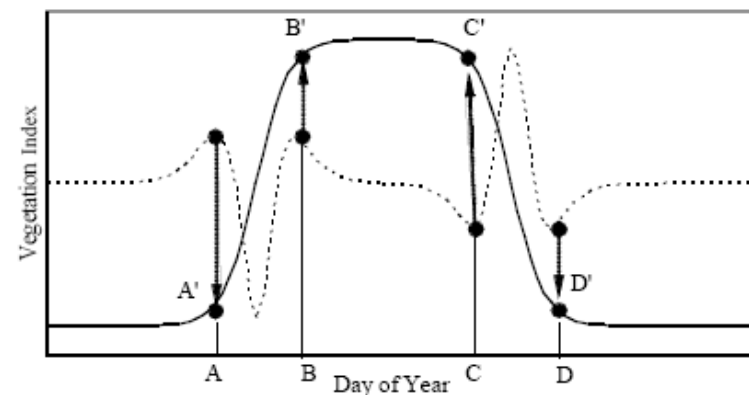
C_1 és C_2 a légköri aeroszolok szórására utaló konstans
(szokásos értéke $C_1=6,0$, $C_2=7,5$)

G pedig konstans, szokásos értéke 2,5.

(Huete et al. 2002, Jiang 2008)

A műholdas megfigyelések lehetőségei

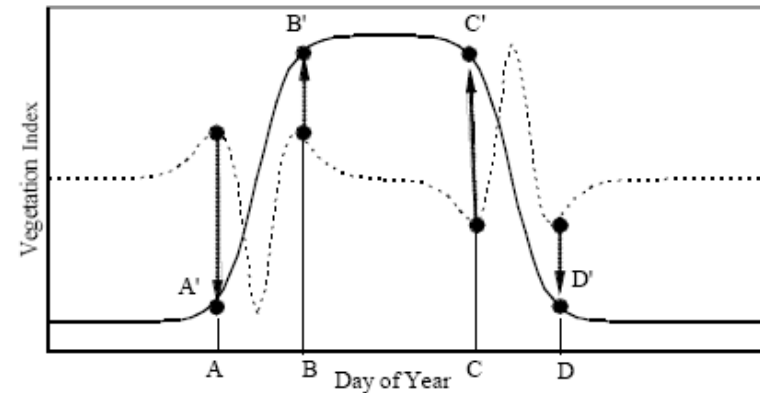
Az EVI időbeli menete két logisztikus függvénnyel írható le, az egyik a növekedési időszakra vonatkozik, a másik az öregedési időszakra.



A logisztikus függvény görbületváltozásának (második derivált) maximális illetve minimális helyeit (időpontjait) azonosítja fenológiai állapotváltozásként, azaz fenofázisként.

A műholdas megfigyelések lehetőségei

EVI



Ebben a megközelítésben a fenofázisok:

- a zöldülés kezdete
- a maximális zöld-állapot kezdete
- a zöld-állapot csökkenésének kezdete
- a zöld-állapot minimumának kezdete

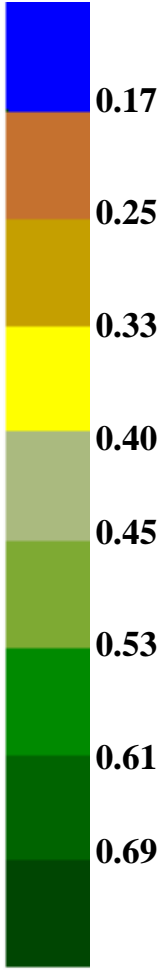
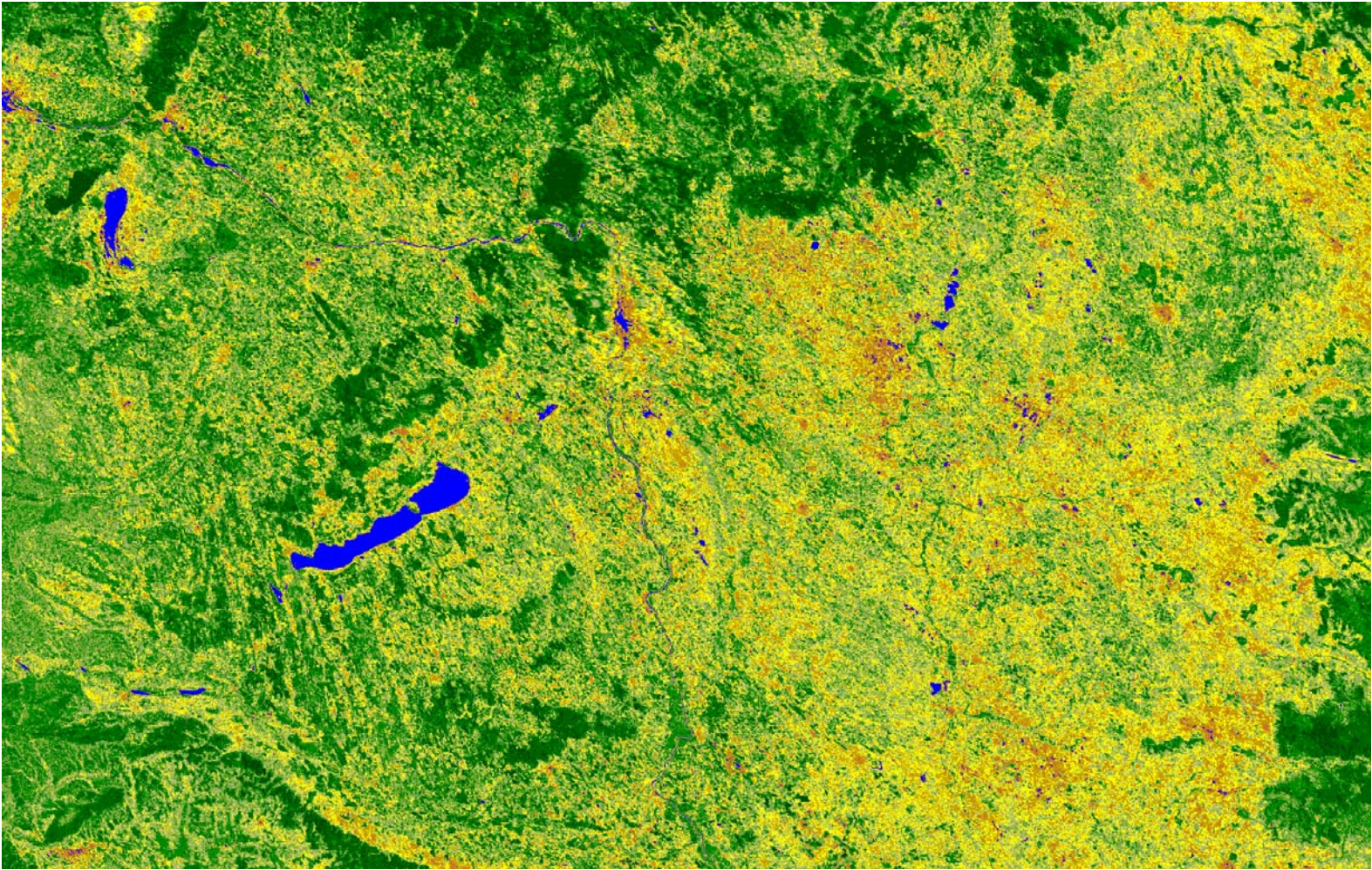
A műholdas megfigyelések lehetőségei

- A műholdas megfigyelésekből nem a hagyományos fenológiai fázisok megfigyelésére van lehetőség, hanem egy un. *tájképi fenológiai* skála alkalmazása szükséges.
- Ezek alapján a „tavasz kezdete”, „nyár kezdete”, „ősz kezdete” és „tél kezdete” állapotok jelennek meg.

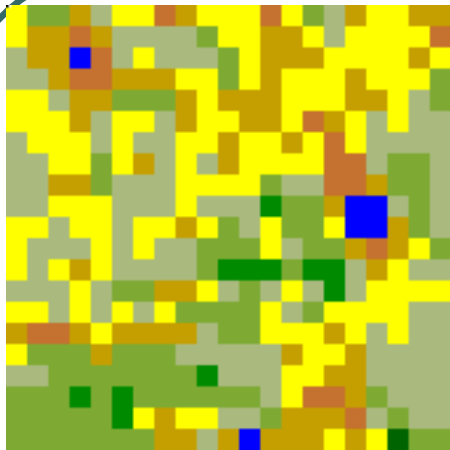
A műholdas megfigyelések lehetőségei

- Az NDVI és EVI adatok, mint „késztermékek” hozzáférhetőek a MODIS mérésekből.
- MODIS műszert a TERRA és AQUA műholdakon helyezték el, a Terra műhold adataiból számolt indexek 1999-től, az Aqua-ból 2002-től érhetőek el.
- Tervezzük a teljes (kb. 10 éves) adatsor feldolgozását a projektben. Mindkét műhold 16 napos indexeit fel fogjuk használni a legnagyobb, 250 m-es térbeli felbontásban.

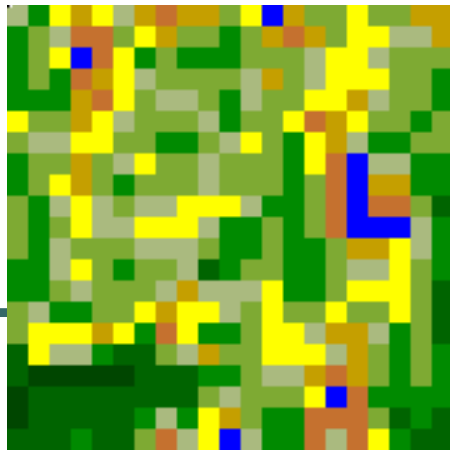
2011. 06. 26. EVI index



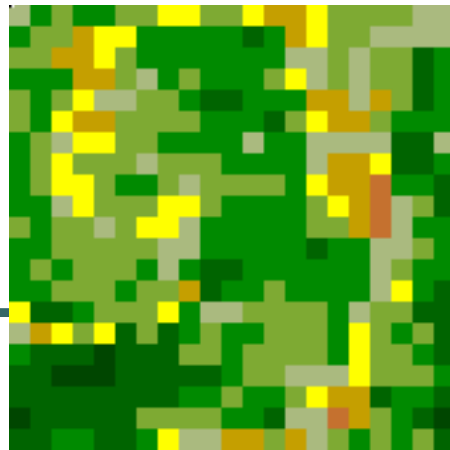
2011. 04. 07. Szenna EVI



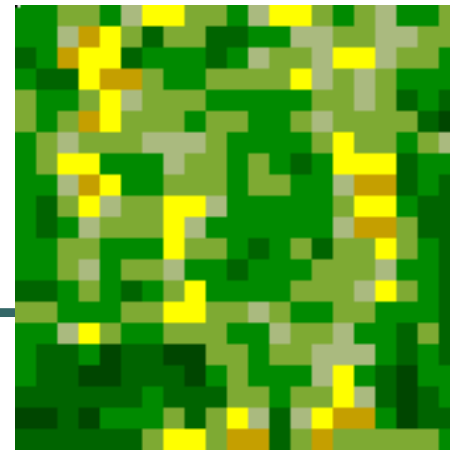
2011. 04. 23. Szenna EVI



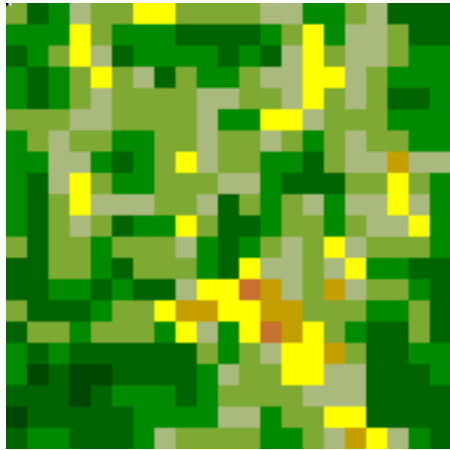
2011. 05. 09. Szenna EVI



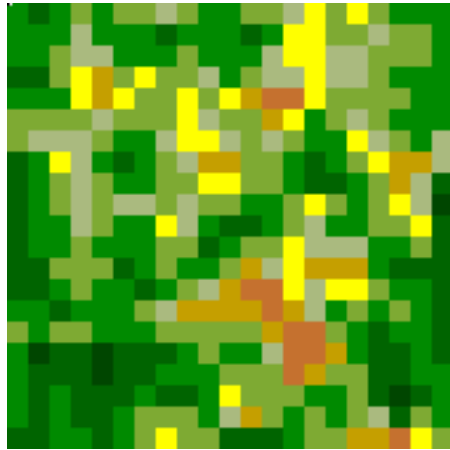
2011. 05. 25. Szenna EVI



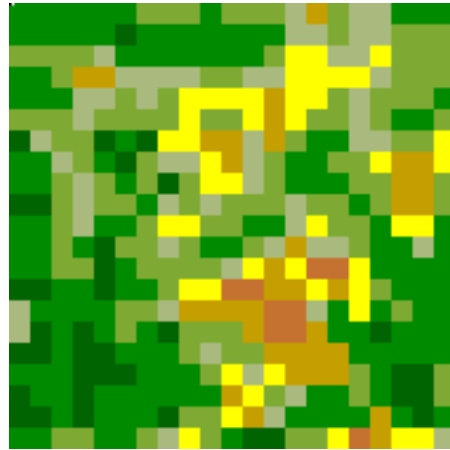
2011. 06. 10. Szenna EVI



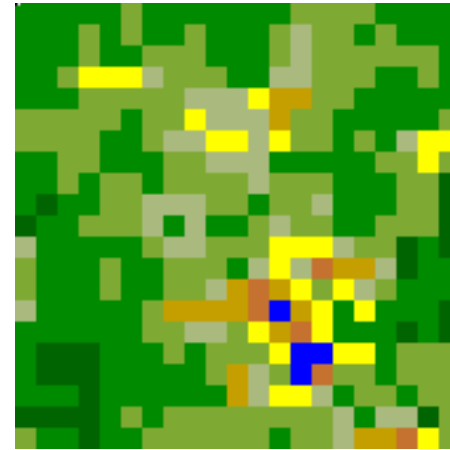
2011. 06. 26. Szenna EVI



2011. 07. 12. Szenna EVI



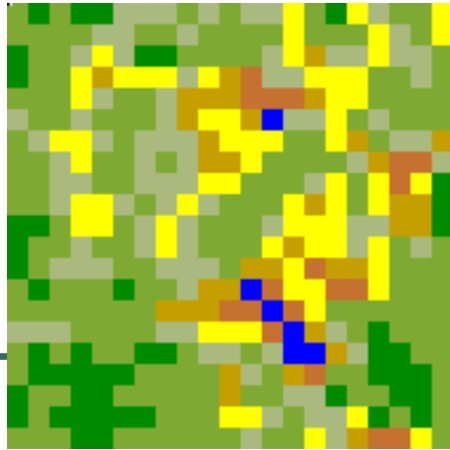
2011. 07. 28. Szenna EVI



2011. 08. 13. Szenna EVI



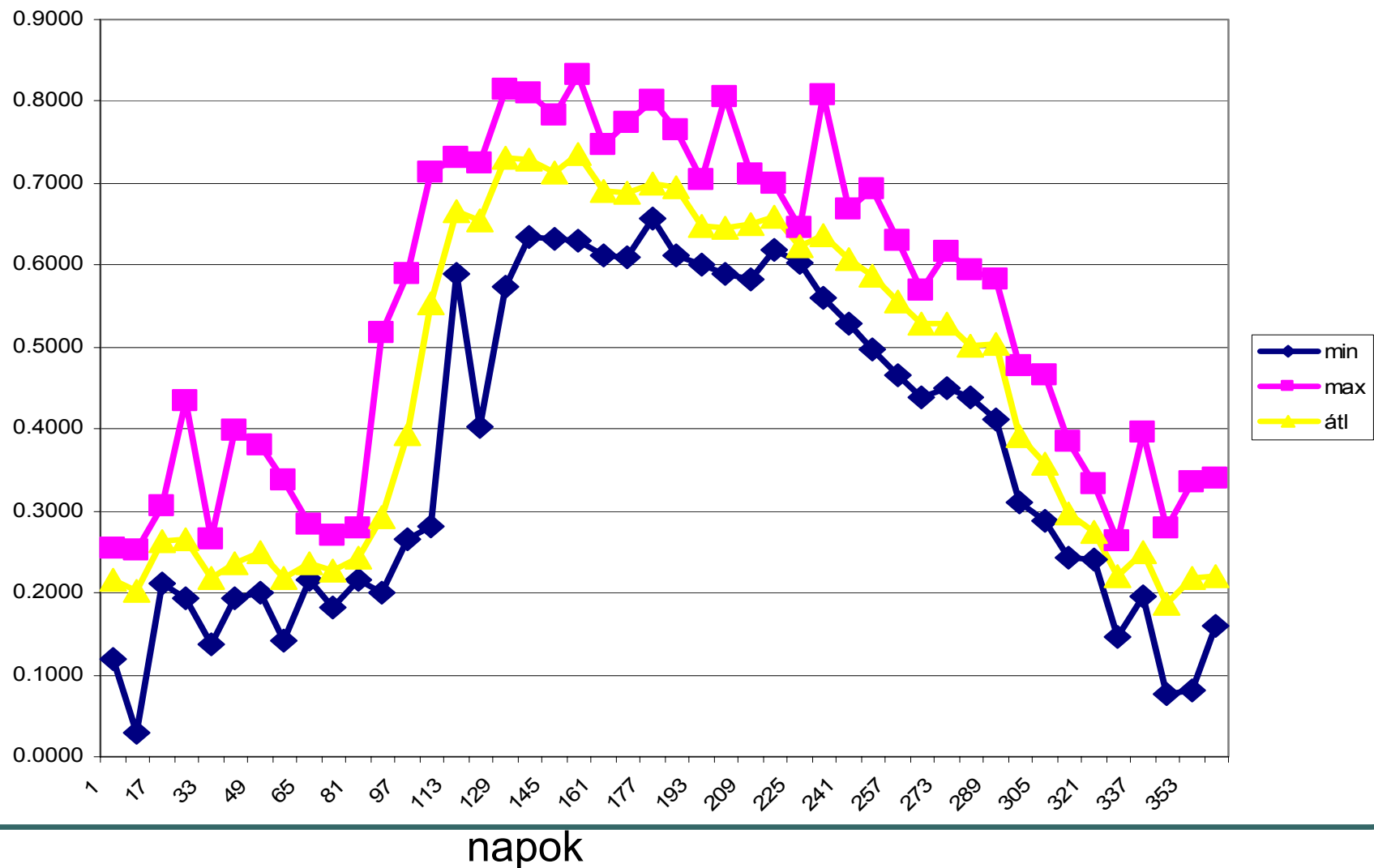
2011. 08. 29. Szenna EVI



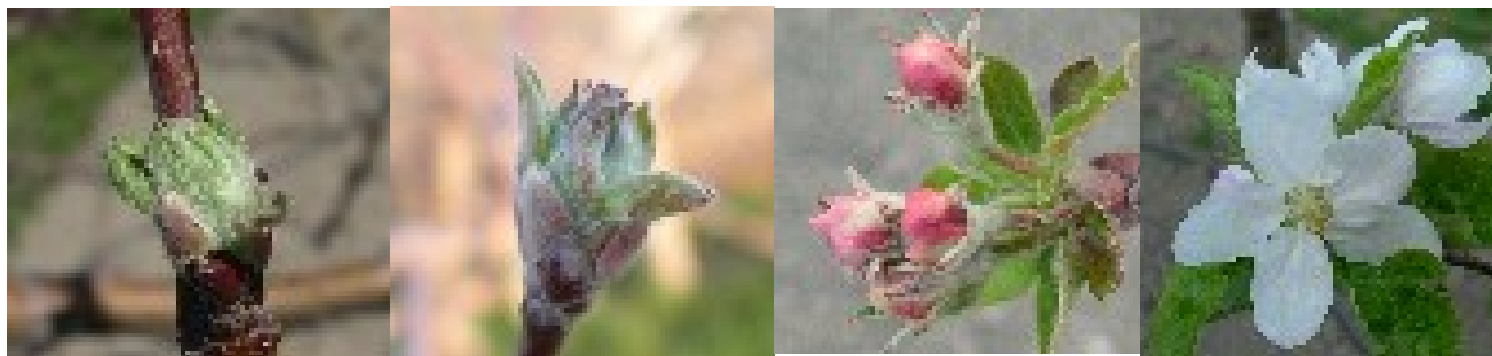
0.17 0.25 0.33 0.40 0.45 0.53 0.61 0.69

**5 x 5 km 250 m es felbontásban
Szenna térségéből**

Az EVI menete egy kiválasztott pixelen 2003-2011 adatok alapján



Kutatómunkánkat az OTKA 81979 projekt támogatása teszi lehetővé.



- Köszönöm megtisztelő figyelmüket!