



Földrajzi analógia alkalmazása klímaszcenáriók elemzésében és értékelésében

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Horváth Levente

Témavezető:

Dr. Harnos Zsolt, MHAS, egyetemi tanár

BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

**Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar,
Matematika és Informatika Tanszék,
2008.**

A doktori iskola

megnevezése: Tájépítészeti és Döntéstámogató Rendszerek

tudományága: Gazdálkodás- és szervezéstudományok

vezetője: Prof. Dr. Harnos Zsolt, MHAS, egyetemi tanár
BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

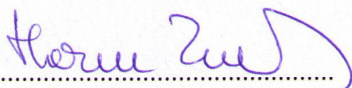
Témavezető: Prof. Dr. Harnos Zsolt, MHAS, egyetemi tanár
BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

Szakmai konzulens:

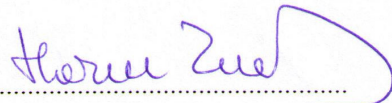
Dr. Hufnagel Levente, PhD, tudományos főmunkatárs
MTA BCE Alkalmazkodás a Klímaváltozáshoz Kutatócsoport.

Dr. Gaál Márta, CSc, egyetemi docens
BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.



.....
Az iskolavezető jóváhagyása



.....
A témavezető jóváhagyása

Bevezetés és célkitűzések

Az időjárás egy meghatározott helyen és időszakban értelmezett „szokásos alakulását”, amit az egyes meteorológiai paraméterek várható értékeivel jellemezhetünk, az adott terület és időszak klímájának nevezzük. A klíma alapvetően meghatározza a kérdéses földrajzi terület ökológiai létviszonyait, jellemző potenciális vegetációtípusát, flóráját és faunáját, az ott hosszabb távon kialakuló talajtípusokat és azok aktuális állapotát, valamint (részben az előbbieken keresztül is) az adott területen lehetséges emberi tevékenységek kereteit is. A kérdéses területen történetileg kialakult emberi tevékenységek a társadalomnak a klímához való alkalmazkodását fejezik ki.

A főbb társadalmi szintű emberi tevékenységek többsége valamilyen mértékben függ az uralkodó klímától, de ezek klímaérzékenysége jelentősen eltér egymástól. A klímára leginkább érzékeny tevékenységeknek az alábbiakat tekinthetjük:

1. mezőgazdaság,
2. erdőgazdálkodás,
3. vízgazdálkodás,
4. környezet- és természetvédelem,
5. humán- és állategészségügy.

Ezek a különösen klímaérzékeny tevékenységek ugyanakkor döntő mértékben meghatározzák egy terület földhasználatát (land use), amely számtalan más természeti és társadalmi folyamatot is jelentős mértékben befolyásol. Természetesen vannak olyan tényezők is, mint a domborzat ill. társadalmi szokások, amelyek szintén befolyásolhatják egy-egy terület földhasználatát. Fentiek alapján világosan érthető, hogy egy terület klímájának megváltozása és annak ökológiai, környezeti hatásai alapvetően érintik a természeti, valamint a társadalmi és gazdasági folyamatokat, így azok megismerésének tudományos és társadalmi jelentősége is mindenki számára nyilvánvalóvá válik. Az ember által befolyásolt ökoszisztémák esetén az alkalmazkodás, a humán tevékenység és a beavatkozások optimalizálását igényelné, amely ma még gyakorlatilag megoldhatatlan feladatot jelent.

Mindezek a viszonyok – úgy a klimatikus hatás, mint az ökoszisztémák reakciói, illetve az emberi tevékenység – alapvető és meghatározó szerepet játszanak az ökoszisztémák fenntarthatóságában, és az ezzel szemben megnyilvánuló kockázatokban.

A klímaváltozás kérdéskörének háttérében, az emberi tevékenységből származó üvegházhatású gázok kibocsátásán túl, úgy az okok, mint az okozatok tekintetében döntően ökológiai folyamatok húzódnak meg. Hiszen a kibocsátás csökkentés után lényegében csak az ökológiai folyamatok szabályozásával befolyásolhatjuk a klímaváltozás mértékét. Meglepőnek látszhat, de tény, hogy a klímaváltozással összefüggő számos hazai és nemzetközi projekt, valamint az összegyűlt sok könyvtárnyi szakirodalom ellenére ezekről az ökológiai folyamatokról még nagyon keveset tudunk.

Az IPCC jelentések, az EU 7 keretprogram célkitűzései, valamint a hazai VAHAVA program zárójelentése alapján egyaránt időszerűnek és sürgetőnek tűnik az alábbi kérdések minél pontosabb megválaszolása:

1. A nemzetközileg leginkább elfogadott klímaváltozási forgatókönyvek (klímaszenáriók) alapján milyen közvetlen következmények körvonalazhatók a természetes vegetációtípusok, a mezőgazdaság, és a földhasználat tekintetében?
2. Ugyanezen klímaszenáriók alapján milyen közvetlen hatásokra lehet számítani az élőhelyek diverzitása kapcsán?
3. A klímahatásra megváltozó földhasználat milyen közvetett hatást gyakorolhat a biodiverzitásra?
4. Mindezen kérdések fényében, milyen stratégiai megfontolások adódnak az adaptáció vonatkozásában?

A klíma megváltozásának nagyobb régiókra és komplex folyamatokra vonatkozó reális következményeit jelenleg leginkább a földrajzi analógiák keresése által próbálhatjuk meg körvonalazni. A földrajzi analógia módszerével olyan területeket kereshetünk, amelyek jelenlegi klímája olyan, mint a vizsgált célterületé a jövőben. A földrajzi analógiák módszere lehetőséget ad arra, hogy az általunk vizsgált régió jövőbeli lehetséges viszonyainak értékelésében, a leginkább valószínűnek tűnő klímaszenáriók alapján, más régiók jelenlegi viszonyait és az ott összegyűlt adaptációs tapasztalatokat hasznosítsuk.

A földrajzi analógiák hasznosításának alapvetően három fő iránya lehetséges:

1. Az analóg területek térinformatikai ábrázolásával a különböző klímaszenáriók és modellfuttatások outputjai vizualizálhatók, megnyitva a lehetőséget a lényegkiemelésre, csoportosításra és a szenáriók által jellemzett változások nagyságának érzékeltetésére.
2. A kérdéses terület adott klímaszenárió szerinti analógja lehetőséget ad arra, hogy az ottani viszonyokról adatokat gyűjtve a célterület egy lehetséges jövőjéről véleményt alkothassunk. Ennek segítségével hipotéziseket generálhatunk az adaptációs stratégia kialakításához.
3. Az előző megközelítés fordítottja éppen ilyen fontos, hiszen ha megkeressük, hogy mely jelenlegi területek jövőbeli analógja a mi célterületünk, akkor arról kapunk információt, hogy a jelenlegi természeti és társadalmi körülményeinkről való információinkat, termelési tapasztalatainkat, a hazai meglévő tudásbázisunkat, mely területen tudjuk a későbbiekben hasznosítani. (Pl.: hol nyílhatnak meg új piacok a hazánkban nemesített növény és állatfajták számára, hova exportálhatunk hazai technológiákat, eljárásokat, módszereket, hol lehet szükség tanácsadói, szakértői tevékenységünkre.)

Fontos szempont a földrajzi analógiák értékelésében, hogy a kérdéses terület jövőbeli analógja csupán azon változók szerint analóg, amelyet a vizsgálatba bevontunk. Az időjárásrendszer átalakulásával például a napi hőmérsékleti és csapadékviszonyok nyilvánvalóan átalakulnak, de például a nappalhosszúság éves dinamikája és ezzel összefüggésben a sugárzási viszonyok jelentős része továbbra is a földrajzi szélességtől függ, ami nem fog megváltozni. Ehhez hasonlóan a domborzati és geológiai viszonyok megváltozása sem várható az általunk vizsgált időbeli skálán. Fontos megállapítani, hogy a földrajzi analógia módszere nem veszi figyelembe a légkör CO₂-szintjének változását, hiszen a vizsgált területek jelenlegi klímáit hasonlítja össze. Problémát jelenthetnek a társadalmi folyamatok tehetetlenségével összefüggő kérdések is, hiszen a hagyományok, termelési tapasztalatok, bevezetett fajok és fajták hatása nem hagyható figyelmen kívül.

Jelen tanulmányhoz vezető kutatómunka során az alábbi konkrét kutatási és fejlesztési célokat tűztük ki:

1. A földrajzi analógia módszerének klímaváltozással kapcsolatos alkalmazására vonatkozó hazai és nemzetközi szakirodalom célra orientált módszertani szintézise.
2. A szakirodalmi szintézis birtokában az analógiakeresés és értékelés módszertani keretrendszerének kialakítása.
3. A kidolgozott módszertani keretrendszer birtokában néhány nemzetközileg elismert klímaszenárió hazánkra vonatkozó földrajzi analógiáinak azonosítása és térinformatikai megjelenítése.
4. Azon területek azonosítása ugyanezen módszerekkel, amelyek jövőbeli (klímaszenárió szerinti) analógja éppen hazánk jelenlegi klímája.
5. Az analóg területekkel kapcsolatos nyilvános, és a vizsgálat szempontjából értékelhető vegetációs és élőhelyi vonatkozású statisztikai adatok összegyűjtése, elemzése és értékelése.

Anyag és módszer

Jelenlegi klímánkra vonatkozó adatok

A World Meteorological Organization (WMO) ajánlása alapján a földrajzi analógia módszeréhez, összehasonlításra az 1961-1990 bázis időszakot választottuk. A havi átlaghőmérséklet és csapadékösszegek az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatbázisából származnak. Az Európára jellemző havi adatokat a CRU TYN CL 2.0 10 szögperces térbeli felbontású adatbázisából vettük.

Jövőbeli klímánkra vonatkozó adatok, klímaváltozási forgatókönyvek (szcenáriók)

A scenárió egy forgatókönyv, amely a világ egy lehetséges jövőbeli állapotának leírása. Nem egy előrejelzés, hanem inkább a jövő egy alternatív képe. Ezen forgatókönyvek hatásainak különbözősége a hozzájuk tartozó klímaszenáriókban mutatkozik meg. A földrajzi analóg területek meghatározásához az alábbi adatbázisokat és modelleket használtunk fel:

UK Met Office (UKMO) Hadley Centre által készített klímaadatbázisok:

- TYN SC 1.0
- UKTR (1992)

Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA) által készített klímaadatbázisok:

- GFDL2534 (1991)
- GFDL5564 (1991).

A TYN SC 1.0 adatbázisból a vizsgált területekre vonatkozó klímaszenáriók meghatározásához, a 2011-2040, 2041-2070 és a 2071-2100 30 éves idősorok átlagait használtuk.

Európai régiókat jellemző statisztikai adatok

1970-ben a statisztikai felmérések megkönnyítésére az EUROSTAT Európa országait földrajzi és adminisztratív szempontokat is figyelembe véve régiókra (NUTS) osztotta. Az EUROSTAT adatbázisából az 1997-2006-es időszakra az alábbi, régiókat jellemző statisztika adatokat dolgoztuk fel; a természetes vegetációt jellemző adatokat pedig a CORINE 2000 adatbázisból vettük.

1. Földhasználati adatok (1000 ha)
(mezőgazdasági területek, szántóföld, erdő, magánkertek, rét, legelő, zöldtakarmány termesztő terület, ugar, olívatermő terület, ültetvény, szőlő)
2. Termesztett növények termőterülete (1000 ha) és a hektáronkénti termésátlaga (t/ha)
(búza, szemes kukorica, takarmánykukorica, napraforgó, árpa, rozs, cukorrépa, burgonya, gyapot, len, repce, rizs, szója, olajos magvak, száraz hüvelyesek, olíva, dohány, gyümölcsös, szőlő)

Földrajzi analógia módszertana

A földrajzi analógia módszerének a célja, hogy a vizsgált területre vonatkozó klímaszenárió alapján meghatározzuk a hozzá tartozó analóg régiókat. Egy-egy terület analógiójának nevezzük azt a régiót, amelynek mostani klímája (1961-1990) leginkább hasonlít a vizsgált célterület klímaszenárió által mutatott jövőbeli klímájára.

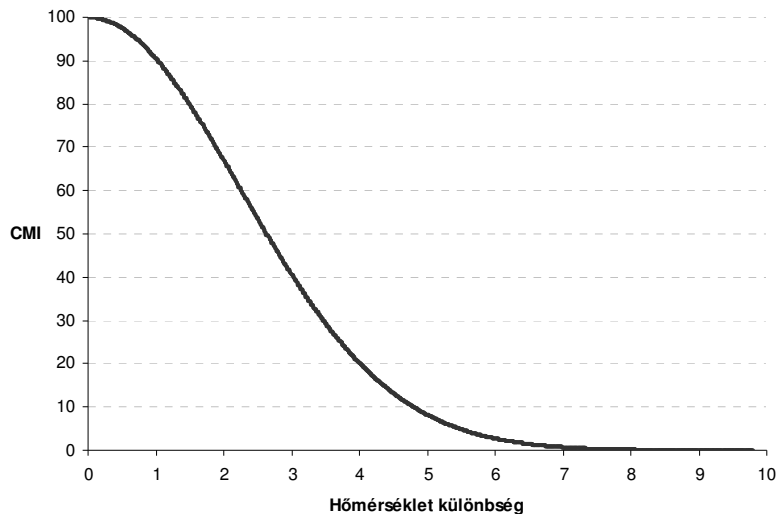
Climex módszer

A Climex módszerrel a klímaadatok közötti eltérést már két adatsor esetén is kifejezhetjük. Az analóg területek Climex módszerrel való meghatározása a következő:

$$T_{dj} = \frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} |TEMP_{ji} - T_i|$$
$$P_{dj} = \frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} \frac{|PREC_{ji} - P_i|}{1 + a \cdot (PREC_{ji} + P_i)}$$
$$I_{Tj} = e^{-\lambda \cdot k_T \cdot T_{dj}}$$
$$I_{Pj} = e^{-(1-\lambda) \cdot k_P \cdot P_{dj}}$$
$$CMI_j = I_{Tj} \cdot I_{Pj}$$

Ahol

- j : a rácspont sorszáma ($j=1-31143$)
- i : hónapok száma ($i=1-12$)
- $TEMP_{ji}$: a j -ik rácspont i havi átlaghőmérséklete
- T_i : a vizsgált területre vonatkozó scenárió i havi átlaghőmérséklete
- $PREC_{ji}$: a j -ik rácspont i havi csapadékösszege
- P_i : a vizsgált területre vonatkozó scenárió i havi csapadékösszege
- T_{dj} : hőmérsékletek abszolút eltéréseinek átlaga
- P_{dj} : csapadékösszeg eltérések átlaga
- a : a csapadék szempontjából nem szabad csak az abszolút eltéréseket vizsgálni, hiszen azonos csapadékelterések jelentősebbek alacsony csapadékösszegeknél, mint magasaknál. A számításoknál az $a=0,05$ értéket használtuk
- I_{Tj} : j -ik rácspont hőmérséklet szerinti egyezése a scenárióval (értéke: 0-1, teljes egyezés esetén $I_{Tj}=1$)
- I_{Pj} : j -ik rácspont csapadékösszeg szerinti egyezése a scenárióval (értéke: 0-1, teljes egyezés esetén $I_{Pj}=1$)
- k_T : felhasználó által tetszőlegesen megválasztható érték, $k_T=0,1$ esetén 1°C-os eltérésre az egyezés $I_{Tj}=90\%$, az analógia területek meghatározásánál ezt az értéket használtuk (1. ábra)
- k_P : felhasználó által tetszőlegesen megválasztható érték, hasonlóan, mint a k_T -t, a $k_P=0,1$ használtuk
- CMI_j : „Composite Match Index”, a vizsgált rácspont és a scenárió egyezésének mértéke (0-1), teljes egyezés esetén $CMI=1$



1. ábra CMI értéke az átlagos hőmérséklet különbség függvényében

Az analóg területek meghatározásánál a felhasználóra van bízva, hogy milyen hasonlósági értéktől tekinti analógnak a kapott területeket. Önkényes választással csak a 90%-nál nagyobb egyezést mutató területeket neveztük analógnak, hiszen ennél az értéknél a hőmérsékletek átlagos eltérése kisebb, mint 1 °C.

Eredmények

A Climex módszer módszertani továbbfejlesztése

A Climex módszerrel eredetileg a hőmérsékletet és a csapadékot azonos súllyal kellett figyelembe venni. Ahhoz, hogy meghatározzuk csak a hőmérsékleti vagy csak a csapadék szerinti hasonlóságot, vagy adott súlyokkal vegyük őket figyelembe, módosítottuk CMI kiszámítását. A módszert továbbfejlesztve, egy λ változó bevezetésével meghatározhatjuk, hogy a hőmérsékletet és a csapadékot milyen súllyal vegyük figyelembe. Ha $\lambda=1$ akkor a hőmérséklet szerinti, ha $\lambda=0$ akkor a csapadék szerinti hasonlóságot kapjuk. Ezzel tetszőleges súlyozásokat is meghatározhatunk, attól függően, hogy a vizsgálatba bevont két paraméter mennyire fontos az adott vizsgálatban.

A λ változó beállításával növény-specifikusan határozhatjuk meg, hogy milyen súllyal vegyük figyelembe a hőmérsékletet és a csapadékot. Célszerű szakértői véleményeket figyelembe véve megadni a súlyozást. Problémát jelent, hogy a növények különböző fenofázisaiban hol az egyik, hol a másik tényező a fontosabb. Feldolgozva az elérhető eredményeket, az alábbi ajánlásokat adtuk a λ változó beállítására. (1.táblázat)

Mivel a számítások gyorsan elvégezhetőek, ajánlott több λ értéket is megvizsgálni. Eddig eredményeink alapján megfigyelhető, hogy a különböző súlyozással közel azonos területeket kapunk analógnak, de mind a hőmérsékletnél, mind a csapadéknál találunk olyan területeket, amelyek az egyik változó szerint nagy hasonlóságot mutatnak, a másik szerint nem. Ezen területek közötti átfedés igen nagy, így a további elemzésekben csak a $\lambda=0,5$ értékkel dolgoztunk, azonos súllyal figyelembe véve a hőmérsékletet és a csapadékot.

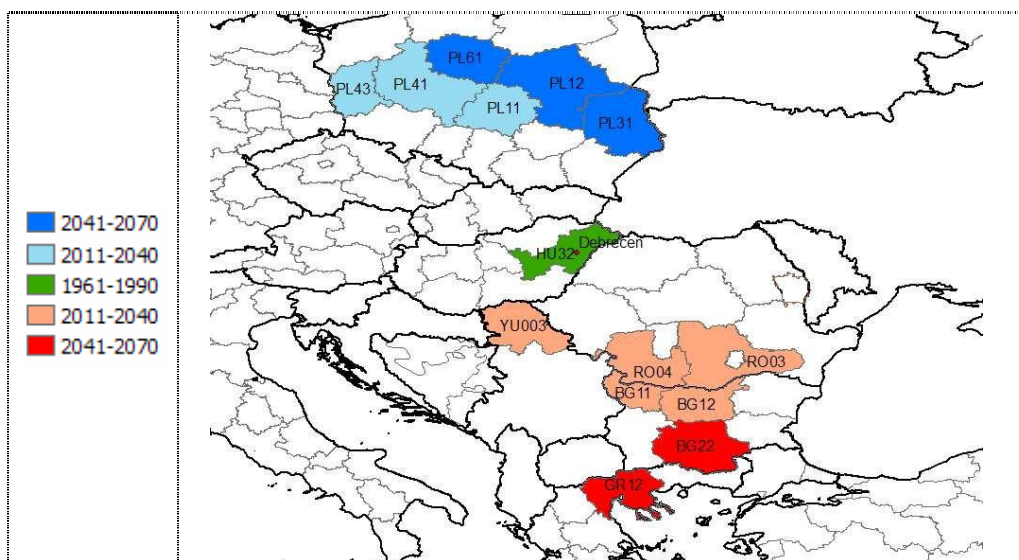
1. táblázat A λ változó beállítási lehetőségei különböző növényeknél

| Növények | λ | | | | |
|---|-----------|------|-----|------|---|
| | 1 | 0,75 | 0,5 | 0,25 | 0 |
| Őszi búza | X | X | X | | |
| Őszi árpa | | X | X | | |
| Tavaszi árpa | X | X | X | | |
| Rozs | | X | X | X | |
| Kukorica | X | X | X | | |
| Cukorrépa | | X | X | X | |
| Napraforgó | X | X | X | | |
| Burgonya | X | X | X | | |
| Lucerna | X | X | X | | |
| Szőlő | | X | X | X | |
| Borsó | X | X | X | | |
| Paradicsom | | X | X | | |
| Alma, körte, szilva, szamóca, málna | | | X | X | X |
| Cseresznye, meggy, kajszibarack | X | X | X | | |
| Öntözött kultúrák | X | X | | | |
| Értékesebb kertészeti kultúrák (öntözött) | X | X | | | |

Vizsgálatainkat Debrecen régiójára végeztük el. Analóg területeknek a 2011–2040-es időszakra Debrecentől délebbre lévő területeket kaptunk, a 2041–2070-es időszakra ez az eltolódás már nagyobb, de az egyezés mértéke már nem mindenhol elfogadható (<90%). Az évszázad végére (2071–2100-es időszakra) Európában lényegében nem található elfogadható analóg terület, hasonló klímájú területek Észak-Afrikában vannak. Ezért a továbbiakban csak a 2070-ig tartó két időszakot vizsgáltuk (2011–2040 és 2041–2070), hiszen csak ezekhez az időszakokhoz vannak olyan analóg területek Európában, amelyek megbízhatóan (90%<) mutatnak analógiát.

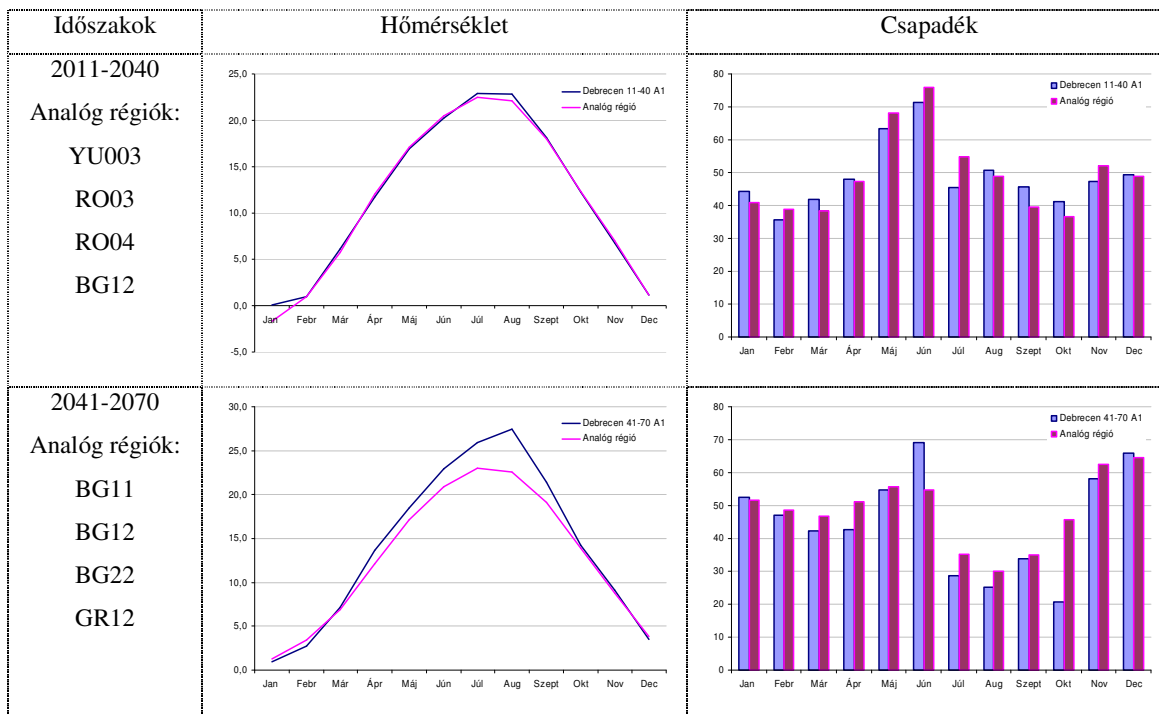
Az analóg régiók meghatározása

Az analógia módszere alapján beazonosítottuk, hogy a különböző klímaszenáriók mely NUTS2 régiókkal mutatnak analógiát Debrecen jövőbeli klímájához. (2.ábra)



2. ábra Analóg NUTS2 régiók

Ahhoz, hogy lássuk, hogy a földrajzilag analóg régiók tényleg hasonló klímájúak, célszerű megvizsgálni a Debrecenre vonatkozó szcenáriók és az analóg területek klímáját is (3. ábra). A diagramokon látható, hogy a 2011-2040 időszakban mind a hőmérséklet, mind a csapadék igen hasonló. Kisebb egyezést kapunk a 2041-2070 időszakban, az eltérések a nyári hőmérséklet különbségekből adódik. A nagyobb eltérések nyárvégi átlaghőmérsékletben és a júniusi és őszi csapadékokban figyelhetők meg.



3. ábra Analóg területek klímája

Megállapítottuk, hogy a klímaváltozás előrehaladtával az analóg területek egyre messzebb, délebbre találhatóak, a következő évtizedekben ez az eltolódás 250–450 km, az évszázad közepére ez több, akár 450–650 km is lehet.

Érdeemes megvizsgálni, hogy hol vannak Európában azok a területek, amelyek jövőbeli analógja Debrecen lesz. Ezt az előzőekben is vizsgált időszakokra határoztuk meg. A számításhoz szintén a Climex módszert alkalmaztuk, és a $\lambda=0,5$ értéket használtuk, csak az bázisidőszakok szerepe felcserélődik. A bázisidőszaknak a 2011-2040, ill. a 2041-2070 időszakokat választottuk, attól függően, hogy melyik időszakhoz keressük az analóg területeket. Ezen jövőbeli klímát mutató térképen kerestük meg Debrecen 1961-1990 időszakhoz tartozó klímájának analóg területeit. A kapott területek Debrecenről északra, főleg Lengyelországban helyezkednek el. Az analógok elhelyezkedése egybeesik azzal, hogy a jövőbeli melegedés több száz kilométeres eltolódással járhat együtt, csak itt tőlünk északabbra lévő területek „csúsznak” le hozzánk.

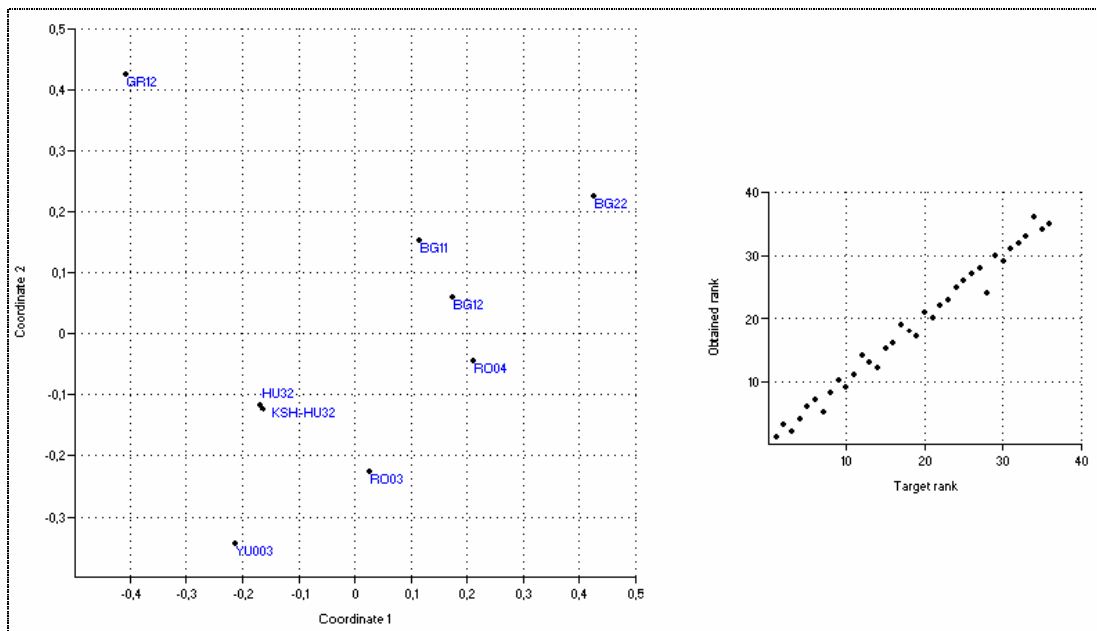
Debrecen jövőbeli klímájával analóg régiókat több, a földhasználat, a természetett növények és a természetes vegetáció szempontjából is elemeztük. A földhasználati és a természetett növényekre vonatkozó adatok az EUROSTAT adatbázisából származnak. A természetes vegetációra vonatkozó adatokat a CORINE 2000 adatbázisból vettük.

Debrecen analóg régióit két időszakra vizsgáltuk, a 2011-2040 és a 2041-2070 időszakra. Az évszázad végére (2071-2100) Európában lényegében nem találtunk megfelelő hasonlóságot mutató régiókat. Debrecen analóg régiói a 2011-2040 időszakra a Vajdaságban, Dél-Romániában és Észak-Bulgáriában, az évszázad közepére (2041-2070) Közép-Bulgáriában és Észak-Görögországban találhatóak.

Az analóg területek és régiók összehasonlításához alapként Debrecen régióját, a HU32 (Észak-alföld) régiót használtuk.

Az analóg régiók földhasználati adatainak jellemzése

Az egyes területek relatív (%) földhasználati adatainak hasonlósági mintázatát euklideszi távolságon alapuló NMDS segítségével elemeztük (4. ábra). Megállapítható, hogy a magyarországi adatsor „köztes” helyet foglal el az analóg területek hasonlósági mintázatában, vagyis a lehetséges változások a hasonlósági mintázat szempontjából nem feltétlenül egy irányba mutatnak. Látható, hogy Debrecen régiójához legközelebb a RO03 és YU003 régió található és az időben távolabbi analóg területek rendre távolabb. Az irányok vizsgálatában észrevehető egy egyfajta irányultság is, az egyre távolabbi időpontokban analóg régiók a földrajzi elhelyezkedéssel együtt egymást követve helyezkednek el. Közelebb a YU és RO régiók, majd őket követve a BG és GR régiók.



4. ábra Földhasználati adatok hasonlósági mintázata

A megfigyelt mintázat hátterét legfőképp a szántóföldi hasznosítás aránya alapján érthetjük meg, hiszen ez az érték a YU003 és RO03 régiókban magasabb, mint hazánkban, a BG és GR12 régiókban viszont jóval alacsonyabb. Az erdőterületek aránya a domborzati viszonyok miatt eltérő, a YU003 régió főként síkság, ez megmutatkozik a szántóföld területének nagyobb arányában, míg a RO03 régió egy része hegység, ezen nagyobb az erdő aránya. A szántóföldi hasznosítás mintázatáról később, a természetett növények elemzésekor kaphatunk világosabb képet.

A földhasznosítás vonatkozásában fontos kiemelni, hogy az analóg területek többségében (a nagyon extrém klímaváltozás esetére utaló GR-t kivéve) a hazainál sokkal jelentősebb a rét-lelegelő és az erdőgazdálkodás (a domborzati viszonyokból adódóan). Ezen extenzívebb művelési ágak arányának növelése hazánkban is előnyös lenne, úgy a környezet- és természetvédelem, mint a tájgazdálkodás és a természeti erőforrások megőrzése szempontjából. Nagyon látványos, bár az előzőekhez képest kisebb jelentőségű a szőlővel hasznosított területek arányának alakulása, amin megfigyelhető, hogy a klímaváltozás hatására „belecsúszunk” a szőlőnek kedvezőbb sávba és még a legradikálisabb klímaváltozás (GR12 régió) esetén is legfeljebb a mai arányokra való visszaesés („túlcsúszás”) várható.

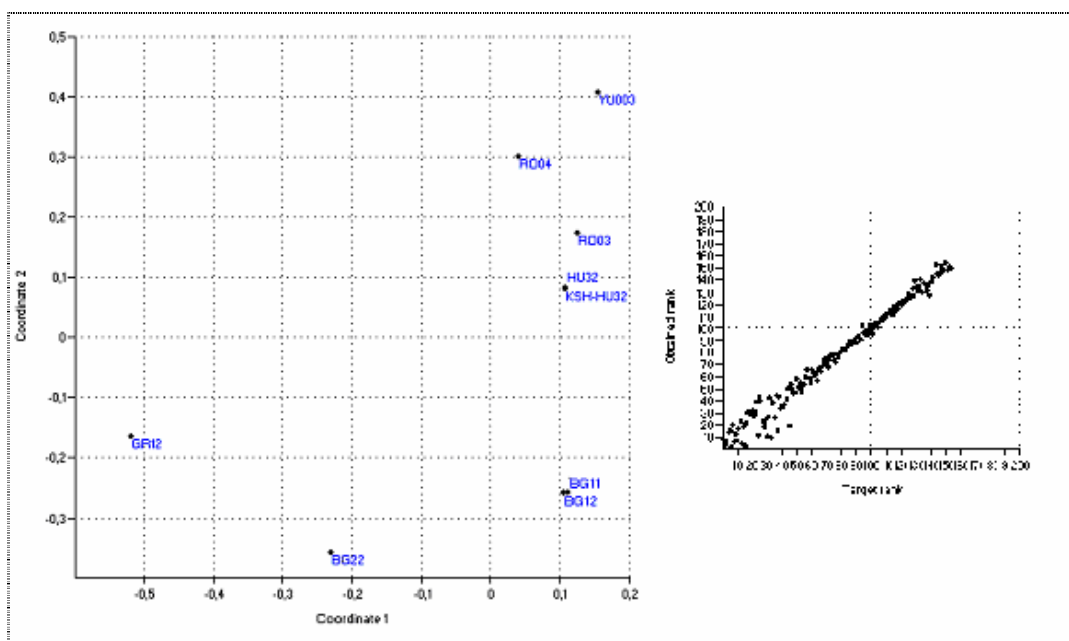
A természetközeli vagy ember által nagyobb mértékben befolyásolt, de mindenképpen vegetációval fedett területek földhasználati típusainak diverzitása fontos alkalmazkodási stratégia lehet változékony időjárási feltételek mellett, különösen pedig egy jelentős klímaváltozás folyamatában. A „több lábbon állás” gazdasági kockázatsökkentő hatásán kívül, a magasabb földhasználati típus diverzitás egyúttal magasabb tájszintű élőhely diverzitással is jár, amelynek

biodiverzitás megőrzési és általános természetvédelmi szerepe is kiemelkedő. A klímaváltozékonysághoz való illetően alkalmazkodás egy olyan különleges szituáció, ahol a gazdasági érdekek és a környezetvédelem stratégiai érdekei egy irányba mutatnak.

Ezen megfontolások alapján rendkívül jelentőségteljes és sokatmondó az a tény, hogy a 2011-2040-es időszakban valamennyi analóg terület földhasználati diverzitása kisebb hazánk jelenlegi mutatóinál, és a 2041-2070-es időszakban magasabb. A kisebb diverzitás mögött nem a földhasználati típusok (féleségek) csökkenő száma, hanem ugyanazon féleségek gyakorisági eloszlásának kisebb egyenletessége áll, később pedig pont ezek fordítottja, a féleségek gyakorisági eloszlásának nagyobb egyenletessége.

Az analóg régiók növénytermesztési adatainak elemzése

A termesztett növények szántóföldhöz viszonyított relatív területének hasonlósági mintázatait szintén az euklideszi távolságon alapuló NMDS segítségével elemeztük. (5. ábra) Ez az elemzés a földhasználati típusok között dominánsnak mutatkozó szántóföldi növénytermesztés mélyrehatóbb elemzésére és a földhasználatban megfigyelt mintázatok mögött megbúvó okok pontosabb feltárására ad lehetőséget. Az NMDS eredményeként kapott hasonlósági mintázatok sokkal jobban értelmezhetők, mint a földhasználati típusok esetén. A relatív területeloszlás alapján az egyes régiók világosan elkülönülnek és sorba rendeződnek. Magyarország itt is átmeneti helyet foglal el a kifejezetten déli (BG és GR) valamint a kevésbé déli (RO és YU) területek között.



5. ábra Termesztett növények területének hasonlósági mintázata

A relatív adatok vizsgálatánál megfigyelhető, hogy az analóg területek közül a YU003 és a RO régiók közelebb helyezkednek el, a BG és GR régiók nagyobb különbségeket mutatnak. A déli csoportból a valós topográfiai helyzetnek megfelelően a BG régiók közelebb, míg a GR12 terület távolabb helyezkedik el Debrecen régiójától. A kevésbé déli területek csoportja bár irányultságában ellentétes tendenciát mutat a hasonlósági mintázat állapotterében, de a RO és YU003 területek elhelyezkedése a topográfiai viszonyoknak megfelelő (a három régió területei közel egy egyenesen helyezkednek el). A kapott hasonlósági mintázat okait jól illusztrálja a kukorica vetésterület arányának alakulása. Jól megfigyelhető a kukorica öv, mivel a kukorica termesztési feltételeinek jobban megfelel a délebbi régiók klímája, viszont a sokkal délebbi GR régió már nem. Hasonlóan megfigyelhető, hogy a Duna vonalában a délebbi területeken nagyobb arányban használják a termőterületeket a búza termesztésére, mint a debreceni régióban. Hasonló

figyelhető meg a napraforgó termesztési területeiben, de GR területeken a napraforgó termesztési területe más okok miatt is csökkenhet. Azokon a területeken az olívaolajt részesítik előnyben a napraforgóval szemben, hiába lehetnek jobbak a napraforgó termesztési feltételei.

Egy kisebb mértékű klímaváltozás, amely YU003 és RO területi analógiákkal jellemezhető, a kukoricaövbe való mélyebb „becsúszást” eredményezné, ami a vetésterület nagyságának (és arányának) növekedésével járna. Ha azonban a klímaváltozás folyamata továbbhalad, akkor a maihoz képest extrémebb BG és GR analógok válnak aktuálissá, ami már a kukoricaövből való déli irányú „kicsúszást” eredményezné.

A relatív adatok alapján ugyanaz az alapvető hasonlósági mintázat figyelhető meg. Az adatok áttekintése nyomán az alábbi részletesebb megállapítások tehetők:

1. A kukorica aránya a kukoricaövbe való északi belépésnek köszönhetően növekszik, majd a déli kilépésnek megfelelően csökken.
2. A búza aránya egyértelmű tendenciaként növekszik.
3. Az árpa a kukoricával ellentétesen viselkedik, azaz a kukoricaövbe érve aránya csökken, majd azt elhagyva újra növekszik, és csupán a GR12 régióban esik vissza ismét.
4. A rizs termesztése egyértelműen csak a jóval délrebb területeken jellemző, hazánkban tehát csak a klímaváltozási folyamat második szakaszában merülhet fel komoly formában, ha az árszinttel megfelelő vízmennyiség rendelkezésre áll.
5. A burgonya, mivel alacsonyabb hőigényű növény, a klímaváltozás analógokkal jelzett irányában többé-kevésbé csökkenő tendenciát mutat (kivéve a BG22 régiót), ami megfelel a várakozásoknak.
6. A napraforgó termőterületének aránya csak a GR analógon csökken jelentősen, ugyanakkor a dohány, olíva és a gyapot csak ott „javul” érdemben. A hegyes köves területek (GR) inkább az olíva termesztésnek kedveznek, emellett a napraforgó és olíva területek változása a dél-európai társadalmi szokásokkal is magyarázható, azokon a területeken inkább az olíva olaj használata jelentősebb, mint a napraforgóé.

Mint a földhasználati adatok elemzésénél, célszerű ugyanúgy a termesztett növények termőterületének diverzitását is vizsgálnunk. A termesztett növények területarányainak diverzitását tekintve ugyanazt mondhatjuk el, ill. erősíthetjük meg, mint a földhasználati típusok esetében, azaz a debreceni régió alkalmazott diverzitásnál minden analóg terület diverzitása magasabb, ami jobb kockázatkerülési stratégiára utal. Ez azonban elsősorban a domináns növényfaj alacsonyabb (így kedvezőbb) diverzitása szempontjából igaz. A Shannon index a klímaváltozással először csökkenést mutat, majd csak a legdélebbi területeken emelkedik újra. Ez a jelenség jelentős részben a kukoricaövbe való be- és kilépéssel magyarázható.

Nagyon érdekes eredményeket kapunk, ha a területhasználati arányok mellett megvizsgáljuk a termesztett növények termésátlagait is. A termésátlagok alakulása gyakran éppen ellentétes mintázatot mutat, mint a termesztési területek. Kukorica esetében például megfigyelhető, hogy éppen a „kukoricaövben” alacsonyabbak a termésátlagok, mint annak szélein. A gabonafélék, köztük a búza is, dél felé mutatnak csökkenő termésátlagokat. Ez háromféle lehetséges okra is visszavezethető:

- Ahol a klimatikus adottságok kedveznek egy növény termesztésének, ott a talajtaniilag vagy más szempontból kevésbé alkalmas területeken is próbálkoznak termesztéssel, ami a termésátlagokat lenyomja. (Ez nyilvánvalóan nem követendő példa, inkább egyfajta alkalmazkodási tehetetlenségnek tekinthető.)
- Úgy a kukorica, mint a búza fontos népelemezési és takarmányozási szerepet betöltő növények, ezért ha rosszabbak a termésátlagok, akkor nagyobb területen termelik őket. (Ez még az előzőnél is kedvezőtlenebb szituáció, hiszen ez esetben nyilvánvalóan egészen más növényekkel kellene kiváltani az alkalmatlan fajokat vagy fajtákat.)

- Ahol a klimatikus adottságok kedvezőek, ott kisebb agrotechnikai ráfordítással lehet kukoricát termesztetni, így alacsonyabb termésátlag mellett is gazdaságos a termelés. (Ez az egyetlen pozitív kicsengésű interpretáció.)

Lengyel régiók földhasználati és növénytermesztési adatainak elemzése

Az előzőekben használt elemzéseket elvégeztük azokra a régiókra is, amelyeknek Debrecen az analógja. A földhasználati típusok arányát NMDS euklideszi távolság alkalmazásával vizsgálva megállapítható, hogy valamennyi olyan terület, amelynek analógja Debrecen, a hasonlósági mintázatban tőlünk egy irányban távolodva helyezkedik el. Itt tehát a tárgyalt övezetes jelenségekkel nem kell számolnunk. A szántóföld aránya mindenhol kisebb vagy egyenlő, mint hazánkban, ugyanakkor az erdő mindenhol jelentősen nagyobb. Ültetvények, magánkertek és a rét-legelő gazdálkodás is kisebb jelentőségű, mint hazánkban.

Az adatok további elemzéséhez meghatároztuk a régiók földhasználati típusainak diverzitási indexeit. A környezet- és természetvédelmi szempontból kedvezőbb földhasználati viszonyok (erdők nagyobb aránya), a földhasználati módok szerinti élőhely-diverzitásban nem mutatkoznak egyértelműen.

Az előzőekhez hasonlóan megvizsgáltuk a termesztett növények területét és azok arányát a szántóföldhöz képest.

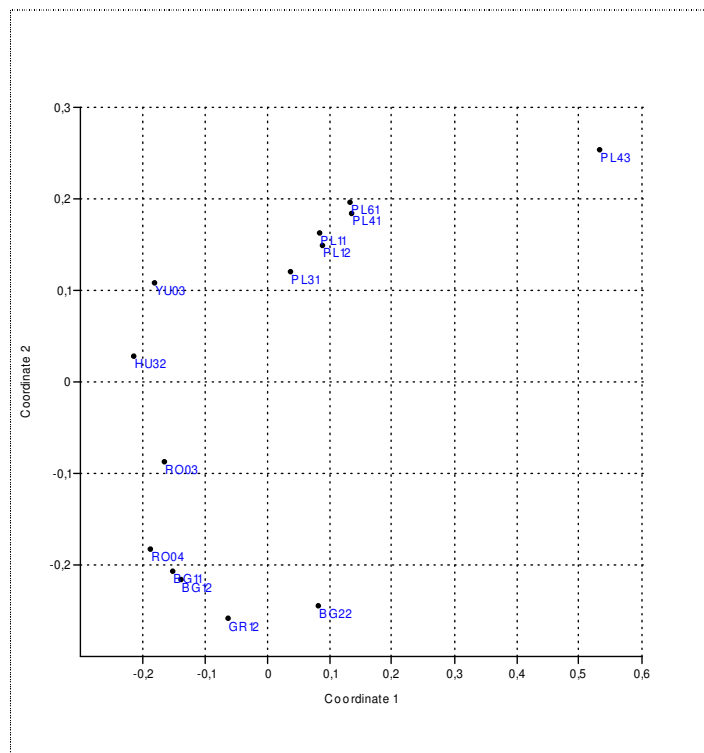
A termesztett növények terület arányai szerinti NMDS hasonló mintázatot mutat a földhasználathoz abban a tekintetben, hogy a debreceni régióhoz képest minden más terület egy irányban helyezkedik el.

A lengyel területeknek hazánktól való eltérését leginkább a kukorica, olajos magvak és napraforgó sokkal alacsonyabb részesedésével magyarázhatjuk, ezzel párhuzamosan a rozs, az árpa és a burgonya termőterülete nagyobb. A búza termőterületének aránya a délebbi régiókban kisebb, az északiakban nagyobb, mint Magyarországon. Klímaváltozás esetén az előbbieket termőterülete növekedhet Lengyelországban. További elemzésekhez meghatároztuk e területek diverzitási indexeit is.

A termesztett növények termésátlagait elemezve, itt is megfigyelhető a termesztési területek és a termésátlagok anomáliájával kapcsolatos, korábbi fejezetben már tárgyalt jelenség. A területhasználatban kevésbé elterjedt növényeket jobb termésátlaggal termelik. Jól nagyobb termésátlagokat ér el a takarmánykukorica. Nagyobb arányban használják a termőterületeket a rozs, és a burgonya termesztéséhez, ezek termésátlaga közel megegyezik a hazaiával vagy annál kicsit kisebb. A búza és cukorrépa termésátlaga megegyezik a hazaiával, vagy annál valamivel kisebb.

Az analóg régiók természetes vegetációval fedett területeinek elemzése

Az NMDS, euklideszi távolság módszereket alkalmazva (6. ábra) megállapítható, hogy a várákozásnak megfelelően az egyes országokhoz tartozó területek egymás közelében találhatók. Az y tengely mentén egyfajta Dél-Észak irányú elhelyezkedés figyelhető meg. A lengyelországi területek a túlelű erdők magas arányával, míg a görög, bolgár és román területek a lombos erdők nagyobb arányával jellemezhetők. Debrecen régiója és Észak-Szerbia ebből a szempontból átmenetinek tekinthető. Szklerofil vegetációban és tűzeglápokban Görögország tűnik ki. A magyar és a szerb terület hasonlósága az ábra alapján szembeszökő, ebben a két régióban a legkisebb a természetes vegetáció területe, amely – a domborzati tulajdonságok miatt (síkság) – a jelentősebb szántóföldi területekkel magyarázható.



6. ábra Természetes vegetáció hasonlósági mintázata

A hasonlósági mintázatot szemlélve tudható, hogy az ordinációban élesen elkülönülő lengyel területek a tülelű erdők és részben a lombos erdők övébe esnek, míg a vajdasági, román, bolgár és magyar területek az eredeti erdős-sztyepp zóna részei, csupán a Kárpátok magashegységi intrazonális hatása vágja ketté az idetartozó területeket. Érdekes, hogy a görögországi terület, amely valójában már a mediterrán keménylombú és babérerdők övébe tartozna, és így jelentősen el kellene térnie a többi területtől, nem határolódik el élesen, aminek oka sajnos az eredeti vegetáció emberi hatásra történő visszaszorulásával magyarázható. A görög terület egyébként nemcsak a vegetációtípus fiziognómiai sajátosságai alapján, hanem florisztikailag is nagyon különböző jelleget mutat.

További fontos információhoz jutunk, ha mindezen eredményeinket egy másik osztályozás szerint (EEA), Európa ökológiai régióival és Európa biogeográfiai régióival is összevetjük. Megállapítható, hogy hazánk területe ökológiai sajátosságait és biogeográfiai jellegét tekintve is szigetként – Kárpát-medence – helyezkedik el Európa térképén. A nálunk megfigyelhető állapot – kivéve a szerb területet – nem hasonlít az analóg területekhez. Ebből következően, hazánkban egy lehetséges klímaváltozás hatása mindenképpen alapvető átstrukturálódásban, az állapotok gyökeres megváltozásában nyilvánulna meg, amely felhívja a figyelmet a természetvédelmi és általánosabb értelemben biodiverzitás-megőrzési alkalmazkodás jelentőségére, ezen feladatok súlyára és fontosságára.

Megállapítható, hogy hazánk természeti értékei már ma is nagyon szűk területre szorultak vissza és veszélyeztetettségük klímaváltozás nélkül is drámai. Megfigyelhető továbbá, hogy az analóg területek természetes vegetációtípusai hasonlóan rossz állapotban vannak. A biodiverzitás megőrzése szempontjából legjobb helyzetben a lengyel analóg területek vannak. Ezek a tények felhívják figyelmünket a gyors és hatékony cselekvés szükségességére és ráirányítják a figyelmet fokozott felelősségünkre.

Tézisek

1. A dolgozat célkitűzéseinek megvalósításához kidolgoztuk a földrajzi analógia meghatározásának egy új módszerét, amely a Climex módszer általánosítása egy λ súlyozási változó segítségével. Az új módszer lehetőséget ad arra, hogy a klímaparamétereket eltérő súllyal vegyük figyelembe, így a módszer növény specifikusan, célorientáltan optimalizálható. Bevezettük azt a módszert, mellyel azon területeket tudjuk megkeresni, szintén a Climex módszer segítségével, amelyek földrajzi analógja a vizsgált célterületünk lesz.
2. Megállapítottuk, hogy Debrecen régiójának, a 2011–2040 időszakra jellemző analóg régiói (a hőmérséklet és a csapadék adatokat azonos súllyal figyelembe véve, $\lambda=0,5$) Európa területén nagy biztonsággal azonosíthatók. Ezen régiók a scenáriótól függően Szerbia, Románia és Bulgária meghatározott területeire esnek. (YU003, RO03, RO04, BG11, BG12). A 2041–2070-es időszak európai analógjai már csak az előzőeknél kevésbé erős egyezéssel mutathatók ki. Ezen régiók scenáriótól függően Bulgária és Görögország meghatározott területeire esnek (BG22, GR12). A 2071–2100 időszakhoz tartozó analóg területek nagy megbízhatósággal csak Észak-Afrikában találhatóak.
3. Megállapítottuk, hogy azon területek, amelyek analógja Debrecen régiója, Lengyelországban találhatóak, a 2011–2040-es időszakra az analóg régiók: PL11, PL41, PL43. A 2041–2070-es időszakra nézve, pedig a PL61, PL12, PL31 régiók. Megállapítottuk, hogy a különböző scenáriók korai időszakokra vonatkozó predikciói az analógia szempontjából nem térnek el egymástól érdemben, az idő előrehaladtával a scenáriók különbözősége az analóg területekben is megmutatkozik. Az analóg területek az idő előrehaladtával egyre délebbre találhatóak, az eltolódás a közeli évtizedekben 250–450 km közé, az évszázad közepére viszont 450–650 km esik.
4. Az analóg területek földhasználati eloszlását a debreceni régió területével összehasonlítva megállapítottuk, hogy az analóg területek többségében (a nagyon extrém görög területet kivéve) a hazainál sokkal jelentősebb a rét-legelő és az erdőgazdálkodás. Az analóg területek földhasználati típusainak diverzitását a magyarországi területtel összehasonlítva megállapítottuk, hogy az analóg területek mindegyikében a hazaival közel megegyező vagy magasabb a földhasználati diverzitás. Az analóg területek termesztett növényeit a magyarországgal összehasonlítva megállapítottuk, hogy a búza- és a kukorica termőterülete a 2011–2040-es időszakban nagyobb, majd 2041-től kisebb területarányt mutat, az analógia csökkenő mértéke szerint. Általában megállapítható, hogy a nagyobb területarányú növények termésátlaga kisebb, míg a kisebb területarányú növények termésátlaga nagyobb az analóg régiókban. Az analóg területek földhasználatát és növénytermesztési területeit összehasonlítva, azok csak általános tendenciák megfogalmazására alkalmasak, az egyes növényfajok termesztésére vonatkozó prognózisok felállítása további kutatásokat igényel. Természetesen az eredmények értékeléskor és értelmezésekor nem hagyhatók figyelmen kívül az analóg régiókon kialakult termesztési hagyományok, földrajzi és domborzati viszonyok sem
5. A Debrecen régiójával analóg területek természetes vegetációs viszonyait elemezve megállapítottuk, hogy az analóg régiókban a természetes vegetációval fedett területek aránya mind nagyobb, mint Debrecen régiójában. Az északi analóg területeken a túlevelű erdők, míg a déli területeken a lombos erdők mutatnak nagyobb területarányt. Csupán a nagyon extrém klímaváltozást jelentő görög terület tartozik a mediterrán kemény és babérlombú erdők övébe. Az ökológia zonalitást figyelembe véve megállapítottuk, hogy az analóg területek, a vajdasági régiótól eltekintve, mind más ökológiai besorolásba esnek, rávilágítva a Kárpát-medence természetes vegetációjának a klímaváltozással szembeni sérülékenységére.

Diszkusszió

A földrajzi analógia meghatározásának általunk kidolgozott új módszere, a Climex módszer általánosítása egy λ súlyozási változó segítségével. Megfigyelhető, hogy a különböző súlyozásokat használva az analóg területek kissé eltérnek egymástól, bár az alapvető mintázatok és tendenciák nem változnak meg. Mind a hőmérsékletnél, mind a csapadéknál találunk olyan területeket, amelyek az egyik változó szerint nagy hasonlóságot mutatnak, a másik szerint viszont nem. Az analógiakeresést minden konkrét esetben úgy célszerű elvégezni, hogy meteorológiai paraméterként azokat a tényezőket vonjuk be a vizsgálatba, amelyek a vizsgálat célrendszer szempontjából limitálóak. Ezen belül is meg kell határozni a paraméterek súlyozási prioritásait, amit a súlyozással adhatunk meg. Az új módszer lehetőséget ad a klímáparaméterek különböző súllyal való figyelembevételére, így a módszer célra orientáltan optimalizálható. Ez akkor lehet igazán hatékony, ha előzetesen rendelkezünk valamilyen szakértői információval arról, hogy milyen súlyozási intervallum jöhet egyáltalán szóba.

A földrajzi analógiával kapcsolatban egy új szemléletű elemzési módszert vezettünk be. Ennek alkalmazása során azt a területet keressük meg, amelynek klímaszcenárió szerinti analógja éppen a célterületünk jelenlegi (historikus vagy bázis) állapota. Ennek segítségével fel lehet tární azon területeket, ahol a jelenleg meglévő ökológiai tudásunk és hazai termelési tapasztalataink a jövőben hasznosíthatók. Véleményünk szerint ez az elemzési megközelítés fontos szerepet játszhat az aktív természetvédelem tevékenységeiben, valamint a mezőgazdasági fajtanemesítés és fajtaalkalmazás területén.

Földrajzi analógia módszere több irányba is továbbfejleszhető. Az analógiakeresésbe bevonhatunk más klimatikus paramétereket is, mint a minimum és maximum hőmérsékletet vagy a felhőborítottság, ill. más nem klimatikus paramétereket, például a talajtulajdonság. Minél több paraméter szerint keressük az analógokat, nagy valószínűséggel annál kevesebb megfelelően hasonló területet kapunk. Egy másik továbbfejlesztési lehetőség, természet szempontjából a hónapok eltérő súlyozással való figyelembevétele. Illetve lehetséges ezen két fejlesztési irány együttes figyelembevétele, amellyel növény specifikus analóg területeket kereshetünk.

Egy régió agrárterületeinek, területhasználati típusainak és így élőhelyeinek magas diverzitása, különösen változó körülmények között, jelentős szerepet játszhat a kérdéses régió ökológiai működőképességének fenntartásában. Ennek gazdasági jelentősége is nyilvánvaló, hiszen az egymástól eltérő klimatikus igényű növények termesztése, termelési módok alkalmazása nyilvánvalóan csökkenti annak esélyét, hogy egy kedvezőtlen időjárású év az egész régió gazdasági működését megsemmisítse, míg alacsony diverzitás esetén ez nagyon is valószínű. A magas diverzitás fenntartása tehát, a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásnak is fontos eszköze lehet. A vizsgálatok alapján lényegében scenáriótól függetlenül világossá vált, hogy az évszázad közeli évtizedekben a változásokhoz való adaptáció déli szomszédaink termelési és földhasználati tapasztalatainak hasznosításával képzelhető el. Ez az időszak inkább csak fajtaváltásokat, diverzebb földhasználati módokat és klímavédelmi intézkedéseket (erdőtelepítés, ésszerűbb vízgazdálkodás, radikális emisszió csökkentés és általános takarékoság) követel meg. A 2041–2070 közötti időszak azonban már alapvetően más jellegű. Ebben az időszakban az alkalmazkodás már radikális faj-, ill. fajtaváltásokat, új termelési módok bevezetését, aktív természetvédelmi beavatkozásokat igényel. A 2071 utáni időszak alkalmazkodási stratégiái a leginkább bizonytalanok, e kérdések megválaszolása a jelen dolgozat keretei között már nem képzelhető el. Az Európán kívüli analógiák feltérképezése nem képzelhető el az ismertetett módszerek nagyobb adatbázisra való egyszerű alkalmazásával, hanem újabb módszertani fejlesztéseket is igényel, mivel a nagyobb változások esetében az analóg területen tapasztalható klímát teljesen más tényezők határozzák meg.

A földrajzi analógiák elemzése jelen dolgozatban elsősorban olyan eredményeket tárt fel, amelyek a mezőgazdaság és földhasználat, valamint a környezet- és természetvédelem területén hasznosíthatók, és elsősorban ugyanezen területeken mutatnak rá a további kutatások fontosságára is.

A hazai mezőgazdaság vonatkozásában a következtetések részben az alkalmazkodás (adaptation) lehetséges stratégiáihoz vezetnek közelebb, részben feltárják azokat a földhasználati lehetőségeket is, amelyek a megelőzés és klímavédelem (mitigation) céljait szolgálhatják. Az alkalmazkodás útja a földhasználati és növénytermesztési szerkezet analógiák szerinti megváltoztatását, a mezőgazdasági támogatási rendszer átalakítását és a szükséges faj- és fajtaváltásokat jelenti. A klímavédelmi tevékenységet leginkább az ún. klímaerdők telepítése jelentheti az intenzív mezőgazdasági termelésből kivonandó területeken.

A dolgozat eredményei egyértelműen arra utalnak, hogy a természetvédelmi szektor területén alapvető paradigmaváltás vált szükségessé. A jelenleg uralkodó „in situ konzerváció”, vagyis a fennálló ökológiai állapotok jelenlegi élőhelyeken való megőrzése helyett a természetvédelem célja csakis a bioszféra működőképességének, önszabályozó kapacitásának és biológiai sokféleségének megőrzése lehet. Ennek megvalósítása a károsító antropogén hatások megakadályozásával és az ökológiai rendszerek természetes alkalmazkodási folyamatainak aktív segítségével lehetséges. Magyarország élővilág-védelmi helyzete ebben a vonatkozásban jelentősen eltér Európa többi országának helyzetétől. Ennek következtében az ott kidolgozott megoldások és stratégiák nem feltétlenül importálhatók könnyen. A mi esetünkben a természetes menekülési utak hiánya jelenti a fő problémát. A probléma megoldásában az „eco-engineering” jellegű aktív természetvédelmi munka nem kerülhető el. Ez a munka alapvetően két részfeladatra bontható:

- Hazánk megváltozó (tehát jövőbeli) éghajlatának megfelelő (ahhoz adaptált) természetes és természetközeli élőlényközösségek létrejöttének elősegítése,
- a jelenleg hazánkban élő és annak megváltozó ökológiai feltételeihez alkalmazkodni képtelen élőlény-együttesek menekülési útvonalának biztosítása.

A meglévő természetvédelmi területeinken elsődleges cél a klímától független károsító hatások (zavarás, szennyezés, fragmentáció) mainál hatékonyabb kiküszöbölése, de a megváltozó éghajlat hatásaira bekövetkező szerkezeti átstrukturálódásokat és az új fajok spontán megtelepedését nem szabad akadályozni. Ez azonban önmagában nagyon kevés. Elengedhetetlenül szükséges, hogy más művelési ágakból kivont területeken aktív telepítésekkel segítsük elő a mi jövőbeli klímánkhoz más területen már adaptálódott természetközeli társulások kialakulását. Ehhez a földrajzi analógia módszere úgy nyújthat segítséget, hogy megkereshetjük hazánk jövőbeli klímájának jelenlegi analógjait és ezen területek flóráját és faunáját, valamint természetes vegetációtípusait és talaját kell mintaként és propagulum-forrásként tekintetbe vennünk. (Ezek a területek többnyire hazánktól délre a Balkán-félszigeten találhatóak). A másik feladat az alkalmazkodásra képtelen fajok megőrzése, ami szintén a földrajzi analógián alapuló területkeresés és transzlokáció segítségével oldható meg, de itt azon területek megkeresése a cél, amelynek jövőbeli klímája éppen hazánk jelenlegi, ill. historikus éghajlata. (Nagyrészt lengyelországi területek jöhetnek elsősorban szóba.) Ezen aktív természetvédelmi beavatkozások megvalósítása csakis a természetvédelmi hatóságok nemzetközi együttműködésével valósítható meg, amelyben a diplomáciai és nemzetközi jogi eszközök alkalmazása nélkülözhetetlen. A dolgozatban elért eredmények rámutatnak arra is, hogy a földrajzi analógiák módszerét probléma-specifikusan kell alkalmazni, a felvetett kérdésekhez adekvát meteorológiai paraméterekre, és azok adekvát súlyozása által.

Az aktív környezet- és természetvédelmi beavatkozások, valamint a tudományos kutatómunka kiszélesítése és elmélyítése egyaránt felvet financiális kérdéseket is. Ezek kapcsán különböző emberi tevékenységek és szektorok látszólagos érdekei ütközhetnek, ami szükségessé teszi a hatások és következmények pénzbeli kifejezését. Erre az ökológiai közgazdaságtan eszközei nyújtanak lehetőséget. A bioszféra-szolgáltatások idő- és területegységre eső pénzbeli értékét többféle megközelítéssel lehet becsülni, ill. közelíteni. Ebből a szempontból kiemelendő Constanza és munkatársai 1997-ben a Nature-ben megjelent cikke, amelynek az óta számos továbbfejlesztője és bírálója is akadt. A természeti tőke és a bioszféra-szolgáltatások pénzbeli értékelését ellenzők leginkább attól félnék, hogy ez az értékelési mód azt sugallja, mintha a bioszféra megvásárolható, vagy funkciói pénzzel kiválthatók lennének. Természetesen nem erről

van szó, csupán arról, hogy a pénzt, mint általános értékmérőt és „mértékegységet” arra használjuk, hogy a különböző élőhely-típusokat és azok szolgáltatásainak jelentőségét, hatásait összehasonlításra alkalmas módon kezelhetővé tesszük. Ez az értékelési rendszer alapját képezheti a hazai agrártámogatási rendszer klíma- és természetvédelmi szempontú átdolgozásának, valamint új lehetőségeket nyit a gazdaság szabályozásához is. A széndioxid emisszió-kereskedelem mintájára bevezethetők olyan piacbarát megoldások, amelyek a klímaváltozással kapcsolatos mitigációban és az adaptációban is fontos szerepet játszhatnak. A klímavédelmi célú erdőtelepítések, a természetvédelmi célú transzlokációs projektek, a földterületeknek az intenzív művelésből való kivonása, vagy éppen az ökológiai feltételeknek megfelelő mezőgazdaság kialakítása ezen eszközök segítségével lendíthető fel. A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia természetvédelmi részének korrekt költség-haszon elemzése más módon nem is képzelhető el, e nélkül viszont a Stratégia megvalósítása gyenge lábakon állna. Mindezekhez kiváló módszertani segítséget nyújthat a földrajzi analógiák módszere.

A szerző témában megjelent publikációi

1. **Horváth, L.** - Hufnagel, L. - Révész A. - Gaál M. - Ladányi M. - Erdélyi É. (2002): *Agroökoszisztémák modellezése* "Stabilitás és intézményrendszere az agrárgazdaságban" tudományos konferencia kiadvány (Keszthely, 2002. szept. 26-27.), pp.45.
2. **Horváth L.**-Gaál M.-Hufnagel L.: *Modelling of spatio-temporal patterns of ecosystem in agricultural field*. EFITA 2003, Debrecen, Hungary. pp. 876-889
3. M. Ladányi, M. Gaál, **L. Horváth**, L. Hufnagel, A. Révész and É Erdélyi: *An agro-ecosystem simulation model for precision agriculture*. ECPA-ECPLF conference, Berlin, Germany. pp 469-470
4. Ladányi, M., **Horváth, L.**, Gaál, M., Hufnagel, L. (2003) *An agro-ecological simulation model system* – Applied Ecology and Environmental Research, 1(1-2): 47-74
5. **Horváth, L.**, Kocsis, M. (2003) *Ökológiai alkalmazkodás mérésének új lehetőségei* LOV tudományos ülészak 2003. november 6-7 Agrárinformatika és modellezés szekció Budapest pp 36-37
6. **Horváth, L.**, Kocsis, M. (2005) *A fenntartható fejlődés kérdései VII*. Magyar Biometriai és Biomatematikai Konferencia 2005. július 5-6., Budapest p13
7. **Horváth, L.**, Hufnagel, L., Gaál, M., Petrányi, G. (2006): *Klíma és mezőgazdaság* – VAHAVA zárókonferencia (posztterek összefoglalói)
8. Eva Erdelyi, **Levente Horvath**, Daniella Boksai, Antal Ferenczy (2006): *How climate change influences the field crop production –yield variability of maize IV* International Eco-Conference on Safe Food - Novi Sad 2006. p1-6
9. **Levente Horvath**, Eva Erdelyi (2006): *How climate change influences the field crop production –use of spatial analogy IV* International Eco-Conference on Safe Food - Novi Sad 2006. p7-12
10. Erdélyi, Éva- **Horváth, Levente** (2006) *Climate Change and Precipitation Needs of Winter Wheat* Summer University on IT in Ag. and Rural Development 2006 Debrecen p33-41
11. **Horváth, Levente** - Gaál, Márta - Erdélyi, Éva (2006): *Use of the Spatial Analogy in Climate*

12. Salga, Péter - **Horváth, Levente** (2006): *Modelling Climate Change Using Neural Network* Summer University on IT in Ag. and Rural Development 2006 Debrecen

13. **Levente Horváth**, Márta Gaál (2006): *Spatial analogies in service of climate change analysis* 6th Annual Meeting of the EMS / 6th ECAC 4 - 8 September 2006 Ljubljana, Slovenia abstract cd-rom ISSN 1812-7053

14. Márta Gaál, **Levente Horváth** (2006) *Geographical analogies in climate change research* ESF Workshop, Volos, Greece, 20 - 23 September 2006

15. Péter Salga, Marianna Medveczki, **Levente Horvath** (2006) *Modeling climate change using Neural Networks* ESF Workshop, Volos, Greece, 20 - 23 September 2006

16. N. Solymosi, Á. Maróti-Agócs, L. Ózsvári, L. Könyves, **L. Horváth** and A. Kern. (2007) *Region specific heat stress forecast for cattle production based on climate change*. GISVET'07, Copenhagen, 22-24 August 2007

17. **L. Horváth**, M. Gaál, N. Solymosi (2007) *Spatial analogues in climate change research* EFITA/WCCA 2 – 5 July 2007, Glasgow, Scotland, Paper CD.ROM p22

18. K. Szenteleki, M. Ladányi, É. Szabó, **L. Horváth**, L. Hufnagel and A. Révész (2007) *A climate research database management software* EFITA/WCCA 2 – 5 July 2007, Glasgow, Scotland, Paper CD.ROM p53

19. **Horváth L.**, Gaál M., Solymosi N. (2007): *Use of the spatial analogy to understand the effects of climate change*. 9th Int. Symposium Interdisciplinary Regional Research, Novi Sad, Serbia p23

20. **Horváth Levente** (2007): *Földrajzi analógia meghatározásának néhány módszere és alkalmazási lehetősége* KLIMA 21 Füzetek p54-62

21. Petrányi Gergely, Hufnagel Levente, **Horváth Levente** (2007): *A klímaváltozás és a biodiverzitás kapcsolata – Földrajzi analógiai esettanulmány az európai lepkefaunára* „KLIMA 21” Füzetek p62-70

22. Szenteleki K., Ladányi M., Erdélyi É., **Horváth L.**, Hufnagel L., Révész A. (2007): *A KKT Klímakutatás adatbáziskezelő szoftver*, XLIX. Georgikon Napok, Keszthely, 2007. szeptember 20-21., p. 116.

23. Norbert Solymosi, Anikó Kern, **Levente Horváth**, Ákos Maróti-Agócs, Károly Erdélyi (2008): *TETYN: An easy to use tool for extracting climatic parameters from Tyndall datasets*, Environmental Modelling and Software 23. pp 948-949 IF:1,992

24. **Levente Horvath**, Marta Gaal, Norbert Solymosi (2008): *Use of the spatial analogy to understand the effects of climate change*, in Environmental And Social Issues Of The Southeast Pannonian Region: Multidisciplinary Approaches, The Scientific World, 2008.

25. **Levente Horvath** (2008): *Use of the spatial analogy method to analyse to possible landuse change in Hungary* Agricultural Information and IT Edited by Takashi Nagatsuka and Seishi Ninomiya August 24 – 27, 2008 at Tokyo University of Agriculture Proceedings of IAALD AFITA WCCA2008 (ISBN 978-4-931250-02-4) pp 209-214

26. Karoly Szenteleki, **Levente Horvath** and Márta Ladányi (2008): *Climate Analogies and Risk Analysis of Hungarian Viticulture pp* Agricultural Information and IT Edited by Takashi Nagatsuka and Seishi Ninomiya August 24 – 27, 2008 at Tokyo University of Agriculture Proceedings of IAALD AFITA WCCA2008 (ISBN 978-4-931250-02-4) pp389-396

27. **Levente Horvath**, Norbert Solymosi, Aniko Kern, Ákos Maróti-Ágocs, Károly Erdélyi (2008): *TETYN: An Easy to Use Tool for Extracting Climatic Parameters from Tyndall Data Sets* Agricultural Information and IT Edited by Takashi Nagatsuka and Seishi Ninomiya August 24 – 27, 2008 at Tokyo University of Agriculture Proceedings of IAALD AFITA WCCA2008 (ISBN 978-4-931250-02-4) pp1053-1058

28. Márta Gaál and **Levente Horváth** (2008): *Climate change effects on the maize growing season* Agricultural Information and IT Edited by Takashi Nagatsuka and Seishi Ninomiya August 24 – 27, 2008 at Tokyo University of Agriculture Proceedings of IAALD AFITA WCCA2008 (ISBN 978-4-931250-02-4) pp107-112