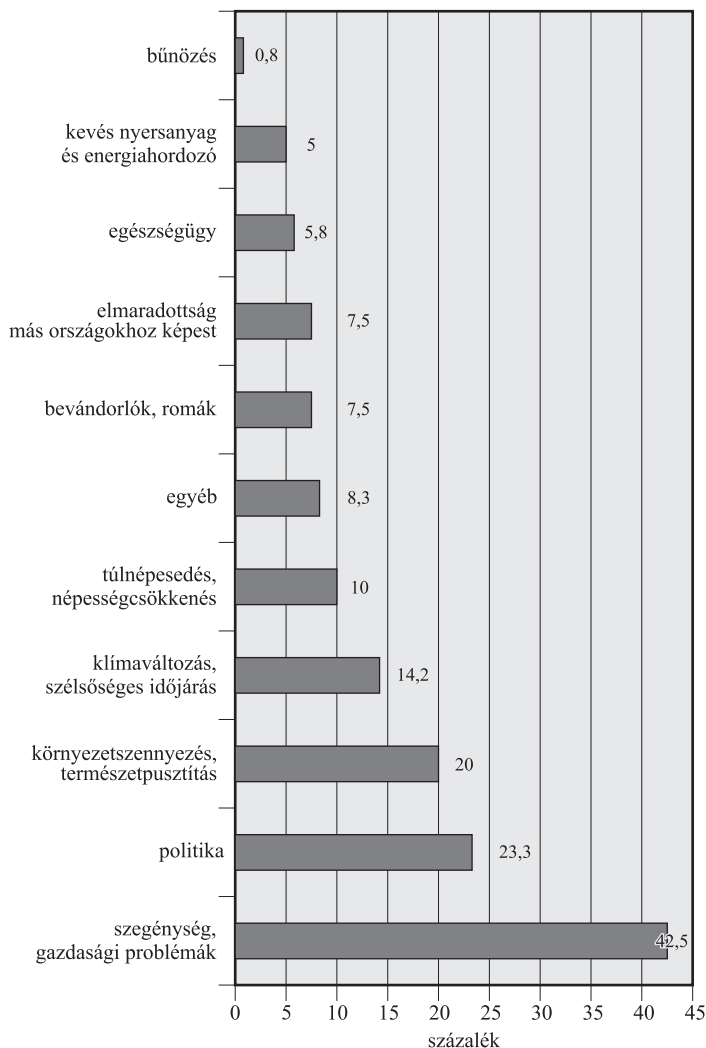


"KLÍMA-21" Füzetek

KLÍMAVÁLTOZÁS – HATÁSOK – VÁLASZOK

Melyek lesznek a legjelentősebb problémák a jövőben Magyarországon?



Forrás: Andacs N. – Takács-Sánta A. tanulmánya

A TARTALOMBÓL

Klimaváltozás és mikológiai élelmiszer-biztonság

Középiskolások klímaváltozással kapcsolatos attitűdjei

Talajok klímaérzékenysége

Talajzónák és a klímaváltozás

Klimaváltozás és a fanövekedés

Klimatikus stressz és a fajok genetikai válaszreakciója

Klimaváltozás hatása az elhalt szerves anyag lebontására

A sisegő füzeke vonulása és a klímaváltozás

2009. 56. szám

„KLÍMA-21” FÜZETEK
KLÍMAVÁLTOZÁS – HATÁSOK – VÁLASZOK

“CLIMA-21” BROCHURES
CLIMATE CHANGE – IMPACTS – RESPONSES

„KLIMA-21” HEFTE
KLIMAÄNDERUNG – AUSWIRKUNGEN – LÖSUNGEN

«КЛИМА-21» БРОШЮРЫ
ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА – ВЛИЯНИЯ – ОТВЕТЫ

SZERKESZTŐ:
CSETE LÁSZLÓ
c. egyetemi tanár

SZERKESZTŐSÉG:
1093 Budapest, Zsil u. 3–5.
Tel.: 476-3295, Fax: 342-7571
E-mail: csetel@mail.datanet.hu

KIADJA:
MTA–BCE KUTATÓCSOPORT
KLÍMAVÉDELMI KUTATÁSOK KOORDINÁCIÓS IRODA, MTA K SZI

FELELŐS KIADÓ:
HARNOS ZSOLT
akadémikus, egyetemi tanár

ISSN 1789-428X

Készült:
AKAPRINT KFT. BUDAPEST – Felelős vezető: Freier László

TARTALOM

TANULMÁNY

| | |
|--|-----|
| <i>Farkas József – Beczner Judit: A klímaváltozás és a globális felmelegedés várható hatása a mikológiai élelmiszer-biztonságra</i> | 3 |
| <i>Makó András – Máté Ferenc – Szász Gábor – Tóth Gergely – Sisák István – Hernádi Hilda: A talajok klímaérzékenységeinek vizsgálata a kukorica termésreakciói alapján</i> | 18 |
| <i>Máté Ferenc – Makó András – Sisák István – Szász Gábor: A magyarországi talajzónák és a klímaváltozás</i> | 36 |
| <i>Solymos Rezső: A klímaváltozás hatása az erdők fanövedékére</i> | 43 |
| <i>Somogyi Zoltán: A klíma, a klímaváltozás és a fanövekedés néhány összefüggése</i> | 48 |
| <i>Mátyás Csaba – Nagy László – Ujváriné Jármay Éva: Klimatikus stressz és a fafajok genetikai válaszreakciója az elterjedés szárazsági határán: elemzés és előrejelzés</i> | 57 |
| <i>Tóth János Attila – Kate Lajtha – Kotroczó Zsolt – Krakomperger Zsolt – Bruce Caldwell – Richard Bowden – Papp Mária: A klímaváltozás hatása az elhalt szerves anyag lebontási folyamataira</i> | 66 |
| <i>Andacs Noémi – Takács-Sánta András: Középiskolások klímaváltozással kapcsolatos attitűdjei és viselkedése</i> | 76 |
| <i>Kiss Andrea – Csörgő Tibor – Harnos Andrea – Kovács Szilvia – Nagy Krisztina: A sisegő füzike (<i>Phylloscopus sibilatrix</i>) vonulása és a klímaváltozás</i> | 91 |
| Summary | 100 |
| Contents | 106 |

A KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS A GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS VÁRHATÓ HATÁSA A MIKOLÓGIAI ÉLELMISZER-BIZTONSÁGRA

FARKAS JÓZSEF – BECZNER JUDIT

Kulcsszavak: toxinogén penészek, szaporodásmodellezés, predikció.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A fellelhető, és ebben a rövid áttekintésben összefoglalt információk egyértelműen jelzik, hogy a termékek toxinogén penészgombák által előidézett mikotoxin-szennyeződése nagy valószínűséggel megnőhet egyrészt a toxinképzésre alkalmas átlagos hőmérsékletek néhány fokkal történő megnövekedése esetén, valamint az IPCC és a VAHAVA projekt jelzései alapján várható hőhullámok gyakoriságának és/vagy időtartamának a meghosszabbodása miatt.

A megfelelő háttér-információk birtokában, amelyeket a kutatás révén megszerzünk, biztosítani lehetne a változó makroökológiai körülmények között is az élelmiszerek és a takarmányok toxin-szennyezettségének csökkentését, növelve az élelmiszerbiztonságot, melynek társadalmi hatásai széles körűek: humán- és állategészségügy, élelmezés- és takarmányozás-biztonság, élelmiszer- és takarmánybiztonság, kényszerimport csökkentése, exportbevétel-növelés. A klímaváltozáshoz való alkalmazkodás az élelmiszer-ellátás költségeinek növekedését okozza, például a növénytermelés (ültetési, vetési időpontok, műtrágyázás mértéke, öntözés használata, fajtakiválasztás) és az állattenyésztés változó ökológiai viszonyokhoz való igazítása következtében. Ezen túlmenően az élelmiszer-higiéniái és állat-egészségügyi szervezeteket is fel kell készíteni a klímaváltozásra és az élelmiszer-biztonság ügyében további kapacitások szükségesek minden téren, a tudományosan megalapozott kockázatbecsléstől a kockázatkezelésig. A mikotoxin-kérdés kockázatának kezelése – a levegőt, talajt, növényt, állatot, embert egyaránt érintő – komplex jellege miatt széles körű, interdiszciplináris szakmai összefogást kíván, mert eredmények a különböző tudományterületek együttes és integrált munkájától várhatók.

Mindehhez természetesen pénzügyi forrásokat is szükséges rendelkezésre bocsátani, nagy hangsúlyt helyezve a prevenció elsődlegességére.

A kutatási kihívást jelentő feladatok

- további szisztematikus adatgyűjtés a toxinogén penészgombák szaporodását és toxinképzését befolyásoló tényezők hatásairól;
- a toxinogén penészgombák mikotoxin képzésében szerepet játszó gének és regulációjuk megismerése;
- a termesztett növények penészgombákkal szembeni ellenálló képességének növelése, s ezáltal a mikotoxin-szennyeződés csökkentése; a növényi rezisztencia és a gomba toxintermelése genetikai hátterének felderítése; a mikobiota összetételének hatása a toxinképzésre;
- a jelenlegi védekezési rendszer fenntartása mellett egyrészt olyan kompetitív/antagonista mikrobafajok alkalmazása, amelyek gátolják a penészgombák növekedését.

sét és toxinképzését, másrészt nem veszélyeztetik sem az élelmiszer minőségét, sem biztonságát. Ennek kidolgozásához a fent említett genetikai, ökológiai vizsgálatok szükségesegek;

– az élelmiszerekkel közvetíthető kórokozóknak és a mikroba-toxinok képzésének prediktív modellezése szükséges a tudományos kockázatbecsléshez. Különösen fontos volna ilyen előrelépés a hazánkban már ma is jelentős problémát képező fuzario-toxinokat és az ochratoxin-A-t illetően.

BEVEZETÉS

Az ENSZ Éghajlat-változási Kormányközi Testülete (IPPC) és a Meteorológiai Világszervezet (WMO) állásfoglalásai, a hazai VAHAVA (VÁltozás-HATás-VÁlaszadás) elnevezésű kutatási program, valamint az Országgyűlés által elfogadott *Nemzeti Éghajlat-változási Stratégia* megállapításai alapján a Kárpát-medencében fokozottan érvényesülő klímaváltozás hátrányosan hathat a hazai mezőgazdaságra, az élelmezés- és élelmiszer-biztonságra, valamint a humán- és állategészségügyre. Ezekre tekintettel jelen tanulmány az élelmiszer-biztonsági problémák részeként áttekinti a penészgombák várhatóan fokozott szaporodási lehetőségét és a toxinogén fajok terjedésével kapcsolatos mikotoxin-veszély kockázatát befolyásoló ökológiai tényezőket, a gabonafélék és más mezőgazdasági termékek toxinogén penészgombákkal való kapcsolatait, a mikotoxin-képzés feltételeit, a melegező éghajlat és a toxinogén penészgombák ökológiai térhódítási lehetősége közötti kapcsolatot. A veszélyt megelőző tevékenységek hatékonyságának növelése érdekében foglalkozik a tanulmány a mikotoxin-képzés prediktív matematikai modellezésével kapcsolatos kutatómunkák kezdeti eredményeivel és a modellezés problémáival. Bemutatja a mikotoxin-kutatás, az élelmiszer-biztonság és a társadalmi hatások fő összefüggéseit. Végezetül tárgyalja az éghajlatváltozáshoz a tanulmány tárgyában szükséges alkalmazkodás fő tennivalóit és a kutatás számára kihívást jelentő feladatokat.

A FELMELEGEDÉS VÁRHATÓ HATÁSAI AZ ÉLELMISZER-BIZTONSÁGRA

A globális felmelegedés hazánkra is erősen kihat, fő következményei között említhetők a következő, egymással is kölcsönhatásban lévő problémák (*CSL, 2005*)

– az élelmi anyagok és takarmányok várhatóan fokozódó mikrobás szennyeződése;

– a zoonózisok és más, élelmiszerekkel közvetíthető fertőzések és megbetegedések fokozott terjedése;

– fokozott rovarkártétel, ami a mikrobás szennyeződést is elősegíti;

– a termények rövidebb „post-harvest” tárolhatósága; és

– az élelmiszer-ellátási hálózatban a hűtlánc-fenntartási feladatok és gondok növekedése;

– az erőteljesebben terjedő kártevők elleni védekezés érdekében szükség lesz több peszticid és állatgyógyászati szer használatára, ami további környezetszennyezéssel járhat és kihat a kémiai élelmiszer-biztonságra is.

E problémák közül jelen tanulmányban a penészgombák, s közöttük a toxinogén fajok fokozottabb térnyerését lehetővé tevő ökológiai tényezőkről és az ezekkel összefüggő élelmiszer-biztonsági problémákról kísérlünk meg áttekintést adni. Ugyanis a gombáknak a mikrobaszaporodást befolyásoló egyik fő környezeti tényező, a szabad, hozzáférhető víztartalmat jellemző vízkiváltás (a_w) iránti igénye kisebb, mint a legtöbb baktériumé. Azt is mérlegelni kell azonban, hogy a toxinképzést lehetővé tevő környezeti

feltételek általában korlátozottabbak, mint a penészgomba szaporodásáé.

A FOKOZOTT MIKOTOXIN-VESZÉLY

A globális klímaváltozás elősegítheti a penészgombák szaporodását. Ezzel feltehetően összefüggésben, különféle nemzetközi irodalmi adatok szerint, a mikotoxinokkal szennyezett termények és az ezekkel takarmányozott állatok mikotoxikózisainak gyakorisága és súlyossága növekedni látszik (Hocking *et al.*, 2006). Egy kockázatbecslés kapcsán az *Egészségügyi Világszervezet* megállapította, hogy a mikotoxikózisok vezetnek az élelmiszer-fogyasztással összefüggő krónikus megbetegedések kockázati listáját.

A mikotoxinok az egyes penészgombáknak a megfelelő fizikai, kémiai és biológiai tényezőktől függően képzett toxikus, „másodlagos” anyagcseretermékei (Frisvad – Thrane, 1996). Az élelmiszerek és takarmányok penészgombákkal való szennyeződésében és penészesedésében, továbbá ezáltal a mikotoxin képzésében meghatározó tényezők az oxigén jelenléte, a hőmérséklet- és a nedvességviszonyok. A penészgombákkal szennyeződés minőségromtó és tárolási veszteséget okozó hatásán túlmenően a mikotoxinokkal szennyezett élelmiszerek és takarmányok megnövelik az emberekre és

állatokra nézve az egészségügyi kockázatot és a gazdasági veszteségeket (Van Egmond, 1996; Kovács – Kovács, 2003). Toxinogén penészgombák mindenütt előfordulnak, mert nagy számban képződő konídiumaik révén könnyen terjednek. E konídiumok, illetve az ivaros úton létrejövő képletek, spórák hosszú ideig életképesek maradnak nyugvó állapotban, majd kedvező környezeti feltételek esetén kicsíráznak és továbbszaporodnak.

Egyre növekvő számú mikotoxin válik ismertté, de csak néhány található rendszeresen élelmiszerekben vagy takarmányokban. Ezek viszont nagy humán- és állat-egészségügyi jelentőségűek.

Fejlett országokban a súlyos akut mikotoxikózisok nagyon ritkák, a kisebb mikotoxin-szennyezettség esetén azonban a hosszú idő alatt kialakuló krónikus vagy kumulatív hatások – rákkeltés és immun-deficiencia – igen súlyos kockázatot jelentenek. Lényeges szempont az is, hogy a mikotoxinok gyakorlatilag nem inaktíválhatók az élelmiszerek hőkezeléses pasztörözésével vagy sterilizálásával sem.

A mezőgazdasági termények és élelmiszerek világkereskedelme következtében a mikotoxin-kockázat nem korlátozódik a toxinok képződésének helyére. A globális kereskedelem ellenére ugyanakkor a mikotoxin-jogszabályozás kielégítő nemzetközi harmonizálása még várat magára.

1. táblázat

A jelentősebb mikotoxinok és gyakoribb előfordulásuk

| Mikotoxin | Főbb toxinogén gombák | Leggyakoribb termények |
|---|--|--|
| Dezoxinivalenol/nivalenol | <i>Fusarium graminearum</i> <i>F. crookwellence</i> <i>F. culmorum</i> | búza, kukorica, árpa |
| Zearalenon | <i>Fusarium graminearum</i> <i>F. pulvorum</i> <i>F. crookwellence</i> | kukorica, búza |
| Ochratoxin A | <i>Aspergillus ochraceus</i> <i>Penicillium verrucosum</i> | árpa, búza, fűszerpaprika és sok más termény |
| Fumonizin B1 | <i>Fusarium verticillioides</i> (korábban <i>F. moniliforme</i>) | kukorica, búza |
| Aflatoxin B ₁ , B ₂ , G ₁ , G ₂ , M | <i>Aspergillus flavus</i> <i>A. parasiticus</i> | kukorica, földimogyoró és sok más termény |

A legfontosabb mikotoxinok, amelyek viszonylag gyakran fordulnak elő az élelmiszerekben, illetve élelmiszer-nyersanyagokban, főként gabonákban és más magvakban: a deoxinivalenol/nivalenol, zearalenon, ochratoxin, fumonizinek és az aflatoxinok (1. táblázat).

Az *A. flavus* általában csak aflatoxin B₁-et és B₂-t képez, míg az *A. parasiticus* G₁ és G₂ toxint is termel. Ha tejelő tehenek aflatoxin B₁-gyel szennyezett takarmányt fogyasztanak, a tejükbe egy némileg különböző vegyületet, aflatoxin M₁-et választanak ki. A változatos összetételű és jellegű fűszerek sokféle mikotoxin hordozói lehetnek, különösen azok, amelyek kevés mikrobagátló hatású aromás illóanyagot tartalmaznak. Az aflatoxinok előfordulása különösen trópusi, szubtrópusi fejlődő országokban volt eddig jelentős, de az aflatoxinogén penészgombafajok a legtöbb talajban közönségesek, és rendszerint szerepük van a növényi anyagok lebontásában. Az aflatoxinok leggyakrabban olyan terményekben találhatóak, amelyeket aratás után nem szárítottak eléggé meg és/vagy viszonylag magas hőmérsékleten tároltak. Az aflatoxinok karcinogenitása bizonyított (Benford, 2001) és a fumonizin B₁-é is valószínűsíthető. Az aflatoxinok karcinogenitását (májrák) elősegíteni látszik a hepatitis B és C vírusokkal való fertőzöttség. Az aflatoxinok hátrányosan hatnak az immunrendszer működésére is. Az aflatoxikózisra minden állat fogékony, de a haszonállatok közül különösen érzékeny a baromfi. A fuzárium toxinok humán-toxicitásuk mellett állategészségügyileg is igen ártalmasak, különösen sertésekre. A zearalenon és származékai ösztrogén hatású vegyületek.

A *Fusarium verticillioides* (korábban *F. moniliforme*) és néhány más, kevésbé elterjedt gombafaj által termelt fumonizinek (legfontosabb a fumonizin B₁) leggyakrabban ugyancsak a melegebb éghajlatú régiókra, de gyakorlatilag minden kukorica-termő tájra jellemzőek. Állat-egészségügyi jelentőségük mellett a humán karcinogenitásuk miatt kell nagy figyelmet fordítani rájuk.

A patulin mikotoxint számos penészgombafaj termeli, amelyek közül a legfontosabbak az almán gyakran megtelepedő és rothadást okozó *Penicillium expansum* és *P. griseofulvum*.

Minthogy minden élőlény csupán bizonyos, jellemző környezeti feltételek között képes anyagcserét folytatni és szaporodni, a klímaváltozással összefüggésben különös figyelmet érdemelnek a penészgombák szaporodását befolyásoló környezeti, ökológiai tényezők és a penészgombák szaporodási törvényszerűségei.

A penészgombák ökológiája és annak összefüggése a mikotoxinok képzésével

Az, hogy milyen penészgombafajok jelennek meg egy adott régióban a fő problémát, jórészt a klimatikus viszonyoktól és az ott termesztett étkezési és takarmánynövényektől, azok összetételétől függ. A toxinogén penészgombák egy része a terményeket már a learatásuk előtt megtámadja, míg mások csak a tárolás közben. A „szabadföldi” csoportnak három típusa van

- növény-patogének (ilyen pl. a *F. graminearum*);
- olyanok, amelyek főként szeneszcens vagy stresszelt növényeken tudnak elszaporodni (ilyen a *F. moniliforme* és néha az *A. flavus*);
- olyanok, amelyek a növényen már aratás előtt megtelepednek, de számottevő szaporodásukkal és mikotoxin-képzésükkel a tárolás során kell számolni (ilyen például a *P. verrucosum* és az *A. flavus*).

A fuzáriumos csőpenészedés a kukorica-csővek legfontosabb megbetegedése meleg, száraz évszak vagy rovarkártétel esetén. A hőmérsékleti stressz is fontos tényező ebben.

Aratás után, amikor a gabonaszemek vagy más magvak a száradás következtében dormans vagy szeneszcens állapotba kerülnek, a gazdanövény-parazita kapcsolat specifikussága megszűnik, és csupán fizikai tényezőkön múlik, hogy a tárolás közben

bekövetkezik-e penészedés és/vagy mikotoin-képzés. A meghatározó ebben az élelmiszer vízakтивitása és a hőmérséklet. A trópusokon ez utóbbi majdnem mindig megfelelő a penészgombák szaporodása számára, ezért a vízakтивitás számít az uralkodó tényezőnek a penészgombák inváziója és szaporodása szempontjából.

A szárazság és a rovarkártétel okozta stressz, amelynek fokozódása az éghajlatváltozás várható következménye, elősegíti a termények mikotoinnal való szennyeződésének veszélyét.

A hazai mezőgazdaság legfontosabb terményei szempontjából a gabonafélék, a fűszerpaprika, az alma- és a szőlőtermesztés igényel a mikotoin-probléma szempontjából nagy figyelmet.

A gabonafélék és a toxinogén penészgombák kapcsolata

A globális melegedéssel összefüggésben a fuzáriumos fertőzések, elsősorban a *Fusarium graminearum* és a *F. culmorum*, illetve a kukoricatermesztés jelenthet növekvő kockázatot. A *F. graminearum* a melegebb éghajlaton folyó búzatermesztést is sújtja, míg a *F. culmorum* például az európai természetben domináns faj. A *F. verticilloides* (*F. moniliforme*) mindenütt előfordul a kukoricatermesztő területeken (Hocking, 2003).

Az először *Aspergillus ochraceus* tenyészetéből 1965-ben izolált, nefrotoxikus és karcinogén ochratoxin A (OTA) a gabonafélék szennyezője a legtöbb európai országban és Észak-Amerika északi részein. A gabonafélék az európai fogyasztók OTA-terhelése fő (50-80%-ot kitevő) hordozói (Johnsson et al., 2004). A búza és az árpa OTA-szennyeződése a hűvösebbnek számító európai országokban a *Penicillium verrucosum* szaporodása miatt következik be (Pitt, 1987). A *P. verrucosum* 0,80-as vízakтивitásnál már képes szaporodni (Pitt – Hocking, 1997), de csak kb. $a_w > 0,89$ vízakтивitásnál képez ochratoxint (Northolt et al., 1979), tehát a gabonában addig áll fenn közvetlenül az ilyen szennyező-

dés veszélye, amíg az aratás után a gabonát a megfelelő nedvességtartalomra (<12%) meg nem szárítják.

Kedvezőtlen klimatikus körülmények között egyes gabonafélék, főként a kukorica, az *Aspergillus flavus* és az *A. parasiticus* fertőzés következtében aflatoxinokkal való szennyeződésnek is ki lehetnek téve.

Azt is figyelembe kell venni, hogy a tárolt termények/termékek hőmérséklete nem egyenletes eloszlású, ezért a nedvesség a tárolt tömegben belül a kisebb hőmérsékletű helyekre vándorol, ott lehetővé téve, elősegítve a penészek szaporodását.

A penészgombák szaporodását számos környezeti tényező befolyásolja, azonban a vízakтивitást és a hőmérsékletet tekintik a leglényegesebbnek (Gibson et al., 1994). A víztartalom és a vízakтивitás kapcsolata (a szorpciós izoterma) a termények kémiai összetevőinek vízmegkötő képességétől függ.

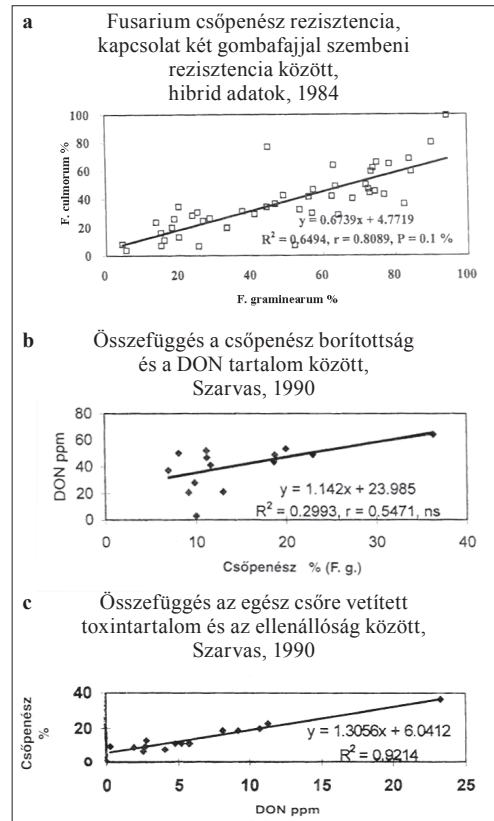
A terményeken a mikrobiota elszaporodása többnyire bonyolult, egymásra épülő biotikus folyamatokon keresztül megy végbe. A penészedés először a leginkább szárazságtűrő (xerofil) fajokkal kezdődik, amelyek anyagcsere-tevékenysége következtében olyan „mikrokörnyezet” képződik, amelyben megnő a gabona hőmérséklete és nedvességtartalma, s ezzel a vízakтивitása, ami már a vízigényesebb toxinogén fajok szaporodását, sőt mikotoin-képzését is lehetővé teszi (Wilson, 1999; Hocking, 2003). Az *Aspergillus penicillioides* és közeli rokonfajai a gyakori „üttörök”, amelyek már kb. 0,66-0,67 a_w -értékeken képesek kicsírázni és szaporodni. Ha élettevékenységük következtében a helyi vízakтивitás 0,69-0,70 értékre nő, az *Eurotium* és a *Wallemia* fajok is szaporodni kezdenek, tovább növelve anyagcserejükkel a vízakтивitást. 0,78-0,80 a_w -értékeknél már a kevésbé oxigénigényes *A. candidus* is szaporodni tud, s végül 0,80-0,83 a_w -t elérve a mikotoinogén penészgombák, pl. *A. flavus*, *A. ochraceus* és a szterigmatocisztint képző *A. versicolor* és egyes *Penicillium* fajok szaporodása is lehetővé válik.

Európai viszonylatban az *Aspergillus*-fajoknál kevésbé melegigényes *Penicillium*-fajok már eddig is nagy figyelmet érdemeltek. A legtöbb *Penicillium*-faj szaporodásának optimális hőmérséklete 25-30 °C, míg a legtöbb *Aspergillus*-fajé 37-40 °C. A *Fusarium*-fajok többségének hőmérsékleti optimuma 20-32 °C között van, de a hűvösebb klímát is jól elviselik. A búza kalászrothadásáért és a kukorica csőpenészedéséért is felelős *F. graminearum* hőoptimuma 25-30 °C, minimuma 6, maximuma 36 °C. Gazdanövényein a micélium növekedésének hőoptimuma eltérő, búzán 10-24, kukoricán 12-16 °C (Ubrizsy, 1965). Magyarországon a kukoricán előforduló *Fusarium*-fajok közül a *F. verticillioides* (szinonima: *F. moniliforme*, teleomorf alak: *Gibberella moniliformis*) dominál (Mesterházy, 1997). A *F. verticillioides* széles hőmérsékleti és a_w -tartományban képes szaporodni és toxint képezni (Marin et al., 1998), a toxintermelés szempontjából az $a_w > 0,956$ a kedvező (Marin et al., 1995). Montani et al. (1988) egy *Fusarium graminearum* törzs zearalenon-képzését tanulmányozták a vízkivétel és a hőmérséklet függvényében.

A kukorica és a gabonafélék tenyésztő alatti penészedése és toxin-szennyezettsége elleni hatásos védekezési lehetőség a rezisztenciára nemesítés, és ebből a szempontból a fertőzőképesség és a toxintermelés közötti kapcsolat elemzése igen fontos. Ismeretes, hogy a legfontosabb DON-termelők a *F. graminearum* és a *F. culmorum*, és ezek a fajok a legpatogénebbek. A *F. avenaceum* lényegesen kisebb patogenitású és a DON-termelő képesség is csak töredéke a fenti két fajnak. Ugyanakkor eltérő adatok is vannak, pl. a rendkívül mérgező T-2 toxint a gyenge patogenitású *F. sporotrichoides* állítja elő (Mesterházy, 1998). Mesterházy (1998) kukorica rezisztenciáját vizsgálta két, fuzáriumos csőpenészedést kiváltó gombafajjal szemben, és megállapította, hogy az adott két fajjal szembeni rezisztencia között szignifikáns összefüggés volt (1.a ábra). A toxintermelés és a rezisztencia közötti kapcsolatra vonatkozóan

csak kevés adat áll rendelkezésre. Kovács és Bata (1991) vizsgálta a csőpenész-borítottság és a DON-tartalom közötti összefüggést, és a fertőzött szemekben meghatározott toxin-koncentráció és a csőpenész-borítottság között nem talált összefüggést (1.b. ábra). Annyi azonban látható volt, hogy az egyes

1. ábra



Összefüggés a kukorica fuzáriumos csőpenész rezisztenciája és a toxintartalom között.
a: kapcsolat két *Fusarium*-fajjal szembeni rezisztencia között (Mesterházy, 1998);
b: összefüggés a csőpenész-borítottság és a DON-tartalom között;
c: összefüggés az egész csőre vetített toxintartalom és az ellenállóság között (Kovács és Bata 1991, cit. Mesterházy 1998)

hibridekben a *Fusarium*-fertőzött szemekben igen eltérő mennyiségű DON képződött, ugyanazon gombaizolátum esetében. Az ellenálló hibridek esetében a DON-koncentráció nem volt következetes, míg a fogékony fajtáknál az összefüggés szorosabb volt. Ha az egész csőre kivetített toxin-koncentrációt vizsgálták a csőpenész-fertőzöttség százalék függvényében, akkor az összefüggés igen szorossá vált (l.c. ábra). Ez azt jelenti, hogy rezisztencia esetén, a kisebb fertőződéssel, a csövek átlagos fertőzöttsége és toxin-szennyezettsége kisebb lesz.

Mikotoxin-problémát jelentő más mezőgazdasági termékek

A mikotoxin-probléma megnyilvánulása az ellenőrzés kiterjedtségének és a vonatkozó jogszabályok követelményeinek is függvénye. Az ellenőrzés mibenléte, kiterjedtsége tekintetében jelentős különbségek vannak a világ különböző részei között, s a helyzet folyamatosan változik. Az EC 472/2002 rendeletben főként aflatoxinokra vonatkozó határértékek vannak, ami alapján például az EU gyorsriasztási rendszere (RASFS) keretében már most is gyakori a nemzetközi kereskedelemben kerülő egyes olajos magvak és diófélék (pisztácia, brazil dió), s különösen a földimogyoró aflatoxin- vagy a kávé ochratoxin-szennyezettségének észlelése (Kovács – Kovács, 2003; Varga et al., 2005b). A toxinogén penészgombák szedés előtti megtelepedését követően a tárolás közben képződnek ezek a mikotoxinok. A kb. 0,80 vízaktivitás-érték felett már szaporodó toxinogén aszpergillus fajok a kb. 0,85 a_w -értékű közegen a toxinjait is képezni tudják (Pitt et al., 1991; Hocking, 2003).

A 2004. évi hazai „paprikabotrány” különösen felhívta a figyelmet a fűszerek, közöttük a paprika nemzetközi kereskedelmében gyakran előforduló aflatoxin- és ochratoxin-A-szennyezettség problémájára (Bánáti – Lakner, 2005; Fazekas et al., 2005; Szeitzné Szabó et al., 2007). A paprika, mint potenciális mikotoxin-beviteli forrás, a hazai pap-

rikafelhasználási és -fogyasztási szokásokat figyelembe véve, a hazai lakosság számára az európai uniós fogyasztást többszörösen meghaladó volta miatt fokozott kockázatot jelent (Szeitzné Szabó, 2007). Az EU-s előírás a fűszerek esetében az ochratoxinra nem ír elő határértéket (EC123/2005), míg a magyar rendelet növényi élelmiszerek esetében 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$ értékben limitálja (EüM 17/1999. (VI.16.) rendelet).

A szőlő ochratoxinnal szennyeződhet közvetlenül a szüret előtt, ami miatt a szőlőlé, a bor, a borecet is szennyezetté válhat a fekete aszpergillusok, főként az *A. carbonarius* elszaporodása miatt (Varga et al., 2005a). Különösen akkor van esély ilyen káros folyamatra, ha az érett szőlőbogyók esőzés hatására ozmotikusan felrepednek.

Toxinogén penészgombák elszaporodásának és toxinképzésének megvan a lehetősége a dohánylevelek mezőgazdasági előfeldolgozása folyamán is (Kőhegyi-Szántai – Tornai-Lehoczki, 2005). A mikotoxinok sorsa a füstszívásos dohányzás során nem ismert, a bagózás és tubakolás ilyen értelmű kockázata azonban nyilvánvaló.

A penészgombák közötti kölcsönhatás és a toxinképzés

A legtöbb toxinogén penészgomba több mint egyféle mikotoxin termelésére is képes (Gquleni et al., 1997). Másrészt egy adott terményt egy időben több, különböző toxinogén és toxint nem termelő penészfaj is kolonizálja. Ezek kölcsönhatása, a toxintermelésre gyakorolt hatásuk nem, vagy csak egyes részleteiben ismert. Az eddigi eredmények alapján a mikotoxin-képződést komplex rendszer szabályozza, amelyet több paraméter, így a hőmérséklet, a víz hozzáférhetősége (vízaktivitás), a szubsztrátum és maga az adott penészfaj genetikai háttere határozza meg (Milles et al., 2007). A fiziológiai paraméterek és más faj jelenléte is befolyásolja a toxinképzést (Lee – Magan, 2000; Llorens et al., 2004). Milles et al. (2007) in vitro körülmények között tiszta és vegyes tenyészeteket

vizsgálva megállapították, hogy a *P. verrucosum* és az *A. ochraceus* micélium-növekedése *F. graminearum* jelenlétében csökkent, de OTA-termelésük nagyobb volt, mint a tiszta tenyészetekben. A *F. graminearum* növekedése visszaszorult az in vitro vegyes tenyészetekben, zearalenon-termelése pedig nagyobb volt a vegyes, mint a tiszta tenyészetekben. Hasonlóan árpa szubsztrátumon is megnövekedett T-2 toxintermelést tapasztaltak *F. sporotrichoides* és *P. verrucosum* együttszaporítása esetén (Ramakrishna et al., 1996). Nagyobb fumonizin-termelést tapasztaltak kukoricán vegyes mikrobióta esetében (Marin et al., 1998).

A fuzárium-toxinok gyakran együtt jelennek meg az aflatoxinokkal, de az OTA-val nem. Ugyanakkor a mikotoxinok jelenléte elősegítheti más toxinok képződését is, és a toxicitás növekedését is megfigyelték: a T-2 toxin hatására a DON toxicitása megnőtt. Japán adatok alapján a zearalenon jelenléte is kimutatható esetenként, amikor a DON vagy nivelanol nagy koncentrációban fordult elő kukoricában, búzában és árpában (CAST, 2003).

Mindezek az eredmények még további vizsgálatokat és megerősítést igényelnek, de új szempontok figyelembevételének szükségességére is felhívják a figyelmet. A klímaváltozással új patogén és szaprofiton gombák

megjelenésével és eddig nem ismert kölcsönhatások kialakulásával is számolni kell.

Termények és élelmiszerek penészgomba-növekedés okozta minőség-károsodása és romlása

Nemcsak a mikotoxin-probléma miatt igényel figyelmet a tárgyalt témakör, hanem számos más, a terménytárolás során és az élelmiszerlánc különféle fázisaiban esetleg bekövetkező minőségkárosodási és romlási folyamat miatt is (vetőmagvak penészedés okozta csírázóképeség-csökkenése, elszíneződések, fehérjevesztés, dohos szag kialakulása, zsírsavösszetétel változása stb.).

A melegedő éghajlat és a toxinogén penészgombák ökológiai térhódítási lehetősége közötti kapcsolat

A penészgombák szaporodása szempontjából két legfontosabb tényező a hőmérséklet és a vízakktivitás (a termények egyensúlyi relatív páratartalma). Egyes, fontos toxinogén penészgombák mikotoxin-képzéséhez szükséges kardinális hőmérséklet- és vízakktivitás-értékek irodalmi adatait a 2. táblázat foglalja össze (ICMSF, 1996).

A penészgombák szaporodását a pH sokkal kevésbé befolyásolja, mint más mikroor-

2. táblázat

Aflatoxint vagy ochratoxint képező penészgombák mikotoxin-képzését befolyásoló kardinális hőmérséklet- és vízakktivitás-értékek (ICMSF, 1996)

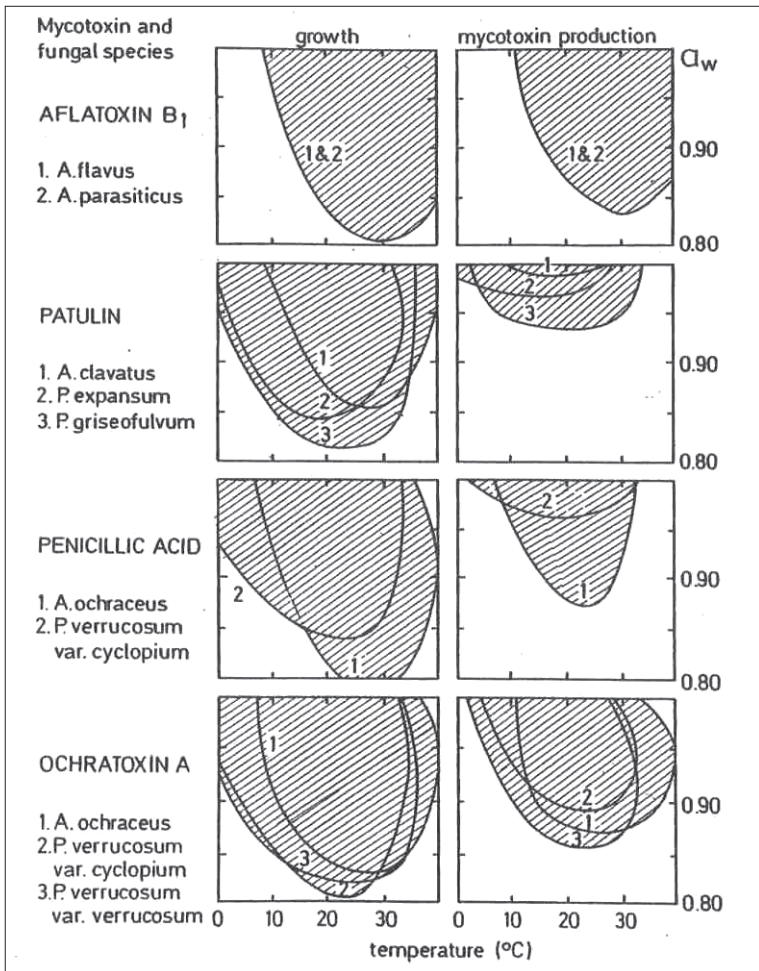
| | Minimum | Optimum | Maximum |
|---|-----------|-----------|---------|
| <i>A. flavus</i> <u>aflatoxin</u> képzése: | | | |
| Hőmérséklet (°C) | 13 | 16-31 | 31-37 |
| Vízakktivitás | 0,82 | 0,95-0,99 | >0,99 |
| <i>A. parasiticus</i> <u>aflatoxin</u> képzése: | | | |
| Hőmérséklet (°C) | 12 | 25 | 40 |
| Vízakktivitás | 0,86-0,87 | 0,95 | >0,99 |
| <i>A. ochraceus</i> <u>ochratoxin</u> képzése: | | | |
| Hőmérséklet (°C) | 12 | 31 | 37 |
| Vízakktivitás | 0,83 | 0,95-0,99 | >0,99 |
| <i>P. verrucosum</i> <u>ochratoxin</u> képzése: | | | |
| Hőmérséklet (°C) | 0 | 20 | 31 |
| Vízakktivitás | 0,86-0,87 | 0,95-0,99 | >0,99 |

ganizmusokét, mert igen széles, mintegy 2-11 pH-tartományban képesek szaporodni, és szaporodásuk optimális pH-tartománya is széles: kb. 5 és 8 pH-érték közötti (ICMSF, 1996).

A klímaváltozás, melegedés és az élelmiszer-biztonság szempontjából nagy figyelmet érdemelnek a toxinogén penészgombák szaporodását és toxinképzését befolyásoló, illetve lehetővé tevő környezeti körülmények.

Néhány példát toxinogén penészgombák vízaktivitás- és hőmérséklet-igénye szerinti „ökológiai térképére” a 2. ábra illusztrál (Northolt – Bullerman, 1982; Northolt – Sorento, 1988; Northolt et al., 1996). Az is már korán megállapítást nyert, hogy a maximális szaporodás és a maximális toxinképzés ökológiai paraméterértékei nem esnek egybe (Schindler et al., 1967).

2. ábra



A hőmérséklet és a vízaktivitás (a_w) hatása néhány penészfaj növekedésére és mikotoxin-képzésére

Forrás: Northolt – Bullerman, 1988

A 2. ábrából és a 2. táblázatból érzékelhető, hogy a különböző fajok ugyan jelentős eltéréseket mutatnak a minimális hőmérséklet- és minimális vízakktivitás-igényük szempontjából, de látható, hogy már 2-3 °C hőmérséklet-növekedés mellett is mennyivel kisebb vízakktivitás, mennyivel szárazabb szubsztrátum esetén is lehetőséget kapnak a gombák a szaporodásra, illetve a toxinképzésre. Természetesen e folyamatok sebessége is függvénye a környezeti tényezőknek, s ilyen irányú vizsgálatok eredményeinek felhasználásával lehetne háromdimenziós ábrázolásban, hatásfelületekkel érzékeltetni a kinetikus kapcsolatokat is. Ilyen munkák vezethetnek prediktív mikológiai modellekhez, amelyek jól szolgálhatnák a kvantitatív kockázatbecslést.

A PENÉSZGOMBA-SZAPORODÁS ÉS A MIKOTOXIN-KÉPZÉS MATEMATIKAI MODELLEZÉSE

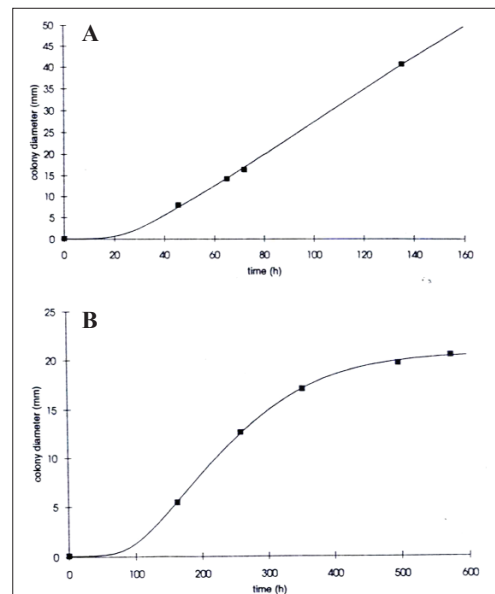
A baktériumokkal kapcsolatos prediktív mikrobiológia az utolsó negyedszázadban igen jelentős fejlődést ért el, a fonalas gombákkal kapcsolatban azonban még a kezdeteknél tart (Gibson – Hocking, 1997; Wilson, 1999; Dantigny, 2004). Kvantitatív adatok nagyobb számban leginkább csak az aflatoxin-képzőkkel kapcsolatban vannak. Ezért ma még nagyon bizonytalanul lehet előre becsülni a kardinális szaporodási jellemzők közül a minimális értéket, mikotoxin-képzésre vonatkozó prediktív modellek pedig még alig vannak. A szaporodás (biomassza-képződés) és a toxinok, mint másodlagos anyagcsere-termékek képzésének környezeti paraméterigénye nem azonos. A mikotoxin-képzéshez vezető anyagcsere-folyamatok nem kielégítően felderítettek, ezért a mikotoxin-képzés matematikai modellezése különösen nehéz. Mint-hogy azonban a toxinképzés megelőzéséhez a szaporodást kell megakadályozni, annak (prediktív) modellezése is fontos. Ilyen vizsgálatok közül különösen azokra szeretnénk a figyelmet felhívni, amelyek a szaporodást

„szilárd” tápközegek felületén tanulmányozták, mert ilyen körülmények jellemzők a mikotoxin-veszély szempontjából főként szóba jövő terményekre/élelmiszerekre.

Gibson *et al.* (1994) *Aspergillus*-fajok telepeinek növekedési sebességét vizsgálták 30 °C-on a 0,810–0,995 közötti vízakktivitás-tartományban. A szaporodási adatokra elsődleges modellként Baranyi *et al.* (1993) baktériumszaporodási „dinamikus” modellje jó illeszkedést adott (3. ábra).

A 3. ábrából az is látható, hogy a szaporodáshoz kedvezőtlenül kis vízakktivitás mellett a telepek növekedése nemcsak sokkal lassúbb volt, mint a nagyobb, kedvező vízakktivitás mellett, hanem meg is állt.

3. ábra



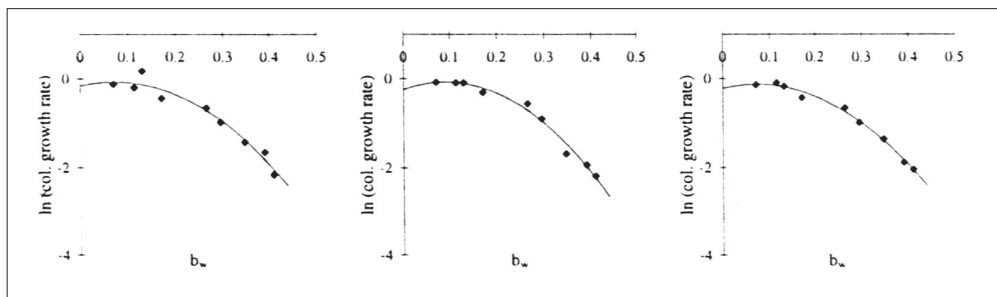
A penésztelep átmérőjének növekedése az idő függvényében.

Aspergillus flavus FRR 3084-es törzse

A: a szaporodásra kedvező vízakktivációs érték ($a_v = 0,913$) és B: a szaporodási minimumot megközelítő vízakktivációs érték ($a_v = 0,832$) mellett (Gibson *et al.*, 1994).

A görbe-illesztések Baranyi és munkatársai (1993) „dinamikus” baktérium-szaporodási modelljével történtek

4. ábra



A telepátmérő növekedése a vízakktivitás függvényében három *Aspergillus flavus* törzs esetében (a telepátmérő növekedési sebességének természetes alapú logaritmusa a különböző vízakktivítási értékeknél, b_w : transzformált vízakktivítási érték)

Forrás: Gibson et al., 1994

A telepátmérők maximális növekedési sebességének (mm/h) a vízakktivitás függvényében való jellemzésére (4. ábra) a

$$\ln g = C_0 + C_1 b_w + C_2 b_w^2 \text{ és } b_w = \sqrt{1 - a_w}$$

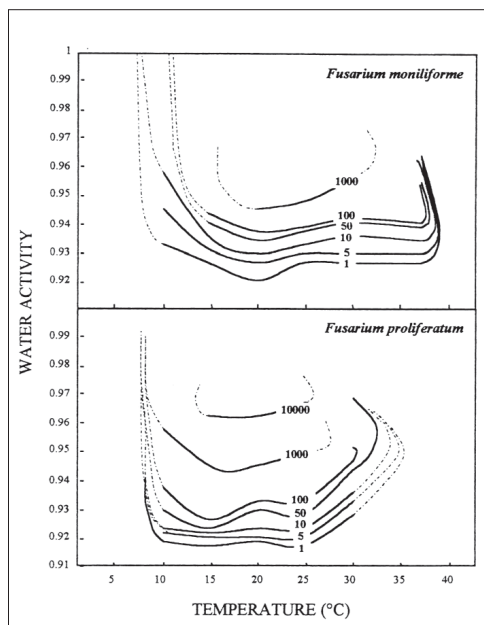
modell adott jó illeszkedést, ahol g = a maximális telepnövekedési sebesség, a C_i -k pedig az adott penészgombatorzsra jellemző értékek.

Egy másik penészgomba szaporodás-modellezési megközelítés *Rosso és Robinson (2001)* közleményében található, a *Rosso (1995)* által ajánlott, ún. „kardinális” modell használatával, amely a szaporodási környezeti jellemző kardinális (minimum, optimum, maximum) értékeinek ismeretén alapszik. Ez ugyancsak jó leírását adta számos penészgomba telepeinek sugárirányú növekedési sebessége és a vízakktivitás közötti kapcsolatnak.

Spanyol kutatók (*Marin et al., 2008*) számos penészgombával (köztük *Aspergillus flavus*-szal igazolták, hogy a telepátmérő és a biomassa ergoszterin-tartalmának négyzetgyöke között szignifikáns lineáris korreláció van, tehát mindkét paraméter használható lehet a penészgomba-szaporodás modellezéséhez.

Ami a toxinképzés modellezését illeti, *Marin et al. (1999)* *Fusarium moniliforme* és *Fusarium proliferatum* fumonizin B_1

5. ábra

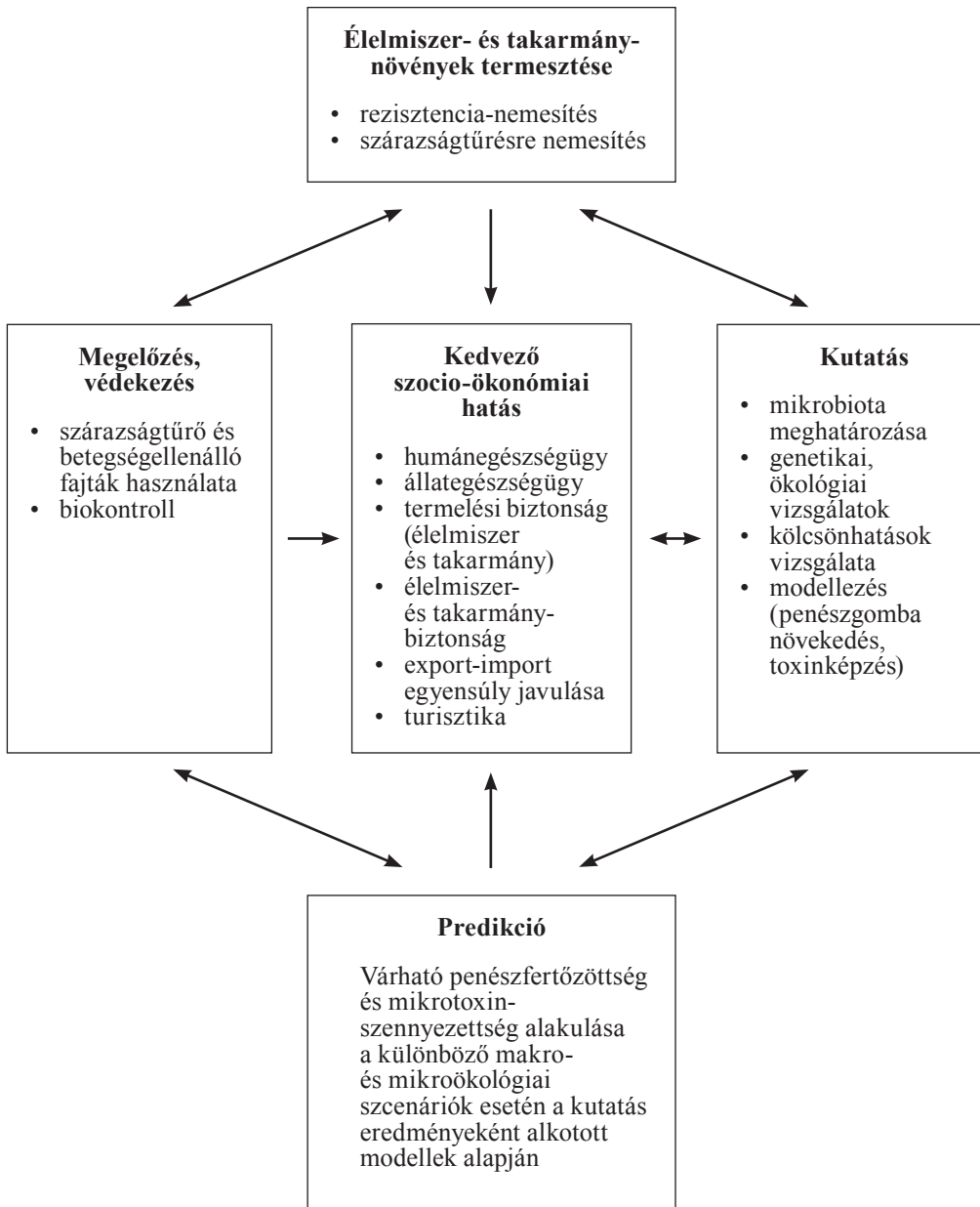


A vízakktivitás és a hőmérséklet hatása két *Fusarium*-faj fumonizin B_1 képzésére kukoricaszemeken.

Az ábrák „szintvonalai” a 28 napos inkubációs idő alatt elért fumonizin-koncentrációsintek ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) értékeinek megfelelők

Forrás: Marin et al., 1999

6. ábra



A mikrotóxin-kutatás, az élelmiszerbiztonság és a társadalmi hatások összefüggése

képzését vizsgálták a hőmérséklet és a vízaktivitás függvényében kukoricaszemeken. A két környezeti tényező együttes hatását a fumonizin B₁ képzésre a 5. ábra szemlélteti. Ezekhez a „hatásfelületekhez” a 15–30 °C hőmérséklet- és a 0,93–0,97 vízaktivitás-tartományokban harmadfokú polinomok jó illeszkedést mutattak.

A prediktív mikrobiológiai modellezés nagy problémája, hogy a modellekkel végezhető becslések kiterjesztése (extrapolálása) a modellek szerkesztéséhez használt mérési adatok és ökológiai paraméterek értéktartományán kívülre nem megbízható (Baranyi et al., 1996), pedig a szaporodás-toxinképzés szélsőértékei a gyakorlat számára különösen

fontosak. Baktériumszaporodási adatok esetén ezeknek a bizonytalan szélsőérték-sávoknak jobb becslésére a kinetikai és a valószínűségi modellek kombinált alkalmazásával értek el jobb eredményeket (Le Marc et al., 2005).

Az e fejezetben vázolt kezdeti eredmények biztatóak arra nézve, hogy lehetővé válhat a toxinogén penészgombák szaporodását és toxinképzését kvantitatívan is előre jelezni a hőmérséklet és a hozzáférhető víztartalom függvényében, azonban még sok további kutatómunka szükséges a kiindulási penészgomba-szennyezettség, az időtartam és a változó környezeti körülmények hatásának kielégítő biztonságú becsléséhez (6. ábra).

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) ANON. (2008): Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia, 2008–2025. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest. (2) BARANYI J. – ROBERTS T.A. – MCCLURE P.J. (1993): A non-autonomous differential equation to model bacterial growth. *Food Microbiol.* 10, 43-59. pp. (3) Baranyi J. – Ross T. – McMeekin T. – ROBERTS T.A. (1996): The effect of parametrisation on the performance of empirical models used. In *Predictive Microbiology. Food Microbiology*, 13, 83-91. pp. (4) BÁNÁTI D. – LAKNER Z. (2005): Analysis of an aflatoxin-caused food safety crisis in Hungary: actors and strategies. In: D. Barug (ed.): *The Mycotoxin Factbook*, 121- 138. pp. (5) BENFORD D. (2001): Principles of risk assessment of food and drinking water related to human health. ILSI Europe Concise Monograph Series. ILSI Europe, Brussels, Belgium, 34 p. ISBN 1-57881-124-4. (6) BRUNDTLAND G. H. (2007): Sustaining sustainable development. *IAEA Bulletin*, 49 (1) 12-14. pp. (7) CAST (2003): *Mycotoxins: Risks in plant, animal and human systems* (online). Council for agricultural Science and Technology, Ames, Iowa, USA. <http://www.cast-science.org/cast/pub/Mycotoxins.pdf> (8) CSL (2005): *Understanding and preparing for climate change. Prospectus*. Central Science Laboratory, Sand Hutton, York, U.K. (9) DANTIGNY P. (2004): Predictive mycology. In: R. C. McKellar, X. Lu (eds.) *Modelling Microbial Responses in Food*. CRC Press, Boca Raton, etc., 313-320. pp. (10) COMMISSION REGULATION (EC) No 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. (11) COMMISSION REGULATION (EC) No 472/2002 of 12 March 2002 amending Regulation (EC) No 466/2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. (12) COMMISSION REGULATION (EC) No 123/2005 of 26 January 2005 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards ochratoxin A. (13) EÜM 17/1999. (VI.16.) rendelet az élelmiszerke vegyi szennyezettségének megengedhető mértékéről. (14) FAZEKAS B. – TAR A. – KOVÁCS M. (2005): Aflatoxin and ochratoxin-A content of spices in Hungary. *Food Additives and Contaminants*, 22 (9) 856-863. pp. (15) FRISVAD J. C. – THRANE, U. (1996): Mycotoxin production by food-borne fungi. In: R.A. Samson – E.S. Hoekstra – J. C. Frisvad – O. Filtenberg (eds.): *Introduction to Food-Borne Fungi*. Fifth Edition. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn & Delft, 251-260. pp. (16) GIBSON A. M. – HOCKING A. D. (1997): Advances in the predictive modelling of fungal growth in food. *Trends in Food Science and*

Technology, 8, 353-358. pp. (17) GIBSON A. M. – BARANYI J. – PITT J. L. – EYLES M. J. – ROBERTS, T.A. (1994): Predicting fungal growth: the effect of water activity on *Aspergillus flavus* and related species. International Journal of Food Microbiology, 23, 419-431. pp. (18) GQUALINI N. – SMITH J. E. – LACEY, J. – GETTINGBY G. (1997) Effect of temperature, water activity, and incubation time on production of aflatoxins and cyclopiazonic acid by an isolate of *Aspergillus flavus* in surface agar culture. Applied and Environmental Microbiology, 63, 1048-1053. pp. (19) HOCKING A. D. (2003): Microbiological facts and fictions in grain storage. In: E. J. Wright – M. C. Webb – E. Highley (eds.): Stored Grain in Australia 2003. Proceedings of the Australian Postharvest Technical Conference, Canberra, 55-58. pp. (20) ICMSF (1996): Microorganisms in Foods: Microbiological Specifications of Food Pathogens. The International Commission on Microbiological Specifications for Foods. Blackie Academic & Professional, London, etc., ISBN 412 47350X; 513 p. (21) IPCC (2007): Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report. <http://www.ipcc.ch>. (22) JONSSON N. E. – JONSSON P. – RIZZO A. – OLSEN, M. – GUSTAFSSON L. – PETTERSSON H. – SCHNURER J. (2004): A mathematical model to predict the safe storage time of cereal grain. International Quality Grains Conference Proceedings, 1-5. pp. (23) KOVÁCS GÁBORNÉ – BATA Á. (1991): Szár- és csőfuzáriummal szemben rezisztens kukoricavonalak és hibridek elméleti és módszertani alapjainak kidolgozása, figyelemmel ezen növények toxin rezisztenciájára. OTKA No. 1750. Pályázat, zárójelentés, 51. p. (cit.: Mesterházy, 1998). (24) KOVÁCS F. – KOVÁCS M. (2003): Mikotoxinok élelmiszéregészségügyi vonatkozásai. In: Kovács F. – Bíró G. (szerk.): Élelmiszer-biztonság, EU-szabályozás. Agroinform Kiadó Budapest, 123-142. pp. (25) KÓHEGYI-SZÁNTAI K. – TORNAI-LEHOCZKI J. (2005): Comparison of the microbial community of air-cured and flue-cured Burley tobaccos. Acta Microbiologica & Immunologica Hungarica, 52 (Suppl.) 77. p. (26) LEE H.B. – MAGAN N. (2000): Impact of environment and interspecific interactions between spoilage fungi and *Aspergillus ochraceus* on growth and ochratoxin production in maize grain. Int. J. Food Microbiol. 61, 11-16. pp. (27) LLORENS A. – MATEO R. – HINOJO M.J. – LOGRIECO A. – JIMENEZ M. (2004): Influence of the interactions among ecological variables in the characterization of zearalenone producing isolates of *Fusarium* spp. System. Appl. Microbiol. 27, 253-260. pp. (28) MARIN S. – CUEVAS D. – RAMOS A.J. – SANCHIS V. (2008): Fitting of colony diameter and ergosterol as indicators of food borne mould growth to known growth models in solid medium. International Journal of Food Microbiology, 121, 139-149. pp. (29) MARIN S. – SANCHIS V. – RAMOS A.J. – VINAS I. – MAGAN N. (1998): Environmental factors, *in vitro* interactions, and niche overlap between *Fusarium moniliforme*, *F. proliferatum*, and *F. graminearum*, *Aspergillus* and *Penicillium* species from maize grain. Mycol. Res. 102 (7), 831-837. pp. (30) MARIN S. – SANCHIS V. – VINAS I. – CANELA R. – MAGAN N. (1995): Effect of water activity and temperature on growth and fumonisin B₁ and B₂ production by *Fusarium proliferatum* and *F. moniliforme* on maize grain. Letters in Applied Microbiology 21 (5), 298-301. pp. (31) MARIN S. – MAGAN N. – BELLINI N. – RAMOS A.J. – CANELA R. – SANCHIS V. (1999): Two-dimensional profiles of fumonisin B₁ production by *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum* in relation to environmental factors and potential for modelling toxin formation in maize grain. International Journal of Food Microbiology, 51, 159-167. pp. (32) MESTERHÁZY Á. (1997): A szántóföldi növények mikrobiális patogén szennyeződésének csökkentése, humán egészségügyi minőségének javítása. „AGRO-21” Füzetek, 14. 91-130. pp. (33) MESTERHÁZY Á. (1998): A penészgombák és a mikotoxinok vizsgálata. In: Kovács F. (szerk.): Mikotoxinok a táplálékláncban. MTA Agrártudományok Osztály, Budapest, 13-77. pp. (34) MILLES J. – KRÄMER J. – PRANGE A. (2007): *In vitro* competitive interactions of *Fusarium graminearum* with *Aspergillus ochraceus* and *Penicillium verrucosum* with regards to mycotoxin pro-

duction. *J. Food, Agric. & Environ.* 5, 384-388. pp. (35) MONTANI M.L. – VAAMONDE G. – RESNIK S.L. – BUERA P. (1988): Influence of water activity and temperature on the accumulation of zearalenone in corn. *Int. J. Food Microbiol.*, 6, 1-8. pp. (36) NORTHOLT M. D. – BULLERMAN L. B. (1982): Prevention of mold growth and toxin production through control of environmental conditions. *Journal of Food Protection*, 45, 519-526. pp. (37) NORTHOLT M.D. – FRISVAD J. C. – SAMSON R.A. (1996): Occurrence of food-borne fungi and factors for growth. In: R. A. Samson – E.S. Hoekstra – J. C. Frisvad – O. Filtenberg (eds.): *Introduction to Food-Borne Fungi*. Fifth Edition. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn & Delft, 243-250. pp. (38) NORTHOLT M.D. – VAN EGMOND H. P. – PAULSCH W. E. (1979): Ochratoxin A production by some fungal species in relation to water activity and temperature. *Journal of Food Protection*, 42, 485-490. pp. (39) PITT J. I. (1987): *Penicillium viridicatum*, *Penicillium verrucosum* and production of ochratoxin A. *Applied and Environmental Microbiology*, 53, 266-269. pp. (40) PITT R. E. (1995): A model of aflatoxin formation in stored products. *Trans. ASAE*, 38, 1445-1453. pp. (41) PITT J. I. – HOCKING A. D. (1997): *Fungi and Food Spoilage*. Second ed., Blackie Academic and Professional, London, 593 p. (42) RAMAKRISHNA N. – LACEY J. – SMITH J.E. (1996): The effects of fungal competition on colonization of barley grain by *Fusarium sporotrichoides* on T-2 toxin formation. *Food Add. Contam.* 13, 939-948. pp. (43) ROSSO L. (1995): Modelling and predictive microbiology: building of a new tool for food industry. PhD thesis (n° 197-95). Université Claude Bernard, Lyon-I, France (44) ROSSO L. – ROBINSON T.P. (2001): A cardinal model to describe the effect of water activity on the growth of moulds. *International Journal of Food Microbiology*, 63, 265-273. pp. (45) SZEITZNÉ SZABÓ M. (2007): A táplálékláncba került mikotoxinok populációs szintű egészségkockázatának elemzése, különös tekintettel a hazai forgalmazású paprika aflatoxin és ochratoxin tartalmára. Doktori (Ph.D.) értekezés, Kaposvári Egyetem Állattudományi Kar, Kaposvár, 107 p. (46) SZEITZNÉ SZABÓ M. – AMBRUS Á. – VANYUR R. – SZABÓ I. (2007): A paprika mikotoxin tartalma által jelentett egészségügyi kockázat becslése a magyarországi aflatoxin és ochratoxin vizsgálatok alapján. *Élelmiszervizsgáló Közlemények, különszám*, LIII, 19-37. pp. (47) UBRIZSY G. (szerk.) (1965): *Növénykórtan II.*, Akadémiai Kiadó, 793-802. pp. (48) VAN EGMOND H. P. (1996): Mycotoxins in food: analysis, detection and legislation. In: R. A. Samson – E.S. Hoekstra – J. C. Frisvad – O. Filtenberg (eds.) *Introduction to Food-Borne Fungi*. Fifth Edition. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn & Delft, 261-269. pp. (49) VARGA J. – KISS R. – MÁTRAI T. – TÉREN J. (2005a): Detection of ochratoxin A in Hungarian vines and beers. *Acta Alimentaria*, 34 (9) 381-392. pp. (50) VARGA J. – TÓTH B. – TÉREN J. (2005b): Mycotoxin producing fungi and mycotoxins in foods in Hungary in the period 1994-2002. Review. *Acta Alimentaria*, 34 (3) 267-275. pp. (51) WILSON M. T. (1999): A model for predicting mould growth and subsequent heat generation in bulk stored grain. *Journal of Stored Products Research*, 35(1) 1- 13. pp. (52) WMO (2007): *A Meteorológiai Világszervezet állásfoglalása az éghajlat 2006. évi állapotáról*. WMO-No.1016, Hungarian edition, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest

A TALAJOK KLÍMAÉRZÉKENYSÉGÉNEK VIZSGÁLATA A KUKORICA TERMÉSREAKCIÓI ALAPJÁN

MAKÓ ANDRÁS – MÁTÉ FERENC – SZÁSZ GÁBOR
– TÓTH GERGELY – SISÁK ISTVÁN – HERNÁDI HILDA

Kulcsszavak: klímaérzékenység, AIIR adatbázis, kukorica-termésreakciók, csernozjom talajok, barna erdőtalajok, réti talajok, vízellátottság.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Az AIIR (Agrokémiai Információs és Irányítási Rendszer) adatbázis talaj- és termésadatainak klimatológiai szempontú elemzését célzó munkánkban feltételeztük, hogy összevetve az éghajlati elemek változását a termésre gyakorolt hatással, a talajok klímaérzékenységére egyfajta mérőszám képezhető. Vizsgálataink hazai vonatkozásban az első olyan nagy adatbázison történt elemzések, amelyek a tudományosan különböző talajtaxonómiai szinteken elkülönített és különböző agrotechnikai eljárásokkal kezelt talajok statisztikailag igazolt termésátlagait vetette össze a klímaérzékenység jellemzésére, lehetővé téve a fenti mérőszámok („évjáratfaktorok”) országos területi általánosítását.

Eredményeink alapján megállapítható többek között, hogy a klímaváltozásokhoz való talajhasználati és agrotechnikai alkalmazkodást talajosztályozási egységenként eltérő eljárásokkal (vetésszerkezet, tápanyagellátás, vízgazdálkodás) lehet teljesíteni. A talajok vízgazdálkodása a klímaérzékenység döntő tényezője, ám a tulajdonságok érvényesülése a magasabb taxonómiai talajosztályozási szintek által kifejezett tulajdon-ságkomplexum által meghatározott.

Vizsgálataink az utóbbi években folytatott földminősítési munkáknak (a földminőség évjáratfüggőségének kifejezését célzó mutatók kidolgozásában) is új szempontokkal szolgálhatnak.

BEVEZETÉS

A talajok környezeti érzékenysége azt fejezi ki, hogy a talaj hogyan viselkedik a természeti eredetű vagy antropogén stresszhatásokkal szemben, mennyire és meddig képes azokat tompítani. A „hatás-specifikus környezeti érzékenység” ismeretében a stresszhatások következményei előre jelezhetővé, esetleg kiküszöbölhetővé válnak (Várallyay, 2003). A talaj környezeti érzékenysége stressz-specifikus talajtulajdonság, mely a többi talajparaméter, illetve a talajban lejátszódó élő és élettelen folyamatok függ-

vénye. Pontos jellemzéséhez szükséges tehát egyrészt a hatótényezők elkülönítése, másrészt az érzékenységet befolyásoló talajtulajdonságok felmérése, a hatásmechanizmusok feltárása. Mindezek alapján elkészíthetők a talajok különféle specifikus érzékenységi kategóriarendszerei, illetve megrajzolhatóak – az érzékenység térbeli megjelenítésére – a különböző tematikájú és méretarányú talaj-érzékenységi térképek (Várallyay, 2004a). A különböző stresszhatások általában nem egymástól függetlenül hatnak a talajokra, illetve a talajok érzékenysége különböző degradációs hatásokkal szemben – meghatározott

talajparaméterek és talajfolyamatok révén – összekapcsolódhat. Így például talajaink szerkezetleromlással és tömörődéssel szembeni érzékenysége összefügg-e a talajok víz- és szélérozóival szembeni érzékenységével, vagy éppen az aszály- és belvízérzékenységgel. (A fizikai talajféleség, kolloidtartalom, pH, rétegzettség stb. alapvetően meghatározza a szerkezetleromlás és tömörödés mértékét, mely folyamatok megváltoztatják a talajok vízgazdálkodási jellemzőit, ez viszont az erózió-, aszály- és/vagy belvízérzékenység felerősödését vonhatja maga után, *Várallyay, 1978, 2004b*). Általánosságban megállapítható, hogy a talajok környezeti érzékenységében megkülönböztetett, döntő szerep jut a talajok vízgazdálkodásának (*Várallyay, 1999*).

Az éghajlati ingadozás vagy a feltételezett klímaváltozás (és az ezt jellemző szélsőséges meteorológiai helyzetek) is tekinthetők a talajokra ható természeti eredetű stresszhatásoknak. Az elsősorban hőmérsékleti és csapadékviszonyokban fellépő anomáliák okozta stresszhatásokkal szembeni talajreakciók jellemzésére szolgáló hatás-specifikus környezeti érzékenység a talajok „klímaérzékenysége” (*Birkás et al., 2007*). A talajok klímaérzékenységének vizsgálatakor elsőként azt szükséges definiálni, hogy a talajnak mely éghajlati elemre való érzékenységét kívánjuk számszerűsíteni.

A feltételezett klímaváltozást jellemző hőmérséklet-emelkedés, éves átlagos csapadékcsökkenés és szélsőséges csapadékeloszlás talajokra gyakorolt legfontosabb hatásait *Várallyay (1998, 2005)* foglalja össze. Megállapításai szerint az éghajlati elemek megváltozása maga után vonja a talajok víz-háztartásának megváltozását: a növekvő hőmérséklet hatására például növekedhet az evapotranszpiráció, csökken a talajba beszivárgó és ott tárolódó víz mennyisége, nő az aszályérzékenység; a csökkenő mennyiségű vagy egyenlőtlen eloszlású csapadék hatására szintén csökken a talajokban visszatartott víz mennyisége, nő az aszályérzékenység, nő a száraz időszakokban a deflációra való hajlam, ugyanakkor a hirtelen lezúduló nagy-

mennyiségű csapadék a vízerózió vagy a belvíz kockázatát is növeli. Az éghajlat, a természetes növénytakaró és a terület víz-háztartásának változásával együtt a talajképződési és talajpusztulási folyamatok iránya és intenzitása is megváltozhat.

Birkás et al. (2007) a talajok klímaérzékenységét csökkentő talajművelés feladatait foglalják össze (vízforgalmat gátló tömörödés elkerülése, rögzépződés és porosodás megakadályozása, párologtató talajfelület csökkentése, illetve takarása).

A talaj-klíma kölcsönhatások kvantifikálására korlátozottak a lehetőségeink. Közvetett módon, különböző talajadottságok mellett rögzített többéves meteorológiai és termésadatsorokból ugyan következtethetünk az éghajlat okozta terméshingadozások talajtani összetevőire, ám mindvégig szem előtt kell tartanunk azt a tényt, hogy egyrészt az éghajlat okozta terméshingadozásoknak egyéb (pl. növénykórtani, növényélet-tani) összetevői is vannak, másrészt hogy az egyes évjáratok közt nem csak meteorológiai különbségek lehetnek (pl. fajtakülönbségek, vadkár, növénytermesztési és talajművelési hibák stb., *Jolánkai, 2005; Pepó, 2005*).

Az éghajlat növénytermesztésre gyakorolt hatása összetett: tekinthető feltételrendszernek (meghatározza, hogy mely növények mikor termesztethetők), erőforrásnak (széndioxid és vízellátás szabályozása, fotoszintézis energiaszükségletének biztosítása) és kockázati tényezőnek is (az éghajlati elemek extrém értékei) (*Varga-Haszonits, 2003*). *Kismányoky (2005)* a termés nagyságát meghatározó átlagos talaj:klíma hatásarányt 0,7:0,3 értékre becsülte. Általában elmondható, hogy az időjárási szélsőségek (légköri kedvezőtlen hatások) fokozódó tendenciát mutatnak, amely a termések ingadozásának növekedését vonja maga után (a terméshingadozás intervalluma a nagy termőképességű fajtáknál tovább nő). A talaj-növény-levegő rendszer időjárásfüggése eltérő időskálájú (a talaj növénytermesztés szempontjából fontos állapotváltozásai viszonylag lassabbak a levegő ilyen szempontú változásaival szemben);

a különböző mértékben késleltetett kedvező vagy kedvezőtlen irányú talaj- és levegő-állapotváltozások integrált módon hatnak a növényi szervezetre (Szász, 2005a).

Számos hazai és nemzetközi tanulmány készült abból a célból, hogy feltárja a növényi produkcióban bekövetkező változások okát adott növényfajok (fajták), talajok és klímascenáriók esetében. Késmárki *et al.* (2005) karbonátos mosonmagyaróvári Duna öntéstalajokon vizsgálták a klímaváltozás hatásait őszi búza, kukorica és lucerna terméseredményeire. Igazolták többek közt a kukoricafajták tenyészidőhosszának – évjáráthatástól független – termésmenvelő hatását, illetve az altalajvíz talajaszályt csökkentő szerepét. Varga-Haszonits és Varga (2005) Nyugat-Magyarország területén vizsgálták a klíma és a kukorica terméshozamának kapcsolatát. A meteorológiai állomások meteorológiai adatainak és a Központi Statisztikai Hivatal termésadatainak alapuló elemzések nem tették ugyan lehetővé a talajtípusonkénti klímahatások elkülönítését, de tájékoztató adatul szolgálhatnak a Nyugat-Magyarországra általánosságban jellemző erdőtalajok klímaérzékenységről. A szerzők megállapítják, hogy a vizsgált területen (mely az ország legnedvesebb területe) elsősorban a nedvességellátottság játszik szerepet a kukoricatermés kialakításában. A tenyészidő hossza és a termésmennyiség közt általában gyenge kapcsolatot találtak, ami – véleményük szerint – a termikus tényezők másodrendű szerepére utal a termés kialakításában. A nedvességviszonyokat az ún. „csapadék-párolgás index”-szel jellemezve optimum-görbén ábrázolták a túlságosan nagy és kicsi vízellátottság terméscsökkentő hatását. Harnos N. (2003) és Harnos Zs. (2005) a globális klímaváltozás őszi búza termesztésére gyakorolt hatását vizsgálták – Győr-Moson-Sopron megye és Hajdú-Bihar megye közel harmincéves időjárás és termésadatai alapján tesztelt – szimulációs modellekkel. Megállapították, hogy a vizsgált klímaváltozási scenáriók mellett jelentős (akár 20%-os) búzatermés-csökkenés is bekövetkezhet. Jo-

lánkai *et al.* (2003) csernozjom talajon beállított búzakísérletek (1996-2002) klimatikus és termésadatait vizsgálták. Megállapították, hogy az éves csapadékmennyiség nem mutatott kapcsolatot a búza termésmennyiségével, viszont a tenyészidő csapadékellátottsága és a termésátlag közt szoros összefüggést mutattak ki. A terméseredmények nagysága és ingadozása nagymértékben függött az alkalmazott agrotechnikai kezelésektől és a (nitrogén) műtrágyázás szintjétől. Farkas *et al.* (2005; 2008) és Hernádi *et al.* (2008) a csernozjom talajok vízforgalmának klímaérzékenységét vizsgálták a SWAP szimulációs modell alkalmazásával. Pepó (2005) tiszántúli – elsősorban csernozjom és réti – talajokon beállított növénytermesztési kísérletek (1985-2003) terméseredményeit elemezte az évjáráthatások szempontjából. Az őszi búza esetében megállapította, hogy az időjárási elemek (elsősorban a csapadékhiány) hatása interaktív és kumulatív módon jelentkezett (pl. az időjárás kedvezőtlen hatásait az optimális műtrágyázás tompította, vagy a kedvezőtlen elővetemény-hatás aszályos évben felerősödött). Kukorica esetében a szerző a növény vízellátásának a termés nagyságát döntően meghatározó szerepéről számol be (a kedvező műtrágya-, illetve elővetemény-hatások csak a megfelelő vízellátottság mellett voltak igazolhatóak). Kismányoky (2005) Rammann-féle barna erdőtalajon (Keszthely) beállított, több évtizede folyó tartamkísérletek terméseredményeit dolgozta fel és elemezte a klímaváltozékenység szempontjából. Őszi búza esetében azt tapasztalta, hogy száraz években az évek átlagához képest a termés mennyisége igazolhatóan nem csökkent. Az átlagosnál nedvesebb évjáratokban ugyanakkor – feltételezhetően kórtani okok miatt – a termésmennyiség szignifikánsan csökkent. Kukoricánál a száraz és nedves évek közötti terméskülönbségek lényegesen nagyobbak mutatkoztak (azonos agrotechnikai viszonyok mellett a kukorica termése kedvező csapadékos évjáratban közel kétszerese volt a csapadékhiányos évek termésének). A két növény klímareakciója közötti különbséget

a szerző alapvetően a tenyészidőszak hosszával, illetve csapadékeloszlásával magyarázta.

Szász (2005a) 23 talajtáj, illetve körzet búza- és kukoricaterméseinek hosszú idősoros (1961-1990) alakulását vizsgálta. A terméseredmények alapján megállapította, hogy a kukoricánál a talajérzékenység lényegesen nagyobb, mint a klímával szembeni reakció, míg a búzatermésátlagok ingadozásáért nagyobb mértékben a klímahatás felelős. Vizsgálatai alapján *házánk területén* – a klímahatások közül – a csapadékelátottság dönti el a termésingadozások nagyságát, a hőmérséklet e téren csak másodlagos szerepet tölt be. Statisztikai módszerekkel (többváltozós lineáris regresszió) talajtájanként vizsgálta a termésnövekedés harmincéves trendjétől való eltérések kapcsolatát a (növénytermesztés szempontjából) fontos klimatikus paraméterekkel. A hosszú idősoros, nagy adatbázison végzett vizsgálatok a talajok klímaérzékenységeinek kutatásában hiánypótlónak tekintendők, ugyanakkor meg kell említenünk, hogy a kutatási eredmények talajtani szempontból többé-kevésbé heterogén talajtakarójú talajtájak átlagterméseire vonatkoznak (csak a talajtáj uralkodó talajtípusát ismerjük, az egyes talaj-előfordulásokhoz köthető termésadatokról, ezek változásairól nincsen információink).

Az elégtelen csapadékelátottság okozta aszályhelyzetek és a talajok termékenységeinek kapcsolatával számos szerző foglalkozott. *Ruzsányi (1996)* tanulmányában – szakirodalmi ismeretek alapján – összefoglalta az aszályhatás növénytermesztés-tani hatásait. Bemutatta az ország kilenc meteorológiai körzetének aszályhajlamát és a főbb szántóföldi növények (kukorica, búza, cukorrépa, napraforgó) aszályérzékenységét. Az elemzések során a körzetekhez tartozó – járási (esetenként megyei vagy gazdasági) statisztikai adatokon alapuló – átlagterméseket vetette össze a csapadékelátottsággal, négy évjáráttípusra leegyszerűsítve a csapadékelátottságot (átlagos, aszályos, száraz, csapadékos). Többek között a körzetek jellemző

talajtípusainak vízgazdálkodási tulajdonságaival magyarázta az egyes növények és körzetek eltérő aszályérzékenységét. A tanulmány feldolgozza négy OMTK kísérleti hely tízéves csapadékelátottság- és termésadatsorait, illetve a DATE növénytermesztési tartamkísérleteinek adatait a talaj-specifikus aszályérzékenység pontosítására, illetve az elővetemény-hatás aszályérzékenységet befolyásoló hatásának értékelésére. *Varga-Haszonits (2003)* és *Varga-Haszonits et al. (2005)* az OMSZ 15 állomásának ötvenéves meteorológiai adatait elemezve vizsgálták a szélsőséges csapadék-, párolgás- és talajnedvesség-értékeket, ezeket összevetették a növények vízigényére vonatkozó korábbi irodalmi adatokkal (pl. *Szalóky, 1991; Cselötei, 1998; Varga et al., 2001*); a klímaadatsorok termésadatsorokkal való összevetésére azonban nem volt módjuk. Az *Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek* (OMTK) kilenc kísérleti helyén a talajok tápanyag-elátottság és aszályérzékenységét *Debreczeni (1987)* hasonlította elsőként össze. *Debreczeni et al., (2006)*, illetve *Debreczeniné és Makó (2008)* a tartamkísérletek 34 éves adatsorain vizsgálta többváltozós statisztikai módszerekkel a trágyázatlan és optimális műtrágyakezeléseket kapott parcellákon az őszi búza és kukorica-terméseredmények csapadékelátottsággal való kapcsolatát. Az agrometeorológiai év, a növényekre jellemző tenyészidő és a kritikus időszak csapadékelátottságának termésmennyiségre gyakorolt hatását elemezve a tenyészidő csapadékelátottságának döntő szerepét igazolták.

A növények vízellátottságának jellemzésére széles körűen elterjedt mutatók a csapadék nagyságát és a párolgási feltételeket egyidejűleg kifejező szárazsági vagy aszályindexek. *Szász (1991, 2005b)* a nyári hónapok vízellátottságának jellemzésére vezette be az ún. VE (vízellátottsági érték) függvényt, mely a nyarat megelőző XI-IV. hó csapadékának és a nyári klimatikus vízmérleg adatainak összegét mutatja. A VE-érték egy adott helyen is tág határok között váltakozhat az évjáráttól függően. A szerző vizsgálatai alapján szoros

kapcsolatot mutat a talajok nedvességtartal-mával, és elsősorban az egynyári növények (pl. kukorica, napraforgó, cukorrépa) vízellátottságának becslésére alkalmas.

Az időjárás változékonyság termésátla-gokban megjelenő ingadozásának vizsgálatá-ra több mint 80 éves megyei szintű országos termésátlag-adatsorok (búza, kukorica, árpa, szőlő) és klímaadatsorok elemzését teszi le-hetővé a készülő KLIMAKKT (Környezet – Kutatás – Társadalom) adatbázis (*Szenteleki, 2007*). Sajnálatos módon a megyei átlagada-tokat tartalmazó adatbázis sem teszi lehetővé a klimatikus hatásokra bekövetkező termés-ingadozások talajtípusonkénti értékelését.

A talajok klímaérzékenységének vizs-gálata keretében a csapadék- és párolgás-viszonyoktól függő vízellátottságának a terméseredményekre gyakorolt hatását tanul-mányoztuk az AIIR (*Agrokémiai Informáci-ós és Irányítási Rendszer*) országos adatbázis táblaszintű adatait, illetve a táblákhoz ren-delhető meteorológiai körzetek állomásainak éghajlati adatait felhasználva. Az egyesített adatbázis egyedülálló lehetőséget kínált a klímahatások talaj-specifikus termésreakció-inak tanulmányozására. Jelen közleményünk a kukorica vízellátottságának a termésered-ményekkel való kapcsolatát kívánja bemutat-ni csernozjom, réti és erdőtalajokon.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Statisztikai vizsgálatainkhoz a nagyszá-mú, táblaszintű, talajtulajdonságokhoz köt-hető termésadatot az Agrokémiai Informá-ció és Irányítási Rendszer (AIIR) adatbázis nyújtotta. Az AIIR adatbázist a *Növény- és Talajvédelmi Szolgálat*, illetve annak elődje a múlt század 80-as éveiben hozta létre a kü-lönböző szakhatósági vizsgálatok, talajtér-képezési, táblatorzskönyvi és termésadatok gyűjtésével; az adatok PC alapú adatbázisba szervezése a 90-es évek végén történt meg. Földhasználati egységenként ötéves agro-technikai és termésadatok, illetve talajvizs-gálati adatokat tartalmaz (~300 000 rekord

az 1985-89. évekből). Az AIIR adatbázis nyújtotta a kiindulási alapot a D-e-Meter földminősítési rendszer vízgazdálkodási és talajbonitációs moduljának megalkotásához (*Tóth – Máté, 1999; Tóth, 2001; Debreczeni et al., 2003; Makó et al., 2007a*).

Ahhoz, hogy az AIIR adatbázis korláto-zott talajtani információit vízgazdálkodási szempontból értékelhessük, illetve a víz-gazdálkodási tulajdonságokat a talajok ter-mékenységével összevethessük, először a Várallyay-féle FVV (10x10) vízgazdálkodási kategóriamátrix öt kategóriakódra leegyszerűsített, könnyebben becsülhető (öt számje-gyű, max. tízfokozatú vízgazdálkodási *kat-e-góriamátrix*) változatát hoztuk létre, majd a TIM adatbázison statisztikai klasszifikációs módszerekkel *csoportbecslési eljárást* dolgoztunk ki arra, hogy a talajgenetikai infor-mációk és a talajtani alapvizsgálati adatok felhasználásával a talajokat a vízgazdálko-dási kategóriamátrix szerinti kódszámokkal jellemezzük (*Várallyay, 1982; Makó et al., 2007b*). Ezáltal az AIIR adatbázis talajai-hoz is hozzárendelhetünk vízgazdálkodási kategóriakódokat. (A TIM adatbázis az or-szág teljes mezőgazdasági és erdőterületét reprezentáló 1236 mintavételi ponton feltárt talajszelvények fizikai és kémiai adatait tar-talmazza, genetikai szintenként, *Várallyay, 1995*).

A csapadék- és párolgásadatokon alapu-ló, a növények nyári vízellátottságát kifeje-ző Szász-féle vízellátottsági értékek (VE) 15 meteorológiai állomásról álltak rendelkezé-sünkre. Az AIIR adatbázisból kiválasztottuk azokat a táblaszintű kukorica-termésadato-kat, melyek a meteorológiai körzetbeosztás alapján megfeleltethetők voltak a 15 állomás egyikével, majd az 1985-1989. évek megfele-lő VE-értékét hozzárendeltük egy, a növé-nyi vízellátottságot (vagy közvetve a talajok nedvességtartalmát) kifejező paraméterként a termésadatokhoz. A VE-értékekből *Szász (1991, 2005b)* alapján vízellátottsági kategó-riaváltozót is képeztünk (száraz év: VE < 20; normál év: VE = 20-40; csapadékos év: VE > 40).

A fentiek szerint kiegészített, illetve a 15 kiválasztott meteorológiai körzetre, három főtípusra (erdőtälajok, csernozjom talajok és réti talajok) leszűkített AIIR adatbázison statisztikai módszerekkel vizsgáltuk a – kiválasztott – kukoricánövény (csapadék- és hőmérsékleti viszonyoktól függő) vízellátottságának a terméseredményekkel való kapcsolatát. Elsőként többszemponos varianciaanalízissel (GLM UNIANOVA, SPSS 13.1) vizsgáltuk, mely talajtani, növénytermesztési és éghajlati tényezők hozhatók kapcsolatba a kukorica-terméseredmények alakulásával. Az eredmények alapján ezután vizsgáltuk néhány kiválasztott talajcsoport termésadatainak a terméseredményekhez köthető évjárat vízellátottságával való összefüggését (GLM UNIANOVA, One-way, Duncan-teszt – SPSS13.1).

Tanulmányoztuk továbbá a táblaszintű termésadatok nagyságának a kukorica előveteményétől, illetve a hektáronként kijuttatott NPK műtrágya mennyiségétől való függését a különböző vízellátottságú évjáratokban. Hasonlóképpen összevetettük néhány kiválasztott talaj-vízgazdálkodási kategória terméseredményeit különböző vízellátottságú évjáratokban.

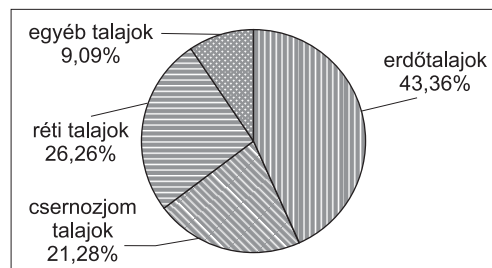
Végül a vizsgált és a terméseredmények alakulása szempontjából legfontosabbnak ítélt talajtani (altípus, fizikai talajféleség, humusztartalom-kategória, mésztartalom-kategória, pH-kategória, vízgazdálkodási kategória) és növénytermesztés-tani (hektáronként kijuttatott NPK-műtrágya-kategória, elővetemény) paraméterek alapján az adatbázist kisebb csoportokra bontottuk, majd meghatároztuk e csoportok ötéves adatsorának átlagértékét. Ezután az egyes táblák kukorica-termésadatait elosztottuk a táblákhoz tartozó csoportátlagokkal, így egy (általában 0 és 2 érték közt változó) ún. „évjáratfaktort” képeztünk. Vizsgáltuk az „évjáratfaktor” alakulását főtípusonként és fizikai talajféleségenként a különböző vízellátottságú évjáratokban.

AZ EREDMÉNYEK

Az 1. ábrán bemutatjuk a (15 meteorológiai körzetre leszűkített) AIIR adatbázis (1985-89) kukorica termőterületeinek területi megoszlását talaj-főtípusonként. A kukoricatáblák csaknem fele (43%) erdőtälaj, kb. egyenlő mennyiségben található csernozjom (21%) és réti (26%) talaj. Ez a három főtípus több mint 90%-ban lefedi a termőterületet, egyéb főtípusokba tartozó talajok csupán 9%-ban fordulnak elő. Ugyanakkor a 2. ábrán megfigyelhetjük, hogy az egyes meteorológiai körzetekben a főtípusok megoszlása meglehetősen egyenetlen: a Dunántúlon (a Kisalföld területeit leszámítva) főként erdőtälajokat találunk, míg az Alföld kiválasztott meteorológiai körzeteiben (a nyírségi területek kivételével) a réti és csernozjom talajok uralkodóak.

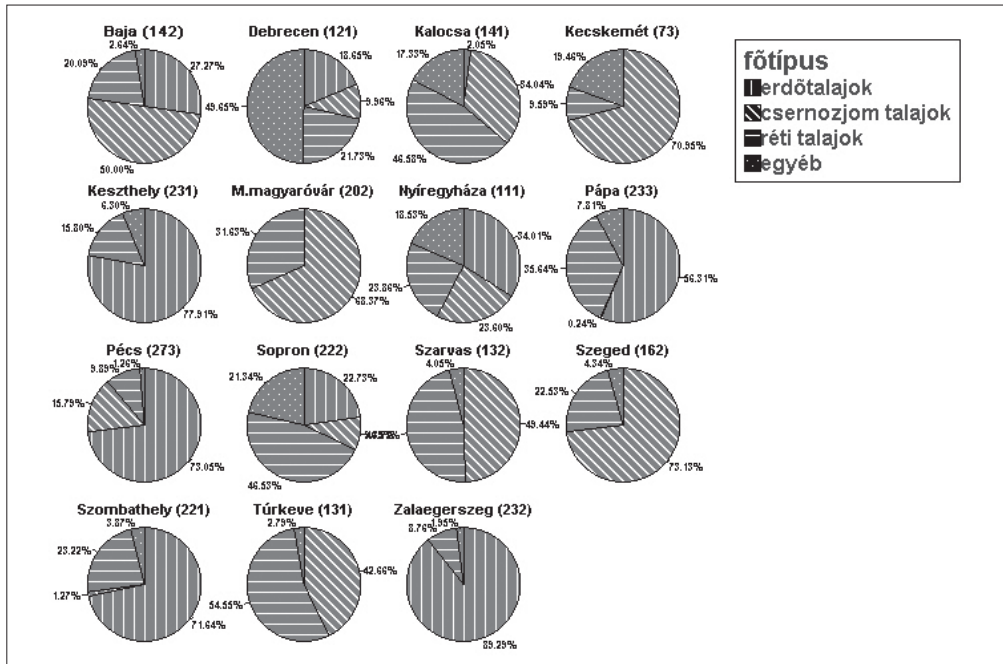
Az egyes főtípusokon belül rendkívül változatos az egyes talaj-altípusok területi megoszlása. A 3. ábra alapján megállapítható, hogy a vizsgált adatállományban az erdőtälajok közül a típusos Ramann-féle barna erdőtälajok és a nem podzolos agyagbemosódásos barna erdőtälajok az uralkodóak; nagyobb területen találhatóak még rozsdabarna erdőtälajok és csernozjom barna erdőtälajok. (Az ábrán feltüntetett területadatok az ötéves kukorica-termőterületek összegei.) A csernozjom talajok közt a karbonátos réti csernozjom talajok jellemzőek a leginkább; nagy

1. ábra



A talaj-főtípusok területi megoszlása a vizsgált meteorológiai körzetekben a kukorica-termőterületen (1985-89)

2. ábra



A három talaj-főtípus területi megoszlása meteorológiai körzetenként a kukorica-termőterületen (1985-89)

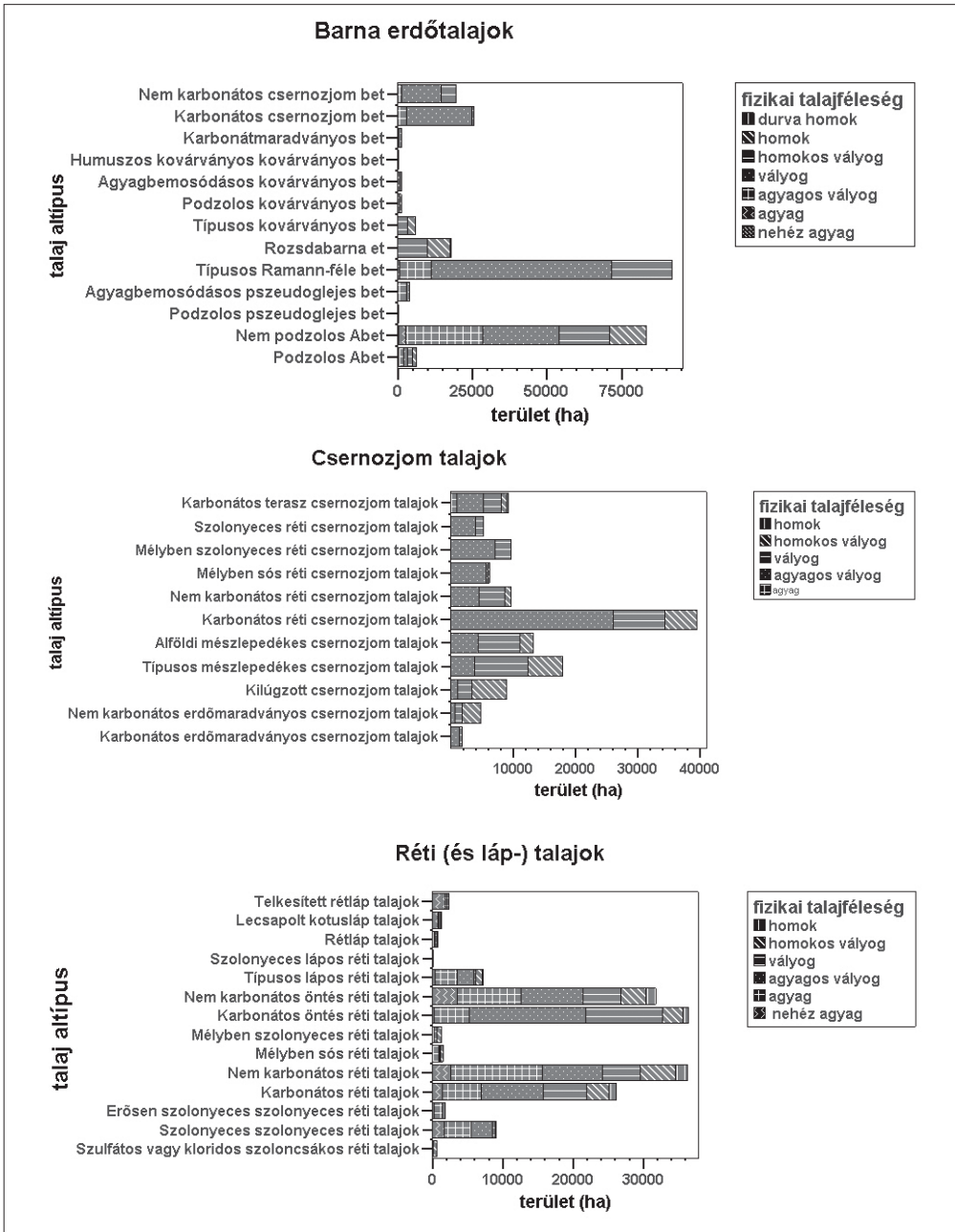
területeken találunk még típusos mészlepedékes csernozjom talajokat, alföldi mészlepedékes csernozjom talajokat, karbonátos terasz csernozjom talajokat, mélyben szolonyeces és nem karbonátos réti csernozjom talajokat. A hidromorf réti (és láp-) talajok közül a karbonátos és nem karbonátos típusos réti talajok és a karbonátos és nem karbonátos öntés réti talaj fordul elő leginkább.

A 3. ábra a kukorica-termőterületek talajainak fizikai talajféleség szerinti területi megoszlását is bemutatja az egyes altípusok szerint. A fontosabb altípusokat tekintve megállapítható, hogy a felső szántott réteg (hiszen az AIIR adatbázis erre vonatkozóan nyújt talajtani információt) fizikai talajfélesége az erdőtalajoknál főként vályog (az agyagbemosódásos barna erdőtalajok esetében találunk nagyobb területen agyagos vályogot, a rozsdabarna erdőtalajoknál homokos

vályogot, homokot), a csernozjom talajoknál általában az agyagos vályog fizikai féleség az uralkodó (a típusos és alföldi mészlepedékes csernozjomokon belül a vályog fizikai féleség a hangsúlyosabb). A réti talajoknál talán a legváltozatosabb a különböző fizikai féleségű talajok területi megoszlása (összeségében azonban az agyagos vályog, agyag textúrájú talajok fordulnak elő többségben). A 3. ábrán feltüntetett területi megoszlások – statisztikai vizsgálataink szerint – jól követik ($R^2 \sim 0,7-0,9$ főtípusonként vizsgálva) a mezőgazdasági üzemi táblák száma szerinti megoszlásokat (az AIIR adatbázis egy-egy adatsora egy-egy üzemi táblára vonatkozó információt tartalmaz).

A Szász-féle vízellátottsági értékeket (VE) a vizsgált 15 meteorológiai állomás körzetében az 1882-2005 időszakra kiszámoltuk. A 124 éves adatsorok középértékeit, illetve

3. ábra



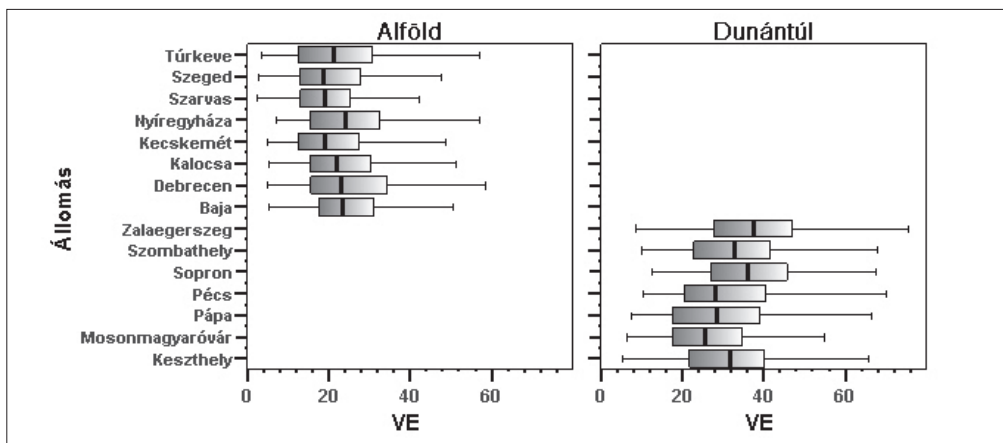
A három talaj-főtípus területi megoszlása talaj-altípusonként és fizikai talajféleségenként a vizsgált meteorológiai körzetekben a kukorica-termőterületen (1985-89)

szórását az alföldi és dunántúli meteorológiai állomásokra külön bontva a 4. ábrán mutatjuk be. Megállapítható, hogy az alföldi meteorológiai körzetek átlagos vízellátottságára inkább száraz évek jellemzőek (VE ~ 20), míg a Dunántúlon az átlagos vízellátottság a normál évekre jellemző (VE ~ 25-35). Az egyes évjáratok közt igen nagyok a különbségek meteorológiai körzetenként is. Az AIIR adatbázis által reprezentált öt évre (1985-89) számolt vízellátottsági értékeket az 5. ábrán mutatjuk be. Látható, hogy bár országos átlagban az 1987-es év csapadékosnak, az 1988-as inkább száraznak volt tekinthető, a vízellátottság mértéke közt meteorológiai körzetek szerint nagyfokú különbségek mutatkoztak.

A továbbiakban bemutatjuk a vízellátottság, a talajtulajdonságok és növénytermesztési (agrotechnikai) különbözőségeket kukoricatermesre gyakorolt hatásának vizsgálati eredményeit. A talajtulajdonságok hatásának értékelésére az AIIR adatbázis egyedülálló lehetőséget nyújt: táblaszinten rendelkezünk termésadatokkal és hozzájuk rendelhető (a felső szántott rétegből származó) talajvizsgálattal adatokkal (fizikai talajféleség, mésztartalom, pH, humusztartalom, összes sótartalom).

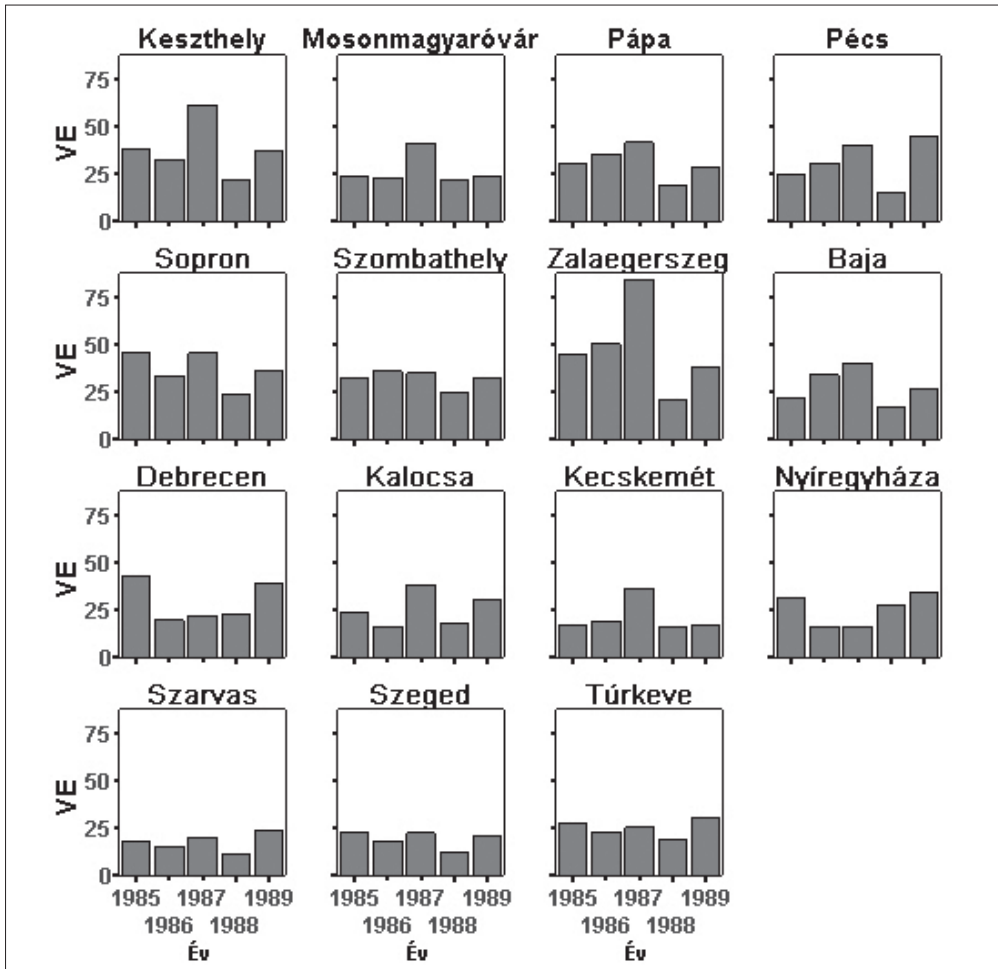
Ismerjük továbbá (ugyancsak táblaszinten) a jellemző talaj-altípust, mely közvetve fontos információkat nyújt a talajok egyéb (az AIIR adatbázis adatainak gyűjtése során nem mért) talajparamétereiről, mint például a talajok szerkezete, tömördőtsége, rétegzettség, talajvíz átlagos mélysége stb. Mivel a talaj genetikai tulajdonságai (amelyek a főtípus, típus, altípus rendszertani egységekben kerülnek kifejezésre) ezen – a növénytermesztés szempontjából kiemelkedően fontos – talajtulajdonságok integrált kifejezőjének tekinthetők, az elemzések során kategóriaváltozóként hangsúlyosan figyelembe vettük azokat. A többi, mért talajparaméterből is – a talajterképezési módszertan szerint – kategóriaváltozókat képeztünk a statisztikai vizsgálatokhoz (*Debreczeni et al., 2003; Makó et al., 2007a*). Ugyancsak kategóriaváltozóként vizsgáltuk a táblák talajainak becsült vizsgáldokodási kategóriáját. Az agrotechnikai paraméterek közül a kijuttatott NPK műtrágya és az elővetemény hatását tanulmányoztuk (a kijuttatott NPK műtrágyát 100-as fokozatú skálán szintén kategóriákra osztottuk). A fenti kategóriaváltozók bevonásával elvégzett többszempontú varianciaanalízis eredménye azt mutatta, hogy az AIIR adatbázis

4. ábra



A Szász-féle vízellátottsági értékek alakulása a 15 meteorológiai állomás körzetében (1882-2005)

5. ábra



A Szász-féle vízellátottsági értékek alakulása a 15 meteorológiai állomás körzetében (1985-1989)

1985-89. évi kukoricaterméseinek alakulására a vizsgált 15 meteorológiai körzetben statisztikailag igazolható hatása volt mind a fontosabb talajtulajdonságoknak (kiemelhető ezek közül az altípus, a humusztartalom és a fizikai talajfűleség vagy a becsült vizgázoldási kategória hatása), mind a kijuttatott NPK műtrágyának, mind pedig az előveteményeknek. Ugyancsak szignifikáns hatása volt igazolható a táblák vízellátottsági értéke-

nek (VE). Mindemellett megállapítható volt, hogy bár a fenti bonyolult modell a vizsgált paraméterek kukoricatermesre gyakorolt hatását egyértelműen igazolta, mégsem pontos (az egyes független változók kölcsönhatásait is figyelembe véve, lineáris hatásokat feltételezve $R^2 \sim 0,5$). Ez azt mutathatja egyrészt, hogy a kukoricatermések nagyságát meghatározó valamennyi tényezőről (pl. vetéshiba, fagykár, növényvédelmi problémák, fajtakü-

1. táblázat

**A kukorica-termésátlagok összehasonlítása főtípusonként,
fizikai talajféleségenként és vízellátottság szerint
a 15 meteorológiai állomás körzetében
(1985-1989)**

| KUKORICATERMÉS (t/ha) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|----|---|--------|------|----|----------------|----|------|-------|----|---|------|---|---|
| Víz- ellátottság (VE) | Fizikai talajféleség | | | | | | | | | | | | | | |
| | homokos vályog | | | vályog | | | agyagos vályog | | | ÁTLAG | | | | | |
| | ERDŐTALAJOK | | | | | | | | | | | | | | |
| száraz év | 4,61 | a | A | a | 4,89 | a | A | Ab | 5,26 | a | A | b | 4,76 | a | A |
| átlagos év | 6,06 | b | A | a | 6,81 | b | B | b | 6,68 | b | A | b | 6,54 | b | A |
| nedves év | 6,18 | b | A | a | 6,78 | bB | C | b | 6,33 | b | A | a | 6,51 | b | A |
| ÁTLAG | 5,8 | | A | a | 6,58 | | B | b | 6,55 | | BC | b | 6,32 | | A |
| CSERNOZJOM TALAJOK | | | | | | | | | | | | | | | |
| száraz év | 5,34 | a | B | a | 5,55 | a | B | a | 6,68 | a | B | b | 6,02 | a | B |
| átlagos év | 6,06 | ab | A | a | 6,88 | b | B | b | 6,69 | a | A | b | 6,59 | b | A |
| nedves év | 6,49 | b | A | a | 7,18 | b | C | a | 7,07 | a | B | a | 7,06 | c | B |
| ÁTLAG | 5,76 | | A | a | 6,57 | | B | b | 6,72 | | C | b | 6,42 | | A |
| RÉTI TALAJOK | | | | | | | | | | | | | | | |
| száraz év | 5,37 | a | B | a | 5,60 | a | B | ab | 6,12 | a | B | b | 5,77 | a | B |
| átlagos év | 6,21 | b | A | a | 6,50 | b | A | ab | 6,59 | b | A | b | 6,49 | b | A |
| nedves év | 6,22 | b | A | a | 6,36 | b | A | a | 6,51 | ab | A | a | 6,38 | b | A |
| ÁTLAG | 5,99 | | A | a | 6,28 | | A | b | 6,48 | | A | b | 6,31 | | A |
| MINDHÁROM TALAJ (ERDŐ-, CSERNOZJOM ÉS RÉTI TALAJOK) | | | | | | | | | | | | | | | |
| száraz év | 5,02 | a | | a | 5,28 | A | | a | 6,42 | a | | b | 5,57 | a | |
| átlagos év | 6,09 | b | | a | 6,76 | B | | b | 6,65 | a | | b | 6,54 | b | |
| nedves év | 6,21 | b | | a | 6,75 | B | | b | 6,50 | a | | b | 6,55 | b | |
| ÁTLAG | 5,83 | | | a | 6,52 | | | b | 6,58 | | | b | 6,34 | | |

Jelmagyarázat: **a-c:** Duncan-teszt eredményei (egy talaj-főtípuson és fizikai féleségen belül a vízellátottsági évtípusok terméseinek összehasonlítása);

A-C: Duncan-teszt eredményei (egy vízellátottsági évtípuson és fizikai féleségen belül a talaj-főtípusok terméseinek összehasonlítása);

a-b: Duncan-teszt eredményei (egy vízellátottsági évtípuson és talaj-főtípuson belül a fizikai talaj-féleségek terméseinek összehasonlítása)

Két érték közt akkor van szignifikáns eltérés (P = 5%), ha a mellettük feltüntetett betűjelek különbözőek.

lönbségek stb.) nincsen információnk, másrészt hogy a hatások nem lineárisak.

Ezután külön-külön vizsgáltuk az egyes – a többszempontú varianciaanalízis alapján különösképpen fontosnak mutatkozó, a kukorica termés nagyságának változásával szoros kapcsolatban álló – talajtani és agrotechnikai paramétereket a vízellátottság függvényében. Elsőként talaj-főtípusonként csoportosítva vizsgáltuk a vízellátottság ha-

tását a kukoricatermesre a különféle fizikai féleségű talajokon. (Az összehasonlíthatóság kedvéért csak három fizikai féleség-kategóriát választottunk ki, azt a hármat, amely mindhárom főtípusban nagy hányadban előfordult.) Eredményeinket az 1. táblázatban mutatjuk be. A táblázat az egyes csoportok termésátlagain túl bemutatja a csoportok varianciaanalízissel, Duncan-teszttel végzett összehasonlításának eredményeit is (az el-

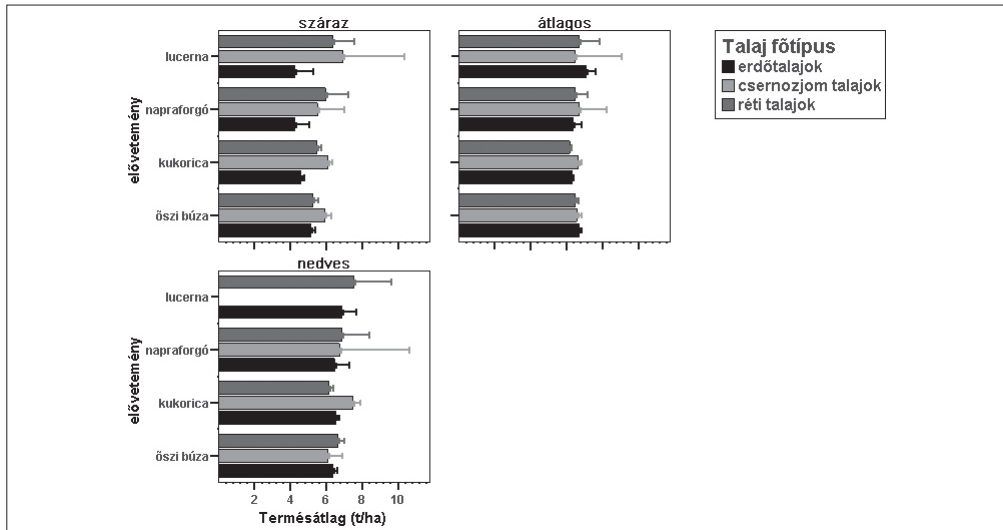
térő betűjelek azt mutatják, hogy a csoport-átlagok közt $P = 5\%$ -os szinten szignifikáns a különbség). A táblázatban feltüntetett adatok alapján megállapítható, hogy a barna erdőtalajokon a vízhiány átlagosan 27% -kal, a vízbőség minimálisan ($0,5\%$) csökkenti a termést. A vízbőség termés-csökkentő hatása egyik fizikai féleség esetében sem igazolható. A csernozjomokon a vízhiány átlagosan 9% -kal csökkenti, a vízbőség pedig átlagosan 7% -kal növeli a termést. A termés-csökkentő és -növelő hatások a főtípushoz tartozó összes táblát vizsgálva szignifikáns különbséget mutattak, míg fizikai féleségenként csoportosítva az adatokat a hatások nem minden esetben igazolhatók statisztikailag. Réti talajokon a vízhiány átlagosan 12% -kal, a vízbőség átlagosan 2% -kal csökkenti a termést. Statisztikailag a vízhiány hatása igazolható. A réti talajokon nagy valószínűség szerint a felszín közeli talajvíz csökkentette a vízhiány hatását, míg a csernozjom talajokon a főtípusba tartozó talajok jobb vízgazdálkodása (morzsás talajszerkezet, nagyobb víztartó képesség, jobb vízvezető képesség) ellensúlyozta a vízhiány hatását. A három főtípust összehasonlítva érdekes tapasztalat, hogy a kukoricatermesztés szempontjából – az adott éveket és meteorológiai körzeteket tekintve – a barna erdőtalajok a szárazságra kétszer érzékenyebbek, mint a csernozjom talajok. Az eltérő fizikai féleségű talajcsoportokban az évjáráthatást összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a csernozjom talajok esetében az agyagos vályog fizikai féleségű talajok (valószínűleg a nagyobb víztartó képességük miatt) képesek leginkább tompítani a vízhiányt.

Az egyes főtípusok átlagos termését összehasonlítva megállapítható, hogy átlagos években nem volt szignifikáns különbség a három főtípus termésátlaga közt. Száraz és nedves években azonban a csernozjom talajok termése (a jobb víz- és tápanyag-gazdálkodási tulajdonságok miatt) igazolhatóan több volt, mint az erdőtalajoké és nedves évjáratban felülmúlta a réti talajok termését is. A legnagyobb átlagtermés ($7,18$ t/ha) a

vályog fizikai féleségű csernozjom talajokat jellemezte a nedves évjáratban. Adott főtípuson és évjáraton belül a talajok fizikai féleségének a termések nagyságára való hatását összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy átlagosan a homokos vályog fizikai féleségű talajok termőképessége gyengébb, a vályog és agyagos vályog fizikai féleségű talajok termőképessége közt általában nincs igazolható különbség. Mindez valószínűleg a homokos vályog talajok átlagosnál gyengébb víztartó képességével is kapcsolatba hozható.

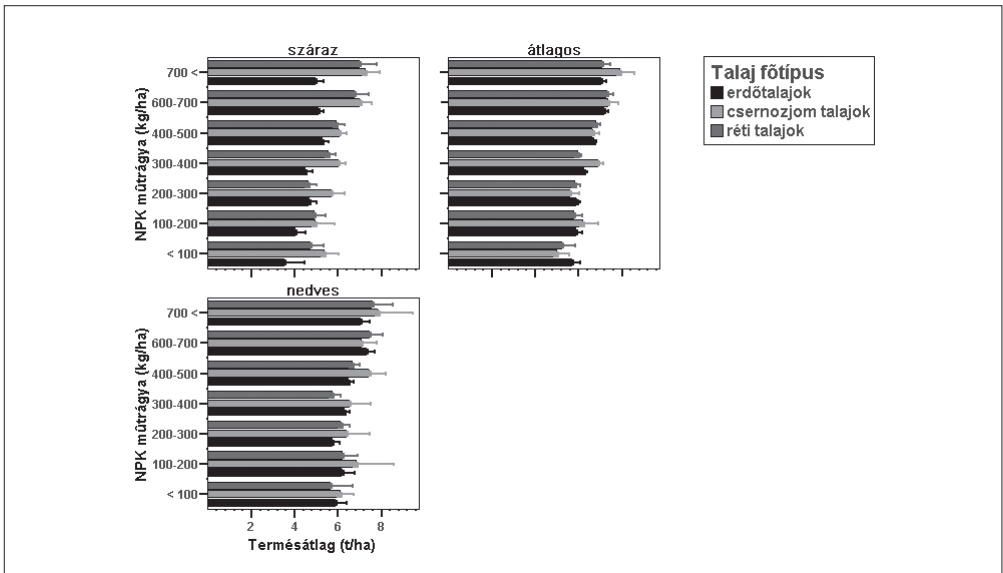
Vizsgáltuk a kukorica-termésátlagok változását a különböző évjáratokban főtípusonként, a fontosabb elővetemények szerint (6. ábra). Általában megállapítható, hogy átlagos vízellátottság mellett viszonylag egyenletesek a termések: főtípusok és elővetemények szerint nincsenek nagy különbségek a termésátlagok közt. Átlagos vízellátottság mellett igazolhatóan a legnagyobb a kukorica-termésátlagok lucerna elővetemény mellett erdőtalajokon, míg a legkisebbek kukorica elővetemény mellett réti talajokon. Száraz és nedves évjáratokban sokkal érzékenyebb a kukorica az előveteményre. Száraz években minden elővetemény mellett igazolhatóan az erdőtalajok adják a legkisebb termést, de az erdőtalajoknál a legrosszabb előveteménynek a lucerna mutatkozott. Ennek oka talán a lucerna nagyobb vízigénye, nagyobb vízfogyasztása volt. Csernozjom és réti talajoknál a lucerna már inkább jó előveteménynek tekinthető a száraz években, e talajtípusoknál feltehetőleg a jobb vízgazdálkodási tulajdonságok, illetve a talajvízből történő vízutánpótlódás miatt nem a lucerna gyökérrendszerének szárító hatása, hanem a jobb tápanyag-szolgáltató képessége érvényesül. Nedves években eltérően reagáltak a kukoricatermések az előveteményre a különböző főtípusokon. A vizsgált adatállományt tekintve réti talajokon a lucerna elővetemény mellett képződött a legnagyobb termés, de ez statisztikailag nem igazolható. Hasonlóan nagy szórást mutatnak az adatok napraforgó elővetemény mellett. Bizonyíthatóan a legnagyobb termés csernozjom talajokon a nedves

6. ábra



A kukorica-termésátlagok összehasonlítása főtípusonként, fontosabb előveteményeként és vízellátottság szerint a 15 meteorológiai állomás körzetében (1985–1989)

7. ábra



A kukorica-termésátlagok összehasonlítása főtípusonként, a kijuttatott NPK-műtrágyaadagok és vízellátottság szerint a 15 meteorológiai állomás körzetében (1985-1989)

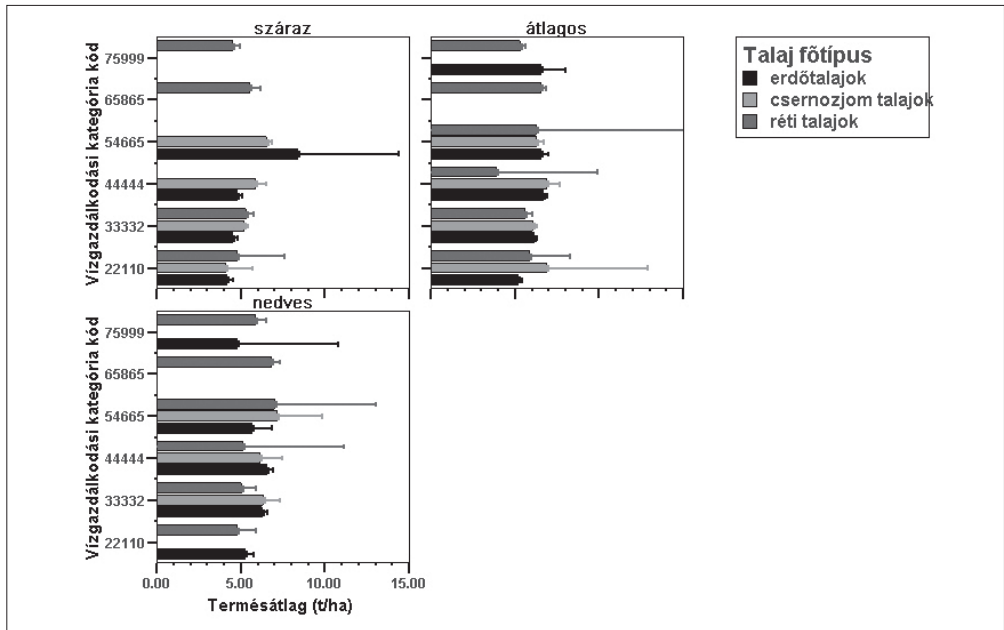
évjáratban a kukorica monokultúrában volt kimutatható. Nedves években erdőtalajokon is a kukorica monokultúrát nagyobb termés jellemezte, mint az őszi búza elővetemény utáni kukoricát. Ugyanakkor réti talajokon az őszi búza volt nedves évjáratban a kukorica legjobb előveteménye. A különböző évjáratok termésátlagait összehasonlítva elmondható, hogy semelyik elővetemény nem volt képes vízhiány okozta termésdepressziót kiegyensúlyozni. A talaj- és vízellátottság-függő elővetemény-hatások értelmezése további vizsgálatokat igényel.

A kukorica-termésátlagokat a továbbiakban főtípusonként összehasonlítottuk a kijuttatott NPK-műtrágyaadagok és a vízellátottság szerint (7. ábra). Átlagos vízellátottság mellett a főtípusok közt jelentősebb, statisztikailag igazolható terméskülönbségeket nem találtunk a nagyobb ($400 < \text{kg/ha}$), illetve a kisebb ($300 > \text{kg/ha}$) NPK-műtrágyaadagok mellett. Ebben az évjáratban egyedül az átlagosnak tekinthető $300\text{--}400 \text{ kg/ha}$ -os NPK-műtrágyadózisok mellett igazoltuk a csernozjom talajok nagyobb termékenységét. A kijuttatott műtrágyaadagok függvényében mindhárom főtípusnál emelkedett a kukorica-termésátlag. Száraz évjáratban az erdőtalajok minden NPK-műtrágyadózis mellett igazolhatóan kevesebb kukoricatermést adtak. A csernozjom és réti talajok terméseredményei közt csak a kisebb műtrágyaadagok alkalmazása esetén mutattunk ki igazolhatóan különbséget a vízhiányos években. Nedves években a kismértékű NPK-műtrágyázás mellett nagyobb kukoricaterméseket mértek, egyébként az átlagos évjáratához hasonlóan alakult a főtípusonkénti termésátlag a kijuttatott műtrágyaadagok függvényében. A különböző évjáratok termésátlagait összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy az erdőtalajoknál a nagyobb mennyiségű műtrágya kijuttatása nem volt képes enyhíteni a szárazság okozta terméskiesést, ugyanakkor a réti és csernozjom talajokon a nagyobb műtrágyaadagok alkalmazása mellett kisebb volt a szárazság miatti kukoricatermés-csökkenés.

Végezetül összehasonlítottuk a kukorica-termésátlagokat talaj-főtípusonként, a fontosabb (a vizsgált adatbázisban nagyobb számban előforduló) vízgazdálkodási kategóriák és a vízellátottság szerint (8. ábra). Az ábrán látható, hogy egy-egy vízgazdálkodási kategória bizonyos főtípusokhoz nem is volt hozzárendelhető (pl. a nagy agyagtartalmú talajokra jellemző 75999 kódú kategória csak a réti talajokon fordult elő), más esetekben az előfordulások kis száma miatt rendkívül nagy szórást tapasztaltunk a termésátlagoknál (pl. a homoktalajokra jellemző 22110 kódú vízgazdálkodási kategóriába tartozó csernozjom talajokon száraz és átlagos évjáratokban kevés táblán ugyan termeltek kukoricát, de az adatok közt nagy a szórás; nedves évjáratú kukoricatermést ilyen talajokon azonban nem is találtunk). Ahol értékelhetőek voltak a termésátlagok közötti különbségek, ott a következő megállapítások tehetők: a különböző vízgazdálkodási kategóriába sorolható talajok kukoricaterméseinek átlagai nagyjából követik a vízgazdálkodási kategóriákhoz tartozó fizikai talajféleségek termésreakcióit. A vízgazdálkodási kategóriák elvileg a talajok vízvezető és víztartó képességével összefüggő termékenység finomabb megkülönböztetését tennék lehetővé, a vízgazdálkodási kódokkal jellemzett kategóriák nagy száma miatt azonban a termékenységbeli különbségek hagyományos, egyszerű statisztikai módszerekkel nehezen értelmezhetők. (Korábbi közleményünkben bemutattuk a vízgazdálkodási kategóriakódok csoportképzési módszerekkel történő összevonását és az így képzett, ún. „talajtermékenységi csoportokat”, Makó et al., 2007a)

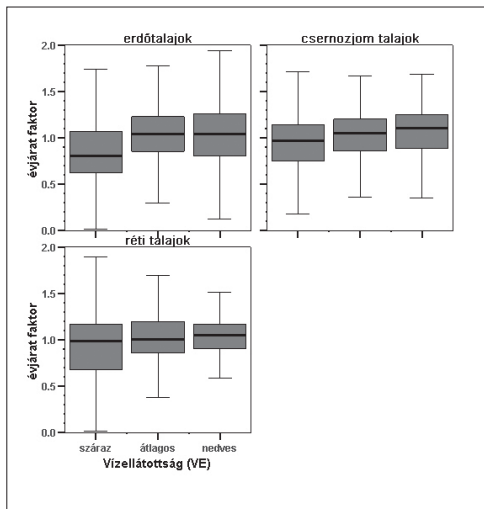
A talajok klímaérzékenységét a kukorica-termésátlagok alapján az ún. évjárat-faktorral kíséreltük meg jellemezni. Az évjáratfaktor kifejezi egy adott változati szintű talajcsoporton belül egy adott NPK műtrágyaszinthez és adott előveteményhez tartozó ötéves csoportátlagtól való eltérést a vizsgált tábla vizsgált évi termésének. Feltételeztük, hogy a csoportátlagtól való eltérést – országos átlagban – főként az év-

8. ábra



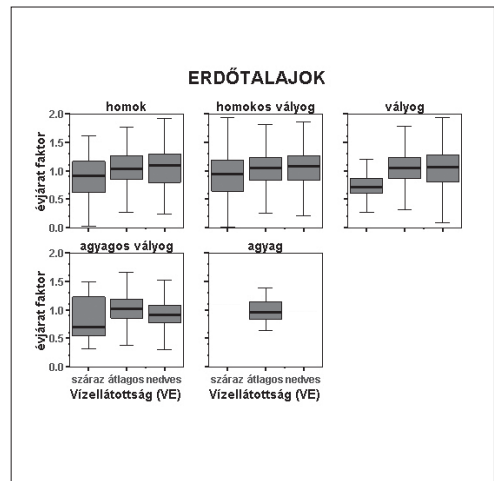
A kukorica-termésátlagok összehasonlítása főtípusonként, a fontosabb vízgazdálkodási kategóriák és vízellátottság szerint a 15 meteorológiai állomás körzetében (1985-1989)

9. ábra



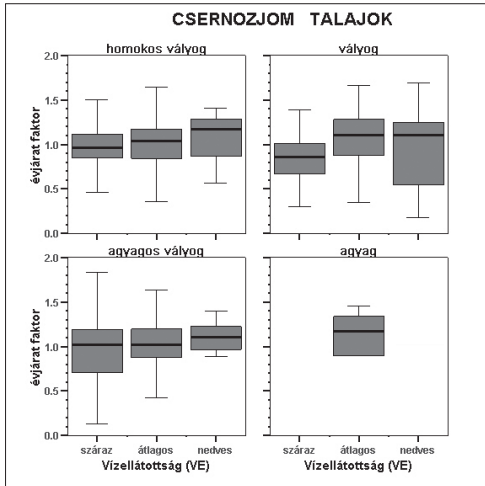
Az évjáratfaktorok alakulása főtípusonként a különböző vízellátottságú években

10. ábra



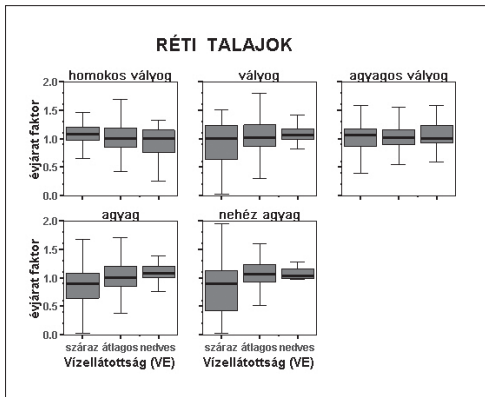
Az évjáratfaktorok alakulása a különböző fizikai féleségű erdőtalajokon a különböző vízellátottságú években

11. ábra



Az évjáratfaktorok alakulása a különböző fizikai féleségű csernozjom talajokon a különböző vízellátottságú években

12. ábra



Az évjáratfaktorok alakulása a különböző fizikai féleségű réti talajokon a különböző vízellátottságú években

sára. Amennyiben az évjáratfaktor változása talajfésülésenként eltérő módon követi a vízellátottság változását, úgy ezt a talajok – kukoricaszemtermés-produkcióban megnyilvánuló – klíma-, illetve ezen belül a csapadék- és párolgásviszonyoktól függő vízellátottság-érzékenységeként értelmezhetjük. Ilyen irányú vizsgálataink eredményeit a 9-12. ábrán mutatjuk be.

A 9. ábra boxplot grafikonjai arról tanúsodnak, hogy az egyes főtípusokon belül az évjáratfaktorok széles tartományban szóródnak. Ez érthető is, hiszen az előbbieken részletesen bemutattuk, hogy a talajok főtípusán túl mely (az adatbázis segítségével tanulmányozható) talajtani és egyéb agrotechnikai tényezők határozhatják meg a vízellátottság termésre gyakorolt hatását. Az évjáratfaktorok közt szignifikáns különbség ugyan nem mutatható ki évjáratonként egyik főtípus esetében sem, ám a középértékek alakulása azért mégiscsak szemléletesen bemutatja az erdőtalajok többi főtípusnál lényegesen nagyobb szárazságérzékenységét, a csernozjomok mérsékelt szárazságérzékenységét és jó csapadékhasznosító képességét, illetve a réti talajok átlagosan évjárat-független kukorica-termés-produkcióját. A 10. ábra a különböző fizikai féleségű erdőtalajok vízellátottság-érzékenységét veti össze. A középértékek alakulásából többek közt megállapítható, hogy a könnyebb talajokon a nedves évek termésnövekedést, míg a nehezebb, agyagosabb talajokon terméscsökkenést okoznak. A 11. ábra a csernozjom talajok, a 12. ábra a réti talajok vízellátottság-érzékenységét mutatja be fizikai talajfésülésenként. Az évjáratfaktorok középértékeinek alakulásából hasonló következtetések vonhatók le, mint az 1. táblázat adataiból.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásunkat a T048302 és a 62436 sz. OTKA pályázatok támogatásával végeztük.

járáthatás okozta. Az évjáráthatáson belül az egyik fő tényező lehet a növények vízellátottságának hatása a termések alakulá-

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) BIRKÁS, M. – JOLÁNKAI, M. – STINGLI, A. – BOTTLIK, L. (2007): Az alkalmazkodó művelés jelentősége a talaj- és klímavédelemben. „AGRO-21” Füzetek, 51. 34-47. pp. (2) CSELÓTEI, L. (1998): Az időjárás hatása a növények vízellátottságára és termésére. Meteorológiai tudományos napok '98., OMSZ, Budapest, 7-14. pp. (3) DEBRECZENI, B. (1987): A tápanyag- és vízellátás kapcsolata. Időjárás. 91. (2-3) 104-113. pp. (4) DEBRECZENI, K. – KUTI, L. – MAKÓ, A. – MÁTÉ, F. – SZABÓNÉ KELE, G. – TÓTH, G. – VÁRALLYAY, Gy. (2003): A D-e-Meter földminősítési viszonzyszámok elméleti háttere és információtartalma In: Gaál, Z. – Máté, F. – Tóth, G. (szerk.): Földminősítés és földhasználati információ. Keszthely 2003. december 11-12. Országos konferencia kiadványa. Veszprémi Egyetem ISBN 963 9495 25 5. 23-37. pp. (5) DEBRECZENI, K. – HOFFMANN, S. – BEREZ, K. (2006): Seasonal effects on grain yield of long-term plant nutrition experiments at Keszthely, Hungary. Cereal Research Communications. 34: 1. 5-8. pp. (6) DEBRECZENI, K. – MAKÓ, A. (2008): A csapadékviszonyok és a termés-eredmények összefüggésének vizsgálata az (OMTK) Országos Műtrágyázási Tartamkísérleti helyeken. Talajvédelem (közlés alatt) (7) FARKAS, Cs. – RANDRIAMAMPANINA, R. – MAJERCAK, J. (2005): Modelling impacts of different climate change scenarios on soil water regime of a Mollisol. Cer. Res. Comm. 33. 185-188 pp. (8) FARKAS, Cs. – HAGYÓ, A. – HORVÁTH, E. – VÁRALLYAY, Gy. (2008): A Chernozem soil water regime response to predicted climate change scenarios. Soil and Water Research. 3. S58-S67. pp. (9) HARNOS, N. (2003): A klímaváltozás hatásának szimulációs vizsgálata őszi búza produkciójára. „AGRO-21” Füzetek, 31. 56-73. pp. (10) HARNOS Zs. (2005): A klímaváltozás növénytermelési hatásai. „AGRO-21” Füzetek, 38. 38-58. pp. (11) HERNÁDI, H. – FARKAS, Cs. – MAKÓ, A. – MÁTÉ, F. (2008): Hazai csernozjom talajok vízforgalmának klímaérzékenységi vizsgálata a MARTHA adatbázis és a SWAP szimulációs modell felhasználásával. Talajvédelem. Különszám. 95-104. pp. (12) JOLÁNKAI, M. – SZENTPÉTERY, Zs. – SZÖLLÖSI, G. (2003): Az évjárat hatása az őszi búza termésére és minőségére. „AGRO-21” Füzetek, 31. 74-82. pp. (13) JOLÁNKAI, M. (2005): A klímaváltozás hatása a növénytermesztésre. „AGRO-21” Füzetek, 41. 45-58. pp. (14) KÉSMÁRKI, I. – KAJDI, F. – PETRÓCZKI, F. (2005): A globális klímaváltozás várható hatásai és válaszai a Kisalföld szántóföldi növénytermelésében. „AGRO-21” Füzetek, 43. 24-38. pp. (15) KISMÁNYOKY, T. (2005): A globális klímaváltozás hatásai és válaszai Közép- és Dél-Dunántúl szántóföldi növénytermelésében. „AGRO-21” Füzetek, 41. 81-94. pp. (16) MAKÓ, A. – TÓTH, G. – MÁTÉ, F. – HERMANN, T. (2007a): A talajtermékenység számítása a változati talajtulajdonságok alapján. Földminősítés a XXI. században! Földminőség, földértékelés és földhasználati információ a környezetbarát gazdálkodás versenyképességének javításáért. 2007. november 22-23. Keszthely. 39-44. pp. (17) MAKÓ, A. – TÓTH, B. – RAJKAI, K. (2007b): A talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak földminősítési célú becslése. Földminősítés a XXI. században! Földminőség, földértékelés és földhasználati információ a környezetbarát gazdálkodás versenyképességének javításáért. 2007. november 22-23. Keszthely. 45-50. pp. (18) PEPÓ, P. (2005): A globális klímaváltozás hatásai és válaszai a Tiszántúl szántóföldi növénytermelésében. „AGRO-21” Füzetek, 41. 59-65. pp. (19) RUZSÁNYI, L. (1996): A szárazság hatása és enyhítésének lehetőségei a növénytermesztésben. In: Cselótei, L. – Harnos, Zs. (szerk.): Éghajlat, időjárás, aszály II. Az aszály enyhítésének lehetőségei. MTA Aszály Bizottság. Budapest. 5-50. pp. (20) SZALÓKY, S. (1991): A növények vízigénye és öntözésigényessége. In: Lelkes L. – Ligetvári F. (szerk.): Öntözés a kisgazdaságokban. Folium Könyvkiadó Kft., Budapest, 21-42. pp. (21) SZÁSZ, G. (1991): A nyári aszályhajlam területi eloszlása Magyarországon. Acta Geographica. XXVIII-XXIX. 291-308. pp. (22) SZÁSZ G. (2005a): Az éghajlat változékonysága és a szántóföldi növények termésingadozása. „AGRO-21” Füzetek, 38. 59-77. pp. (23) SZÁSZ, G.

(2005b): Termésingadozást kiváltó éghajlati változékonyság a Kárpát-medencében. „AGRO-21” Füzetek, 40. 33-69. pp. (24) SZENTELEKI, K. (2007): A Környezet – Kockázat – Társadalom (KLIMAKKT) Klímakutatás Adatbázis-kezelő rendszerei. „AGRO-21” Füzetek, 51. 89-115. pp. (25) TÓTH, G. (2001): Soil Productivity Assessment Method for Integrated Land Evaluation of Hungarian Croplands. *Acta Agronomica Hungarica*, 49. (2) 151-160. pp. (26) TÓTH, G. – MÁTÉ, F. (1999): Jellegzetes dunántúli talajok főbb növények szerinti relatív termékenysége. *Agrokémia és Talajtan*. 48. 172-180. pp. (27) VARGA-HASZONITS, Z. (2003): Az éghajlatváltozás mezőgazdasági hatásának elemzése, éghajlati scenáriók. „AGRO-21” Füzetek, 31. 9-28. pp. (28) VARGA-HASZONITS, Z. – VARGA, Z. (2005): Nyugat-Magyarország éghajlati viszonyai és a kukorica. „AGRO-21” Füzetek, 43. 71-79. pp. (29) VARGA-HASZONITS, Z. – VARGA, Z. – LANTOS, Zs. – ENZSÖLNÉ, G.E. (2005): Az 1951-2000 közötti időszak szélsőséges nedvességi értékeinek agroklimatológiai elemzése. „AGRO-21” Füzetek, 46. 26-37. pp. (30) VARGA, Z. – VARGA-HASZONITS, Z. – LANTOS, Zs. (2001): A kukorica hőmérsékleti és nedvességi igényének meghatározása a terméshozamokra gyakorolt hatás alapján. *Növénytermelés*, 50 (2-3), 345-358. pp. (31) VÁRALLYAY, Gy. (2003): A talaj környezeti érzékenységének értékelése. *Tájékológiai Lapok*. 1. (1) 45-62. pp. (32) VÁRALLYAY, Gy. (2004a): Talaj az agro-ökoszisztémák alapeleme. „Agro-21” Füzetek. 37. 33-49. pp. (33) VÁRALLYAY, Gy. (2004b): Control of extreme moisture events and soil degradation processes as priority task of soil conservation in the Carpathian Basin. In: *Proc. Vol. 4th Intern. Congress of ESSC, 25-29 May 2004, Budapest*. 148-158. pp. (34) VÁRALLYAY, Gy. (1978): A talajok termékenységét gátló tényezők Magyarországon. *Agrokémia és Talajtan*. 27. 181-202. pp. (35) VÁRALLYAY, Gy. (1982): A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságait, valamint vízháztartását ábrázoló nagyméretarányú térképezés módszertana. Kézirat. MTA TAKI, Budapest (36) VÁRALLYAY, Gy. (ed.) (1995): TIM: Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer. I. Módszertan. FM Növényvédelmi és Agrárkörny.gazd.-i Főosztálya, Budapest (37) VÁRALLYAY, Gy. (1999): A talaj vízgazdálkodása és a környezet. In: Nagy J. – Németh T. (szerk.): *Talaj, növény és környezet kölcsönhatásai. DATE-TAKI*. Debrecen. 95-119. pp.

A MAGYARORSZÁGI TALAJZÓNÁK ÉS A KLÍMAVÁLTOZÁS

MÁTÉ FERENC – MAKÓ ANDRÁS – SISÁK ISTVÁN – SZÁSZ GÁBOR

Kulcsszavak: klímaérzékenység, csernozjom talajok, barna erdőtalajok, talajövezetesség, szezonális dinamika.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A talajtípusok és az éghajlat összefüggésének leírására használt mérőszámokban tükröződik napjaink klímaváltozása. A hazai talajtípusok térbeli elrendeződése jól értelmezhető a főbb meteorológiai mérőhelyek körzetében a jellemző szezonális dinamikájú évek előfordulási gyakorisága alapján. A gyakoriság évszázados változása útján valósult meg napjaink klímaváltozása, az arányaiban mutatkozó változás pedig a mezőségi talajok övezetének visszaszorulását, a barna erdőtalajok dél-dunántúli előfordulásának a mediterrán talajképződmények irányába való elmozdulását valószínűsíti.

A klíma és a talajtakaró mintázatának összefüggését a talajtan korai időszakában kvalitatív és növényföldrajzi elnevezésekkel fejezték ki. Ez nyilvánul meg hazánk első klímazonális talajtérképén (*Treitz, 1924*) is, a mezőség, illetve az erdő elterjedése alapján megvont határokkal (1. ábra). Ez a kvalitatív összefüggés napjainkig elfogadhatónak bizonyult. A talajtakaró azóta megvalósult nagy részletességű térképezése, együtt az éghajlat sok évtizedes, térbelileg, időbelileg nagy sűrűségű mérési adatokon nyugvó megismerésével megerősítette, hogy hazánk a mezőségi és a barna erdőtalajok övezetére különül el, és ezek az övezetek a klíma tekintetében is jellemzően eltérő képet mutatnak.

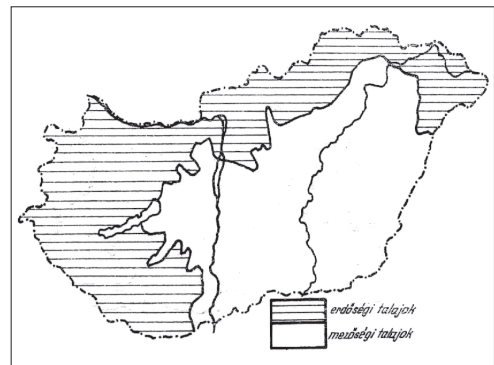
Ezen mit sem változtat az, hogy e két alapvető zónán belül számos azonális és intrazonális talaj fordul elő különböző talajképző tényezők, mint a hidrológiai viszonyok, illetve a talajképző kőzet hatásának helyi dominanciája következtében.

Az első próbálkozás a talaj és a fölötté lévő klíma kapcsolatának kvantitatív megközelítésére *Lang (1915)* nevéhez fűződik, aki bevezette az „esőfaktor” fogalmát:

$$R = \frac{\text{éves csapadékösszeg}}{\text{éves középhőmérséklet}}$$

Ennek a hányadosnak az értéke szerinte a sivatagi talajokra < 40; lateritokra, vörösföldekre 40-60; barnaföldekre, feketeföldekre 60-100; podzolokra 100-160 értékeket vehet fel. Az esőfaktor használata nem terjedt el. *Scherf (1932)* említést tesz róla, de hivatko-

1. ábra



A mezőségi és az erdőtalajok határa

Forrás: Stefanovits, 1971

zik külföldi és hazai szerzőkre, akik nem tartják azt alkalmasnak a talajok és a klíma kapcsolatának kifejezésére.

A hazai talajzónák esőfaktorral való jellemzését korábbi közleményünkben (*Máté et al., 2008*) 10-10 meteorológiai állomás ötvenéves adatsorai alapján kíséreltük meg és azt találtuk, hogy talajzónáinkhoz köthető értékek határozottan elkülönültek egymástól és megfelelnek a *Lang* által megadott tartományoknak. Annak tisztázására, hogy az esőfaktor alkalmas-e a napjainkban érvényesülő klímaváltozás és a talajzónák összefüggésének nyomon követésére, 16 meteorológiai állomás 120 éves adatsora alapján kiszámítottuk a területükre jellemző értékeket, illetve harmincéves szakaszokra átlagolva tájékoztunk időbeli változásukról.

Az 1. táblázat adataiból kitűnik, hogy az így képzett esőfaktorértékek mind nagyságukat, mind zónánkénti elkülönülésüket illetően hasonló képet mutatnak, mint a citált

korábbi tanulmányunk adatai. Az éves értékeket harmincéves szakaszonként átlagolva, azokban a klímaváltozás határozott tendenciája olvasható ki. Kevés kivételtől eltekintve az esőfaktor értékei szakaszonként csökkennek, erőteljesebben dunántúli, a barna erdőtalajok övezetéhez tartozó állomások esetén és különösen az utolsó, 1971-2000-es időszakban. A változás mértéke mindazonáltal nem lépi át a *Lang* által megadott durva és átfedésekkel terhelt övezethatárokat.

A talaj-klíma kapcsolat pontosabb leírását adta a Mayer-féle NS faktor (*Mayer, 1926*), ami csapadék- és – a párolgással arányosnak tartott – páratelítettségi hiány hányadosa. Jellemző számértékeknek az alábbiakat tartotta: sivatag, félsivatag (0-100), mediterrán területek (50-200), gesztenyebarna talajok (100-275), csernozjomok (125-350), barnaföldek (275-400), atlanti területek (375-1000). Az általa elkülönített zónák eleve egyértelműbbek, mint a *Lang*-félék, ugyanakkor az

1. táblázat

A *Lang*-féle esőfaktor időbeli változása

| Mérőállomás megnevezése | 1881-2000 | | 1881-1910 | | | 1911-1940 | | | 1941-1970 | | | 1971-2000 | | |
|----------------------------|-----------|-----|-----------|-----|----|-----------|-----|----|-----------|-----|----|-----------|-------|----|
| | R | * | R | * | ** | R | * | ** | R | * | ** | R | * | ** |
| Sopron | 72,3 | AB | 79,5 | A | a | 72,3 | A | a | 72,9 | A | a | 64,7 | AB | b |
| Szombathely | 69,6 | B | 79,5 | A | a | 69,0 | AB | b | 68,2 | AB | b | 61,8 | BC | c |
| Zalaegerszeg | 73,3 | A | 74,8 | A | a | 75,0 | A | a | 74,4 | A | a | 69,3 | A | a |
| Keszthely | 64,6 | C | 67,1 | B | ab | 68,4 | AB | a | 62,8 | BCD | ab | 60,1 | BCD | b |
| M.óvár | 60,5 | DE | 65,0 | BC | a | 60,4 | CD | ab | 61,2 | CDE | ab | 55,5 | CDEF | b |
| Pápa | 59,9 | DE | 60,8 | BCD | ab | 59,3 | CDE | ab | 65,6 | BC | a | 53,8 | DEFG | b |
| Pécs | 62,8 | CD | 74,0 | A | a | 60,2 | CD | b | 58,2 | DEF | b | 58,6 | BCDE | b |
| Baja | 56,8 | EF | 60,4 | BCD | a | 57,2 | CDE | a | 55,6 | EFG | a | 53,9 | DEFGH | a |
| Kalocsa | 54,4 | FGH | 56,6 | DE | a | 53,9 | CDE | a | 54,3 | EFG | a | 52,8 | EFGHI | a |
| Kecskemét | 50,9 | IJK | 54,1 | DEF | a | 52,6 | CDE | a | 49,0 | GH | a | 47,9 | GHI | a |
| Szeged | 48,3 | J | 50,0 | F | a | 50,7 | E | a | 46,5 | H | a | 46,2 | I | a |
| Szarvas | 50,0 | IJK | 52,1 | EF | ab | 52,7 | CDE | a | 49,6 | GH | ab | 45,7 | I | b |
| Túrkeve | 52,8 | GHI | 58,6 | CDE | a | 52,0 | DE | ab | 52,4 | FGH | ab | 48,5 | FGHI | b |
| Debrecen | 57,2 | EF | 59,9 | BCD | a | 59,3 | CD | a | 54,9 | EFG | a | 54,9 | CDEFG | a |
| Nyíregyháza | 59,6 | E | 64,9 | BC | a | 61,9 | BC | a | 58,8 | DEF | ab | 52,7 | EFGHI | b |
| Budapest | 55,5 | FG | 60,2 | BCD | a | 60,3 | CD | a | 54,0 | FGH | a | 47,5 | HI | b |
| Átlag | | | | | a | | | b | | | b | | | c |

*, ** oszlopok: A Duncan-teszt eredményei

: meteorológiai állomások összehasonlítása;

** : a harmincéves periódusok összehasonlítása;

az értékek akkor különböznek szignifikánsan, ha a mellettük levő betűjelek közt nincs egyforma

övezetek határértékei közötti átfedések szintén igen jelentősek. Hazánkban *Scherf* idézett munkájában foglalkozott a talajok és az NS-hányados összefüggésével. Hazai alapadat csak két, a mezőségi régióba eső meteorológiai állomásról (Túrkeve 240, Debrecen 320) állt rendelkezésre, viszont azokat európai állomások adatainak széles körével hasonlíthatta össze, így alapvető forrásává vált az európai övezetesség megismerésének (*Jenny, 1941*). Az NS-értékek nagy átfedését a talajklimatikus és légköri klimatikus tényezők egymásra hatásában látta, rámutatva a kilúgzás feltételeinek (az altalaj vízártó képessége és a karbonátosság) különbözőségére.

Fentebb citált közleményünkben övezetenként kiválasztott állomások ötvenéves adataira alapján mutattuk be a Mayer-féle hányadosok értékeit (2. táblázat). Azok zónánként határozottan elkülönülnek, de két-három övezetbe is besorolhatóknak bizonyultak.

Annak megítélésére, hogy az NS-hányados segítségével nyomon követhető-e a klíma és a talajzónák összefüggésének változása, a talajzónák területén lévő 16 kiválasztott mérőhely 120 éves adatsorát felhasználva kiszámítottuk az NS-hányadosokat, és azokat a teljes időszakra, illetve annak harmincéves szakaszaira átlagoltuk.

A nyert hányadosok határozottan elkülönülnek a mezőségi és az erdőtalajok területei szerint, nagyságuk azonban a Mayer-féle határok alatt marad. A harmincéves szakaszokra átlagolt értékek határozott időbeli csökkenést mutatnak, különösen nagy mértékűt az utolsó harmincéves szakasz vonatkozásában, ugyanakkor a két övezetben a csökkenés ütemében meggyőző különbséget nem észlelünk. Az R, illetve az NS-hányadosok változása valamivel feltűnőbb, mintha az alapul szolgáló időjárási elemekben érvényesülő klímaváltozási irányzatokat szemléljük, de a területi és időbeli átfedések és szórások mér-

2. táblázat

A Mayer-féle NS-faktor időbeli változása

| Mérőállomás megnevezése | 1881-2000 | | 1881-1910 | | | 1911-1940 | | | 1941-1970 | | | 1971-2000 | | |
|----------------------------|-----------|----|-----------|------|----|-----------|-----|----|-----------|-----|----|-----------|------|----|
| | | * | | * | ** | | * | ** | | * | ** | | * | ** |
| Sopron | 256,9 | B | 275,9 | B | a | 257,5 | A | ab | 257,6 | A | ab | 236,8 | A | b |
| Szombathely | 268,6 | A | 300,6 | A | a | 266,6 | A | b | 263,6 | A | b | 243,8 | A | b |
| Zalaegerszeg | 260,3 | AB | 263,6 | B | ab | 275,7 | A | a | 260,5 | A | ab | 241,2 | A | b |
| Keszthely | 205,2 | D | 208,6 | CDE | ab | 220,0 | BC | a | 202,8 | BCD | ab | 189,3 | BC | b |
| M.óvár | 207,4 | CD | 216,0 | CD | a | 208,9 | BCD | ab | 211,8 | BC | ab | 192,9 | B | b |
| Pápa | 190,0 | E | 189,1 | EFGH | ab | 194,4 | DE | a | 204,7 | BC | a | 171,9 | CD | b |
| Pécs | 187,7 | E | 221,3 | CD | a | 186,6 | DEF | b | 173,2 | EF | b | 169,8 | CDE | b |
| Baja | 195,0 | E | 201,5 | DEF | a | 199,5 | CDE | a | 195,1 | CD | a | 183,7 | BC | a |
| Kalocsa | 166,8 | FG | 170,8 | HI | a | 168,7 | FGH | a | 169,6 | EF | a | 158,3 | DEF | a |
| Kecskemét | 158,8 | GH | 170,1 | HI | a | 164,0 | FGH | a | 154,1 | F | ab | 147,4 | FG | b |
| Szeged | 138,9 | I | 146,7 | J | ab | 149,6 | H | a | 132,7 | G | bc | 126,6 | H | c |
| Szarvas | 152,8 | H | 157,8 | IJ | a | 162,2 | GH | a | 153,1 | F | ab | 138,3 | GH | b |
| Túrkeve | 166,6 | I | 181,5 | FGH | a | 164,3 | FGH | ab | 165,1 | EF | ab | 155,5 | DEFG | b |
| Debrecen | 189,2 | E | 193,3 | EFG | a | 198,2 | CDE | a | 184,6 | DE | a | 180,6 | BC | a |
| Nyíregyháza | 216,8 | C | 229,0 | C | a | 227,4 | B | a | 218,5 | B | a | 192,2 | B | b |
| Budapest | 170,5 | F | 177,9 | GHI | a | 184,4 | EFG | a | 169,1 | EF | a | 150,6 | EFG | b |
| Átlag | | | | | a | | | a | | | b | | | c |

*: ** oszlopok: A Duncan-teszt eredményei

* : meteorológiai állomások összehasonlítása;

** : a harmincéves periódusok összehasonlítása;

az értékek akkor különböznek szignifikánsan, ha a mellettük levő betűjelek közt nincs egyforma

tékéhez képest nagyságrendileg is kisebbek, mindazonáltal felhívják a figyelmet a sokkal nagyobb időléptékű talajképződési folyamatok valószínűsíthető tendenciáira.

A felhasznált meteorológiai adatok körét *Volobuev (1953)* a radiációs egyensúly, valamint az éves csapadék elpárolgásához szükséges energia értékével bővítette. A van Wijk-féle egyenlet felhasználásával tapasztalati összefüggést állapított meg talajövezetekre, és a csapadék-hőmérséklet hányadost az általa kialakított hidro-termo sorozatokra érvényes konstansokkal korrigálta. Az energetikai számításai nagymértékben előmozdították a talajok energiaforgalmára vonatkozó ismereteinket, talajföldrajzi szempontból azonban a tapasztalati összefüggések alapján választott talajegységek korlátozhatják megállapítása területi általánosítását.

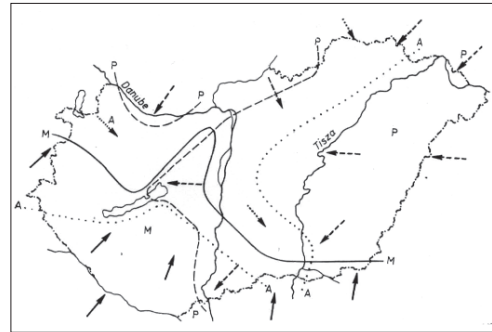
Az időjárási elemek és a velük kapcsolatba hozható talajok közötti pontos mennyiségi kapcsolat keresése a talajföldrajz kezdeti gyermekbetegsége, ami a talajzonális fel-fedezésével önálló természettudománnyá váló talajtanban az éghajlati talajképzési tényező elsődlegességét, döntő mivoltát vallotta. Napjaink klímaváltozásai ennek a közben háttérbe szorult kapcsolatrendszernek az újragondolását teszik időszerűvé.

Pontosabb összefüggést várhatunk a talajtakaró és az éghajlati jelenségek között, ha azok szezonális változásait is bevonjuk az összehasonlításba. Erre lehetőségként kínálkozik a kontinentális atlanti és mediterrán hatásokkal jellemezhető évek szezonális dinamikájának megkülönböztetése. A különböző talajok és klímaadatok közötti mennyiségi összefüggések napjainkig a hőmérséklet, a radiációs egyensúly, a csapadék, a párolgás feltételeire vonatkozó statikus adatokra támaszkodtak, és kevésbé azok szezonális dinamikájára. Hazánk területén a csernozjomok, illetve a barna erdőtalajok zonális előfordulásával jellemezhető területek a kontinentális, atlanti és mediterrán jellegű évek, évjáratok előfordulási gyakorisága tekintetében is markáns különbségek mutatkoznak, sőt ezek arányában megfi-

gyelhető változások jóval meggyőzőbben tükrözik a klímaváltozás folyamatait, mint a nagy ingadozások által csak tendenciaként megmutatkozó hőmérsékleti és csapadék-változások.

A klíma és a talajföldrajz kapcsolatának vizsgálatában meglehetősen elhanyagolt terület az időjárási jelenségek szezonális dinamikájának, e dinamika jellegének a figyelembevétele. Ez különösen indokolt lehet a hazai talajföldrajzban (*Justyák – Szász, 2001*), mivel hazánk különböző éghajlati hatások találkozáspontjában van, és egyaránt megfigyelhetők a kontinentális, az atlanti és a mediterrán jellegek. E hatások térbeli eloszlására *Stefanovits (1971)* adott vázlatos képet, hazai meteorológusok széles körének munkáira támaszkodva (2. ábra).

2. ábra



Kontinentális, atlanti és mediterrán hatások fokozott érvényesülése hazánk területén

A mindennapi tapasztalat alapján tudott, hogy az ország különböző részein ezen hatások erőssége eltérő. Ennek becslésére 16 kiválasztott meteorológiai állomás 120 éves adatsorából megszámláltuk az előre kijelölt hőmérsékleti határértékek szerint az egyes klimatikus hatások dominanciájával jellemzett éveket, és azok gyakoriságát a 3. táblázatban tüntettük fel. Mint látható, a vizsgálatban felölelt 120 év többsége jellegtelen lefutású, vegyes jellegű volt, de határozottan megjelentek a kontinentális, atlanti, vagy

mediterrán hőmérsékleti lefutású évek. Az is látható, hogy azok aránya függött attól, hogy a mérőállomás melyik talajzónában helyezkedik el, a mezőségi zónában feltűnően nagy a kontinentális évek aránya, a barna erdőtalajok övezetében kiemelkedik az atlanti évek száma, a mediterrán pedig az ország déli körzeteiben érvényesül. Talán megengedhető az a feltételezés, hogy az évek többségét adó vegyes, jellegzetességet nem mutató években is valami hasonló arányokban hatnak a kontinentális, atlanti és mediterrán hatótényezők, mint a kiválasztott karakteres évek egymáshoz viszonyított aránya. A 120 éves idősort 30 éves szakaszokra bontva, a klímaváltozásra érdekes következtetésre juthatunk: mind a mezőségi, mind az erdőtalaj övezetben szakaszosan, de némileg nőtt mind az atlanti, mind a mediterrán hatás, ugyanakkor erősen, a mezőségi zónában pedig rendkívüli mértékben csökkent a kontinentalitás. Az időjárási elemek szezonális dinamikájának, a kontinentális, atlanti és mediterrán hatások arányának változása magában hordozza a természeti-földrajzi zónák eltolódásának lehetőségét, kényszerét. A kontinentalitás jelentős gyengülésének talajföldrajzi következménye mindenekelőtt a hazai csernozjomok folyamatainak változása lehet. A mészlepedékes csernozjom romániai, észak-bulgáriai és Azovi-tenger melléki elterjedése már önmagában sugallja a déli tengerek meridionális irányú hatását, és hogy magát a talajtípust a déli csernozjom egy mediterrán fáciesének tekintsük. A kontinentalitás csökkenése esetleg a mediterrán talajok felé történő elmozdulással járhat. Ezt a gondolatot elfogadhatóbbá teszi, hogy – mint azt *Timkó Imrétől* tudjuk – már 1885-ben publikált *Dokucsjev* a dél-oroszországi, a magyarországi és a hispaniai mezőségek összehasonlításáról (*Timkó, 1907*). A kontinentalitás visszaszorulásával nehezen képzelhető el a mezőségi zónának az az előretörése, amit az erdészeti irodalom valószínűsít (*Führer – Mátyás, 2006; Mátyás, 2004, 2005*), hiszen a mediterrán mellett az atlanti évek gyakoriságának növekedését is mutatja a 3. táblázat.

A mediterrán befolyás erősödése a dél-dunántúli területeken mutatkozik leginkább. Az ottani erdőtalajokon a mediterrán talajképződési folyamatok jeleit tapasztalta és írta le *Stefanovits (1971)*. Megállapította, hogy a reliktum vörösföldek mellett azok képződése ma is folyik, a barna erdőtalajok B szintjének a vöröses árnyalata, az agyagásvány-összetétel, szerkezet és más tulajdonságok némileg emlékeztetnek a romániai „brun rascat”, illetve a jugoszláviai „gajnaca” talajok bizonyos tulajdonságaira. A klímaváltozással

3/a. táblázat

Különböző dinamikájú évek előfordulási gyakorisága néhány meteorológiai állomáson (Dunántúl)

| Állomás | | 1881-1910 | 1911-1940 | 1941-1970 | 1971-2000 | 1881-2000 |
|-----------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Sopron | óceáni | 2 | 5 | 3 | 8 | 18 |
| | medit. | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| | kontin. | 1 | 2 | 1 | 0 | 4 |
| | vegyes | 27 | 23 | 26 | 20 | 96 |
| Szombathely | óceáni | 1 | 3 | 1 | 6 | 11 |
| | medit. | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | kontin. | 0 | 2 | 2 | 0 | 4 |
| | vegyes | 29 | 25 | 27 | 23 | 104 |
| Zalaegerszeg | óceáni | 2 | 7 | 4 | 7 | 20 |
| | medit. | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| | kontin. | 4 | 3 | 3 | 0 | 10 |
| | vegyes | 22 | 20 | 23 | 22 | 87 |
| Keszthely | óceáni | 4 | 6 | 3 | 7 | 20 |
| | medit. | 0 | 2 | 1 | 2 | 5 |
| | kontin. | 5 | 6 | 6 | 0 | 17 |
| | vegyes | 21 | 16 | 20 | 21 | 78 |
| Mosonmagyaróvár | óceáni | 3 | 6 | 1 | 6 | 16 |
| | medit. | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| | kontin. | 1 | 2 | 2 | 0 | 5 |
| | vegyes | 26 | 22 | 27 | 22 | 97 |
| Pápa | óceáni | 4 | 6 | 1 | 8 | 19 |
| | medit. | 0 | 4 | 1 | 2 | 7 |
| | kontin. | 6 | 6 | 4 | 0 | 16 |
| | vegyes | 20 | 14 | 24 | 20 | 78 |
| Pécs | óceáni | 2 | 3 | 0 | 5 | 10 |
| | medit. | 3 | 7 | 4 | 5 | 19 |
| | kontin. | 14 | 9 | 8 | 1 | 32 |
| | vegyes | 11 | 11 | 18 | 19 | 59 |

3/b. táblázat
Különböző dinamikájú évek előfordulási
gyakorisága néhány meteorológiai állomáson
(Alföld)

| Állomás | | 1881- 1910 | 1911- 1940 | 1941- 1970 | 1971- 2000 | 1881- 2000 |
|-------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Baja | óceáni | 5 | 5 | 2 | 6 | 18 |
| | medit. | 0 | 3 | 1 | 4 | 8 |
| | vegyes | 5 | 9 | 10 | 0 | 24 |
| Kalocsa | óceáni | 20 | 13 | 17 | 20 | 70 |
| | medit. | 3 | 6 | 2 | 6 | 17 |
| | kontin. | 2 | 3 | 2 | 3 | 10 |
| Kecskemét | kontin. | 13 | 11 | 10 | 2 | 36 |
| | vegyes | 12 | 10 | 16 | 19 | 57 |
| | óceáni | 2 | 4 | 1 | 3 | 10 |
| Szeged | medit. | 2 | 2 | 1 | 5 | 10 |
| | kontin. | 16 | 10 | 11 | 1 | 38 |
| | vegyes | 10 | 14 | 17 | 21 | 62 |
| Szarvas | óceáni | 2 | 4 | 1 | 4 | 11 |
| | medit. | 3 | 5 | 2 | 3 | 13 |
| | kontin. | 16 | 11 | 10 | 0 | 37 |
| Túrkeve | vegyes | 9 | 10 | 17 | 23 | 59 |
| | óceáni | 2 | 2 | 1 | 3 | 8 |
| | medit. | 2 | 2 | 1 | 4 | 9 |
| Debrecen | kontin. | 16 | 12 | 13 | 3 | 44 |
| | vegyes | 10 | 14 | 15 | 20 | 59 |
| | óceáni | 1 | 3 | 1 | 2 | 7 |
| Nyíregyháza | medit. | 2 | 1 | 1 | 5 | 9 |
| | kontin. | 15 | 10 | 14 | 9 | 48 |
| | vegyes | 12 | 16 | 14 | 14 | 56 |
| Budapest | óceáni | 2 | 3 | 1 | 3 | 9 |
| | medit. | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| | kontin. | 8 | 10 | 10 | 1 | 29 |
| Nyíregyháza | vegyes | 19 | 16 | 18 | 25 | 78 |
| | óceáni | 2 | 1 | 0 | 2 | 5 |
| | medit. | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| Budapest | kontin. | 3 | 7 | 7 | 1 | 18 |
| | vegyes | 25 | 21 | 22 | 27 | 95 |
| | óceáni | 4 | 6 | 3 | 2 | 15 |
| Budapest | medit. | 1 | 4 | 3 | 11 | 19 |
| | kontin. | 9 | 7 | 9 | 4 | 29 |
| | vegyes | 16 | 13 | 15 | 13 | 57 |

számíthatunk – különösen a dél-dunántúli területeken – a mediterrán talajképződés erősödésére, és a barna erdőtalajok irányába történő elmozdulására.

A klímaváltozás, az élővilág megváltozása, a talajképződési folyamatok időléptéke nagyon különböző, a változás sebességét nehéz becsülni, és az emberi tevékenység részben gyorsítja, részben fékezi, de az átalakulások folyamatos figyelemmel kísérése vitathatatlanul mindannyiunk érdeke.

A kontinentális hatás jelentős gyengülése magában hordozza a mezőség, a sztyepp viszszafejlését, a fás növényzetnek, az erdőnek a terjeszkedését azokra a területekre, ahol a talajkilúgzás feltételei valamivel kedvezőbbek. Ha ez így alakul, az erdőövezet nem adja át helyét mezőségnek, hanem esetleg a mediterrán területek száraz erdőinek irányába mozdul fokozatosan tovább, helyet adva azok állományalkotó elemei terjeszkedésének, barna erdőtalajaink – amelyek jelenleg is több tekintetben különböznek a nyugat-európai barnaföldektől – elmozdulhatnak a dél-európai fahéjszínű erdőtalajok irányába. Mezőségi talajainkban pedig feltehetően erősödhet a mészlepedékes csernozjom jelleg, ami eddig is a déli tengerek klimatikus hatásként alakította azokat a déli csernozjom típus sajátos képződményeivé (mészlepedékes – dunai – azovi csernozjom).

A klímaváltozás, és ezen belül az időjárási elemek szezonális dinamikájának változása különös jelentőségű a természeti környezet egészének sorsa, és benne valamennyiünk sorsa számára. A talajzónák lehetséges elmozdulására vonatkozó elmélkedést a talajt létrehozó és fenntartó élővilág változásának megismerése alapozhatja meg (Aradi, 2006), és a természeti környezetünkre, annak védelmére irányuló tájökológiai, konzervációbiológiai kutatásoknak természetes komponense kell legyenek a klímaváltozással aktualizált talajföldrajzi kérdésekre választ adó vizsgálatok.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) ARADI, Cs. (2006): A globális klímaváltozás várható következményeinek értékelése természeti rendszereink szempontjából – természetvédelmi tennivalók. „Agro-21” Füzetek 48: 19-26. pp. (2) FÜHRER, E. – MÁTYÁS, Cs. (2006): A klímaváltozás hatása a hazai erdőtakaróra. „Agro-21” Füzetek 48: 34-39. pp. (3) JENNY, H. (1941): Factors of Soil Formation. Mc Graw-Hill NY. London (4) JUSTYÁK, J. – SZÁSZ, G. (2001): Az éghajlat a növényzet és a talaj övezetes elrendeződése a Földön. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen (5) LANG, R. (1915): Versuch einer exacten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. Internat-Mitteil.f.Bodenkunde alte ser. I. V: 312-346. pp. (6) MÁTÉ, F. – MAKÓ, A. – SISÁK, I. – SZÁSZ, G. (2008): Talajaink klímaérzékenysége, talajföldrajzi vonatkozások. Talajvédelem. in press. (7) MÁTYÁS, Cs. (2004): A természetes növénytakaró, az erdő klímaérzékenysége. Természet Világa 135. II. különszám: 70-73. pp. (8) MÁTYÁS, Cs. (2005): Klímaváltozás, szénmegkötés és az erdőtakaró labilitása. „Agro-21” Füzetek 43: 80-87. pp. (9) MAYER, A. (1926): Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. Chemie der Erde 2: 209-237., 269-270. pp. (10) SCHERF, E. (1932): Talajklimatikus és légköri klimatikus tényezők versenye a talajtípusok keletkezésénél. M. Kir. Földt. Int. Évkönyve I. XXIX. (11) STEFANOVITS, P. (1971): Brown Forest Soils of Hungary. Akadémia Kiadó, Budapest (12) TIMKÓ, I. (1907): Szibircevi: Talajismeret. Földtani Közlöny I. XXXVII: 485-490. pp. (13) TREITZ, P. (1924): Magyarázó az Országos Átnézetes Klímazonális Talajtérképezéshez. M. Kir. Földt. Int. Kiadványa, Budapest (14) VOLOBUEV, N.R. (1953): Pocsvi i Klimat. Izd. A.N.A SzSZR Baku

A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA AZ ERDŐK FANÖVEDÉKÉRE

SOLYMOS REZSŐ

Kulcsszavak: klímaváltozás, erdő, fanövedék, kísérleti hálózat, kutatások.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A fa magassági és átmérő irányú növekedésében egyre nagyobb szerepet játszik a klímaváltozás, ezért növekvő jelentőségűek az ezzel kapcsolatos kutatások, melyeknek hazánkban figyelemre méltóak az előzményei. A továbbiakban a módszertani vonatkozások, a szárazanyagban való kifejezés, a növtér befolyása érdemel megkülönböztetett figyelmet.

BEVEZETÉS

Az erdők faállománya és egyes fái életük folyamán számos tényező összehatásának az eredményeként növekszenek, változtatják méreteiket és változik a megtermelt fa minősége, egészségi állapota is. Közismert, hogy az éghajlati tényezők döntően befolyásolják a különböző fafajok földrajzi elterjedését, kedvező vagy kedvezőtlen viszonyait. Értelmezhető tehát, hogy a klímaváltozás erdőre, erdőgazdálkodásra gyakorolt hatásait kiemelt figyelemmel kíséri az erdészettudomány, és egyre nagyobb kapacitást fordít e témára az erdészeti kutatás. Az erdő életében az egyik legjelentősebb változást a fák növekedése okozza, amely az erdőgazdálkodás termelési, természetvédelmi, jóléti céljainak a teljesítését illetően is elsőrendű fontosságú. Az egyes fák hosszan tartó (több évtized, sőt évszázad) élete folyamán tartamosan, állandó kísérleti területeken kell a változásokat és azok okait vizsgálni. Az *Erdészeti Tudományok Intézetben* 1961 óta folytatjuk az egész országra kiterjedő megfigyeléseket. Ez a kísérleti hálózat alkalmas lehet arra is, hogy a klímaváltozással együtt mérjük az egyes fák és a faállományok fanövedékét és változásait. A témával kapcsolatos kérdések közül a to-

vábbiakban kiemeljük a legfontosabbakat és vázlatosan ismertetjük kutatási vonatkozásaikat.

A FANÖVEDÉK, A FÁK MÉRETÉNEK VÁLTOZÁSA

A klímaváltozás, az üvegházhatású gázok, valamint a fák növekedése közötti összefüggéseket úgyszólván az egész világon vizsgálják. Kutatják az erdők fanövedékét abból a szempontból is, hogy a klímaváltozás és egyéb ökológiai tényezők milyen és mekkora hatást gyakorolnak a növedék alakulására. A kérdés lényege főleg a következő: az elmúlt időszakban és a jelenben mért változások gyorsították, avagy lassították-e a fák növekedését. Jogos a kérdés azért is, mert a légkör CO₂-tartalma jelentősen növekedett, amely a fa számottevő (50%) karbontartalma miatt befolyásolhatja a fák növekedését. Ezt már 1896-ban vizsgálta a svéd *Arhenius*. Valószínű, hogy ennek köszönhető a téma kutatásának svédországi gyors térhódítása.

A *fanövedék* vizsgálata rendkívül bonyolult feladat, amint ezt közel egy fél évszázados kutatásaim során magam is tapasztaltam. Az erdészeti kutatás témái között nemzetközi

méreteken különböző, fatermelési és egyéb céllal állandóan szerepel. Az évtizedek óta kialakított kutatási módszerekkel az volt a cél, hogy lehetőleg minél egyszerűbben és megbízhatóbban történjen a fanövedék számszerű meghatározása. A kutatás igazolta, hogy ezt a feladatot csak viszonylag tág hibahatárok között lehet teljesíteni. Ezért nevezi az erdészeti irodalom „növedékbecslésnek”. Ezek a hibahatárok mindenkor az erdészeti kutatás és gyakorlat számára elfogadható mértékűek.

Az utóbbi évtizedekben hazánkban számottevően javult a fanövedék becslésének és előrejelzésének, valamint a különböző tényezők növedék alakulására gyakorolt hatásának a mérése. Ez főleg az ökológiai és a fiziológiai tényezők növekedési törvényszerűségekre való beépítésének és a matematikai statisztika széles körű alkalmazásának köszönhető. A klímaváltozás hatásvizsgálatára is többféle kutatási módszert dolgoztak ki, amelyek nagyobb része közismert. Elsősorban a fák magassági és átmérő irányú növekedését és változását célszerű vizsgálni. Erre hazánkban is széles körű lehetőség van. Egyelőre az anyagi és a személyi előfeltételek még nem elégségesek

AZ ERDŐ FÁINAK NÖVEKEDÉSE

Közismert, hogy valamennyi élő szervezet növekedése méreteinek pozitív irányú változását jelenti. A növények, a fák növekedése az asszimiláció következménye, amelynek intenzitása a növekedés méreteiben is jelentkezik. Az erdő fáinak növekedését a magasság, az átmérő, a fatérfogat, az alakszám mérése útján viszonylag pontosan meg lehet határozni. Matematikailag a növekedés a környezet és az idő függvénye: $y = f(kt)$. A növekedésre rendkívül sok tényező hat. Hatásuk mértékének meghatározása nagyon bizonytalan. Napjainkban a legfontosabbakkal célszerű elsősorban foglalkozni. Nem vitás, hogy a klímaváltozás ezek közé tartozik, amelynek az erdő fáira gyakorolt hatását a

növekedés széles körű vizsgálatával célszerű folytatni. Nemzetközileg sokat foglalkoznak a növekedés gyorsulásával. Az eddigi megállapítások szerint valószínű a gyorsulás, bár kellően még nem sikerült ezt igazolni.

Az *Erdészeti Tudományos Intézetben* (ERTI) végzett vizsgálataink szerint valamennyi fajfaj növekedési menetére érvényes, hogy fiatal korában a növekedési görbe gyorsan emelkedik, a kulmináció hossza a termőhelytől és a fa szabadállásától függ. A tetőzés után a növekedés viszonylag gyorsan mérséklődik, aszimmetrikus. Mindez a növekedés menetére érvényes. A fajfaj és a termőhely, valamint a fa szabad állásának hatása a növekedés mértékében jut kifejezésre. Az ERTI-ben elért kutatási eredményeink alapul szolgálhatnak a klímaváltozás növekedésre (növedékre) gyakorolt hatásának széles körű vizsgálatához.

Ezen általános megállapítások után célszerű megvizsgálni a fák magassági és átmérő irányú növekedését és a klímaváltozással való lehetséges kapcsolatukat.

A növekedés(növedék)-kutatás kiemelten fontos része a famagasság – a fa élete során való – *változása, növekedése*. A klímaváltozás szempontjából valószínű, hogy gyors és megbízható eredmények ezektől a vizsgálatoktól várhatók. A klímaváltozás hatásának elemzésekor kiemelt jelentőségű az, hogy a vizsgált fa a faállomány melyik magassági osztályához (kimagasló, uralkodó, közbeszorult, alászorult fák) tartozik. Az asszimiláció intenzitása nyilván kedvezőbb a felső szintben levő fakoronákban, mint az alászorultakban. Más a mikroklíma is a különböző szintekben.

A magassági növekedés kulminációja főleg az erdőnevelés szempontjából és különösen az elegyes faállományok esetében nagyon fontos.

A magassági növekedést befolyásolják az ökológiai, termőhelyi adottságok: a *klíma*, a talaj tápanyaggazdagsága és vízháztartása, az esetleges melioráció, az erdőművelési eljárások stb. Az erdészeti termőhely-osztályozás alapja a fák magassági növekedése.

A zavartalanul élő fák magassági növekedése, egy adott korban elért magassága egyértelműen megmutatja, hogy az illető fafaj számára az adott termőhelyi viszonyok milyen mértékben felelnek meg. Természetesen a mintafák kiválasztásakor mindenkor ügyelni kell arra, hogy a fa az állomány felső szintjében és „viszonylag” szabadabb állásban helyezkedjen el.

A fa felhasználása jelentős mértékben függ a vastagságától. Az átmérő irányú növekedést befolyásolják a genetikai tulajdonságok, az erdőnevelés (növtér), a törzsszámszabályozás főleg fiatal korban és a gyérítésekkel létrehozott megvilágítás a közép és idősebb korban. Az egyes fák és a faállományok átmérője számottevően függ a hektáronkénti törzsszámtól. Elegendő, ha a faállomány szerkezeti alapképletben megnyilvánuló összefüggésre utalunk.

$$V = G \cdot H \cdot F,$$

ahol V = a faállomány fatérfogata; G = a faállomány körlapösszege; H = a faállomány magassága; F = a faállomány alakszáma. Az időjárás miatt is évről évre jelentősen elérhet a vastagsági növekedés menete az átlagtól. Jelenleg a klímaváltozással kapcsolatos kutatások számottevően megnövelték ennek a szerepét. Az évgyűrű-kronológia, a dendro-klimatológia számos kérdésre adhat választ. Több mint 100 éve foglalkozik ezzel az erdészeti kutatás és keres választ a növekedésbeli eltérések okaira.

AZ ERDEI FÁK NÖVEKEDÉSÉVEL ÉS A KLÍMAVÁLTOZÁSSAL KAPCSOLATOS VIZSGÁLATOK NÉHÁNY MÓDSZERTANI VONATKOZÁSA

A törzselemzés az egyik legmegbízhatóbb vizsgálati módszer, amikor a vizsgált fa évgyűrűinek és ágörveinek mérete alapján állapítják meg a fa növekedését. A törzselemzés útján pontosan meghatározható az egyes fák-

nak az elmúlt időszakban elért növekedési menete. Az elemzés során nyert magassági, átmérő irányú és alakszám-adatok segítségével a fatérfogat növedéke és a növedék változása levezethető. Az elemzések során figyelemmel kell lenni arra, hogy az évi időjárás által okozott növekedési változások miatt – amelyek főleg a kimagasló fáknál tapasztalhatók – vannak egyedi különbségek a növekedésment lefolyásában. Ez lehet a genetikai tulajdonságok következménye is, vagy a fa szociális helyzetéből adódik a szomszédos fák hatása szerint. Általános törvényszerűségek felismerésére csak több, elegendő számú(!) fa növekedési középértéke lehet alkalmas. A növekedési menetnek a törzselemzés útján való meghatározását illető lehetősége elsősorban azon fafajok esetében adott, amelyek jól kivehető évgyűrűt fejlesztenek. Olyan próbatörzs döntésére azonban nincsen lehetőség, amelyek a növekedése az egész faállományt képviselné. A növekedést befolyásoló külső és belső tényezők hatásának a megállapítására alkalmas a törzselemzés. Legtöbb esetben hiányoznak a változó környezeti tényezőkről készített pontos feljegyzések. Ilyen esetben is megállapítható a fa növekedésének menete, de nem lehet választ adni a „miértre”, ezt a klímaváltozással kapcsolatosan alaposan vizsgálni érdemes. Abban az esetben, ha csak a vastagsági növekedésre kell választ adni, megfelelő a fűrőbél értékelése is, amikor a fa törzsébe fúrva erre a célra olyan mintát vesznek, amelyen az évgyűrűk jól mérhetők.

A FANÖVEDÉKRE HATÓ NÉHÁNY TÉNYEZŐ KIEMELÉSE

Mielőtt a klímaváltozást illető növedék-vizsgálatokra további javaslatokat tennék, szükségesnek tartom néhány, elsősorban ökológiai vonatkozású tényezőnek a teljesség igénye nélkül való rövid áttekintését, amelynek a fanövedék alakulására meghatározó befolyása van. Ez a klímaváltozás hatásainak egzakt megállapításához nélkülözhetetlen.

R. Hartig már 1896-ban felismerte, hogy *egy tápanyagokban gazdag talajon az egyes fák azonos tümenyiséggel kétszer annyi növedéket képesek produkálni, mint a tápanyagokban szegényen. Mitscherlich* hatástörvénye szerint a tápanyagellátásnak döntő hatása van az adott levéltömegek asszimilációjának intenzitására. *Wehrmann* kimutatta, hogy az erdeifenyőtűk N-koncentrációja és a fatermési osztály között szoros az összefüggés. *Liebig* (1855) minimum törvénye szerint a mindenkori minimumban levő természeténél határolja be a növekedés mértékét. *Boysen-Jensen* dán növény-fiziológus határozta meg először világosan a faállományok szervesanyag-termelésének mennyiségét.

Eszerint kimutatták, hogy a fanövedék csupán az asszimilációs hozamnak mintegy 35%-át teszi ki, a legnagyobb a légzési veszteség: 34%. A légzési veszteség a gyérintett faállományban csökken, mert a gyérintésnél főleg az alászorult fákat termelik ki. Ebből is következik, hogy a gyérintett állomány növedéke nem kevesebb, mint a gyérintetlené, általában 10%-kal nagyobb!

Bachman növekedési törvénye (1943) főleg a fák magassági növekedésére vonatkozik. Ez a törvény akkor alkalmazható, ha a növekedés akadálytalan. A környezet változása azonban módosítja a további növekedésnek e törvény szerinti alakulását. Ezt a változást kell megbízhatóan meghatározni, és igazolni a klímaváltozással kapcsolatos szignifikáns összefüggését.

A fatermés tömegének (nem térfogatának) növedékét *napjainkban még ritkán fejezik ki szárazanyagsúlyban*. Amíg a magassági és az átmérő irányú növekedés kifejezésére a hossz mértékek az egyedüliek, addig a fatérfogat és a fatömeg kifejezésére az SI rendszernek megfelelően különböző lehetőségeink vannak. *Trendelenburg és Mayer-Wegelin* (1955) „A fa mint nyersanyag” című munkájukban már joggal említi, hogy az erdészeti fatermés tanban már nem korszerű csak térfogategységben gondolkodni. Az erdő organikus össztermésének meghatározása szükségessé teszi a szárazanyagra való

átszámítást, amellyel napjainkban sem foglalkozik az erdészeti kutatás a jelentőségének megfelelő mértékben. Az egyes fafajok különböző súlyú (szárazanyag-tartalmú) faanyaga miatt a fafajok fatermésének, növedékének egzakt összehasonlítása térfogat szerinti mértékegységekben aligha lehetséges. Itt külön ki kell emelni az elegyes erdőket.

Míg a fa térfogata vízzel telített állapotban és száraz állapotban egyértelműen meghatározható, addig a fa (fanövedék) súlyát illetően csak teljesen száraz állapotban áll fenn ez a lehetőség.

A FAÁLLOMÁNY EGYES FÁI NÖVŐTERÉNEK A BEFOLYÁSA

A faállomány valamennyi törzsének egy adott termőterület áll a rendelkezésére. Ha eltekintünk a kellően nem ismert „gyökérszóna” viszonyaitól, abban az esetben a növőtér alsó határának a talaj felszínét fogadhatjuk el. Döntő a növekedés (növedék) szempontjából is az adott fának a szomszédos fák által való behatárolása. Ez a behatárolt terület tulajdonképpen a fa növőtere. Az átlagos növőtér a faállomány fáira vonatkoztatva egyenlő a faállomány területének és a fák számának a hányadosával. Az egyes fák növedékének vizsgálatakor azonban ez az átlag már nem fogadható el. Ebben az esetben pontos méréssel (koronavetület) kell az illető fa növőtérét meghatározni. *Jól kell tudni elhatárolni a növőtér-változás hatásait a klímaváltozástól*. A kutatásokat mindkettőre vonatkozóan kell folytatni.

A *növőtér*, a termőterület és a faállomány záródása, továbbá a klíma szoros korrelációban van egymással. Itt kell megemlíteni azt, hogy akár a magassági, akár az átmérő irányú, vagy a fatérfogat-növedék meghatározásáról van szó, mindenkor figyelembe kell venni a vizsgált fa körüli állományrész záródását is, amely általában a faállomány gyérintettségének a függvénye. Elengedhetetlen, hogy a gyérintettség mértékét (fokát) helyesen becsüljük meg akkor is, amikor az egyes fák fatér-

fogat-növedékének a teljesítményét át akarjuk számítani a területre vonatkozó lehetséges teljesítményekre, vagyis a faállomány produktivására és a produktivítás, valamint a klímaváltozás közötti összefüggésekre.

A növőtér és a fa kora befolyással van a koronaterpesztési viszonyokra is, amelyek szintén hatnak az egyes fák magassági, átmérő irányú és fatérfogat-növekedésére (növedékére) is. Az ERTI-ben hosszú időn át vizsgáltuk a B/D (növőtér/mellmagasságban mért átmérő) arányt, amely a záródás és a kor függvényében jelentős változásokat mutatott. Egyértelműen bizonyítható, hogy ha a faállomány teljesen záródott és nem lehetséges a koronák oldal irányú növekedése, akkor is növekszik az egyes fák átmérője (még ha kisebb mértékben is). Így a B/D értéke kisebb lesz. Más esetben az erőteljes gyérités után (például a bükkösökben) a fák koronái gyorsabb ütemben növekszenek, mint az átmérőik, tehát a B/D arány is növekszik. A végzett vizsgálatok szerint a nagy koronájú fáknek a koronaméreteikhez képest viszonylag kisebbek a törzsméretei (az átmérő). A növekedésvizsgálatoknak ki kell terjednie ezen tényezőkre is. Kérdés, miként alakul ez a klímaváltozás hatására?

A véghasználati kor (vágáskor) faméretei mértékadók a növőtér „szükségleteket” illetően. Miként módosítja ezt a megállapítást a klímaváltozás? Az ún. „öregfahossz” általános aránymértékként is használható. Ez a mérték elfogadható irányadóként az egyes fák kölcsönhatását illetően, úgy mint a fák közötti kedvező vagy kedvezőtlen kölcsönhatások hatótávolsága. Kérdés, hogy ez a kölcsönhatás változik-e a klímával együtt?

A fák természetes növekedését, a növekedés sebességét nemcsak a koronák árnyalá-

sa fékezi, hanem az „*oldalnyomást*” okozó *szomszédos fák* is. Ha ezeket a gyéritések során a növekedés kulminációs szakasza előtt eltávolítják, akkor a lábön maradó (nagyobb növőtérű) fák növekedése *egy időre* felgyorsul úgy, hogy például a térfogat folyónövedéke az átlagosnál hamarabb tetőzik. Ügyelni kell a kutatás során arra, hogy *ezt a gyorsulást ne tulajdonítsuk a klímaváltozás következményének!* Faterméstani szempontból a növedékgyorsulásnak nagy a jelentősége, mert a gyéritési kísérletek szerint azok növedékfokozó hatását illető túlzott remények a megfelelő mértékre szállíthatók le. Mindez további magyarázatot igényel.

Itt célszerű megemlíteni azt is, hogy a genotípusok szerinti erőteljesebb növekedésű fák kiválasztására sok esetben nincsen lehetőség az erdőgyéritések folyamán. Gyakran előfordul, hogy a technikai célok figyelembevételével éppen ezeket termelik ki. A biológiai és a technikai szempontból értékes fatulajdonságok összekapcsolása a tervszerű fanemesítés feladata. Az általános cél a legjobb minőségű fák átmérő irányú növekedésének fokozása, amely az egyes fafajok és az adott termőhely által meghatározott határokon belül elérhető.

Az eddigiekben ismertetettekkel arra törekedtem, hogy kiemelten mutassak rá a növekedésvizsgálatok bonyolult voltára és a tervezett klímaváltozási kutatás során nyert eredmények sokoldalú értékelésének indokoltságára. A nemzetközi gyakorlatban is előfordul, hogy néhány fatörzs elemzése és az adatok matematikai-statisztikai értékelése után vannak le következtetéseket úgy, hogy a növekedésre ható legjelentősebb tényezőket, többek között a klímaváltozás hatását nem vizsgálják.

A KLÍMA, A KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS A FANÖVEKEDÉS NÉHÁNY ÖSSZEFÜGGÉSE

SOMOGYI ZOLTÁN

Kulcsszavak: klímaváltozás, növekedésgyorsulás, bükk, kocsánytalan tölgy, cser.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A tanulmány két, egymással összefüggő kérdést elemez. Az egyik az, hogy vajon felgyorsult-e a fák magassági növekedése az elmúlt évtizedekben, a másik pedig az, hogy e gyorsulást okozhatta-e a hőmérséklet növekedése? A fanövekedés-gyorsulást egyrészt az Országos Erdőállomány Adattár 1981-es, illetve 2001-es erdőrészlet-adataiból bükkre, kocsánytalan tölgyre és cserre levezetett kor-magasság görbék összehasonlításával vizsgáltuk, másrészt pedig hosszúlejáratú fatermési kísérleti területek adatainak trendelemzésével kocsánytalan tölgyre. Mindegyik esetben a növekedés szignifikáns gyorsulása volt kimutatható; leginkább a cser növekedése gyorsult fel. E gyorsulás okainak vizsgálatához összefüggést kerestünk az Országos Erdőállomány Adattárban található sok ezer erdőrészlet tengerszint feletti magassága és átlagmagassága között. Kimutattuk, hogy az átlagmagasság – minden egyéb tényezőt állandónak tekintve – nőtt a tengerszint feletti magasság csökkenésével, ami megfelel az átlaghőmérséklet növekedésének. Mivel a csapadék éves mennyisége csökken a tengerszint feletti magasság csökkenésével, ezért azt a következtetést vontuk le, hogy az elmúlt évtizedek magasabb hőmérséklete valóban intenzívebb növekedéssel párosult. A jövőben a hőmérséklet-növekedés hatását azonban várhatóan korlátozza a rendelkezésre álló víz abszolút vagy relatív csökkenése.

BEVEZETÉS

Nem sokkal azután, hogy felmerült a klímaváltozás ténye, egyre inkább ismertté kezdtek válni a klímaváltozás következményei is. A klíma és a fanövekedés közötti alapvető összefüggések már régóta ismertek. (Ezen belül pl. ismert, hogy különböző klímájú helyekről származó, azonos fajú egyedek egymás mellett növe különböző sebességgel növekednek, lásd *Mátyás, 1994*). Ezért várható volt, hogy a klímaváltozásra az erdők is érzékenyen reagálnak. Ennek módja – a folyamatosan változó időjáráshoz való igazodás módja és mértéke – azonban egyáltalán nem magától értetődő. A fanö-

vekedésnek pénzügyi, gazdasági, társadalmi, környezetvédelmi és sok más vonzata ismert, és a fanövekedés bizonyos határok között jól mérhető – sokkal jobban, mint pl. az ökoszisztémákon belüli táplálékláncok kapcsolatrendszerei –, így a klímaváltozás hatásai közül az elsők között a fanövekedéssel kezdtek foglalkozni (*Mátyás, 1994; Somogyi, 1998a-c, 2001; Makkonen – Spiecker – Somogyi, 2000*).

A klímaváltozás ismertté válásával egy időben jelentek meg nagy visszhangot kiváltó, a fanövekedés nemzetközi trendjeit elemző tanulmányok is. *Kuusela (1994)* az európai országok erdészeti statisztikáinak alkalmazásával kimutatta, hogy az európai

erdők fakészlete és növedéke jelentősen nőtt az utóbbi 40 év alatt, mégpedig úgy, hogy közben a fakitermelési ütem is nőtt. Ezt követően jelent meg egy – azóta híressé vált – tanulmánykötet (*Spiecker et al., 1996*), amely már kifejezetten azt vizsgálta, hogy felgyorsulhatott-e a fák növekedése, s ha igen, miért. A kötetben szintén erdőleltárakra alapozott vizsgálatok eredményei mellett elsősorban erdészeti kísérletekben, nagyobb pontossági igényvel végzett tudományos módszerekkel végzett elemzések találhatók. Az eredmények szintézise szintén azt látszott igazolni, hogy – legalábbis kontinensünk legnagyobb részén – kisebb-nagyobb mértékű fanövekedés-gyorsulás jelei tapasztalhatók.

Hazánkban a fanövekedés változása a 80-as években még nem merült fel (*Király, 1986*), a 90-es évektől kezdődően viszont érdemi kutatások kezdődtek (*Somogyi, 1998a-c; Makkonen – Spiecker – Somogyi, 2000; Tóth, 1998; Szabados, 2007*). Az előzetes szakértői vélemények alapján mindenképpen érdemesnek tűnt vizsgálatokat indítani, melyek fő kérdése az volt, hogy vannak-e a hazai erdők növekedésének változására, esetleg gyorsulására utaló jelek.

A vizsgálatok eredményei közül ebben a cikkben két fő kérdést tárgyalunk:

1. Kimutatható-e a közelmúltban a fanövekedés sebességének változása hazánkban?

2. Eredményezhetett-e fanövekedés-változást a klíma eddigi változása?

E kérdések közvetlen kutatásra nem alkalmasak, s ezért – a kutatásokhoz rendelkezésre álló adatokhoz igazítva – azokat két-két kérdésre bontottuk, melyek eltérő módszertant igényeltek, s amelyek az alábbiak:

1(a) Hogyan alakult a fanövekedés trendje három fontosabb fafajra 1981-2001 között, az *Országos Erdőállomány Adattár* adatai alapján?

1(b) Hogyan alakult a fanövekedés trendje hosszú időtartamú kísérleti területeken?

2(a) Kimutatható-e összefüggés a fanövekedés mértéke és az átlagos hőmérséklettel kapcsolatba hozható termőhelyi tényezők között?

2(b) Ha kimutatható ilyen összefüggés, akkor az alapján okozhatott-e fanövekedés-változást a klíma 1981-2001 közötti változása?

AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK ÉS VIZSGÁLATI ANYAG

A fenti kérdések vizsgálata az egyes fő kérdések szerint elkülönülő adatokat, módszereket és feltételezéseket igényelt, ezért azokat, valamint a kapott eredményeket a fő kérdések köré csoportosítva tárgyaljuk.

A fanövekedés eddigi trendjeinek vizsgálata

A lehetséges fanövekedési jellemzők közül minden vizsgálatban a famagasságnak, mint a termőhelyi tényezőkkel viszonylag jó kapcsolatban álló méretnek a kor szerinti alakulását, vagyis a magassági növekedésmenetet elemzik. Különböző naptári évekből vagy időszakokból származó, de egyébként azonos fafajra vonatkozó növekedésmeneteket hasonlítottunk össze. Az összehasonlításokban azt vizsgáltuk, hogy a különböző években vagy időszakokban kimutatható növekedésmenetek – a mintavételi hibákat is figyelembe véve – ugyanolyanok voltak-e? Feltételeztük, hogy ugyanolyan termőhelyi feltételek ugyanolyan növekedést eredményeznek; különböző növekedésmenetek tehát eltérő termőhelyi viszonyokat jeleznek.

Megközelítésünk másik lényeges eleme az volt, hogy vizsgálatainkat minden esetben a lehetséges legnagyobb adatmintán végeztük el. Ezzel próbáltuk kiküszöbölni az olyan helyi termőhelyi, erdőkezelési stb. különbségekből eredő hatásokat, amelyek nagyobbak a termőhelyi tényezők megváltozása miatt általánosan érvényesülő hatásoknál, s melyek így ez utóbbiak felismerését gátolják.

Az 1(a) kérdés vizsgálatát az *Országos Erdőállomány Adattárból* (a továbbiakban: Adattár) a kocsánytalan tölgyesek (a továbbiakban: KTT), a bükkösök (a továbbiakban: B) és a cseresek (a továbbiakban: CS) erdőrésze-

letekre vonatkozó adataival végeztük. Csak többletvízhatástól független, elegenden vagy majdnem elegenden erdőrészeket vettünk számításba. Ezekre az erdőrészekre, külön 1981-re és külön 2001-re, az alábbi adatokat válogattuk ki: kor, záródás, elegyarány, állományrész, fatérffogat-meghatározás módja, átlagos magasság, átlagos átmérő, fafajonkénti fakészlet, továbbá a termőhelytípus-változatra vonatkozó adatok (lásd később). A magasságadatokból, külön 1981-re és külön 2001-re, különböző kor- és egyéb kategóriákban növekedésmenteket vezettünk le, és ezeket hasonlítottuk össze regressziós és korrelációs technikák alkalmazásával.

Az 1(b) kérdés vizsgálatához az ERTI kocsánytalan tölgyes hosszúléjárátú kísérleti területek minden korábban felvett adatából kiválogattuk a vizsgálatra alkalmasakat, majd ezeket feldolgoztuk a standard fatermési módszerek szerint. Elvégeztük emellett több kocsánytalan tölgy kísérleti terület aktuális fatermési újrafelvételét és e felvételi adatok feldolgozását is, hogy minél több adat álljon rendelkezésre az elemzésekhez. Az újrafelvételknél is – mint minden más korábbi felvétel esetében – két-két felvétel között jellemzően 5-10 év telt el.

A fanövekedés és a termőhelyi viszonyok (illetve azok változásai) közötti összefüggések vizsgálata

A klímaváltozás hatásainak elemzésekor célszerűen elsősorban a hőmérséklet és a csapadékmennyiség változásának a hatását kell vizsgálni. Ehhez azonban közvetlenül egyik adattal sem rendelkezünk. Ezeket ugyanis nem mérik és használják az erdészeti adatbázisokban, és megfelelő földrajzi sűrűségben más adatbázisokban sem voltak hozzáférhetők. Nagy területen, sok erdőrészt átlagában viszont összefüggés van egyrészt az átlaghőmérséklet, illetve az éves csapadékmennyiség, másrészt a tengerszint feletti magasság (a továbbiakban: TSZFM), illetve az erdészetben alkalmazott ún. klímátípus (Járó, 1973) között. Ezért a hőmérséklet

hatásainak elemzéséhez a TSZFM, illetve a klímátípus, valamint az átlagmagasság között kerestünk általánosítható, illetve számszerűsíthető összefüggéseket egy-, illetve többváltozós regressziós elemzéssel. Ezzel a megközelítéssel elemezhető a 2(b) kérdés.

A regressziós elemzéseket termőhelyi kategóriánként külön-külön végeztük el. A kategóriákat az Adattárból leválogatott standard erdészeti termőhelyi információk – a kitétség, a talajtípus, a termőréteg-vastagság, valamint a fizikai talajféleség – szerint különítettük el. (A hidrológiai viszonyokat azért nem vizsgáltuk, mert csak a többletvízhatástól független erdőrészeket vizsgáltuk.) Csak e tényezők leggyakoribb formáit (pl. főbb barna erdőtalajok) vettük számításba; így összesen 84 termőhelyi kategóriát alakítottunk ki.

Végül a 2(b) kérdés elemzésekor a 2(a) kérdésre kapott összefüggésekkel azt néztük meg, hogy az 1981-2001 közötti hőmérséklet-változás mekkora fanövekedés-változásnak felel meg. Ezen túlmenően jövőre vonatkozó becsléseket is vizsgáltunk az említett összefüggések alkalmazásával, különböző hőmérséklet-változási forgatókönyvekre.

A VIZSGÁLAT EREDMÉNYEI

A fanövekedés eddigi trendjeinek vizsgálata

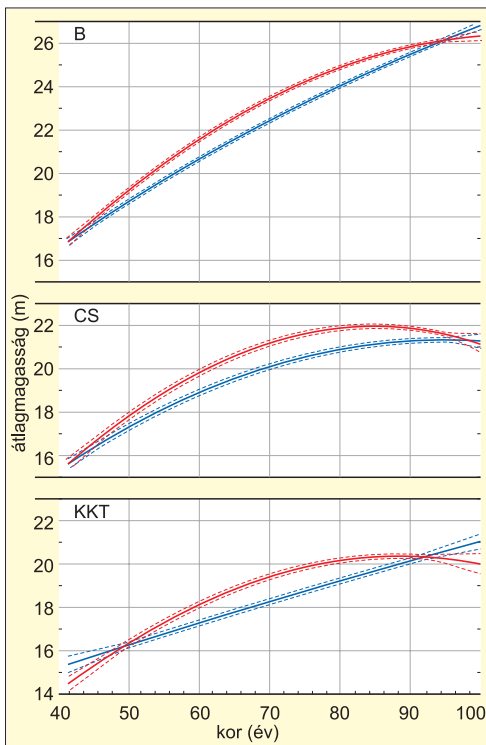
1(a) A fafaj-szintű elemzésben a KTT-re, a B-re és a CS-re fafajonként több ezer erdőrészlet átlagos famagasságával dolgozhattunk. Az ezekre illesztett, 1981-re, illetve 2001-re vonatkozó kor-famagasság görbék között viszonylag jelentős és szignifikáns különbség volt kimutatható (1. ábra¹).

A rendelkezésre álló adatokat fafajonként külön korcsoportokban és eredet szerint is

¹ Megjegyezzük, hogy a bemutatott ábrák elsősorban az illusztrációt szolgálják; az elemzéseket ezeknél jóval részletesebb statisztikákra alapoztuk.

(1. táblázat), valamint a főbb termőhelyi kategóriákra megbontva is elemeztük. Egy-egy ilyen kategóriába természetesen jóval kevesebb erdőrészlet adata került mind 1981-ben, mind 2001-ben. Az azonos korcsoporthoz tartozó kategóriákban kapott magasságok között kevésbé szignifikáns különbségek voltak, és előfordultak nem szignifikáns esetek is, sőt olyan esetek is, amikor a 2001-es átlagmagasság alacsonyabbnak mutatkozott, mint az 1981-es, azonban összességében az volt megállapítható, hogy a 2001-es magasságok azonos kategóriákban általában magasabbak voltak, mint 1981-ben.

1. ábra



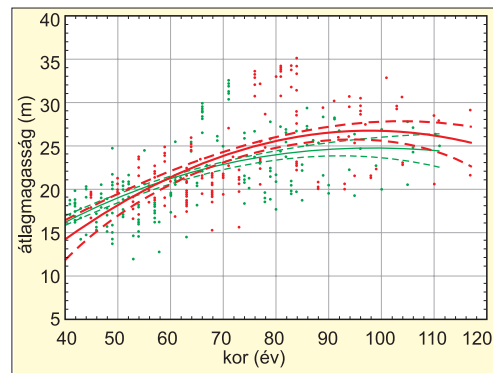
Kor-famagasság görbék

Magyarázat: KTT: kocsánytalan tölgy, CS: cser, B: bükk; 1981. év: kék szín, 2001. év: piros szín, folytonos vonal; 95%-os valószínűségi szinthez tartozó konfidencia-sávok: szaggatott vonal

Az 1. táblázatban látható a 2001-es és 1981-es korosztályonkénti átlagos magasság különbsége a kocsánytalan tölgy (KTT), cser (CS) és bükk (B) fajfaj erdőrészletek adataiból számolva eredet (mag, ill. sarj) és elegyarány-kategóriákban. Ez utóbbiaknál a „fő” olyan erdőrészletekre vonatkozik, ahol az adott fajfaj főfaj, vagyis legalább 50% az elegyaránya, az „elegy” pedig olyan erdőrészletekre, ahol az adott fajfaj elegyaránya 50%-nál kisebb. A piros cellákban lévő számok szignifikánsan nagyobb átlagmagasságot, a narancs színűekben lévőek nem szignifikánsan nagyobb átlagmagasságot, a zöld cellákban lévőek pedig nem szignifikánsan alacsonyabb átlagmagasságot mutatnak. (Szignifikánsan alacsonyabb átlagmagasság-értékek nem fordultak elő. A fehér cellákban nem volt elegendő darabszám az elemzéshez.)

1(b) A KTT kísérleti területekről származó adatoknál külön csoportokat képeztünk az 1990 előtt, illetve azután végzett mérésekből. A közvetlenül 1990 előtt, illetve azután végzett mérések közti időszak átlagos növekedését egy-egy regressziós görbével jelöltük (2. ábra), melyek mellett a görbék (95%-os

2. ábra



A KTT kísérleti területek famagasság-adatai

Magyarázat: 1990 előtt: piros, vastag folyamatos vonal, 1990 után: zöld, vékony folyamatos vonal; 95%-os valószínűségi szinthez tartozó konfidencia-sávok: szaggatott vonal

1. táblázat

A 2001-es és 1981-es korosztályonkénti átlagos magasság különbsége a vizsgált fafajoknál

| Fafaj/ eredet | Elegyedés módja | Korosztályok (év) | | | | | | | |
|------------------|--------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|
| | | 41-50 | 51-60 | 61-70 | 71-80 | 81-90 | 91-100 | 101-110 | 111-120 |
| KTT | | | | | | | | | |
| mag | fő | | | 2,57 | 0,50 | | -0,42 | 0,83 | 0,23 |
| | elegy | 0,37 | -0,24 | -0,78 | -0,36 | 0,26 | 0,23 | 0,06 | 0,04 |
| sarj | fő | | 3,38 | 0,98 | 2,66 | 2,27 | 1,59 | 1,35 | 1,33 |
| | elegy | | 2,04 | 0,02 | 1,98 | 1,27 | 1,68 | 0,23 | 3,30 |
| B | | | | | | | | | |
| mag | fő | | | 1,23 | 0,25 | 4,71 | 1,28 | 0,65 | 0,00 |
| | elegy | | 0,10 | 3,03 | 1,21 | 2,30 | 0,09 | 1,19 | 2,35 |
| sarj | fő | | | | | 5,70 | 3,80 | 1,11 | 2,75 |
| | elegy | | | 0,25 | 2,46 | 2,35 | 2,45 | 0,59 | 5,27 |
| CS | | | | | | | | | |
| mag | fő | | | -0,99 | 0,10 | 1,04 | 0,59 | 1,49 | 3,38 |
| | elegy | | 0,16 | 0,52 | 0,09 | 1,24 | 0,53 | 1,03 | 1,32 |
| sarj | fő | | 1,64 | 0,40 | 1,12 | 2,09 | 3,49 | 3,03 | 6,21 |
| | elegy | | 2,53 | -0,28 | 2,45 | 1,83 | 2,43 | 1,76 | 2,17 |

Magyarázat: lásd a szövegben

valószínűségi szinten vett) konfidencia-intervallumát is feltüntettük. Az 1990 utáni mérésekből adódó görbe jellemzően magasabban halad az 1990 előtti adatokból levezethető görbénél. Szignifikáns növekedés-gyorsulás a 75-95 éves kortartományban kimutatható, de az adatok a többi kortartományban is inkább gyorsulásra, mint lassulásra utalnak.

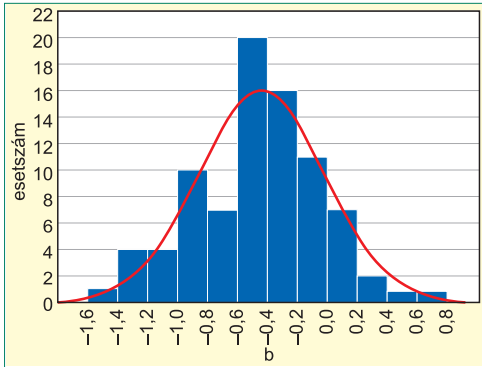
A fanövekedés és a termőhelyi tényezők közötti összefüggések

2(a) A TSZFM és famagasság között lineáris modellekkel kerestünk kapcsolatot. Az alapfeltételezés az volt, hogy ha minden egyéb tényező (fafaj, ill. a termőhelyi tényezők: klímatispus, talajtípus, kitettség stb.) változatlan, akkor a famagasságot a TSZFM határozza meg. A legkülönbözőbb fafaj-, illetve termőhelyi kategóriákban (pl. KTT, bükkös klímatispus, agyabemosódásos barna erdőtalaj, déli kitettség) meghatároztuk a TSZFM és a famagasság közötti összefüggést reprezentáló egyenes dőlésszögét. A kapott dőlésszögek között pozitív és negatív értékek is előfordulnak: a dőlésszögek -1,6 és 0,8 között szórnak, eloszlásuk pedig a normális elosz-

lást közelíti (3. ábra). Úgy tűnik, hogy – ha nagy szórással is – a 300-600 m-es tengerszint feletti magasságban egyértelmű hatása lehet a tengerszint feletti magasságnak: a dőlésszögek nagy átlaga (az dőlésszögértékek eloszlásának középértéke) negatív szám (-0,45), vagyis a TSZFM csökkenésével a famagasság növekszik. A három fafajra külön elvégzett elemzés hasonló képet mutat: az eloszlások középértékeihez rendelt, 95%-os szinten definiált konfidencia-intervallum teljes terjedelme minden esetben a negatív számok tartományába esik. Az eloszlások középértékére a büknél -0,499, csernél -0,57, kocsánytalan tölgnél pedig -0,29 adódott.

Összefüggést kerestünk a klímatispus és a famagasság között is. A klímatispusok mellett természetesen itt is fafajonként, valamint főbb talajtípusonként végeztük el a növekedésmentek közötti összehasonlításokat. Az összefüggések szemléltetése kedvéért bemutatott 4. ábrán jól látszik, hogy a három vizsgált klímatispusban (bükkös, gyertyános-tölgyes és cseres-tölgyes) azonosítható magassági növekedésmentek között jelentős különbségek vannak, és az eltérések szignifikánsak. Az eltérések általában nagyobbak,

3. ábra



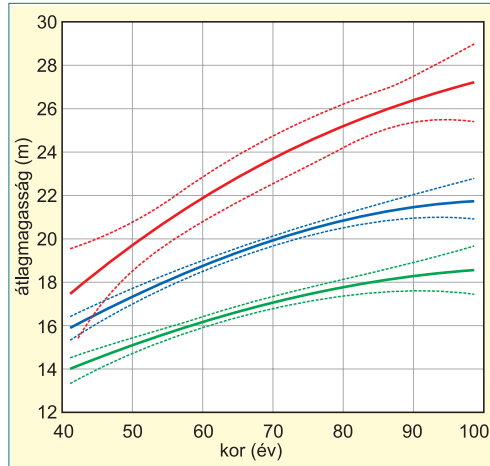
A famagasság = a + b * TSZFM
lineáris modell regressziós koeficienseinek
eloszlása különböző termőhelyi kategóriákban
minden fajra

Magyarázat: N= 84; az illesztett normális eloszlás középérték = -0,454; a 95%-os valószínűség mellett számolt konfidencia-intervallum: -0,545 és -0,362 között van

mint a TSZFM kategóriákban hasonlóképpen felrajzolt magassági növekedésmenetek között, de itt is jellemzően nagy az adatok szórása, és sok esetben ezért nem elegendő az adatok száma ahhoz, hogy egyértelmű következtetéseket tudjunk levonni. Összességében azonban megállapítható, hogy a fák – minden egyéb feltétel állandósága esetén – a bükkös klímátípusban nőnek legmagasabbra, a gyertyános-tölgyes klímátípusban kevésbé, a cseres-tölgyes klímátípusban pedig még kevésbé magasra nőnek.

Ellentmondásnak tűnhet, hogy a famagasság a TSZFM növekedésével csökken, az általában egyre magasabbban fekvő klímátípusok irányába (tehát a bükkös típus felé) haladva viszont nő. Feltehető azonban, hogy a klímátípusok esetében a tengerszint feletti magasság csökkenésével a hőmérséklet kisebb mértékben csökken, mint ahogyan a növekedésre kedvező hatású csapadék mennyisége nő. *Mátyás – Czimmer (2000)* szerint a bükkösök és a gyertyános-tölgyesek júliusi középhőmérséklete között 0,9, a gyertyános-tölgyesek és a cseres-tölgyesek között 0,2 fok van; az éves

4. ábra



A kor szerinti famagassági görbék eloszlása
különböző klímátípusokra,
agyagbemosódásos barna erdőtalajon
vagy barnaföldön, déli kitettségen

Magyarázat: 95%-os valószínűség mellett adódó konfidencia-intervallum: szaggatott vonal; felül (piros): bükkös, középen (kék): gyertyános-tölgyes, alul (zöld): cseres-tölgyes

csapadék mennyiségét tekintve a különbségek rendre 32, illetve 86 mm. E különbségek növekedésre gyakorolt hatását azonban további vizsgálatokkal kell elemezni.

2(b) A vizsgálatok korlátait hangsúlyozva elemeztük azt, hogy ha elfogadnánk a 2(a) vizsgálatban kapott eredményeket, akkor azok alapján milyen fanövekedésnek kellett történnie 1981 és 2001 között az akkor megfigyelt, nagyjából 1 °C hőmérséklet-emelkedés hatására. Ugyancsak kiszámoltuk, hogy 0,5 és 2 °C hőmérséklet-emelkedés – egyébként változatlan feltételek mellett – milyen növekedésváltozást idézhet elő a jövőben. (Megjegyezzük, hogy ezek a különbségek akkorák, vagy nagyobbak, mint az egyes klímátípusok között *Mátyás – Czimmer (2000)* által kimutatott hőmérsékleti különbségek.)

A kérdés vizsgálatához szükséges definiálni az ún. növekedési potenciált. Ezen azt értjük, hogy

– ha a léghőmérséklet a viszonyítási időszakhoz képest X hőmérséklettel emelkedne;
 – a hőmérséklet az emelkedés után stabilizálódna;

– és minden egyéb, a fanövekedést meghatározó tényező – tehát pl. a csapadék mennyisége is – változatlan maradna²,

akkor hosszútávon átlagosan mennyivel magasabbra nőnének a fák.

Ismert emellett, hogy a hőmérséklet átlagértéke a tengerszint feletti magasság 100 m-es változásának hatására nagy átlagban (0,5-)0,6 fokkal változik, s a változást közelítőleg lineárisnak lehet venni. Ha az egyszerűség kedvéért lineárisnak leírt TSZFM fanövekedés-modellt alkalmazzuk, akkor az úgy fogalmazható meg, hogy 100 m-es tengerszint feletti magasságcsökkenés hatására átlagosan mintegy 0,45 m-rel magasabbra nőnek a fák. Mindez más szóval azt jelenti, hogy a famagasság minden 0,1 fok átlaghőmérséklet-növekedés esetében 0,07 m-rel lesz nagyobb. (Természetesen minden korra és termőhelyre nagy átlagként kezelendő számról van szó.) Fafajonként: B: 0,1 m/0,1 fok, KTT: 0,05 m/0,1 fok, CS: 0,1 m/0,1 fok értékek adódnak.

Valamennyi fenti modellt és adatot egyszerre figyelembe véve fafajonként, az említett hőmérséklet-növekedési forgatókönyvekre, az alábbi növekedési potenciálokat valószínűsíthetjük a három legfontosabb, a projektben elemzett fafajra:

| Fafaj | Famagasság-növekedés átlagos mértéke (m), ha a hőmérséklet-emelkedés mértéke (K) | | |
|--------------------|---|-----|---|
| | 0,5 | 1 | 2 |
| Bükk | 0,5 | 1 | 2 |
| Kocsánytalan tölgy | 0,25 | 0,5 | 1 |
| Cser | 0,5 | 1 | 2 |

² A csapadék mennyisége a klimatológiai kutatások jelenlegi állása szerint egy ideig némileg csökken majd. Emellett magasabb hőmérsékletnél inkább előfordulhat, hogy legalább időszakosan a víz válik Liebig-féle minimum tényezővé. Mind ez azonban jelentősen nem módosítja a következtetéseinket.

AZ ÉRTÉKELÉS

A fanövekedési trendeket elemző két bemutatott vizsgálat eredményei leginkább arra utalnak, hogy a fanövekedés az utóbbi két-három évtizedben felgyorsult. Az értékelés erőssége, hogy nagyszámú adatot dolgozott fel, amivel kiküszöbölhető volt az a probléma, hogy a famagasság-mérés viszonylag nagy hibával végezhető csak. Az Adattár felvételi metodikájában, az adatok feldolgozásában, továbbá az erdők kezelésében viszont 1981 és 2001 között olyan változások állhattak be, amelyek hatással lehettek a kimutatott famagassági görbékre. A projekt keretein belül mindent megtettünk annak érdekében, hogy a fentiekből adódó bizonytalanságot csökkentjük, és ez alapján megállapítható, hogy *a famagasság-növekedés gyorsulása jelentős megbízhatósággal bizonyítottan tekinthető.*

A termőhelyi viszonyok – fanövekedés összefüggéseket illetően leszögezhető, hogy mind a „hőmérsékleti viszonyok”, mind a „csapadékviszonyok” nagyon bonyolultak, és önmagában valamely átlag (pl. éves, havi, vegetációs időszak stb.), minimum vagy maximum érték stb. az eddigi tapasztalatok szerint nem elégséges a fanövekedés megmagyarázására még akkor sem, ha a hőmérséklet vagy a csapadék egy-egy időszak során gyakran Liebig-féle minimumban van is. A tengerszint feletti magasságnak, mint az adatbázisban rendelkezésre álló, a hőmérséklettel és a csapadékmennyiséggel is szoros kapcsolatban lévő segédváltozónak az alkalmazása azonban szerencsés, hiszen így továbbra sem kizárólag egy-egy átlaggal vagy eloszlással kell dolgoznunk, mivel az egyes tengerszint feletti kategóriákban jellemzően nemcsak az átlagok, de a napi és évszakos eloszlások, a minimum és maximum értékek, valamint más hőmérsékleti és csapadékjellemzők is sajátosan alakulnak.

A TSZFM csökkenésével az átlaghőmérséklet jellemzően nő, ugyanakkor a csapadék mennyisége csökken, csökkentve – vagyis nem növelve – így a hőmérséklet-emelkedés hatását. Más szóval ez annyit jelent, hogy

ha feltételezzük, hogy a hőmérséklet növekedésével gyorsul a fanövekedés, akkor a TSZFM csökkenésével növekvő hőmérséklet a kimutatott famagasság-növekedésnél csak nagyobb növekedést eredményezhet. Természetesen hozzá kell tenni azt, hogy a vizsgálat módszertanából adódóan a hőmérséklet és a famagasság között ok-okozati kapcsolatokról nem, csak statisztikai értelemben vett korrelációról beszélhetünk.

A hőmérséklet és a csapadék mellett az eredmények értékelésekor valamennyi egyéb termőhelyi tényezőt figyelembe kell venni, és a „ceteris paribus” elvet kell alkalmazni. Ez azt jelenti, hogy különböző TSZFM kategóriákban megfigyelt famagasságokat csak azonos egyéb termőhelyi tényezők mellett szabad összehasonlítani. Ezt az elvet csak olyan mértékben tudtuk érvényesíteni, amilyen mértékben az Adattár adatbázisában rendelkezésre álltak termőhelyi információk (pl. talajtípus, kitétség). A legtöbb termőhelyi tényező (pl. a fotoszintézishez rendelkezésre álló fény mennyisége) viszont szerencsére a hőmérséklettel ellentétes irányban hat a növekedésre (csökkentik a növekedést, ha a hőmérséklet nő, és fordítva), s így az elemzésből történő kihagyásuk nem csökkenti, hanem növeli a tengerszint feletti magasság és a növekedés között megállapított összefüggés megbízhatóságát.

Az eredmények értékelésekor ugyanakkor egy további korlátot, a bizonytalanságot növelő tényezőt kell megemlíteni, nevezetesen, hogy ebben a vizsgálatban is – csakúgy, mint minden más, az Adattár adataira alapozott vizsgálatban – a famagasságokat elemeztük, amely természetesen korfüggő. A kor hatását az említett dőlésszögek mértékére több esetben ki lehet mutatni, több esetben ugyanakkor nem. Ez nem jelenti azt, hogy a tengerszint feletti magasságnak, s az azzal együtt mozgó átlaghőmérsékletnek nincs hatása, csak azt, hogy a famagasság mértékét egy-egy vizsgált korcsoportban a tengerszint feletti magasságon, koron, kitétségen stb. kívül még sok más tényező is befolyásolhatja (ill. nincs elegendő adat az adott korcsoportban). Ezen

tényezők elemzése, a famagasság-növekedés biológiájának vizsgálata nem lehetett tárgya ennek az analízisnek.

A klímátípusok elemzésekor a TSZFM-hez képest esetenként szorosabb kapcsolatokat találtunk. A TSZFM-mel szemben a klímátípust nem egyetlen fizikai jellemzővel, hanem azzal jellemezzük, hogy ott egy adott fafaj előfordulása jellemző. Ez az előfordulás azonban csak annyit mutat, hogy ott a fafaj (pl. a bükkös klímátípusban a bükk) *valamennyi* termőhelyi tényezőt tekintve „jól érzi magát”. Ezért bár a klímátípus és a fanövekedés között esetenként szoros összefüggést találtunk, ezeket egyelőre nem tudtuk felhasználni a hőmérséklet famagasságra gyakorolt hatásának az elemzésére.

Mindazonáltal további – térinformatikai eszközöket alkalmazó – vizsgálatokat igényel a TSZFM és a famagasság közötti összefüggések mélyebb megértése is. Az Adattárból leválogatott – a növekedés szempontjából talán nem is mindig legfontosabb – termőhelyi jellemzők kombinációiból sokféle termőhelytípus definiálható, ám valamennyi szituációt nem elemezhetünk részletesen, mert feladatunk az volt, hogy országos átlagban határozzuk meg az összefüggéseket. Ezek az összefüggések feltehetően nem lineárisak, és az összefüggések szorossága és jellege feltehetően a kortól is, valamint természetesen sok más tényezőtől is függ.

A hőmérsékleti forgatókönyvek hatás-elemzésekor – 2(b) kérdés – kapott számok alapján – ismételten hangsúlyozva a becslés közelítő jellegét – összefoglalva megállapítható, hogy az 1981-2001 közötti hőmérséklet-emelkedés magyarázhatta az átlagos magassági méretek megfigyelt emelkedését, hiszen nagyságrendben hasonló értékeket kaptunk mind az 1(a) és 1(b), mind pedig a 2(b) kérdés vizsgálatánál.

Végezetül megjegyezzük, hogy a kimutatott magasságnövekedésből adódó fatérfogat-növekedés mértéke várhatóan nem indokolja a fakitermelés volumenének jelentősebb fokozását. Emellett a Liebig-törvény értelmében a fanövekedés-gyorsulás a hőmérséklet továb-

bi emelkedésével csak bizonyos korlátok között valósulhat meg (Mátyás – Nagy, 2005; Mátyás, 2006). Az IPCC (2007) szerint globálisan a fatermékek termelése csekély mértékben lesz növelhető rövid és középtávon, és a produktivitás 1-3 fok további hőmérséklet-emelkedésig növekedhet tovább. Előbb-utóbb ugyanis a magasabb hőmérséklet és gyorsabb fanövekedés miatt megnő a fák víz-igénye is, és – a jelenlegi forgatókönyvek szerint – csökken a nyári csapadék mennyisége, s mivel a fák számára rendelkezésére álló víz mennyisége már eddig is közel limitáló volt, a jövőben a víz korlátozhatja a fanövekedést, sőt, a vízhiány a fák száradásához vezethet. Feltételezhető azonban, hogy még egy-két

évtized „haladékuk” van a fáknek, illetve az erdőgazdálkodásnak is arra, hogy alkalmazkodjanak a változó viszonyokhoz.

Köszönetnyilvánítás

A kutatásokat a Mátyás Csaba akadémikus által vezetett Klímaerdő nevű NKFP program tette lehetővé. Az Adattár adatait az Állami Erdészeti Szolgálat bocsátotta rendelkezésünkre. Az ERTI KTT kísérleti területek létesítésében és felvételében több évtized alatt sok kutató és technikus vett részt; közülük Solymos Rezső, Béky Albert, Bogyai János, valamint Balikó János munkája volt meghatározó.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) IPCC (2007): Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers, April 6th, 2007. <http://www.ipcc.ch>
- (2) Járó Z. (1973): Erdészeti termőhelyfeltárás, termőhelyvizsgálat (műszaki irányelvek). In: Danszky I. (szerk.): Erdőművelés. Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest, 853-868. pp.
- (3) Király L. (1986): Élőfákészlet, fakitermelés, fapusztulás, növedék. Budapest, kézirat
- (4) Kuusela, K. (1994): Forest resources in Europe 1950-1990. European Forest Institute Research Report No. 1. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- (5) Makkonen-Spiecker, K. – Somogyi, Z. (2000): Az európai erdők felgyorsult növekedéséről – egy európai kutatási program eredményei és visszhangja. Erdészeti Kutatások 89:73-80. pp.
- (6) Mátyás Cs. (1994): Modeling climate-change effects with provenance test data. Tree Physiology 14: 797-804. pp.
- (7) Mátyás Cs. (2006): Migratory, genetic and phenetic response potential of forest tree populations facing climate change. Acta Silvatica et Lignaria, 2: 33-46. pp.
- (8) Mátyás Cs. – Czimer, K. (2000): Zonális erdőtakaró mezoklíma szintű modellezése: lehetőségek a klímaváltozás hatásainak előrejelzésére. II. Erdő és klíma konferencia kiadványa (Debrecen, 2000. július 7-9.), 83-97. pp.
- (9) Mátyás Cs. – Nagy L. (2005): Genetic potential of plastic response to climate change. Tag.Ber., Forum Genetik und Wald, (ed. M. Konnert) Teisendorf, 55-69. pp.
- (10) Somogyi, Z. (1998a): Gyorsuló fanövekedési trendek Európában I. Erdészeti Lapok CXXXIII.1:6-7. pp.
- (11) Somogyi, Z. (1998b): Gyorsuló fanövekedési trendek Európában II. Erdészeti Lapok CXXXIII.2:37-38. pp.
- (12) Somogyi, Z. (1998c): Gyorsuló fanövekedési trendek Európában III. Erdészeti Lapok CXXXIII.3:65-66. pp.
- (13) Spiecker, H. – Mielikäinen, K. – Köhl, M. – Skovsgaard, J. P. (ed.) (1996): Growth trends in European forests. European Forest Institute Research Report No. 5. Springer (14) Szabados, I. (2007): Időjárás fluktuáció hatása a produkcióra dendrokronológiai kutatások alapján. In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): Erdő-klíma V., NYME Sopron, 295-306. pp.
- (15) Szalai, S. – Szentimrey, T. (2002): Melegedett-e Magyarország éghajlata a XX. században? Beszámoló a 2000. évi tevékenységről. OMSZ, Budapest. 3-14. pp.
- (16) Tóth, J. (1998): Hozzászólás Dr. Somogyi Zoltán: „Gyorsuló fanövekedési trendek Európában I., II. és III.” c. cikkéhez. Erdészeti Lapok

KLIMATIKUS STRESSZ ÉS A FAFAJOK GENETIKAI VÁLASZREAKCIÓJA AZ ELTERJEDÉS SZÁRAZSÁGI HATÁRÁN: ELEMZÉS ÉS ELŐREJELZÉS

MÁTYÁS CSABA – NAGY LÁSZLÓ – UJVÁRINÉ JÁRMAY ÉVA

Kulcsszavak: szárazsági határ, növekedés-visszaesés, mortalitás, fenotípusos plaszticitás.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A szárazsági határt kijelölő tolerancia genetikai vizsgálatára három faj populációjának viselkedését elemeztük közös tenyészkertekben. Az eredmények igazolják, hogy adott fajon belül egy populáció válaszreakciója az áréában elfoglalt helyszíntől és az evolúciós előzményektől függ.

Az elterjedés szárazsági (ariditási), vagyis alsó határán már kismértékű szárazodás is növedék-visszaesést és mortalitást eredményez, mert ezek a populációk alkalmazkodottságuk ellenére, eredeti előfordulási helyükön is stresszhelyzetben vannak (nem-egyensúlyi alkalmazkodottság törvénye miatt). Egy feltételezett 2 °C-os hőmérséklet-emelkedés esetére, a nedvességre különösen érzékeny lucfenyő és bükk esetében a magyarországi dombvidéki előfordulások komoly veszélyeztetettsége valószínűsíthető, mind egészségi állapot, mind növekedés tekintetében. A növedék-visszaesés a többi fajt is érinteni fogja, érzékenységük és aktuális termőhelyük függvényében.

A következő 3-4 évtizedben várható változások a jelenlegi faállományoknak legalább a felét (a jelenleg még középkorú és annál fiatalabb állományokat) érintik. Alkalmazkodásuk lehetősége elsősorban a fenotípusos plaszticitás mértékén múlhat. Ezen tulajdonság fokozott figyelembevétele és további vizsgálata ezért nagyon lényeges.

BEVEZETÉS

A fajok elterjedése bioklimatikus kerekeinek meghatározása régóta foglalkoztatta az ökológusokat (pl. *Larcher, 1973*). Bár általánosan elfogadott, hogy az elterjedés határait nem kizárólag klimatikus tényezők jelölik ki, a klímazonális ökoszisztémákat meghatározó fajok esetében ennek ellenére az elterjedési határok a faj klimatikus kerekeivel („climatic envelope”) jól összhangba hozhatók, elsősorban az elterjedés északi határain, illetőleg az elterjedés hegyvidéki felső határa mentén.

A fajok és erdei ökoszisztémák klímateroleranciája nem várt aktualitást kapott a

klímaváltozásra való felkészülés problematikájából adódóan. A bioklimatikus összefüggéseket felhasználó klímascenárió-modellezésnek könyvtárnyi irodalma van már. Ezeket felhasználva a nemzetközi együttműködésben készülő klímaelemzések részletesen kitérnek az előre jelzett éghajlatváltozás erdőtakarót érintő következményeire, legújabbán az IPCC klímaváltozás-bizottság 2007. évi jelentésében (*IPCC, 2007*).

A modellezés lehetőségét az teremti meg, hogy az élőlények globális elterjedési korlátját – egyebek mellett – a klímaterőzőkkel szemben megnyilvánuló élettani toleranciahatáraik szabják meg. A közismert tényhez egy kevésbé figyelembe vett megállapítást kell hoz-

zátegyünk: ezeknek az élettani határoknak egyértelmű genetikai meghatározottsága van, vagyis a tolerancia alapvetően genetikai okokra vezethető vissza. *A bioklimatikus modellzés tehát végső soron a faj genetikailag meghatározott toleranciahatárainak kutatása.*

A SZÁRAZSÁGI ERDŐ- ÉS FAHATÁR PROBLEMATIKÁJA

Míg a termikus tényezők által meghatározott északi, illetve hegyvidéki felső erdőhatár régóta jól leírt ökológiai jelenség, és várható elmozdulása is kellő hangot kap pl. az idézett IPCC jelentésben, addig az „alsó”, vagyis szárazsági (ariditási) határ alig kerül említésre. Ez a határvonal különböző ökológiai és emberi hatások miatt nehezen azonosítható (*Mátyás, 1996*), de ezen túlmenően a legutóbbi időkhöz azért kerülsz el a figyelmet, mert az érintett területek a nemzetközi (értsd: fejlett világbeli) kutatási aktivitás perifériájában helyezkedtek el. A kérdés hazai jelentőségére számos esetben hivatkoztunk (pl. *Führer – Mátyás, 2005*): a szárazsági erdőhatár Magyarországon valamennyi zónális fafaj szempontjából döntő jelentőségű, és még inkább azzá válik a klímaváltozás következtében. A klímaváltozás előhírnökeként fellépő vitalitásvesztés, mortalitás, szukceszió és egészségi problémák együttesen az alkalmazkodás, az alkalmazkodóképesség klimatikus határait jelzik. Az alkalmazkodás egy adott populáció esetében vagy szelekció (mortalitás, öngyérülés) vagy fenotípusos alkalmazkodás formájában történhet: mindkét folyamat szabályozottsága genetikai eredetű! (Természetesen az ökoszisztéma szintjén további alkalmazkodási lehetőséget ad a fajok helyettesítése, a fajösszetétel módosulása.)

A szárazsági határt kijelölő tolerancia genetikai vizsgálatára két lehetőség áll rendelkezésre: közös tenyészkertek adatainak elemzése, továbbá a szabályzó molekuláris genetikai háttér feltárása. Ebben a tanulmányban a közös tenyészkertek adataiból nyerhető eredményekkel foglalkozunk.

A vizsgálathoz egy alapvető hipotézis tartozik, amelynek alapkoncepcióját a következő pontokban lehet összefoglalni:

– A zónális fafajok elterjedésének határait elsődlegesen klimatikus tényezők jelölik ki.

– A nagy elterjedési területű, domináns erdei fafajok áréáján belül jól azonosítható (általában klín jellegű) genetikai differenciálódás figyelhető meg, amely a klimatikus alkalmazkodással összefügg.

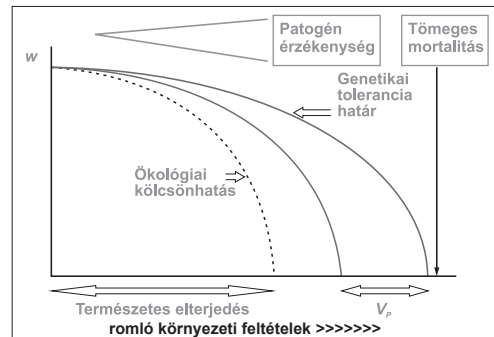
– A közös tenyészkerti kísérletekben mért adaptív reakció (növekedés, fenológia, egészségi állapot) a klímaváltozási szcenáriók következményei előre becslésére alkalmas, mert az eredeti helyszínhez alkalmazkodott populációk tenyészkerti viselkedése a klímaváltozás szimulációjaként értelmezhető.

– Adott klimatikus hatás az alkalmazkodottságnak megfelelően eltérő reakciókat vált ki a különböző földrajzi származások populációiból.

– A tolerancia határát öröklött genetikai adottságok jelölik ki.

– A környezeti feltételek romlásával a hátrahelyzetbe került populáció rátermettsége (növekedése, egészségi állapota) romlik, majd – a populáción belüli genetikai változatosság mértékétől függően – először egyedenkénti, majd tömeges mortalitás lép fel (1. ábra).

1. ábra



A populáció tolerancia és stabilitás ökológiai-genetikai modellje (munkahipotézis)

Magyarázat: W: rátermettség;

V_p: genetikai változatosság

A SZÁRAZSÁGTOLERANCIA BECSLÉSE KÖZÖS TENYÉSZKERTI KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEIBŐL

Az 1. ábrán bemutatott munkahipotézis alapján a tenyészkertitől eltérő klimatikus feltételekhez alkalmazkodott populációk viselkedését tanulmányozzuk. Ehhez a környezetváltozásra adott válaszreakció-elemzés *Mátyás (1994)* által kidolgozott módszerét alkalmaztuk. A kísérletekben regisztrálható környezetváltozás szélső esetekben messze meghaladja az elmúlt évszázadban Közép-Európában eddig tapasztalt klímaváltozások amplitúdóját, és átlaghőmérsékletben kifejezve akár 5-6 °C változást is elérhet (5. ábra). Ily módon a terepi megfigyelések olyan értékes információkat szolgáltathatnak a populációk viselkedéséről, amelyek egyébként csak elméleti modellezésből vezethetők le.

A közös tenyészkerti kísérletek elsősorban a fenotípusos alkalmazkodás, a plaszticitás vizsgálatára alkalmasak. *A fenotípusos plaszticitás vizsgálatát a mai erdészeti genetikai és ökológiai egyaránt elhanyagolja, holott a várható klímaváltozás mértéke és gyorsasága miatt ez a tulajdonság a legfontosabb és szinte egyedüli természetes kompenzációs lehetőség.*

Magyarországon az erdei- és lucfenyő, valamint bükk származási kísérletek állnak rendelkezésre a fenti elemzések végrehajtására. Ezekben a közös tenyészkertekben vizsgáltuk a szimulált klimatikus környezetváltozás rátermettségre gyakorolt hatását a három fajon. A származási kísérletek közül a két fenyőfaj kísérletei biostatistikai kritériumok szerint ma már elvileg értékelhetetlenek, de a fenotípus és a tolerancia megfigyelésére továbbra is alkalmasak. Ezen túlmenően az eddig összegyűjtött adatok visszamenőleges értékelése és nemzetközi egybevetése fentiekben ismertetett okok miatt kiemelten fontos feladat.

A TOLERANCIAHATÁR KLIMATIKUS INTERPRETÁLÁSÁNAK ÉS ELŐREJELZÉSÉNEK KORLÁTAI

A klimatikus tényezők egyedi és komplex hatásának statisztikai/matematikai megalapozottságú elemzését a digitális klímamodell alkalmazása teszi lehetővé. A szélsőséges klimatikus hatások és a populáción mérhető reakciók közvetlen értelmezésének azonban meg vannak a korlátai. Ezek közül kiemeljük a következőket:

– Az ökológiából ismert jelenség, hogy a faj elterjedési határait rendszerint eléggé rejtett és komplex kölcsönhatások szabályozzák, miáltal a faj tényleges toleranciahatárai lényegesen eltérhetnek az ökológiai modelltől. A genetikailag meghatározott toleranciahatárok törvényszerűen tágabbak, mint az ökológiai kölcsönhatások által meghatározott tényleges elterjedési határok (1. ábra).

– Az alkalmazkodás, illetve a növekedés és szaporodóképesség által együttesen szabályozott rátermettség (fitness) meghatározását erdei fák esetében az nehezíti, hogy a hosszú életkor miatt az érett korú egyedek perzisztenciája félrevezető lehet. Másrészt a reprodukció és felújulás rövid távú elmáradása is félrevezethet, mivel a reprodukció az évtizedeken (évszázadon) át tartó magtermő életkor alatt bármikor előálló kedvező időjárású periódus során bekövetkezhet.

– A patogénnel, rovarkárosítókkal szembeni tolerancia kérdése számos vonatkozásban bizonytalansággal terhelt. A környezet változása nyilvánvalóan hatással van a fogyasztó szervezetek életciklusára és vitalitására is, a fogyasztói oldal szelekciós nyomása átrendeződhet. Ennek során további, eddig nem ismert, vagy jelentéktelen károsítók léphetnek fel (pl. a zöld karsus díszbogár 2003-ban a zalai bükkösökben), másrészt a gazdanövény és eddigi fogyasztó szervezetei kölcsönkapcsolatai is megváltozhatnak, pl. fenológiai eltolódások miatt.

– Az előre becsült scenáriók bizonytalansága is szerepet játszik: az alsó határon éppen nagyon fontos csapadékmennyiségek mérése, előrejelzése bizonytalan. Emellett az *átlagok* önmagukban keveset jelentenek: az igazán lényeges a klimatikus *extrémek* alakulása.

– A megállapított korrelációk szignifikanciája önmagában még nem bizonyíték az ok-okozati összefüggés meglétére, ez külön elemzést igényel.

EREDMÉNYEK

A magassági növekedés, mint a klimatikus stresszre adott válaszreakció

A terepi kísérletekben mérhető kvantitatív adatok a környezeti hatásokat összegző jellegűknél fogva a környezeti stresszel szembeni érzékenység elemzésére nagyon alkalmasak. A magassági növekedés genetikai meghatározottsága (örökölhetősége) jó, ezért alkalmaztuk a kevésbé megbízható átmérő, illetve fatérfogat helyett. Az erdei- és lucfenyő, valamint a bükk közös tenyészkerti kísérletek igazolják, hogy a vizsgált fajok populációi (származásai) az elterjedési területen belül eltérő klimatikus viszonyokhoz eltérő módon alkalmazkodtak, ennek megfelelően a tenyészkertben, egységes klimatikus feltételek mellett, a magassági növekedésben megnyilvánuló válaszreakciójuk specifikus, és egyszerű regressziós függvényvel leírható (2-4. ábra). Az elmúlt években végzett vizsgálatokból az is kiderült, hogy az egyes klimatikus paraméterekkel szembeni érzékenység származási körzetenként is változó (*Mátyás – Nagy, 2003*).

A magassági növekedés populációk közötti változatossága a vizsgált, hazai luc (2. ábra) és erdeifenyő (3. ábra) származási kísérletekben az elvárt mintázatot mutatja, azaz a 15-16 éves korban mért magasság összefüggést mutat azzal a középhőmérséklettel, amelyhez a populációk eredetileg

alkalmazkodtak. Mindkét fafaj esetében a juvenilis kori magasság válaszregresszió-függvénye a származási helyek 6-7 °C-os évi átlaghőmérséklete körül, nem túl határozottan kulminál. A magasság populáción belüli szórása nem mutat határozott tendenciát, vagyis a származási hely éves középhőmérsékletétől jórészt független, közel konstans. A 3. ábrán bemutatott recski erdeifenyő-kísérletben egyébként viszonylag magas a magasság-szórásra számított R^2 , a többi kísérletben, illetve Recsken az átmérő esetében sem éri el a 0,1-et. A 4. ábrán bükkre bemutatott adatok az összefüggések hasonlóságát mutatják egy eltérő ökológiai igényű lombos fafaj esetében, azonban ez a kísérlet fiatal kora miatt még nem értékelhető hasonló részletességgel.

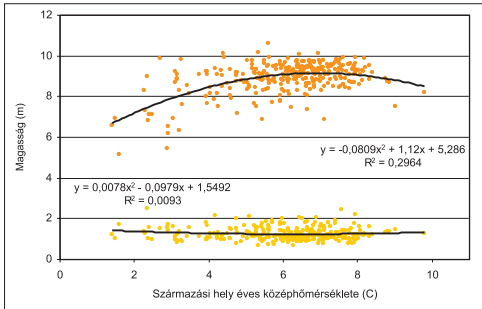
A klímaváltozás hatás-előrejelzése szempontjából elsősorban a feltételváltozásra kapott válaszreakció fontos. Az eddigi elemzések során csak a hőmérsékleti feltételek változásának hatásaira koncentráltunk, mivel a csapadékadatok és előrejelzésük bizonytalansága nagyobb.

A fenotípusos plaszticitás populációk közötti eltérései

Az értékelések alapján két fontos megállapítás tehető:

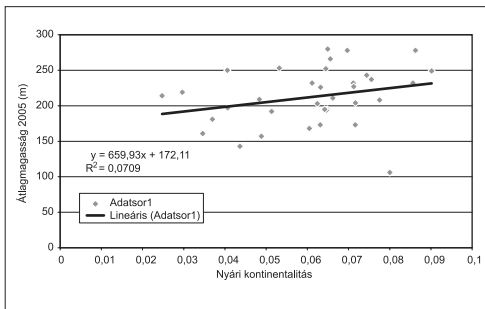
1. Az elemzések kimutatták, hogy a *fenotípusos plaszticitás* (fenotípusos alkalmazkodóképesség) nemcsak genetikailag meghatározott, populáció-specifikus tulajdonság, hanem bizonyos földrajzi térségekben *jellegetes evolúciós eltéréseket mutat*. Példaként a lucfenyő 16 éves kori magassága reakcióját mutatjuk be három kiválasztott térségre. Az 5. ábrán látható, hogy a származási helyhez képest 4 °C évi átlaghőmérséklet-emelkedés a Keleti-Kárpátok populációi esetén gyakorlatilag változatlan magassági növekedést eredményez. Ugyanakkor a Harz-hegység populációi hasonló hőmérséklet-emelkedésre átlagosan 15%-os növekedés-csökkenéssel reagáltak. Azokban az esetekben, ahol a Nyírjes klímá-

2. ábra



Lucfenyő-származások átlagmagassága és populáción belüli szórása 16 éves korban, a származási hely éves középhőmérséklete szerint, a nyírjési nemzetközi (IUFRO) származási kísérlet (Szönyi, Ujvári 1970) felvételi adatai alapján (terv: Ujváriné, Nagy)

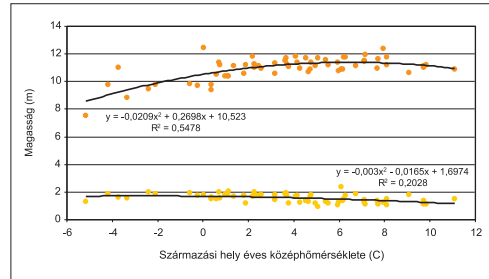
4. ábra



Európai bükkpopulációk 8 éves kori magassága Bucsután (2005) a kontinentalitás függvényében (nyári hőm. összeg/éves csapadék) (adatok: Németh Á.)

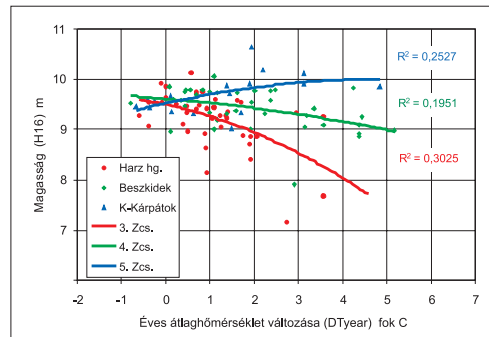
ja megegyezett a populáció eredeti klímájával ($DT_{\text{year}} = 0$), mindhárom zónacsoport átlagos növekedése azonos volt ($H_{16} \approx 9,5$ m). Tehát a Keleti-Kárpátok populációi plaszticitása szélesebb (ez a körülmény, más összefüggésben, jó ideje ismert a lucfenyőnemesítésben). A jelenség felhívja a figyelmet a származás-kiválasztás, illetőleg általában a szaporító-anyag-ellenőrzés fontosságára.

3. ábra



Erdeifenyő-származások átlagmagassága és populáción belüli szórása Recskén 15 éves korban, a származási hely éves középhőmérséklete szerint (adatok: Nagy L.)

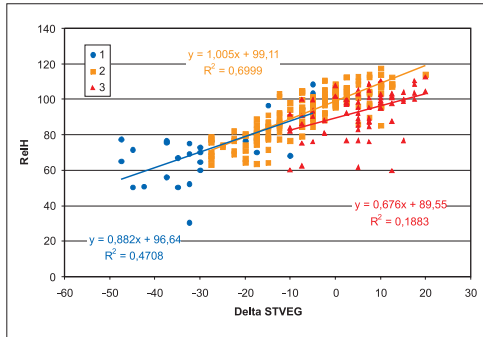
5. ábra



Az éves átlaghőmérséklet változásának hatása a lucfenyő magassági növekedésére 16 éves korban. A bemutatott 3 származási csoport fenotípusos plaszticitása jelentős eltéréseket mutat (legjobb: K-Kárpátok) (terv: Ujváriné)

2. A helyi viszonyokhoz alkalmazkodott populációk hőmérséklet-emelkedésre adott válaszreakciója szorosan összefügg az elterjedési területen belül elfoglalt helyzetükkel. *Az área szárazsági (déli) szegélyén előforduló populációk a változásra növedécsökkenéssel válaszolnak.* Az összefüggést hat erdeifenyő-kísérlet adataiból számított 6. ábrán mutatjuk be.

6. ábra

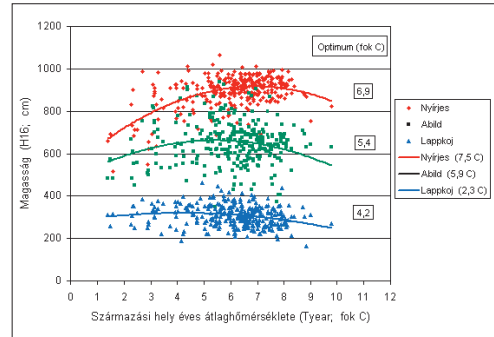


Erdeifenyő-populációk növekedése a vegetációs időszak átlag hőmérsékletösszeg-változása függvényében (Delta STVEG: a származási helyszín és a kísérleti helyszín különbsége)

Magyarázat: A negatív értékek melegedést jelentenek. A magassági növekedést a mindenkor helyi populáció teljesítményének százalékában adtuk meg (RelH = 100). Látható, hogy a külön elemzett három származási csoport (1: északi, 2: középső, 3: déli zóna) gyakorlatilag azonos módon viselkedik; a helyihez képest növedékgyorsulást a hűvösebb (=nedvesebb) környezetbe került populációk mutatnak
Forrás: Mátyás – Nagy, 2005

Ebben az előzetes modellben hat, a hazai viszonyokat közelítő környezetben létesített kísérlet adatait felhasználva megvizsgáltuk a hőösszegegyezésre adott válaszreakció és a származási hely közötti összefüggéseket. A vizsgált populációkat a származási hely hőmérsékleti jellemzői alapján csoportokba soroltuk, a vegetációs időszak átlag hőmérsékletösszeg-különbsége (Delta STVEG) függvényében, ahol a különbséget a származási és kísérleti helyszínek adataiból képeztük. A reakciók összevetéséből kitűnik, hogy a boreális, valamint az ária középső részéről származó populációk viselkedése gyakorlatilag hasonló, míg a déli csoport némileg eltérő viselkedését a magyarázhatja, hogy ezek a populációk döntő többségükben északi irányban kerültek áttelepítésre.

7. ábra



Azonos lucfenyő-származások átlagmagassága az éves átlaghőmérsékletek függvényében, a IUFRO származási kísérletsorozat három kísérleti területén (terv: Mátyás, Ujváriné)

1. táblázat
Hőmérséklet- és magasságotatok a 7. ábrához

| Kísérlet helye (ország) | Kísérlet éves átlag hőmérs. (T_{exp} °C) | Reakció-norma-függvény optimuma (T_{opt} °C) | ΔT | Kísérlet átlag-magassága (cm) | T_{opt} -hoz tartozó magasság (H_{opt} cm) |
|-------------------------|---|---|------------|-------------------------------|---|
| Nyírjes (H) | 7,5 | 6,9 | -0,6 | 892,1 | 916,1 |
| Abild (S) | 5,9 | 5,4 | -0,5 | 645,0 | 661,7 |
| Lappkoj-berget (S) | 2,3 | 4,2 | +1,9 | 305,9 | 319,1 |

A 6. ábra is megerősíti, hogy a klimatikus melegedés szimulálásával, vagyis melegebb, szárazabb klímába történő áthelyezéssel, a helyi származáshoz viszonyított (relatív) magasságok csökkenése kifejezetten szignifikáns. A legnagyobb mintaelemszámot reprezentáló középső csoportban az átlagmagasság populációk közötti változatosságát közel 70%-ban a hőmérsékletösszeg változása határozza meg.

Reakciónorma-optimum és helyi klíma

A kísérleti (telepítési) helyszín klimatikus feltételei és az ott legjobban növekvő populáció (reakciónorma-optimum) kapcsolata határozott, általánosítható törvényszerűséget mutat. Az összefüggés lényege, hogy a déli

(szárazsági v. alsó) elterjedési határhoz közeledve, a helyi klímához adaptálódott populációk növekedése nem az eredeti helyszínen a legjobb, a legjobb teljesítményt hűvösebb klímájú termőhelyen mutatják. Ezzel ellentétben, az elterjedés északi (termikus v. felső) határa közelében a származási helynél melegebb (=délibb) helyszínen növekednek legjobban a populációk.

A 7. ábrán bemutatott reakciónormák optimuma a kísérleti helyszíntől függően eltérően alakul (hangsúlyozni kell, hogy a vizsgált 300 populáció mindhárom esetben azonos volt). Az 1. táblázat szerint, a szárazsági (alsó) határhoz közeli, legdélebbi kísérlet (Nyírjes) esetében a reakciónormából becsült optimum és a helyi átlaghőmérséklet különbsége ($\Delta T = T_{\text{opt}} - T_{\text{exp}}$) negatív, vagyis az optimumot a kísérlet helyszínénél hűvösebb helyről származó populációk szolgáltatják. A helyzet fordítottja figyelhető meg a lappföldi Lappkøjberget-nél, ahol a legjobb növekedésű származások +1,9 °C-kal melegebb termőhelyről származtak. *A jelenség kizárólag a természetes szelekció és a plaszticitás egyidejű működésével magyarázható.* A szélsőséges klímákhoz közeledve a plaszticitás befolyása növekszik, míg optimális helyszínen 0-ra csökken, vagyis ott az alkalmazkodást egyedül a természetes szelekció mechanizmusa biztosítja.

Az optimum eltolódása, illetőleg a nem-egyensúlyi alkalmazkodottság azt erősíti meg, hogy a szárazsági (alsó) és a termikus (felső) elterjedési határ közelében a helyileg alkalmazkodott (öshonos) populációk is klimatikus stresszhelyzetben vannak, és alkalmazkodásuk a fenotípusos plaszticitás igénybevétele révén lehetséges.

A klíma szárazabbra fordulásával tehát a fenotípusos plaszticitás jelentősége növekszik. Ahogy bemutattuk, a plaszticitás mértéke populációk közötti változatosságot mutat, azaz a populációk között genetikai plaszticitás-különbségek mutathatók ki. *A szaporítóanyag-források megfelelő kiválasztásával tehát az ökoszisztéma stabilitása és produkciója tartósan befolyásolható.*

VÁRHATÓ VÁLTOZÁSOK +2 °C-OS MELEGEDÉSI FORGATÓKÖNYV ESETÉRE

A lucfenyő esetében az északi (skandináv), valamint a déli, Balkán hegységi zónacsoportok jelentős növedéklemaradást mutattak a magyarországi kísérletben, a helyi populáció 70–80%-át érték el, ezért számunkra kevésbé jelentősek.

A nyírjesi kísérletben három zónacsoport ért el kiváló növekedést, ezekkel behatóbban is foglalkoztunk:

3. Harz hegység, Érchegeység, Bajor erdő;
4. Szudéták, Beszkidek;
5. Keleti-Kárpátok, Bihar hegység, Tátra, Északi-Középhegység, Dél-Lengyelország.

2. táblázat

**Magassági növekedés változása
áttelepítéssel szimulált 2 °C felmelegedés
esetén (Az adatok a zónacsoportba sorolt
származások 16 éves kori átlagára
vonatkoznak!)**

| Zónacsoport | Magasság (H16) | | | |
|-------------------|-------------------|-----|-----------------|-----|
| | Jelenlegi állapot | | + 2 °C változás | |
| | m | % | m | % |
| 3. Harz-hegység | 9,5 | 100 | 8,9 | 94 |
| 5. Kelet-Kárpátok | 9,5 | 100 | 9,8 | 103 |

A 16 éves korban történt magasságmérések szerint a luckísérlet származásainak több mint 90%-át kedvezőtlenül érintené a felmelegedés. Még a jó növekedésű, plasztikus származások (pl. 3; 4. zónacsoport) magassága is csökkenne (5. ábra, 2. táblázat). Kivételt képez a Keleti-Kárpátok zónacsoport, mely más országok kísérleteiben is kiválóan alkalmazkodott a megváltozott környezethez. Figyelembe kell azonban venni, hogy a jelenlegi nyírjesi helyszínen a kárpáti populációk számára – a feltételezett melegedés esetében is – nem jelent pesszimust, és az áttelepítés révén +2 °C feletti melegedést tapasztalt populációk száma csekély (4 db), emiatt az 5. ábra függvényének lefutása bizonytalan ($R^2=0,25$). Nagyobb biztonsággal jelez elő-

3. táblázat

Előre becsült növedécsökkenés lucfenyő esetében +2 °C melegedési forgatókönyvre, a nyírjesi kísérletnél kedvezőtlenebb helyszíneken. Nyírjes esetében az 1970-1990 közötti, a nyugat-magyarországi helyszíneken a jelenlegi (1990-2000) klímát vettük figyelembe

| | Éves átlag | | Előre becsült növedécsökkenés (+2 °C szcenárió) |
|------------------------|---------------|------------------|---|
| | csapadék (mm) | hőmérséklet (°C) | |
| Nyírjes 600 m | 782 | 7,5 | <10% |
| Kőszeg 400 m | 850 | 9,0 | 10(-15)% |
| Bánokszentgyörgy 250 m | 720 | 9,8 | (10)-15% |

re a Harz zónacsoport ($R^2=0,30$), átlagosan 6% növedékvesztéset, az alsó szélsőérték 21%. Nagyon konzervatív előre becslésként *10(-15)% juvenilis növedékvesztéset prognosztizálhatunk*. Ez az érték Nyírjesnél kedvezőtlenebb helyszíneken, pl. Nyugat-Magyarországon lényegesen rosszabb lesz (3. táblázat).

A 10%-os növedék-visszaesést a kompetíciós készség elvesztéseként értelmezhetjük, míg a 15% a tolerancia veszélyes lecsökkenését jelzi. Ebben a helyzetben fellépő klimatikus szélsőségek tömeges mortalitást válthatnak ki. Az erdeifenyő adatai (6. ábra) megerősítik ezt a megállapítást.

Az elvégzett elemzés alapján igazolható, hogy az európai erdők növedékének ellentmondásos alakulását (lassulás és gyorsulás egyidejűsége) jól magyarázzák a közös tenyészkereti kísérletek. Ugyanakkor viszont az eddigi vizsgálatok nem voltak alkalmasak arra, hogy a genetikai toleranciahatár pontosabb meghatározását adják. Ehhez a vizsgálatok folytatására van szükség.

A terepi kísérletek tapasztalatai azonban alapot szolgáltatnak arra, hogy az egységesen feltételezett +2 °C hőmérséklet-emelkedési szcenárióra valószínűsítsük a növedék visszaesését azokon a kedvezőbb adottságú területeken is, ahol jelenleg gyorsulás mérhető.

Jelentősebb mortalitás fellépése az alábbi tényezők függvénye

– azonos feltételek mellett a fajok a klimatikus szárazodásra érzékenységük sorrendjében reagálnak, azaz legelőször a bükk, majd a kocsánytalan tölgy és végül a cser;

– a mortalitás fellépésére egymást követő szárazságesemények nyomában kell számítani;

– a károk elsősorban a klíma változásának leginkább kitett területeken jelentkeznek, egyrészt az ariditási elterjedési határ közelében, illetve ott, ahol a korábbi időszakokhoz képest leggyorsabb a klíma kedvezőtlen fordulása.

EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

– A közös tenyészkeretek kvantitatív adatainak elemzése megerősíti, hogy lehetőség van az előre jelzett klimatikus forgatókönyvek hatásának valós adatokon alapuló szimulálására.

– A rátermettség, alkalmazkodóképesség fontos jellemzőire vonatkozóan a modell fajok határozott klimatikus alkalmazkodottságot mutatnak.

– A melegedést feltételező klimatikus forgatókönyvek esetére nem lehet az egyes fajokra egységes reakciót feltételezni. A fajon belül adott populáció válaszreakciója az áréában elfoglalt helyszíntől, evolúciós előzményektől függ.

– Az elterjedés szárazsági (ariditási), vagyis alsó határán a melegedés növedék-visszaesést és növekvő mortalitást eredményez. Az elterjedés kellően humid zónájában, illetőleg a termikus (felső) határon változatlan növedés, vagy növedékgyorsulás várható.

– Az előbb említett eltérő válaszreakciókkal magyarázható az ellentmondás, amely a várható növedék mértékével (gyorsulás vagy lassulás) kapcsolatosan jelentkezik Európa atlanti-boreális, illetőleg mediterrán-kontinentális része között.

– Tekintettel arra, hogy a következő évtizedekben várható változások a jelenlegi faállományok legalább felét (a jelenleg még középkorú és annál fiatalabb állományokat) érinteni fogják, az alkalmazkodás lehetősége elsősorban a *fenotípusos plaszticitás* mértékén fog múlni. Ezen tulajdonság fokozott figyelembevétele és további vizsgálata ezért nagyon lényeges és fontos.

– Egy feltételezett 2 °C-os hőmérséklet-emelkedés esetére egyelőre annyit állapíthatunk meg, hogy a nedvességre különösen érzékeny lucfenyő és bükk esetében a magyarországi dombvidéki előfordulások komoly veszélyeztetettsége valószínűsíthető mind egészségi állapot, mind növekedés te-

kintetében. A növedék-visszaesés a többi fajra is érinteni fogja, érzékenységük és aktuális termőhelyük függvényében.

– A szárazság okozta stressz és a fogyasztók károsításának előre jelzett fokozódása miatt az alkalmazkodó- és ellenálló képesség megőrzése elsőrendű feladattá lép elő. Ez a szaporítóanyag-felhasználás genetikai szempontjainak felülvizsgálatát és érvényesítését, és ezen elvek erdőművelésbe való átültetését kívánja meg. *A fenotípusos plaszticitás, mint kívánatos tulajdonság, nemcsak a szaporítóanyag-források kiválasztásánál, hanem a nemesítésben is kiemelt figyelmet kell hogy kapjon.*

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) FÜHRER E. – MÁTYÁS Cs. (2005): A klímaváltozás hatása a hazai erdők szénmegkötő képességére és stabilitására. Magyar Tudomány 7: 837-841. pp. (2) IPCC WG. II. (2007): Fourth Assessment Report for Government and Expert Review. (eds.: Alcamo, J., Moreno, J.M., Nováki, B.) Chapter 12: Europe. Bruxelles., 62 p. (3) LARCHER, W. (1973): Ökologie der Pflanzen. Ullmer Verl., Stuttgart (4) MÁTYÁS Cs. (1994): Modeling climate change effects with provenance test data. Tree Physiol. 14: 797-804. pp. (5) MÁTYÁS Cs. (szerk.) (1996): Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest (6) MÁTYÁS Cs. – NAGY L. (2005): Genetic potential of plastic response to climate change. Proceedings of the Conference „Genetik und Waldbau”, Teisendorf, Germany, 55-69. pp. (7) SZÖNYI, L. – UJVÁRI, F. (1970): International (IUFRO) Norway spruce provenance trial. Erdészeti Kutatások, 66: 47-59. pp.

A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA AZ ELHALT SZERVES ANYAG LEBONTÁSI FOLYAMATAIRA

TÓTH JÁNOS ATTILA – KATE LAJTHA – KOTROCZÓ ZSOLT
– KRAKOMPERGER ZSOLT – BRUCE CALDWEL
– RICHARD BOWDEN – PAPP MÁRIA

Kulcsszavak: klímaváltozás, fafaj-összetétel, avarprodukción, CO₂-kiáramlás, termőhely-leromlás.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A klímaváltozást a Síkfőkút Project hosszú távú meteorológiai adatsorai is jelzik, miszerint az erdő az elmúlt három évtized folyamán melegebbé és szárazabbá vált. A klímaváltozás hatására az erdő fafaj-összetétele kedvezőtlen irányban megváltozott, amelyre jellemző a tölgy erőteljes visszaszorulása, az elcseresedés és az eljuharosodás.

A fafajok minőségi és mennyiségi összetételének hosszú távú változását a lombavarprodukción változása jól követi: a *Quercus petraea* levélavar-mennyisége az elmúlt évtizedek folyamán jelentősen csökkent, a *Quercus cerris*-nél kismértékben, az *Acer campestre* esetében pedig többszörösére nőtt. A teljes lombavarprodukción az eddigi vizsgálataink szerint kismértékben csökkent.

Az avarprodukción csökkenése káros, mert hosszabb távon a talaj termőképességének csökkenését eredményezi. A hosszú távú szabadföldi avarmanipulációs kísérleteink tanúsága szerint, a csökkenő avarinput hatására, már 4-5 év múlva csökkent a talaj szerves C- és N-tartalma, a baktérium- és gombaszám, a pH, a talajenzimek aktivitása és a talajlégzés. Romlik a talaj hőháztartása is, a vékonyodó avartakaró nyáron melegebb, télen hidegebb, szélsőséges talajhőmérséklet kialakulását eredményezheti.

A várakozásokkal ellentétben az évi avarinput megkétszereződése hosszabb távon nem növelte meg a talajlégzést, az erdő talajának szervesanyag-tartalmát. Ez azt bizonyítja, hogy a különféle erdő-ökoszisztémák „avarfeldolgozó” kapacitása az évi avarprodukciónhoz, az ökoszisztéma környezeti tényezőihez adaptálódva többé-kevésbé állandó.

A fenti avarfeldolgozó kapacitást azonban az ökoszisztéma környezeti tényezőinek tartós megváltozása, így pl. a globális klímaváltozás, módosíthatja.

A talajhőmérséklet növekedése a talajlégzést exponenciálisan növeli. A globális felmelegedés következtében, ha a talaj évi átlaghőmérséklete 2 °C-kal emelkedne, ez a szárazabb klímájú síkfőkúti cseres-tölgyesben kb. 20%-os talajlégzés-növekedést eredményezne, míg a hűvösebb, nedvesebb klímájú Harvard Forest esetében ennél valamivel nagyobb talajlégzés-növekedés várható. A talajból történő többlet CO₂-kiáramlás pozitív visszacsatolásban tovább fokozhatja az üvegházhatást, a globális felmelegedést. Az avarprodukción csökkenése, a talajlégzés fokozódása ugyanakkor hosszabb távon együttesen csökkentené a talajban lévő szerves anyagok mennyiségét, ami a termőhely leromlásához vezethet.

BEVEZETÉS

A *Síkfőkút Project* hosszú távú meteorológiai adatai alapján megállapítható, hogy a síkfőkúti cseres-tölgyes klímája az elmúlt három évtized folyamán melegebbé és szárazabbá vált (Antal et al., 1997). A klímaváltozás hatására az erdő fafaj-összetétele és struktúrája jelentős mértékben megváltozott, amelyre jellemző a nagyarányú tölgypusztulás (a tölgy 68,4%-a, a cser 15,9%-a kipusztult), a relatív elcseresedés és az eljuharosodás (Bowden et al., 2006; Kotrocó et al., 2006; Tóth et al., 2006).

A nagyarányú fapusztulás következtében a tölgy (*Quercus petraea*) fatörzs-biomasszája a korábbi 100 t ha⁻¹-ről, 80 t ha⁻¹-ra csökkent. Az értéktelenebb cser (*Quercus cerris*) fatörzs-biomasszája 35 t ha⁻¹-ről 70 t ha⁻¹-ra nőtt. Ugyancsak nőtt a csekély gazdasági értékű mezei juhar (*Acer campestre*) fatörzs-biomasszája is. A fafajok fatörzs-biomasszája összességében tehát növekedett, a potenciálisan kitermelhető értékes fatömeg, a *Quercus petraea* fatörzs-biomasszája azonban csökkent.

A tölgyállományrész fatörzsprodukcója (évi növedéke) az 1970-es évekhez képest nem változott, jelenleg is 1,5 t ha⁻¹év⁻¹. Ezt a produktót az 1970-es években hektáronként 1 év alatt 690 db fa, ma mindössze 218 fa állítja elő.

A cserállományrész esetében a fatörzsprodukciónak az 1970-es évekből 1 t ha⁻¹év⁻¹ értékről 1,5 t ha⁻¹év⁻¹ értékre nőtt. Ezt a produktót a korábbi 126 db fa helyett jelenleg 106 fa állítja elő.

Az egyes fák átlagos fatörzsprodukciónövekedésében nyilvánvalóan szerepet játszik az erdő életkorának növekedése. Jól ismert tény, hogy az erdő életkorának növekedésével az átlagnövedék maximumának eléréséig a produktó (folyónövedék) növekszik. (Az erdő 1972-ben még 60-65 éves korú volt, jelenleg az állomány kora 95-100 év.) Az egyes fák átlagos fatörzsprodukciónövekedésében azonban ezen túlmenően feltehetően szerepet játszik egy másik tényező is, nevezetesen a klíma-

változás növekedésgyorsító, produkciönövelő hatása. Számos szerző szerint a globális felmelegedés, a légkör növekvő szén-dioxid-koncentrációja a fák növekedését gyorsítja.

Arra vonatkozóan, hogy a klímaváltozás hatására hogyan változik az avarprodukciónak, ma még meglehetősen kevés információ áll rendelkezésünkre. Feltételezhető, hogy az avarprodukciónak a felmelegedés növeli, ugyanakkor a szárazodás csökkenti, azaz a két folyamat együttes hatása, eredője határozhatja meg a változások irányát, tendenciáját.

Ugyancsak kevés információval rendelkezünk arra vonatkozóan is, hogy a klímaváltozás hatására hogyan fog változni a talajban található szerves anyagok mennyisége, a talajlégzés. A Föld talajában kb. $1,58 \times 10^{18}$ g szerves kötött szén található, amely 2-3-szor nagyobb a vegetáció széntartalmanál (Schlesinger, 1977). A talaj szerves anyagainak bomlásakor, a talajlégzés folyamán jelentős mennyiségű szén-dioxid áramlik ki a talajból, ami kb. 10-szer nagyobb a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó CO₂-mennyiségnél. Feltételezhető, hogy a globális felmelegedés hatással lesz a talaj szerves anyagainak bomlására, a talajlégzésre és ezen keresztül a bioszféra globális szénkörforgalmára is. Várható, hogy a globális felmelegedés, a talaj hőmérsékletének növekedése növeli a talajlégzést, a talajból történő szén-dioxid-kiáramlást, ami mint legfontosabb üvegházhatású gáz, pozitív visszacsatolásban tovább fokozhatja a felmelegedést (Kaye – Hart, 1998). A talajlégzés növekedésének további káros következménye, hogy hosszabb távon a talaj szervesanyag-tartalmának csökkenését eredményezheti, ami a termőhely leromlásához vezethet.

Jelen dolgozatunkban azt vizsgáljuk, hogy a klímaváltozás hatására hogyan változik az avarprodukciónak, továbbá hogy az avarinput mesterséges megváltoztatása milyen módon befolyásolja a talaj hőmérsékletét, nedveségtartalmát, a talajban lévő szerves anyagok mennyiségét, a talaj C- és N-dinamikáját, a talajenzimek aktivitását, a mikroorganizmusok biomasszáját és a talajlégzést.

AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A síkfőkúti cseres-tölgyesben az avarprodukción korábban, 1972-1976 között rendszeresen mértük (Tóth – Papp – Jakucs, 1985). Ezeket a vizsgálatainkat 2003-tól újraindítottuk, így a korábbi és jelenlegi adatok összehasonlításával lehetőségünk nyílt a klímaváltozás avarprodukcióra gyakorolt hosszú távú hatásának tanulmányozására. Az avarprodukción mérésére használt módszerek megegyeztek a korábban használt mérési módszerekkel.

A talajban lévő szerves anyagok bomlás-vizsgálatát a *Síkfőkút DIRT (Detritus Input and Removal Treatment) Project* keretében végeztük, amely része az USA ILTER (International Long-Term Ecological Research) DIRT Projectnek. A hosszú távú, több évtizedre tervezett, ún. avarmanipulációs szabadföldi kísérletben a következő kezeléseket alkalmaztuk: Kontroll (K), Nincs Avar (NA), Dupla Avar (DA), Dupla Fa (DF), Nincs Gyökér (NGY), Nincs Input (NI). A parcellák kialakítását az USA DIRT Projectben alkalmazott módszerek szerint végeztük. Kezelésenként három-három párhuzamos parcellát, így összesen 6x3=18 db 7x7 m-es kísérleti parcellát állítottunk be. A parcellák létesítése 2000. november 13-18. között történt. A parcellák létesítésére és fenntartására vonatkozó részletes leírást, valamint az alkalmazott módszerek ismertetését az Erdő és klíma NKFP 1. sz. kutatási jelentése tartalmazza (Tóth, 2003).

A Síkfőkút DIRT Project keretében kapott eredmények önmagukban is értékelhető eredményeket szolgáltatnak, részvételünk az ILTER DIRT Projectben azonban a kutatás hatékonyságát jelentős mértékben megnöveli, az azonos módszerekkel kapott eredményekből általánosabb érvényű következtéseket vonhatunk le. A projektben részt vevő amerikai kutatók számos alkalommal jártak Magyarországon és végeztek kutatómunkát a *Debreceni Egyetem Ökológiai Tanszékén*, illetve a Síkfőkút Projecten. Az USA-ban jelenleg működő három DIRT site közül a *H.J. Andrews* és a *Harvard Forest* ILTER DIRT

kutatóhelyeket 2002 szeptemberében, amerikai tanulmányutunk alkalmával személyesen is megismerhettük. Az USA ILTER DIRT Projecthez Európából a Síkfőkút DIRT Project után egy újabb, németországi kutatóhely is csatlakozott (*Bayreuthi Egyetem*). Ezt a kutatóhelyet tapasztalatcsere céljából 2005 novemberében szintén megtekintettük.

AZ EREDMÉNYEK

Az avarprodukción hosszú távú változása

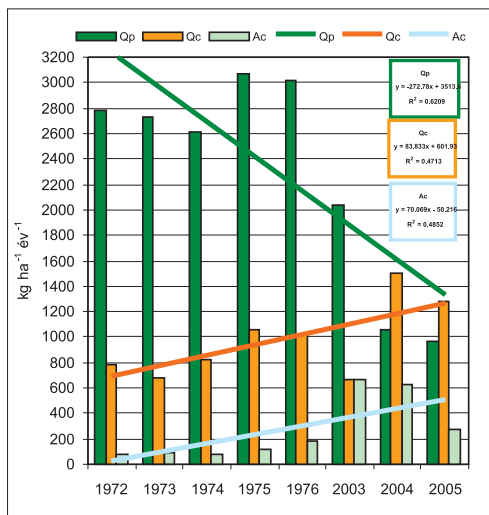
A fajok minőségi és mennyiségi összetételének változását a lombavar-produkción hosszú távú változása jól követi (1. ábra). A *Quercus petraea* levélavar-mennyisége az elmúlt évtizedek folyamán jelentősen csökkent, a *Quercus cerris* levélavar kismértékben, az *Acer campestre* levélavar pedig többszörösére nőtt. Összességében a teljes lombavar-produkción kis mértékben csökkent (2. ábra). A hosszú távú változás irányának, tendenciájának megerősítéséhez azonban még további vizsgálatok szükségesek, éppen ezért az avarprodukción kapcsolatos vizsgálatainkat az elkövetkező években tovább folytatjuk.

Az avarkezelés hatása a talajhőmérsékletre

A talajt borító avartakaró közismerten jó hőszigetelő tulajdonságokkal rendelkezik, a tavaszi-nyári időszakban gátolja a talaj felmelegedését, a besugárzást, télen viszont megakadályozza a talaj kihűlését, a kisugárzást, ezáltal szabályozza a talaj hőmérsékletét.

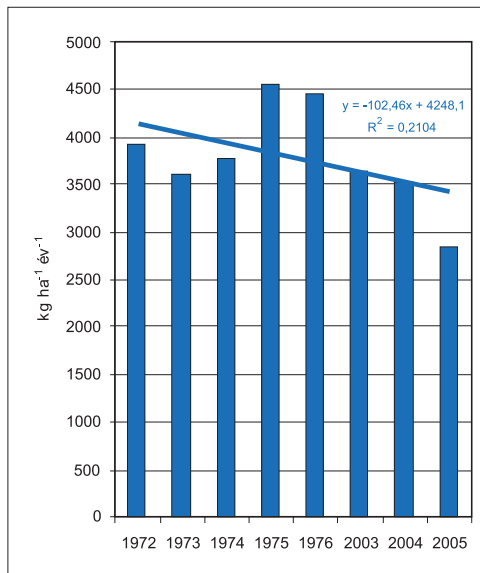
A nyári időszakban a legmagasabb talajhőmérsékleti értékeket a Nincs Input parcellákban kaptuk (3-4. ábra). Ez egyrészt annak tulajdonítható, hogy hiányzik a növényzet árnyékoló hatása, így a besugárzás nagyobb, másrészt az avartakaró hiányában elmarad az avartakaró besugárzást gátló, szigetelő hatása is. A Nincs Gyökér és a Nincs Avar parcellák talajának átlagos havi hőmérséklete ugyan csak nagyobb volt a Kontroll parcellákhoz vi-

1. ábra



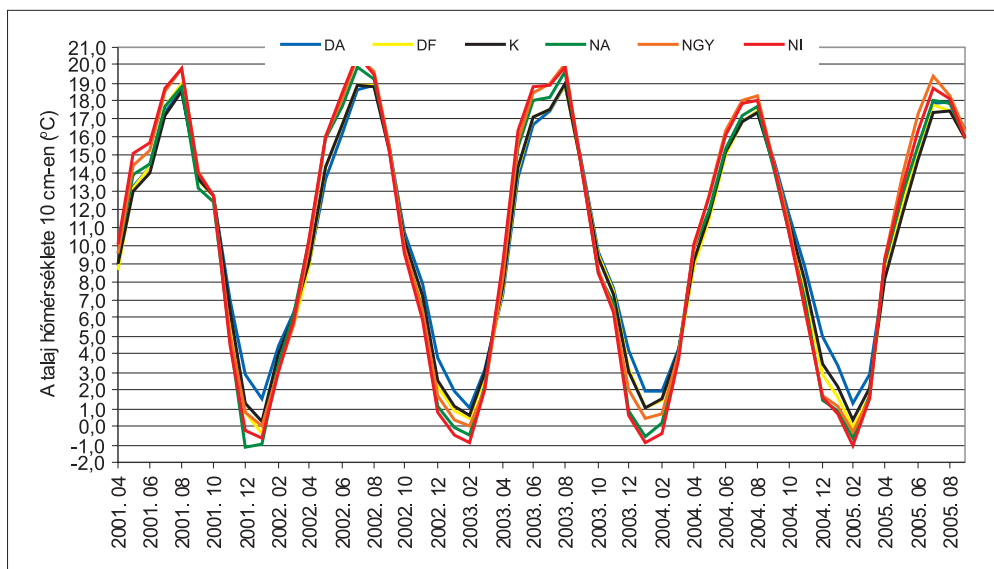
A Quercus petraea (Qp), a Quercus cerris (Qc) és az Acer campestre (Ac) lombvar-termelése

2. ábra



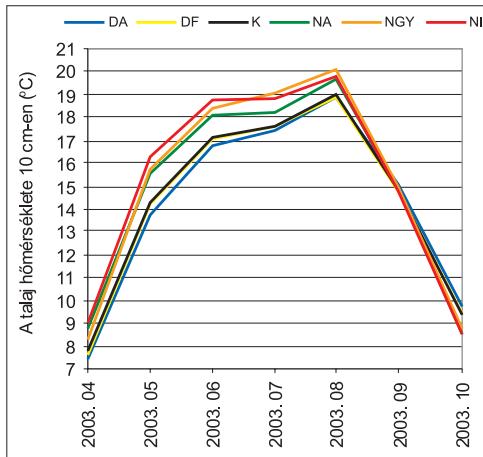
A Síkfőkút Project teljes lombvar-termelése

3. ábra



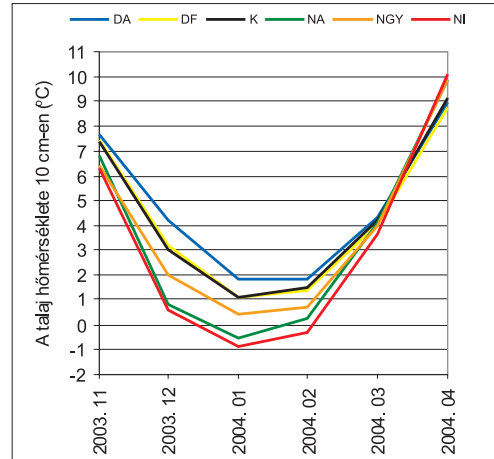
Az avarkezelések hatása a talaj havi átlaghőmérsékletére 10 cm-es talajmélységben, 2001–2005 között

4. ábra



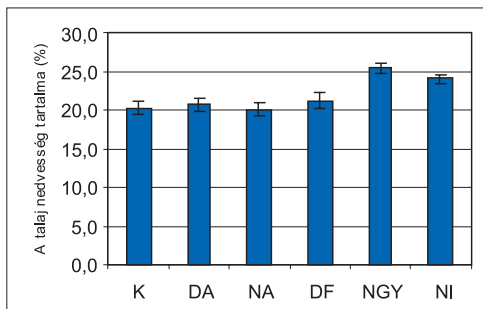
Az avarkezelések hatása
a talaj hőmérsékletére egy nyári időszakban,
10 cm-es talajmélységben

5. ábra



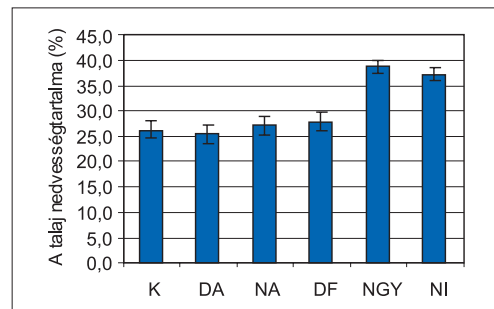
Az avarkezelések hatása
a talaj hőmérsékletére egy téli időszakban,
10 cm-es talajmélységben

6. ábra



A talaj nedvességtartalma tömegszázalékban,
0-10 cm-es talajmélységben
(a 2002-2005. évi mérések átlaga)

7. ábra



A talaj nedvességtartalma térfogatszázalékban,
0-10 cm-es talajmélységben
(a 2002-2005. évi mérések átlaga)

szonyítva. A Nincs Gyökér parcelláknál a növényzet hiánya, a Nincs Avar kezeléseknél az avartakaró hiánya eredményezte a magasabb talajhőmérsékletet. A tavaszi-nyári időszakban a Dupla Avar kezelés esetében mértük a legalacsonyabb talajhőmérsékletet, ami a dupla avarréteg fokozottabb besugárzást gátló, hőszigetelő hatásának következménye.

A téli időszakban az avartakaró gátolja a talaj kisugárzását, lehűlését. Ennek köszönhető, hogy a téli időszakban a legmagasabb

talajhőmérsékleti értékeket a dupla avarréteggel rendelkező Dupla Avar parcellákban mértük (3., 5. ábra).

Figyelemre méltó, hogy a Dupla Avar parcellákban a talaj hőmérséklete soha sem süllyedt fagypontra alá. Avartakaró hiányában (Nincs Avar, Nincs Input) a talaj kisugárzása igen nagy volt, ami a talaj erőteljes lehűlését, gyakori átfagyását eredményezte, így ezekben a parcellákban mértük a legalacsonyabb talajhőmérsékleti értékeket.

Az avarkezelés hatása a talaj nedvességtartalmára

A talaj nedvességtartalma mind tömegszázalékban, mind térfogatszázalékban hasonlóan alakult (6-7. ábra).

A Dupla Avar, a Nincs Avar és a Dupla Fa parcellák talajának nedvességtartalma nem különbözött lényegesen a Kontrolltól (6-7. ábra).

Ezzel szemben szignifikánsan nagyobb nedvességtartalom figyelhető meg a Nincs Gyökér és a Nincs Input parcellák esetében (6-7. ábra).

A Nincs Gyökér és a Nincs Input parcellák esetében a Kontrollhoz viszonyított nagyobb nedvességtartalmat a növényzet hiányának, a transzspiráció elmaradásának tulajdonítjuk, de szerepet játszhat a nagyobb talajnedvesség-tartalom kialakulásában a parcellák körülárkolása is.

A nagyobb nedvességtartalom kedvező a talaj szervesanyag-lebomlására, ennek következtében ezekben a parcellákban hosszú időn keresztül a legnagyobb mértékű volt a szervesanyag-lebomlás (lásd a 15. ábra 2003. évi talajlégzési adatait).

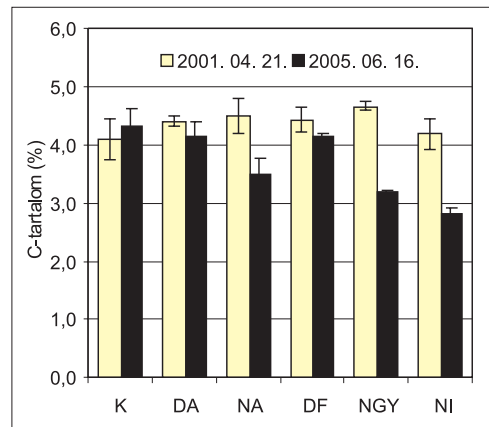
Az avarkezelés hatása a talaj szerves szén- és nitrogéntartalmára

A várakozással ellentétben a többlet-szervesanyag bevétele a Dupla Avar és a Dupla Fa parcellákban nem növelte a talaj szervesanyag-mennyiségét, C- és N-tartalmát. A Kontroll, a Dupla Avar és a Dupla Fa parcellákban a talaj szerves C- és N-tartalma 5 év után lényegében nem változott (8-9. ábra). Ez azt bizonyítja, hogy a különféle erdő-ökoszisztémák „avarfeldolgozó” kapacitása az évi avarprodukciónak, az ökoszisztéma környezeti tényezőihez adaptálódva többé-kevésbé állandó. A többlet-avarbevitellel a lebontó kapacitás lényegében nem változik, a többletként bevitt avar a talaj A₀₀ szintjében felhalmozódik.

Azoknál a kezeléseknél, ahol a talajba jutó szerves anyag mennyiségét csökkentettük

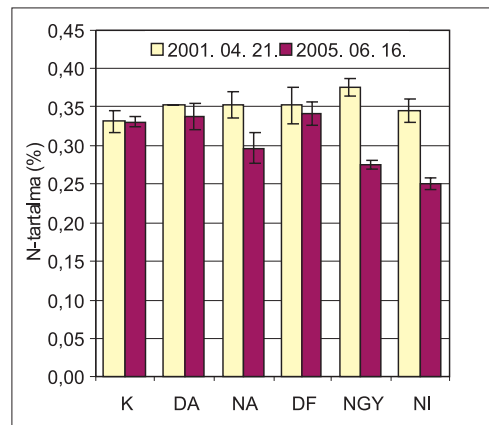
(Nincs Avar, Nincs Gyökér és Nincs Input), 5 év után már csökkent a talaj szerves C- és N-tartalma. Az avarprodukciónak hosszú távú csökkenése tehát csökkenti a talajban lévő szerves anyagok mennyiségét, ami hosszú távon a termőhely leromlását eredményezheti. Ilyen szempontból tehát az avarprodukciónak csökkenését károsnak tartjuk.

8. ábra



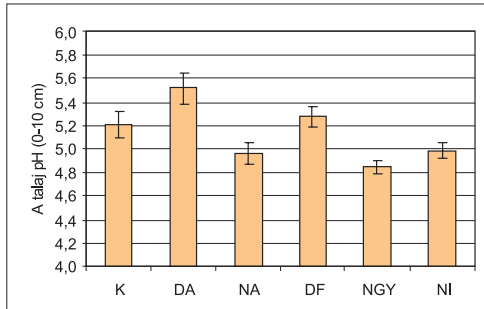
A talaj szerves széntartalma 0-10 cm-es talajmélységben

9. ábra



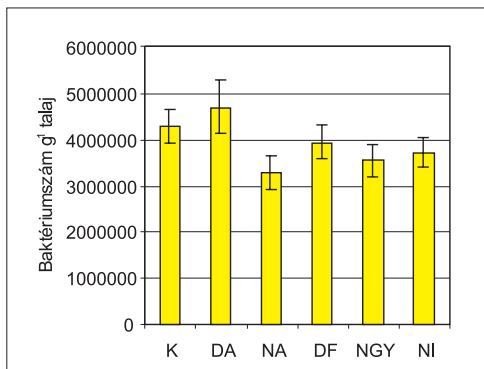
A talaj szerves nitrogéntartalma 0-10 cm-es talajmélységben

10. ábra



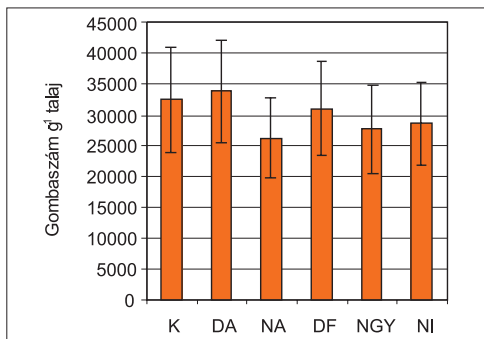
A talaj pH-ja 0-10 cm közötti talajrétegben
(a 2003-2005. évi mérések átlaga)

11. ábra



A talaj baktériumszáma
(a 2003-2005. évi mérések átlaga)

12. ábra



A talaj gombaszáma
(a 2003-2005. évi mérések átlaga)

Az avarkezelés hatása a talaj pH-ra

A csökkenő avarbevitel a talaj pH-ját csökkenti (10. ábra). Ez annak tulajdonítható, hogy az avarbomlás során keletkező savas intermediereket, humuszanyagokat a csökkenő avarinput csökkenő bázikus kation-tartalma nem tudja kellően pufferolni. Ezzel szemben a Dupla Avar kezelésnél a talaj pH-ja növekedett, ami a nagyobb avarbevitellel járó nagyobb bázikus kation-tartalom kioldódásnak, a nagyobb pufferkapacitásnak köszönhető.

Az avarkezelések hatása a talaj baktérium- és gombaszámára

A legalacsonyabb baktérium- és gombaszámot a Kontrollhoz viszonyítva a Nincs Avar, a Nincs Gyökér és a Nincs Input kezelések esetében kaptuk. A legnagyobb baktérium- és gombaszám a Dupla Avar kezelés esetében figyelhető meg, a különbség azonban nem szignifikáns (11-12. ábra).

Az avarkezelés hatása a talaj foszfatáz- és glükozidáz-aktivitására

A foszfatáz- és a glükozidáz-aktivitásban az első két évben (2001-2002) a kezelések között még nem voltak jelentős különbségek (13-14. ábra).

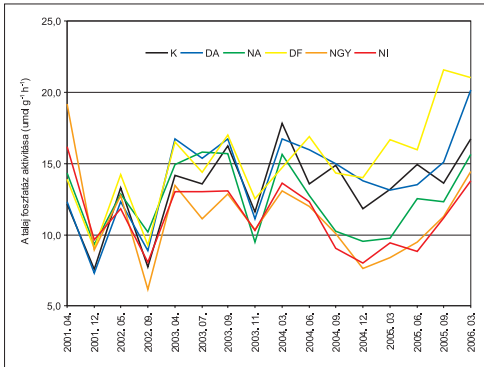
A Nincs Avar, a Nincs Gyökér és a Nincs Input kezelésű parcellák aktivitása 2003-tól kezdődően egyre inkább csökkenő tendenciát mutatott, azaz a csökkenő avarinput hosszú távon csökkenti a talajenzimek aktivitását. A várákozással ellentétben a Dupla Avar parcellák talajának enzimaktivitása a legtöbb esetben nem haladta meg a Kontroll parcellák enzimaktivitását.

A talaj foszfatáz- és glükozidáz-aktivitása között pozitív korreláció mutatható ki.

Az avarkezelések hatása a talajlégzésre

A kísérlet első három évében a talajlégzésben a kezelések között szignifikáns különbség nem vagy alig volt kimutatható. A kísér-

13. ábra

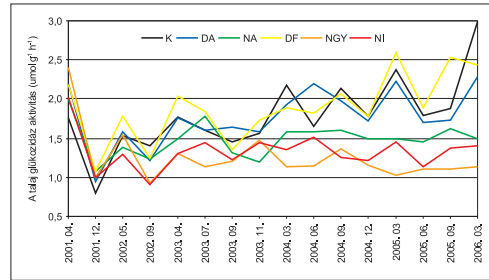


A talaj foszfatáz-aktivitásának változása

let beállításától számított öt év múlva (2005) azonban a Nincs Avar, a Nincs Gyökér és a Nincs Input kezelések esetében a talajlégzés csökkent (15. ábra).

A Dupla Avar kezeléseknél, a várakozással ellentétben, a vizsgálat első három évében a

14. ábra

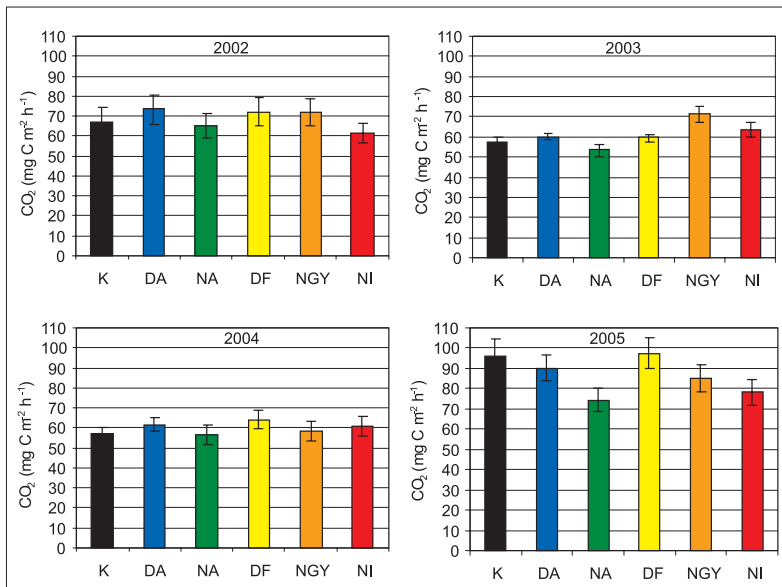


A talaj glükoszidáz-aktivitásának változása

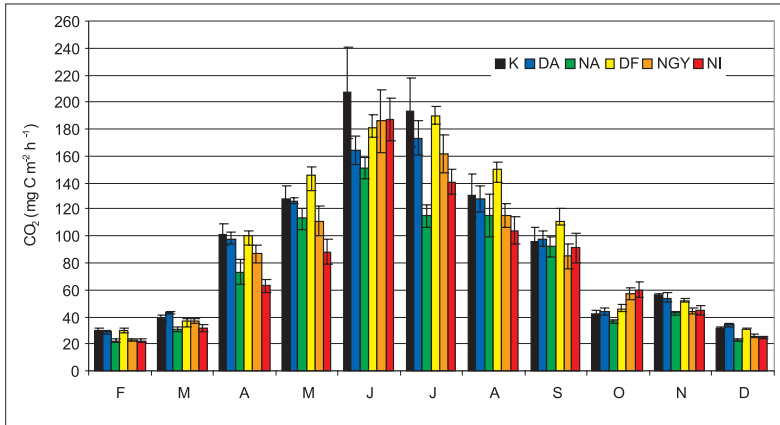
talajlégzés a Kontrollhoz képest csak kissé mértékben növekedett, 2005-ben viszont csökkent, a különbség azonban nem szignifikáns.

A talajlégzés szezonális változása jól követi a talajhőmérséklet változását, minden évben hasonló dinamikájú, a tavaszi hónapokban emelkedik, maximumát a nyári hónapokban (június, július) éri el, majd ősszel csökken (16. ábra).

15. ábra

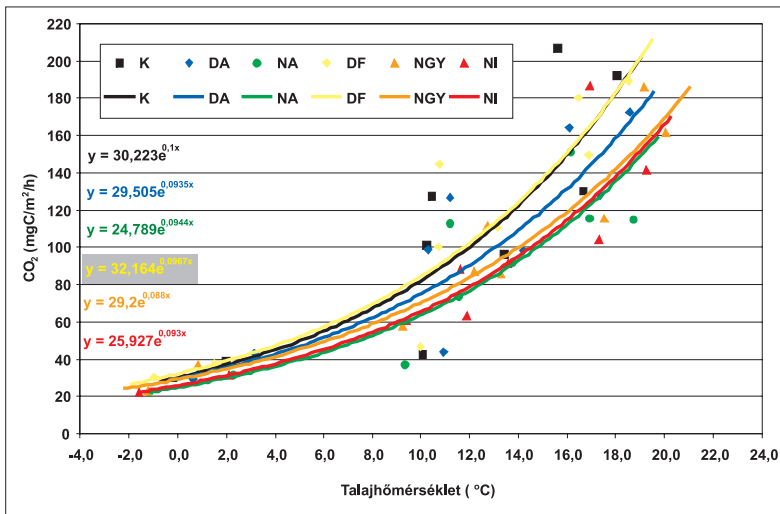
Az avarkezelések hatása a talajlégzésre
(évi átlagok)

16. ábra



A talajlégzés szezonális változása 2005-ben

17. ábra



A talajhőmérséklet hatása a talajlégzésre

A talajhőmérséklet hatása a talajlégzésre

A talajhőmérséklet növekedésével a talaj $\text{CO}_2\text{-C}$ kibocsátása minden kezelés esetében exponenciálisan növekedett (17. ábra). A talajhőmérséklet és a talajlégzés közötti összefüggés az $y = a \cdot e(b \cdot x)$ egyenlettel jellemezhető. Az exponenciális görbék egyenleteiből

számíthatók a Q_{10} -értékek ($Q_{10} = e^{b \cdot 10}$), amelyek azt mutatják, hogy 10°C -os hőmérséklet-emelkedés hatására a kémiai reakciók sebessége (jelen esetben a talajlégzés intenzitása) hányszorosára növekedne. Ilyen mértékű hőmérséklet-növekedés a valóságban azonban egyik scenárió szerint sem várható, ezért realisabb képet kaphatunk, ha a

Q_{10} helyett a Q_2 értékét számítjuk ki. A Q_2 azt mutatja meg, hogy évi 2 °C-os átlaghőmérséklet-emelkedés hatására hányszorosára növekedne a talajlélegzés. Az 1. táblázatban a Síkfőkút DIRT Project és a Harvard Forest Q_2 értékeit hasonlítottuk össze.

1. táblázat
Síkfőkút (SIK) és a Harvard Forest (HFR)
 Q_2 értékei

| Kezelés | Q_2 | |
|------------------|------------|-----------|
| | SIK (5 év) | HF (5 év) |
| Kontroll K | 1,2214 | 1,2712 |
| Dupla Avar DA | 1,2056 | 1,2586 |
| Nincs Avar NA | 1,2078 | 1,2763 |
| Dupla Fa DF | 1,2134 | – |
| Nincs Gyökér NGY | 1,1924 | 1,1901 |
| Nincs Input NI | 1,2044 | 1,1853 |

A táblázat adataiból jól látható, hogy Síkfőkúton 2 °C-os talajhőmérséklet-emelkedés hatására kb. 20%-os talajlélegzés-növekedés várható, míg a nedvesebb és hűvösebb klímájú Harvard Forest esetében ennél valamivel nagyobb talajlélegzés-növekedés következne be.

A talaj nedvességtartalmának hatása a talajlélegzésre

A talaj nedvességtartalmának növekedésével a talaj CO_2 -kibocsátása enyhe növekedést mutatott, az összefüggés nem szignifikáns.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a *Mátyás Csaba* által vezetett Erdő és klíma NKFP kutatás keretében történt.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

(1) Antal E. – Berki I. – Justyák J. – Kiss Gy. – Tarr K. – Vig P. (1997): A síkfőkúti erdő-társulás hő- és vízháztartási viszonyainak vizsgálata az erdőpusztulás és az éghajlatváltozás tükrében. Debrecen, 83 p (2) Bowden, R.D. – Nagel, L. – Kotroczó, Zs. – Krakomperger, Zs. – Papp, M. – Tóth, J.A. (2006): Long-term change in vegetation composition and biomass in a Central European oak forest at the Síkfőkút International Long-Term Ecological Research (ILTER) Site, Hungary. Mid-Atlantic Ecology Conference. Ecology in the Field. New Jersey School of Conservation. Branchville, New Jersey, April 8-9 2006. Mid-Atlantic Chapter of the Ecological Society of America (MAESA) 2-3. pp. (3) Kaye, J.P. – Hart, S.C. (1998): Restoration and canopy-type effects soil respiration in a Ponderosa Pine Bunchgrass ecosystem. Soil Science Society Am. J. 62: 1062-1072. pp. (4) Kotroczó, Zs. – Krakomperger, Zs. – Koncz, G. – Papp, M. – Bowden, R.D. – Tóth, J. (2006): Egy cseres tölgyes erdő struktúrájának változása 31 év alatt. Tájékológia Lapok. (Megjelenés alatt) (5) Schlesinger, W.H. (1977): Carbon balance in terrestrial detritus. Annual Review of Ecology and Systematics, 8: 51-81. pp. (6) Tóth J.A. (2003): A klímaváltozás várható hatásai az elhalt szerves anyag lebontási folyamataira. Kutatási metodika. Erdő és Klíma NKFP 1. sz. részjelentés (kézirat) (7) Tóth J.A. – Papp B.L. – Jakucs P. (1985): Litter production of the forest. In: Jakucs P. (ed.): Ecology of an oak forest in Hungary. Results of „Síkfőkút Project” 1. Akadémiai Kiadó, Budapest, 211-225. pp. (8) Tóth J.A. – Papp M. – Krakomperger Zs. – Kotroczó Zs. (2006): A klímaváltozás hatása egy cseres-tölgyes erdő struktúrájára (Síkfőkút Project). A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. KvVM–MTA „VAHAVA” project zárókonferenciája. Időjárás és éghajlat: hatások és intézkedések. Poszter. Budapest, 2006. március 9.

KÖZÉPISKOLÁSOK KLÍMAVÁLTOZÁSSAL KAPCSOLATOS ATTITÚDJEI ÉS VISELKEDÉSE

ANDACS NOÉMI – TAKÁCS-SÁNTA ANDRÁS

Kulcsszavak: felelősségvállalás, fiatalok, klímatudatos cselekvési alternatívák, klímaváltozás, oktatás, (ön)kormányzat, tévhit.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A klímaváltozásra való felkészülés nem várható csupán a nemzetek feletti szervezetek vagy a kormányok intézkedéseitől, hanem a települések önkormányzatainak és lakóinak is jelentős részt szükséges vállalniuk. A megfelelő lépések eredményessége viszont nagymértékben függ a társadalom klímaváltozással kapcsolatos attitűdjeitől.

Kutatásunkban arra kerestük a választ, hogy a 16-18 éves korosztály milyen attitűdökkel rendelkezik a kérdéskör kapcsán.

A vizsgálatra 2007 végén, Tatabányán került sor, a város klímaprogramjához kapcsolódva: 120 középiskolás kérdőíves felmérését követően két 6-6 fős fókuszcsoportos beszélgetésre került sor. A vizsgálatból kiderült, hogy a megkérdezettek döntő többsége világviszonylatban súlyos problémának tartja a klímaváltozást, viszont Magyarország és Tatabánya tekintetében már kevésbé.

Habár nagy részük általában véve tisztában van azzal, hogy a lakosság jelentősen befolyásolhatja ezt a folyamatot, a klímaváltozás tényleges okait és várható következményeit, valamint a klímaváltozás ellen tehető lépéseket már kevésbé látják, az ezzel kapcsolatos tévhitokről nem is beszélve. Saját lehetőségeiket leginkább a szelektív hulladékgyűjtésben, a nem szemetelésben és a villannyal való takarékoskodásban látják.

A felmérés eredményei rámutatnak arra, hogy a középiskolások körében nélkülözhetetlen a klímaváltozással kapcsolatos szemléletformálás. Ennek keretében legalább nagyvonalakban célszerű megismertetni a jelenség ok-okozati összefüggéseit és a tényleges cselekvési lehetőségeket. Az iskolák és a helyi önkormányzatok nagy szerepet játszhatnak a klímatudatosság növelésében.

Különösen ígéretesnek tűnik az iskolák keretében zajló formális és informális oktatás, amely az egyéni felelősség növelésére helyezi a hangsúlyt, elsősorban interaktív, játékos formában.

Mindehhez pedig természetesen magas fokú elkötelezettség és ismeretek szükségese a tanártársadalom és az (ön)kormányzat munkatársainak részéről is.¹

¹ Jelen cikk a *Középiskolások klímaváltozással kapcsolatos attitűdjei és klímabarát viselkedése* című szakdolgozat (ELTE TÁTK 2007/2008) rövidített, átdolgozott változata. A szakdolgozat teljes szövege a www.greenfo.hu/adatbazisok/szakdolgozatok_item.php?szd=34 weboldalon tekinthető meg.

BEVEZETÉS

Bár nehéz pontosan megbecsülni, de talán mára már nemcsak a szűkebb értelemben vett tudományos és szakpolitikai élet szereplői, de a hazai társadalom széles rétegében is ismert és elfogadott tényné vált a klímaváltozás. Míg 1996-ban a magyarországi felnőtt lakosság alig 10%-a sorolta a legsúlyosabb környezeti problémák közé a klímaváltozást – így az a környezeti problémák közül fontosság tekintetében az utolsó helyre került –, 2006-ban már a megkérdezettek közel fele tartotta súlyos gondnak (Füzési – Tistyán, 1998; Mosoniné et al., 2006).

A 2008 márciusában az Országgyűlés által elfogadott, a 2008-2025 közötti időszakra vonatkozó *Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiában* vállalt üvegházgáz-kibocsátáscsökkentés a társadalom egészére nagy felelősséget hárít, ami nem valószínű meg pusztán felülről hozott intézkedésekkel anélkül, hogy a gazdasági, társadalmi szereplők jelentős része ne érezné magáénak a feladatot.

Nem hagyható figyelmen kívül, hogy a kormányzati intézkedések mellett nagy szükség van a helyi szintű kezdeményezésekre is az üvegházgáz-kibocsátás csökkentése, az éghajlatváltozás hatásaihoz való alkalmazkodás és a szemléletformálás terén egyaránt. Az *MTA Szociológiai Kutatóintézetének Éghajlatváltozás Kutatóműhelye* ezzel a gondolattal indította útjára 2007-ben a *Klímaparát települések programot*, három mintatelepüléssel. A jövőben *Tatabánya, Pomáz és Hosszúhetény* eredményei szolgálhatnak tanulsággal más helyi jellegű kezdeményezéseknél (Antal, 2008).

Vizsgálatunkban középisikolások korcsoportját mértük fel. Célunk az volt, hogy képet kapjunk ennek a korosztálynak a klímaváltozással kapcsolatos attitűdjeiről és viselkedéséről. Az eredmények alapján megfogalmazott ajánlások abban nyújthatnak segítséget, hogy miként lehetne felkelteni a fiatalok érdeklődését a téma iránt, és

a jövőben hogy lehetne őket aktivizálni a klímavédelemben.

Vizsgálatunkban három hipotézist fogalmaztunk meg. A klímaváltozás mára annyira a közbeszéd tárgyává vált, hogy valószínűleg a 16-18 éves korosztályt is foglalkoztatja. Viszont kérdés, hogy ez a probléma mennyire „törpül el” a többi hétköznapi társadalmi, gazdasági gondolhoz képest, amellyel közvetlenül, illetve családjuk, ismerőseik révén közvetetten nap mint nap találkozunk. Első hipotézisként abból a feltételezésből indultunk ki, hogy habár önmagában véve valószínűleg többnyire súlyos gondnak ítélik meg a klímaváltozást, a kérdés a többi mindennapi problémához képest háttérbe szorul. A társadalmi felelősségvállalás növelésére irányuló lépések hatékonysága érdekében nagyon fontos tisztában lenni azzal, hogy ebben a kérdéskörben egyáltalán felelősnek érzik-e magukat az egyes társadalmi csoportok, és ha igen, mennyire? A felelősség pedig szorosan összefügg azzal is, hogy kitől várják a megoldást, és egyáltalán milyen megoldást, lépéseket képzelnek el a klímaváltozás mérséklésére. Ebből kiindulva a második hipotézisünk az volt, hogy valószínűleg a diákoknál erősen jelentkezik a felelősségelhárítás, vagyis a klímaváltozás legfőbb okozójának nem az „átlagembert”, hanem elvont társadalmi csoportokat, például a vállalatokat vagy a politikusokat tartják. Harmadik hipotézisünk szerint, habár a diákok feltehetőleg azt gondolják, hogy lehet tenni a klímaváltozás ellen, a megoldást az előbb említett „felelősöktől” várják. Minimalizálják a saját felelősségüket, illetve általában a lakosság szerepét a klímaváltozás elleni küzdelemben. Ebből kifolyólag valószínűleg nem is gondolkodnak el a megoldáso(ko)n, így feltehetőleg nagyon hiányos elképzeléssel rendelkeznek arról, hogy milyen konkrét lépések szükségesek ezen a téren. Ebben az írásban a harmadik hipotézishez kapcsolódó eredményekkel foglalkozunk részletesen, mert ennek kapcsán születtek leginkább újszerű megállapítások az eddigi szakirodalomhoz képest.

A MÓDSZERTAN

A *kérdőíves felmérést* két gimnáziumi és két szakközépiskolai osztályban végeztük el *Tatabányán, 2007 novemberében*. Ezt követően a kérdőívet kitöltő és két másik, a kérdőívet nem kitöltő osztályból toboroztuk a két (6-6 fős) mini *fókuszcsoport* résztvevőit. Habár felmérésünk nem reprezentatív, a 27 kérdést (ebből tíz nyitott, előstrukturálatlan kérdés volt) tartalmazó, összesen 120 kérdőív és két fókuszcsoport eredményei mindenképpen jeleznek tájékozódási irányt.

A kutatásban kizárólag tizenegyedik évfolyamos osztályokkal dolgoztunk. Azért választottuk ezt a korosztályt, mert ezek a diákok még egy évig mint iskolások, mindenképpen jelen lesznek Tatabányán, így amennyiben az önkormányzat részéről a közeljövőben megindul a fiatalok bevonására irányuló program, konkrétan a felmérésben részt vett diákok akár egyfajta kiindulási alapot is jelenthetnek ehhez. Hiszen a téma iránti aktivizálásuk, még ha csak egy kérdőív vagy fókuszcsoport erejéig is, de megindult. Célsoportként való kiválasztásukat viszont elsősorban az indokolta, hogy ez a korosztály hamarosan kilép a munkaerőpiacra, és munkájuk, valamint keresetük révén a mostaninál jelentősebb szereplői lesznek a gazdasági, társadalmi életnek, ezért nem mindegy, hogy milyen világgéppel, értékrenddel bírnak.

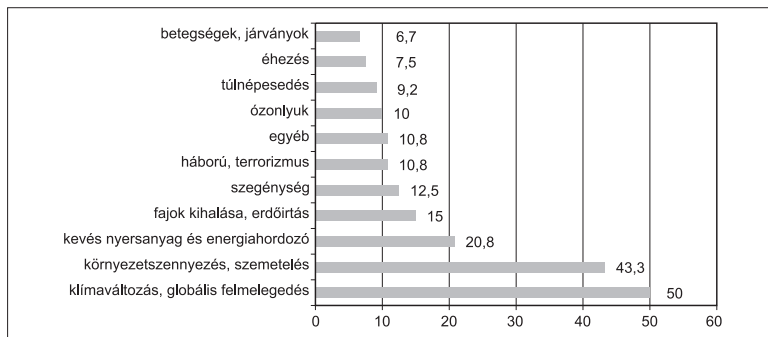
A KLÍMAVÁLTOZÁS MEGÍTÉLÉSE

A klímaváltozással a hazai szociológiai vizsgálatok – szemben például az átfogó amerikai vagy német kutatásokkal – eddig többnyire legfeljebb egy-egy kérdés erejéig foglalkoztak (Mészáros, 1996; Füzesi – Tistyán, 1998; Székely, 2002). A hazai szakirodalomban mindössze két kizárólag az éghajlatváltozással kapcsolatos országos szintű vizsgálattal találkozhatunk. A felnőtt lakosság körében végzett egyik reprezentatív felmérésre 2006 őszén a KLÍMA KKT program keretében került sor, a másikat a TÁRKI készítette 2007-ben (Mosoniné et al., 2006; TÁRKI, Image Factory, 2007). Mindkét felmérés eredményei azt mutatják, hogy a hazai lakosság döntő többsége szerint a klímaváltozás rövid vagy hosszú távon bizonyos mértékben mindenképpen befolyásolja hazánk éghajlatát, valamint veszélyezteti a Föld népességét.

A Tatabányán végzett vizsgálat eredményei alapján, az első hipotézishez kapcsolódóan az alábbi főbb megállapításokat érdemes kiemelni:

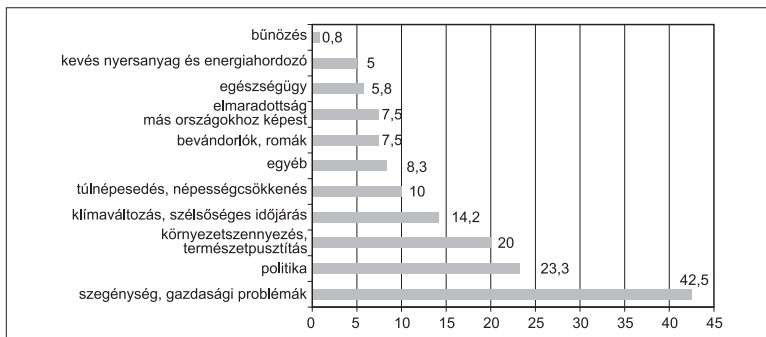
– Mint ahogy arra a nemzetközi szakirodalom is rámutat, a személyes érintettség növekedésével csökken a klímaváltozással és egyéb környezeti problémákkal kapcsolatos veszélyérzet (Uzzell, 2000; Leiserowitz, 2005; Kuckartz et al., 2006). Vagyis globális szinten sokkal súlyosabbnak tartják ezeket a prob-

1. ábra



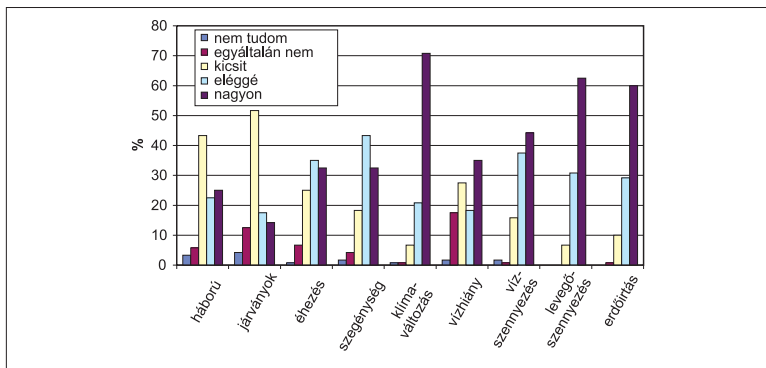
Melyek lesznek a legjelentősebb problémák a Földön?
(nyitott kérdés, %)

2. ábra



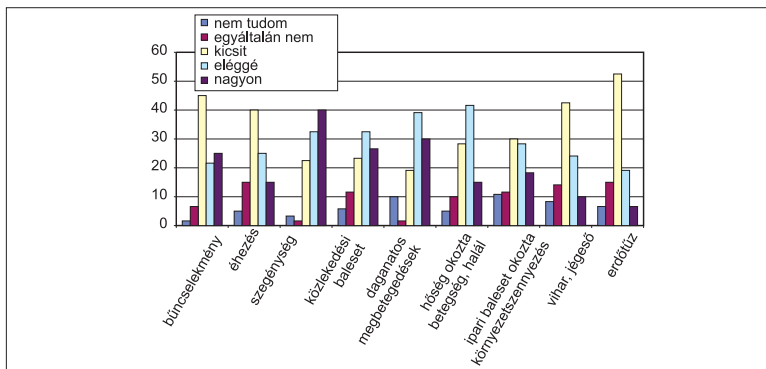
Melyek lesznek a legjelentősebb problémák Magyarországon? (nyitott kérdés, %)

3. ábra



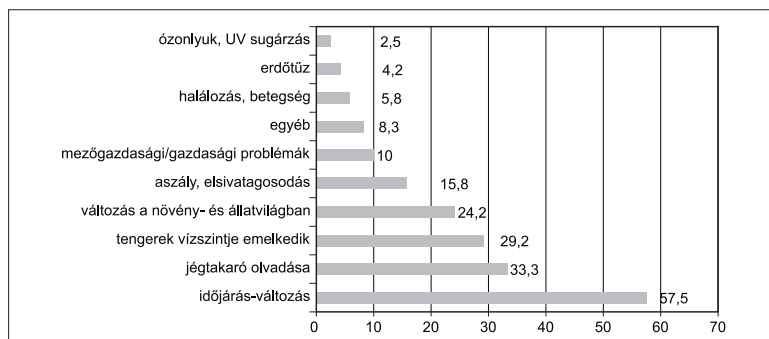
Mennyire fenyegetik a Föld lakosságát ezek a problémák? (zárt kérdés)

4. ábra



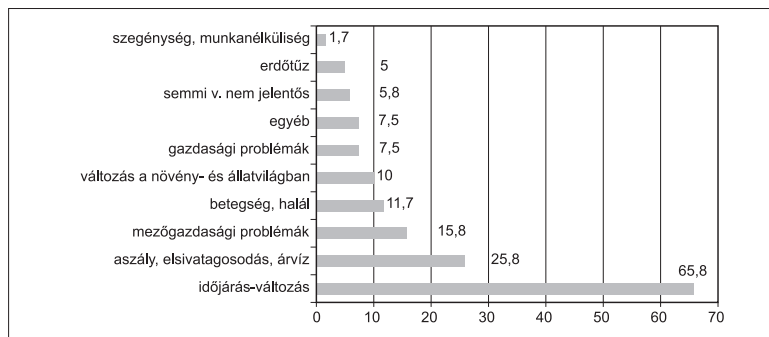
Mennyire fenyegetik Magyarország lakosságát ezek a problémák? (zárt kérdés)

5. ábra



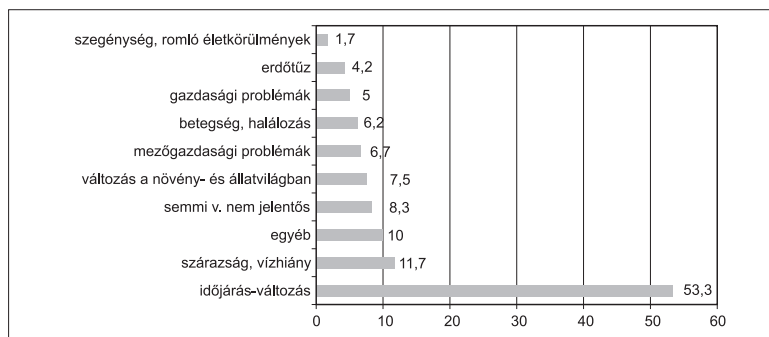
Milyen változások várhatók a Földön a klímaváltozás hatására?
(nyitott kérdés, %)

6. ábra



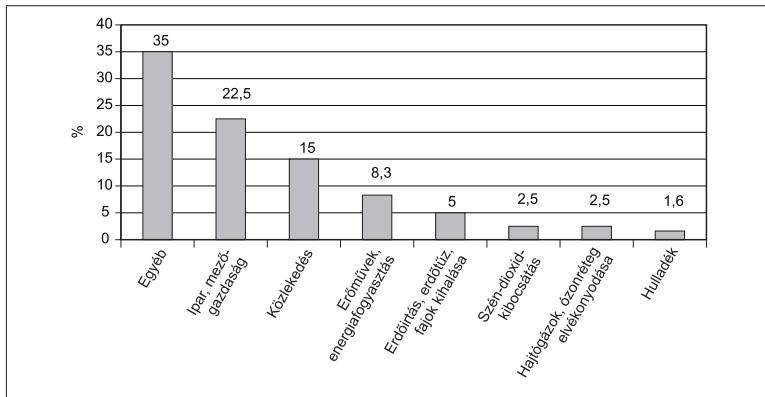
Milyen változások várhatók Magyarországon a klímaváltozás hatására?
(nyitott kérdés, %)

7. ábra



Milyen változások várhatók Tatabányán a klímaváltozás hatására?
(nyitott kérdés, %)

8. ábra



A klímaváltozás első helyen említett okai
(nyitott kérdés)

lémákat, mint saját országuk vagy közvetlen lakóhelyük esetében (lásd: 1-4. ábra). Arra a kérdésre, hogy érinti-e Magyarországot a klímaváltozás, a megkérdezettek 55%-a válaszolta azt, hogy nagyon, míg a diákok 30%-a szerint csak eléggé. Tatabánya esetében ez a két érték már csak 42, illetve 20% volt.

– A felmérésben sikerült rámutatnunk arra, hogy ahogy közeledünk a helyi szinthez, úgy nő a bizonytalanság és a tudáshiány a klímaváltozás várható hatásaival kapcsolatban. (Ami abból a szempontból nem meglepő, hogy az éghajlati modelleknél is megfigyelhető ez a jelenség.) A megkérdezettek települési és országos szinten kevesebb konkrét következményt tudtak felsorolni, mint világviszonylatban. Továbbá ennél a két kérdésnél igen nagy az általános fogalmak, illetve tévhitik aránya (lásd: 5-7. ábra).

– A nemzetközi eredményekhez hasonlóan, a tatabányai diákok körében is – a kérdéses térléptéktől függetlenül – jellemzően a természeti problémák vannak túlsúlyban a várható következmények között (Dunlap, 1998). Vagyis úgy tűnik, a klímaváltozás társadalmi, gazdasági vetülete nem tudatosult eléggé a fiatalokban.

– A klímaváltozás megítélésének súlya helyi szinten nemcsak a társadalmi és gazdasági

kérdésekhez viszonyítva enyhébb, hanem más környezeti problémákhoz képest is.

A KLÍMAVÁLTOZÁS OKAI ÉS FELELŐSEI

Ami a klímaváltozás antropogén vagy természetes okait illeti, a magyarországi társadalom viszonylag jól tájékozott ebben a kérdésben, szemben például az amerikai társadalommal (Saad, 2006). 2006-ban ugyanis is a magyarországi lakosság 73%-a gondolta azt, hogy elsősorban az ember okozta hatások járulnak hozzá a klímaváltozáshoz, és csupán a megkérdezettek negyede szerint állnak döntően természeti okok a jelenség hátterében (Mosoniné et al., 2006).

A klímaváltozás konkrét okait tekintetben viszont meglepő, hogy nálunk a megkérdezettek körében a közlekedés és az erőművek (mint legfőbb üvegházgáz-kibocsátók) nem az első helyen, és nem túl nagy arányban szerepelnek a klímaváltozást jelentősen befolyásoló tényezők között. Ezzel szemben például a brit társadalom jóval tájékozottabbnak tűnik (Mosoniné et al., 2006).

A legfontosabb eredmények:

– A hazai felnőtt lakosság körében tapasztalt tájékozatlansághoz hasonlóan, az általunk megkérdezett diákok sincsenek kellőképpen tisztában azzal, hogy mely tevékenységek befolyásolják leginkább a klímaváltozást. A közlekedést, valamint az erőműveket, vagyis a vezető üvegházgáz-kibocsátó tevékenységeket viszonylag kevesen (15 illetve 8%) sorolták a legfontosabb okok közé (lásd: 8. ábra).

– Több tévhitel is találkozhatunk a diákoknál, ami arra enged következtetni, hogy nem tudják elkülöníteni a klímaváltozást az egyéb környezeti problémáktól. Bár csak igen kis arányban (2,5%), de többek között az atomhulladékot, a szemetelést, és nem utolsósorban a dohányzást is a klímaváltozás okának tartják.

– A diákok körében – hipotézisünkkel ellentétben – nem érvényesül a felelősség-hárítás. A klímaváltozásért közel hasonló arányban tartják felelősnek a vállalatokat és a lakosságot. Viszont igen kis jelentőséget tulajdonítanak a politikusoknak és az önkormányzatoknak.

A CSELEKVÉSI ALTERNATÍVÁK

A hazai és nemzetközi kitekintés

A 2006-ban készült országos felmérés azt mutatja, hogy habár a hazai társadalom jelentős része elsősorban a kormánytól várja a klímaváltozás elleni lépések megtételét, nagyon fontosnak tartják a lakosság szerepvállalását: 59% szerint elsősorban a kormány feladata a klímaváltozás elleni lépések megtétele, és 37% gondolja azt, hogy a lakosságé. Viszont a brit társadalommal szemben (53%), a hazai lakosság 84%-a úgy véli, hogy ha mi magunk változtatunk az életmódunkon, már az is befolyásolja a klímaváltozást (*Mosoniné et al., 2006*).

Ugyanez a felmérés arról is információt ad, hogy konkrétan milyen lépéseket vállalnak az emberek a klímavédelemért. A megkérdezettek 65, 57, illetve 47%-ára jellemző

az energiatakarékosság, a tömegközlekedés használata, valamint a hulladék újrahasznosítása, viszont ez a magas arány bizonyára abból adódik, hogy a megkérdezettek igyekeztek jó képet kialakítani magukról (*Mosoniné et al., 2006*). Az általában „zöld” jelzővel illetett német társadalom körében 2006-ban végzett felmérés azt bizonyítja, hogy azok a környezetvédelemmel kapcsolatos lépések nem kapnak túl nagy társadalmi támogatottságot, amelyek a kényelem feláldozásával járnak. A lakosság legkevésbé a gépjárműhasználat csökkentését és az energiatakarékosságot vállalta. Míg bevallásuk szerint a megkérdezettek legnagyobb arányban (65%) a szelektív hulladékgyűjtéssel védik a környezetet, ezt második helyen már csak 26%-os említéssel követi az energiatakarékosság. A megkérdezettek 24%-a említette, hogy „ésszerűen használja” az autót, vagy kisebb kibocsátású autója van, és csak 20%-uk választja inkább a tömegközlekedést vagy kerékpározást (*Kuckartz et al., 2006*). Egy korábbi, 1999-ben végzett pennsylvaniai felmérés is rámutatott arra, hogy a klímavédelemmel, környezetvédelemmel kapcsolatos lépésekre való hajlandóságot leginkább az növeli, ha abból az egyénnek közvetlen anyagi haszna származik, de legalábbis nem jár többletköltséggel (*O'Connor et al., 2002; Yarnal et al., 2003*).

A nemzetközi szakirodalomban nincsen egyértelmű állásfoglalás a tekintetben, hogy a klímaváltozással kapcsolatos pontos ismeretek milyen mértékben járulnak hozzá a nagyobb egyéni felelősségvállaláshoz és több, határozottabb cselekvéshez. Egyes társadalomkutatók szerint a tájékozottság inkább csak a klímaváltozással kapcsolatos veszélyérzetet erősíti, viszont ez még nem vezet egyértelműen környezettudatos cselekvéshez (*O'Connor et al., 1999; Sundblad et al., 2007*). A tájékozottság bizonyos mértékig növeli ugyan a klímavédelmi lépésekre való hajlandóságot, de önmagában véve még nem elégséges motiváló tényező, ugyanis egy-egy ilyen lépésnél legalább annyira fontos a gazdasági szempontú mo-

tiváltság, vagyis a pénzbeli nyereség, valamint hogy az egyénnek ne kelljen feláldoznia a kényelmét (Bulkeley, 2000; Yarnal et al., 2003).

A cselekvési alternatívák hiányos ismerete

Vizsgálatunkból egyértelműen kiderült, hogy a megkérdezettek csak nagyon korlátozottan képesek maguktól felidézni klímaváltozás elleni konkrét cselekvési alternatívákat. Annak ellenére, hogy a felmérésbe bevont diákok csak kevesebb mint tizede állítja egyértelműen azt, hogy nem lehet tenni a klímaváltozás ellen, 10%-nak egyáltalán nem volt konkrét cselekvéssel kapcsolatos ötlete, közel fele csupán egy lépést tudott megnevezni, és 41% – egyúttal a legnagyobb – volt azok aránya, akik általános fogalmakat (is) említettek (lásd: 9. ábra). A lehetséges (konkrét) lépések között második helyen a kevesebb autóhasználat áll 17%-kal. A szelektív hulladékgyűjtés a negyedik helyre került (14%), és meglepő módon az energiatakarékosságra még ennél is kevesebben gondoltak (6%), így az a lista végén, a nyolcadik helyen áll. Ez azért súlyos tény, mert ez a három tevékenység a lakosság által legkönnyebben, vagyis anyagi beruházás nélkül felvállalható klímabarát lépés közé tartozik. Itt legfeljebb a kényelmi szempont merülhet fel akadályként. A nemzetközi tapasztalatokkal összhangban mindkét fókuszcsoport eredményei rámutattak arra, hogy a kényelem bizony nem elhanyagolható tényező, és jelentős visszatartó erővel bír mind a tömegközlekedésnél, mind pedig a szelektív hulladékgyűjtésnél.

„Katalin: ...Ezt nem lehet visszaszorítani. Nem lehet visszaszorítani ezt az autóval járást, mert már úgy megszoktuk, főleg a felnőttek. Mert nekem még nincs jogsim, de én is szeretem, ha kocsival megyünk valahova. És ha valamihez már hozzászoktunk, attól már nagyon nehéz lenne megválni. El se tud-

nám úgy képzelni, hogy... Nem ez a megoldás szerintem, hogy visszaszorítsák.

...

Moderátor: A szelektív hulladékgyűjtésen kívül még mit tennének meg könnyen az emberek?

Szilvia: Hogy kevesebbet járjanak autóval.

Éva: Arra nem biztos, de hogy olyan autót vásároljanak, ami kiméli a környezetet, arra talán jobban.

Szilvia: Arra igen, szerintem is.

Moderátor: Miért?

Éva: Szerintem az emberek is tisztában vannak nagyjából azzal, hogy mennyit ártanak a környezetnek, ha beülnek az autóba, kipufogógáz és hasonló, csak hát el vagyunk kényelmesedve.”¹

A diákok körében a szabadon előhívható klímavédelmi cselekvési alternatívák köre igen csekély. A kép tovább romlik, amennyiben azt vizsgáljuk, hogy ők maguk mit tesznek a klímaváltozás ellen (lásd: 10. ábra). A megkérdezettek klímatudatos lépései elsősorban a tömegközlekedésben, a szelektív hulladékgyűjtésben és a villannyal való takarékoskodásban merülnek ki. Viszont a kép jóval árnyaltabb, és ebből kifolyólag nem túl pozitív, ha figyelembe vesszük, hogy a tömegközlekedés használatát nagymértékben az magyarázza, hogy a megkérdezettek koruk miatt még nem rendelkeznek sem jogosítvánnyal, sem pedig saját gépkocsival. Viszont a fókuszcsoporton belül többen is elmondták, hogy ha lenne autójuk, leginkább azt használnák tömegközlekedés helyett.

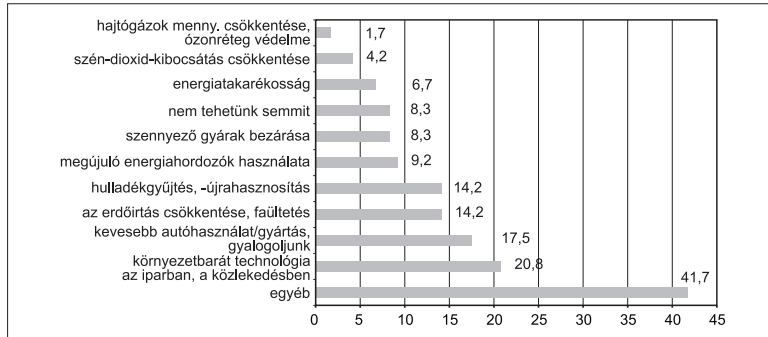
„Ágnes: ...De ha azon elgondolkodom, hogyha lenne autóm, akkor lehet, hogy sok helyre mennék inkább autóval. De lehet, hogy inkább télen.

Moderátor: Miért?

Ágnes: Hát a kényelem, meg az, hogy így kevesebb időt vesz igénybe az utazás. Jóval rövidebb idő alatt tudunk odaérni,

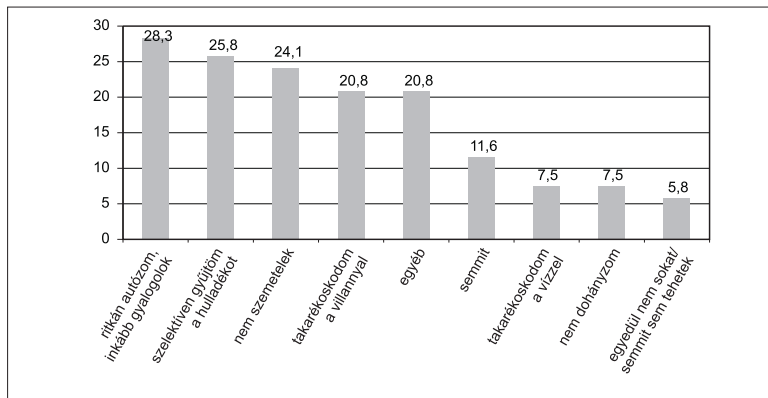
¹ A kérdőívet kitöltött csoport.

9. ábra



Az emberiségnek milyen lépéseket lehet/kell tennie a klímaváltozás ellen?
(nyitott kérdés, %)

10. ábra



Te milyen lépéseket teszel a klímaváltozás ellen?
(nyitott kérdés, %)

ahova akarunk, és így több időnk van másra. Inkább ilyen időben, a hidegben az autót többször veszem igénybe. Mert nyáron simán elmegyek biciklivel vagy gyalog. Akkor kevésbé buszozom, mert hogy akkor tök jó az idő, meg sétálni lehet, meg jólesik mozogni. De ilyenkor azért inkább a kocsi, meg a busz.

...

Moderátor: A többiek mit gondolnak? Ha lenne kocsitok, hogy használnátok?

Krisztina: Én biztos, hogy mindenholva azzal mennék, mert elég mániám az autó.

...

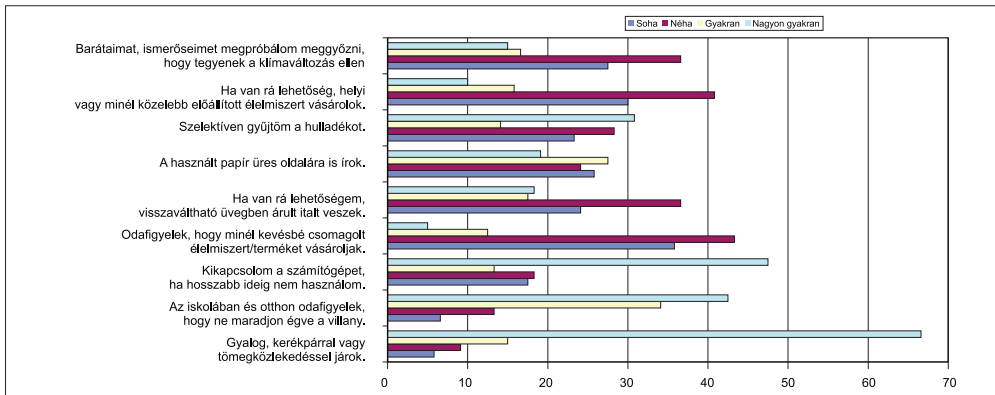
Nóra: Messzebb utakra igen, de nem hinném, hogy közelbe mindenholva kocsival mennék.

Moderátor: Miért?

Nóra: Hát mert, nem tudom... olyan rossz érzés az, hogy elmehetnék máshogy is, lelkiismeret-furdalásom van. Megtehetném, hogy megyek busszal vagy gyalog, és akkor én a kényelem miatt csak kocsival. Szóval ez így furcsa érzés.²

² Kontrollcsoport.

11. ábra



Te milyen lépéseket teszel a klímaváltozás ellen?
(zárt kérdés, %)

A kérdőív nyitott kérdésében a megkérdezettek negyede, a zárt kérdésben pedig közel fele mondta, hogy többé-kevésbé rendszeresen szelektíven gyűjti a hulladékokat (lásd: 11. ábra). Viszont mindkét fókuszcsoporthoz rávilágított arra, hogy ez a szelektív hulladékgyűjtés bizony elég „szelektíven” történik. Az esetek többségében ez gyakorlatilag szinte csak a palackgyűjtésre korlátozódik, négy résztvevő mondta, hogy elemet és ebből három, hogy papírt is gyűjtenek otthon (ez utóbbiak közül két családnál eltűzelik, és nem a hulladékszigetre kerül). Fémeket vagy üvegeket senki sem gyűjt. Mindezek mellett, ha azt is figyelembe vesszük, hogy mind a kérdőív, mind a fókuszcsoporthoz tartozók eredményei a konform magatartás irányába torzítottak, a kép nem túl biztató.

A nemzetközi tapasztalatok és saját eredményeink is azt mutatják, hogy nincsen egyértelmű összefüggés a klímaváltozással kapcsolatos pontos tárgyi tudás és a klímadatak lépésekre való hajlandóság között. Bár az alaposabb ismeretek inkább vezetnek ilyen jellegű lépésekhez, *Bulkeley (2000)* szerint a kérdéskörrel kapcsolatos zavaros ismeretek és tévhitek még nem akadályozzák meg az embereket abban, hogy tegyenek a klímaváltozás ellen. Ez utóbbi nagyon fontos kérdés, hiszen mint láthattuk, a megkérdezettek ne-

gyede abban a hitben (is) vigyáz a tisztaságra, vagyis nem szemetel, hogy ezzel hozzájárul a klímaváltozás mérsékléséhez. Ennél jóval kisebb arányban (7,5%), de egy még meglepőbb tévhitel, a dohányzással is találkozhattunk. Ennek fényében állíthatjuk, hogy nem feltétlenül vezet pozitív eredményre csupán a klímaváltozás miatt érzett aggodalom és tenni akarás, ha ehhez nem társul megfelelő ismeret. Ugyanakkor nem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy a – diákok körében viszonylag népszerű – szelektív hulladékgyűjtés is csupán egyfajta csövégi megoldás, bár kétségtelenül jobb, mint a hulladéklerakás.

A hulladék esetében a leginkább klíma- és környezetbarát megoldás, ha eleve megakadályozzuk a hulladék keletkezését. Ezt egyéni szinten a tudatos vásárlással lehet elérni. Viszont a megkérdezettek körében ezen a területen mutatkozik a legnagyobb érdektelenség és ismerethiány. A kérdőívben a vásárlással kapcsolatos zárt kérdésnél is mindössze 35% válaszolta, hogy gyakran vagy nagyon gyakran visszaváltható csomagolású terméket választ, csupán 25% figyel oda arra gyakran vagy nagyon gyakran, hogy helyi terméket válasszon, és mindössze 17% helyezi előtérbe a kevésbé csomagolt termékeket. A konform magatartás torzító hatását jelzi, hogy a zárt kérdést megelőző nyitott kérdés-

nél viszont senki nem említette ezeket a válszokat magától. A fókuszcsoporton résztvevők esetében is kiderült, hogy a vásárlásnál elsősorban a termék összetétele, vagyis a minősége a döntő szempont, és nem a csomagolás mértéke, illetve annak környezet- vagy klímabarát volta.

Nemcsak a sokszor fölösleges csomagolás, hanem a nagy távolságról történő szállítás is terheli a környezetet. Ez utóbbit a helyi, vagy minél közelebb előállított termékek vásárlásával lehet kivédeni. Viszont mint láthattuk, ez sem igazán jelenik meg vásárlási szempontként a diákok körében.

„Moderátor: ...odafigyeltek-e, hogy van-e fölösleges csomagolás az adott terméken, pl. hány zacskóban van. Ez befolyásol-e benneteket?”³

„Eva: Nem érdekel senkit. Nem nézik, hogy hány dobozban van.

Katalin: Engem annyiban befolyásol, hogyha több dobozban van tudom, hogy kisebb benne az anyag, vagy hát a termék. Ha öt csomagolás van, akkor biztos ekkora kis valami lesz benne. Inkább, amit látok, azt veszem meg. De nem e miatt gondolkodom, hogy a csomagolás.”

„Moderátor: Arra figyeltek-e, hogy ne legyen túl sok csomagolás a terméken. Hogy például ne legyen három dobozban, ha lehet csak egyben?”⁴

Zsuzsa: Nem

Krisztina: Én sem

Ágnes: Ja meg a származási helyet is szoktam nézni. Szóval ami Kínából vagy Japánból jön, azt.

Moderátor: Miért?

Krisztina: A japánnal nincs semmi baj, általában a kínai meg a vietnámi olyan, ami kicsit kevésbé jó. A japán nagyon elit, maga kultúrája, a termék.

Moderátor: Magától a terméktől tartasz?

Ágnes: Hát igen, hogy mit tartalmaz. Gyanús, hogy honnan jön.

...

Zsuzsa: A kínai termékeket meg ilyesmiket mondjuk elkerülöm, de nem nagyon szoktam nézni, hogy honnan jön, pontosan melyik országból. De ha lehet, akkor inkább hazait veszek.

Moderátor: Miért hazait?

Zsuzsa: Mert ezzel a mi gazdaságunkat növeljük.

.. nevetés..

Moderátor: A többiek?

Krisztina: Azért odafigyelünk olyasmire, hogy ha veszünk valamit, honnan van, honnan került ide, hány kézen ment keresztül. Azt mi is megnézzük.

Moderátor: Miért?

Krisztina: Hát a termék minősége miatt. Nem?”

Habár a fókuszcsoporton ketten is említették, hogy a családjuk előnyben részesíti a magyar termékeket, ennek a patriotizmus, valamint a higiénés szempont („nem megy át annyi kézen”) áll a háttérben. Amennyiben egy távoli országból érkező termékkel szemben döntenek a magyar termék mellett, a végeredmény – vagyis a kevesebb szállítás – szempontjából mindegy, hogy ezt a klímaváltozás vagy a patriotizmus jegyében teszik. Viszont amennyiben két magyar termék közül kell választanunk, a klímaváltozás szempontjából az országon belüli szállítás sem elhanyagolható. Ugyanis egy magyar termék és annak összetevői is akár több száz kilométert is utazhatnak az országon belül, mire a kész termék boltunk polcára kerül. Amennyiben a vásárlásnál a klímavédelmi szempontot helyezzük előtérbe, akkor a helyi termék fog a kosarunkba kerülni.

A diákok vélt vagy valós klímatudatos cselekvéseiről, illetve azok hiányáról kialakult kép, valamint az a tény, hogy még a látszólag klímabarátoknak tűnő lépések sem feltétlenül üdvözlendők, rávilágít arra, hogy a klímavál-

³ A kérdőívet kitöltött csoport.

⁴ Kontrollcsoport

tozás elleni cselekvés terén feltétlenül szükség van a szemléletformálásra. Ennek pedig mindenképpen magában kell foglalnia az okozati összefüggések feltárását és a tárgyi tudás bővítését, tekintve, hogy igen bonyolult, a hétköznapi ember számára nehezen átlátható kérdéskörrel van szó.

JAVASLATOK TOVÁBBI KUTATÁSOKRA

Az eddigi klímaváltozással foglalkozó hazai kutatások kizárólag a felnőtt lakosságra összpontosítottak, holott a fiatalok véleménye ebben a kérdéskörben legalább annyira fontos. A 2007-ben végzett, klímaváltozással kapcsolatos TÁRKI felmérés (*TÁRKI, Image Factory, 2007*) külön vizsgálta a téma médiában való megjelenését. Hasonló kutatás keretében lehetne foglalkozni a 16-18 éves korosztály által fogyasztott médiatermékekkel is.

Érdeemes lenne megvizsgálni magukat a középiskolai tankönyveket, segédanyagokat is, hogy azok milyen tantárgyhoz kapcsolódóan, milyen formában és mélységig foglalkoznak ezzel a témával.

Ugyanakkor nem utolsósorban fontos kérdés, hogy a középiskolai tanárok – mint a diákok számára a legfontosabb információforrás – mennyire tájékozottak ebben a témában. Habár multidiszciplináris problémakörrel van szó, feltételezhető, hogy a tanártársadalomban is az az általában bevett szemlélet uralkodik, hogy ennek a kérdéskörnek a feldolgozására legfeljebb a biológia, kémia vagy földrajz tantárgyak keretén belül kell vagy lehet sort keríteni.⁵ Más tudományterü-

letekkel való összefüggések feltárását talán csak kevesen látják be, arról nem is beszélve, hogy hányan próbálják ezt a diákokkal is beláttatni. Az éghajlatváltozás okozta szélsőséges időjárási viszonyok és következményeik (pl. árvíz, aszály, heves viharok, hőhullámok) gyakoribbá és intenzívebbé válása a társadalmi, gazdasági élet egészét érinti. A többek között az egészségügy, a természetvédelem, a mezőgazdaság, valamint az élelmiszer- és vízellátás-biztonság területén fellépő helyreállítási, védekezési és alkalmazkodási lépések éves hazai költsége becslések szerint a GDP akár 1%-át is elérheti (*VAHAVA, 2006*). Ebből is látható, hogy a klímaváltozás elleni fellépés kérdése nem korlátozódhat egy szűk tudományterületre.

AJÁNLÁS A KLÍMATUDATOSSÁG NÖVELESÉHEZ

Habár felmérésünk Tatabányára korlátozódott, nem állíthatjuk, hogy a kapott eredmények egyfajta helyi sajátosságról árulkodnának, hiszen a felmérésben részt vett 120 diák klímaváltozással kapcsolatos véleménye, tudása és cselekvési hajlandósága nagy hasonlóságot mutat a felnőtt lakosság körében végzett hazai és nemzetközi felmérések eredményeivel. Az alábbiakban röviden bemutatjuk, hogy a kutatás eredményei alapján miért és milyen formában lenne szükség a középiskolások széles körű bevonására a települési és országos szintű klímavédelmi tevékenységekbe egyaránt.

A 16-18 éves korosztály pár éven belül talán tudományos, politikai vagy közigazgatási szereplőként, de vásárlóerőként és nem utolsósorban szavazóként mindenképp jelen lesz a hazai társadalomban. A vásárlás szavazat. Ezért nem mindegy, hogy ezek a fiatal felnőttek milyen termékek mellett teszik le a voksukat. Tudatosan keresik-e a környezet- és klímabarát (pl. helyi) termékeket, vagy ez a kérdés egyáltalán nem játszik majd szerepet a vásárlási döntéseikben. Az sem lényegtelen, hogy szavazatukkal és esetleg

⁵ Feltételezésünket hétköznapi tapasztalataink, és nem utolsósorban a tatabányai felmérés előkészítése során szerzett életszerű „élmény” indokolja. A tatabányai felmérésbe egy közgazdasági szakközépiskolát is szerettünk volna bevonni, de az iskola vezetője azzal az indokkal utasította el a kérésünket, hogy iskolájukban kizárólag közgazdasági témájú felméréseket engedélyeznek: úgy tűnt, a klímaváltozás nem tartozik ebbe a kategóriába.

közvetlenül a munkájukkal, tudásukkal milyen (ön)kormányzati kezdeményezéseket, beruházásokat támogatnak. Vagy ők maguk kezdeményeznek-e klímavédelmi lépéseket. Ennek a korosztálynak a megnyerése nem csak a jövő felnőtt generációja szempontjából fontos, hanem a jelenlegi felnőtt generáció miatt is, hiszen a gyerekeken keresztül a szülők is elérhetők.

Az önkormányzatoknak és a regionális vagy országos szintű közigazgatási intézményeknek három fő területen van lehetőségük a fiatalok fogékonyabbá tételére, mozgósítására: az iskolában, az utcán és a médiában.

A három közül egyértelműen az iskola tűnik a legkönnyebb megoldásnak, egyrészt mert „helyben van”, vagyis nem kell külön „odacsábítani” a fiatalokat, másrészt feltehetőleg minden iskolában van egy-két aktívabb, a téma iránt érzékeny tanár, aki felvállalja ezeknek a programoknak a koordinálását.

– Mindenképpen szükség lenne a tanárok körében egyfajta továbbképzésre, valamint a tanárképző egyetemeken, főiskolákon ehhez kapcsolódó kurzusok szervezésére, vagy a témának a tananyagba történő beépítésére. Itt nemcsak a klímaváltozással kapcsolatos tények bemutatása és az interdiszciplináris összefüggések feltárása lenne a feladat, hanem olyan módszertani technikák (pl. szerepjáték, performance) bemutatása is, amelyekkel könnyebben felkelthető a diákok érdeklődése. Így el lehetne kerülni, hogy a téma száraz tananyagként kerüljön leadásra.

– Ösztönözni kellene az iskolákat klímaváltozással kapcsolatos tematikus napok tartására, esetleg iskolák közti vetélkedőkre. Ezekben lehetőséget kellene adni a téma sokrétű feldolgozására és bemutatására a diákok és a tanárok részéről egyaránt, pl. előadások, vetítések, vitafórumok, játékos vetélkedők, színházi előadások keretében.

– Pályázatok kiírása iskolák számára, amelyekben gyakorlatias feladatokat valósíthatnának meg a résztvevők. Például a *Magyar Természetvédők Szövetsége* által 2007-ben szervezett *Klímaőrjárat* című

programhoz hasonlóan a diákok részletes felmérést vagy hosszú távú stratégiát készíthetnének arról, hogy a saját iskolájukban milyen konkrét klímavédelmi lépésekre van lehetőség, pl. energiatakarékosság, szelektív hulladékgyűjtés az iskola területén, udvar vagy közeli park zöldítése, fák örökbefogadása stb. A megfelelően kidolgozott tervek megvalósítását anyagi támogatással lehetne ösztönözni.

– Szintén pályázati kiírásra a diákok felmérhetnék iskolatársaik körében, hogy milyen igény van a kerékpárutakra, ami alapján javaslatot tehetnének az önkormányzatnak iskolájukhoz vezető kerékpárútvonalakra. Az így szerzett tapasztalatokat az önkormányzat figyelembe veheti, és felhasználhatja a későbbi kerékpárút-fejlesztési programok során. Ez egyrészt költségmegtakarítást jelent az önkormányzatnak, másrészt érezteti a fiatalokkal, hogy véleményük fontos a döntéshozatalban.

A diákokat fel lehet kérni utcai reklámplakát-tervezésre, a helyi vagy országos média-termékekben használható reklámok, illetve köztéren bemutatható alkotások készítésére, amelyeken saját kortársaikat kellene megszólítaniuk ebben a témában. Hiszen valószínűleg ők tudják a legjobban, hogy mivel foghatók meg a hozzájuk hasonló fiatalok, ez a munka egyúttal a témában való elmélyülést és a felelősségvállalás erősödését is segíti. A színvonalas alkotásokat valódi utcai plakátként, térplasztikaként, illetve a médiában reklámként fel lehetne használni.

A klímavédelem közterületen való megjelenésével, célcsoporttól függetlenül, már szélesebb társadalmi réteg is elérhető:

– A témához kapcsolódó figyelemfelkeltő reklámplakátok, illetve a fent már említett, a diákok által készített jelentősebb alkotások köztéren történő bemutatása, esetleg országos vándorkiállítás formájában.

– Több szelektív hulladékgyűjtő, és azokhoz kapcsolódó tájékoztatás.

– Összefüggő kerékpárút-hálózat kialakítása településeken belül és azok között, amelyekben az oktatási intézmények is elérhetők.

Ehhez kapcsolódóan megfelelő kerékpártárolók létesítése.

A helyi/regionális/országos rádió, televízió, újság és nem utolsósorban az internet szintén fontos területe lehet a fiatalok megszólításának.

– A médiában kifejezetten ezt a korosztályt megcélzó figyelemfelkeltő műsorokkal, írásokkal kellene megszólítani a fiatalokat.

– Nem utolsósorban mivel olyan korosztályról van szó, akiknek nem okoz gondot az internethasználat, mindenképpen élni kell ezzel a lehetőséggel. A települések honlapján vagy külön erre a célra létrehozott honlapo(ko)n különböző fiatal korosztályok számára készített interaktív játékok szintén segíthetik a szemléletformálást, és ösztönözhetik az aktívabb klímatudatos életmódot.

Ezeknek a szemléletformáló lépéseknek nemcsak a klímaváltozás globális, de a hazai és helyi szintű következményeire is fel kell hívnia a figyelmet. Továbbá nélkülözhetetlen az egyéni felelősség tudatosítása,

vagyis annak a felismerésnek a segítése a társadalom széles körében, hogy a hétköznapi egyéni tevékenységeink összességében milyen mértékben befolyásolják a klímaváltozást, negatív és pozitív értelemben egyaránt. Ehhez viszont szükséges, hogy a konkrét cselekvési alternatívák ismertek legyenek a társadalom számára. Ugyanis mind a helyi, mind pedig az országos szintű klímaváltozással kapcsolatos intézkedések sikeréhez nélkülözhetetlen a társadalom aktív és önkéntes részvétele. Az viszont már újabb kérdést és komoly aggodalmat vet fel, hogy a társadalom mennyire képes valóban széles körben felismerni a probléma súlyát oly módon, hogy maga is nagymértékben tegyen ellene. Ugyanis a Magyarország Klímastratégiájában 2025-ig szereplő vállalatok pusztán felülről hozott intézkedésekkel, mindenki által vállalt „áldozatok”, valamint életmódunk és fogyasztási szokásaink jelentős megváltoztatása nélkül nem vihetők végbe.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) ANTAL Z. L. (2008): Klímabarát települések – elmélet és gyakorlat. Pallas Páholy, Budapest (2) BULKELEY, H. (2000): Common knowledge? Public understanding of climate change in Newcastle, Australia. *Public Understanding of Science* 9, 313-333. pp. (3) DUNLAP, R. E. (1998): Lay perceptions of global risk – Public views of global warming in cross-national context. *International Sociology* 13, 473-498. pp. (4) FÜZESI ZS. – TISTYÁN L. (1998): A környezeti tudat alakulásának elemzése a rendszerváltás óta eltelt időszakban. Magyarország az ezredfordulón, MTA Stratégiai Kutatások, Zöld Belépő 54. Budapest (5) KUCKARTZ, A. – RÄDIKER, S. – RHEINGANS-HEINTZE, A. (2006): Umweltbewusstsein in Deutschland 2006. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdfi/3113.pdf> (letöltve: 2008. 03.01.) (6) LEISEROWITZ, A. (2005): American risk perceptions: Is climate change dangerous? *Risk Analysis* 25, 1433-1442. pp. (7) MÉSZÁROS J. (1996): Vélemények a környezetről. In: Andorka R. – Kolosi T. – Vukovich Gy. (szerk.): Társadalmi riport. TARKI, Századvég, Budapest, 561-591. pp. (8) MOSONINÉ FRIED J. – PÁLINKÓ É. – STEFÁN E. (2006): Közvélemény és klímaváltozás. <http://www.mtakszi.hu/Honlap/Klima21a.pdf> (letöltve 2008. 03. 23.) (9) NÉS (2008): Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia 2008-2025. http://klima.kvvm.hu/documents/news8/nes_080219.pdf (letöltve 2008.03.01.) (10) O'CONNOR, R. E. – BORD, R. J. – FISHER, A. (1999): Risk perceptions, general environmental beliefs, and willingness to address climate change. *Risk Analysis* 3, 451-461. pp. (11) O'CONNOR, R. E. – BORD, R. J. – YARNAL, B. – WIEFEK, N. (2002): Who wants to reduce greenhouse gas emissions? *Social Science Quarterly* 83, 1-17. pp. (12) SAAD L. (2006): To Americans, the Risks of Global Warming Are Not Imminent. <http://www.gallup.com/poll/26842/Americans-Risks-Global-Warming-Imminent.aspx> (letöltve: 2008.03.01.)

- (13) SUNDBLAD, E. L. – BIEL, A. – GAERLING, T. (2007): Cognitive and affective risky judgments related to climate change. *Journal of Environmental Psychology* 27, 97-106. pp. (14) SZÉKELY M. (2002): A globális problémák és a környezet. *Szociológiai Szemle* 3. (15) TÁRKI, Image Factory (2007): Társadalmi klíma riport 1. Klímaváltozás a nyilvánosságban. A TÁRKI és az Image Factory kutatási jelentése 2007. augusztus 16. TÁRKI, Image Factory, Budapest (16) UZZELL, D. L. (2000): The psycho-spatial dimension of global environmental problems. *Journal of environmental psychology* 20, 307-318. pp. (17) VAHAVA (2006): http://www.vahava.hu/file/osszefoglalas_2003_2006.pdf (letöltve 2008.03. 22.) (18) YARNAL, B. – O’CONNOR, R. E. – SHUDAK, R. (2003): The impact of local versus national framing on willingness to reduce greenhouse gas emissions: a case study from central Pennsylvania. *Local Environment* 8, 457-469. pp.

A SISEGŐ FÜZIKE (PHYLLOSCOPUS SIBILATRIX) VONULÁSA ÉS A KLÍMAVÁLTOZÁS

KISS ANDREA – CSÖRGŐ TIBOR
– HARNOS ANDREA – KOVÁCS SZILVIA – NAGY KRISZTINA

Kulcsszavak: madárvonulás, sisegő füzike, NAO, időjárás.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A madarak vonulásának aktivitása és időzítése szorosan összefügg a klímával. Az utóbbi évtizedekben a vonulás időzítésében kimutathatóak az eltolódások. Ennek hátterében valószínűleg az utóbbi évtizedekben bekövetkezett felmelegedés áll.

Vizsgálatunkban az Ócsai Madárvárta Egyesület sisegő füzikére vonatkozó hosszú távú gyűrűzési adatait használtuk. A vonulás időzítésében mind a tavaszi, mind az őszi vonulási időszakban változások történtek. A tavaszi vonulás 24 év alatt körülbelül 12 nappal korábban zajlott. Az őszi vonulásban csak a fiatal madaraknál történt szignifikáns változás. A migráció kezdeti időpontja nem változott, viszont a vonulási periódus hossza megnőtt, tehát az utolsó egyedek jelenleg körülbelül 6 nappal érkeznek később, mint a vizsgált időszak elején.

A vonulás időzítése és a helyi időjárási változók havi átlagai, valamint a téli átlagos NAO (Észak-Atlanti Oszcilláció) index között nem találtunk szignifikáns kapcsolatot.

BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben az éghajlat jellemzőiben számos olyan változást regisztráltak, melyek a Föld különböző ökoszisztémáira hatást gyakorolnak (Walther et al., 2002; Root et al., 2003; Visser – Both, 2005; Parnersan, 2006). A növények és állatok életciklusa szerte a világon megváltozott (Gordo – Sanz, 2005). A szaporodási siker, a földrajzi elterjedés és az életciklus-események időzítése is módosult.

Rohamosan növekvő számú publikáció tudósít arról, hogy az utóbbi évtizedekben a vonulás időzítésében eltolódások vannak (Sanz, 2002; Root et al., 2003; Lehikoinen et al., 2004; Crick – Sparks, 2006; Rubolini et al., 2007). Ennek hátterében valószínűleg a jelenkori klímaváltozás áll (IPCC, 2001).

A madarak számára a nappalok hosszának változása a legmegbízhatóbb jelzés a vonu-

lás megkezdésére (Berthold, 1996; Gwinner, 1996). A belső genetikai készlet kiváltja a migrációs nyugtalanságot, de a vonulás nem kezdődik el addig, amíg a madár arra nem készült fel kellő mértékben (Barlein, 1985; Biebach et al., 1986).

Az elmúlt évszázadban – részben bizonyíthatóan az ember környezetformáló tevékenységének következtében – számos madárfaj, illetve populáció jelentős mértékben változtatott vonulási szokásain, melyek között szerepel a vonulás időzítésének változása (pl. Gilyazov – Sparks, 2002).

A TAVASZI VONULÁS

Az északi féltekén a madárvonulási fenológiában számos jelentős változás következett be az elmúlt évtizedek folyamán (Gordo, 2007; Rubolini et al., 2007). A vonulás időzi-

tése és az európai költőterületre való érkezési idő sok esetben előretolódott mind a rövid távú, mind a hosszú távú vonuló madarak esetében (*Hüpopp – Hüpopp, 2003; Both et al., 2004; Gordo – Sanz, 2005, 2006; Sparks et al., 2005; Jonzén et al., 2006; Zalakevicius et al., 2006*). A legtöbb tanulmány negatív kapcsolatot talált az érkezési idő és a tavaszi hőmérséklet között (*Lehikoinen et al., 2004; Root et al., 2005 in Gordo, 2007; Gienapp et al., 2007*), tehát a madarak korábban érkeznek, ha a hőmérséklet magasabb.

A költőterületre való korai érkezés főleg a hímek számára előnyös, mivel jobb minőségű területen foglalhatnak territóriumot. Ugyanakkor a túl korai érkezés kockázatos, mivel a nem megfelelő környezeti feltételek – pl. alacsony hőmérséklet, táplálékhiány – miatt kora tavasszal megnövekedhet a mortalitás (*Jonzén et al., 2007; Newton, 2007*).

A költőterületre való korai érkezésnek három fő oka lehet: (1) a telelőterület közelebb kerül a költőterülethez; (2) a migráció sebessége növekszik; (3) a vonulás korábban kezdődik (*Fiedler, 2001 in Lehikoinen et al., 2004*). Ezek kombinálódhatnak, elkülönítésük egy meghatározott területről származó adatok alapján nem lehetséges. Sajnos a telelőterületről való indulás időzítésére vonatkozóan kevés adat áll rendelkezésre (*Kok et al., 1991; Spark – Mason, 2004; Gordo – Sanz, 2005*), összehasonlítva a költőterületre való érkezési időekkel. Ezzel szemben ősszel pont fordított a helyzet, számos vizsgálat foglalkozik a költőterületről való távozás időzítésével, de csak kevés a telelőterületre való megérkezés idejével (*Kok et al., 1991; Sparks – Mason, 2004; Gordo – Sanz, 2005*).

AZ ŐSZI VONULÁS

Az őszi migrációt vizsgálva nem kapunk olyan világos képet, mint a tavaszi vonulás esetén, mivel az időzítésbeli változás iránya ősszel erősen faj-, esetenként ivar- és korfüggő. A vonulási fenológiát tekintve mind a távozás előrehozatalára, mind a késleltetésé-

re találtak bizonyítékot (*Gilyazov – Sparks, 2002 in Lehikoinen et al., 2004; Csörgő – Tóth, 2004; Miholcsa, 2006; Miholcsa et al., 2006*). Az őszi vonulás során az optimális migrációs stratégiát a rövid, illetve hosszú távú vonulók esetében más tényezők – a fészekalj száma, a vedlési stratégia, az őszi táplálékváltás – befolyásolják (*Jenni – Kéry, 2003; Csörgő – Tóth, 2004; Miholcsa et al. in press*).

A hőmérséklet-emelkedés nem egyenletes az évek során, ősszel különösen csekély mértékű vagy egyáltalán nincs (*Karl et al., 1993; Easterling et al., 1993 in Gordo, 2007*). Ennél fogva, ha az őszi éghajlat nem változik, de a migráció lefolyása igen, akkor annak nem klimatikus hatás az oka (*Gordo, 2007*).

A KLÍMA ÉS AZ IDŐJÁRÁS HATÁSAI A PIHENŐ TERÜLETEKEN

Az útmegszakítások száma és időtartama kulcsfontosságú a vándorló madarak számára. Az egyedek túlélése nagymértékben függ attól, mi történik az ideiglenes tartózkodási helyen (*Newton, 2006*). A klíma a környezeti feltételeken (pl. a táplálék elérhetősége) keresztül hatással van a pihenő területen való tartózkodási idő hosszára. Az egyes területek táplálékellátottsága évek között és éven belül is nagymértékben változhat. Például a mérsékelt égvön, egy melegebb tavasz során a táplálkozási lehetőségek jelentős mértékben javulhatnak, különösen a rowarevő madarak számára, mivel a melegebb és szárazabb időszakokban az ízeltlábúak száma növekszik (*Schaub – Jenni, 2001*).

A SISEGŐ FÜZIKE VONULÁSA

A sisegő füzike tipikusan nyugat-palearktikus faunaelem. Fészkelő területe nagyvonalakban a mérsékelt és a hideg (boreális) éghajlati övben, Nyugat-Európától Szibériáig, a Mediterráneumtól Lappföldre terjed a közepes és a magasabb szélességi fokon,

ahol a júliusi középhőmérséklet 15–24 °C közé esik (Cramp – Simmons, 1983). Európai költőpopulációja rendkívül nagy, több mint 14 millió pár (BirdLife International, 2004). A hazai állomány mintegy 100 000-150 000 pár (Magyar et al., 1998). Hazánkban főleg a Dunántúl és az Északi-középhegység zárt erdeiben fészkel (Varga in Haraszthy, 1998), és élőhely-preferenciája a vonulás során is alig változik. Mivel az *Actio Hungarica* gyűrűző táborai más – többnyire nyiltabb, vizes – élőhelyeken működnek, ezért az országosan befogott sisegő füzikék száma egyik évben sem érte el a 750-et (Magyar Gyűrűzési Központ Adatbázisa).

A faj valamennyi populációja hosszú távú vonuló, a Szaharától délre, Afrika Egyenlítő alatti trópusi területein teleg az esőerdei zónában (Moreau, 1972; Zink, 1973). Tipikusan éjszakai vonuló (Cramp – Simmons, 1983). Az európai és a szibériai fészkelők is valószínűleg a közép- és kelet-mediterrán térségeken keresztül érik el Afrikát (Cramp – Simmons, 1983), de pontos vonulási útvonaluk – a visszafogások alacsony száma miatt – nem ismert. Az Észak-Afrikából származó őszi megfigyelések hiányából arra következtethetünk, hogy a Földközi-tengert és a Szaharát megszakítás nélkül repülnek át (Moreau, 1972; Zink, 1973). Ezzel szemben tavasszal számos madár leszáll az észak-afrikai régióban (Pillastro et al., 1998).

Vonulása mindkét szezomban gyors. Az őszi vonulás július végén kezdődik, a vonulási csúcs augusztus közepén alakul ki, szeptember végén az utolsó madár is elvonul. Tavasszal az első példányok április elején jelennek meg hazánkban, a vonulás május közepéig tart.

Vizsgálatunkhoz az adatokat a Duna-Ipoly Nemzeti Parkhoz tartozó Ócsai Tájvédelmi Körzet Öregturján nevű részén, az Ócsai Madárvártán gyűjtöttük (É. sz. 47° 15' – K. h. 19° 15'). Az elemzésekhez az 1984-2007 között függőhálóval befogott 3229 sisegő füzike adatait használtuk fel. A mintavétel standard módszerekkel történt. A madarakat egyedileg számozott jelölőgyűrűvel láttuk el,

és az *Actio Hungarica* szabályai szerint vetjük fel biometriai adataikat (Szentendrey et al., 1978).

A vizsgálatban az evezők kopása alapján elkülönített korcsoportokat külön kezeltük (Svenson, 1992). Két kategóriát különítettünk el: a befogás évében kirepülteket (fiatalok) és az egyévesnél idősebb madarakat (öregek). Ez utóbbiakat már nem lehet további korcsoportokra osztani, mivel az első vedlés után nincs határozásra alkalmas bélyeg.

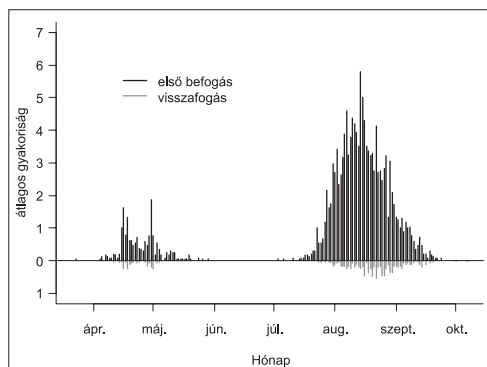
A meteorológiai adatok a pestlőrinci meteorológiai állomásról származnak. Az elemzésekhez a havi átlagos maximum és minimum hőmérsékletet, napi csapadékmennyiséget, a napsütéses órák számát és a csapadékos napok számát használtuk fel.

Európa téli és tavaszi időjárása főleg olyan klimatikus tényezők által meghatározott, mint az *Észak-Atlanti Oszcilláció* (NAO). Az ezt mérő indexet két meghatározott pont (Azori-szigetek és Izland) közötti normalizált tengersizintnyomás különbségéből számolják. A téli és kora tavaszi időjárási helyzet leírására használják. Pozitív NAO-index Észak- és Közép-Európában főleg télen meleg és csapadékos időjáráshoz vezet, aminek következtében a vegetáció fejlődése – következképp a rovartáplálék elérhetősége is – korábbra tolódik. Negatív NAO-index esetén az ellenkező eset áll fent (Hurrell, 1995). Az utóbbi évtizedekben a madarak érkezési idejében megfigyelhető előretolódás lehet, hogy az 1980 óta – főként a téli hónapokban mért – pozitív NAO gyakoriság növekedésének köszönhető (Visbeck et al., 2001; Osborn, 2006).

A NAO-index havi átlagértékeit a <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html> oldalról töltöttük le.

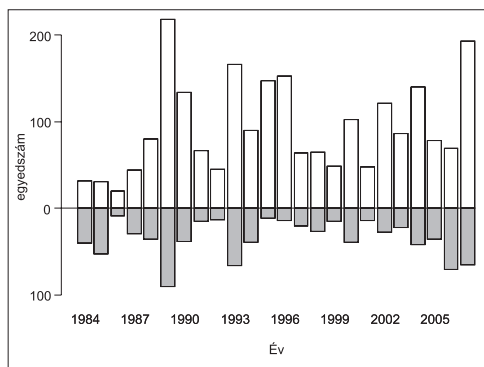
Az alkalmazott statisztikai módszerek közé tartozik, az egyszerű leíró statisztikákon, sűrűségi diagramokon és lineáris regresszió túl, a lineáris kvantilis regresszió (Cade – Noon, 2003), amellyel az adatok meghatározott hányadának viselkedését jellemezhetjük.

1. ábra



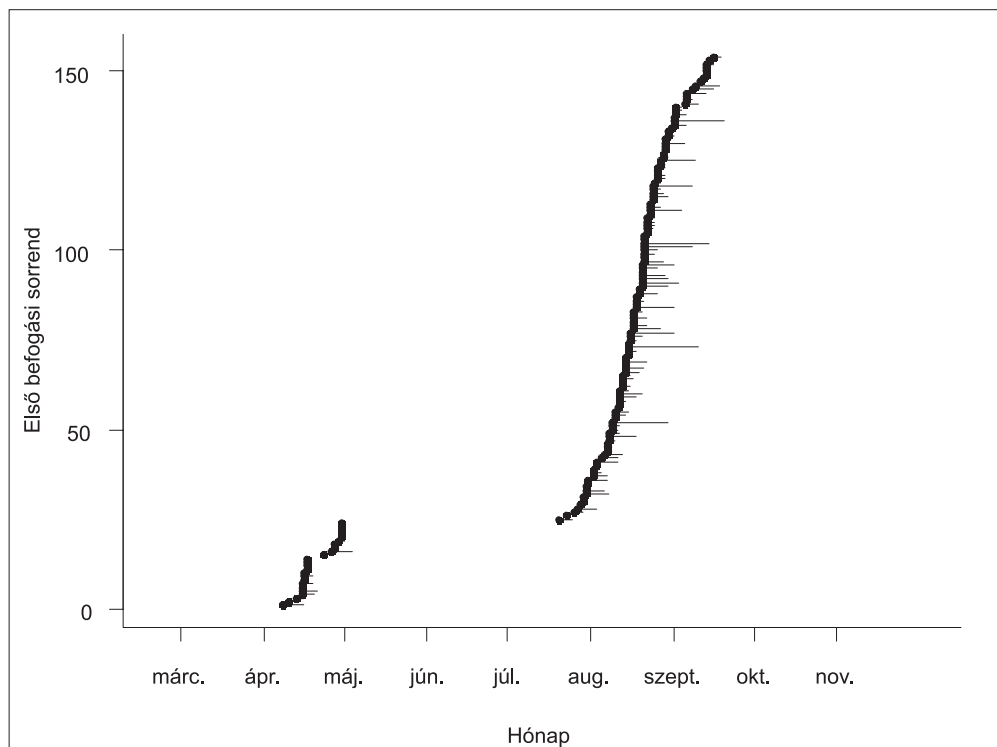
**Az összes megfogott madár
24 évre számított évnaponkénti
átlagos gyakorisága
és a visszafogások napi átlagos gyakorisága**

2. ábra



**Az összes megfogott madár
évenkénti egyedszáma
(■: öreg, □: fiatal)**

3. ábra



**A visszafogott madarak első és utolsó megfogásának időpontja
(vízszintes vonallal összekötve)**

A vonulás időzítésének becslésére a napi fogási gyakoriságokra illesztett Gauss-görbe maximum helyét is használtuk azokban az években, amikor ezt az adatok mennyisége lehetővé tette. Az illesztést többszörös lineáris regresszióval végeztük, mivel a Gauss-görbét logaritmizálva egy másodfokú polinomot kapunk.

A statisztikai elemzésekhez az R 2.6.0 programot használtuk (*R Development Core Team, 2007*).

A tavaszi és őszi vonulási hullám jól elkülönül, mivel a faj nem fészkel a vizsgálati területen (1. ábra). Az évenkénti fogásszám nagyon változó, trend nélküli (2. ábra). A visszafogások alacsony számából (177 madár a 3229-ből) és a fogás-visszafogás között eltelt rövid időintervallumokból (3. ábra) arra következtethetünk, hogy a legtöbb madár a befogást követő éjszakán elhagyja a területet, nem használja azt pihenő, zsírraktár-feltöltő helyként.

A tavaszi és őszi vonulási időszak különböző intervallumú: tavasszal átlagosan 25 nap 12 napos szórással, ősszel átlagosan 37 nap 15 napos szórással. A hosszabb ideig tartó őszi vonulás magyarázata lehet, hogy a költőterületről való távozási időpont – az esetleges pótköltések és a két vonulás eltérő optimalizációja miatt – egyedenként nagyobb változatosságot mutat, mint a tavaszi.

A költőterületre történő visszatérés időzítése kulcsfontosságú részét képezi a klímaváltozás hatásaival foglalkozó vizsgálatoknak (*Lehikoinen et al., 2004*). Több, a szakirodalomban használt, valamint néhány újabb módszerrel is megvizsgáltuk a vonulási időzítés eltolódását az adott fajnál. *Ezek alapján mind a tavaszi, mind az őszi vonulási hullámban kimutatható változások történtek az elmúlt két évtized alatt.*

Az időzítés változását megvizsgáltuk az első érkezésekkel, az érkezési idők átlagával, mediánjával, illetve a napi gyakorisági adatokra illesztett Gauss-görbék maximum helyével is.

Összességében – az összes alkalmazott módszer eredményeit egybevetve – a tavaszi

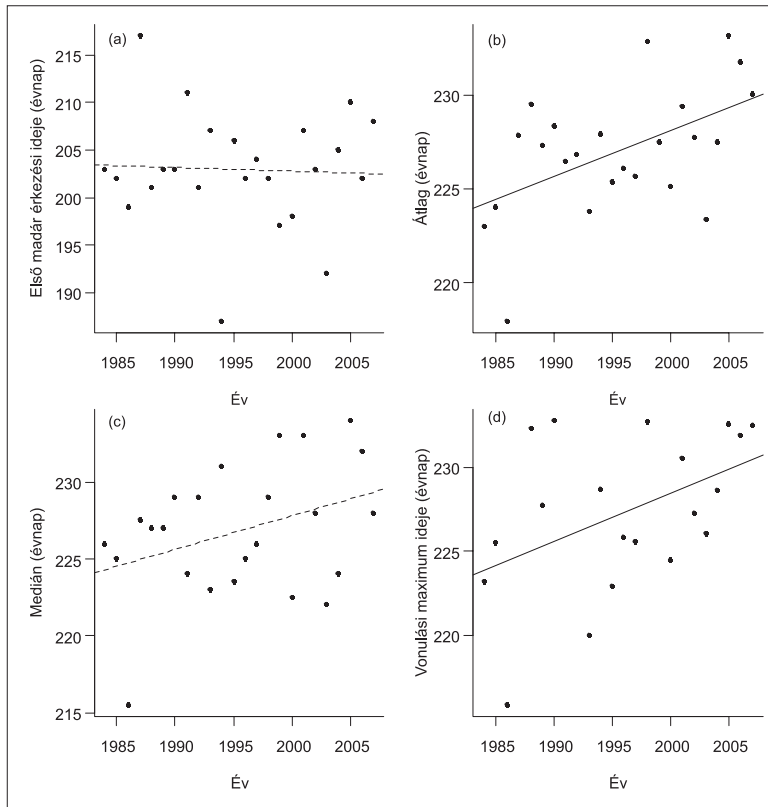
vonulási hullám szignifikánsan elöretolódott, tehát a madarak korábban érkeznek meg a vizsgált területre (4. ábra). Az eltolódás átlagosan 0,5 nap évente. Ennek háttérben a jelenkori felmelegedést követő korábbi vegetációfejlődéshez történő adaptáció állhat.

A vonulási időszak különböző szakaszaiban történő változásokat kvantilis regresszióval vizsgáltuk. A tavaszi vonulási hullám esetén a vonulás elejének kivételével szignifikáns a változás a vonulás minden szakaszában (5. ábra).

Az őszi vonulás időzítésében az öreg madarak esetében nem mutatható ki szignifikáns változás a vizsgált időszak alatt (6.a ábra). A fiatal madarak első egyedének területre való érkezési idejében szintén nem történt szignifikáns változás, viszont az utolsó egyedek szignifikánsan később érkeznek a területre, azaz a vonulási időszak a 24 év alatt meghosszabbodott kb. 5 nappal (6.b. ábra). *Tøttrup et al. (2006b)* a dániai Christiansø szigeten végzett vizsgálata során elöntéses tendenciát mutatott ki. Ott az őszi vonulás átlagosan évi 0,53 nappal későbbre tolódott. Ez az eredmény is arra utal, hogy a klímaváltozás hatásai területenként egy-egy faj különböző populációira is eltérő hatásúak lehetnek.

A madarak migrációja belső genetikai szabályozás alatt áll (*Berthold, 1996; Gwinner, 1996*). Ugyanakkor az olyan külső faktorok, mint a tavaszi hőmérséklet és a NAO a tavaszi migráció időzítésében megfigyelt változásokkal összefüggésbe hozhatók (*Forchammer et al., 2002; Vähätalo et al., 2004*), és bizonyíthatóan a korábbi érkezés irányába hatnak (*Lehikoinen et al., 2004*). Pozitív NAO-index az átlagosnál erősebb délnyugati és nyugati szelekkel jár együtt, ami megfelelő hátszelet biztosít a madarak számára tavasszal, így a migráció sebessége nő (*Hurell, 2000 in Zalakevicius et al., 2006*), valamint a magasabb hőmérsékleten és nagyobb csapadékmennyiségen keresztül a megfelelő környezeti feltételek korábban teremődnek meg, a táplálék korábbi időpontban válik elérhetővé, ami szintén kedvez a korai érkezésnek.

4. ábra



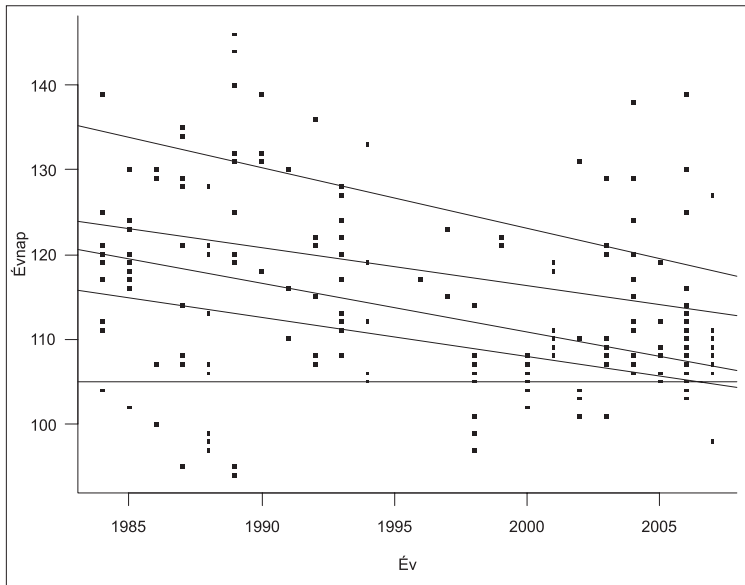
A fiatal madarak érkezési ideje az elmúlt 24 év folyamán.
Az első befogásokra (a); az évenkénti befogási időpontok átlagára (b);
az évenkénti befogási időpontok mediánjára (c);
az évenkénti befogási időpontok Gauss-görbével becsült
vonulási maximum helyére (d)
lineáris regresszióval illesztett egyenesek
(- - - nem szignifikáns; — szignifikáns összefüggés)

A sisegő füzike vonulásának időzítése és a helyi időjárási változók között nem találtunk szignifikáns kapcsolatot. Ennek hátterében számos dolog állhat. Egyrészt, mivel a sisegő füzike hosszú távú vonuló, vonulása genetikailag erősen szabályozott, nem tud alkalmazkodni a gyorsan változó környezeti feltételekhez. Másrészt a helyi időjárási változók lehet, hogy nem a legjobb indikátorai a klímaváltozásnak, mivel a madarakat a mig-

rációs út során számos különböző hatás éri, amik nagyobb befolyással bírhatnak az érkezés időzítésére.

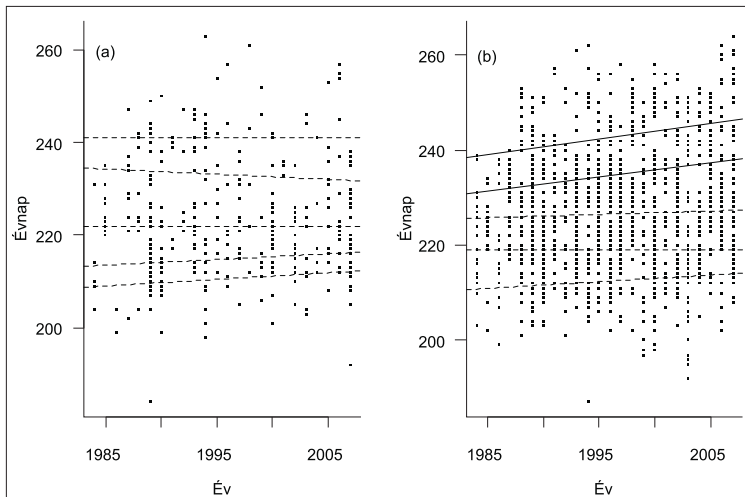
A téli átlagos NAO-index és a sisegő füzike tavaszi érkezési ideje között szintén nem találtunk szignifikáns kapcsolatot, ami adódhat abból, hogy a NAO hatása Európa nyugati részén kifejezettebb. Az utóbbi évtizedekben tapasztalható globális felmelegedés Európa nem minden területére gyakorol

5. ábra



A tavaszi vonulási hullám időzítése az összes tavasszal fogott madárra:
10, 25, 50, 75 és 90 százalékos kvantilis regresszióval illesztett egyenesek

6. ábra



Az őszi vonulási hullámra 10, 25, 50, 75 és 90 százalékos
kvantilis regresszióval illesztett egyenesek
(a) az öreg és a (b) fiatal madarak esetén
(--- nem szignifikáns; — szignifikáns összefüggés)

ugyanolyan hatást, a klímaváltozás mértéke földrajzi területenként eltérő lehet (Hubálek, 2003; Ahola, 2004), ami tovább bonyolítja a klímaváltozás madárfajok vonulására gyakorolt hatásának értékelését, általános következtetések levonását.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk az *Ócsai Madárvárta Egyesület* tagjainak és mindazoknak, akik az elmúlt 24 év során az adatgyűjtésben bármilyen formában részt vettek.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) Ahola, M. – Laaksonen, T. – Sippola, K. – Eeva, T. – Raino, K. – Lehikoinen, E. (2004): Variation in climate warming along the migration route uncouples arrival and breeding dates. *Global Change Biology* 10, 1610-1617. pp. (2) Berthold, P. (1996): Control of Bird Migration. Chapman and Hall, London (3) Berthold, P. (2001): Bird Migration: a general survey. 2nd edn. Oxford University Press, Oxford (4) BirdLife International (2004): Birds In Europe: population estimates, trends and conservations status Wageningen. The Netherlands: BirdLife International. (BirdLife Conservation Series No. 12) (5) Bojarinova, J. G. – Rymkevich, T. A. – Smirnov, O. P. (2002): Timing of autumn migration of early and late-hatched Great Tits *Parus major* in NW Russia. *Ardea* 90, 401-409. pp. (6) Both, C. – Artemyev, A. V. – Blaauw, B. – Cowie, R. J. and others (2004): Large-scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 271, 1657-1662. pp. (7) Cade, B. S. – Noon, B. R. (2003): A gentle introduction to to quantile regression for ecologists. *Front Ecol. Env.* 1, 412-420. pp. (8) Cramp, P. – Simmons, K. E. L. (1983): The birds of western Palearctic. Oxford University Press, Oxford (9) Csörgő, T. – Tóth, A. (2004): A klímaváltozás hatása a madarak vonulásának időzítésére. MME VI. Tudományos Ülése, Debrecen (10) Forschhammer, M. C. – Post, E. – Stenseth, N. C. (2002): North Atlantic Oscillation timing of long- and short-distance migration. *J. Anim. Ecol.* 71, 1002-1014. pp. (11) Gienapp, R. – Leimu, R. – Merilä, J. (2007): Responses to climate change in avian migration time – microevolution versus phenotypic plasticity. *Climate Research* 35, 25-35. pp. (12) Gilyazov, A. – Sparks, T. (2002): Change in the timing of migration of common birds at the Lapland Nature Reserve (Kola Pennindula, Russia) during 1931-1999. *Avian Ecol. Behav.* 8, 35-47. pp. (13) Gwinner, E. (1996): Circannual clocks in avian reproduction and migration. *Ibis* 138, 47-63. pp. (14) Hubálek, Z. (2003): Spring migration of birds in relation to North Atlantic Oscillation. *Folia Zool.* 52(3), 287-298. pp. (15) Hüppopp, O. – Hüppopp, K. (2003): North Atlantic Oscillation and timing of spring migration in birds. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 270, 233-240. pp. (16) IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) (2001): Climate Change 2001: The scientific basis. Third assesment Report of Working Group I. (D. L. Albritton & L. G. Meira Filho, Eds.) Cambridge University Press. Cambridge. Web site: www.ipcc.ch (17) Jonzén, N. – Hendenström, A. – Lundberg, P. (2007): Climate change and the optimal arrival of migratory birds. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 274, 269-274. pp. (18) Jonzén, N. – Lindén, A. – Ergon, T. – Knudsen, E. and others (2006): Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science* 312, 1959-1961. pp. (19) Karl, T. R. – Jones, P. D. – Knight, R. W. – Kukla, G. and others (1993): Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 74, 1007-1023. pp. (20) Kok, O. B. – Van Ee, C. A. – Nel, D. G. (1991): Day length determines departure date of the spotted flycatcher *Muscicapa striata* from its wintering quarters. *Ardea* 79, 63-66. pp. (21) Kuenzi, A. J. – Moore, F. R. – Simons, T. R. (1991): Stopover of neotropical landbird migrants on East Ship Island following trans-Gulf migration. *Condor* 93, 869-883. pp. (22) Lehikoinen,

- E. – Sparks, T. H. – Zalakevicius, M. (2004): Arrival and departure dates. *Adv. Ecol. Res.* 35, 1-31. pp. (23) Magyar G. – Hadarics, T. – Waliczky, Z. – Schmidt, A. – Nagy, T. – Bankovics, A. (1998): Magyarország madarainak névjegyzéke. Winter Fair, Budapest, Szeged (24) Miholcsa, T. (2007): Az éghajlat változás hatása hosszútávú vonuló énekesmadarak őszi vonulására. Szakdolgozat ELTE (25) Miholcsa, T. – Csörgő, T. (2007a): The role of moult in the change of the timing of autumn migration caused by global warming. 6. EOU Conference, Bács (26) Miholcsa, T. – Csörgő, T. (2007b): The effects of climate change on the autumn migration of Sedge Warbler and Reed Warbler. 8th Behavioral Ecology Meeting, Cluj Napoca (27) Miholcsa, T. – Tóth, A. – Csörgő, T. (2008): Change of the timing of autumn migration in *Acrocephalus* and *Locustella* genus. *Acta Zool. Inpess* (28) Moreau, R. E. (1972): The Palearctic-African Bird Migration Systems. London, Academic Press (29) Osborn, T. J. (2006): Recent variations in the winter North Atlantic Oscillation. *Weather* 61, 353–355. pp. (30) Parmesan, C. (2006): Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37, 637–669. pp. (31) R Development Core Team (2007): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org> (32) Root, T. L. – Price, J. T. – Hall, K.R. – Schneider, S. H. – Rosenzweig, C. – Pounds, J. A. (2003): Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421, 57–60. pp. (33) Rubolini, D. – Møller, A. P. – Rainio, K. – Lehikoinen, E. (2007): Intraspecific consistency and geographic variability in temporal trends of spring migration phenology among European bird species. *Climate Research* 35, 135-146. pp. (34) Sanz, J. J. (2002): Climate Change and birds: have their ecological consequences already been detected in the Mediterranean region? *Ardeola* 49, 109-120. pp. (35) Schaub, M. – Jenni, L. (2001): Variation of fuelling rates among sites, days and individuals in migrating passerine birds. *Funct. Ecol.* 15, 584–594. pp. (36) Sparks, T. H. – Barlein, F. – Bojarinova, J. G. – Hüppopp, H. and others (2005): Examining the total arrival distribution of migratory birds. *Glob. Change Biol.* 11, 22-30. pp. (37) Sparks, T. H. – Mason, C. F. (2001): Dates of arrivals and departures of spring migrants taken from Essex Bird Reports 1950–1998. *Essex Bird Report* 1999, 154–164. pp. (38) Stresemann, E. (1955): Die Wanderungen des Waldlaubsängers (*Phylloscopus sibilatrix*) *Journal of Ornithology*, 96(2), 153-167. pp. (39) Svenson, L. (1992): Identification guide to European Passerines 4th edn. Stockholm, Uggå. (40) Szentendrey, G. – Lövei, G. – Kállay, Gy. (1979): Az „Actio Hungarica” mérési módszerei. *Állattani Közlemények* 66, 161-166. pp. (41) Tøttrup, A. P. – Thorup, K. – Rahbek, C. (2006a): Changes in timing of autumn migration in North European songbird populations. *Ardea* 94, 527-536. pp. (42) Vähätalo, A. V. – Rainio, K. – Lehikoinen, E. (2004): Spring arrival of birds depends on the North Atlantic Oscillation. *J. Avian Biol.* 35, 210-216. pp. (43) Varga, F. (1998): A sisegő füzi ke. In: Haraszthy L. (szerk.): Magyarország madarai. Mezőgazda Kiadó, Budapest (44) Visbeck, M. H. – Hurrell, J. W. – Polvani, L. – Cullen, H. M. (2001): The North Atlantic Oscillation: past, present, and future. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98, 12876–12877. pp. (45) Visser, M. E. – Both, C. (2005): Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol.* 272, 2561–2569. pp. (46) Walther, G. R. – Post, E. – Convey, P. – Menzel, A. and others (2002): Ecological response to recent climate change. *Nature* 416, 389–395. pp.

EFFECT OF CLIMATE CHANGE AND GLOBAL WARMING ON MYCOLOGICAL FOOD SAFETY

By
FARKAS, JÓZSEF – BECZNER, JUDIT

Keywords: toxigenic moulds, growth modelling, prediction.

As forecasted by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of UN, the World Meteorological Organization, the Hungarian VAHAVA (Change-Effect-Response) research project, as well as the National Climate-Change Strategy accepted by the Hungarian Parliament, the expected climate change in the Carpathian basin shall have an unfavourable impact on the Hungarian agriculture, food security and food safety as well as on human and animal health. In view of these forecasts the review surveys the growth patterns of toxigenic moulds as a function of ecological factors, the inter-relationship between agricultural crops and mycotoxin producing moulds, the conditions of mycotoxin production, and the possible spread of toxigenic moulds as a consequence of the warming climate. Aiming at prevention the study presents the preliminary results of predictive mathematical model of fungal growth and toxin-production, and also the problems of modelling. The relationships between mycotoxin research, food safety and their effects on society are also discussed. At last but not at least the tasks for researchers to answer the challenges are outlined.

INVESTIGATION OF THE CLIMATE SENSITIVITY OF SOILS ON THE BASIS OF CROP REACTIONS OF MAIZE

By
MAKÓ, ANDRÁS – MÁTÉ, FERENC – SZÁSZ, GÁBOR
– TÓTH, GERGELY – SISÁK, ISTVÁN – HERNÁDI, HILDA

Keywords: climate sensitivity, AIIR database, crop reactions of maize, chernozem soils, brown forestry soils, meadow soils, water supply.

We aimed to analyse soil and crop data from the AIIR (Agrochemical Information and Control System) database from the point of view of climatology. We assumed that a kind of index for climate sensitivity of soils can be obtained by contrasting the effects of changing

climatic conditions against crop production. Our investigations are the first analyses of a large database in this country involving the comparison of statistically tested average crop productions on soils that were differentiated scientifically at various taxonomic levels and treated by various agro-technical processes in order to assess climate sensitivity, enabling the countrywide generalisation of the index obtained (vintage factor).

We have found among others that accommodation to climate change can be achieved by the application of various procedures in soil usage and agro-techniques (sowing structure, nutrient supply, water management) suiting various soils types. Water management is a decisive factor of climate sensitivity, although the characteristics complex deriving from higher levels of soil taxonomy determines the manifestation of characteristics.

The investigations may provide new aspects to our work in recent years in grading soils (in developing an index for the relationship between vintage and soil quality).

SOIL ZONES AND CLIMATE CHANGE IN HUNGARY

By

MÁTÉ, FERENC – MAKÓ, ANDRÁS – SISÁK, ISTVÁN – SZÁSZ, GÁBOR

Keywords: climate sensitivity, chernozem soils, brown forestry soils, soil zones, seasonal dynamic.

Indexes for describing the relationship between soil types and climate highlight today's climate change. The domestic spatial distribution of soil types can be well interpreted on basis of the frequency of years of characteristic seasonal dynamics in the neighbourhood of meteorological stations.

Today's climate change has been attained via age-long changes in frequency. Changes manifested in ratios tend to bring about reductions in zones of country soil and the probable conversion of brown forestry soil in the Dunántúl (Western Hungary) to Mediterranean type of soils.

EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON SAPLINGS IN FORESTS

By

SOLYMOS, REZSŐ

Keywords: climate change, forest, sapling, experimental network, researches.

Climate change plays an increasingly important role in the growth of height and diameter of trees. Therefore, investigations in this field, which have notable precedents in this country, are increasingly important. Future work should cover methodology, index of dry material and the effect of space for growing.

ON SOME RELATIONSHIPS BETWEEN CLIMATE, CLIMATE CHANGE AND TREE GROWTH

By
SOMOGYI, ZOLTÁN

Keywords: climate change, tree growth, beech, sessile oak, Turkey oak.

The paper addresses two related issues. One is whether, and how, growth patterns of stand mean height have changed in Hungary in the last few decades, the other is whether this change could be attributed to increases in mean annual temperature. Changes in tree growth were investigated for beech (*Fagus silvatica*), sessile oak (*Quercus petraea*) and Turkey oak (*Quercus cerris*) by comparing stand mean height over age using data from the forest inventories of 1981 and 2001, and for sessile oak using stand mean height data from permanent plots since 1961. Tree growth was found to have accelerated for each species, with Turkey oak showing the largest acceleration. In another analysis, stand mean height was related to elevation, which in turn was related to mean annual temperature and precipitation. Stand mean height was found to increase with decreasing elevation, i.e. with increasing mean annual temperature for each of the three species. As annual precipitation and air humidity decreases with decreasing elevation, it was concluded that increases of mean annual temperature could have positively affected tree growth in the last few decades. However, this effect is expected to be limited in the near future by water availability.

CLIMATIC STRESS AND THE GENETICALLY DETERMINED RESPONSE OF TREE SPECIES AT THE ARIDITY LIMIT OF DISTRIBUTION: ANALYSIS AND PREDICTIONS

By
MÁTYÁS, CSABA – NAGY, LÁSZLÓ – UJVÁRINÉ JÁRMAY, ÉVA

**Keywords: aridity limit of distribution, decline of growth, mortality,
phenotypic plasticity.**

Provenance tests of 3 forest tree species have been analysed to determine the genetically set tolerance at the aridity limit of distribution. Results prove that response of populations to aridity stress is related to the origin within the distributional range and to preceding evolutionary effects.

At the aridity (xeric or lower) limit of distribution even a minor increase in aridity causes incremental loss and mortality, as these adapted populations at their original location are already under climatic stress (law of climate optimum shift). It is predicted that for a scenario of 2° C warming vitality and survival of beech and spruce at lower elevations, being especially

sensitive to drought, are threatened first of all. Decline of growth will also affect other species, depending on their drought sensitivity and site conditions.

Changes in the next 3-4 decades will affect at least half of existing medium age and young stands. Their adaptation potential will depend primarily on their phenotypic plasticity. This trait has to be considered and investigated in future with much greater care.

THE PROBABLE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON THE DECOMPOSITION OF ORGANIC MATTER IN SOIL

By

TÓTH, JÁNOS ATTILA – LAJTHA, KATE – KOTROCZÓ, ZSOLT –
KRAKOMPERGER, ZSOLT – CALDWEL, BRUCE – BOWDEN, RICHARD – PAPP,
MÁRIA

**Keywords: climate change, composition of tree species, litter production,
CO₂ emission, degradation of arable land.**

Climate changes monitored in a long term meteorological project at Sikfőkút research station in Hungary have shown significant warming and drying in the oak forest studied. It altered the species composition of trees and the structure of the uniformly aged, enclosed forest.

Litter production changed with composition and structural changes. The litter production of *Quercus petraea* declined considerably, while that of *Quercus cerris* doubled and that of *Acer campestre* increased many fold. Total leaf litter production decreased slightly.

A permanent decrease in litter production is a harmful process, because on long term it can cause reductions in soil fertility. We have observed this in our permanent litter manipulation field experiment (Sikfőkút DIRT Project). After a period of 4 to 5 year treatment, soil organic C and N content, bacterial and fungal count, pH, soil enzyme activity and soil aeration decreased. The heat balance of soil also changed. Without litter, soil became warmer in summer months and colder in winter months.

Contrary to our expectations when extra litter was spread over soil surface, soil organic carbon content and soil aeration did not increase over the 4 to 5 year period. This shows that there is a more or less constant litter decomposition capacity in forests adapted to the average litter production and environmental conditions. However, this capacity can alter if environmental factors change as in the case of climate change. Increase in soil temperature increases soil aeration exponentially. If average soil temperature is raised by 2°C at the dry SIK site, soil aeration would increase by 20%. This increase would be even higher at a wet site, such as Harvard Forest (HFR) in the USA. An increase in atmospheric carbon-dioxide concentration can produce global warming by the positive feedback mechanism. This can lead to a decline in the organic content of soil thereby reducing its fertility and productivity.

ATTITUDE AND BEHAVIOUR OF HIGH SCHOOL STUDENTS IN RELATION OF CLIMATE CHANGE

By
ANDACS, NOÉMI – TAKÁCS-SÁNTA, ANDRÁS

Keywords: accepting responsibility, young people, climate conscientious action alternatives, education, local government, erroneous beliefs.

Preparations for climate change cannot be expected of supranational organisations only or national governments, but local governments and inhabitants need to take a significant part. The effectiveness of appropriate steps will however depend largely on the attitude of society in relation to climate change. In this investigation we studied attitudes of the 16-18 years old age group in this respect. Executed in Tatabánya at the end of 2007, the project in association with the town's climate program involved a questionnaire survey of 120 students and discussions with the students in groups of six individuals at a time. It emerged from the investigations that the students considered climate change as serious problem for the world as whole but less of a problem as far as Hungary or Tatabánya was concerned. Although most of them realised that people can significantly affect the process, but they did not perceive the real causes of climate change and expected consequences or the steps that could be taken to counter the change. They also held many erroneous beliefs in this respect. They saw their contributions in countering climate change in selective garbage collection, not littering in public places and economising on electricity usage. Our study has clearly demonstrated the necessity to educate young people in their approach to climate change. It is essential to outline to them the relationship between the causes and consequences of climate changes and the real possibilities for action. School and local governments can play an important role in enhancing climate consciousness. Formal and informal teaching involving interactive games where emphasis is placed on individual responsibility seems particularly promising. Of course teachers and local councillors need also to be well informed and fully committed to the course.

CHANGES IN THE WOOD WARBLER'S (PHYLLOSCOPUS SIBILATRIX) ROUTE OF MIGRATION

By

KISS, ANDREA – CSÖRGŐ, TIBOR – HARNOS, ANDREA
– KOVÁCS, SZILVIA – NAGY, KRISZTINA

Keywords: bird migration, wood warbler, NAO, weather.

The activity and timing of birds' migration is closely related to climate. It has been shown that the timing of bird's migration has shifted in the last few decades. This is probably due to the warming that took place in the last decades.

For our investigation we used the data on the long term ringing of wood warbler collected in the Ócsai Madárvárta Egyesület (Ócsa Bird Reservation Association). The timing of both spring and autumn migrations has changed. Spring migration takes place about 12 days earlier than 24 years ago. Autumn migration has changed significant only for young birds. The start of migration has not changed, but the period of migration has lengthened, that is the last individual birds arrive about 6 days later than at beginning of the investigated period.

We have found no significant relationship between timing of migration, average local weather conditions and the average value of winter NAO (North Atlantic Oscillation).

CONTENTS

| | |
|---|-----|
| <i>Farkas, József–Beczner, Judit</i> : Effect of climate change and global warming on mycological food safety | 3 |
| <i>Makó, András – Máté, Ferenc – Szász, Gábor – Tóth, Gergely – Sisák, István – Hernádi, Hilda</i> : Investigation of the climate sensitivity of soils on the basis of crop reactions of maize | 18 |
| <i>Máté, Ferenc – Makó, András – Sisák, István – Szász, Gábor</i> : Soil zones and climate change in Hungary | 36 |
| <i>Solymos, Rezső</i> : Effect of climate change on saplings in forests | 43 |
| <i>Somogyi, Zoltán</i> : On some relationships between climate, climate change and tree growth | 48 |
| <i>Mátyás, Csaba – Nagy, László – Ujváriné Jármay, Éva</i> : Climatic stress and the genetically determined response of tree species at the aridity limit of distribution: analysis and predictions | 57 |
| <i>Tóth, János Attila – Lajtha, Kate – Kotroczó, Zsolt – Krakomperger, Zsolt – Caldwell, Bruce – Bowden, Richard – Papp, Mária</i> : The probable effect of climate change on the decomposition of organic matter in soil | 66 |
| <i>Andacs, Noémi – Takács-Sánta, András</i> : Attitude and behaviour of high school students in relation of climate change | 76 |
| <i>Kiss, Andrea – Csörgő, Tibor – Harnos, Andrea – Kovács, Szilvia – Nagy, Krisztina</i> : Changes in the wood warblers' (<i>Phylloscopus sibilatrix</i>) route of migration | 91 |
| Summary | 100 |

- Máté Ferenc**, a PE Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar Növénytermesztési és Talajtani Tanszék professor emeritusa (8360 Keszthely, Deák F. u. 16., Tel./Fax: 83/545-332, E-mail: mako@georgikon.hu)
- Mátyás Csaba**, akadémikus, az NYME Erdőmérnöki Kar Környezet- és Földtudományi Intézet egyetemi tanára (9400 Sopron, Bajcsy Zs. u. 4., Tel.: 99/518-395, Fax: 99/329-840, E-mail: cm@emk.nyme.hu)
- Nagy Krisztina**, az MTA-BCE „Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz” kutatócsoport tudományos segédmunkatársa (SZIE Állatorvos-tudományi Kar Biomatematikai és Számítástechnikai Tanszék, 1078 Budapest, István u. 2., Tel.: 478-4214, Fax: 478-4217, E-mail: nagy.krisztina@aotk.szie.hu)
- Nagy László**, az Erdészeti Tudományos Intézet Sárvári Kísérleti Állomás és Arborétum tudományos munkatársa (9600 Sárvár, Várkerület 30/a, Tel.: 95/520-868, Fax: 95/320-252, E-mail: lnagy@ertisarvar.hu)
- Papp Mária**, a DE Természettudományi és Technológiai Kar Növényteni Tanszék egyetemi docense (4032 Debrecen, Egyetem tér 1., Tel.: 52/512-900/62648, Fax: 52/512-943, E-mail: riapap@puma.unideb.hu)
- Sisák István**, a PE Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar Növénytermesztési és Talajtani Tanszék egyetemi docense (8360 Keszthely, Deák F. u. 16., Tel./Fax: 83/545-332, E-mail: talajtan@georgikon.hu)
- Solymos Rezső**, akadémikus, az Erdészeti Tudományos Intézet kutatóprofesszora (1023 Budapest, Frankel Leó u. 42-44., Tel./Fax: 26/310-764; E-mail: solymosrezso@gmail.com)
- Somogyi Zoltán**, az Erdészeti Tudományos Intézet tudományos igazgatója (1023 Budapest, Frankel Leó u. 42-44., Tel.: 438-5880, Fax: 326-1639, E-mail: som9013@helka.iif.hu)
- Szász Gábor**, a DE AMTC Agrometeorológiai Observatórium professor emeritusa (4032 Debrecen, Böszörményi út 138., Tel.: 52/413-850, E-mail: gszasz@agr.unideb.hu)
- Takács-Sánta András**, az ELTE Természettudományi Kar Környezettudományi Centrum egyetemi adjunktusa (1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A, Tel.: 209-0555/8685, Fax: 372-2641, E-mail: tsa@mail.datanet.hu)
- Tóth Gergely**, a Joint Research Centre tudományos szakértője (Olaszország, TP 280/21027 Ispra (VA), Tel.: +39-0332-786483, Fax: +39-0332-786394, E-mail: gergely.toth@jrc.it)
- Tóth János Attila**, a DE Természettudományi és Technológiai Kar Ökológiai Tanszék egyetemi docense (4032 Debrecen, Egyetem tér 1., Tel.: 52/512-900/22619, Fax: 52/431-148, E-mail: tja@tigris.unideb.hu)
- Ujváryné Jármay Éva**, az Erdészeti Tudományos Intézet Mátrafüredi Kirendeltség ny. tudományos tanácsadója (3232 Mátrafüred, Hegyalja u. 10., Tel.: 37/320-177, E-mail: eva.ujvari@t-online.hu)

SZÁMUNK SZERZŐI

- Andacs Noémi**, a Tudatos Vásárlók Egyesülete szerkesztője (1027 Budapest, Bem rakpart 30. II./19., Tel.: 225-8136, E-mail: noemi.andacs@gmail.com)
- Beczner Judit**, a Központi Élelmiszer-tudományi Kutatóintézet Mikrobiológiai Osztály osztályvezetője, tudományos tanácsadó (1022 Budapest, Herman Ottó út 15., Tel./Fax: 3564-673, E-mail: j.beczner@cfri.hu)
- Caldwell, Bruce**, senior faculty research assistant, Department of Forest Science (321 Richardson Hall, Oregon State University, Corvallis OR 97331-5752 USA, Tel.: 541-737-3674, E-mail: bruce.caldwell@oregonstate.edu)
- Bowden, Richard**, professor, Department of Environmental Science (520 N. Main St. Allegheny College, Meadville, PA 16335 USA, Tel.: 814-332-2869, Fax: 814-332-2789, E-mail: rbowden@allegheny.edu)
- Csőrgő Tibor**, az ELTE Természettudományi Kar Anatómiai, Sejt- és Fejlődésbiológiai Tanszék egyetemi tanársegéde (1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C., Tel.: 209-0555/8634, Fax: 381-2184, E-mail: csorgo@elte.hu)
- Farkas József**, akadémikus, a BCE Élelmiszer-tudományi Kar Hűtő- és Állatitermék Technológiai Tanszék professor emeritusa; a Központi Élelmiszer-tudományi Kutatóintézet kutatóprofesszora (1022 Budapest, Herman Ottó út 15., Tel./Fax: 3564-673, E-mail: j.farkas@cfri.hu)
- Harnos Andrea**, a SZIE Állatorvos-tudományi Kar Biomatematikai és Számítástechnikai Tanszék egyetemi docense (1078 Budapest, István u. 2., Tel.: 478-4214, Fax: 478-4217, E-mail: harnos.andrea@aotk.szie.hu)
- Hernádi Hilda**, a PE Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar egyetemi hallgatója (8360 Keszthely, Deák F. u. 16., Tel./Fax: 83/545-332, E-mail: hhilduci@freemail.hu)
- Kiss Andrea**, a SZIE Állatorvos-tudományi Kar alkalmazott zoológus hallgatója (1078 Budapest, István u. 2., Tel.: 478-4213, Fax: 478-4217, E-mail: candy747@gmail.com)
- Kotroczó Zsolt**, az NYF Természettudományi és Informatikai Főiskolai Kar Biológia Intézet főiskolai adjunktusa (4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31.B., Tel.: 42/599-400/2015, Fax: 42/402-485, E-mail: kotroczo@kotroczo-zsolt.hu)
- Kovács Szilvia**, a SZIE Állatorvos-tudományi Kar Biomatematikai és Számítástechnikai Tanszék PhD hallgatója (1078 Budapest, István u. 2., Tel.: 478-4213, Fax: 478-4217, E-mail: kovacs.szilvia@aotk.szie.hu)
- Krakomperger Zsolt**, a DE Természettudományi és Technológiai Kar Ökológiai Tanszék PhD hallgatója (4032 Debrecen, Egyetem tér 1., Tel.: 52/512-900/22620, Fax: 52/431-148, E-mail: krakompz@delfin.unideb.hu)
- Lajtha, Kate**, professor, Oregon State University, Department of Botany and Plant Pathology (Corvallis OR 97331 USA, Tel.: 541-737-5674, Fax: 541-737-3573, E-mail: lajthak@science.oregonstate.edu)
- Makó András**, a PE Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszék egyetemi docense (8360 Keszthely, Deák F. u. 16., Tel./Fax: 83/545-332, E-mail: mako@georgikon.hu)