

KOCSÁNYTALAN TÖLGYPOPULÁCIÓK FIATALKORI MAGASSÁGI NÖVEKEDÉSE SZIMULÁLT KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSÁRA, EGY SZÁRMAZÁSI KÍSÉRLETSOROZATBAN

Mátyás Csaba¹, Kóczán-Horváth Anikó¹, Antoine Kremer²,
és Cuauhtémoc Saenz-Romero³

¹Soproni Egyetem, Környezet- és Földtudományi Intézet

²Unité Mixte de Recherche Biodiversité Gènes & Communautés (UMR 1202 BIOGECO), Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) – Université de Bordeaux, 69 route d'Arcachon, F-33610 Cestas, France

³Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,
Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Morelia, México

Kivonat

A tanulmány kiválasztott kocsánytalan tölgy populációk szimulált klímaváltozásra adott fenotípusos válaszreakcióját (reakciónormáját) mutatja be egy, a francia INRA által kezdeményezett nemzetközi származási kísérlet 10 éves magassági adatai alapján. A reakciónormákat a klímaterolerancia becslésére alkalmaztuk, az eredeti termőhelynél melegebb és szárazabb helyszíneken. Az egy irányban változó klímaviszonyokra adott válasz-regressziókat lineárisnak találtuk. A maximális növekedési potenciált a populációk alkalmazkodott termőhelyüknél kedvezőbb feltételek mellett mutatták. A különböző klímához adaptált populációk fenotípusos plaszticitása, vagyis klíma-érzékenysége szignifikánsan eltérő mértékűnek bizonyult. A Kárpát-medencei származások a többi európai populációhoz képest átlagos teljesítményt mutattak. A szárazsági határhoz közelebbi populációk jobb klíma-toleranciája a szaporítóanyag felhasználás szempontjából a kísérlet legfontosabb eredménye. Az eredmények a „támogatott áttelepítés/vándorlás” koncepcióját a kocsánytalan tölgy esetében megerősítik, és az alkalmazkodó erdőművelés országos stratégiája fejlesztéséhez felhasználhatók.

Kulcsszavak: alkalmazkodóképesség, kocsánytalan tölgy, klímaterolerancia, származási kísérlet, reakciónorma.

JUVENILE HEIGHT GROWTH RESPONSE OF SESSILE OAK POPULATIONS TO SIMULATED CLIMATIC CHANGE BASED ON PROVENANCE TEST DATA

Abstract

The report presents the analysis of phenotypic response (reaction norm) of selected sessile oak populations to simulated climate change, based on 10-year height data from an international provenance experiment network initiated by INRA (France). Reaction norms were calculated for assessing tolerance of populations to (simulated) warmer and dryer conditions than at origin. The unilateral responses to warming and drying climatic conditions have been linear. The maximum growth potential of populations was shifted toward more favorable conditions than the original ones. Phenotypic plasticity of populations of various provenance, interpreted as an indicator of climate sensitivity, was found significantly different. The provenances from the Carpathian Basin have shown average performance compared to other European populations. The better phenotypic plasticity of populations originating closer to the xeric (trailing, lower) limit is the most important result of the analysis, in terms of reproductive material use. The results corroborate the concept of "assisted migration" for sessile oak and may support the development of a strategy for adaptive forest management.

Keywords: adaptability, phenotypic plasticity, climate tolerance, provenance test, assisted migration.

BEVEZETÉS

A fajok alkalmazkodó képességének határa a melegedő és szárazodó nyári klímához (Gálos et al. 2009) nem ismert, jövőbeni vitalitásukat és termelésüket bizonytalanság övezi. Számos kutatásban előrejelítették már a vitalitás csökkenését, az elterjedési terület eltolódását, a különböző kártevők elszaporodását. Ezek a jelenségek különösen a fajok alsó, szárazsági határán („xeric limit”) válnak komoly kihívássá az erdőgazdálkodás számára (Mátyás et al. 2010, Hlásny et al. 2014, Mátyás & Sun 2014). Különösen fontos lenne a domináns, klímazonális, erdőtürelmüket meghatározó fő fajok várható viselkedésének megbízható, kvantitatív előrebecslése, mint amilyen a kocsánytalan tölgy is. Széles termőhelytűrése (Sáenz-Romero et al. 2018) a klímaváltozásra felkészülés egyik fontos fájává emeli (Czúcz et al. 2011, Borovics & Mátyás 2013, Cseke et al. 2014).

Az erdészeti fajokkal létesített származási kísérletek feltárták a genetikai változatosság jelentős mértéke mellett azt is, hogy az adataik a klímaváltozás által kiváltott válaszreakciók előrejelzésére is felhasználhatók. A megváltozott klímát eltérő klimatikus környezetbe telepítéssel szimulálhatjuk a származási kísérletekben (Mátyás & Yeatman 1987, Mátyás 1994). A módszert azóta széles körben alkalmazzák, és tovább fejlesztették (Leites et al. 2012, Sáenz-Romero et al. 2016a, Rehfeldt et al. 2017), elsősorban az északi félgömb fenyő fajaira. Kísérleteink során erdeifenyő (Mátyás et al. 2007), lucfenyő (Ujvári-Jármay et al. 2016) és bükk (Horváth & Mátyás 2016) fajokra bemutattuk az előrebecslés lehetőségeit, kocsánytalan tölgyből azonban nem rendelkezünk megfelelő hazai kísérlettel. Egy EU-s projekt (FORGER) keretében lehetőség nyílt a francia INRA (A. Kremer) által kezdeményezett nemzetközi kocsánytalan tölgy származási kísérlet adatai elemzésére, amely azonban, elsősorban az adaptált módszer miatt nem szolgáltatott egyértelmű eredményt (Sáenz-Romero et al. 2016a), emiatt indokoltnak ítéltük a kísérleti adatok újraértékelését.

A tanulmányban bemutatjuk az új koncepció alapján végzett elemzést, amelynek célja *adatgyűjtés a kocsánytalan tölgy klímaváltozás során várható viselkedéséről*. Ennek keretében vizsgáljuk a nyári szárazsághoz való alkalmazkodást, és a stresszválaszt jellemezzük a származási és kísérleti helyszínek nyári aszályvalószínűsége alapján. Az eredmények hozzájárulhatnak a klímaváltozásra felkészülés során a szaporítóanyag gazdálkodás stratégiájának továbbfejlesztéséhez (Mátyás 2016, Mátyás & Kramer 2016, Sáenz-Romero et al. 2016b).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) 116 európai ill. kisázsiai, őshonos állományából gyűjtött szaporítóanyaggal a francia INRA intézet, A. Kremer koordinálása mellett, nemzetközi együttműködésben, négy év leforgása alatt (1990-1993, 1996) 23 helyszínen létesített származási kísérletet. A magassági felvételezések a különböző helyszíneken nem azonos időpontokban történtek, így a 2, 5, 7, 8, 11, 15 és 20 éves adatokból az adatsorokból származó növekedésmenet alapján, a 10 éves korra standardizált magasságot határozták meg.

A kísérlet problémája, a származások kiegyenlített képviselője mellett, az a körülmény, hogy érthető okokból a mintavételezett állományok, és a létrehozott kísérletek döntő része a fafaj atlanti, északnyugati előfordulási területére koncentrálódik.

Mindamellet a kísérleti hálózat a fafaj legnagyobb reprezentatív keresztmetszetét képviseli, és nem valószínű, hogy a közeljövőben hasonló kezdeményezésre sor kerülhet. A kocsánytalan tölgy jelenlegi és a változó klímában betöltendő szerepe miatt az adatok kiértékeléséhez komoly érdek fűződik, különösen Magyarország részéről, amely a kísérlethez anyagot szolgáltatott, de a létesítésben nem vett részt.

Az összegyűjtött adatbázis anyagából eddig az u.n. „Madsen¹ gyűjtés” 14 populációját felhasználva, készült egy átfogó elemzés, ugyanis csak ezek a populációk szerepelnek megfelelő számú helyszínen (Sáenz-Romero et al. 2016a). Tanulmányunkban ugyanezen 14 db európai-kisázsiai származás, valamint a Kárpát-medencét képviselő populációk (1. táblázat) fiatalkori (10 éves) adatait az előbbi elemzéstől eltérő statisztikai módszerekkel értékeltük. Az elemzés során a szimulált klímaváltozásra adott fenotípusos válaszreakciókat (reakciónormákat) hasonlítottuk össze.

A szárazsági határ mentén a klímaérzékenység megállapítása elsődlegesen fontos kérdés Magyarországon. Ebben a tekintetben előnyösnek bizonyult, hogy a kísérleti hálózatban nagyobb számban vannak jelen populációk és kísérleti helyszínek a fafaj áréájának északnyugati részéről, ami lehetővé tette az áttelepítés hatásának elemzését, elsődlegesen, sőt majdnem kizárólagosan, a melegebb és szárazabb termőhelyi feltételek irányában. A magassági adatok kiértékeléséhez a kelet-középeurópai, kontinentális klímát aszályveszély szempontjából jellemző, ökofiziológiai alapon meghatározott indexet vettünk figyelembe (FAI, Führer et al. 2011, Führer 2017).

A teszthelyszínekre és a származásokra vonatkozó klímaadatok a ClimateEU (<http://tinyurl.com/ClimateEU>) adatbázisból származnak. Az ökológiai zóna besorolás az European Environmental Stratification térképe alapján történt (2. táblázat, Metzger et al. 2005). A reakciónormák értékeléséhez, az ökcsoportok helyett, a jobban jellemző FAI alapú csoportosítást alkalmaztuk (1. később, 3. táblázat).

A magassággal és a megmaradással legszorosabb összefüggést mutató klímaparamétereket Sáenz-Romero és munkatársai (2016a) a teljes kísérletre vonatkozóan meghatározták, ezek az éves és a vegetációs időre vonatkozó aszályindexek voltak (ADI és GSDI). Saját elemzésünkben változóként – fentebb említett okok miatt – a hazai környezetben bevezetett FAI indexet alkalmaztuk (Führer et al. 2011). Hasonlóan más indexekhez, a FAI más klimatikus feltételek mellett, pl. Északkelet-Európában, a klíma jellemzésére kevésbé alkalmas. Alkalmazásának indoka a nagyon eltérő származások esetében is az, hogy a tanulmányban a nyári szárazságra adott stresszválaszt jellemezzük a származási és kísérleti helyszínek nyári klímája alapján, a FAI ugyanis ennek érzékelésére alkalmas.

A kísérleti helyszínenként meghatározott ökológiai (klimatikus) távolságot (Mátyás & Yeatman 1987, 1992) használtuk fel a populációk reakciónormái független változójaként. Az

¹ Dán kutató, a kísérletsorozat kezdeményezője

ökológiai távolság a kiválasztott klímparaméterre vonatkozó különbség, amelyet a kísérleti helyszín és az eredeti származási helyszín adatából képezünk. Pozitív értéke a (szimulált) melegedést-szárazodást, a negatív a lehűlést és csapadéknövekedést indikálja.

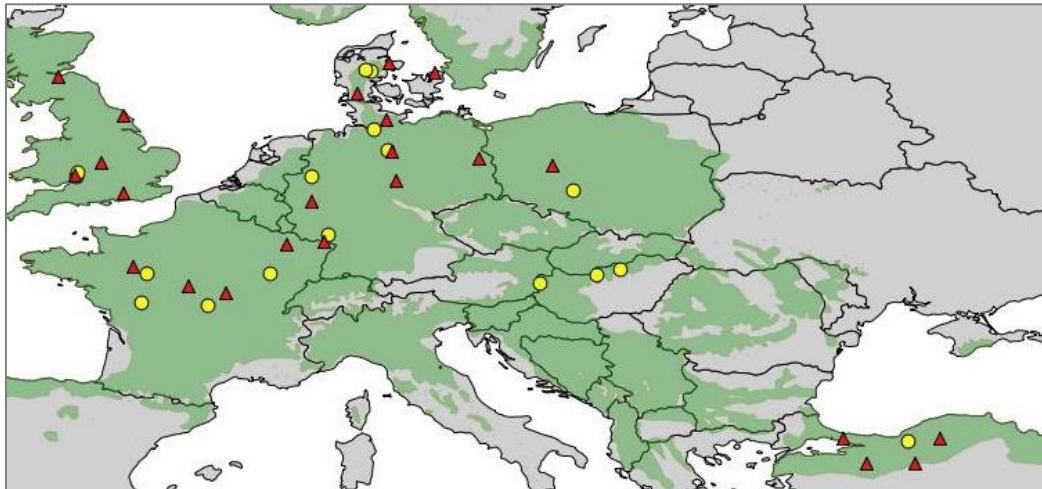
1. táblázat: A kiválasztott 14 európai kocsánytalan tölgy populáció és a három „pannon” származás alapadatai.

Table 1: Data of 14 selected European and 3 "Pannonian" sessile oak populations.

Származási hely	Ország	Földrajzi szélesség	Földrajzi hosszúság	Tszfm. (m)	Éves közép-hőmérséklet (°C)	Éves csapadék (mm)	FAI
Syców	POL	51,18	17,93	210	8,0	577	4,7
Bercé	FRA	47,81	0,39	157	10,5	712	6,8
Vouillé	FRA	46,60	0,18	130	11,2	745	7,0
Luss	DEU	52,83	10,32	110	8,2	692	4,8
Dreuilie	FRA	46,46	2,89	270	10,5	778	5,2
Bolu	TUR	40,92	31,67	1200	8,6	721	7,5
Dymock	GBR	51,95	-2,45	70	9,6	717	5,7
Rantzau	DEU	53,71	9,76	10	8,3	767	4,5
Londal	DNK	56,07	9,6	25	7,5	736	5,0
Elmstein	DEU	49,36	7,87	470	7,7	755	4,4
Recklinghausen	DEU	51,77	7,17	75	9,4	818	4,4
Blakeney	GBR	51,79	-2,49	91	9,5	804	5,3
Bussières	FRA	47,76	5,49	330	9,6	890	5,1
Hald Ege	DNK	56,13	9,40	250	6,2	770	4,3
Pilis	HUN	47,72	18,87	500	8,6	665	5,1
Nagybátony	HUN	47,94	19,85	400	8,7	605	5,2
Klostermarienberg	AUT	47,41	16,55	310	8,8	669	4,6

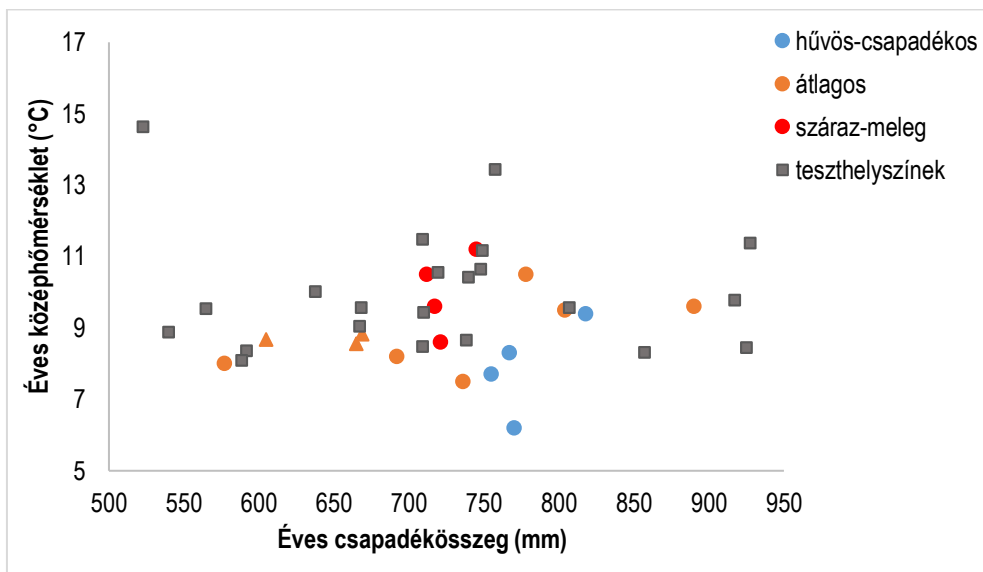
Bár a kísérletsorozat indításakor nem volt lehetőség hazai kísérlettel csatlakoznunk, Kárpát-medencei (pannon) származások is kerültek az európai hálózat egyes helyszíneire. Eből kettő a vezető szerző közreműködésével került be, a magyarországi Nagybátony és Pilis, egy pedig az országhatár közeléből, a burgenlandi Borsmonostorból származik (Klostermarienberg). Mivel azonban ezek a populációk csak kevés kísérletben szerepelnek (Pilis 2, Nagybátony 3 helyen), ezért „pannon csoportként” összevonva, a két magyar származást és - azonos ökológiai besorolása alapján - az ausztriai-burgenlandi származást, Borsmonostort együtt értékeltük (utóbbi 8 helyen van képviselve). Ezen populációk szerepeltetését az indokolja, hogy a szárazsági határ közelében várható növekedési és esetleges mortalitási

reakciók ökológiai és gazdasági jelentősége különösen nagy, de pontosan ezek a helyszínek vannak hiányosan képviselve a kísérletben (1. ábra).



1. ábra: A kiválasztott kocsánytalan tölgy populációk (●) és teszhelyszínek (▲) földrajzi elhelyezkedése a faj elterjedési területére vetítve (térkép: EUFORGEN).

Figure 1: Geographic location of the selected sessile oak populations (●) and test sites (▲) projected on the distribution map of the species (source: EUFORGEN).



2. ábra: Az elemzésben szereplő származások és teszhelyszínek elhelyezkedése a klímaterben. Az ábrán külön jelöltük a három FAI-csoportot ill. a „pannon” származásokat (Δ).

Figure 2: Location of populations and test sites in the climatic niche of annual precipitation (x axis) and mean annual temperature (y axis) divided into three climate groups classified by the FAI index. Pannonian populations are marked by triangles.



A 23 kísérleti helyszín többsége, a német, dán és angol kísérletek az 50. szélességtől északabbra, atlanti klímában helyezkedik el. A kontinentális klímát egyedül a lengyel Kórnik képviseli. A legnagyobb és legjobban kezelt négy francia kísérlet a mérsékelt atlanti és nyugat-mediterrán, a török kísérletek pedig a kelet-mediterrán klímában helyezkednek el (2. ábra). A kísérleti helyszínek részletesebb adatai Sáenz-Romero et al. (2018) cikke mellékletében található.

EREDMÉNYEK, MEGVITATÁS

Klímastressz és a származások reakciónormája

A reakciónorma alatt az ökológia egy adott faj, populáció vagy egyed (klón), változó környezeti feltételek mellett mért fenotípusos válaszát érti. Pontosabban, a reakciónorma a változó környezet és a genetikai adottság kölcsönhatását fejezi ki a fenotípusos tulajdonságban (pl. magasság, vagy fenológia), ezzel az *alkalmazkodóképesség fontos jellemzője*. A reakciónorma elméleti koncepciója és gyakorlati megjelenése között jelentős eltérés áll fenn. Általánosságban az eredeti (származási) termőhelyen intuitíve maximális reakciót várunk, és a reakciónorma függvény lefutását elméletileg a maximumtól mindkét irányban szimmetrikusan csökkenő, harang alakúnak tételezik fel (Rehfeldt et al. 2017). A gyakorlatban a függvény, az eddig vizsgált fajok esetében, erősen asszimmetrikusnak mutatkozik, a szárazodás-melegedés irányában exponenciálisan csökkenő, a hűvösebb-csapadékosabb irányban lassulva, de tovább javuló, majd hirtelen lecsökkenő trendet tételezhetünk fel (Czimer 2017).

A reakciónormák az eddigiekben elsősorban a nemesítésben kerültek alkalmazásra, pl. a szelektált klónok termőhelyállóságának, termőhelyi igényeinek megállapításához (Bach 1998). A klímaváltozással az eddig változatlanak vélt legfontosabb termőhelyi tényező, az *éghajlat indult változásnak*: ezzel a reakciónorma egyfajta elméleti jellemzőből hirtelen mindennapi gyakorlati tényezővé lépett elő, mert választ adhat arra a kérdésre, hogyan változik a faállomány vitalitása (növekedése, egészségi állapota, esetleg mortalitása) a termőhelyi feltételek változásával.

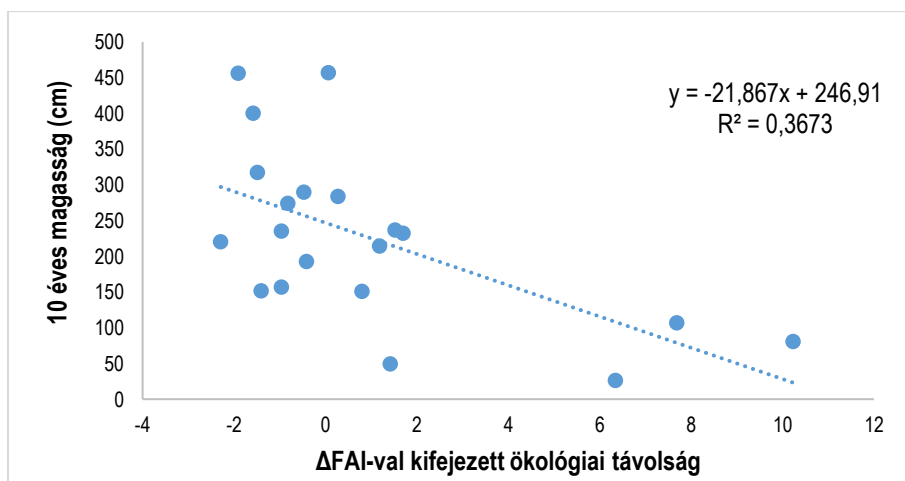
A reakciónorma egyenletek vizsgálata

A származások egyes kísérleti helyszíneken mért, 10 éves kori átlagos magassági adataival egyenként regressziót számoltunk, ahol a független változó a mindenkori helyszíntre számított, FAI-val kifejezett, ökológiai távolság (ΔFAI érték) volt, vagyis a populáció eredeti klimatikus feltételeitől való eltérés. A regresszió az ökológiai távolsággal, azaz a klímastressz növekedésével fellépő válaszreakciót a magassági növekedés (a függő változó) változásában adja meg. Az esetek döntő többségében az áttelepítéssel előidézett (szimulált) klímaváltozás iránya a szárazodás/melegedés felé mutat, vagyis a kapott ökológiai távolsá-

gok nagyrészt pozitívak. Elméletileg, egyirányú klimatikus változás mellett is a reakciónormát másodfokú egyenlet kellene hogy leírja (Mátyás et al. 2010), ehhez azonban, elsősorban a szárazsági határ közelében, nincs elegendő kísérleti helyszín és adat, ezért minden esetben lineáris egyenletet alkalmaztunk.

A populációk átlagadatai erősen szórnak, a kísérletek nagyon eltérő termőhelyi potenciálja (azaz termőhelyi/fatermesi osztálya) miatt (3. ábra). Ennek csak egyik oka az eltérő klíma; a talaj- és hidrológiai viszonyok adatai – mint általában nemzetközi kísérletek esetében – itt is hiányoznak. Feltehetően hozzájárult a szóráshoz a magasság egységes 10 éves korra való vetítése is.

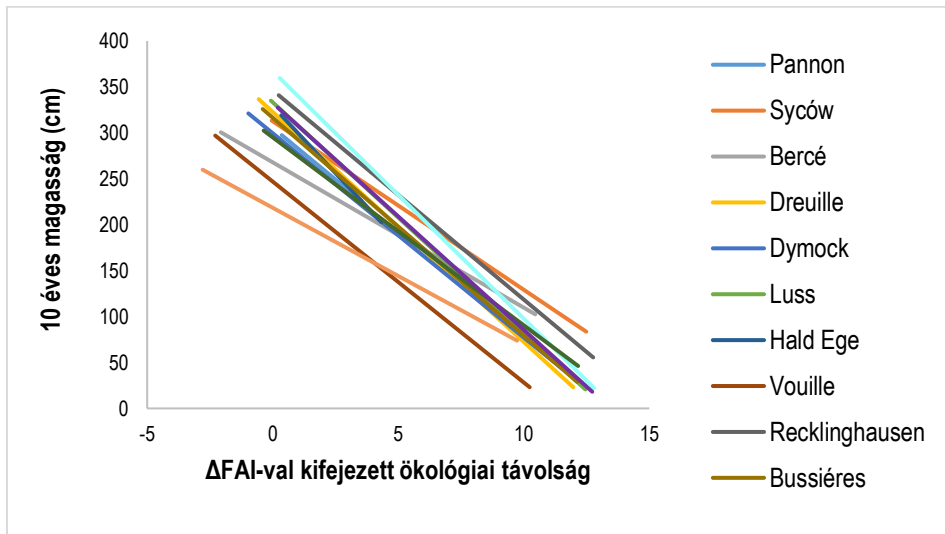
A regressziók a magassági variancia 10-40%-át határozták meg (2. táblázat). Mivel a származások klímaérzékenységét a *regresszió meredeksége* jellemzi (4. ábra), valószínű ez a legérdekesebb jellemzője az egyenleteknek. A meredekség-elemzéshez a származásokat három csoportba soroltuk a *FAI* értékek alapján: hűvös-csapadékos ($FAI < 4,5$), átlagos ($FAI 4,5-5,5$) és száraz-meleg ($FAI > 5,5$) termőhelyi csoportokba. (Az ökológiai besorolás kevésbé veszi figyelembe a klíma szárazodását, ezért a *FAI* értékek nem hozhatók fedésbe az ökológiai csoportokkal; így pl. a közép-atlanti (atc) zónába eső pontok eltérő *FAI* csoportokba kerültek (2. táblázat).



3. ábra: Egy atlanti-mediterrán (lusitán) származás (Vouillé, Franciaország; $FAI: 6,98^2$) 20 teszt helyszínén mért átlagmagassága az áttelepítés ökológiai távolsága függvényében. Ez a származás az eredeténél hűvösebb/csapadékosabb helyszínekre is került (negatív ΔFAI értékek). Adatai az átlagosnál gyengébb szórást mutatnak, a regresszió a variancia 37%-át magyarázza. A függvény meredeksége erős, vagyis a származás klímaérzékenysége magas (l. 3. táblázatot).

Figure 3: Mean height of an Atlantic-Mediterranean population (Vouillé, France; $FAI: 6.98$), in function of the ecological distance of transfer, expressed with the FAI index (ΔFAI), measured at 20 test sites. Colder and more humid test sites than the original site have negative ΔFAI values. The regression explains 37% of the variation. The steep slope of the function indicates the high climate sensitivity of this provenance (see Table 3).

² ez a *FAI* érték Führer E. besorolása szerint tulajdonképpen már az erdőssztyep alsó peremére esik; a sztyep határ 7,25-nél van!



4. ábra: A vizsgált európai származások 10 éves kori magassága regressziója az áttelepítés ökológiai távolságával (Δ FAI).

Figure 4: Regression of 10-year height on ecodistance of transfer, expressed in Forestry Aridity Index change (Δ FAI).

A meredekség és a FAI összefüggését ábrázolva, a brit Blakeney adatai, ismeretlen okból, kiugró szélső értékűnek bizonyultak. A származás kizárásával, a három FAI csoport között számított egyirányú varianciaanalízis az alacsony és magas FAI csoport között szignifikáns eltérést mutat (3. táblázat). Vagyis, a hűvösebb-nedvesebb helyszínek származásai (4,5 FAI alatt) nagyobb meredekséget mutatnak, a változásokra erősebben reagálnak, következésképpen *klímaérzékenyebbek*. A szárazabb-melegebb termőhelyek populációi (5,5 FAI felett) plasztikusabbak, meredekségük szignifikánsan kisebb. A különbség a szárazsági határhoz közelebbi populációk jobb toleranciájára utal – ez a szaporítóanyag felhasználás szempontjából fontos jellemző (3. táblázat).

2. táblázat: A vizsgált származások ökológiai jellemzői, magassága és reakciónorma paraméterei a származási hely klimatikus státusa szerint (a kísérletekben mért Δ FAI értékek és magasságok lineáris regressziójából számítva).

Table 2: Ecological characterisation and parameters of reaction norms of absolute and relative height vs ecological distance (expressed in Δ FAI values), listed according to the aridity index (FAI) at provenance.

származás	ökológiai csoport	FAI	FAI csop. besorolás	magasság ^a (cm)	meredekség	R ² szignif.	relatív magasság (%)	meredekség	R ² szignif.
Hald Ege	atn	4,347	hűvös	329,0	-29,17	0,105	101,7	-3,66	0,130
Elmstein	atc	4,412	hűvös	367,1	-26,94	0,417**	120,5	-3,47	0,308*
Recklinghausen	atc	4,449	hűvös	346,4	-22,78	0,367**	107,7	-0,79	0,026
Rantzau	atn	4,485	hűvös	332,5	-24,70	0,393**	109,7	-4,06	0,333*
Syców	con	4,727	átlagos	312,6	-18,34	0,255*	102,8	0,19	0,003
Luss	atn	4,759	átlagos	333,3	-25,10	0,348**	107,3	-3,48	0,424**
Pannon csop. ^b	pan	4,979	átlagos	305,6	-22,56	0,091	98,8	-2,06	0,039
Londal	atn	5,048	átlagos	295,1	-20,46	0,290*	95,1	-0,93	0,064
Bussiéres	atc	5,085	átlagos	316,5	-23,71	0,428**	110,9	-4,19	0,458**
Dreuille	atc	5,244	átlagos	322,7	-25,03	0,417**	107,8	-2,64	0,276*
Blakeney	atc	5,318	átlagos	375,3	-37,98	0,179	119,4	-5,38	0,216
Dymock	atc	5,658	száraz	300,0	-22,24	0,324**	108,1	-2,71	0,364**
Bercé	atc	6,754	száraz	267,9	-15,82	0,190	103,2	-2,49	0,181
Vouille	lus	6,978	száraz	246,9	-21,87	0,367**	92,9	-3,79	0,534**
Bolu	mdm	7,478	száraz	218,4	-14,85	0,222	84,6	0,08	0,000

^a a tengelymetszet értéke (intercept)

^b három származásból átlagolt értékek

* $p < 0,05$

** $p < 0,01$

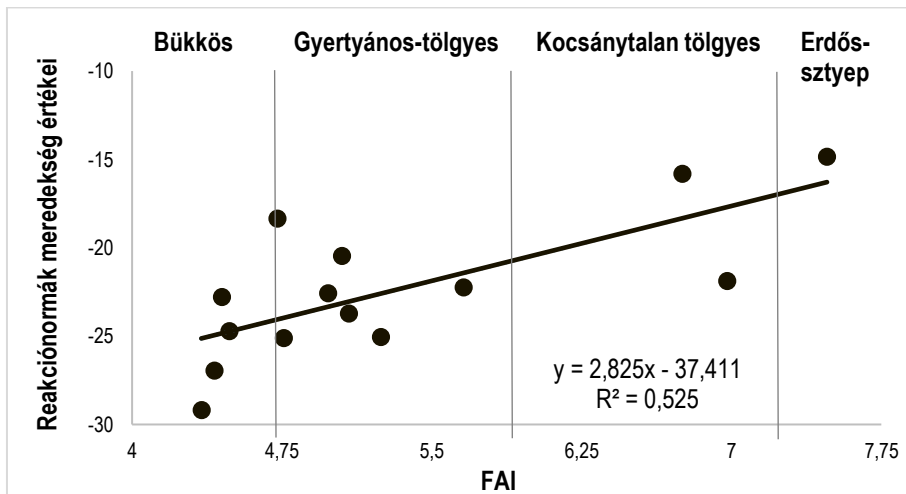
3. táblázat: A származás szerinti FAI-csoportok meredeksége és tengelymetszete közötti különbségek szignifikancia-mátrixa (*P* értékek). A szignifikáns különbségeket vastagított számokkal jeleztük.

Table 3: Significance (*P*) matrix of slope and intercept parameters of the different FAI groups. Bold numbers indicate significant differences between groups of provenance.

csoport	FAI	átlagos meredekség	1	2	3
1	>5,5	-18,69		0,240	0,021
2	4,5 – 5,5	-22,53			0,358
3	<4,5	-25,90			

csoport	FAI	tengelymetszet	1	2	3
1	>5,5	258,3		0,007	0,000
2	4,5 – 5,5	323,0			0,187
3	<4,5	343,7			

A 14 populáció származási helyszínére megállapított FAI érték is jól korrelál a meredekséggel (5. ábra). A hűvös-üde termőhelyű csoportba sorolt négy populáció meredeksége -24,70 és -29,17 közé esik, míg a legmagasabb FAI értékkel rendelkező Bolu (TR) meredeksége mindössze -14,85 (2. táblázat – nem minden regresszió bizonyult szignifikánsnak). Tehát a nagyon széles klimatikus amplitúdójú kísérleti helyszínek adatai alapján számított regressziók eltérései megerősítik a FAI csoportok között talált szignifikáns különbségeket (3. táblázat).



5. ábra: A származások reakciónormái meredekségének regressziója a származások eredeti FAI értékével, Blakeney származás nélkül. Feltüntettük a klímaosztályok FAI határait a klimatikus skála mentén.

Figure 5: Regression of slope values of reaction norms of populations (*y* axis) vs FAI values of original provenance (without Blakeney). The climatic scale is divided into forest climate classes of Hungary.

A populációk fenotípusos plaszticitása mellett nem közömbös a tulajdonság kapcsolata a (juvenilis) növekedéssel. Ehhez a 10 éves magassági növekedést a származások klimatikusan meghatározott, „eredeti” klímájára standardizáltuk. Mivel a populációk eredeti származási helyén nem történhetett mérés, a regressziós egyenletek tengelymetszetét használtuk fel a „virtuális eredeti magasság” jellemzésére. Az egyenletek tengelymetszete (intercept) ugyanis a származási klímával azonos értékre, vagyis 0 ΔFAI értékre megadja a származás virtuális „eredeti” magasságát, amelyet a származási helyével azonos klímában érne el, a teszhelyszínek termőhelyi potenciálja figyelembevételével. Feltűnő, hogy a száraz-meleghelyszínek populációi „eredeti” magassága rendre jelentősen elmarad a hűvös-csapadékos termőhelyekről származóktól (6. ábra).

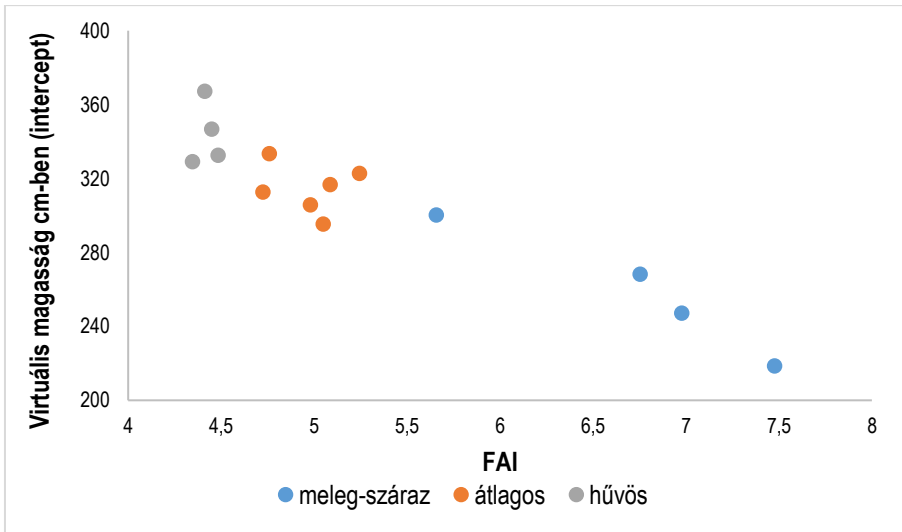
A FAI-csoportokkal végzett egyirányú varianciaanalízis szerint (3. táblázat), a szárazabb-melegebb származások tengelymetszet alapján becsült magassága szignifikánsan elmarad az átlagos és hűvösebb-csapadékosabb termőhelyet jelző, alacsonyabb FAI értékű származások becsült magasságától. Az átlagos FAI értékű populációk viszont nem térnek el szignifikánsan a hűvösebb-csapadékosabb csoporttól. A szárazabb-melegebb helyről származó populációk növekedési potenciálja viszont rendre elmarad a kedvezőbb klímáról érkező származásokétól.

A populációk eredeti klímájával (FAI) számolva, az 6. ábrán instruktív módon látható, hogy a tengelymetszettel jellemzett virtuális magasság a hűvösebb-csapadékosabb klímájú csoportban éri el legmagasabb értékeit, ugyanakkor a török Bolu a leggyengébb növekedést produkálja. Figyelembe kell természetesen venni, hogy a különbségek nem azonos termőhelyre vonatkoznak, de a kirajzolódó trend a származási csoportok jellemző klímájával összefügg. Mindenesetre a „virtuális magasság” egyúttal a származási helyszín spontán adaptáció ill. klímaszелеkció révén előállt genetikai potenciálját képviseli.

A magyar olvasó számára kiemelten fontos lenne a pannon csoport fenotípusos plaszticitásának meghatározása. Sajnálatos módon, a kevés teszhelyszín miatt a számított regresszió eredmények nem megbízhatók. Annyi mindenesetre megállapítható, hogy a három populáció átlagos teljesítményt nyújt, mind virtuális magassága, mind a reakciónorma meredeksége szerint.

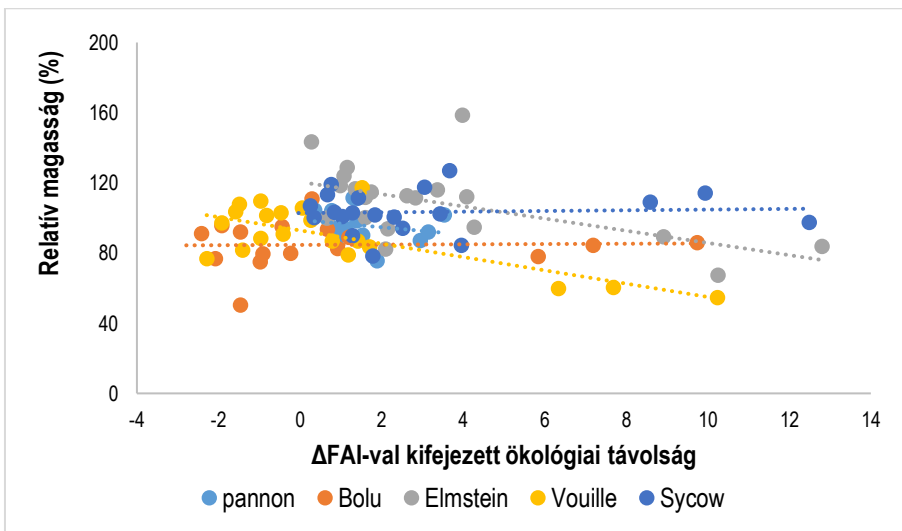
Reakciónormák számítása relatív magassággal

Relatív magasság alatt egy adott kísérletben mért teljesítménynek a kísérlet átlaga százalékában kifejezett értékét értjük. Előnye, hogy ezzel a lépéssel a helyszínek termőhelyi potenciál különbségéből adódó szórását kiküszöböljük. A relatív magasság szemléletesen mutatja a termőhelyi-klimatikus spektrum mentén a plaszticitás különbségeit a származások között. A normalizálás annyiból nem pontos, hogy a származások összetétele nem minden kísérletben azonos, ennek ellenére tájékoztatást nyújt a populáció viselkedésére, változó klimatikus feltételek között.



6. ábra: A vizsgált származások eredeti termőhelyére becsült, „virtuális magasságának” összefüggése a származási hely FAI értékével. A FAI csoportokat eltérő színek jelzik.

Figure 6: Estimated "virtual original height" (regression intercept, y axis) of populations vs FAI values of provenance. FAI groups are shown by colors.



7. ábra: Néhány kiválasztott származás relatív magasságának regressziója az áttelepítés ökológiai távolságával (Δ FAI).

Figure 7: Regression of relative height vs ecodistance of transfer (Δ FAI) of selected provenances.

A 7. ábrán néhány, jellegzetes klímából származó tölgy populáció relatív magassága regresszióját mutatjuk be, ezek különbségei nem túl meggyőzőek, értelmezésük csak korlátokkal fogadható el. A kontinentális Syców (PL) mutat kiegyenlítettebb, stabil teljesítményt.

A hozzá hasonlóan stabil Bolu (TR) ugyanezt gyengébb növekedés mellett produkálja. A klimatikus feltételek változására érzékenyen reagáló atlanti Elmstein (DE) és az atlanti-mediterrán Vouillé (FR) is erőteljesebb növekedés-visszaesést mutat a szárazabb termőhelyeken a kísérleti helyszíneken képviselt többi származáshoz képest.

Az eredmények jelentősége az alkalmazkodó erdőművelés stratégiája szempontjából

Annak ellenére, hogy az európai (INRA) kocsánytalan tölgy származási kísérlet több mint húsz éves múltra tekinthet vissza, eddig csak egyetlen nemzetközi publikáció ismertette az eddig elért eredményeket (Sáenz Romero et al. 2016a), gyakorlati alkalmazási lehetőségek részletezése nélkül. Az értékelések elmaradásának számos oka van, az egyik az ilyen típusú kísérletek nemzetközi karakteréből adódó koordinációs nehézség: az adatgyűjtés összehangolása meghaladta a lehetőségeket. A könnyebben végrehajtható, és gyorsabban eredményeket produkáló fenyő kísérlethálózatokhoz képest a lombos fafajok több nehézséget támasztanak, ami feltehetőleg gyengítette az együttműködésben való részvételt. A terepi adatfelvételekre támaszkodó kísérletezésnek nem tett jót az utóbbi évtizedek kutatási hangsúly eltolódása az intenzív, labor eredményekre építő, rövid lejáratú projektekből finanszírozott munkák irányába. Egy, lombos és fenyő tesztfajokkal végzett elemzésünk (Sáenz-Romero et al. 2018) egyértelműen igazolta, hogy a bükk és a kocsánytalan tölgy is szélesebb plaszticitással rendelkezik, mint a számos kísérletben elemzett luc- és erdeifenyő, ezért juvenilis eredményeik kevésbé látványosak. Viszont éppen a szélesebb fenotípusos plaszticitás miatt a kocsánytalan tölgy fontossága a klímaváltozásra készülés szempontjából kiemelkedő.

Az eddig csak genetikai oldalról elemzett közös tenyészkertek egyidejűleg egyfajta „fatermési kísérleti sornak” is felfoghatók, ahol genetikailag azonos összetételű és azonos korú faállományok növekedése és fatermése eltérő klimatikus/termőhelyi feltételek mellett vizsgálható. Több jel utal arra, hogy a származási kísérletek új értelmezése feltehetően felülírhatja a faj földrajzi elterjedése és termőhelyi-fatermési értékelése alapján feltételezett klímatoleranciáját (Czúcz et al. 2011, Berki et al. 2018, Illés 2018, Mátyás et al. 2018). E tekintetben a fentiekben számított reakciónormák a genetikai különbségek kimutatása mellett a termőhelyállóságra (reszilienciára), klímatoleranciára vonatkozó információkat is szolgáltatnak. Ez különösen fontos adat a jelentős többletköltséget és termesztési kockázatot jelentő „támogatott áttelepítés ill. vándorlás” megvalósíthatósága szempontjából. A szerzett tapasztalatok az alkalmazkodó erdőművelés országos stratégiája kialakítására, illetve a klímaváltozás döntéstámogató rendszere fejlesztésére használhatók fel (Bidló et al. 2014, Mátyás 2015, 2017, Mátyás & Kramer 2016). Az alábbiakban összefoglalt eredmények alátámasztják a támogatott áttelepítés ill. vándorlás (assisted migration) koncepciójának indokoltságát.



ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgált származási kísérlet hálózat eredményei nem véglegesek, de a 10 éves kori adatok már alkalmasak óvatos előrebecslésre (Lambeth 1980). A kísérleti hálózat adataiból elsősorban a faj általános toleranciájára, plaszticitására következtethetünk. Az egyes származások (populációk) magassági adataiból reakciónormákat számítottunk, ahol a független változó a FAI különbséggel kifejezett ökológiai távolság (ΔFAI) volt. Az áttelepítéssel szimulált klímaváltozás hatása – populációktól függően – a teljes magassági variancia 10-40%-át határozta meg.

A számított válaszregressziókból levonható általános, evolúciós-ökológiai következtetések

A kapott regressziós egyenletek lineárisak, a fenotípusos válasz feltételezett exponenciális alakja nem volt kimutatható. Bár ezt az adatok jelentős szórása is előidézte, általánosságban bizonyosra vehető, hogy a változó klíma-tényezőre adott fenotípusos válasz nem szimmetrikus, jelentős szakasza lineáris, ezt a célállomány-tábla adatainak modellezése is megerősíti (Czimer 2017). A növekedés (produkció) optimuma nem az eredeti termőhelynek megfelelő klíma mellett, hanem annál üdőbb, hűvösebb feltételek között várható, ezt fenyőkre vonatkozó, korábbi megfigyelések már jelezték (Namkoong 1969, Mátyás 1990).

A melegedés-szárazodás klimatikus transzekt mentén a növekedési ráta folyamatos, erőteljes csökkenése észlelhető. A növekedési ráta csökkenése a feltételezett optimumtól az üdőbb-hűvösebb irányba feltételezhetően csak nagyobb ökológiai távolság esetén lép fel, ez a jelenleg elemzett adatbázis alapján nem ellenőrizhető. A válaszregressziók egyértelműen bizonyítják, hogy a különböző származású (adaptáltságú) populációk fenotípusos plaszticitása a klimatikus-termőhelyi transzekt mentén eltérő mértékű. A klímaérzékenység mértékét, a más kísérletekben vizsgált luc- és erdeifenyőhöz képest, a kocsánytalan tölgy esetében kisebbnek találtuk, ezt más módszerrel kapott eredmények is megerősítik (Saenz-Romero et al. (2018).

Gyakorlati következtetések

A vizsgálat legfontosabb eredménye, hogy a hűvösebb-nedvesebb helyszínek származásai nagyobb meredekségű reakciónormát mutattak, azaz a változásokra erősebben reagálnak, következésképpen klímaérzékenyebbek. A szárazsági határhoz közelebbi populációk kisebb érzékenysége, vagyis jobb klíma-toleranciája a szaporítóanyag felhasználás szempontjából fontos információ. Ez a tény megerősíti, hogy a szárazsági határhoz közelebb eső, de nem szélsőségesen degradálódott populációk áttelepítése a klímaturést (reszilienciát)

javíthatja, feltehetőleg a fenotípusos plaszticitást meghatározó géneváltak (allélek) nagyobb gyakorisága miatt. Ennek valószínűségét korábbi vizsgálataink már felvetették (Borovics & Mátyás 2013, Cseke et al. 2014).

A reakciónorma egyenlet az eredeti termőhelyi potenciálhoz alkalmazkodott növekedési ráták standardizált összehasonlítására is lehetőséget ad. A tengelymetszet 0 Δ FAI értékre megadja a származás virtuális, „eredeti” magasságát, az összes vizsgált termőhelyen mért teljesítmény figyelembevételével standardizálva, de természetesen a mindenkori származási hely klímájának megfelelően. Ez a virtuális magasság az egyes származási helyszínek spontán adaptáció, ill. klímaszelekció révén megvalósult potenciálját képviseli. A támogatott áttelepítés során előnyben részesített szárazabb-melegebb termőhelyek populációinak jövőbeli becsült (virtuális) magassági növekedése természetesen el fog maradni a hűvösebb-csapadékosabb termőhelyen tenyésző, alacsonyabb FAI értékű termőhelyek származási jelenlegi magasságától.

Mivel a Kárpát-medencei populációk telepítési helyszínei aránylag szűk termőhelyi spektrumot fognak át, értékelésük csak a nemzetközi mezőnybe illesztve végezhető. A „pannon csoport” fenotípusos plaszticitását tekintve, az európai populációkhoz képest átlagos teljesítményt nyújt, mind virtuális magassága, mind a reakciónorma meredeksége szerint.

A válaszregressziós egyenletekből levezethető a ökológiában már elfogadott egyensúlytalanság; esetünkben ez azt jelenti, hogy a maximális növekedési potenciált az alkalmazkodott populáció termőhelyénél kedvezőbb feltételek mellett produkálja; azaz a „helyi nem biztos, hogy a legjobb”. Ez természetesen csak a mesterséges felújítással létrehozott állományok esetében igazolható.

Az elemzés általános hiányossága a szárazsági határon fellépő mortalitás előrevetítésének hiánya. Erre vonatkozó, megbízható adat nem áll rendelkezésre. A megmaradás fiatalkori értékei a helyi kezelés, technológiai eltérések és hibák által a legerősebben befolyásolt jellemző és alig hogy lehetőséget a helyi klimatikus hatások elemzésére.

Az analízis hiányosságaival és megbízhatóságával kapcsolatosan még számos további felvetés tehető, pl. a vizsgálati módszerek alkalmassága, a kísérletbe vont populációk és helyszínek összetétele stb. Nem szabad azonban megfeledkezni arról, hogy a vizsgált adatbázis egy olyan kísérlethálózat eredménye, amely, minden korlátja mellett, a fajaj genetikai alkalmazkodóképességének eddig legalaposabb elemzését teszi lehetővé, amelyhez hasonlít a jövőben a kutatás előrelátható finanszírozási körülményei aligha fognak lehetővé tenni. Ezért tettünk kísérletet az értékelés más szempontú megismétlésére, vállalva a fiatalkori adatok kétségtelenül nagy bizonytalanságát is. Bár a kísérleti anyag a hazai populációk tekintetében kevés közvetlen információt szolgáltat, meggyőződésünk, hogy a levont következtetések a hazai populációkra is érvényesek, és olyan tapasztalatokat kínál a feltételezett klímaváltozással kapcsolatban, amelyet semmilyen más módszerrel nem lehet helyettesíteni. Erdeink jövőjéről sajnos semmi biztosat sem tudhatunk. A klímaváltozásra adott választal kapcsolatos bármilyen, akár nagy bizonytalansággal terhelt adat is több a puszta vélemezésnél.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás megvalósítását segítette C. Sáenz-Romero részére az INRA-Bordeaux-i tartózkodást finanszírozó Mexikói Tudomány és Technológiai Tanács (CONACyT, 232838-as projekt) és a Michoacán-i Egyetem támogatása, továbbá a soproni tanulmányúthoz segítséget nyújtó EU-s FORGER projekt. Mátyás Csaba és Kóczán-Horváth Anikó kutatómunkáját a "VKSZ_12-1-2013-0034- Agrárklíma.2" projekt támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bach I. 1998: Tájékoztató eredmények a fajta (genotípus) x termőhely kölcsönhatás vizsgálatáról. in: Tóth B. (ed): A Nemzetközi Nyárfa Bizottság (International Poplar Commission) 20. ülése és tanulmányútja Magyarországon. Az Erdészeti Tudományos Intézet Kiadványai, 9: 112–114.
- Berki I., Móricz N., Rasztoivits E., Gulyás K., Garamszegi B., Horváth A. et al. 2018: Fapusztulással párhuzamosan tapasztalt gyorsuló növekedés kocsánytalan tölgyeseinkben. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 119–130. DOI: [10.17164/EK.2018.008](https://doi.org/10.17164/EK.2018.008)
- Bidló A., Király A. & Mátyás Cs. (eds) 2014: Agrárklíma: Az előrejelített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron.
- Borovics A. & Mátyás Cs. 2013: Decline of genetic diversity of sessile oak at the retracting (xeric) limits. *Annals of Forest Science* 70(8): 835–844. DOI: [10.1007/s13595-013-0324-6](https://doi.org/10.1007/s13595-013-0324-6)
- Cseke K., Jobb Sz., Koltay A. & Borovics A. 2014: Tölgypusztulás genetikai szerkezetre gyakorolt hatása. Erdészettudományi Közlemények 4(2): 135–148.
- Czímber K. 2017: Fajaj és fatermőképesség előrebecslése gépi tanulással, a célállománytáblák felhasználásával. Erdészeti Lapok 152(11): 348–349.
- Czúcz B., Gálhidy L. & Mátyás Cs. 2011: Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Annals of Forest Science* 68(1): 99–108. DOI: [10.1007/s13595-011-0011-4](https://doi.org/10.1007/s13595-011-0011-4)
- Führer E., Horváth L., Jagodics A., Machon A. & Szabados I. 2011: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás* 115(3): 205–216.
- Führer E. 2017: Az erdészeti klímaosztályok új lehatárolása öko-fiziológiai alapon. (A klímaváltozáshoz alkalmazkodó erdőgazdálkodás kihívásai III.) Erdészeti Lapok 152(6): 173–175.
- Gálos B., Lorenz Ph. & Jacob D. (2009): Klímaváltozás – Szélsőségesebbé válnak-e száraz nyaraink a 21. században? *Klíma-21 füzetek* 57: 56–63.
- Hlásny T., Mátyás Cs., Seidl R., Kulla L., Merganicová K., Trombik J. et al. 2014: Climate change increases the drought risk in Central European forests: what are the options for adaptation? *Lesnický Casopis – Forestry Journal* 60: 5–18. DOI: [10.2478/forj-2014-0001](https://doi.org/10.2478/forj-2014-0001)
- Horváth A. & Mátyás Cs. 2016: The decline of vitality caused by increasing drought in a beech provenance trial predicted by juvenile growth. *South-east European Forestry* 7(1): 21–28. DOI: [10.15177/see-for.16-06](https://doi.org/10.15177/see-for.16-06)
- Illés G. 2018. A klímaváltozás nyomán bekövetkező fatermésváltozás becslése a kocsánytalan tölgy példáján. Erdészettudományi Közlemények 8(1): 105–118. DOI: [10.17164/EK.2018.007](https://doi.org/10.17164/EK.2018.007)

- Lambeth C. 1980: Juvenile-mature correlation in Pinaceae and implications for early selection. *Forest Science* 26(4): 571–580. DOI: [10.1093/forestscience/26.4.571](https://doi.org/10.1093/forestscience/26.4.571)
- Leites L.P., Rehfeldt G.E., Robinson A.P., Crookston N.L. & Jaquish B.C. 2012: Possibilities and limitations of using historic provenance tests to infer forest species growth responses to climate change. *Natural Resources Modeling* 25: 409–433. DOI: [10.1111/j.1939-7445.2012.00129.x](https://doi.org/10.1111/j.1939-7445.2012.00129.x)
- Mátyás Cs. 1990: Adaptation lag: a general feature of natural populations. Invited lecture. Proc., WFGA IUFRO Symp. Olympia, Wash. Paper no. 2.226, 10 p.
- Mátyás Cs. 1994: Modelling climate change effects with provenance test data. *Tree Physiology* 14: 797–804. DOI: [10.1093/treephys/14.7-8-9.797](https://doi.org/10.1093/treephys/14.7-8-9.797)
- Mátyás Cs. 2015: Az alkalmazkodó erdőművelés támogatása. Az Agrárklíma projekt döntéstámogató rendszere. *Erdészeti Lapok* 150(4): 102–104.
- Mátyás Cs. 2016: Guidelines for the choice of forest reproductive material in the face of climate change. FORGER Guidelines, Bioversity International, Rome, 2016. DOI: [10.13140/RG.2.1.1329.3207](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1329.3207)
- Mátyás Cs. (eds) 2017: A klímaváltozáshoz alkalmazkodó erdőgazdálkodás kihívásai. (Cikksorozat az Erdészeti Lapokban) — I. rész 152(4): 102–106; II. rész 152(5): 134–136; III. rész 152(6): 173–177; IV. rész 152(9): 270–272; V. rész 152(10): 306–310.
- Mátyás Cs. & Yeatman C.W. 1987: A magassági növekedés adaptív változatosságának vizsgálata *P. banksiana* populációkban: Investigation of adaptive height growth variation of jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) populations. *Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei* 1987(1): 191–197.
- Mátyás Cs. & Yeatman C.W. 1992: Effect of geographical transfer on growth and survival of jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) populations. *Silvae Genetica* 41(6): 370–376.
- Mátyás Cs., Nagy L. & Újváriné Jármay É. 2007: Klimatikus stressz és a fafajok genetikai válaszreakciója az elterjedés szárazsági határán: elemzés és előrejelzés. In: Mátyás Cs. & Vig P. (eds): Erdő és klíma V. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 241–256.
- Mátyás Cs., Nagy L. & Újvári-Jármay É. 2010: Genetically set response of trees to climatic change, with special regard to the xeric (retreating) limits. *Forstarchiv* 81: 130–141.
- Mátyás Cs. & Sun G. 2014: Forests in a water limited world under climate change. *Environmental Research Letters* 9: 085001. DOI: [10.1088/1748-9326/9/8/085001](https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/8/085001)
- Mátyás Cs. & Kramer K. 2016: Az erdei génkészletek szerepe a klímaváltozáshoz alkalmazkodó gazdálkodásban. *Erdészettudományi Közlemények* 6(1): 7–16. DOI: [10.17164/EK.2016.001](https://doi.org/10.17164/EK.2016.001)
- Mátyás Cs., Berki I., Bidló A., Csóka Gy., Czimmer K., Führer E. et al. 2018: Sustainability of forest cover under climate change on the temperate-continental xeric limits. *Forests* 9(8): 489. DOI: [10.3390/f9080489](https://doi.org/10.3390/f9080489)
- Metzger M.J., Bunce R.G.H., Jongman R.H.G., Múcher C.A. & Watkins J.W. 2005: A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography* 14: 549–563. DOI: [10.1111/j.1466-822x.2005.00190.x](https://doi.org/10.1111/j.1466-822x.2005.00190.x)
- Namkoong G. 1969: Nonoptimality of local races. *Tree Improvement and Genetics – Southern Forest Tree Improvement Conference*, Houston, 149–153.
- Rehfeldt G.E., Leites L.P., Joyce D.G. & Weiskittel A.R. 2017: Role of population genetics in guiding ecological responses to climate. *Global Change Biology* 24(2): 858–868. DOI: [10.1111/gcb.13883](https://doi.org/10.1111/gcb.13883)
- Sáenz-Romero C., Lamy J.B., Ducousso A., Musch B., Ehrenmann F., Delzon S. et al. 2016a: Adaptive and plastic responses of *Quercus petraea* populations to climate across Europe. *Global Change Biology* 23(7): 2831–2847. DOI: [10.1111/gcb.13576](https://doi.org/10.1111/gcb.13576)
- Sáenz-Romero C., Lindig-Cisneros R.A., Joyce D.G., Beaulieu J., St. Clair J.B. & Jaquish B.C. 2016b: Migración asistida de las poblaciones forestales para la adaptación de árboles ante el cambio climático (Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 23(3): 303–323. DOI: [10.5154/r.rchscfa.2014.10.052](https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.10.052)



Sáenz-Romero C., Kóczán-Horváth A., Nagy L., Ujvári-Jármay É., Ducouso A., Kremer A. et al. (): Common garden comparisons confirm inherited sensitivity differences between conifer and broadleaved forest tree species to changing climate. Peer Journal (benyújtva, lektorálás alatt).

Ujvári-Jármay É., Nagy L. & Mátyás Cs. 2016: The IUFRO 1964/68 Inventory Provenance Trial of Norway Spruce in Nyírjes, Hungary – results and conclusions of five decades. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 12(special issue): 178. DOI: [10.1515/aslh-2016-0001](https://doi.org/10.1515/aslh-2016-0001)

Érkezett: 2018. május 1.

Közlésre elfogadva: 2018. május 30.