

Kormeghatározás és éghajlatrekonstrukció faévgűrűk segítségével

Dr. Kern Zoltán – PhD, MTA CSFK; Lendület programvezető, 2ka Paleoklíma MTA-Lendület Kutatócsoport

Az erdész munkájának a fák növekedése az alapja. Ez a növekedés a Föld nagy részén egy aktív (felhalmozási) és egy passzív (nyugalmi) ciklus változásával valósul meg. A növekedési ciklusok pedig jól azonosíthatóan jelennek meg a fatest szöveti képében. Ezeket a növekedési sávokat (évgűrűket) leszámllálva becsülhetjük a fa életkorát. Miután felismerést nyert, hogy az azonos helyen és időben élő egyedek növekedési mintázata hasonló, a változó évgűrűmintázatok szinkronizálására egy önálló kutatási ág alapult, amely széles körű alkalmazási területeivel (régészet, földtudományok) messze túlmutat a klasszikus erdészeti felhasználásokon.

Bevezetés

Az évgűrűk keletkezésének elmélete, azok éghajlattal való kapcsolatának megfogalmazása már *Theophrastus* (~300 Kr.e.) és *Leonardo da Vinci* feljegyzéseiben is előkerült. A korszerű értelemben vett dendrokronológia alapjait azonban *Andrew Ellicot Douglass* (1867–1962) amerikai csillagász dolgozta ki, aki 1901-től kezdett évgűrűelemzésekkel foglalkozni. Arizonai tűlevelű fák évgűrűiben naptevékenységhez kapcsolódó periodicitást keresett, de helyette a csapadékmennyiség ingadozásának évszázados „lenyomatát” találta meg. A folyóirat hasábjain épp húsz évvel ezelőtt látott napvilágot egy tanulmány „Az évgűrű mint természetes információhordozó” címmel (*Grynaeus* et al. 1994). Az akkor leírtak nagy része most is érvényes, ám két évtized elteltével érdemes az erdészeti szakirodalomban is újra helyet engedni egy rövid áttekintésnek, különösképpen az azóta elért új eredmények összefoglalásának.

A dendrokronológia biológiai alapjai

A hajtásvégeken található osztódó szövet (apikális merisztéma) működésének eredményeképp a növények a hajtás hossz tengelyének irányában növekednek. Ez az ún. elsődleges növekedés, mely az egyed morfológiájában igen jól megfigyelhető változást eredményez. A törzs felületén elhelyezkedő osztódó szövet a nyalábkambium. A kambium, osztódása során, a külső oldalon létrehozza a floém sejtjeit, melyek elhalva a kérget alkotják, befelé pedig a xilém sejtjeit, melyek a fatestet építik fel. A kambium működésének eredményeképp a törzs/ág hossz tengely-

lyére merőlegesen, kerülete mentén is növekszik (tkp. vastagodik), ez a másodlagos növekedés. Rövid távon a növény morfológiájában ez szabad szemmel alig megfigyelhető, kisebb változást okoz.

A dendrokronológia a fák azon tulajdonságán alapszik, hogy az egy naptári évben keletkezett növekmény egyetlen jól azonosítható új gyűrűként észlelhető a fa radiális (sugárirányú) keresztmetszetén. Ez a tulajdonság elsősorban a mérsékelt és hideg övben növekvő fákat jellemzi, de gyakori a szubtrópusi területeken is, és a növekedést befolyásoló meteorológiai tényezők (napfénytartam, hőmérséklet, csapadék) erős évszakos változékonyságára vezethető vissza.

Néhány alapfogalom

Részen hiányzó évgűrűről beszélünk, ha egy évgűrű nem fejlődik ki a fa teljes kerületén. Példának okáért egy kiékelődő évgűrű (*1. ábra*) a kiékelődés után már hiányzik.

Hiányzó évgűrűről akkor beszélünk, ha a vizsgált mintában, mely gyakran a

teljes „kör” keresztmetszetnek csupán egy „körcikke”, egy adott évhez tartozó évgűrűt nem tudunk azonosítani.

Álvgűrű: előfordul, hogy a növekedési időszakban a fa növekedése lelassul, és kései pásztára hasonló sejt-szerkezettel jellemezhető szövet keletkezik, majd újra kedvezővé válnak a feltételek a növekedésre, így ismét a korai pásztához hasonló szerkezetű faanyag keletkezik, és a valódi kései pászta csak ezután fejlődik ki (*1. ábra*).

Kronológia: az évgűrűszélességek naptári évekhez rendelt sorozata.

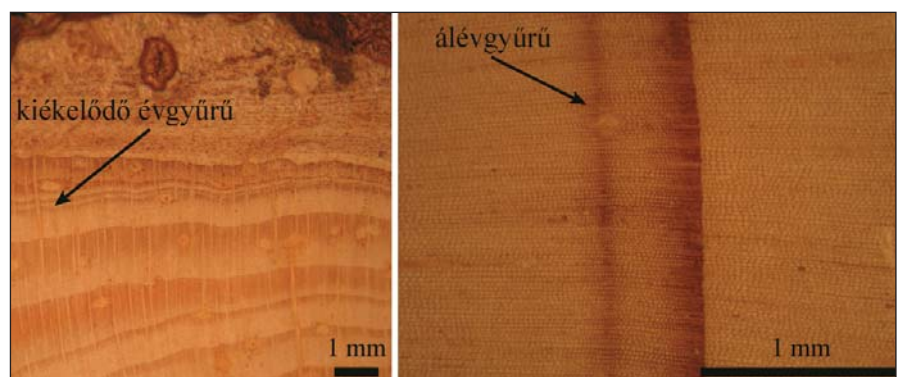
Helyi kronológia: egy adott fafajra, kis területre, 5-10 fa alapján alkotott átlagos kronológia.

Alapkronológia: egy adott fafajra (esetleg nemzetségre), de nagyobb területre vonatkozó, több helyi kronológia alapján létrehozott átlagos kronológia.

Keresztadatolás: az a folyamat/eljárás, amikor két kronológiát szinkronizálunk, azaz megkeressük az egymáshoz rendelhető mintázatokat.

Módszertani alapok

Élő fákból növedékfúróval furatmintát, elhalt fákból fűrészeléssel korongmintát szokás venni. Épületfák mintázásához speciális, száraz fákra alkalmazható fűrőt fejlesztettek. A furat(csap)mintákat tartólécra ragasztják, majd fokozatosan egyre finomabb csiszolóvászonnal dörzsölve, vagy éles pengével vágva készítik elő a felületet a mérésre. Nagy értékű mintákat vagy közvetlenül a hangszer vagy táblakép felületén (pl. *Tóth* et al. 2012), vagy mikrofúróval vett



1 ábra. Az évgűrűszámllálást nehezítő leggyakoribb problémák a kiékelődő évgűrű és az ún. álvgűrű



Fotó: Árvai Mátyás

Közönséges vörösfenyő (*Larix decidua*) évgyűrűszerkezete a Retyezátból

tizedmilliméter átmérőjű mintán vizsgálják. A mérési eljárások között két nagy csoport különböztethető meg. A hagyományosabb a mikroszkóp–mérőasztal–számítógép, három fő elemből összeállított rendszer; míg a modernebb megoldásnál kamera, vagy szkennelőrögzíti a minta képét, és a mérés a képernyőn történik.

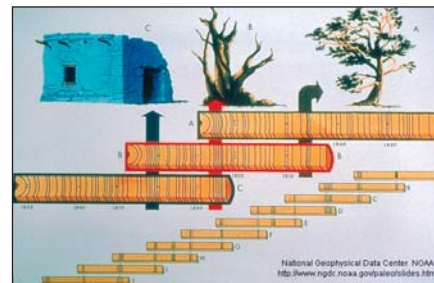
A dendrokronológus azonos korú minták évgyűrűmintázatának összehasonlításával igyekszik pontos naptári évet rendelni minden azonosított évgyűrűhöz. Így lehet létrehozni összehangolt, területileg egységes alapkronológiát. Megbízható kronológia felállításához legalább 5–20 fa mintáit kell feldolgozni, attól függően, hogy mennyire hasonlóak a változások a vizsgálatba vont minták között. A munka során alapvető jelentőségű az említett álévgyűrűk, és hiányzó évgyűrűk körültekintő felderítése, és éppen emiatt lesz a dendrokronológia jóval több,

mint az évgyűrűk egyszerű számlálgatása.

Ha van egy ismeretlen korú mintánk, akkor az abból származó évgyűrűszélességek idősorát egy létező kronológiához (illetve általában egyidejűleg több kronológiához) hasonlítjuk. A legpontosabban egyező átfedést keresztdatálással keressük meg, majd mérleljük, hogy az eredmény elég megbízható-e. A megbízható eredményhez általában 50–100 átfedő évgyűrű szükséges, de erősen váltakozó évgyűrűszélességek esetén már 30 évgyűrűs szakaszt is sikerülhet keltezni. A kormeghatározást az évgyűrűszélességek idősorának váltakozásán túl vizuális összehasonlítás útján nyert kiegészítő adatok is segíthetik, megerősíthetik (pl. keskeny edények egy adott évgyűrű korai pásztaájában, vagy jellegzetes, szokatlan színű kései pászta stb.). Ha az illeszkedést megfelelőnek fogadjuk el, akkor megállapíthat-

juk az ismeretlen korú kronológia legutolsó évéhez tartozó dátumot (2. ábra). Ezután az időben egyesével visszafelé lépegetve az ismeretlen korú kronológia minden évéhez (és egyben az ismeretlen korú faminta minden egyes évgyűrűjéhez) hozzárendeljük keletkezésének pontos naptári dátumát.

Ha a keltezett évgyűrűsorozat tartalmaz korábbi évgyűrűt, mint az addig létező alapkronológia, akkor az új mintát az alapadatok közé sorolva, az alapkronológia hossza növelhető. Így az élő fákból alkotott kronológiához olyan idősebb, holt fákból származó mérési sorokat illesztünk, melyek a meglévő kronológiával jelentős részben átfednek (3. ábra). Ezt a módszert *átlapolási eljárásnak* nevezzük. Ezáltal a fák biológiailag lehetséges élettartamánál lényegesen hosszabb alapkronológia állítható elő.

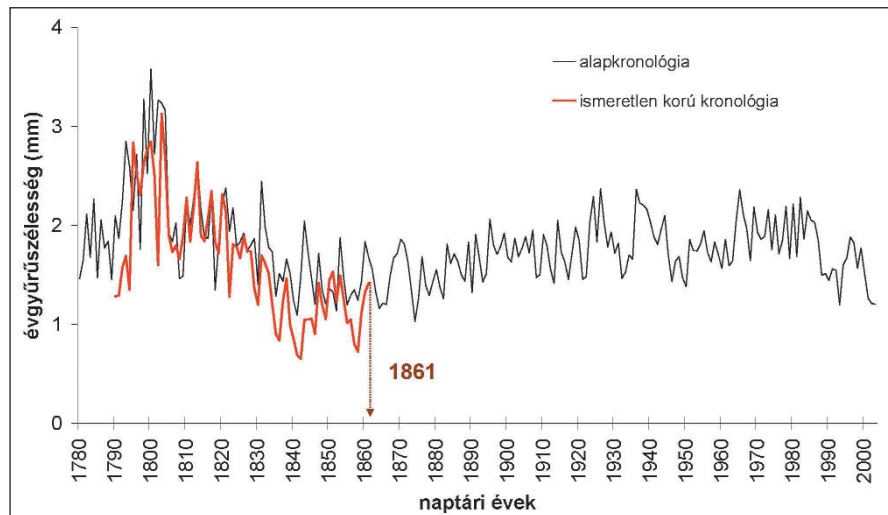


3. ábra. Az élő fákból épített kronológiát idősebb keresztdatálással lehet növelni

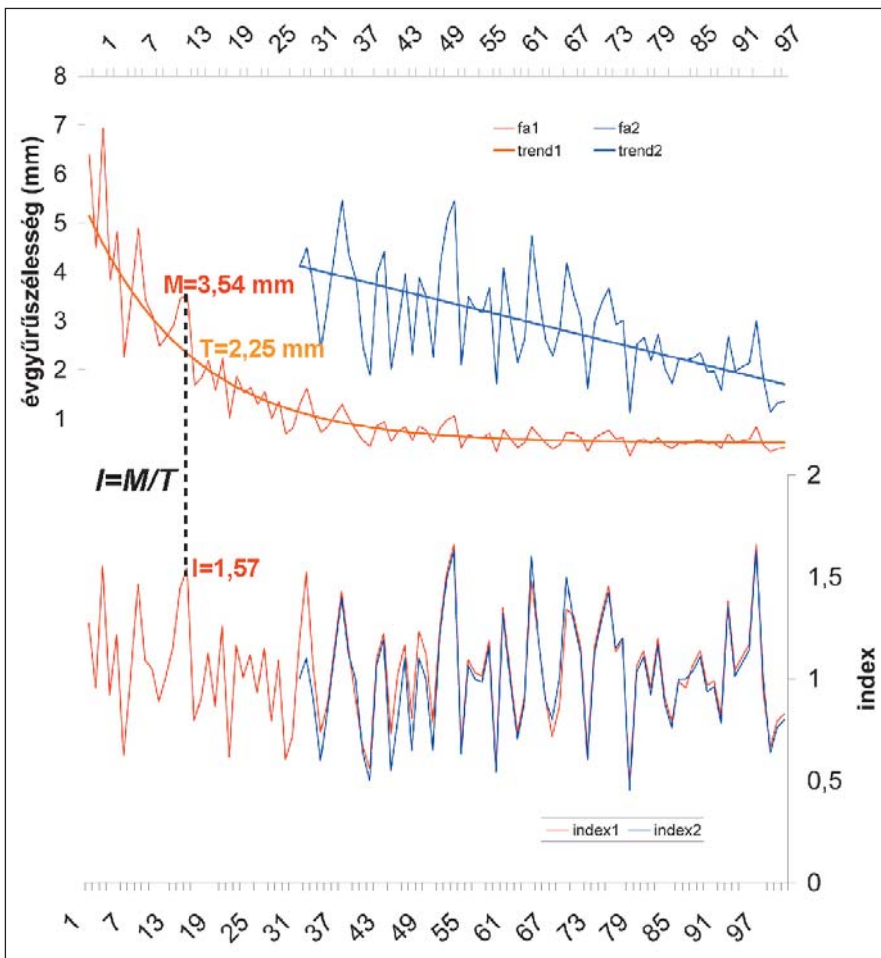
Dendroklimatológia

Általában igaz, hogy faévgyűrűk sokkal hosszabb időszakra állnak rendelkezésünkre, mint a műszeres észlelésből származó meteorológiai adatok. Ugyanakkor a fák növekedését számottevően befolyásolják az időjárási tényezők. Mindebből következik, hogy a faévgyűrűk alapján megkísérelhetjük rekonstruálni bizonyos meteorológiai elemeknek a műszeres méréseket megelőző időszakban történt ingadozásait. A kormeghatározáson túl talán ez a legfontosabb alkalmazási terület. Az éves felbontású, évszázados éghajlati rekonstrukciókban a faévgyűrűk szerepe kiemelkedő (Briffa, 2000).

Az évgyűrű alapú éghajlati rekonstrukciók készítésekor többé-kevésbé szabványszerű lépéseket kell követni. A dendroklimatológia módszertana részletesen megismerhető Fritts (1976) klasszikus munkájából, a területi korlátok most csak a főbb lépések vázlatos bemutatásra nyitnak lehetőséget.



2. ábra. Alapkronológiából rendelt ismeretlen korú kronológia szakaszainak egyezése



4. ábra. Standardizálási példa évgyűrűszélességek mért adatain – a két fa növekedésében nagyon hasonló ingadozások mutatkoztak növekedésük folyamán

Standardizálás

Már a kezdetekben felismerték, hogy még az azonos helyen növekedett fák évgyűrűszélesség-adatai is gyakran különbözőek, melynek magyarázata a fák korában, eltérő kompetíciós helyzetében, illetve a mikrokörnyezeti különbségekben kereshető. Ezért az évgyűrűszélesség adatait „módosítani”

kell, mielőtt a különböző területeket egymással vagy meteorológiai adatok idősoraival hasonlítjuk össze.

Ennek a „módosításnak” a neve standardizálás, melynek célja, hogy az évgyűrűszélesség adataiból a nem klimatikus trendeket (pl. öregedés) és eseményeket (erdődinamika, kártevők hatása stb.) kiszűrjük. A standardizálás során

az évgyűrűszélesség adatait mértékegység nélküli indexekké alakítjuk át. A mérésel nyert évgyűrűszélesség idősorhoz illesztünk egy, az átlagos növekedési menetet közelítő függvényt (bővebben, pl. Cook et al. 1990), majd évről évre képezzük a mért évgyűrűszélesség és a növekedést becsülő függvény által felvett érték hányadosát (4. ábra).

Klímakapcsolat keresése

Az átlagolt indexeket valamely közeli állomás havi felbontású meteorológiai adataival (pl. havi csapadékösszeg) lehet összehasonlítani. Statisztikai módszerek segítségével kell eldönteni, hogy az évgyűrűindexekben tapasztalt változásokhoz mely meteorológiai elem ingadozása hasonlít a leginkább. Általános szabály, hogy nemcsak annak az esztendőnek a meteorológiai adatait kell figyelembe venni, amikor az évgyűrű keletkezett, hanem a megelőző évet is. Ennek az a magyarázata, hogy az időjárási tényezők produkcióra kifejlesztett hatása, bizonyos tényezők miatt, mint pl. a talaj vízraktározó kapacitása, a növény szénhidrátartalékai, késleltetve jelentkezik.

Ezután a meteorológiai adatokkal lefedett időszakot két részre osztjuk. Az egyik részidőszakban függvénykapcsolatot keresünk és állítunk fel az évgyűrűindexek, valamint a legszorosabb kapcsolatot mutató klímaméter között (*kalibráció*). Ezután a másik részidőszakban ennek a függvénynek a segítségével az évgyűrűindexekből becsüljük a klímamétert, és ezeket a számított értékeket a részidőszakra vonatkozó valódi (mért) értékekhez hasonlítjuk. Ismét statisztikai módszerek segítenek annak eldöntésében, hogy az évgyűrűindexekből számított értékek elfogadhatóan tükrözik-e az eredeti adatok változékonyságát, szélsőségeit, átlagos menetét (*verifikáció*).

Az egyik leggyakrabban vizsgált paraméter a hőmérséklet. Általában a növekedési időszak átlagos, vagy maximális hőmérsékletét lehet rekonstruálni faévgyűrűk alapján.

A csapadék esetében sokkal változatosabb a kép. A kutatási területre jellemző éven belüli csapadékeloszlástól, illetve a vizsgálatba vont fafaj élettani sajátosságaitól függően sokféle rekonstrukciót találunk a szakirodalomban. Általánosságban elmondható, hogy akkor kínálkozik jó esély az évgyűrű alapú éghajlatrekonstrukcióra, ha a vizsgált évgyűrű-paraméter csupán egyetlen éghajlati elem változását tükrözi.



Fotó: Árvai Mátyás

Havasi cirbolyafenyő (*Pinus cembra*) évgyűrűszerkezete a Retyezátból

Táblázat. Jelentősebb bosszúságú kronológiák a Kárpát-medencéből és tágabb környékéről (2014. január 1-i ismeretek szerint)

Fafaj	Terület	Hossz (év)	Lefedett időszak	Referencia
Vörösfenyő	Tátra	1049	963-2011	Büntgen et al. 2013
Tölgy	Bécsi-medence	832	1172-2003	Geihofer et al. 2005
	közép- magyarországi	625	1370-1994	Grynaeus 2011
	Udvarhelyszék	483	1360-1842	Tóth et al. 2013
Jegenyefenyő	Morva-medence	683	1325-2007	Büntgen et al. 2011
	Kelet-Ausztria	1022	977-1998	Geihofer et al. 2005
Cirbolyafenyő	Kelemen-havasok	1010	996-2005	Popa és Kern 2009

Hazai eredmények

Magyarországon a tudományos igényű évgűrűvizsgálatokat a '70-es években kezdték, azonban az első munkák jellemzően egyedi minták elemzésére, illetve egyes környezeti körülmények meghatározására korlátozódtak (pl. *Majer, 1972*).

A régészeti faanyagok datálása iránti igény indította útjára a '90-es években hazánkban is a rendszeres dendrokronológiai vizsgálatokat, de ezeket, régészeti jelentőségük okán, kizárólag a tölgyekre összpontosították (*Grynaeus, 1995*). *Grynaeus* (2004) kidolgozta az Északi-középhegységet és Észak-Alföldet lefedő „közép-magyarországi tölgy alapkronológiát”, amelynek érvényességi tartománya átnyúlik a Pilis és a Budai-hegység területére, továbbá kimutatta az Alpokalja, és a Bécsi-medence közti kapcsolatot. A lokális tölgykronológiák összehasonlítása a Dunántúltra mozaikos képet rajzolt elénk. *Dávid és Kern* (2007) szerint a Gerecse is a „közép-magyarországi tölgy alapkronológia”, zónába vonható, de a Bakonyra az már nem terjeszthető ki. A Dunántúl lokális tölgykronológiáinak rendszerét még vizsgálják.

A hazai régészeti feltárásokon előkeült faleteken már több sikeres dendrokronológiai kormeghatározás történt (pl.: *Ilon et al. 2001*; *Kertész et al. 2005*). Emellett külön említést érdemelnek az erdészeti (*Szabados, 2007*) és a restaurátori (*Morgós, 2007*) szempontú alkalmazások. Azonban még hazánkban is jelentős kiaknázatlan kutatási lehetőség rejlik az évgűrűszélességek és a klímaelemek kapcsolatának vizsgálatában.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet az MTA „Lendület” program támogatásáért (LP 2012 27/2012). Ez a közlemény a 2ka *Palaeoclimatology Kutatócsoport 14. számú publikációja*.

Irodalomjegyzék:

Briffa, K. R. (2000): Annual climate variability in the Holocene: Interpreting the message of ancient trees. – *Quaternary Science Reviews* 19: 87–105.

Büntgen, U. – Kyncl T. – Ginzler C. – Jacks DS. – Esper J. – Tegel W. – Heussner

KU. – Kyncl J (2013): Filling the Eastern European gap in millennium-long temperature reconstructions. – *Proceedings of the National Academy of Science* 110: 1773-1777.

Büntgen U. – Brazdil R. – Dobrovolsky P. – Trnka M. – Kyncl T (2011): Five centuries of Southern Moravian drought variations revealed from living and historic trees. – *Theoretical and Applied Climatology* 105: 167-180.

Cook, E. – Briffa, K. – Shiyatov, S. – Maza-pa, V. (1990): Tree-ring standardization and growth-trend estimation. In.: Cook, E. – Kairiukstis, L. (szerk.): *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. – *Kluwer Academic Publishers*, pp. 104–162.

Dávid Sz. – Kern Z. (2007): Keleti-bakonyi és gerecsei tölgyek dendrokronológiai és dendroökológiai vizsgálata. – In: Gömöri J. (szerk.): *Az erdő és a fa régészete és néprajza*. – *Sopron*, pp. 103-122.

Fritts, H. C. (1976): Tree rings and climate. – *Academic Press*, p.567.

Geihofer, D. – Grabner, M. – Gelhart, J. –

Wimmer, R. – Fuchsberger, H. (2005): New master chronologies from historical and archaeological timber in Eastern Austria. – *EuroDendro2005*, Abstract book

Grynaeus A. (1995): Dendrochronological research in Hungary (Present status as of May 1995 and Future Development) – *Dendrochronologia* 13: 135–138.

Grynaeus A. (2004): A magyarországi dendrokronológiai kutatás eredményei és újabb kérdései. – *Monumenta Historica Budapestinensia* XIII. „Es tu scholaris” Budapesti Történelmi Múzeum pp. 87–102.

Grynaeus A. (2011): Dendroclimatology facere, necesse est! Dendrokronológia és/vagy dendroklímátológia? In: Kázmér M. (szerk.): *Környezet-történet II. Környezeti*

események a honfoglalástól napjainkig történelmi és természettudományi források tükrében. Hantken Kiadó, Budapest, 185-193

Grynaeus A. – Horváth E. – Szabados I. (1994): Az évgűrű mint természetes információhordozó. – *Erdészeti Lapok* 129: 203-205.

Ilon G. – Grynaeus A. – Torma A. (2001): A szentgotthárdi török kori palánk kutatásáról. – *Vasi bonismereti és helytörténelmi közlemények* 28 (4): 29–46.

Kertész R. – Morgós A – Nagy D. – Szántó Zs. 2005 Hódoltság kori cölöphidak a Tiszán. – *Műemlékvédelem* 49: 13-28.

Majer A. 1972: Évgűrű-kronológia. *Az Erdő* 21: 164-171.

Morgós A. 2007: Faanyagok kormeghatározása - dendrokronológia és a magyarországi helyzet. – In: Gömöri J. (szerk.): *Az erdő és a fa régészete és néprajza*. – *Sopron*, pp. 31-88.

Popa, I. – Kern, Z. 2009: Long-term summer temperature reconstruction inferred from tree-ring record from the Eastern Carpathians. – *Climate Dynamics* 32: 1107-1117.

Tóth B. – Botár I. – Grynaeus A. (2012): A csíkszentdomokosi „Mária megkoronázása” táblakép dendrokronológiai vizsgálata. A Csíki Székely Múzeum Évkönyve VIII: 151-158.

Tóth B. – Grynaeus A. – Botár I. (2013): Dendrokronológiai kutatások Erdélyben. – *Magyar Régészet* (http://www.magyarregeszett.hu/wp-content/uploads/2013/10/Botár_130.pdf)

Szabados I. 2007: Időjárás fluktuáció hatása a produkcióra dendrokronológiai kutatások alapján. – In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): *Erdő és Klíma* 5. – *Sopron*, pp. 259-306. 🌳

Kiváló minőségű vadragás elleni védelem az év minden szakára!

✓ mechanikus
✓ kémiai
✓ biológiai

WAM EXTRA rosarot

- ✓ őz, szarvas és muflyon téli vadragás elleni védelem
- ✓ egyszerűen felhordható
- ✓ használatra kész
- ✓ kis mennyiségben használható
- ✓ lombos és tűlevelű fákhöz



ÚJ!
5 kg
veder!

WWW.GRUBE.HU

GRUBE Üzlet és bemutatóterem: Grube Kft. • 2030 Érd, Kadarka u. 1.
Telefon: +36 23 521-670 • Mobil: +36 30 670-85-00 • E-mail: info@grube.hu