

Összegzés Kohyama ('93) esőerdő modelljéről

Laczkó Zoltán

április 26, 2015

Jelen összegzés Takashi Kohyama: *Size-structured tree populations in gap-dynamic rain forest-the forest architecture hypothesis for the stable coexistence of species* című 1993-as Journal of Ecology folyóirat 81-es számában megjelent cikke alapján íródott, az ábrák is a cikkből származnak.

Célkitűzés

A cikk az esőerdőkben megfigyelt fák faji diverzitásának megmagyarázását tűzi ki célul, melyet az addigiaknál jobb modell felépítésével ér el. A cikk szerzője a modell következményeit komoly számításigényű szimulációk segítségével vizsgálta.

Bevezető

A fák fejlődését elsődlegesen az erdő függőleges felépítése határozza meg, ugyanis az határozza meg, hogy a fák mennyi fényhez jutnak. Esőerdőkben a legmagasabb fák képzik az erdő zárt lombkoronáját, lényegesen lecsökkentve a lombkorona alatt élő alacsonyabb fák leveleire jutó fény mennyiséget. Csökkent fény mennyiségben azok lassabban nőnek, nagyobb valószínűséggel pusztulnak el, és kevesebb mag fejlődik fává.

A cikk egyik központi fogalma a résképződés jelensége, ami akkor következik be, ha valamilyen oknál fogva (termeszek, betegségek, emberi tevékenység) az erdő lombkoronáját alkotó legmagasabb fák közül némelyik kidől. Az így kialakult kisebb-nagyobb rés a lombkoronán felborítja az erdő lokális jellegét, ugyanis a lombkorona hiánya megnöveli az alacsonyabb rétegekre jutó fény mennyiséget, megváltoztatja a páratartalmat, de a kidőlt fa gyökere jellemzően kifordul, ezzel megváltoztatva a talajban lévő tápanyagok elhelyezkedését is. Ez a folyamat -gyakorisága miatt- esőerdei fák populációinak dinamikáját alapvetően befolyásoló tényező, ezért a cikkben tárgyalt modell részét képezi.

Az esőerdők vízszintes felépítése a résképződés miatt inhomogén, ugyanis különböző pontjai az időszakosan bekövetkező résképződés utáni "regeneráció" folyamatának különböző stádiumában vannak. Megjegyzendő, hogy a résképződés véletlenszerű, természetes, kis méretskálán lejátszódó folyamat, és nem összetévesztendő a vulkánkitörések, erdőtüzek, stb. miatti katasztrofikus erdőkihalásokkal.

Korábbi tapasztalatok

A szerző korábbi cikkeiben bemutatott egy az erdő függőleges struktúráját leíró modellt, melyben a fényért történő egyoldalú versengés elnyomta az alacsonyabb fák növekedését, és a magok kifejlődését. A modellel történt szimulációk eredménye alapján azt kapta, hogy fajátlagolt esetben a fák méret-eloszlása stabil konfigurációhoz vezetett. A modell több fajra vonatkozó változata pedig egy stabil együttlélési pont létezését mutatta ki, melynek stabilitását növelte az egyoldalú versengés, míg a kétoldalú csökkentette. Az egyoldalú versengés (elnyomás) mértékét a vizsgált fánál magasabb fák kummulált törzskeresztmetszetével vette figyelembe, ugyanis a fák lombkoronájának mérete nehezen állapítható meg, szemben törzsük keresztmetszetével. A modell a különböző fajok közti versengést leíró Lotka-Volterra együtthatókat elhanyagolta.

A meglévő méret-eloszlást leíró modellhez képest ez a cikk annyi újítást tartalmaz, hogy explicit módon figyelembe veszi a résképződést. Különböző katasztrofikus folyamatokat vizsgáló cikkekben már szerepelt egyfajta résképződési mechanizmus, ám azokból a méret-eloszlás leírása hiányzik (bennük az nem játszik szerepet).

A cikk másik alapfogalma a faállomány, ez az erdő egy adott helyen lévő, hasonló felépítésű, állapotú, és fajtájú fákból álló területe. Egy faállomány jellemzője, hogy résképződéstől számított kora nem egyezik meg a benne lévő fák korával, ugyanis a résképződésnél nem minden fa hal ki, a megmaradó fák pedig hozzájárulnak a rés beépüléséhez.

Jelen modell

A jelen modell két almodellből áll, egyikük a különböző faállományok koreloszlását írja le, figyelembe véve a résképződést. A másik pedig a fák, adott korrallal jellemezhető faállományonkénti méret eloszlásának időbeli változását írja le. A cikkben a modell két válfaja kerül bemutatásra, az egyik fajátlagolt rendszerre érvényes míg a másik több fajból álló rendszerekkel foglalkozik. A fák növekedését, túlélését, valamint a magok fejlődését az erdő lokális sűrűsége határozza meg, melyet a már említett módon, az adott egyednél magasabb fák törzsének kummulált keresztmetszetével vesszünk figyelembe. A magokból új fák fejlődésének gyakoriságát -a vizsgált faállományok kis mérete miatt- arányosnak vesszük az adott faj teljes erdőre jellemző törzskeresztmetszetével. A fák halála, vagy fényszegény környezet miatti elnyomás, vagy a résképződésnek tudható be. Végezetül a résképződést túlélő fák hozzájárulnak a rés regenerációjához.

A használt modell részletes leírása

A következőkben bemutatom a használt modell két almodelljét.

Faállomány koreloszlása

Legyen $s(t, a)$ a résképződéstől számított a korú faállományok gyakorisága a t időpillanatban. $s(t, a)$ időfejlődését az ún. Von Forester egyenletek írják le:

$$\frac{\partial s(t, a)}{\partial t} = -\frac{\partial s(t, a)}{\partial a} - \gamma(a) s(t, a)$$

$$s(t, 0) = \int_0^{\infty} \gamma(a) s(t, a) da$$

Az egyenletekben szereplő $\gamma(a)$ leírja, hogy egy a korú faállomány mekkora valószínűséggel változik 0 korúvá, vagyis milyen valószínűséggel játszódik le benne résképződés. Az első

egyenlet leírja, hogy $s(t, a)$ két okból változik az időben, egyik a faállomány öregedése miatti $-\frac{\partial s(t, a)}{\partial a}$ tag, másik pedig a résképződés lehetősége miatti (az a korú faállományok számával arányos) $-\gamma(a)s(t, a)$ tag. A második egyenlet azt mondja ki, hogy az elhalt állományok azonnal újraélednek.

Az ilyen konzervatív rendszerek speciális esetektől eltekintve idővel mindig egy stacionárius eloszláshoz konvergálnak.

Az állományok résképződési gyakoriságát leíró γ függvény ugyan az állomány fájának méret összetételétől függ, ám jelen modellben ettől eltekintve csak az állomány korától vesszük függőnek, mégpedig a következőképpen:

$$\begin{aligned}\gamma(a) &= 0 & a < a_c \\ \gamma(a) &= g & a \leq a_c\end{aligned}$$

vagyis a lombkorona bezáródását jelentő a_c kritikus korig nulla valószínűséggel következik be a résképződés, míg utána állandó g valószínűséggel.

Faméret eloszlás

Fajátlagolt rendszer

A fajátlagolt esetben a faméret eloszlást leíró almodell empirikus demográfiai függvényeket használ, melyeket fajfüggetlen felmérésekből nyertek. Legyen $f(t, a, x)$ a t időpillanatban a korú, x törzsátmérőjű fák eloszlás-sűrűsége az erdő valamely területén, fajtól függetlenül. $f(t, a, x)$ időfüggését a következő egyenlet írja le:

$$\frac{\partial f(t, a, x)}{\partial t} = \frac{\partial f(t, a, x)}{\partial a} - \frac{\partial [G(t, a, x) f(t, a, x)]}{\partial x} - M(t, a, x) f(t, a, x)$$

melyben $G(t, a, x)$ a t időpillanatban az a korú állományban lévő x törzsátmérőjű fák átlagos növekedési gyorsasága, $M(t, a, x)$ pedig ugyanazokkal a paraméterrel leírható fák átlagos halálzási gyakorisága. Mivel az egyenletben szereplő a nem a fa kora, hanem a fát tartalmazó állományé, ezért a modell lehetőséget biztosít arra, hogy a résképződést túlélő, különböző méretű fák jelen legyenek a résben $a = 0$ -kor, valamint hogy egy x_0 minimális méretet elérő palánta bármely a korban bekerüljön az állományba. Az $M(t, a, x)$ halálzási tag két részre bomlik:

$$M(t, a, x) = \gamma(a) + \mu(t, a, x)$$

melyben $\gamma(a)$ a résképződés miatt elvesző fák arányát jelöli, $\mu(t, a, x)$ pedig a fényhiány miatti elhalálzási arányát. Ezekből egy fa tényleges halálzási gyakorisága $M(t, a, x) - n(x)\gamma(a)$ ugyanis a második tagnak megfelelő hányaduk túléli a résképződést.

Ezeket a folyamatokat veszi figyelembe a következő két határfeltétel:

$$f(t, 0, x) = n(x) \int_0^{\infty} \gamma(a) f(t, a, x) da$$

$$G(t, a, x_0) f(t, a, x_0) = R(t, a, x_0) s(t, a)$$

melyben $n(x)$ a méretspecifikus résképződési túlélési valószínűség, $R(t, a, x_0)$ pedig adja a t időpillanatban az a korú állomány egységnyi területén x_0 minimális állományméretet elérő palánták rátáját. Az első egyenletben szereplő $\int_0^{\infty} \gamma(a) f(t, a, x) da$ arányos a t időpillanatban a résképződésben résztvevő x méretű fák számával, melynek $n(x)$ hányada éli túl a résképződést, ezzel a 0 korú x méretű fák számát adva. A második egyenlet tulajdonképpen azt írja le, hogy a minimális méretű palánták növekedési gyorsasága megegyezik keletkezési gyorsaságukkal (kontinuitás).

Egy kiválasztott fa fényhiány miatti elnyomását a nála magasabb fák kummulatív törzsátmérőjéből számolhatjuk, ugyanis ez nagyjából arányos azok lombsűrűségével. A modellben egy a korú állomány egységnyi területére eső x -nél nagyobb törzskeretszmetet a következőképpen definiáljuk:

$$B(t, a, x) = \frac{\pi}{4s(t, a)} \int_x^{x_{max}} y^2 f(t, a, y) dy \quad \text{ha } s(t, a) > 0$$

$$B(t, a, x) = 0 \quad \text{ha } s(t, a) = 0$$

melyben x_{max} az állománybeli maximális törzskeretszmetet jelöli. Az egyenletek $s(t, a)$ -val normálva vannak, ugyanis $f(t, a, x)$ egységnyi területre definiált. Az egész erdőre vonatkoztatott törzskeretszmetet:

$$B_0 = \int_0^{\infty} B(t, a, x_0) s(t, a) da$$

A fenti egyenletekben szereplő demográfiai függvényeket empirikus úton, esőerdőkben végzett felmérések által határozták meg, ezek a következőknek adódtak:

$$G(t, a, x) = x [b - b_1 \ln x - b_2 B(t, a, x)]$$

$$\mu(t, a, x) = 0 \quad \text{ha } c > c_1 B(t, a, x)$$

$$\mu(t, a, x) = -c + c_1 B(t, a, x) \quad \text{ha } c \leq c_1 B(t, a, x)$$

$$R(t, a, x) = dB_0 \exp[-d_1 B(t, a, x)]$$

melyek közül az első egyenlet egy empirikus formula, a második és harmadik leírja, hogy csak egy c/c_1 törzskeresztszűrésnek megfelelő lombosítás felett van elnyomó hatása a magasabb fáknak az alattuk lévőkre, a negyedik pedig, hogy a minimális állományméretet elérő palánták száma arányos a teljes erdőre vonatkoztatott törzskeresztszűréssel, és a lokális törzskeresztszűrés egy empirikus függvényével.

A résképződést várhatóan a kisebb méretű fák élik túl gyakrabban, ugyanis ezek tudják sikerebben elkerülni a lombkoronát alkotó magas fák kidőlését, bár a palánták várhatóan gyakrabban haláloznak el a páratartalom csökkenése miatti kiszáradás következtében. Ezen folyamatok fiziológiai leírása jelenleg reménytelen, a modell az

$$\begin{aligned} n(x) &= 1 - \frac{x}{x_c} & x < x_c \\ n(x) &= 0 & x \geq x_c \end{aligned}$$

összefüggéseket használja, melyekben x_c a réskeletkezésért felelős fák minimális törzsmérete.

Több fajból álló rendszer

A modell kiegészíthető több fajból álló ökoszisztémára, melyben a nem elsődleges¹ fajták versenyeznek egymással, érvényben hagyva az faállomány koreloszlását leíró almodellt.

A faméret eloszlást leíró almodell annyiban változik, hogy a fajspecifikus függvények a fajoknak megfelelő indexeket kapnak:

$$\frac{\partial f_i(t, a, x)}{\partial t} = \frac{\partial f_i(t, a, x)}{\partial a} - \frac{\partial [G_i(t, a, x) f_i(t, a, x)]}{\partial x} - M_i(t, a, x) f_i(t, a, x)$$

$$M_i(t, a, x) = \gamma(a) + \mu_i(t, a, x)$$

$$f_i(t, 0, x) = n(x) \int_0^\infty \gamma(a) f_i(t, a, x) da$$

$$G_i(t, a, x_0) f_i(t, a, x_0) = R_i(t, a, x_0) s(t, a)$$

A fényhiány általi elnyomást leíró mennyiség a fajtákra vett összege az eddigiek:

$$B(t, a, x) = \sum_i B_i(t, a, x) = \frac{\pi}{4s(t, a)} \sum_i \int_x^{x_{max}} y^2 f_i(t, a, y) dy \quad \text{ha } s(t, a) > 0$$

$$B(t, a, x) = 0 \quad \text{ha } s(t, a) = 0$$

¹elsődleges fajták -pioneer species- alatt azokat a fajtákat értjük melyek elsőként nőnek be a korábban megzavart, sérült ökoszisztémát

Az egyes fajok törzskeresztmetszete az egész erdőre vonatkoztatva:

$$B_{0i} = \int_0^{\infty} B_i(t, a, x_0) s(t, a) da$$

Az empirikus függvények is indexeket kapnak a következő módon:

$$G_i(t, a, x) = x [b_i - b_{1i} \ln x - b_{2i} B(t, a, x)]$$

$$\mu_i(t, a, x) = 0 \quad \text{ha } c_i > c_{1i} B(t, a, x)$$

$$\mu_i(t, a, x) = -c_i + c_{1i} B(t, a, x) \quad \text{ha } c_i \leq c_{1i} B(t, a, x)$$

$$R_i(t, a, x) = d_i B_{0i} \exp[-d_{1i} B(t, a, x)]$$

A fajták közti különbségeket tehát a fajspecifikus függvényekben szereplő együtthatók különbségével vesszük figyelembe. Az utolsó egyenlet azt írja le, hogy egy faj minimális állományméretet elérő palántáinak száma arányos az adott faj teljes erdőre vonatkoztatott törzskeresztmetszetével, és elnyomott az állományban lévő összes faj együttes lokális törzskeresztmetszetével. Ugyan a részképződést különböző fajok eltérő valószínűséggel élik túl, a hiányzó adatok miatt a modell az összes fajra azonos $n(x)$ függvényt használ.

Terepadatok

A cikk szerzője a Dél-Japán Yakushima-sziget örökzöld esőerdőiből gyűjtött adatokat. Minden 2 cm-nél szélesebb törzsátmérű fát megjelöltek a vizsgált területen, és feljegyezték azok halálózását, növekedési rátáját, és a 2 cm-es mérethatárt előző új palánták számát. Összesen 4400 m^2 területű zárt lombkoronás állományt vizsgáltak és 6260 m^2 területű lombkorona réssel rendelkező területet. A vizsgált területek 20 méter magas fákkal voltak fedve, melyek átlagos keresztmetszete 60 cm^2/m^2 , földfeletti átlagos biomasszájuk pedig 30 kg/m^2 volt.

A lombkoronát alkotó domináns faj a *Distylium racemosum* volt, a modell több fajra vonatkozó válfaja emellett az előfordulási rangsorban következő al-lombkoronabeli *Illicium anisatum* L. (Illiciceae) és a lombkorona alatti *Eurya japonica* Thunb. (Theaceae) fajokat vette figyelembe. Ezek a fajok szolgáltatották az erdő fájának 37%-át, és a teljes törzsátmérő 48%-át.

A szimuláció során felhasznált paraméterek a következők voltak:

paraméter	mértékegység	minden fára	<i>Distylium racemosum</i>	<i>Illicium anisatum</i>	<i>Eurya japonica</i>
g	$1/\text{év}$	0,017	-	-	-
a_c	év	40	-	-	-
b, b_i	$1/\text{év}$	0,059	0,042	0,063	0,052
b_1, b_{1i}	$1/(\text{év} \cdot \ln \text{cm})$	0,012	0,0085	0,014	0,015
b_2, b_{2i}	$\text{m}^2/(\text{cm}^2 \cdot \text{év})$	0,00041	0,00022	0,00046	0,0003
c, c_i	$1/\text{év}$	0,008	0,008	0,008	0,008
c_1, c_{1i}	$\text{m}^2/(\text{cm}^2 \cdot \text{év})$	0,00044	0,00018	0,00044	0,00051
d, d_i	$\text{cm}^2/\text{év}$	0,00073	0,00014	0,0025	0,0088
d_1, d_{1i}	m^2/cm^2	0,044	0,044	0,044	0,044
x_c	cm	30	30	30	30

A fajták jellemzői leolvashatók a táblázatból, például az $\exp(b_i/b_{1i})$ mennyiséggel definiált potenciális maximális törzsátmérő a *Distylium*, *Illicium*, *Eurya*, fajokra rendre 140, 90, 32 cm-nek adódik, ami megfelel a megfigyelhető méreteknek. b_i paraméter értéke alapján az *Illicium* faj növekedhet leggyorsabban, míg a *Distylium* leglassabban. b_{2i} paraméter alapján az *Illicium* faj legérzékenyebb a fényhiányra, míg a *Distylium* a legkevésbé érzékeny. A c_{1i} és d_i paraméterek alapján a legalacsonyabb *Eurya* faj fényhiány miatti halálozási aránya és új állománybeli egyedek megjelenési rátája is a legmagasabb, míg ugyanezen mennyiségek legalacsonyabbak a legmagasabbra nőző *Distylium* fajra.

Szimuláció

Az almodellek bonyolultsága miatt reménytelen azok analitikus megoldása ezért a cikk szerzője szimulációt felhasználva oldotta meg a modellt. Az eredetileg folytonos idő- és méretváltozókat szeletekre osztotta, melyek mérete:

változó	minimális szelet
t	8 év
a	20 év
x	8 cm
x_0	2 cm

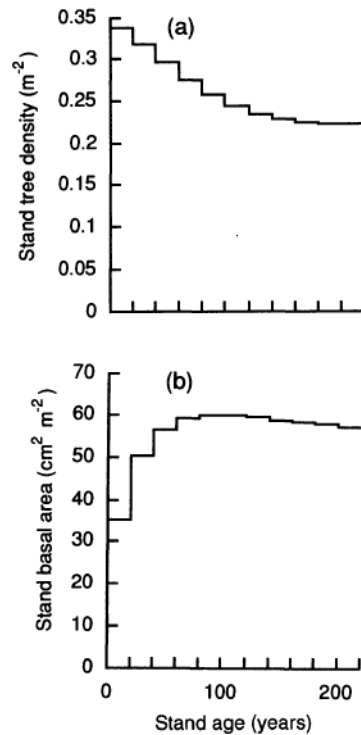
Ugyan a modell alapján nincs maximális faállomány életkor, de az öregedéssel exponenciálisan csökken azok gyakorisága, ezért a 200 évnél öregebb faállományokat egy korcsoportként kezeljük. A cikk szerzője a kevésbé számításgényes szimulációkat személyi

számítógéppel végezte, míg a későbbiekben tárgyalandó együttélési feltételekkel kapcsolatos szimulációkat a kyoto-i egyetem szuperszámítógépén hajtotta végre.

Eredmények

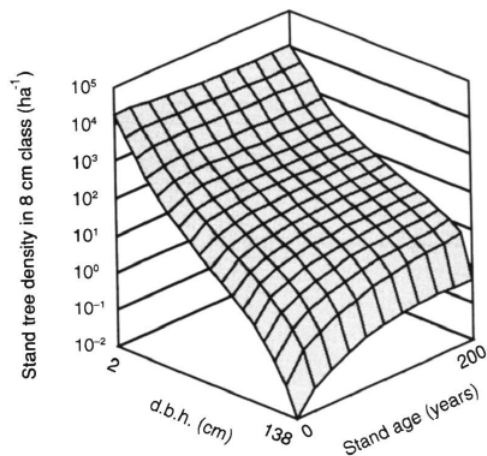
Fajátlagolt rendszer

A szimuláció $t = 0$ időpontbeli kezdetén az egész erdőt 0-20 éves korcsoportba soroljuk, $0,001 \text{ m}^{-2}$ -es fasűrűséggel, a legkisebb faátmérő osztályban. 300 szimulált év után a törzskeresztmetszet minden állományban és az egész erdőben is egyensúlyi állapothoz konvergált. Különböző kezdeti feltételek mellett elindított szimulációk ugyanehhez az egyensúlyi állapothoz konvergáltak, mutatva annak globális stabilitását. A következő ábrákon láthatók az egyensúlyi állapotbeli faállományok fasűrűség eloszlása, és törzsméret eloszlása:

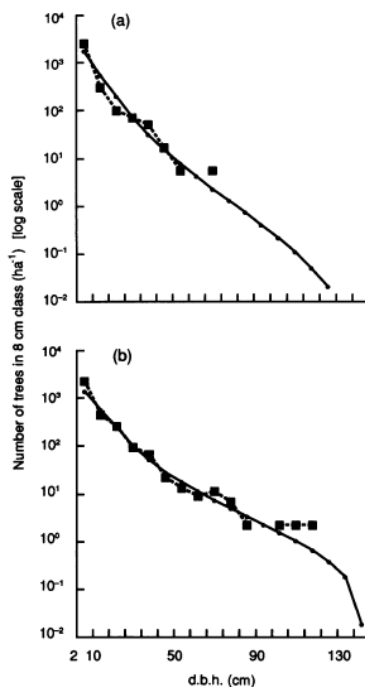


A következő ábrán látható az állományok egyensúlyi méreteloszlása²:

²A stand szó jelenti az állományt, d.b.h. pedig a törzsméretet egy bizonyos magasságnál



A szerző összehasonlította a szimuláció eredményét a természetben megfigyelt faméret eloszlással. A résekben megfigyelt eloszlást a szimuláció 0-20 éves állománykorú eredményével hasonlította össze, ugyanis azt találta, hogy a rések kora mind ebbe a tartományba esett, míg a zárt lombkoronájú állományokbelül a 20 év feletti korúakéval. A mért és szimulált eredmények láthatóan jó egyezést mutatnak³:

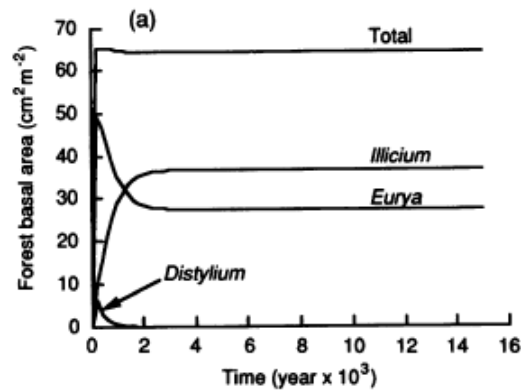


³A folytonos vonal jelöli a szimuláció eredményét, míg a nagyobb fekete négyzetek a mérési pontokat

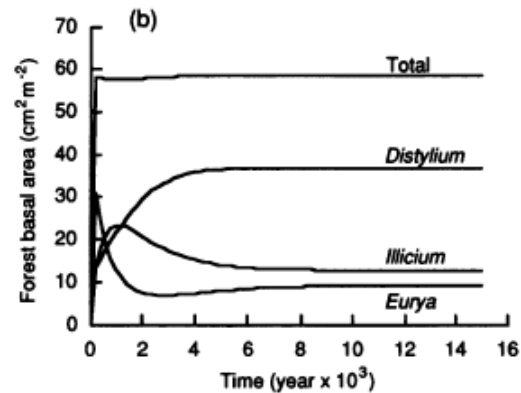
Figyelemre méltó az egyezés, ugyanis a szimulációk nem használtak fel mért méreteloszlás értékeket (vagyis nem a mért görbére illesztett, hanem attól független paramétereket felhasználva kapott jó egyezést)

Több fajból álló rendszer

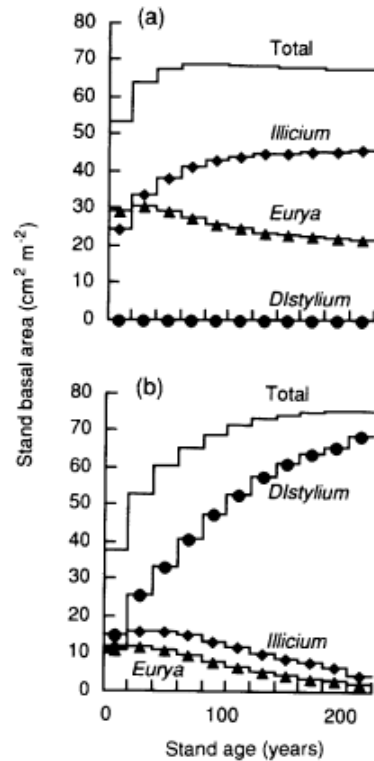
A következő ábra mutatja a három fajból álló rendszer szimulációjának eredményét az alábbi kezdőfeltételek mellett: $t = 0$ -nál az egész erdő 0-20 év közötti, a *Distylium* faj kezdeti sűrűsége $0,01 m^{-2}$, az *Illicium* és *Eurya* fajoké pedig egyaránt $0,001 m^{-2}$ volt, minden fával a legkisebb törzsátmérős osztályban. A *Distylium* faj kezdeti sűrűsége azért volt nagyobb, mert ez a lassan növő fajta lassabban érte el az egyensúlyi állapotát mint a többi.



Az ábrán látható módon a három faj nem tudott együttélni a modellnél felhasznált paraméterek esetén, ám hibahatáron belüli más d_i (új növények állományba jövetelének rátája) értékeket felhasználva együttélést tapasztalhatunk:



A fenti két szimuláció egyensúlyi állapotában a faállomány életkorának függvényében minden faj egyedi gyakoriságot mutatott, ezt láthatjuk a következő ábrán:



A három faj együttélése esetén a második grafikonról leolvasható, hogy a *Distylium* lombképző faj jelenléte esetén a másik két alacsonyabb növésű *Illicium* és *Eurya* fajok fájának száma az állomány életkorával csökken, azok csak közvetlenül a résképződés utáni időszakban voltak gyakoriak.

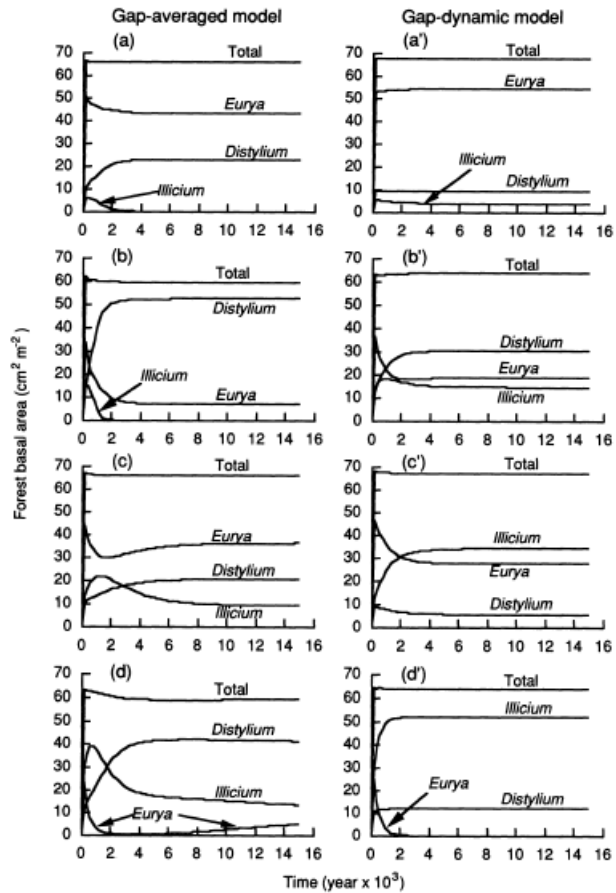
Összehasonlítás

A cikk szerzője összehasonlította a jelen modell eredményeit egy korábbi cikkében lévővel, melyben a résképződés nem dinamikusan, hanem csak kiátlagolva volt jelen. Az összehasonlítás eredménye látható a következő ábrán⁴. Az összehasonlításból három fontos következtetést vonhatunk le:

1. A kisebb maximális méretű, vagy kevésbé toleráns fák gyakoribbá váltak, mint a korábbi modellben, ami jó jel az őserdőben tapasztalt faji diverzitás megmagyarázásához.
2. A korábbi modellben a fajok gyakoriságának időbeli változásában tapasztalt fluktuációk a jelen modellben eltűntek, vagyis a szimulációk stabilabbak.

⁴a bal oszlopban a régi modell, a jobb oldaliban pedig az új eredményi láthatók soronként ugyanannál a paramétereknél

3. A több fajú rendszernek kevesebb időre volt szüksége a stabil egyensúlyi helyzet eléréséhez mint a korábbi modellben, vagyis az egyensúlyi helyzet stabilabbá vált.



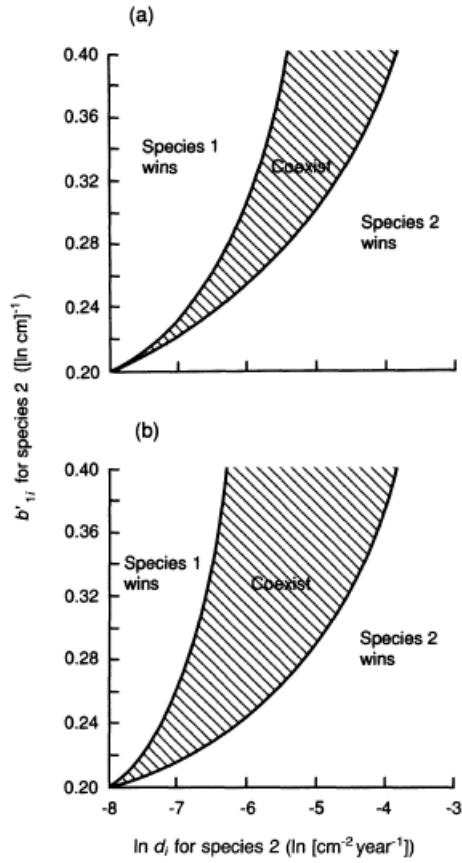
Együttélési feltételek

A szerző megvizsgálta mind a korábbi rés-átlagolt, mind a jelenlegi dinamikus résképződéses modelljében, hogy mely paramétertartományban tud együttélni két faj. A vizsgálatot úgy végezte, hogy az egyes faj paramétereit nem változtatta, miközben a második fajnak attól egy paraméterben eltérőt adott. Az első faj állandó paramétereit láthatók a következő táblázatban:

paraméter	mértékegység	értéke
b_i	$1/\text{év}$	0,04
$b'_{1i} = b_{1i}/b_i$	$1/(\ln cm)$	0,2
$b'_{2i} = b_{2i}/b_i$	m^2/cm^2	0,005
c'_i	$1/\text{év}$	0,01
$\ln d_i$	$\ln(cm^{-2} \cdot \text{év}^{-1})$	-8
d_{1i}	m^2/cm^2	0,04

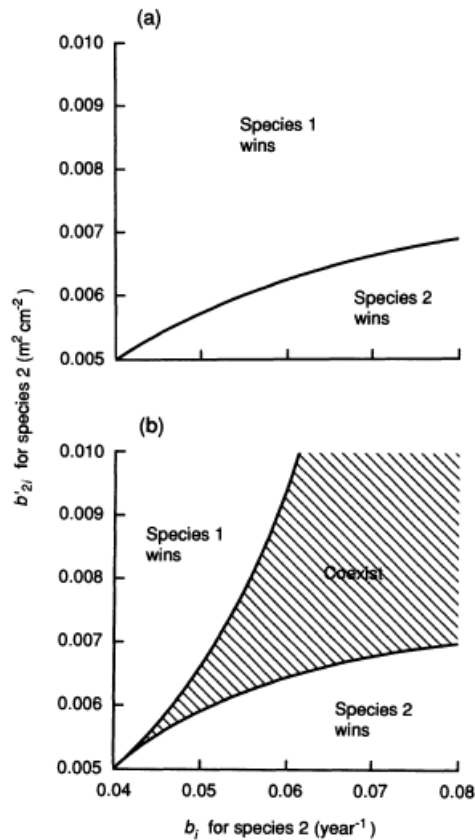
A szimulációkból azt találta, hogy bármely paraméter megváltozása kizárta a kisebb fajt az együttélésekből.

Ezután mind a 15 lehetséges paraméterpár közti trade-offot megvizsgálta, vagyis, hogy két paraméter szimultán megváltoztatása milyen hatással van az együttélésre. A korábbi modell alapján végzett szimulációkban csak a maximális magasság lecsökkenése vs. új növény állományba lépési gyakorisága esetén talált stabil együttélést. A szimulációt az új modellben is elvégezte, és azt találta, hogy ugyanazok a paraméterek esetén az együttélési tartomány kiszélesedett, a magasabb növényt preferáló tartomány kárára, ami ismét a modell sikerét bizonyítja, ugyanis több lehetőséget biztosít a faji diverzitásra. A két modell együttélési tartománya látható a következő grafikonokon:



A grafikonon látható, hogy nagyobb paraméterbeli eltérések esetén kiszélesedik a stabil együttélési tartomány. Ugyancsak az új modellben megfigyelhető volt az egyensúlyi állapotba konvergáláshoz szükséges idő lecsökkenése, ami újfent a modell stabilitására utal, valamint, hogy a 15 lehetséges paraméterpárból az új modellben 10 pár trade-offja esetén volt tapasztalható stabil együttélés. Az új modellben megjelenő együttélést szemlélteti a következő grafikonpár⁵:

⁵az első grafikon a régi modell, míg a második az új modell ugyanazon paraméterpár trade-offja esetén megjelenő együttélési tartományokat mutatja



Megjegyzendő még, hogy a dinamikus résképződéses modell önmagában -a méret eloszlási almodell nélkül- nem képes stabil együttélés létrehozására.

Diszkusszió

A dinamikus résképződési modell és az egyes faállományok méreteloszlási modelljének előzőeken bemutatott összekapcsolása effektívebben modellezi az esőerdei fa populációkat, mint a korábbi modellek. A modell eredményei javíthatóak a benne szereplő paraméterek pontosabb becslésével, vagyis kiterjedtebb terepmérések elvégzésével.

A bemutatott modell alapján elmondható, hogy csupán a fák fényért folytatott versengése képes fajok stabil együttélésének létrehozására, ha figyelembe vesszük az erdő résképződés miatti vízszintes inhomogenitását. Ez utóbbi tényezőről korábbi elméleti modellek elfeledtek.

Végezetül láhattuk, hogy a modell előrelépést jelent a szerző korábbi modelljeihez képest is, ugyanis a fajok között gazdagabb együttélési lehetőségeket tár fel.