

TRÁJER ATTILA

Ösföldtani zátonytörténelem

Az állatok szervezetén belüli, irányított ásványképzés képessége számos, független fejlődési vonalon alakult ki a törzsfajlás során. A biomineralizáció célja belső, illetve külső váz képzése. Amennyiben ezek a folyamatok kontroll nélkül, nem megfelelő anatómiai helyen zajlanak le az élő szervezetekben, ásványkiválások jöhetnek létre, mint amilyenek a különböző testüregekben megjelenő „kövek”. (Ezek kémiai összetétele jóval változatosabb, mint a vázak képzésében résztvevő ásványok alkotóinak száma.) Az élő szervezetek elhalása után a vázak ellenállóbb anyaguknál fogva megmaradhatnak, és fontos alkotói lehetnek a később esetleg közzé váló (diagenizálódó) üledékeknek. Sok esetben felismerhető az eredeti biológiai struktúra, máskor csak ún. biohermákban marad felismerhető enyhe vagy közepes fokú metamorfózist követően az eredeti szerkezet maradványa (ahogy ez történt pl. a Szendrői-hegység devon koralljaival és tengerililiom-vázaival).

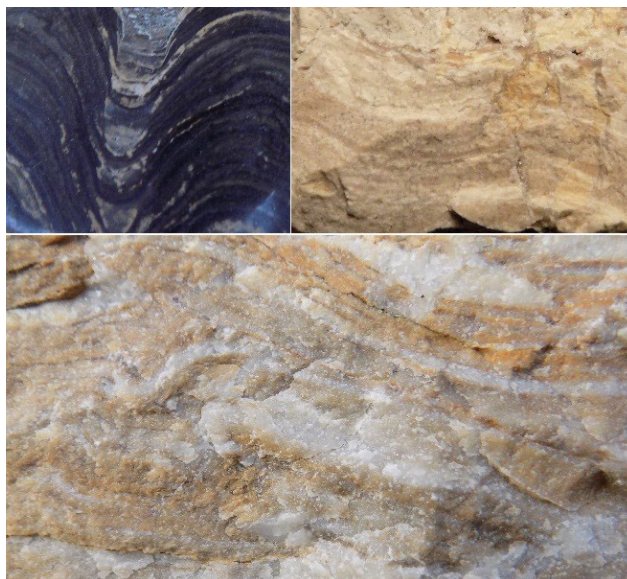
Más esetben a kalcium-karbonát- vagy szilícium-dioxid-vázak később feloldódnak és mésziszap vagy sugáralttak vázait bőven tartalmazó (radiolariás) iszap képződik. Ha a helyhez kötött vázképző szervezetek egymásra épülnek, az ilyen geológiai felépítmények óriási méreteket érhetnek el, megváltoztathatják a helyi topográfiát is, sőt lokálisan az óceáni áramlatoknak is más utakat szabhatnak. Az ilyen, élő szervezetek által létrehozott képződményeket nevezzük zátonyoknak, melyek a fanerozoikum, az elmúlt 545 millió év során a legmagasabb biodiverzitású tengeri életközösségeknek nyújtottak otthont. Bár a jelenlegi zátonyokat elsősorban a Scleractinia (kő-)korallok, a Corallinaceae családba tartozó vörösmozsátok és zöld mészalgák (*Halimeda*-fajok) építik fel ún. korallalgazátonyokat képezve, koronként eltérő rendszertani összetételű zátonyalkotó életközösségek léteztek. A fosszilis zátonyok környezetjelző értéke a geológiai kutatások szempontjából nagy jelentőségű. Azzal együtt, hogy a korallokon kívül a meszes zátonyokat korábban más szervezetek, pl. mészalgák, szivacsok vagy kagylók is létrehozhatták, a zátonyok általában normál sós vízi (34,7 gramm/dm³ oldott só tartalmazó), trópusi-szubtrópusi, sekély vizek indikátorai a múltbeli, közzé váló üledékeket illetően is, ami különösen igaz a korallzátonyokra. (Kevésbé a cianobaktériumok

által létrehozott képződményekre.) A mai korallzátonyok létrejöttének feltétele még, hogy a zátonyfront előtti áramlatok állandóan oxigénhez és tápanyagokhoz juttassák a zátony életközösségét, ami különösen a korallokkal szimbiózisban élő, igen érzékeny algák miatt fontos. A zátonyok nem épülhettek volna fel az élő szervezetekben végbeménő biomineralizációs jelenségek nélkül. A biomineralizáció kényes folyamat, amire a koralloknál többek között a tápanyagok, a fény, a hőmérséklet és a fizikai, illetve kémiai formában oldott szén-dioxid is erősen hatnak. [1]

A továbbiakban röviden áttekintjük a zátonyok történetét, kezdve a prekambrium cianobaktériumok (Cyanobacteria) alkotta meszes képződményeitől a modern kori korallalga-zátonyokig. Áttekintjük a légköri szén-dioxid szintjének a zátonyképződésre kifejtett hatását és megismerjük az óceánok jelenkori savasodásának előképeit a földtörténetben.

Prekambrium

A legkorábbi biogén, eredetileg főként meszes sekélytengeri képződmények alighanem a prekambriumi sztramatolitok alkotta zátonyok voltak. Megközelítően 2,5 milliárd éven keresztül ez volt az egyetlen zátonytípus. Felépítésében cianobaktériumok vettek részt, melyek ritmikus, napszak- és évszakfüggő aktivitása miatt az égvyűrűkhöz hasonlatos mintázatokban őrizték meg a baktériumok bioritmusának nyomát. A cianobaktériumok olyan nyálkamátrixot képeztek, ami lehetővé tette a szeretlen szemcsék megtapadását, valamint egyes ásványi anyagok, mint például a kovasav és a kalcium-karbonát lerakódását. Ez a nyálkaanyag



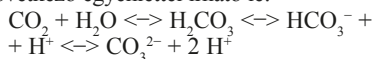
1. ábra. Különböző korokban képződött sztramatolitok. Bal felső kép: 2,2 milliárd éves sztramatolit metszete; jobb felső kép: felső-triász korú sztramatolitos dolomit; alsó kép: devon időszakban képződött sztramatolit (A szerző felvételei)

védett a káros ultraibolya sugarak ellen is. Sztramatolitok már 3,5 milliárd éve léteznek a Földön és megjelenésük óta lényegében minden geológiai korszakból ismertek maradványaik (1. ábra).

Mintegy 2,7–2,2 milliárd évvel ezelőtt a légköri szén-dioxid-koncentráció mintegy százszorosa volt a jelenleginek. [2] A légköri szén-dioxid kivonásában meghatározó szerepe volt a fontosintetizáló cianobaktériumoknak. Az asszimiláció során keletkezett szerves anyagok egy része a tengeri üledékbe kerülve eltemetődött, szénatvonva ki a geokémiai körforgásból. Feltehető, hogy a fotoszintézis miatt csökkenő légköri szén-dioxid-szinthez a cianobaktériumok fotoszintetikus apparátusa folyamatosan alkalmazkodott. A légköri szén-dioxid megkötésében azonban egy másik folyamat, a karbonát-produkció is szerepet játszott. [3]

A mai tengerek vize enyhén alkalikus (pH~7,5–8,4), ami azonban a Föld őskorában nem volt így. Az archaikumra és a proterozoikum első felére jellemző igen magas atmoszferikus szén-dioxid-koncentráció mellett a savas óceánok vízének szabad szén-dioxid és szénsav koncentrációja a mai

állapothoz képest számottevő volt. Ennek következtében a kalcit- és aragonit-telítettség értékek alacsonyak lehettek, ami nem kedvezett az élő szervezetek karbonát-anyagú vázépítésének. A cianobaktériumok fotoszintetikus szén-dioxid megkötése növelte a sejteik közvetlen környezetének pH-ját, ami elősegítette lokálisan a kalcium-karbonát biogén kiválását a baktériumtelepek mátrixában. [3] Ennek oka a szén-dioxid vízben való oldódásának mikéntjében keresendő. A szén-dioxid disszociációja vizes közegben a következő egyenlettel írható le:



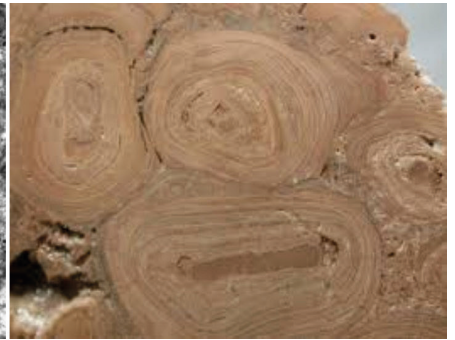
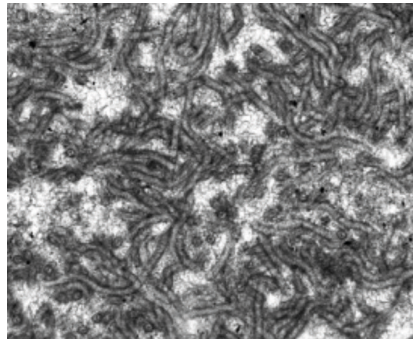
Ezek szerint a szén-dioxid számos gáztól (pl. oxigén, nitrogén) eltérően nemcsak fizikai, hanem kémiai úton is oldódik. Alacsony pH-n a szabad szén-dioxid és a szén-sav mennyisége magasabb lesz, ami nem kedvez a karbonátképződésnek. Ezzel ellentétben, ha a pH alkalis irányba változik, akkor az egyensúly az egyenlet jobb oldala felé, a karbonátok képződésének lehetősége irányába mozdul el. Ha a fotoszintézis szén-savat vagy szén-dioxidot távolít el, bekövetkezik a biogén mészkiválás, mivel a víz-



2. ábra. Egy 3,5 milliárd éves fosszilis sztromatolit Ausztráliából (North Pole; bal oldali kép) és recens sztromatolitok a Cáva-öbölben, szintén Ausztráliában (jobb oldali kép)

ben jól oldódó kalcium-hidrogén-karbonáttal ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) szemben a kalcium-karbonát (CaCO_3) oldékonysága kifejezetten rossz. Ez a folyamat ma is megfigyelhető pl. a szilvásváradi Szalajka-patak vagy a felsőrsi Malom-patak völgyében.

A légköri szén-dioxid koncentrációjának lassú csökkenésével a proterozoikum folyamán az extracelluláris kalciumkarbonát-kristályok kicsapódása a cianobaktériumok környezetében egyre könnyebben ment végbe. A karbonátok képződése felgyorsult, amikor a légköri szén-dioxid parciális nyomása a mai szint 33-szorosának megfelelő szintre esett le, és a kicsapódó kalcium-karbonát mészszip formájában kezdett felhalmozódni a tengerfenéken mintegy 1,4–1,3 milliárd évvel ezelőtt [3]. Megjegyzendő, hogy mészkövek kisebb mennyiségben már korábban is képződtek, sőt egyes grönlandi mészkövek átkristályosodására és márvány



3. ábra. Girvanella fosszilis telepének szálak szerkezetű (filamentózus) szövete elektronmikroszkóp alatt (bal oldali kép) és a telep makroszkópos megjelenése (jobb oldali kép: onkoidok)

képződésére már 1,8 milliárd évvel ezelőtt is sor került. A sztromatolitok által létrehozott zátonyképződmények több száz méteres vastagságot érhetnek el olykor. Az észak-amerikai Nagy-Rabszolga-tó partjait alkotó, közel 2 milliárd éves fosszilis zátony még ma is jelentős vastagságú. Típusos, a prekambriumi sztromatolitokra emlékeztető képződmények jelenleg pl. a nyugat-ausztráliai Cáva-öbölben figyelhetők meg, azonban a Föld

um-karbonát-köpeny lerakódása. Ennek a kornak a hírneműje a *Girvanella* kékalga feltűnése. A *Girvanella* algák által képzett nagyméretű (néhány cm-es) onkoidok későbbi korokból is ismertek, így zátony-építő szerepük volt az ordoviciumban, valamint hasonló eredetűek a központi Meccsek területén fellelhető, a triász időszak Kantavári Formáció Kisréti Mészke Tagozatában található 7–8 cm-es átmérőt is elérő, plasztikusan deformált onkoidok, melyek puhatestűhéjak bekéregzésével alakultak ki (3. ábra). [4]

A fotoszintetizáló szervezetek szén-dioxid-megkötő mechanizmusának fejlődése 700–570 millió évvel ezelőtt, a „hólabda-föld” korszakában (az elnevezés a globális szintű eljegesedésre utal) lelassult, mivel a hideg tengervíz elősegítette a fizikailag oldott szén-dioxid pusztán diffúzió által történő felvételét a sejtekbe [3]. Ezzel egy időben megszűnt a meszes sztromatolit zátonyok képződése a Földön. A nagy jégkorszak után felmelegedő bolygón ismételtelen megjelentek a sztromatolitok, és nagy kiterjedésű kékalga-zátonyok léteztek a neoproterozoikumban is. Ez a folyamat egyben elősegíthette az első állatok megjelenését és fejlődését, valamint az állati szervezetben megvalósuló mészvázépítés kialakulását is. Bár az első ismert állati szervezetek testfossziliái „csak” mintegy 610 millió évesek [5], a molekuláris óra és egyes vitatott nyomfossziliák alapján az állati szervezetek megjelenése 1 milliárd évvel ezelőtt történhetett. [6] Valószínűbb, hogy inkább a fosszilizációra alkalmas mészváz vagy meszes kitérváz aránylag hirtelen megjelenéséről van szó a kambrium elején, ami valóban „egy időben” (ami több tíz millió éves intervallumot is jelenthet több, mint fél milliárd év távlatából nézve), de függetlenül jelentkező több állatcsoport esetében is. Az ún. „kambriumi robbanás” lényegében a mai állattörzsek hirtelen tetsző megjelenését jelentet-

Paleozoikum

Amikor mintegy 750–700 millió évvel ezelőtt a légköri szén-dioxid parciális nyomása a mai szint 10-szerese alá esett, megkezdődött a közvetlenül a cianobaktériumokat beborító kalci-

te a neoproterozoikum és a kambrium határán. Az első kagyló- és izeltlábú-fossziliák 542 millió évesek, a kambriumi robbanás „címerállatai”, a trilobiták pedig csak 21 millió évvel később, mintegy 521 millió évvel tűntek fel az élet színpadán. Az első, állatok által létrehozott zátonyok alkotói a vitatott rendszertani hovatartozású, 525 millió éve megjelent kora kambriumi Archaeocyathák voltak (a kambrium első felét kb. 510 millió éve lezáró kihalást a menedéket jelentő ún. refúgiumokban túlélték és a késő kambriumig éltek). [7] Serlegszerű vázuk leginkább a mai mészszivacsokéval vehető össze. Érdekessége



4. ábra. Szilur-devon időszi zátonyalkotó szervezetek maradványai. Bal felső kép: Favosites tabulata korall metszete a szilurból; jobb felső kép: tabulata koralltelep a devonból; bal alsó kép: erősen átkristályosodott, feltehetően sztromatoporoidea-telep metszete, devon; jobb alsó kép: esőmarta devon zátonymésző-feszín

ennek a kihalt csoportnak, hogy a ma ismert kambriumi, szilárd vázzal rendelkező szervezetek diverzitásának több mint a felét ezek a szervezetek tették ki. [8] A kambrium-ordovicium határán, 488 millió éve lezajlott kihalás után hosszú időn keresztül nem épültek állatok alkotta zátonyok a világtengerekben, és helyettük csak a kéalgák által épített thrombolit-, onkoid- és sztromatolit-zátonyok nyújtottak élőhelyet a zátonylakó szervezeteknek. A többsejtű állatok alkotta zátonyok újbóli globális szintű elterjedése a szilur időszak közepére tehető, amikor a csalánozók egyes csoportjai körében olyan evolúciós folyamat ment végbe, ami meghatározónak bizonyult a következő 450 millió év zátony-ökoszisztémáinak szempontjából. A későbbi zátonyok felépítésében jelentős szerepet játszó korallak már az ordoviciumban megjelentek, de jellemző zátonyalkotókká a szilur idősziig nem váltak, köszönhetően részben az ordovicium-szilur időszak határán, 450–440 millió évvel ezelőtt súlyos kihalási eseménynek, ami

a zátonyalkotó korallokat, pörgekarúakat, mohaállatokat és tuskésbőrűeket különösen súlyosan érintette. Az akkori korallak nem sorolhatók be egyik ma élő csoportba sem. Az ún. Tabulata korallak inkább telepalkotók, a Rugosa korallak jellemzően magányos polipáriumokat építő alakok voltak.

A szilur-devon zátonyok fontos alkotói voltak a sztromatoporoidea-k, amelyek fennmaradt szerkezetük alapján a szivacsokkal mutatnak rokonságot. Magyarországon devon időszi korallak ismertek a Szendrői-, és ritkaságként az Upponyi-hegységből; sztromatoporoidea-maradványok a balatonfői Polgárdi Mésző felső, biohermas tagozatából. A sztromatoporoidea-k elsősorban nem az ún. frontzátonyt, a tengeri áramlatoknak leginkább kitett, a nyílt tengerre tekintő zátonyrészt, hanem a zátony belsejében fekvő lagúnák felé eső zátonyterületet népesítették be (4. ábra).

Ahogy az a mai zátonyok esetében is tapasztalható, a fennmaradt zátonyszerkezetnek csak egy része származik a fő zátonyalkotóktól, mivel a fizikai, kémiai és biogén erőzói miatt általában a szerves zátonyszerkezetnek csak egy kis része menekül meg és marad felismerhető. Ezen kívül, a másodlagos zátonyépítő váza, mint amilyen manapság pl. a puhatestűek, tengerisünök, a földtörténeti ókorban pedig a brachiopodák, tengeri liliomok váza, szintén fontos szerepet játszott a zátonyok létrejöttében (5. ábra).

A devon időszak volt a korallzátonyok



5. ábra. Devon időszi tengeri liliomok nyeltagmaradványai és a teljes élőlény rekonstrukciója

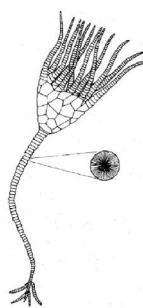
kARRIERJÉNEK első nagy korszaka a földtörténetben, amit a devon végi, 375–360 millió évvel ezelőtti kettős tömeges kihalási hullám (az ún. Kellwasser- és a Hangenberg-esemény) derékba tört. A karbon időszi-



6. ábra. Ivanovia filloida alga (bal oldali kép) és Caninophyllum rugosa koralltelep (jobb oldali kép) a karbon időszi korból

ban a korallak helyét részben a mészalgák vették át, bár a korábbi korallcsoportok továbbra is részt vettek a zátonyok alkotásában, ami a perm időszi végéig nem változott. A hazai karbon időszi tengeri üledékes kőzetekben mészalgák és korallak is előfordulnak, bár az algák szerepe meghatározóbb lehetett a zátonyalkotásban, mint a koralloké (6. ábra).

A sztromatolit-zátonyok nagy kihalási hullámokat követően, illetve elzárt lagúnák pionír lakóiként időnként visszatértek és felváltották vagy helyettesítették a többsejtű szervezetek alkotta zátonyokat az elmúlt fél milliárd évben. Ilyen meszes (mikrobiális) sztromatolit-zátonyképződményeket, mikrobialitokat figyeltek meg a 252 millió évvel ezelőtt bekövetkezett perm-triász kihalási esemény alatt képződött kőzetekben pl. Dél-Kínában [9] [10], Törökországban [11], az Egyesült Államokban [12] vagy az Északi-Bükkben [13] is a triász bázisrétegeiben. A zátonyok pusztulása legalább két nagyobb fázisban zajlott, az első fázisban először a korallok tűntek el, helyet adva a mészszivacsoknak, majd a többsejtű szervezetek zátonyalkotó szerepe a perm-triász határon teljesen megszűnt. [14] A zátonyökoszisztémák összeom-



lása mögött egyszerre több tényező is állhatott, ezek közül kiemelendő a szibériai trappbazalt kiömléssel járó vulkanizmus miatt a tengervíz valószínű elsavasodása a magas atmoszférikus szén-dioxid-koncentráció következtében, a hipertermia és az óceáni anoxia. A kora triászban nem képződtek zátonyok. (7. ábra).

Mezozoikum

A perm-triász kihalást megelőző perm időszak során a ma élő Ginkgo biloba ősi rokonsági körébe tartozó négy növénynemzetség fosszilis levélkütikula-szerkezetei-

nek vizsgálata szerint a légköri szén-dioxid-koncentráció 1000 ppm alatt volt, ami a perm-triász határ után már meghaladta az 1500 ppm-et és elérhette az 1750 ppm értéket is a kora triászban [15], jelentős savasodást okozva a világtengerekben. Jóval később, 55 millió éve, a paleocén-eocén határon bekövetkezett drasztikus, 5–8 °C-os globális szintű felmelegedés (az ún. paleocén-eocén termális maximum: PETM) során szintén feltételezik az óceánok akut elsavasodását. [16] A klíma rapid változása és a tengervíz kémhatásának csökkenése nem csak a múltban volt katasztrófális hatással a zátonyokra, várható, hogy a közeljövőben is a korallzátonyok nagymértékű pusztulásának lehetünk szomorú szemtanúi, ami már jelenleg is jól észrevehető. [17] Az emelkedő atmoszferikus szén-dioxid-koncentráció következtében a jelen korban a tengerek és óceánok vizének pH-ja csökkenőben van, ami már eddig is a korallzátonyok 10%-ának pusztulását okozta, és várhatóan a XXI. század végére a mészvázat építő tengeri szervezetek biomineralizációs rátáját 60%-kal fogja csökkenteni az emelkedő szén-dioxid-szint. [18] Az ipari forradalom óta folyamatosan csökken a tengervíz aragonit-telítettség értéke, ami a zátonyok nettó mészképzését mintegy 15%-kal vetette vissza az elmúlt 250 évben. A múltban zajlott hasonló folyamatok jelentős szerepet játszhattak az akkori zátonyok pusztulásában (8. ábra).

A triász elején általában nem képződtek zátonyok. Ezek újbóli létrejötte a középső-triász anisusi korszakára tehető, ami-

oldódását követően vált lyukacsossá. A középső-triász időszak anisusi emeletében képződött Tagyoni Formáció (Dunántúli-középhegység) szubtidális (hullámverés alatti) fácieszében gyakoriak ezek az algák. *Physoporella*, *Oligoporella* és *Teutloporella* nemzetségek fajai kerültek elő (9. ábra).

Az egyelőre még magányos kőkorallok is csak a középső triászban tűntek fel, melyek a mai korallzátonyok meghatározó (névadó) alkotói. Feltehetően ekkor jött létre a csalánozók és az algák között az a szimbiotikus kapcsolat, ami a csoport sikerének alapját jelentette és jelenti ma is. A krétában egy „helytűlő” (szesszilis), egyedülálló módon serleg vagy tülökformát felvett héjú kagylócsoport, a *Hippuritidae* család tagjai alkottak zátonyokat. Telepeik, szemben a korallok formálta képződményekkel, nem annyira vertikálisan, mint horizontálisan voltak nagy kiterjedésűek. Olyan kagylókból származtak, melyeknek eredetileg szimmetrikus héjai megsavanyodtak, majd az egyik héjfél zárólemezé, a másik egy serleg formájú képletté alakult. A héjat porusok törték át, amin keresztül feltehetően víz átáramoltatására is lehetőség volt. Nem kizárt, hogy a *Scleractinia* korallokhoz hasonlóan szimbiotika algáik is voltak. A kréta időszak során a trópusi tengerekben visszaszorították a korallokat és nem egy esetben a zátonyok domináns alkotóivá váltak. A zátonyalkotó kagylók kréta időszaki sikere és a korallok felett gyakorolt időleges dominanciája mögött ismételt atmoszferikus és klimatikus okok fedezhetők fel. Egyrészt, a kréta időszak folyamán

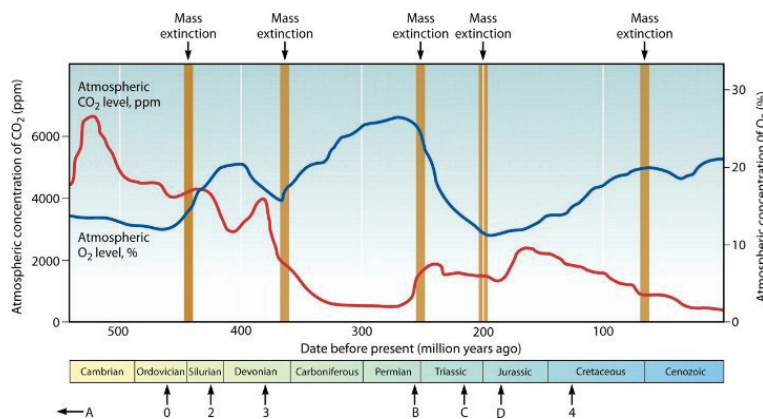


9. ábra. *Physoporella* sp. és rekonstrukciója (a kép jobb felső sarkában)

kagylók tündöklésének azonban vége lett, mert előbb a kréta időszak végére megfogyatkoztak, majd a kréta/tercier határon történt tömeges kihalás során teljesen kivesztek az élővilágból. Azóta csak az osztrigák körében találunk kisebb zátonyépítő fajokat. A *Hippuritidae* kagylók maradványai egyes hazai kréta időszaki kőzetekben gyakoriaknak mondhatók (10. ábra).

Kainozokum

A triász-jura határon 201 millió éve bekövetkezett tömeges kihalás során összeomlottak a felső triász kiterjedt zátonyközösségei a Tethys óceán selfjén. Ennek ellenére, a kőkorallak az egész hátralevő mezozoikumban részt vettek a zátonyalkotásban, bár szerepük nem volt meghatározó a kréta időszaki zátonyok felépítésében. A többek között a dinoszauruszok végétét okozó globális ökológiai változásokat követően a paleocénben nem épültek korallzátonyok. Az eocén korban ismét fellendültek a kőkorallok, bár a hazai eocén rétegekből inkább magányos és nem zátonyépítő fajaik ismertek. A miocén korban már a maihoz nagyon hasonló összetételű korallalga- (korall és mészképző alga által felépített) zátonyok léteztek az akkori tengerekben. A visegrádi Fekete-hegy 15 millió évvel ezelőtt létezett korallzátonyát legalább 9, de lehet, hogy 20 hermatipikus (sekélytengeri) koralltaxon alkotta. [21] A korallok vázai mellett jelentős a vörösalgák közé tartozó *Corallineacea* algák maradványainak mennyisége, és valószínűleg meg is haladja a *Scleractinia* korallokét. Mindez arra utalhat, hogy a visegrádi zátony normál sósvízi környezetben, meleg, szubtrópusi tengerben képződhetett, de a víz hőmérséklete már alatta lehetett a korallok szempontjából legkedvezőbb értékeknek. Számos korallnemzetség és mészalga ma is létezik a trópusi tengerekben a hajdan a Kárpát-medencében is élt formák közül (pl. a *Porites* korallok).



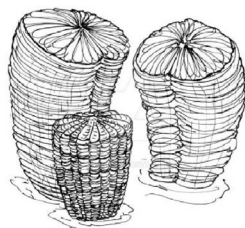
8. ábra. A légköri oxigén- és szén-dioxid-koncentráció változása a fanerozoikum során Dorell és Smith (2011) alapján az öt legjelentősebb kihalási esemény feltüntetésével

kor egyes mészalgák, mohaállatok, mészszivacsok alkottak zátonyokat elsősorban a Nyugat-Tethys karbonátplatformjának a nyílt óceánhoz legközelebbi peremterületein. [19] E kor emléke az ún. diplopórus mészkő és dolomit, ami a hajdani, ún. *dasycladacea* mészalgák csövecskéinek ki-

a trópusi tengerek 6–14°C-kal melegebbek voltak a maiaknál, másrészt, magasabb volt a sótartalom, ami nem kedvezett a koralloknak. [20] Ehhez jön még az, hogy a légköri szén-dioxid-koncentráció a mai érték hatszorosra, közel 1700 ppm lehetett, jelentős savasodást okozva az óceánokban. Az ún. rudista

A biomineralizáció megnyilvánulásai: kalcium-karbonát (kalcit/aragonit) – CaCO_3 , pl. korallok, mohaállatok és pörgekarúak, puhatestűek, tuskésbőrűek vagy a kihalt Archaeocyathák; szilícium-dioxid – SiO_2 , pl. kovamoszatók, radiolariák, számoszivacsnemzetség; hidroxipapatit – $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$, pl. gerincesek csontjában.

Láthattuk, hogy a múlt tükröt tart a jelen és a jövő felé. Ha tovább folytatódik az óceánok elsavasodása, az a perm-triász határon észlelt világméretű zátonypusztuláshoz hasonló eseményhez vezet-



10. ábra. Hippurites sp. metszete (bal oldali kép) és az élő kagylók rekonstrukciója (jobb oldali kép)

het, ami súlyosan hatna a világtengerék biodiverzitására. Mint láttuk, a régmúlt korokban évmilliókat, akár 20–30 millió évet is igénybe vett a zátonyközösségek újjászerveződése, így egy mai kihalási hullám után emberi léptékkal mérve mérhetetlen hosszú idő telne el az új zátony-ökoszisztémák felépüléséig még egy antropogén hatásoktól mentes világban is. 🐠

Irodalom

- [1] Tambutté, S., Holcomb, M., Ferrier-Pagès, C., Reynaud, S., Tambutté, É., Zoccola, D., & Allemand, D. (2011). Coral biomineralization: from the gene to the environment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 408(1), 58-78.
- [2] Rye, R., Kuo, P. H., & Holland, H. D. (1995). Atmospheric carbon dioxide concentrations before 2.2 billion years ago. *Nature*, 378(6557), 603.
- [3] Riding, R. (2006). Cyanobacterial calcification, carbon dioxide concentrating mechanisms, and Proterozoic–Cambrian changes in atmospheric composition. *Geobiology*, 4(4), 299-316.
- [4] Haas, J. (2004). Magyarország geológiája. *Triász (Geology of Hungary: Triassic)*.
- [5] Costa, James T.; Darwin, Charles (2009). The annotated Origin: a facsimile of the first edition of On the origin of species. Harvard University Press. p. 308. ISBN 978-0-674-03281-1.
- [6] Campbell, Neil A.; Reece, Jane B. (2005). Biology (7th ed.). Pearson, Benjamin Cummings. p. 526. ISBN 978-0-8053-7171-0.
- [7] Debrenne, F. (1991). Extinction of the Archaeocyatha. *Historical Biology*, 5(2-4), 95-106.
- [8] Pálffy, J. (2000). Kihaltak és túlélők (Fél-milliárd év nagy fajpusztulásai)[Victims and Survivors (Mass Extinctions in the Past Half Billion Years)].
- [9] Kershaw, S., Li, Y., Crasquin-Soleau, S., Feng, Q., Mu, X., Collin, P. Y., Reynolds, A., & Guo, L. (2007). Earliest Triassic microbialites in the South China block and other areas: controls on their growth and distribution. *Facies*, 53(3), 409-425.
- [10] Ezaki, Y., Liu, J., & Adachi, N. (2003). Earliest Triassic microbialite micro-to megastructures in the Huaying area of Sichuan Province, South China: implications for the nature of oceanic conditions after the end-Permian extinction. *Palaios*, 18(4), 388-402.
- [11] Baud, A., Richoz, S., & Marcoux, J. (2005). Calcimicrobial cap rocks from the basal Triassic units: western Taurus occurrences (SW Turkey). *Comptes Rendus Palevol*, 4(6), 569-582.
- [12] Pruss, S. B., & Bottjer, D. J. (2004). Late Early Triassic microbial reefs of the western United States: a description and model for their deposition in the aftermath of the end-Permian mass extinction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 211(1), 127-137.
- [13] Hips, K., & Haas, J. (2006). Calcimicrobial stromatolites at the Permian–Triassic boundary in a western Tethyan section, Bükk Mountains, Hungary. *Sedimentary Geology*, 185(3), 239-253.
- [14] Weidlich, O., Kiessling, W., & Flügel, E. (2003). Permian–Triassic boundary interval as a model for forcing marine ecosystem collapse by long-term atmospheric oxygen drop. *Geology*, 31(11), 961-964.
- [15] Retallack, G. J. (2001). A 300-million-year record of atmospheric carbon dioxide from fossil plant cuticles. *Nature*, 411(6835), 287.
- [16] Zachos, James C., et al. „Rapid acidification of the ocean during the Paleocene-Eocene thermal maximum.” *Science* 308.5728 (2005): 1611-1615.
- [17] Pandolfi, J. M., Connolly, S. R., Marshall, D. J., & Cohen, A. L. (2011). Projecting coral reef futures under global warming and ocean acidification. *science*, 333(6041), 418-422.
- [18] Kleypas, J. A., Feely, R. A., Fabry, V. J., Langdon, C., Sabine, C. L., & Robbins, L. L. (2005, April). Impacts of ocean acidification on coral reefs and other marine calcifiers: a guide for future research. In *Report of a workshop held* (Vol. 18, p. 20).
- [19] Senowbari-Daryan, B., Zühlke, R., Bechstädt, T., & Flügel, E. (1993). Anisian (Middle Triassic) buildups of the Northern Dolomites (Italy): the recovery of reef communities after the Permian/Triassic crisis. *Facies*, 28(1), 181-256.
- [20] Johnson, C. C. (2002). The Rise and Fall of Rudist Reefs: Reefs of the dinosaur era were dominated not by corals but by odd mollusks, which died off at the end of the Cretaceous from causes yet to be discovered. *American scientist*, 90(2), 148-153.
- [21] Báldi, T. (2003) Egy geológus barangolásai Magyarországon: Kiadó: Vince Kiadó Kft., Budapest.

Képek forrása

2. netsaver.myds.me és <https://www.sharkbayvisit.com.au/stromatolites.aspx>
3. http://www.fossilmall.com/EDCOPE_Enterprises/stromatolite/stromatolites46/stromatolites46.htm
5. <http://www.dcfossils.org>
7. http://elte.pene.hu/foldtud/2.%20felev/bevezetes_a_foldtortenetbe/Ftor_BSc1_11.pdf
8. ec.asm.org
9. http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2013_B01/CG2013_B01_P1_07_14.htm
10. <http://www.DevianArt>

KITÜNTETÉS



Augusztus 20-a alkalmából a Magyar Érdemrend Tisztikereszt elismerést adta át Balog Zoltán (balról), az emberi erőforrások minisztere Staa Gyulának, lapunk nyugalmazott főszerkesztőjének (jobbról).

Ugyanebben az elismerésben részesült a Természet Világa rendszeres szerzője, Szabados László, az MTA doktora.

A kitüntetetteknek szerkesztőségünk büszkén gratulál!