

ÉLET A YUCATÁNI CENOTÉKBEN

ÁTJÁRÓK AZ ALVILÁGBA

Öt év telt el azóta, hogy először érkeztem mexikói földre, egy barlangbiológiai világkonferenciára. Már az első látogatás megpecsételte sorsomat, majd évről-évre elmélyült az ország iránti szenvedélyem: magával ragadt rendkívül változatos természeti adottsága, az élővilág végtelenül színes sokfélesége, a mélyen gyökerező és mindent átható indián kultúra, a mindenütt jelenlévő muzsika és tánc, és nem utolsósorban az emberek csodálatraméltó életszeretete és természetessége. Az évek során kerestem a lehetőségeket, hogyan tanulhatnék többet Mexikó természeti kincseiről és hogyan járulhatnék hozzá azok megőrzéséhez. Önkéntes programokban vettem részt, és barlangbiológusként tagja lettem a Mexikói Nemzeti Független Egyetem kutatócsoportjának, mely a cenoték biológiai sokféleségét tanulmányozza. Írásom e jellegzetes karsztképződményekről és a bennük kialakult életről szól.

A Mexikó délkeleti részén található Yucatán-félszigetet északon a Mexikói-öböl, keleten a Karib-tenger öleli körül. A félsziget az ősi maja civilizáció bölcsője, melynek számos nyoma maradt fenn a három mexikói szövetségi állam (Yucatán, Quintana Roo és Campeche) területén és a tőlük délre húzódó Belizben és Észak-Guatemalában.

A korallzátonyokból felépült félszigetet évmilliókkal ezelőtt ósóceán borította. A kréta időszak alatt a zátonyon élő állatok által felaprózott kőzetanyag, majd a magas nyomáson és hőmérsékleten átdolgozott mészszipa fokozatosan mintegy 1300 méter vastagságú mészkőve cementálódott. A harmadidőszak alatt újabb rétegek halmozódtak fel, s kialakult a félsziget mai képére is jellemző, több mint tíz magyarországnyi területű mészkőplató.

Ha a barlang beszakad

A tengervízszint csökkenése során a felszínre került porózus korallmészkőben immár megkezdődhetett a barlangképződés folyamata. A légköri szén-dioxid miatt enyhén savas csapadékvíz a kőzetbe szívárgott, és idővel kiterjedt barlangjáratokat alakított ki, melyekben mészkiválás útján változatos formakincsek, cseppkőképződmények keletkeztek. Az utolsó jégkorszak alatti eljegesedések és felmelegedések



Dzonotíla-cenote. Az impozáns függőcseppkövek arról tanúskodnak, hogy a barlangjáratok egykor szárazon voltak.

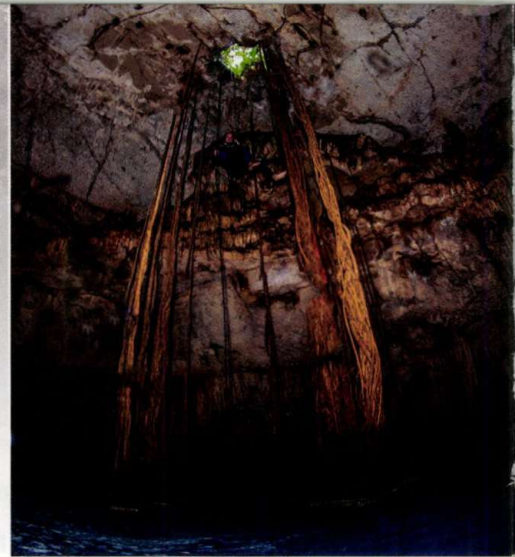
nyomán a tengervízszint ingadozott, így a kialakult barlangok hol víz alatt voltak, hol szárazra kerültek. A szárazzá vált barlangjáratok mennyezete a víz támasztóerejének megszűntével helyenként beomlott, ablakokat nyitva ezáltal a felszín felé, s elnyelve a fentről érkező csapadékok.

Az így keletkezett, a talaj- és vízerózió által gyakran szabályos kör alakúvá koptatott falú trópusi szakadékdolinát *cenoténak* nevezzük (ejtsd: szenote). Attól függően, hogy a barlangmennyezet milyen mértékben omlott be, beszélhetünk nyílt, félig nyílt és zárt cenotebejáratokról. A Yucatán államra jellemző, a szárazföld

belsejében nyíló mélyebb (gyakran az 50 méteres mélységet is meghaladó) cenotéket főként a felszínről érkező édesvíz tölti ki, de a tenger felől fokozatosan beszívárgó sós víz miatt vizük kevert is lehet. Az eltérő sótartalmú vizek határán egy látványos optikai jelenség, a *haloklin* figyelhető meg. Mint az olaj a vízen, az édesvíz a sós víz sűrűbb rétege felett lebeg, és ahol keverednek, homályos vízréteg képződik. A félsziget keleti, karibi partvidékén kialakult cenoték sekélyebbek, bennük a haloklin réteg már néhány méteres vízmélységben észlelhető. E cenoték ablakokat – ezáltal pedig szabad bejárást – nyitnak a Föld leghosszabb, akár



A Yaal Utsil-cenote nyílt, szabályos kör alakú bejárata a sztereotíp cenote fogalomnak feleltethető meg



A cenoték bejáratában álló magányos fák gyökerei sokszor a víztestig érnek

több száz kilométernyi víz alatti barlangrendszerbe, mint amilyen a *Sac Actun* vagy az *Ox Bel Ha*.

Szent helyek

A Yucatán-félszigeten felszíni tavak, folyók és patakok hiányában a cenoték már a prehiszán idők óta, mintegy tízezer éve a környék ivóvízellátásának alapját képezik. A cenotékban és közvetlen környezetükben feltárt régészeti és építészeti leletek tanúsága szerint a maja városok és települések e központi jelentőségű, szent tisztelettel övezett karsztképződmények köré épültek.

A fennmaradt oltárok és szentélyek, a mélykék víz mélyén megtalált áldozati tárgyak és emberi csontleletek arról árulkodnak, hogy az éltető édesvíz biztosításán kívül szakrális jelentőségük is volt e természetes kutaknak: az eső-, élet-, halál-, újjászületés- és termékenységi rituálék szimbolikus színtereit jelentették. Az ősi maják hite szerint átjáróként szolgáltak a *Xibalbába* (ejtsd: sibalba), vagyis az ősök, a természetfeletti lények, a halál és betegség istenségeinek lakhelyére: az alvilágba. A nyugati ember világképétől eltérően a maják a halálra és betegségre az emberi élet részeként, nem pedig büntetésként tekintettek.

Evolúciós laboratóriumok

A cenoték és víz alatti barlangok egy-az-egy-szállal fontos evolúciós laboratóriumok is, melyek a sötétséghez és táplálékban szegény környezethez alkalmazkodott egyedülálló élővilágnak adnak otthont. Ismerünk olyan, barlangokban is élő baktériumokat, melyek – mint termelő szervezetek – szervetlen

vegyületek oxidálásából nyert energiával építik fel saját szerves anyagaikat. Mégis, a cenote életközösségek számára a tápanyagforgalom alapját nagyrészt a felszínről a mélybe került szerves anyagok (elhalt növényi és állati maradványok, a denevérek és a barlangbejáratban fészkelő madarak ürüléke) képezik. Ahogy a cenotékkal összeköttetésben álló barlangokban egyre mélyebbre, egyre beljebb hatolunk, már csak olyan, föld alatti vizekhez kötődő – szaknyelven *stygobiont* – állatokkal találkozhatunk, melyek teljes életciklusukat a csend és sötétség birodalmában élik le.

Ezek a jobbára őstengeri eredetű maradványfajok a világon egyedül itt fordulnak elő (*endemikus* vagy bennszülött fajok tehát), hiszen evolúciójuk is a barlangokhoz köthető. Testfelépítésük tükrözi a sok-sok nemzedéken át a barlangban töltött idő hatásait: kültkarójuk pigmentáltsága és látószervük visszaféldődött, a tapintásért és helyzetváltoztatásért felelős végtagfüggelékeik megnyúltak, valamint kémiai és mechanikai ingereket felfogó érzékszerveik fejlődtek ki. Anyagcseréjük lassabb, mint felszíni rokonaiké, testükben lipidek halmozódnak fel, melyek grammonként csaknem kétszer annyi energiát tartalmaznak, mint a fehérjék és a szénhidrátok. A zsírsejtek a lebegőképeség növelésében és az úszáshoz szükséges energia mennyiségének csökkentésében is kulcsszerepet töltenek be.

A félsziget mexikói szövetségi államainak cenotéiból leírt *stygobiont* állatok közt akadnak puhatestű- (apró vízciga), tüskésbőrű- (tengeri csilag) és soksertéjű gyűrűsféregfajok, azonban legnagyobb részük – jelenlegi ismereteink szerint 53 faj – a rákok

különböző csoportjaiból kerül ki. A cenote életközösségek két csúcsgazdója két bennszülött halfaj. Egyikük a 9 centiméter testhosszúságú, a brotulákkal rokon „vak fehér hölgy” (*Typhliasina pearsei*), melyet a környék maja leszármazottai „Sak Kay” (fehér hal) néven ismernek. A nála mintegy háromszor hosszabb „vak angolnával” (*Ophisternon infernale*) jóval ritkábban találkozhatunk, ismert élőhelyeinek száma sajnos csekély. Szűk elterjedési körük és ismert populációik kicsiny méretére és sérülékenységére hivatkozva mindkét faj a Természetvédelmi Világszövetség (IUCN) veszélyeztetett fajok vörös listáján szerepel.

Egy új rákfaj

Yucatán szövetségi állam központjától, Meridától 50 kilométerre északra, a Mexikói-öböl partján terül el Sisal halásztelepülés, mely otthont ad a *Mexikói Nemzeti Független Egyetem* (UNAM) egyik, főként tengerbiológiai kutatásokkal foglalkozó akadémiai egységének, s a *Nuno Simões* vezette kutatócsoportunknak. Csak ebből az államból több mint 7000 regisztrált cenotét tartanak nyilván, melyeknek csupán egy töredékét vizsgálták korábban biológiai szempontból. Munkánk során a régió cenote-ökoszisztémáinak biológiai sokféleségét, ökológiáját, a bennük élő állatok rendszertanát, molekuláris genetikáját, törzsfelődésánát és élettani adaptációját vizsgáljuk. Mikrobiológus- és vegyészkollégákkal együttműködve információt nyerünk a barlangi üledékben élő mikroorganizmusokról, és vízkémiai adatokhoz jutunk a természetvédelmi szempontból aggályos élőhelyekre vonatkozóan.



Stygiomysis cokei, egyike a yucatáni cenoték stygobiont rákfajának



A „vak fehér hölgy”

A mindehhez szükséges terepmunka kimerítő ugyan és nemegyszer tapasztaltam már meg fizikai teljesítőképességem határait, mégis (vagy épp ezért), semmilyen tevékenységben nem találtam még a barlangi kutatómerülésekhez, a felfedezéshez mérhető örömet és jelenlét-érzést. Egyik meghatározó élményem egy tudományra új felemászlábú rákfaj (Amphipoda) megtalálása és leírása volt 2018-ban a *ZooKeys* szakfolyóiratban. Az egyik merülés során, egy barlangjárat mélyén ugyanis olyan rákfajra esett búvárlámpám fénye, amelyet korábban még nem láttam és a szakirodalomból sem volt ismerős. A 10 milliméteres, áttetsző, balerinaszerűen lágy mozdulatokkal úszó állatnak feltűnően hosszú csápja és járólába (pereopod) volt.

Később három további cenotékban lel-tünk rá a titokzatos Amphipoda egyedeire 20 és 50 méteres vízmélység közt, a bejáratától távoli, sötét barlangi zónában. A begyűjtött, a leírás alapjául szolgáló példányokat fénymikroszkóp és pásztázó elektronmikroszkóp segítségével vizsgáltuk, így érdekes információhoz jutottunk többek között a kémiai és mechanikai érzékelés szolgáltatában álló, számos és jól fejlett érzékszőrök és érzékszemölcsök struktúrájáról. A példányokból kivont DNS alapján meghatároztuk az új faj „genetikai vonalkódját”,

és yucatáni rokon rákcsoporthoz összevetve a leszármazási kapcsolatára is fény derült. A tudományra új rákfajt *Mayaweckelia troglomorpha*-nak neveztük el. Nevében a troglomorpha tag a barlangi környezethez való alaktani alkalmazkodás magas fokára utal.

Szemétkerakók

A felszín alatti vizekben élő állatok nem csak ritkaságuk és barlangi módosulásuk miatt érdekesek és jelentősek: mozgásuk és anyagcsere-folyamataik révén (például a víz áramoltatásával, szűrésével, tisztításával) fontos ökoszisztéma-szolgáltatásokat nyújtanak. Hiányukkal vagy jelenlétükkel pedig közvetve a karsztvizek állapotát jelezhetik.

Szociokulturális, geológiai és biológiai jelentőségük ellenére a yucatáni cenoték és környezetük védelme sajnos egyelőre nem kielégítő. A mészkő azon tulajdonságai – oldhatóság, porozitás, átteresztőképesség –, melyek a barlangok kialakulását teszik lehetővé, egyben a vízbázis sérülékenységet is okozzák. A felszínről a kőzetbe szivárgó víz a szennyező anyagokat is magával viszi a mélybe. Az egyik legégetőbb természetvédelmi probléma a cenoték közvetlen környezetében létesített sertés- és marhatelepek, vegyszerekkel

kezelt gyümölcsültetvények kérdése. A műtrágyákból, trágyából és növényvédő szerekből érkező többlettápanyagok és kemikáliák közvetlenül a karsztvízbázisba kerülnek.

Egy másik súlyos probléma a megnövekedett turizmussal járó zavaró hatás és szennyezés. A cenotékat rekreációs célra használó látogatók bőréről leoldódó rovarriasztó szerek és napvédő krémek egyaránt jelentős szennyező források. A turisztikai célú cenoték üzemeltetői olykor közvetlen beavatkozásokkal változtatják meg a bejárat jellegét: robbanóanyagok használatával szabályos kör alakúvá alakítják azok falát, lámpatesteket szerelnek a mennyezetre vagy épp megcsonkítják, netán eltávolítják a környező vegetációt. Az egyre növekvő emberlétszám másik kellemetlen velejárója a mérhetetlen mennyiségű hulladék termelése. Az erősödő környezetvédelmi szemlélet ellenére sajnos sok ember még mindig szemétkerakóként használja a cenotékat. A szokásos üdítő flakonokon és egyéb műanyag, fém- és üveg-hulladékon kívül extrém esetekben gumiabroncsokkal vagy akár kerékpárral is találkozhatunk...

Hiszem azonban, hogy van még remény a helyzet javulására. A yucatáni emberek és a messze földről érkező látogatók közös érdeke, hogy természetes állapotukban megőrizzük e világ-szinten is páratlan karsztképződményeket és a bennük kialakult egyedi élővilágot. Ennek egyik elengedhetetlen eszköze az ismeretek átadása: a helyi lakosság számára éppúgy, mint a turizmus és a gazdasági élet szereplői számára. Szeretném, ha az évek során összegyűjtött adataink a megfelelő pillanatokban a döntéshozók asztalára kerülnének. Hiszek a közösség erejében.

ANGYAL DOROTTYA



A *Mayaweckelia troglomorpha*
(FOTÓK: BENJAMIN MAGAÑA, ANGYAL DOROTTYA)