



XXXI. OTDK Biológia Szekció



A vörösiszapár hatása a Torna-patak Ingold-féle gombaközösségére

Szerző:

Vass Máté

Környezettan BSc. - 3. évfolyam

Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Limnológia Intézeti Tanszék

Témavezetők:

Dr. Révay Ágnes

Magyar Természettudományi Múzeum, Növénytar, Budapest

Dr. Padisák Judit

Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Limnológia Intézeti Tanszék, Veszprém

Szeged

2013. április 2-4.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Szakirodalmi áttekintés	4
3. Célkitűzések	6
4. Anyag és módszer	7
<i>4.1. Mintavételi helyek</i>	7
<i>4.2. Terepi módszerek.....</i>	8
<i>4.3. Laboratóriumi módszerek</i>	8
<i>4.4. Statisztikai módszerek</i>	9
5. Eredmények	10
6. Értékelés	15
7. Összefoglalás	17
8. Köszönetnyilvánítás	19
9. Felhasznált irodalom.....	20

1. Bevezetés

A vízi Hyphomycetes vagy Ingold-féle gombák képesek könnyen megtelepedni (INGOLD, 1979; WEBSTER, 1981) majd a növényi anyagok hatékony lebontását végezni felszíni vízfolyásokban (SUBERKROPP & KLUG, 1981). INGOLD (1942, 1975), és más e területen jártas kutatók (PETERSEN, 1962, 1963a,b; NILSSON, 1964) megállapították, hogy ezek a gombák gyakoriak a tiszta, nem szennyezett, jól levegőzött felszíni vizekben. De a különféle antropogén hatások mindezeket a környezeti tényezőket módosítják, módosíthatják (BÄRLOCHER, 1992b). Ennek ellenére csupán néhány publikációt olvashatunk olyan kutatásokról, ahol a vízi hyphomyceta szervezetek élőhelyét szennyezés (pl.: folyamatos vagy egyszeri nehézfém-, mezőgazdasági eredetű szennyezés), vagy más, extrém környezeti hatás éri (SRIDHAR és mtsai., 2000; KRAUSS és mtsai., 2001; LUO és mtsai., 2004; PASCOAL és mtsai., 2003, 2005a).

Számos tanulmány utal arra, hogy a patakvíz kémiai karakterisztikája elsődleges fontosságú a vízi hyphomycetes közösségek tanulmányozásánál. Leginkább a pH/lúgosság/ Ca^{2+} együttes vizsgálatát célozták meg. A legtöbb helyszíni vizsgálat alapján megállapítható, hogy a gombacsoport fajgazdagsága érzékelhetően csökken 4,5-es pH alatt és 8,0 felett (IQBAL & WEBSTER, 1977; WOOD-EGGENSCHWILER & BÄRLOCHER, 1983; SHEARER & WEBSTER, 1985; BÄRLOCHER, 1987; CHAMIER, 1987). Kevésbé ismert azonban, hogy milyen mértékben képesek fennmaradni egy krónikusan stresszelt környezetben (SRIDHAR és mtsai., 2000). Dokumentált, hogy néhány extrém szélsőséges helyen is képesek megtelepedni, ellenállni a nagyfokú szennyezéseknek, ez pedig végső soron teret engedhet nekik akár a bioindikációs- és remediációs folyamatokban is (KRAUSS és mtsai., 2001; SOLÉ és mtsai., 2008).

2010. október 4-én példátlan méretű, emberéleteket követelő ipari katasztrófa történt Ajka térségében, a sebesültek száma meghaladta a 150-et. A Magyar Alumínium Termelő és Kereskedelmi Zrt. (MAL) tulajdonában lévő Ajkai Timföldgyár Ajka és Kolontár között létesített vörösiszap tározójának gátja átszakadt, és mintegy 600-700 ezer köbméter lúgos vörösiszap öntötte el Kolontár, Devecser és Somlóvásárhely mélyebben fekvő területeit (2.ábra).

A szennyezés mintegy 40 km²-nyi területen terült szét, a Torna-patak élővilágát megsemmisítette, a Marcalét jelentősen károsította (ÜVEGES és mtsai., 2011).

Felmerült a kérdés, vajon milyen mértékben hatott a vörösiszapár a patakban jelenlévő gombaközösségre.



1. ábra: a gátszakadás során elöntött térség (műholdkép). Forrás: images.nationalgeographic.com

2. Szakirodalmi áttekintés

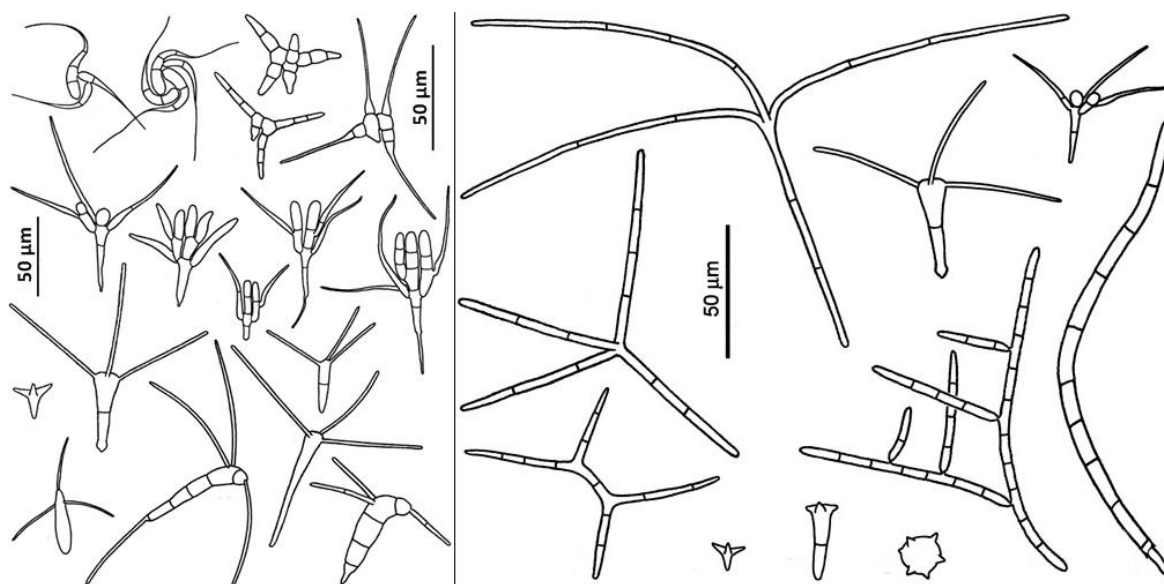
A Föld csaknem 2/3-át tengerek borítják, emellett jelentős vízfelületet és összességében nagy víztömeget képviselnek a folyók, tavak, víztározók és a kisebb vízfolyások. A vízi gombák az óriási felület és víztömeg ellenére az ismert gombafajoknak mindössze 2%-át teszik ki, mely kb. 1500 fajt jelent (JAKUCS & VAJNA, 2003). E viszonylag kis szám azzal magyarázható, hogy kutatásuk rövid időre nyúlik vissza.

A vízi életmódot folytató gombák három nagy csoportját tudjuk elkülöníteni: (a) Ingold-féle, (b) vízi Ascomycetes (aszkuszos) és nem-Ingold-féle, illetve a (c) Chytridiomycetes (rajzospórás), Oomycetes (petespórás) gombák. A mikológia speciális ága, az áramló édesvizek gombáinak (a vízi hyphomycetes, „Ingold-féle gombák”) kutatását 1942-re vezetjük vissza, amikor INGOLD, angol mikológus rajzospórás gombák után kutatva, tipikus élőhelyüket felfedezte (INGOLD, 1942; BÄRLOCHER, 1992c). A gombacsoport kutatásának több mint négy évtizedes múltja van Magyarországon. Leginkább Bánhegyi József, Gönczöl

János, Tóth Sándor és Révay Ágnes munkássága fűződik e szűk diszciplína kutatásához (GÖNCZÖL & RÉVAY, 2011).

Az Imperfekt gombák törzsébe tartozó osztály, az Ascomycota-k és a Basidiomycota-k ivartalan (anamorf) alakjai. Mai tudásunk szerint több mint 600 édesvízi gombák ismerünk, és ebből nagyjából 300 faj sorolható az Ingold-féle gombák csoportjához (GOH & HYDE, 1996).

Vízi hyphomyceta szervezetek a felszíni vizek fontos ökológiai funkcióját biztosítják: lebontási folyamatokat végeznek (SUBERKROPP, 1992, HIEBER & GESSNER, 2002; JAKUCS & VAJNA, 2003;). Gyakoriak a jó oxigénellátású hegyi patakokban és folyókban. Ilyen élőhelyeken a legnagyobb tápanyagforrást az allochton szerves anyag (avar) biztosítja (ELOSEGI & POZO, 2005), mely nagy mennyiségű szénforrást és energiát biztosít a vízben élő mikroorganizmusok számára, főleg akkor, ha a felszíni víztér fölötti növényborítottság limitálja a vízi ökoszisztéma primer produkcióját (ÜVEGES, 2010; VASS, 2011; WEBSTER & MEYER, 1997). Folyóvizektől elrugaszkodva, komoly fejtörést okoztak a számos kutatónak speciális habitatokban való előfordulásuk is. Számos fajukat megtalálták pocsolyákban, mocsaras, magas trofitású területeken (WILDEMAN, 1893, 1894, 1895), dendrotelmákban (GÖNCZÖL & RÉVAY, 2003), fakérgen, és még virágmézben, mézharmatban is (MAGYAR és mtsai., 2005; MAGYAR, 2008).



2. ábra: vízi hyphomycetes konídiumok (GULIS V., MARVANOVÁ L. & DESCALS E., 2005; GULIS V. & SUBERKROPP K., 2006)

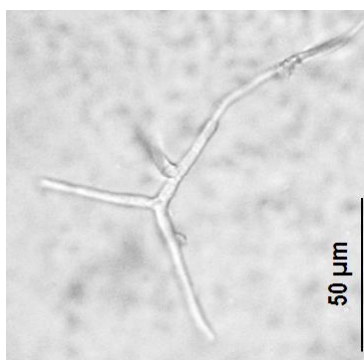
Gyorsan fejlődnek elhalt növényi részeken (víz alatt). Mitotikus, anamorf spórákkal (konídiumokkal) szaporodnak ivartalan úton, melyek könnyen csapdázódnak a patak áramlása miatt kialakuló habban. A konídiumok morfológiailag változatosak (1. ábra): az elágazó

négyes-sugarú (tetraradiális) vagy multiradiális forma, valamint a szigmoid alak jellemző, mely lehetővé teszi faj szintű határozásukat (PASCOAL és mtsai., 2005b). Méretüket tekintve relatíve nagyok, ~50 µm-es és ennél nagyobb konídiumok fordulnak elő. Vékony sejtfalúak és átlátszóak (WEBSTER & DESCALS, 1981). BÄRLOCHER kutatása (1985) alátámasztotta, hogy a lebontási folyamatokban szerepet játszó vízi gombák jobban preferálják a hideg időszakokat (az optimumuk <20 °C; INGOLD, 1975), szemben a talajban megtalálható szaprotróf gombákkal, amelyek a nyári meleg hónapokban aktívak.

A vízi Hyphomycetes sem filogenetikai, sem ökológiai szempontból nem egységes gombacsoport, közös jellemzőjük spóráik (konídiumaik) sajátos, morfológiai adaptációja a különféle vízi élőhelyekhez.

3. Célkitűzések

A vörösiszap-katasztrófa után egy hónappal vett vízminták mikroszkópos vizsgálata során detektáltam először Ingold-féle gombák jelenlétét a vízfolyásban (3. ábra), s ez lehetővé tette, hogy a gombák ökológiai (szukcessziós, fajösszetételi) folyamatait egy olyan helyszínen vizsgáljam, ahol a makrogerinctelenek hiánya miatt a lebontásban csakis a gombák vesznek részt. Ekkor már a víz pH-értéke közel normális volt: $8,30 \pm 0,67$, csak kis mértékben ingadozott a vizsgálat ideje alatt. Az ingadozások legfőbb oka a helyi hatóságok által végzett további kármegelőzési (az ipari területről lúgos mellékterméket vezettek a Tornába) és semlegesítési folyamat volt, melyet tömény sósavval végeztek.



3. ábra: *Tricladium angulatum* csírázó konídiuma (egy hónappal a katasztrófa után)

A kutatás során a vörösiszap és az általa letarolt élőhely kolonizációra gyakorolt hatását vizsgáltam egy olyan élőlénycsoporton, mely a felszíni vizek (főleg patakok) jellegzetes mikroközösségét képviseli természetes körülmények között. Célom volt a primer

kolonizátorok faji meghatározása, a gombafajok szukcessziójának vizsgálata, továbbá ezen jellemzők összehasonlítása a Torna-patak érintett (devecseri) (4/a. ábra) és annak Ajkai-tószokberénde, morfológiailag hasonló referenciaszakasza (4/b. ábra) között.



4. ábra: a Torna-patak két vizsgált szakasza: (a.) érintett (devecseri), (b.) referencia terület

4. Anyag és módszer

4.1. Mintavételi helyek

A vizsgálatsorozat két helyszínen zajlott (5. ábra) a Bakony térségében. A két szakasz hidromorfológiailag hasonló volt, de az egyik a vörösiszap által érintett volt, míg a másik - referencia szakasz - nem.



5. ábra: vizsgálati helyszínek (1.: referencia, 2.: devecseri) elhelyezkedése

4.2. Terepi módszerek

A gombakolonizáció tanulmányozásához a legszélesebb körben alkalmazott módszert választottam. Légszáraz bükk-, tölgy-, nyár- és fűzavart gyűjtöttem 2010 őszén, majd 10-10 grammot avarzsákokba (10 x 10 cm, lyukbőség: 5 x 2 mm) töltve, 125 napig kihelyeztem a Torna-patak medrébe. A vízhőmérsékletet, pH-t, vezetőképességet, oldott oxigént, oxigén telítettséget minden egyes mintavételnél mértem (HQ40d multiméter).

4.3. Laboratóriumi módszerek

A mikrogombák gyűjtését és vizsgálatát 2011. február 17-én kezdtem meg. Az avarzsákokat (6/a ábra) a következő időpontokban, random módon begyűjtöttem a devecseri mintavételi helyről, valamint a referencia szakasról: február 24., március 30., április 13., május 11., május 25., június 8. és június 22. A laboratóriumba való érkezésüket követően az avar alapos átmosása után 4-4 avarzsákból (*Salix alba*, *Quercus cerris*, *Fagus sylvatica* és *Populus nigra*) egy-egy levelet ultratiszta vízzel (Direct-Q3 Water Purification System, Millipore) megtöltött edényekbe helyeztem tenyészet létrehozása céljából (6/b ábra). A tenyészeteket 3-4 napig levegőztettem szobahőmérsékleten. Ezt követően a szuszpenziót

membránfilteren ($\varnothing=8\ \mu\text{m}$, Whatman Cyclopore Track Etched Membrane) átszűrtem egy pneumatikus pumpa (6/c ábra) segítségével (Antlia Pressure Filtration System, Schleicher & Schuell, Dassel, Germany), majd a szűrőn fennakadó konídiumokat metilénkékes laktófenoldattal megfestettem (GÖNCZÖL és mtsai., 1999). Morfológiájuk alapján, mikroszkóp alatt meghatároztam a gombafajokat, valamint az egyes fajokra jellemző konídiumok százalékos megoszlását.



6. ábra: a.: avarzsákok rácstra kötözve (kihelyezés előtt), b.: levelek inkubálása, c.: a szűréshez használt kézi pumpa

4.4. Statisztikai módszerek

A fajdiverzitás számításánál Shannon-indexet alkalmaztam:

$$H = -\sum_{i=1}^S (p_i) \log_2 p_i$$

ahol H = fajdiverzitás értéke, S = összes fajszám és p_i = az i -ik faj aránya a többi fajhoz képest (SHANNON & WEAVER, 1949).

Fisher-féle egzakt tesztet STATISTICA 6.0 programmal végeztem, a két helyszín közötti fajgazdagságbeli különbségek számításához. Egyéb statisztikai vizsgálatok nagy torzulást okoznak az elemszámok csökkenésével. Esetemben a viszonylag kis adathalmaz miatt tehát csak a Fisher-próba az, ami jól használható (FISHER, 1922).

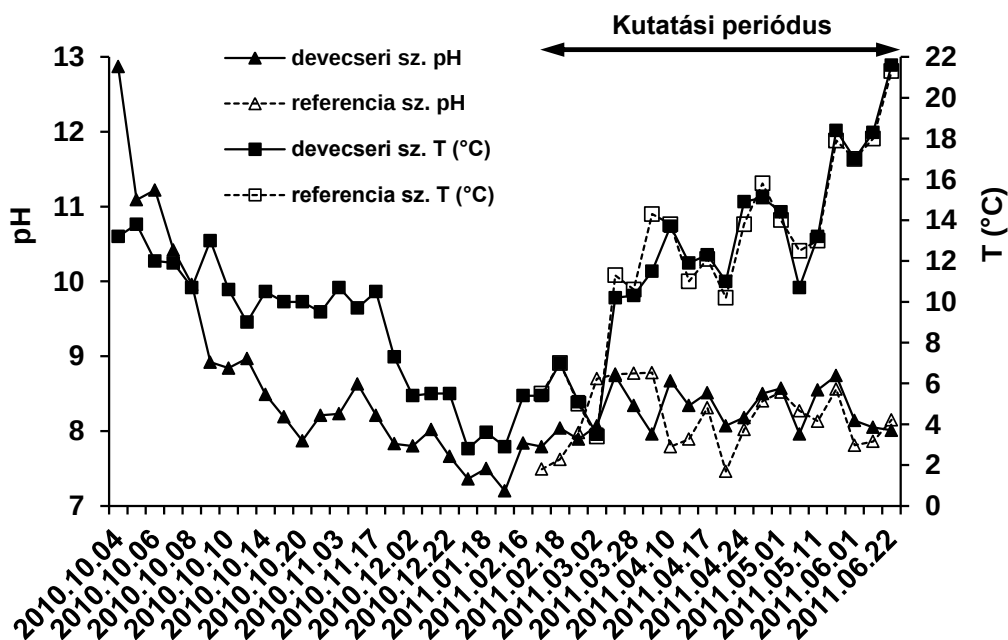
5. Eredmények

A patak egyes szakaszain mért fizikai-kémiai paraméterek az 1. táblázatban, illetve a 7. ábrán vannak feltüntetve. A vezetőképesség értéke kissé magasabb értékeket mutatott a katasztrófa által érintett szakaszon. Az oxigén mennyiségi viszonyai nem mutattak jelentős eltérést, így nem gátolhatták az oxibionta fajok életfunkcióit.

1. táblázat: vezetőképesség, oldott oxigén és oxigén-telítettségi adatok a Torna-patak két szakaszán. Az értékek 2011. február 17. és június 22. között mért átlagértékek

Patakszakasz	referencia	devecseri
Vezetőképesség ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	736-1018	830-1264
O ₂ (mg L ⁻¹)	7.54-14.5	8.69-11.61
O ₂ telítettség (%)	81.7-129	91.9-108.6

Hét alkalommal gyűjtöttem random módon mintákat az egyes avarzsákokból, majd az ezt követő inkubálás után a mintákat a gombák reproduktív struktúráinak határozása céljából átvizsgáltam. A 2. táblázatban láthatók azok a vízi hyphomycetes fajok, melyek a vizsgálat során jelen voltak, továbbá a mintavételi alkalmakkor regisztrált diverzitási értékeik.



7. ábra: pH és a patakvíz hőmérsékletének (°C) alakulása 2010. október 4. és 2011. június 22. közötti időszakban

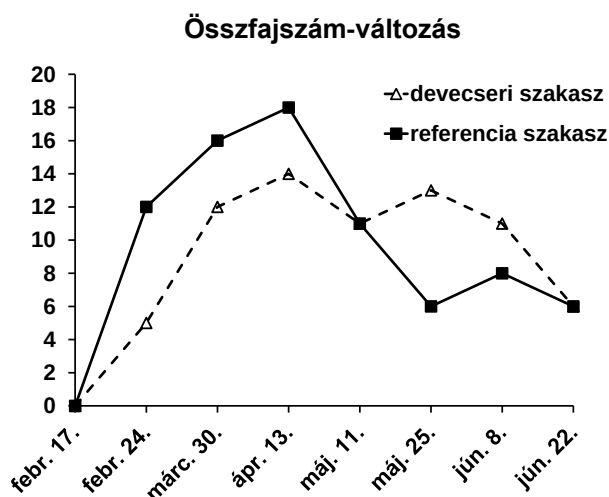
2. táblázat: Megfigyelt vízi hyphomycetes fajok és azok diverzitása (az egyes mintákban lévő gombaközösségek diverzitásainak átlagértékei). F: *Fagus sylvatica*, Q: *Quercus cerris*, P: *Populus nigra*, S: *Salix alba*

Fajok	Referencia szakasz							Devecseri szakasz						
	febr. 24.	márc. 30.	ápr. 13.	máj. 11.	máj. 25.	jún. 8.	jún. 22.	febr. 24.	márc. 30.	ápr. 13.	máj. 11.	máj. 25.	jún. 8.	jún. 22.
<i>Alatospora acuminata</i> Ingold		FQ	FQPS	Q	Q	Q			FQPS	FQPS	FQP	P	F	
<i>Anguillospora longissima</i> (Sacc. & Syd.) Ingold	P		F	FQP		Q	Q		F				F	
<i>Anguillospora mediocris</i> Gönczöl & Marvanová		FP	FQPS	FQPS	FQP	FQP	FQP	Q	FQPS	FQPS	FP	Q	F	FQ
<i>Anguillospora</i> sp.	PS		FQS	FPS	FPS	QPS	FPS			FQS	FQPS	Q	Q	P
<i>Clavariopsis aquatica</i> De Wild.	F	FQP	FQPS	P	P	P	P			FPS	FP	P		
<i>Cylindrocarpon</i> sp.	FQ	FQPS	QPS	FPS	Q	QPS	PS	Q	Q	Q	FQ	FS	QPS	FQP
<i>Dactylella submersa</i> (Ingold) Nilsson		P	FQP							F			FQ	P
<i>Flabellospora</i> sp.		F							S					
<i>Heliscus lugdunensis</i> Sacc. & Therry	F	QP	QP					F	Q	FQ	FS		F	
<i>Lemmoniera aquatica</i> De Wild.		FQP	Q						FQP	QP	FS	S		
<i>Retiarius bovicornutus</i> D.L. Olivier		Q	Q	Q					FS	QP				
<i>Tetrachaetum elegans</i> Ingold		F												
<i>Tetracladium marchalianum</i> De Wild.	FQPS	FQPS	FQPS		Q			FP	FQPS	FQPS	FS	FPS	FP	FP
<i>Tetracladium setigerum</i> (Grove) Ingold										P				
<i>Tricladium angulatum</i> Ingold	S	FQP	FQPS	Q	Q	Q			FQPS	FQP	FQS	FPS		
<i>Tricladium caudatum</i> Kuzuha													F	
<i>Tricladium gracile</i> Ingold		FP	FQ									FP	Q	
<i>Tricladium</i> sp.	S	FQP	Q							F	FS	FPS		
<i>Trinacrium subtile</i> Fresen.				Q								P		
<i>Tripospermum camelopardus</i> Ingold, Dann & McDougall			Q											
<i>Varicosporium elodeae</i> Kegel			S											
Sigmoid 1.	QS	QPS	FQS			QPS	QS	FP	Q	Q		QS	QS	FQ
Sigmoid 2.	F			F					Q					
Ismeretlen 1.	S											F		
Ismeretlen 2.	S	S									Q			
Ismeretlen 3.			Q	Q										
Diverzitás (H)	0.979	2.066	2.490	2.105	1.041	1.447	1.327	0.886	2.060	1.731	1.929	1.959	1.448	0.865
Egyenletesség (E)	0.208	0.440	0.530	0.448	0.221	0.308	0.282	0.188	0.438	0.368	0.410	0.417	0.308	0.184

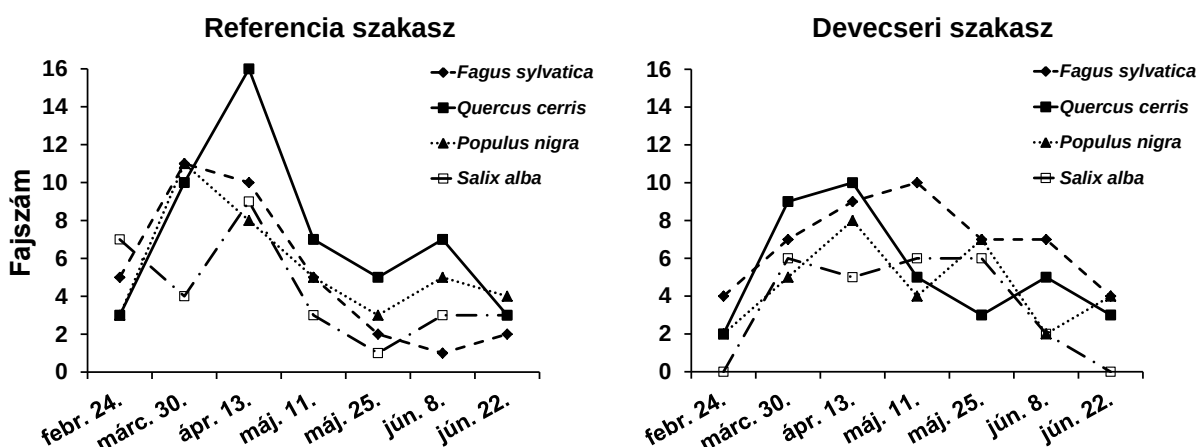
Összesen 26 fajt figyeltem meg (17-et faji szinten, négyet nemzetség szinten azonosítottam, öt konídiumot ismeretlenként rögzítettem a listában).

Az *Anguillospora mediocris*, a *Cylindrocarpon* sp., a *Tetracladium marchalianum*, a *Tricladium* sp. és egy szigmoid faj konídiumai voltak a leggyakoribbak a mintákban.

Az Ingold-féle gombák száma összességében kevesebb volt az érintett szakaszon. Exponenciális kolonizációjuk, növekedésük lassabb volt és fajszámbeli maximumuk tovább fennmaradt, mint a referencia szakaszon. Ezen jellemzőket mutatja be a 8. ábra. A 9. ábrán pedig az egyes levélfajokat kolonizált gombafajok fajszám-változásai láthatóak. A görbék lefutását tekintve nincs jelentős eltérés, kivéve a fűz avaron jelenlévő gombák gyakoriságát tekintve.



8. ábra: össz fajszám ingadozások a két vizsgált patakszakaszon

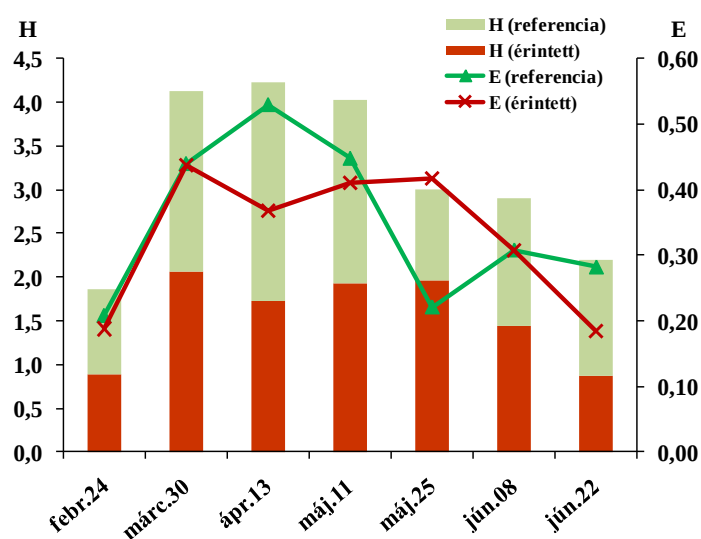


9. ábra: az egyes levélfajokon lévő gombafajok gyakorisága

A két vizsgálati hely közötti fajgazdagságbeli különbséget Fisher-féle próbával teszteltem. Ennek segítségével néhány szignifikáns eltérést tapasztaltam azonos avaron és időben a két helyszín között. A fűzavar esetében a lebontását végző gombafajok száma között február 24-én ($p=0.0049$) és május 25-én ($p=0.0497$). Ezen kívül a bükk levélen volt hasonló eltérés június 8-án ($p=0.0248$).

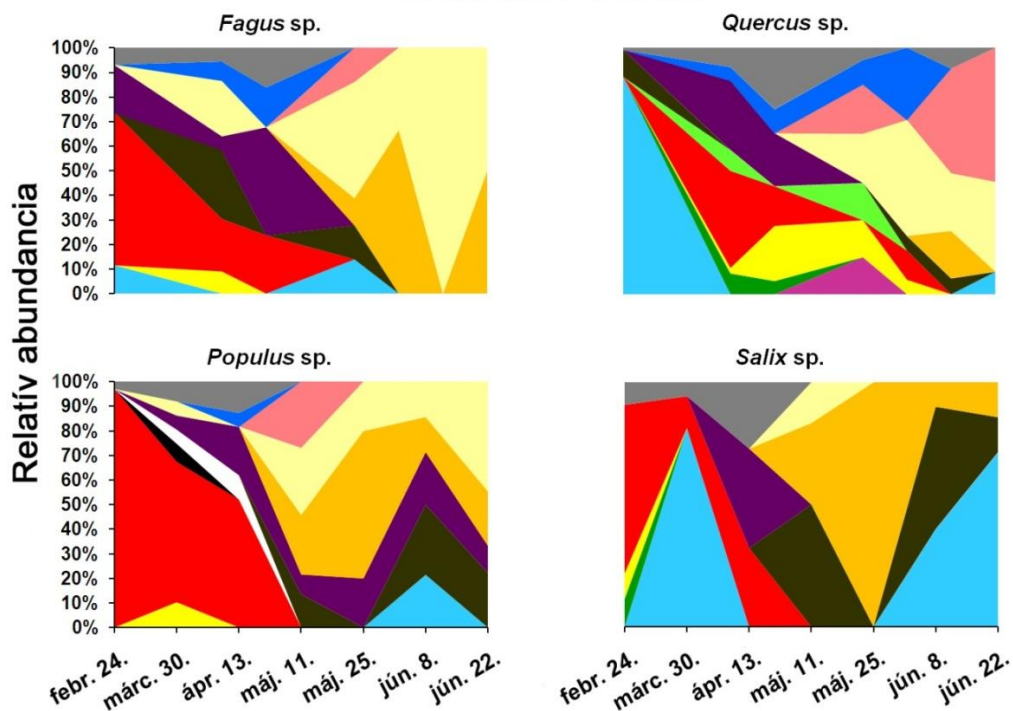
Az Ingold-féle gombák szukcessziósorát az 10. ábra mutatja be. A *Heliscus lugdunensis* és a *Tricladium angulatum* gyakori előfordulása és némely esetben a konídiumok relatíve nagyobb mérete volt tapasztalható a devecseri szakaszon. Tipikusan a *Tricladium* fajok voltak nagyobb számban jelen ezen a szakaszon, valamint a korai kolonista: a *Tetracladium marchalianum* mutatott nagyobb előfordulási arányt a fűz- és a nyáravaron, ellentétben a referencia szakaszon lévőekkel. A maximális eltérést a bükkön, ill. a fűzön tapasztaltuk, mind a fajösszetétel, mind a szukcessziósor tekintetében.

A fajdiverzitás eredményei (11. ábra) a referencia helyszínen - a devecseri szakasszal összehasonlítva - magasabb értékeket mutatott, de ezek az értékek gyorsabb ütemben csökkentek. A kolonizáció első időszakát tekintve jelentős különbségeket tapasztaltam mind a szukcesszió, mind a fajok számát illetően, viszont a diverzitásukat (H) és vele együtt az egyenletességet (E) vizsgálva nagyon hasonló adatokat kaptam. Másfél-két hónap intenzív lebontás után azonban különbségek adódtak ebben is. Ekkor a referencia szakaszon a diverzitás és a fajok egyenletessége jelentősen csökkent, míg a devecseri szakaszon huzamosabb ideig stagnáltak az értékek és csak a nyár közepe táján - akkor is főleg a magas vízhőmérséklet ($25-26\text{ }^{\circ}\text{C}$) miatt - jelentkezett a csökkenő tendencia.

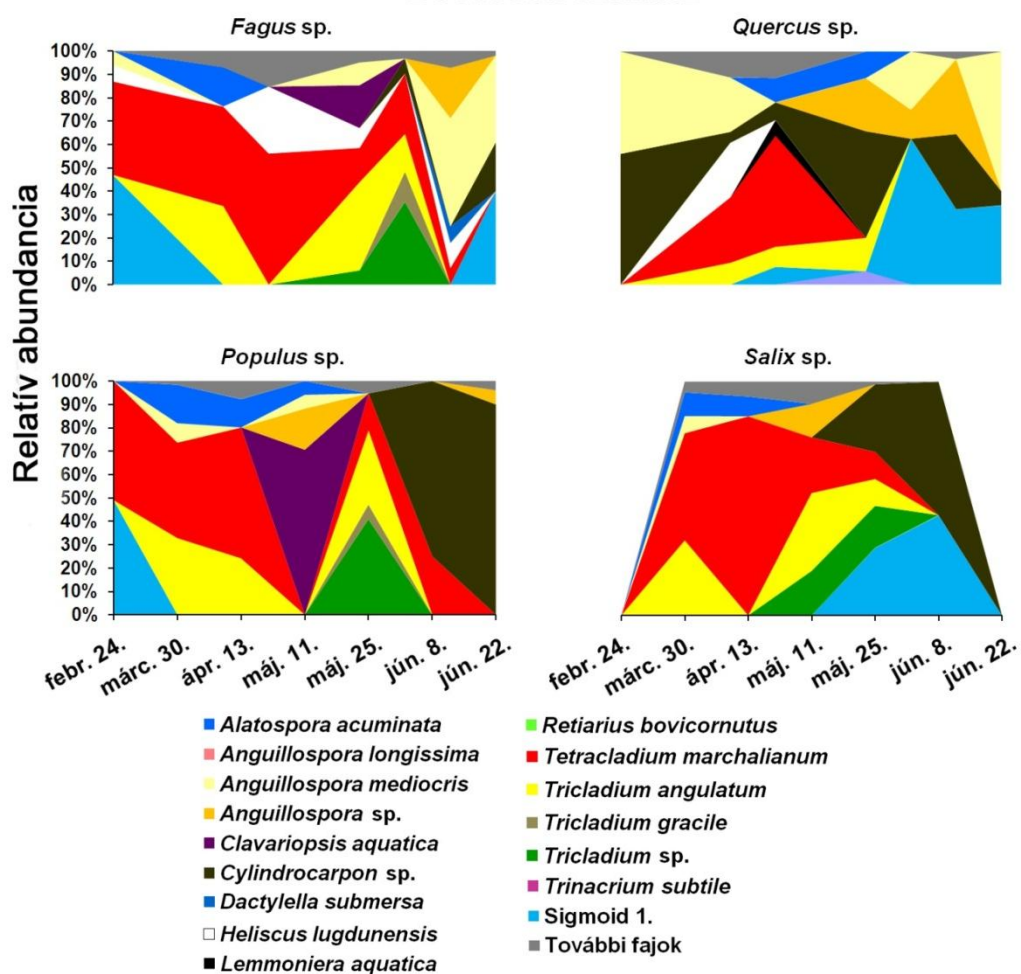


11. ábra: diverzitás (H) és egyenletesség (E) alakulása a mintavételi időpontok során a két helyszínen (referencia és az érintett szakaszon)

Referencia szakasz



Devecseri szakasz



10. ábra: a gombafajok relatív abundanciájának (> 5%) változásai a bükk, tölgy, nyár és fűz avaron a vizsgált két helyszínre külön lebontva

6. Értékelés

Számos környezeti faktor befolyásolja a patakvíz konídium-mennyiségét, gombaközösségét. A legtöbb tanulmány szerint a szubsztrátum mennyisége, minősége a legjelentősebb meghatározó tényező (IQBAL & WEBSTER, 1977; WOOD-EGGENSCHWILER & BÄRLOCHER, 1983; SHEARER & WEBSTER, 1985; METWALLI & SHEARER 1989). A környezeti szennyezés legtöbbször a gombaközösség diverzitásának csökkenéséhez vezet (SOLÉ és mtsai., 2008). Azok az antropogén hatások, melyek a gombák által elérhető szubsztrátum mennyiségében okoznak változásokat, gyakran eredményezik a gombafajok számának csökkenését is.

Pár nappal a katasztrófa után nagy mennyiségű gipszet szórtak a patak vörösiszappal érintett szakaszába a hatóságok, a lúgosság csökkenésének céljából. A beavatkozás hatékonyságát nem tesztelték, s az azokkal párhuzamosan végzett laboratóriumi vizsgálatok alapján (ÜVEGES és mtsi., 2011) nem volt sikeres módszer a patak hidrokémiai egyensúlyának visszaállítására, ellenben jelentős mellékhatásai is adódtak a későbbiek során. Gipszréteg alakult ki a különböző szubsztrátumokon (avaron), ami csökkentette a kolonizálható avarfelület nagyságát a vízi Hyphomycetes számára. Idővel a gipsztartalmú lebegőanyag kiülepedésével nőtt a kolonizálható avarfelület, de a megfelelő mikrohabitatok hiányában a makrogerinctelenek sem tudtak megtelepedni a Torna-patak érintett szakaszán. Ez választhat arra, miért volt a gombák exponenciális növekedése lassabb és a miért álltak fenn fajszám-maximum értékeik hosszabb ideig (8. és 9. ábra) az érintett szakaszon. A referencia szakaszon ilyen akadály nem gátolta a gombák exponenciális, gyors kolonizációját, viszont itt az aprító szervezetek nagy mennyisége miatt gyorsabb mértékű volt az avarlebomlás üteme. Így a tápanyagforrás limitált volt a gombák számára.

A *Heliscus lugdunensis*, a *Tricladium angulatum*, a *Tetracladium marchalianum* (nyár- és fűzavaron), valamint a *Tricladium* fajok magasabb abundanciája (10. ábra) az érintett szakaszon magyarázható azzal, hogy nem voltak jelen kompetítor fajaik, de az is lehet, hogy ezek a fajok tágabb ökológiai kondíciókat képesek tolerálni, így képesek elviselni a vörösiszap sújtotta terület nyújtotta speciális élőhelyi viszonyokat is.

Az Ingold-féle gombák diverzitását (11. ábra) vizsgálva, összességében megállapítható, hogy más hazai kutatással szemben (GÖNCZÖL és mtsai, 1999) kisebb értékek adódtak. A devecseri szakaszon számolt diverzitás és a fajok egyenletessége stagnált, majd a nyár közepe táján, főleg a magas víz hőmérséklet (25-26 °C) miatt jelentkezett a csökkenő tendencia.

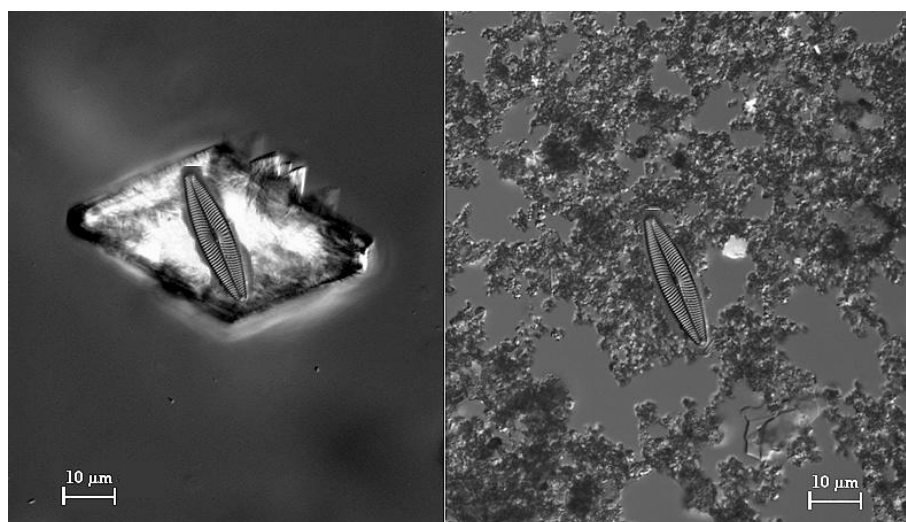
A *Heliscus lugdunensis* és a *Tetracladium marchalianum* jelenléte nem meglepő, mivel néhány külföldi kutatás során is ezek a fajok voltak a dominánsak nehézfémekkel szennyezett patakokban (MIERSCH és mtsai., 1997; SRIDHAR és mtsai., 2000; KRAUSS és mtsai., 2001), valamint nagy rezisztenciát mutattak Cd-mal szemben is (ABEL & BÄRLOCHER, 1984). A *Tetracladium marchalianum* igen gyakori faj lúgos vízfolyásokban (BÄRLOCHER, 1992b). SRIDHAR és mtsai. (2001) egyik vizsgálatukban azt találták, hogy a *T. marchalianum* konídiumai az összes konídiumok 51%-át, míg a *Heliscus lugdunensis* 28%-át alkotta egy szennyezett vízfolyásban (ahol a víztest 2 g oldott Zn-et tartalmazott, valamint néhány milligrammot egyéb nehézfémekből; bányászati és kohászati hulladéklerakók körzetében). A fent idézett kutatások másik helyszínén (egy tó kiépített elvezető csatornája, ahol a nehézfém-tartalom 1 mg l^{-1} alatti volt) az összkonídiumszám 90%-a *T. marchalianum*-tól származott, majd ezt követte az *Anguillospora* sp. (3%), *Tricladium angulatum* (2%) és a *Heliscus lugdunensis* (0,3%). Annak ellenére, hogy a konídium mennyiség jelentősen eltért egymástól, a gombafajok diverzitása hasonló volt a két helyszínen. Vizsgálataikat Mansfeld környékén végezték (Sachsen-Anhalt, Közép-Németország). Kutatásomban a *Cylindrocarpon* és *Anguillospora* fajok szintén gyakoriak voltak mindkét helyszínen. Ezen fajok előfordulását KRAUSS és mtsai. (2001; 2003) szintén leírták szélsőségesen szennyezett patakokban.

Ezek a fajok jó modellek lehetnek abban az esetben, ha különböző szennyezésekhez való adaptálódásukat akarjuk kutatni (SRIDHAR és mtsai., 2000). Mindezen külföldi példákban egy lényeges különbség van az általunk vizsgált körülményekhez képest: a vízfolyásokat jóval hosszabb ideje érte folyamatos stresszhatás, ellentétben a Torna-patakkal, ahol akut szennyezés történt, és a revitalizáció gyors folyamatát figyelhetjük meg.

Lúgos közeg gombaközösségre kifejtett hatásait - természetes körülmények között - pH= 8,4-8,7-nél vizsgálták eddig. Olyan mértékű pH-érték mellett, mint amit a Torna-patak vizében okozott a vörösiszapos szuszpenzió, még nem került sor. A vörösiszap nátronlúgtartalmából kioldódott nátrium-ionok magas vezetőképességet, a vörösiszap szemcsék (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Na_2O , SiO_2 , valamint TiO_2 , stb. hidrát formában; LUIDOLD és mtsai., 2011), majd később a gipsz pedig nagy turbiditási értékeket eredményeztek az érintett szakaszon a tragédiát követően. Vizsgálatom során jelentős változást a gombafajok számában nem tapasztaltam, kivéve néhány esetben (lásd a Fisher egzakt teszt eredményeit). Ugyanakkor ezeket a szignifikáns változásokat sem a vörösiszap, hanem egyéb antropogén eredetű behatás okozta. Nagy valószínűséggel a gipsz. A gipsz sokkal nagyobb kristályokat képzett a vízben, mint a vörösiszap (12. ábra), ezáltal képes volt a szubsztrátumon gipszréteget kialakítani. Míg

a vörösiszapot kisebb áradások is apránként lemosták volna, a gipszet ezek jelentős mértékben megmozgatni nem tudták. Így a gipszlerakódások az élőhelyek regenerációját jelentősen késleltetik, illetve olyan folyamatokat indítanak el, melyek nem sajátjai a katasztrófa által sújtott élőviznek (ÜVEGES és mtsai., 2011). A gipsz-koagulumok felhalmozódása az avaron gátolhatta a gombasejtek anyag- és táplálékfelvételét a víztestből, valamint a micélium konidioforum-képzését is.

SRIDHAR és mtsai. (2000) arra a következtetésre jutottak, hogy nincs nyilvánvaló összefüggés a gombafajok gyakorisága és a nehézfémek patakban lévő koncentrációi között. Tehát levonhatjuk a következtetést, hogy a valódi problémát – a lebontó mikrogombákra nézve - a vízbe szórt nagy mennyiségű gipsz váltotta ki. Ez okozta a kisebb fajgyakoriságot és a lassabb kolonizációs ütemet a Torna-patak devecseri szakaszán.



12. ábra: A gipsz- (bal oldalon) és a vörösiszap-szemcsék (jobb oldalon) mikroszkopikus képe (a méretarányok érzékeltetésére egy diatóma egyedét helyeztek el) Forrás: ÜVEGES és mtsai., 2011.

7. Összefoglalás

2010. október 4-én példátlan méretű, emberéleteket követelő ipari katasztrófa történt Ajka térségében. A Magyar Alumínium Termelő és Kereskedelmi Zrt. (MAL) tulajdonában lévő Ajkai Timföldgyár Ajka és Kolontár között létesített vörösiszap tározójának gátja átszakadt, és mintegy 600-700 ezer köbméter lúgos vörösiszap öntötte el Kolontár, Devecser és Somlóvásárhely mélyebben fekvő területeit. A szennyezés mintegy 40 km²-nyi területen terült szét, a Torna-patak élővilágát megsemmisítette, a Marcalét jelentősen károsította.

A katasztrófa után egy hónappal vízi hyphomycetes gombafajok jelenlétét állapítottam meg a Torna-patak szennyezett szakaszán. Ez a gombacsoport a felszíni vizek fontos

ökológiai funkcióját, a lebontási folyamatokat végzi. 2011. február óta a Pannon Egyetem Limnológia Intézeti Tanszék kutatóival együtt megkezdtem a mikrogomba-közösségek vizsgálatát a Torna-patak medrébe kihelyezett avarzsákok segítségével a patak devecseri, illetve annak Ajka-tósokberéndi, morfológiailag hasonló referencia szakaszán.

Kutatásom során meghatároztam, mely fajok kolonizálják az avart először (a), a gombák szukcesszióját (b), továbbá, összehasonlítottam az előbbi jellemzőket a Torna vörösiszappal érintett és referencia szakasza között (c).

Az avarzsákokból, négy fajból (*Salix alba*, *Quercus cerris*, *Fagus sylvatica* és *Populus nigra*) egy-egy levelet Milli-Q vízzel megtöltött edényekbe levegőztettem 3-4 napig. Ezt követően a szuszpenziót membránfilteren ($\varnothing=8\mu\text{m}$) átszűrtem, majd a filteren fennakadt konídiumok alapján meghatároztam a gombafajokat. Relatív abundanciájukat, diverzitásukat, valamint a Fisher-féle egzakt statisztikai módszerrel kapott eredményeket összehasonlítottam a vizsgálat során.

Összesen 26 vízi hyphomyceta szervezet vett részt a kolonizálás, sporuláció (konídiumképzés) folyamatában az egyes avarfajokon. *Tricladium* fajok, *Heliscus lugdunensis* és *Tetracladium marchalianum* voltak a legellenállóbb gombafajok az érintett, devecseri szakaszon.

Megállapítható, hogy a vízi Hyphomycetes (Ingold-féle gomba) volt az első biológiai csoport, mely sikeresen adaptálódott a katasztrófa által sújtott patakszakaszon. De a kérdés továbbra is fennáll: az Ingold-féle gombák a katasztrófa túlélői vagy csak az első kolonizátor-csoport? Ennek megválaszolásához a későbbiekben további tesztekkel kell elvégezni (festési élősejt-vizsgálat).

A kutatásom jól demonstrálja, hogy az antropogén tevékenységek nagymértékű változásokat eredményezhetnek a felszíni vizek mikroélőhelyein, de a diverz gombaközösségek túlélhetnek vagy gyorsan kolonizálhatják az érintett habitatokat és folytathatják élettevékenységeiket a lebontó mikroszervezetek kulcstagjaiként. Annak vizsgálata, hogy a megváltozott gombaközösség hatására milyen mértékben változnak meg a lebontási folyamatok és egyúttal az újrakolonizáló makrogerinctelenek, az elkövetkezendő vizsgálataim témáját képezik.

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőimnek: Dr. Révay Ágnesnek, aki önzetlenül segítette munkámat és szakmailag biztos háttérrel nyújtott dolgozatom elkészítése során, továbbá hálával tartozom Padisák Judit Professzor Asszonynak, aki lehetőséget adott nekem a Mérnöki Karon eddig nem kutatott természettudományi területen, a mikológia egy szűk diszciplinájának kutatásához.

Köszönöm Dr. Magyar Donátnak a statisztikai számítások során nyújtott segítségét. Továbbá, köszönöm a Limnológia Intézeti Tanszék munkatársainak, PhD-hallgatóinak segítségét a terepi, illetve a laboratóriumi mérések során.

A kutatást támogatta: OTKA No. K 75552, Oktatásért Közalapítvány (NTP-OKA-XXII-055) és a Veszprémi Universitas Alapítvány.

9. Felhasznált irodalom

- ABEL, T., F. BÄRLOCHER (1984): Effects of Cd on aquatic hyphomycetes.- *Appl. Environ. Microbiol.* **48**: 245-251.
- BÄRLOCHER, F. (1985): The role of fungi in the nutrition of stream invertebrates.- *Bot. J. Linn. Soc.* **91**: 83-94.
- BÄRLOCHER, F. (1987): Aquatic hyphomycete spora in 10 streams of New Brunswick and Nova Scotia.- *Can. J. Bot.* **65**: 76-79.
- BÄRLOCHER, F. (1992a): Research on Aquatic Hyphomycetes: Historical Background and Overview.- *In*: BÄRLOCHER, F. (Ed.) *The Ecology of Aquatic Hyphomycetes*. Springer-Verlag, Berlin. *Ecol. Stud.* **94**: 1-3.
- BÄRLOCHER, F. (1992b): Stream Ecology and Its Relevance to Aquatic Mycology.- *In*: BÄRLOCHER, F. (ed.) *The Ecology of Aquatic Hyphomycetes*. Springer-Verlag, Berlin. *Ecol. Stud.* **94**: 16-37.
- BÄRLOCHER, F. (1992c): Human Interference. – *In*: BÄRLOCHER, F. (ed.) *The Ecology of Aquatic Hyphomycetes*. Springer-Verlag, Berlin. *Ecol. Stud.* **94**: 173-181.
- CHAMIER, A-C. (1987): Effect of pH on microbial degradation of leaf litter in seven streams of the English Lake District.- *Oecologia* **71**: 491-500.
- DE WILDEMAN, E. (1983): Notes mycologiques. Fasc. II. *Ann. Soc. Belge. Microscopie.* **17**: 35-68.
- DE WILDEMAN, E. (1984): Notes mycologiques. Fasc. III. *Ann. Soc. Belge. Microscopie.* **18**: 135-161.
- DE WILDEMAN, E. (1985): Notes mycologiques. Fasc. II. *Ann. Soc. Belge. Microscopie.* **19**: 193-206.
- ELOSEGI, A. & POZO, J. (2005): Litter input.- *In*: GRACA MAS., BÄRLOCHER, F. & GESSNER, M.O. (Eds.) *Methods to study litter decomposition: a practical guide*. Springer, Netherlands. p. 3-11.
- FISHER, R. A. (1922): On the interpretation of χ^2 from contingency tables, and the calculation of P.- *J. Roy. Stat. Soc.* **85**(1): 87-94.
- GOH, T. K. & HYDE, K. D. (1996): Biodiversity of freshwater fungi.- *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* Vol. **17**: 5-6, 328-345.
- GÖNCZÖL J., RÉVAY Á., CSONTOS P. (1999): Studies on the aquatic Hyphomycetes of the Morgó stream, Hungary. I. Longitudinal changes of species diversity and conidial concentration. *Archiv für Hydrobiologie* **144**: 473-493.
- GÖNCZÖL, J. & RÉVAY, Á. (2003): Treehole fungal communities: aquatic, aero-aquatic and dematiaceous hyphomycetes.- *Fungal Diversity* **12**: 19-34.
- GÖNCZÖL, J. & RÉVAY, Á. (2011): Aquatic hyphomycetes and other water-borne fungi in Hungary. – *Czech Mycology* 63(2): (in press)
- GULIS V. & SUBERKROPP K. (2006): Fungi: biomass, production and sporulation of aquatic hyphomycetes.- *In*: Hauer F.R. & Lamberti G.A. (Eds.) *Methods in stream ecology*, 2nd edn., pp. 311-325. Academic Press, San Diego, CA.
- GULIS V., MARVANOVÁ L. & DESCALS E. (2005): An illustrated key to the common temperate species of aquatic hyphomycetes.- *In*: Graça M.A.S., Bärlocher F. & Gessner M.O. (Eds.) *Methods to study litter decomposition: a practical guide*, pp. 153-167. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- HIEBER M. & GESSNER M.O. (2002): Contribution of stream detritivores, fungi, and bacteria to leaf breakdown based on biomass estimates.- *Ecology*. **83**: 1026-1038.
- INGOLD, C. T. (1942): Aquatic hyphomycetes of decaying alder leaves.- *Trans. Br. Myc. Soc.* **25**: 339-417. Ez később is van. Abc-ben a megfelelő helyen

- INGOLD, C. T. (1975). An illustrated guide to aquatic and water-borne hyphomycetes (fungi imperfecti) with notes on their biology.- London: Freshwater Biology Association, Publication No. 30. 96 p.
- INGOLD, C. T. (1979): Advances in the study of the so-called aquatic hyphomycetes.- *Am. J. Bot.* **66**: 218-226.
- INGOLD, C. T., 1942: Aquatic hyphomycetes of decaying alder leaves.- *Trans. Br. Myc. Soc.* **25**: 339-417.
- IQBAL, S. H., J. WEBSTER (1977): Aquatic hyphomycete spora of some Dartmoor streams.- *Trans. Br. Mycol. Soc.* **69**: 233-241.
- JAKUCS E.- VAJNA L. (2003): Mikológia.- Agroiinform Kiadó, Budapest.
- KRAUSS, G., F. BÄRLOCHER, P. SCHRECK, R. WENNRICH, W. GLÄSSER, G.-J. KRAUSS (2001): Aquatic hyphomycetes occur in hyperpolluted waters in Central Germany.- *Nova Hedwigia* **72**: 419-428.
- KRAUSS, G., K.R. SRIDHAR, K. JUNG, R. WENNRICH, J. EHRLMAN, F. BÄRLOCHER (2003): Aquatic hyphomycetes in polluted groundwater habitats of central Germany.- *Microb. Ecol.* **45**(4): 329-39.
- LUIDOLD, S., H. ANTREKOWITSCH (2011): Red Mud - Hazardous Waste or Valuable Raw Material?.- *Proc. of EMC 3, Düsseldorf, Deutschland*, 853-864.
- LUO, J., YIN, J., CAI, L., ZHANG, K. AND HYDE, K.D. (2004): Freshwater fungi in Lake Dianchi, heavily polluted lake in Yunnan, China.- *Fungal Diversity* **16**: 93-112.
- MAGYAR D. (2008): The tree bark: a natural spore trap.- *Applied Aspects of Aerobiology, Aspect. Appl. Biol.* **89**: 7-16.
- MAGYAR, D., GÖNCZÖL, J., RÉVAY, Á., GRILLENZONI, F. AND SEJO-COELLO, M.D.C. (2005): Stauro- and scolecoconidia in floral and honeydew honeys. *Fungal Diversity* **20**: 103-120.
- METWALLI, A. A., C.A. SHEARER (1989): Aquatic Hyphomycete communities in clear-cut and wooded areas of an Illinois stream.- *Trans. Ill. Acad. Sci.* **82**: 5-16.
- MIERSCH, J., F. BÄRLOCHER, I. BRUNS, G.-J. KRAUSS (1997): Effect of cadmium, copper, and zinc on growth and thiol content of aquatic hyphomycetes.- *Hydrobiologia* **346**: 77-84.
- NILSSON, S. (1964): Freshwater hyphomycetes: taxonomy, morphology and ecology.- *Symb. Bot. Ups.* **18**: 1-130.
- PASCOAL, C., CÁSSIO, F. és MARVANOVÁ, L. (2005a): Anthropogenic stress may affect aquatic hyphomycete diversity more than leaf decomposition in a low-order stream.- *Arch. Hydrobiol.* **162**: 481-496.
- PASCOAL, C., MARVANOVÁ, L. és CÁSSIO, F. (2005b): Aquatic hyphomycete diversity in streams of Northwest Portugal.- *Fungal Diversity* **19**: 109-128.
- PASCOAL, C., PINHO, M., CÁSSIO, F. és GOMES, P. (2003): Assessing structural and functional ecosystem condition using leaf breakdown: studies on a polluted river.- *Freshw. Biol.* **48**: 2033-2044.
- PETERSEN, R. H. (1962): Aquatic hyphomycetes from North America. I Aleuriosporae (Part 1), and key to genera.- *Mycologia* **54**: 117-151.
- PETERSEN, R. H. (1963a): Aquatic hyphomycetes from North America. II Aleuriosporae (Part 2), and Blastosporae.- *Mycologia* **55**: 18-29.
- PETERSEN, R. H. (1963b): Aquatic hyphomycetes from North America. III Phialosporae and miscellaneous species.- *Mycologia* **55**: 570-581.
- SHANNON, C. E., W. WEAVER (1949): The mathematical theory of communication.- University of Illinois Press, Urbana, USA.
- SHEARER, C. A., J. WEBSTER (1985): Aquatic hyphomycete communities in the River Teign. I. Longitudinal distribution patterns.- *Trans. Br. Myc. Soc.* **84**: 489-501.

- SOLÉ, M., I. FETZER, R. WENNRICH, K.R. SRIDHAR, H. HARMS, G. KRAUSS (2008): Aquatic hyphomycete communities as potential bioindicators for assessing anthropogenic stress.- *Sci. Total. Environ.* **389**: 557–565.
- SRIDHAR, K.R., G. KRAUSS, F. BÄRLOCHER, N.S. RAVIRAJA, R. WENNRICH, R. BAUMBACH, G.-J. KRAUSS (2001): Decomposition of alder leaves in two heavy metalpolluted streams in central Germany.- *Aquat. Microb. Ecol.* **26**: 73–80.
- SRIDHAR, K.R., G. KRAUSS, F. BÄRLOCHER, R. WENNRICH, G.-J. KRAUSS (2000): Fungal diversity in heavy metal polluted waters in central Germany.- *Aquatic Mycology across the Millenium* (eds K.D. Hyde, W.H. Ho and S.B. Pointing). - *Fungal Diversity* **5**: 119-129.
- SUBERKROPP, K. (1992): Aquatic hyphomycete communities.- *In*: G.C. CARROLL & D.T. WICKLOW (Eds.) *The fungal community: its organization and role in the ecosystem*. Marcel Dekker, New York. 2nd edn. p. 729-747.
- ÜVEGES V. (2010): Bentikus és planktonikus algaközösségek fotoszintézisének karakterisztikái. Doktori (PhD) értekezés. Pannon Egyetem, Mérnöki Kar.
- ÜVEGES V., ANDIRKÓ V., ÁCS A., BÍRÓ R., DRÁVE CZ E., HAJNAL É., HAVASI M., HUBAI K. E., KACSALA I., KOVÁCS K., KOVÁTS N., KUCSERKA T., LENGYEL E., MATULKA A., SELME CZY G. B., STENGER-KOVÁCS CS., SZABÓ B., TEKE G., VASS M., PADISÁK J. (2011): A vörösiszap katasztrófa hatása a Torna-patak és a Marcal élővilágára, a regeneráció első időszaka. *Economica* IV. évf. **12**: 95-139.
- VASS M. (2011): Két vízfolyás éves avarhullásának (avar-input) megállapítása, valamint az avarlebontó vízi gombák meghatározása.- Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Bagoly Almanach. Elektronikus Kiadvány. ISBN 978-615-5044-17-5.
- WEBSTER J, DESCALS E. (1981): Morphology, distribution, and ecology of conidial fungi in freshwater habitats.- COLE G.T., KENDRICK B (eds.) *Biology of conidial fungi*. Vol. 1. New York: Academic Press. p. 295–355.
- WEBSTER, J.R. & J.L. MEYER (Eds). (1997): Stream organic matter budgets.- *J. N. Am. Benth. Soc.* **16**: 3-161.
- WOOD-EGGENSCHWILER, S., F. BÄRLOCHER (1983): Aquatic hyphomycetes in sixteen streams in France, Germany and Switzerland.- *Trans. Br. Myc. Soc.* **81**: 371-379.