



NYÍREGYHÁZI EGYETEM
MŰSZAKI ÉS AGRÁRTUDOMÁNYI INTÉZET,
NYÍREGYHÁZA



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**TELEPÜLÉSI SZENNYVÍZISZAP HATÁSA AZ OLASZNÁD
(*ARUNDO DONAX*L.) LEVELÉNEK
MIKROANATÓMIÁJÁRA
EFFECTS OF SEWAGE SLUDGE ON LEAF
MICROANATOMY OF *ARUNDO DONAX*L.**

Készítette: Polyecskó Imre

Konzulensek: Dr. Tóth Csilla, egyetemi docens

NYÍREGYHÁZA

2022.11.25.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, TÉMAFELVETÉS	1
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	2
2.1. A szennyvíz.....	2
2.1.1. Szennyvíziszap, szennyvízüledék által okozott környezetvédelmi problémák.....	2
2.1.2. Szennyvíziszapok, szennyvízüledékek jellemző nehézfém tartalma	3
2.1.3. Nehézfémek felvehetősége, mobilitása	3
2.2. Fitoremediáció	4
2.2.1. A fitoremediáció fogalma	4
2.2.2. A fitoremediációra alkalmas növényfajok.....	5
2.2.3. A fitoremediáció hatása a szennyezett talajok elemtartalmára	6
2.3. Nehézfémek hatása a növényi szövetekre.....	6
2.3.1. Toxikus elemek hatása lágy- és szárú növények levelének mikroanatómiájára.....	6
2.3.2. Fitolitok az <i>Arundo donax</i> L. levélepidermiszében	8
2.4. Az <i>Arundo donax</i> L.....	9
2.4.1. Az <i>Arundo donax</i> L. rendszertani besorolása	9
2.4.2. Az <i>Arundo donax</i> L. ökológiai igénye	10
2.4.3. Az <i>Arundo donax</i> L. termesztése	10
2.4.4. A termesztésbe vont <i>Arundo donax</i> L. vonalak	11
2.4.5. Az <i>Arundo donax</i> L. alkalmazhatósága a fitoremediációban	12
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	13
3.1. Mintaterület.....	13
3.2. Talajminta	13
3.3. Az időjárási elemek alakulása a vizsgált időszakban	15
3.4. Levélmintavétel mikroanatómiai vizsgálatokhoz, preparátumok készítése, mérések ...	18
3.5. Statisztikai módszerek.....	18
4. EREDMÉNYEK.....	20
4.1. Az <i>Arundo</i> vonalak levelének elemtartalmának alakulása a vizsgált években.....	20
4.2. Az <i>Arundo</i> vonalak levelének általános mikroanatómiai jellemzői	22
4.3. Az <i>Arundo</i> vonalak levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a vizsgált években (levélkeresztmetszet)	25
4.3.1. Az SC Blossom vonal levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a vizsgált években	25
4.3.2. A BFT Indianai vonal levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a vizsgált években	28

4.3.3. Az STM Hajdúsági vonal levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a vizsgált években	30
4.4. Az Arundo vonalak levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a vizsgált években (epidermisz)	33
4.4.1. Az SC Blossom vonal levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a levélepidermisz esetében a vizsgált években	33
4.4.2. Az BFT Indianai vonal levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a levélepidermisz esetében a vizsgált években	35
4.4.3. Az STM Hajdúsági vonal levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a levélepidermisz esetében a vizsgált években	37
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	40
6. ÖSSZEFOGLALÁS	42
7. SZAKIRODALMI JEGYZÉK	44

1. BEVEZETÉS, TÉMAFELVETÉS

Napjaink globális problémája a talajszennyezés és az ennek következtében kialakuló talajszennyeződés. Többek között ennek is felróható, hogy világszerte csökken a mezőgazdaságilag hasznosítható területek nagysága. Hazánkban 1991-ben 6,5 millió hektár mezőgazdasági terület volt, ami, mint egy 30 év alatt, 2021-re 5,05 millió hektárra apadt (INTERNET 1). Éppen ezért fontos a talajok minőségének megőrzése, és a már szennyezett talajok megtisztítása és újból művelés alá vonása.

A múlt század szennyvíztisztítási módjai jelentősen eltértek a ma ismertektől. A jelenleg korszerű szennyvíztisztító telepekkel ellentétben a szennyvizet sokszor szigeteletlen földmedrű tó-rendszerekbe helyezték el, ahol a szennyvíztisztítás természetes, biológiai úton zajlott le. Az ilyen helyekre deponált szennyvizek gyakran tartalmaztak a környezetre káros, toxikus elemeket, nehézfémeket is. Ezek teljesen koordinálatlan módon bejutottak az ökoszisztémába és ott a mai napig ökológiai problémákat vetnek fel.

Az ilyen területeken - akár egy rekultivációs munkálatot követően is -, a feltalajban a határértéket meghaladó mennyiségben találhatunk nehézfémeket. Ezen nehézfémek jelenléte megakadályozza azt, hogy valamilyen talajtisztítási folyamat nélkül a területet mezőgazdasági termelésre lehessen hasznosítani. Az ilyen helyeken termesztett növények élelmiszer-biztonsági kockázatot jelenthetnek, mind humán táplálkozás, mind pedig állati takarmányozás szempontjából.

Míg egyes erősen szennyezett talajok esetében a költségesebb talajtisztítási módok lehetnek célravezetőek, mint például a talajégetés, talajmosás és az elektrokémiai talajkezelés, addig az enyhén nehézfém-szennyezett talajok esetében megoldást jelenthet a növényekkel való talajtisztítás, a fitoremediáció.

Kutatásom során egy múlt század béli szennyvízülepítő helyén beállított szabadföldi olasz nád (*Arundo donax* L.) kísérletből származó levélminták szöveti felépítését vizsgáltam. A vizsgálat célja, hogy megállapítsam, hogy a talajban jelenlévő különböző nehézfémek, toxikus elemek milyen változást eredményeznek a levélminták mikromorfometriai paramétereiben. Ezen vizsgálatok során tovább céлом volt az olasz nád nehézfém adaptációs képességének megismerése, a nehézfémek hatásának megismerése a vizsgált levélanatómiai paraméterekre, valamint vizsgált levél-mikroanatómiai paraméterek összehasonlítása a vizsgálat éveiben a három vizsgált vonal (SC Blossom dél-karolinai, BFT indianai és az STM hajdúsági vonalak) esetében.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A szennyvíz

Lakkossági vagy kommunális szennyvíz alatt a háztartások és a helyi kis volumenű gyártó és szolgáltató ipari létesítmények által termelt járulékos szennyvizet értjük. A szennyvíz mennyisége függhet a terület jellemző vízfogyasztásától. A kommunális szennyvízben sokféle szennyező megtalálható, de két fő összetevője az emberi vizelet és bélsár. Emellett tartalmazhat még tisztálkodásból, konyhai műveletekből, takarításból, helyi iparból, egészségügyből származó egyéb szennyezőket is (CZIÁKY et al., 2015).

A szennyvíziszap a települési szennyvíz tisztítsa során létrejövő melléktermék. Napjainkban a növekvő csatornázottságnak köszönhetően a keletkezett szennyvíziszap mennyisége folyamatosan növekszik, ezért fontos feladat ennek a keletkezett anyagnak a környezetbarát elhelyezése, hasznosítása (URI et al., 2015).

2.1.1. Szennyvíziszap, szennyvízüledék által okozott környezetvédelmi problémák

Az ipari és egyéb emberi tevékenység következtében a környezetszennyezés, ezen belül a kémiai környezetszennyezés egyre aggasztóbb méreteket ölt. A szennyezés hatással van valamennyi környezeti elemre ilyen pl. a levegő, élővíz, talaj. A szennyezés következtében a környezeti elemek állapota esetenként oly mértékben romlott, ami már használatuk korlátozásával jár együtt.

A kémiai környezetszennyezésen belül egyre nagyobb jelentőségű a nehézfémek okozta szennyezés. A toxikus nehézfémek és mikroelemek felhalmozódása jelentős humánegészségügyi, ökológiai és biológiai problémákat vethet fel. Az iparosodás fejlődésével a nehézfém és mikroelem kibocsátás a többszörösére emelkedett (SIMON, 2004).

Az elmúlt évtizedek környezeti állapotra vonatkozó kutatásai igazolták, hogy a talajok megemelkedett nehézfém-tartalma gyakran összefüggésbe hozható a mezőgazdasági területeken elhelyezett szennyvizekkel és szennyvíziszapokkal (SIMON, 2004).

A talajok nehézfém-szennyezettsége alapvetően környezeti és humán-egészségügyi problémákat vethetnek fel. A talajok pufferelő képességüknek köszönhetően hosszú évekig képesek toxikus mennyiségű nehézfém akkumulálására, anélkül, hogy annak mérgező hatása megnyilvánulna. Ezek a nehézfémek közvetve vagy közvetlenül bekerülnek a táplálékláncba, így bekerülnek sz emberi szervezetbe is, és ott felhalmozódva károsodást, nagy mennyiségben pedig halált okozhat.

A nehézfémek a talajból közvetlenül a talaj „elfogyasztásával” kerülhetnek az élő szervezetekbe. Közvetett módon pl. szennyezett talajokon termesztett, majd elfogyasztott

növények által. A növények a nehézfémeket oly mértékben képesek felvenni, majd azt magukban akkumulálni, amely már az állati vagy emberi szervezetre káros lehet (BARNA, 2008).

2.1.2. Szennyvíziszapok, szennyvízüledékek jellemző nehézfém-tartalma

Nhézfémek alatt azokat a fémeket értjük, amelyek nagy sűrűséggel rendelkeznek (5g/cm^3 felettiek), ezek általában már kis mennyiségben is mérgezőek (ACHARYA et al., 2018). A szennyvíziszapokban a szennyvíztisztítás folyamata során különböző szennyező anyagok (pl.: nehézfémek) dúsulnak fel. A legveszélyesebb, szennyvíziszapokban is előforduló mikroelemek a Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb és a Zn. A települési szennyvizek és ezáltal a szennyvíziszapok nehézfém-tartalma függ attól, hogy abba milyen forrásból, háztartásokból, ipari létesítményekből kerülnek be fémek a szennyvízbe. Nagyvárosok, metropoliszok szennyvíziszapjaiban általában több nehézfém található, mint a kisebb településekében. Ezek a nehézfémek a szennyvíziszapok által a talajba kerülhetnek, ahol felhalmozódva különböző, jelentős környezeti problémákat idézhetnek elő (KUTATÁSI JELENTÉS, NYÍREGYHÁZI EGYETEM, 2018).

2.1.3. Nehézfémek felvehetősége, mobilitása

A talajok függően az alapkőzettől és az időjárási viszonyoktól mállási folyamatok révén keletkeznek. Ebből adódóan a geológiai jellemzők alapvetőek a talajok nehézfém-tartalmát illetően. A talajok nehézfém-tartalma két részre osztható, egyik a biológiailag felvehető fémhányad a másik a biológiailag nem hozzáférhető rész. A növények által felvehető nehézfém mennyisége függ a talaj pH-jától, az agyag frakciók mennyiségétől, a szervesanyag-tartalomtól és a redox-potenciáltól (KUTATÁSI JELENTÉS, NYÍREGYHÁZI EGYETEM, 2018).

A fém speciációját, oldhatóságát, mobilitását, adszorpciós képességét és ioncsere folyamatait alapvetően meghatározza a talaj pH-ja. A kation formában jelenlévő fémek oldhatósága nagymértékben befolyásolja azok biológiai hozzáférhetőségüket. Oldhatóságuk erősen függ a talaj kémhatásától. Közel semleges pH esetén a kation formában jelenlévő nehézfémek a talajban előforduló anionok egyikével (CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , OH^-) rosszul oldódó vegyületet alkot, ami a talajban immobilizálódik, ez az ion biológiai hozzáférhetőségét rontja. A nehézfém-vegyületek oldhatósága és felvehetősége savasodó közegben javul. Ennek következtében fokozódik a túlozott mennyiségben jelenlévő nehézfémek toxicitása is.

Stabil fémkomplexek kialakításában jelentőséggel bírnak a talajban előforduló szervesanyagok funkciós csoportjai. Vizsgálatok igazolják, hogy fordított arányosság van a talaj szerves anyag tartalma és a fémek növények általi hozzáférhetősége között. Ha a talaj szerves anyag tartalma magasabb, akkor a nehézfém kationok jobban rögzülnek a talajszemcsékhez, ezáltal nehezített a fémionok felvétele. A nagy molekulatömeggel rendelkező huminsavak nagy jelentőséggel bírnak a nehézfémionok visszatartását tekintve. Ezek a huminsavak nagy erővel kötik meg a komplexált nehézfém-kationokat. A komplexképzésre alkalmas kis molekulatömeggel bíró molekulák növelik a talajban előforduló fémionok mobilitását, ezzel növelve azok biológiai hozzáférhetőségét.

Különböző fémionok, különböző komplexképző hajlammal rendelkeznek, ami meghatározza a fémion biológiai hozzáférhetőségét a talajoldat szervesanyag-tartalmának függvényében. A cink és a réz erős komplexképző hajlammal bír, még a mangán instabilabb komplexek kialakítására képes (KUTATÁSI JELENTÉS, NYÍREGYHÁZI EGYETEM, 2018).

2.2. Fitoremediáció

2.2.1. A fitoremediáció fogalma

A fitoremediáció során növények és a velük társult mikroorganizmusok segítségével környezeti elemeket tisztíthatunk meg kémiai szennyezőktől, legyen az szerves vagy szervetlen. Ez a környezeti elem lehet: talaj, talajvíz, felszíni víz, ipari szennyvíz, levegő. A kifejezés a görög *fito*=növény és a latin *remedium*=orvoslás szavak összevonásából ered. A fitoremediáció során a talajban előforduló szennyezőt (legyen az egy nehézfém pl. Cd), nem tüntetjük el teljesen, csupán olyan kis mennyiségűre csökkentjük, amely már nem jelenthet problémát (SIMON, 2004).

A talajokat szennyező kémia anyagok koncentrációjának csökkentésére napjainkban is több, hagyományos és alternatív módszer is ismert. A kismértékű környezeti zavarás és a gazdaságosság miatt az utóbbi évtizedekben előtérbe került néhány olyan remediációs megoldás, melyek alternatív úton nyújtanak segítséget a szennyezettség csökkentésére. Ezen remediációs módszerek közül kiemelendő a fitoremediáció, amikor növények segítségével tisztítjuk meg a szennyezett területeket. A fitoremediáció előnye, hogy a „kezelés” során a területen tartós növényborítottság van. A folyamat végén a biomassza betakarítható és megfelelő eljárást követően hasznosítható is lehet (TÓZSÉR, 2018). A fémekkel szennyezett biomasszát komposztálást követően a talajba lehet visszajuttatni, vagy égetés után (ezzel

energia nyerhető) a szennyező hamut veszélyes hulladék lerakóban kell elhelyezni, magas fémtartalom esetén „kohósítás” révén a fémek visszanyerhetők (SIMON, 2004). A fitoremediáció hátránya, hogy a folyamat, a szennyezettség mértékétől függően több évig is eltarthat, valamint a szennyezett biomasszával élőlények, vadállatok is érintkezhetnek, melyek veszélyeztetettsége sem elhanyagolható. Ezen kívül, tekintve, hogy a fitoremediáció hatása főként a növények gyökérzetére fejt ki hatást, közepes és kismértékű szennyezettség esetén a leghatékonyabb megoldásnak tekintik (TÓZSÉR, 2018).

2.2.2. A fitoremediációra alkalmas növényfajok

Amikor a talajból a szennyező nehézfém egy növény könnyen betakartható részébe vagy részeibe kerül *fitoextrakciónak* nevezzük. A fitoextrakció nagy földfeletti biomasszát képző lágyszárúak vagy fák (pl. fűz fa és nyárfa hibridek) segítségével lehetséges (SIMON, 2004). Kutatások folynak más növényfajok fitoremediációs képességeinek megismerésére is, ilyen növény pl. az *Arundo donax* (SIMON et al., 2008).

SIMON (2004) a következőkben foglalja össze a talajszennyező fémek hiperakkumulációjára képes növények kutatásának történetét: A. Baumann Aachen környékén már 1885-ben több mint 1% (10 000 µg/g) cinket mért a *Viola calaminaria* és a *Thlaspi alpestre* var. *calaminare* növényekben. O. A. Beath és munkatársai az Egyesült Államok nyugati részén felfedezték, az 1930-as években, hogy az *Astragalus* fajok a nikkel hiperakkumulációjára képesek. Prat 1934-ben egy rézbánya közelében fedezte fel, hogy a *Melandrium rubrum* vagyis s vörös mécsvirág nagy mennyiségű réz felvételére és eltűrésére képes. O. V. Gambi és C. Minguzzi 1948-ban felfedezték, hogy az *Alyssum bertolonii* növény nagy mennyiségben képes nikkelt felvenni toszkániai szerpentin talajokból (SIMON, 2004).

Szintén SIMON (2004) foglalja össze a hiperakkumulációra vonatkozó legfontosabb ismereteket, annak fogalmát: a hiperakkumuláció fogalmát először 1977-ben R. R. Brooks és munkatársai használták. Hiperakkumulációra alkalmas növények esetében a fémek elsősorban hajtásban halmozódnak fel, azokban a növényekben, amelyek hiperakkumulációra nem képesek, ott a fémek döntően a gyökérben akkumulálódnak. „Hiperakkumulációról akkor beszélhetünk, ha a növény adott szervében a fémkoncentráció meghaladja az 1000 mg/kg szárazanyag értéket, a növény tehát jóval nagyobb mennyiségben veszi fel az adott elemet, mint az annak talajbéli koncentrációjából következne”.

Hajtásaikban fémeket relatív nagyobb mennyiségben felhalmozni képes vadon előforduló növények a következők: pl. *Thlaspi*, *Alyssum*, *Sebertia*, *Berkheya*. Mérsékelt égvön hiperakkumulátor fajok elsősorban a keresztesvirágúak (*Brassicaceae*), trópusokon pedig a

kutyatejfélék (*Euphorbiaceae*) családjába tartoznak, ezek előfordulhatnak fűfélékként, gyomként, cserjeként, félcserjeként és faként is. Eddig 400-nál is több hiperakkumulátor növényfajt fedeztek fel (SIMON, 2004).

2.2.3. A fitoremediáció hatása a szennyezett talajok elemtartalmára

Erősen nehézfém-szennyezett talajok teljes tisztítása érdekében több évtizedig ill. évszázadig kellene hiperakkumulátor növényt termesztetni az adott területen. Ezek a növények ugyanis nem képesek valamennyi fém szennyezőt a talajból eltávolítani. Jelenlegi tudásunk szerint nincs olyan faj, amely pl. króm vagy urán hiperakkumulációjára képes.

A fitoextrakció során alapkérdés, hogy a területünk milyen nehézfémekkel, milyen mértékben szennyezett, illetve a szennyező fém milyen kötési formában van jelen. Ebből adódóan a fitoextrakció olyan mérsékelt szennyezett területek tisztítására lehet alkalmas, melyeket a szennyező fémektől maradéktalanul nem akarunk megtisztítani, csupán egy olyan szintig, hogy azon mezőgazdasági termelést biztonságosan, kockázat nélkül folytathassunk (SIMON, 2004, 2006).

2.3. Nehézfémek hatása a növényi szövetekre

2.3.1. Toxikus elemek hatása lágyszárú és szárú növények levélének mikroanatómiájára

Több szerző (BINI (2012), SRIDHAR et al. (2005), ANDRÉ et al. (2006)) megállapítja, hogy toxikus elemekkel erősen szennyezett talajokon fejlődő lágyszárú növényfajok esetében a szennyezettség fokának, a felvett toxikus elemek növényi szövetekben való koncentrációjának emelkedésével a levéllemez vastagsága szignifikánsan csökken, továbbá változik az intercelluláris járatok kiterjedése és a sejtek szerveződése (DA SILVA DE JESUS et al., 2016). Azon növények esetében, melyek szennyezetlen területen fejlődnek, a levélmezofillum az oszlopos- és szivacsos parenchima állomány rendezettségére figyelhető meg. Azon növények esetében azonban, amelyek szennyezett talajon fejlődnek az oszlopos parenchima rendezetlensége figyelhető meg, továbbá a levélmezofillum vastagsága is csökken, a parenchima sejtek méretében csökkenés, még számukban emelkedés tapasztalható. Az intercelluláris járatok kiterjedése a szivacsos parenchimában megnő. Egyes megfigyelések (GOSTIN, 2009) azonban Al hatására az arra érzékeny növényfajok esetében a levélepidermisz vastagságának csökkenéséről, és ugyanakkor az intercelluláris járatok kiterjedésének mérséklődéséről számolnak be az oszlopos- és a szivacsos parenchima állományban. A szennyezett talajokon fejlődő növényegyedek esetében a szennyező anyagok koncentrációjának

talajban történő növekedésével, valamint azok növényben történő fokozódó akkumulációjával párhuzamosan megfigyelhető a levéllemez vastagságának csökkenése. Magát a levéllemez vastagságának csökkenését a levélmezofillum sejtek kiterjedésének, és ezáltal a mezofillum réteg vastagságának csökkenése idézi elő. Növekvő szennyeződéssel (Cd, Cu, Pb) csökken a mezofillum sejtek mérete, valamint a köztük lévő intercelluláris járatok kiterjedése is (SRIDHAR et al., 2005; MELO et al., 2007). A téma kutatói a mezofillumsejtek változásán túl a szennyezés indikátorának tekintik a levéllemez vastagságát, a színi epidermiszt felépítő sejtek magasságát és szélességét, a színi epidermisz sejtek sejtfalának vastagságát, a sztómák nagyságát és a sztómadenzitás értékét is.

GOMES et al. (2011) megállapítják, hogy a nehézfémek, szennyező vegyületek (epidermisz) sejtfalba történő akkumulációja, melyet gyakorlatilag a növény mintegy alternatív utat választ megakadályozandó a nehézfém-/szennyező ionoknak a fotoszintetikus apparátushoz történő transzlokációját, részben a levélepidermisz vastagságának növekedésében realizálódik.

A sztómák méretének csökkenésével a sztómadenzitás értéke növekszik. HERMLE et al. (2007) *Salix viminalis* és *Populus termula* nehézfém toleranciája, fitoremediációra való alkalmassága vizsgálata során megállapítják, hogy a fonáki epidermisz sejtek a nehézfém akkumuláció hatására összeesnek és a sztómák zsugorodása szintén megfigyelhető. EL-KHATIB et al. (2016) toxikus elemekkel szennyezett területről származó *Ficus nitida* levelek mikroanatómiai vizsgálatát végezve megállapították, hogy esetükben a kontroll növényekhez képest csökken a kutikula vastagsága, az epidermisz sejtek abnormális alakúakká válnak, méretüket tekintve alatta maradnak a kontroll területről származó egyedek esetében tapasztalt értékekhez képest. BEGAM és ILYAS (2016) a fentiekkel szemben azonban megállapítják, hogy az általuk vizsgált *Tamarindus indica* esetében a szennyezett körülmények között fejlődő növények epidermiszében a sztómák szélesebbek.

Többen beszámolnak a mezofillumsejtekben megjelenő sötét színű tartalmi részokről, melyeket kémiai szempontból a fenolos vegyületek közé sorolnak a szerzők (ANDRÉ et al. 2006, GOSTIN, 2009). Más kutatások rámutatnak arra is, hogy nehézfém terhelés hatására a xilém struktúrája károsodik.

A növények nehézfémek toxikus szintjével szembeni toleranciáját az jellemzi, hogy igyekeznek szöveti szinten a nehézfémeket olyan szövetekben akkumulálni, ahol sem fotoszintézis nem zajlik, sem pedig a fotoszintetikus intermedierek szövetek közötti, illetve növényen belüli transzportját azok nem akadályozzák, illetve károsítják. A megváltozott környezeti viszonyokhoz történő adaptációjuk során így leginkább a többnyire már holt

sejtekből álló vagy jelentős sejtfalvastagodáson átesett mechanikai szöveteket (szklerenchima, kollenchima) felépítő sejtek sejtfalaiban halmozzák fel a nehézfémeket, tovább vastagítva azok sejtfalait, növelve az általuk alkotott szövetek, szövettájak növényi szerveken belüli kiterjedését (VOLLENWEIDER et al., 2006) – ezzel mérsékelve a felvett fémek toxikus hatását. (Ez természetesen azt is maga után vonja, hogy ezekben a szövetekben jelentősen megnő a nehézfém koncentráció. Természetesen ugyanakkor a nehézfémek koncentrációja minimalizálódik az asszimilációban szerepet játszó szövetekben.)

Talajok emelkedő toxikus elem koncentrációjának Poaceae családba tartozó fajok esetén jó indikátorai lehetnek a fitolitok. A fitolitok hidratált amorf szilícium-dioxidból felépülő háromdimenziós testek, amelyek különösen elterjedtek a Poaceae családban (MA - YAMAJI, 2006, CURRIE - PERRY, 2007). A növények a szilíciumot a monokovász formájában veszik fel (H_4SiO_4) a talajból, ez amorf szilícium-dioxiddá ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) polimerizálódva a sejten belül (vakuólum) vagy a sejtközi járatokban raktározódik (KRISHNAN et al., 2000). Ezek a szilícium-dioxid-lerakódások számos biológiai funkcióban játszanak szerepet kezdve a mechanikai szilárdság biztosításától a betegség elleni védekezésen át az abiotikus stressz enyhítéséig (fémtoxicitás, só-, szárazság-, hőstressz) (SHAKOOR et al., 2016, HODSON - EVANS, 1995). A fitolitok a növényi test számos részeiben előfordulnak, megtalálhatók a gyökérsejtekben, a szár epidermisz sejtjeiben, a virágot, virágzatot védő fellevelekben és a lomblevelekben is. Lomblevelekben szerepük van a párologtatás szabályozásában, a bulliform sejtek formájában megjelenő fitolitok csökkentik a párologtatásnak kitett növényi felületet (KRISHNAN et al., 2000).

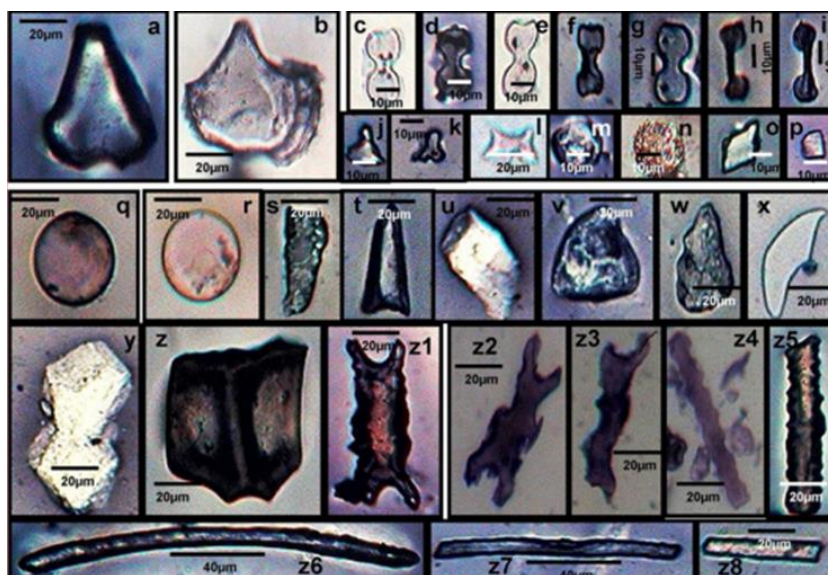
2.3.2. Fitolitok az *Arundo donax* L. levélepidermiszében

Az *Arundo donax* (L.) levélepidermisz sejtjeiben jól kirajzolódnak a kovásodott epidermális hosszú sejtek, a bulliform sejtek (lumenüket szilícium-dioxid tölti ki), az epidermális rövidsejtes fitolitok (nyergek, trapézok, kétkaréjos testek (bilobates)) és maguk a kovásodott sztómák (1. ábra).

A hosszú sejtek az *Arundo donax* L. levél epidermiszének legjellegzetesebb sejtjei. Négyszögletűek, sarkosak, vagy kismértékben lekerekítettek. Megjelenési formájuk szerint az angol szakirodalom a következő 4 csoportba sorolja őket: hullámos hosszú sejtek, sima hosszú sejtek, tüskés hosszú sejtek és fa formájúak.

A bulliform sejtek a színi levélepidermiszbe integrálódnak, jellemzően a tipikus epidermiszsejtekhez képest nagyobb mérettel rendelkeznek. A legyező-szerűen elhelyezkedő

sejteknek a szerepe a levéllemez összepödrése kedvezőtlen hidrológiai viszonyok között, ezáltal csökkentve a levélfelületet, így mérsékelve annak párologtatását (ESAU, 1953).



1. ábra: **Bulliform sejtek**

(a, b); Kétkaréjos testek (c-g); Keskeny kétkaréjos testek (h, i); Tornyok (j, k); Tornyok szarvval (l); Globulusok (m, n); Kocka alakúak (o, p); Kör alakúak (q, r); Klavat (s, t); Trapézoids (u-w); Scutiform (x); Parallepipedális bulliform sejtek (y, z); Hosszú trapézoids (z1-z3); Hullámos hosszúsejtek (z4, z5); Sima hosszúsejtek (z6-z8)

Forrás: SHAKOOR et al., 2016

A rövid sejtek a hosszú sejtek között, illetve azok soraiban vannak jelen. Morfortípusaik lehetnek: bilobátok, nyergek és trapézok.

A sztómák két súlyzó alakú zárósejtből, valamint két háromszög alakú melléksejtből épülnek fel párhuzamos sorokban helyezkednek el az *Arundo donax* L. levéllemezében. Legnagyobb mennyiségben az abaxiális felületen találhatók, az adaxiális levélfelület sztómaszáma ettől elmarad.

2.4. Az *Arundo donax* L.

2.4.1. Az *Arundo donax* L. rendszertani besorolása

Az olasz nád (*Arundo donax* L.) a pázsitfűfélék *Poaceae*) családjába és az *Arundo* nemzetségbe tartozó évelő lágyszárú növény (SIMON 2017, TÓTH és SIMON 2018). Több mint 5 méteres magasságot is elérhet, szára sima felületű, rendkívül kemény, a bambuszhoz hasonlóan nóduszokkal tagolt, levelei kékeszöld színűek, lehajlóak. Az *Arundo* C3-as fotoszintézist folytat, de a fotoszintetikus intenzitása a C4-es növényekéhez hasonlít (JASON G. et al., 2011). Természetes élőhelye a Földközi-tenger mellékétől egészen a Kaukázuson túlig, valamint Kelet-Ázsia (TÓTH és SIMON, 2018). A világban ipari, mezőgazdasági és bioenergetikai céllal termesztik, valamint alkalmazása környezetvédelmi célokból is ismert (SIMON, 2004).

Hazánkban korábban csak dísznövényként termesztették (TÓTH és SIMON, 2018). Viszonylag magas hektáronkénti hozama miatt potenciális energianövényünk (SIMON, 2017).

2.4.2. Az *Arundo donax* L. ökológiai igénye

Az olasz nád hidrofita növényfaj lévén jellegzetes növénye a mediterrán vízpartoknak és mocsaraknak. Ennek ellenére a szárazságot is jól tűri, ami rhizómáinak és mély gyökeresedésének köszönhető. Hőmérsékleti optimuma meleg periódusban $<10\text{ }^{\circ}\text{C}$, még hideg időszakban $<0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Laza, jó vízellátottságú homoktalajokat kedvel, de a kötött, szikes talajokat is elviseli, tűri a talajok viszonylag magas sótartalmát. A számára optimális talaj kémhatása pH 5,0-8,7 közötti. Mély gyökeresedésének köszönhetően elviseli az időszakos talajfelszíni szárazságot (SIMON, 2017).

2.4.3. Az *Arundo donax* L. termesztése

Az olasz nád gyors növekedésű, nagy biotömeg előállítására alkalmas, ezért kísérletek folynak energianövényként való felhasználására. Termesztése trópusi övezeten a legeredményesebb, ottani klimatikus viszonyok között átlagban 75 t/ha száraz föld feletti hozamra képes. Dél-Európában 19-22 t/ha az átlag hozama, hazánkban is eredményesen termesztendő. Meleg éghajlaton, optimális körülmények között, jó tápanyag-ellátottságú, jól levegőzött talajon a potenciális száraz biotömeg hozama a második és harmadik növekedési ciklusban 100 t/ha is lehet. Mivel hazai körülmények között is képes 10-20 t/ha éves hozamot produkálni, -öntözés nélkül-, így egyik potenciális energianövényünk.

Szaporítása főként rhizómákkal vagy mikroszaporítás révén előállított palántákkal, vagy szárdarab dugványozásával lehetséges, utóbbit főként déli országokban alkalmazzák. Ugyanazon a területen 10-15 évig folyamatosan termesztethetjük, tápanyag utánpótlással ezt meghosszabbíthatjuk, de ez sajnos a hozam csökkenésével fog járni. Az ültetvény felszámolása viszonylag könnyű és olcsó, herbicidek kijuttatásával és mélyszántással megoldható.

Őszi mélyszántást (40-45 cm) követően, jól előkészített talajba, kiültetése tavasszal 1x1-es térállásban 15-25 cm mélységbe történik. A kiültetéssel célszerű megvárni a fagyok elmúltát.

Ajánlott mérsékeltvízi növényesűrűség 5-10 ezer db/ha, melegebb éghajlathoz ettől nagyobb sűrűségben, 10-20 ezer db/ha mennyiségben telepíthetjük. A telepítés évében kétféle, de inkább három mechanikai gyomirtás szükséges. Második évben egyszer szükséges gyomszabályozást végezni, sorközművelő kultivátorral. A harmadik évtől az olasz nád túlságosan összezáródó lombzatának köszönhetően gyomszabályozásra nincs szükség. A gyomszabályozás és az

ültetvény felszámolása herbicidek (pl. glifozát) alkalmazásával is történhet. Az *Arundonak* két jelentősebb kártevőjét ismerjük, a kártevőkkel szemben ellenálló. Egyik ilyen kártevő a *Zyginidia quyumi* melynek alternatív gazda növényeként szolgál, másik a *Sesamia* lepkefajok, melyek kárképe a fiatal hajtások károsításában mutatkozik meg. Hazánkban ezek és más kártevők sem okoznak különösebb problémát az ültetvényekben, jelenleg a növényvédelemre itt nincs szükség.

Energianövényként való alkalmazása esetén tápanyagutánpótlást nem igényel. Kis mennyiségű (60 kg N/ha) nitrogén kijuttatására hozamnövekedéssel reagál a növény. Az intenzíven termesztett ültetvények tápanyag-utánpótlást igényelnek, hektáronként 100 kg N, 150 kg P₂O₅, illetve 200 kg K₂O formájában.

Az energetikai célból telepített olasz nád ültetvények öntözést sem igényelnek, ez alól kivételt képez a telepítés éve aszály esetén. Csapadékszegény időjárás esetén mérsékelt öntözés hatására az *Arundo* többlet termést produkál. Egy vegetációs időszakban az olasz nád vízszükséglete 300-700 mm, nagyjából 200 liter vízre van szükség 1kg szárazanyag előállításához.

A második termesztési évben az egyébként egyenes és üreges szárak átmérője 1-4 cm, a szárfalak vastagsága 2-7 mm. Ősszel a talajfelszín feletti növényrészekből a tápanyagok a felszín alatt 5-15 cm-re található rhizómákba vándorolnak. Az egyébként kékes zöld színű 30-70 cm hosszú, 5-8 cm széles, lehajló levelek elszáradnak és részben lehullanak.

A földfeletti biomassa tömegét két jelentős növényi rész adja, a szár és a levelek. A szár a biomassa kb. 80%-át, még a levelek csupán 20-25 %-át adja. A betakarítás általában télen, kora tavasszal történik, ilyenkor a biomassa nedvességtartalma 33-55 % között van. Évente általában egyszer takarítunk be, ez alól a déli államok képezhetnek kivételt, ahol az évente kétszer történő betakarítás sem kizárt. A betakarítási folyamat jól gépesíthető, kukoricaszár betakarító gépekkel végrehajtható. Történhet egy menetben vagy két menetben is. Egymenetben szárítás nélkül már szállításra kerül sor, még kétmenetben a zúzást és szárítást követően bálázzák. A betárolt biomassa cellulóztartalma negatív irányba változhat (SIMON, 2017, INTERNET 2).

2.4.4. A termesztésbe vont *Arundo donax* L. vonalak

Hazai olasz nád fajták egyelőre nincsenek, bejelentésük és elismertetésük folyamatban van (SIMON, 2017). Beszélhetünk azonban három ökotípusról, melyeket mikroszaporítás útján sikerült tovább szaporítani. Ez a három az SC Blossom dél-karolinai, BFT indianai és az STM hajdúsági vonalak (2. ábra). A „Blossom” vonalat az Egyesült Államok délkeleti részén (South

Carolina, Columbia, Blossom utca) található növényekből, az „STM” vonalat Újszentmargita környékén található növényekből szelektálták. Utóbbi a hazai klimatikus viszonyokhoz adaptálódott. A „BFT” vonal az USA-ból, az olasznál legészakibb termőhelyéről, Indiana államból lett szelektálva. A BFT, termőhelyét tekintve feltehetően hidegtűrő tulajdonságokkal rendelkezik (KUTATÁSI JELENTÉS, NYÍREGYHÁZI EGYETEM, 2021)



2. ábra: **Olasznád (*Arundo donax* L.) ökotípusok**
(balról jobbra: SC Blossom, BFT indianai, STM hajdúsági, dr. Simon László felvételei, Debrecen Lovász-zug 2019. október 17.).

Forrás: Kutatási jelentés, Nyíregyházi Egyetem, 2021

2.4.5. Az *Arundo donax* L. alkalmazhatósága a fitoremediációban

Az olasz nád fitoremediációban való alkalmazhatóságára kísérletek folynak, amelyek sorra bizonyítják be, hogy alkalmas lehet ezen területen. PAPA ZOGLOU et al. (2005) kísérletei azt bizonyítják, hogy az olasz nád nagy nehézfém-toleranciával bír. Egy, a Nyíregyházi Egyetemen végzett kísérletek során az olasz nádat két éven keresztül tenyészedenyekben nevelték. A kísérlet beállításakor 5-50-100 mg/kg kadmiumot/nikkelt juttattak ki csepegtető öntözéssel, kadmium-nitrát, illetve nikkel-nitrát formájában. Azt tapasztalták, hogy a kezelések hatására a kezelt minták szárazanyag-hozama szignifikánsan a legnagyobb dózis esetében sem csökkent a kontrollhoz képest. SIMON et al. (2008) egy szintén, a fenti kísérlethez kapcsolódóan 2008-ban Nyíregyházán beállított tenyészedenyes kísérlet eredményeképpen arra jutottak, hogy az olasz nád elsősorban cink akkumulálására képes (SIMON et al., 2008).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Mintaterület

A mintaterület a Debrecen DNY-i határában elhelyezkedő Lovász-zugi tórendszer területére esett (3. ábra). A terület az 1930-as és 1950-es évek között biológiai tisztítási funkciót töltött be Debrecen szennyvízkezelési folyamatában, területén történt a debreceni szennyvíz ülepítése, szikkasztása, utótisztítása zajlott egy lagúnarendszerben (TÓZSÉR, 2018). A terület rekultivációja után a toxikus elemekkel szennyezett szennyvízüledéket talajtakaróval borították be, ennek a felszínén lett beállítva a szabadföldi mikroparcellás kísérletet az olasz nád (*Arundo donax* L.) három különféle vonalával (SC Blossom, BFT Indianai, STM Hajdúsági).



3. ábra: A Lovász-zugi tórendszer régebben, valamint 2022-ben, a jól látható szabadföldi kísérleti parcellákkal

Forrás: Google Earth

3.2. Talajminta

A talajmintavételre 2017. október 5-én került sor a Debrecen–Lovász-zugi mintaterületen (47029'000'' É, 21035'738'' K), egy volt szennyvíz ülepítő tórendszer területén. Rétegminta fúrókkal (Eikelkamp, Hollandia) 48 pontból (melyek 50x50 m-es hálóban helyezkedtek el), 0-30, a 30-60, illetve a 60-90 cm-es talajrétegekből történt meg a mintavétel. (A mintavétel tematikája Prof. Dr. habil. Simon László által, a GINOP 2.2.1-15-2017-00042 „K+F versenyképességi és kiválósági együttműködések” program keretén belül a „A Pannon régió növényeinek genetikai hasznosítása” c. pályázat számára kidolgozott módszertanát követte.). A talajminták analízise a Debreceni Egyetem Agrárműszerközpontjában (Debrecen) történt, ahol az alábbi paraméterek meghatározására került sor: makroelemek: Ca, K, Mg, P, Fe; toxikus elemek: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn; esszenciális mikroelemek: B, Mo, Mn; kémhatás (pH-H₂O 10%-os vizes szuszpenzióban); száraanyag-tartalom, szervesanyag-tartalom (humusztartalom); vízdoldható összes só.

A mintaterület talajának vizes kivonatban mért pH értéke a gyengén lúgos tartományba esett, a KCl oldatban mért rejtett savanyúság 7,28-7,34 között változott. A talaj összes sótartalma nem volt jelentős: 0,057 m/m % volt. Az Arany-féle kötöttségi száma alapján a mintaterület talajának fizikai félesége vályognak bizonyult. A talajban a CaCO₃-tartalom 2,13-2,45 m/m % között alakult. A talaj humusztartalma átlagosan 2,27 m/m % volt (1. táblázat).

1. táblázat: A Debrecen Lovász-zugi mintaterület talajának általános kémiai és fizikai jellemzői

pH-H ₂ O	pH-KCl	Összes só m/m %	K _(A)	CaCO ₃ m/m %	Humusz m/m %
7,72	7,30	0,057	39	2,25	2,27

Forrás: Kutatási jelentés, Nyíregyházi Egyetem, 2021

A 2. táblázat tartalmazza a Debrecen-Lovász-zugból származó talaj makro-, mezo-, esszenciális mikroelem- és toxikus elem-tartalmát.

2. táblázat: A Debrecen Lovász-zugi mintaterület talajának makro- és mezoelem-, esszenciális mikroelem-, valamint toxikus elem tartalma

Makro- és mezoelemek					Esszenciális mikroelemek			Toxikus elemek						
P	K	Ca	Mg	Fe	B	Mo	Mn	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb
mg/kg														
1122	1859	17921	5055	11799	1122	1859	17921	7,16	0,303	120	44,44	<1,00	31,8	35,8

Forrás: Kutatási jelentés, Nyíregyházi Egyetem, 2021

A makro- és mezoelem-koncentrációkat vizsgálva megállapítható, hogy a talaj foszfor tartalma 1122 mg/kg, a káliumé 1859, a kalciumé 17921, a magnéziumé 5055, a vasé 11799 mg/kg. A mintaterület talajának esszenciális mikroelem összetételét jellemzi, hogy bór átlagosan 10,1; a molibdén 0,997, illetve a mangán 306 mg/kg mennyiségben van jelen benne. A hazai talajok átlagban 10-40 mg/kg rezet tartalmaznak, jelen esetben a mért koncentráció meghaladta ezt a tartományt (átlag: 44,44 mg/kg). A cink mennyiségét tanulmányozva ismert, hogy a hazai szennyezetlen talajaink 80%-ban <25-75 mg/kg cink található (SIMON, 2014). A mérési adatok alapján megállapítható, hogy a kísérletbe vont talaj cinktartalma (176 mg/kg) az országos átlagnál nagyobb, és a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet alapján megközelíti a földtani közeg szennyezettségére vonatkozó 200 mg/kg-os szennyezettségi határértéket. A króm mért koncentrációja meghaladja, a nikkelt megközelíti a fenti rendeletben lefektetett 75 mg/kg-os, illetve 40 mg/kg-os határértékeket (2. táblázat). Fenti

adatok alapján megállapítható, hogy Debrecen-Lovász-zugból származó talajminta elsősorban krómmal, kisebb mértékben cinkkel szennyezett.

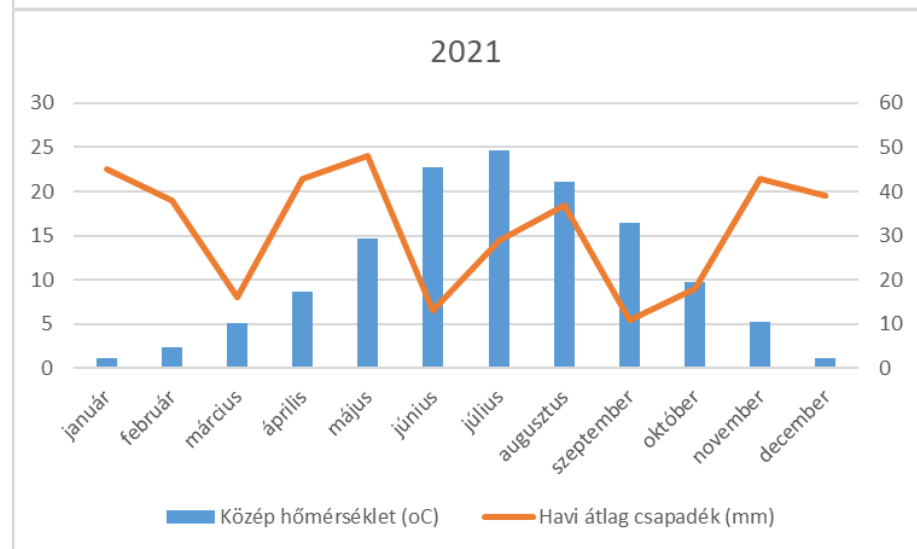
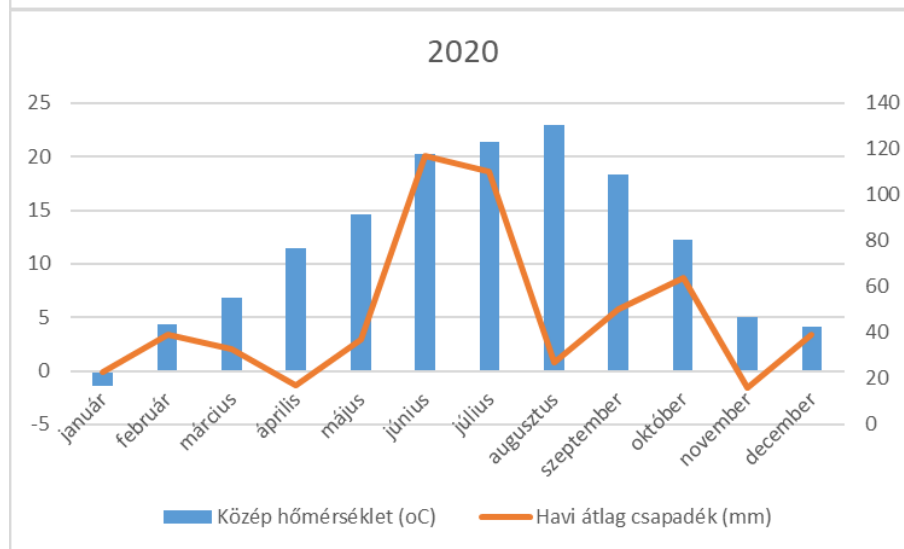
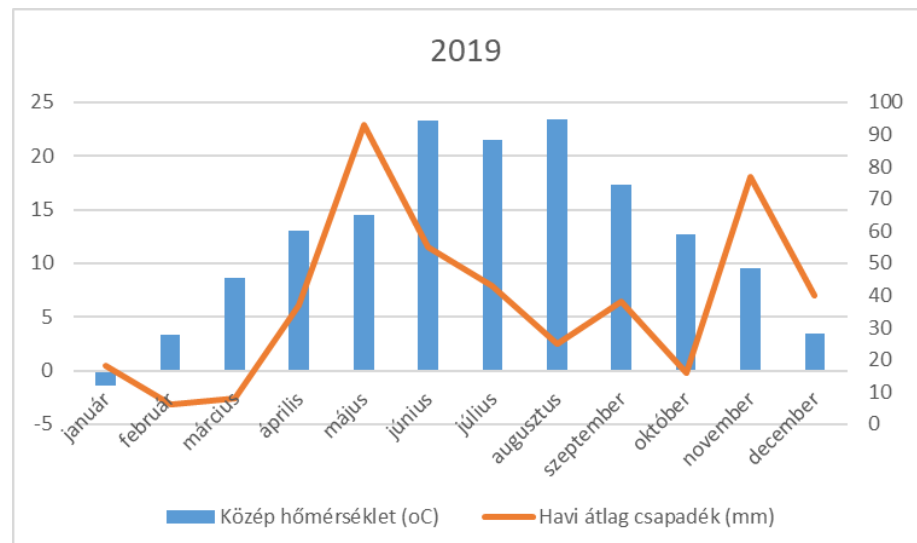
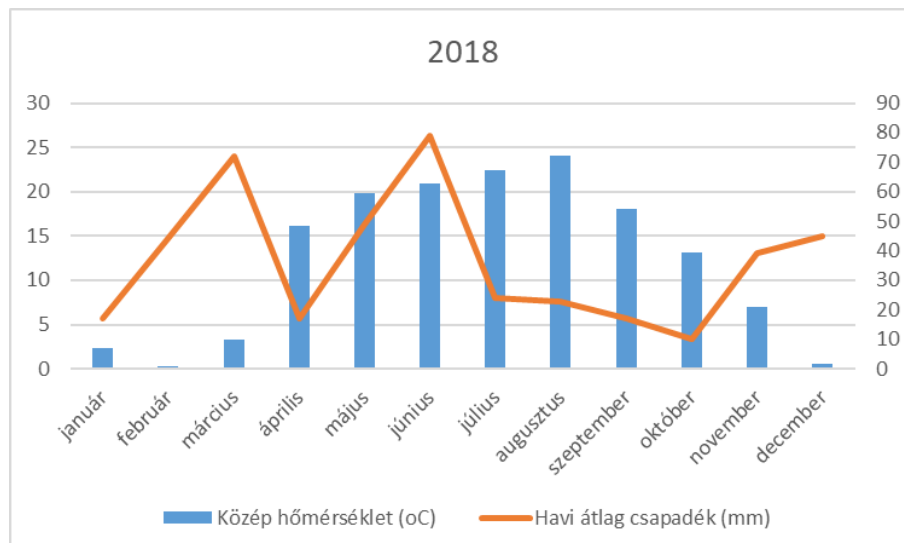
3.3. Az időjárási elemek alakulása a vizsgált időszakban

A vizsgált évek időjárásának alakulását elemezve a következőket tudjuk megállapítani:

A 2018-as év tenyészidőszakában márciustól kezdve felmelegedést tapasztalhattunk. A 4. ábrán látható, hogy március és április között egy hirtelen emelkedés következett be a havi középhőmérsékleti értékekben (5 °C alattiról 15 °C fölötti értékre), azonban áprilistól kezdve a felmelegedés kiegyenlített volt. A legmagasabb középhőmérsékleti értékeket augusztusban mérték (24 °C). Szeptembertől kezdődően elkezdődött a lehűlés, de ez is egy kiegyenlített folyamatként zajlott (előbb 17 °C-ra, majd októberben 12 °C-ra csökkent a havi átlaghőmérséklet értéke). A csapadék tekintetében már nem beszélhetünk ennyire kiegyenlített folyamatról. A diagramról leolvashatjuk, hogy a márciusi 79 mm átlagcsapadék után egy 11 mm átlagcsapadékú, száraz április következett. Szerencsére a „májusi eső aranyat ér” jeligré a májust már 55 mm-es átlagcsapadék jellemezte és ez növekvő tendenciát mutat, hiszen júniusban láthatjuk, hogy kicsivel több, mint 80 mm átlagcsapadék érkezett. Ezek után leolvasható a diagramról, hogy a tendencia megfordult és csökkenővé vált. A júliustól októberig tartó időszakban a havi átlagcsapadék értékei 10-25 mm között mozogtak (4. ábra).

A 2019-es év tenyészidőszakában kissé hasonlóan alakultak a hőmérsékleti tendenciák. Márciustól kezdve folyamatos hőmérsékleti emelkedést tapasztalhattunk, és már a március is enyhe volt, hiszen a középhőmérséklet ekkor már 8 °C körül alakult. Az április és május hasonló volt, ekkor a középhőmérséklet értéke 12-14 °C körül alakult. Júniusban erős növekedést láthatunk, a középhőmérséklet 23 °C volt. A júliusi időjárás mérséklődött, a középhőmérséklet 21 °C-ra csökkent. Az augusztusi hőmérsékleti adatok teljesen megegyeztek a júniusival, így elmondható, hogy a nyár kiegyenlítetten meleg volt. Szeptembertől csökkenni kezdtek a középhőmérsékleti értékek. A csapadékra vonatkozó adatokból leolvashatjuk, hogy míg márciusban alig esett (10 mm), addig áprilisban a diagram görbéje felfelé kúszott és májusra megérkezett a csapadék, közel 100 mm hullott le. Május után azonban egészen augusztusig csökkent a csapadék mennyisége, 50-ről 20 mm-re, a nyár kifejezetten száraz volt. Láthatjuk, hogy szeptemberben 35 mm, októberben azonban csak 20 mm csapadék érkezett.

A 2020-as év hőmérsékleti adatai kiegyenlítettek voltak, hiszen márciustól (7 °C) folyamatos növekedést láthatunk egészen augusztusig (23 °C), amely a legmelegebb hónapnak bizonyult. Szeptembertől folyamatos csökkenés látható a hőmérsékleti adatokban (17-12 °C).



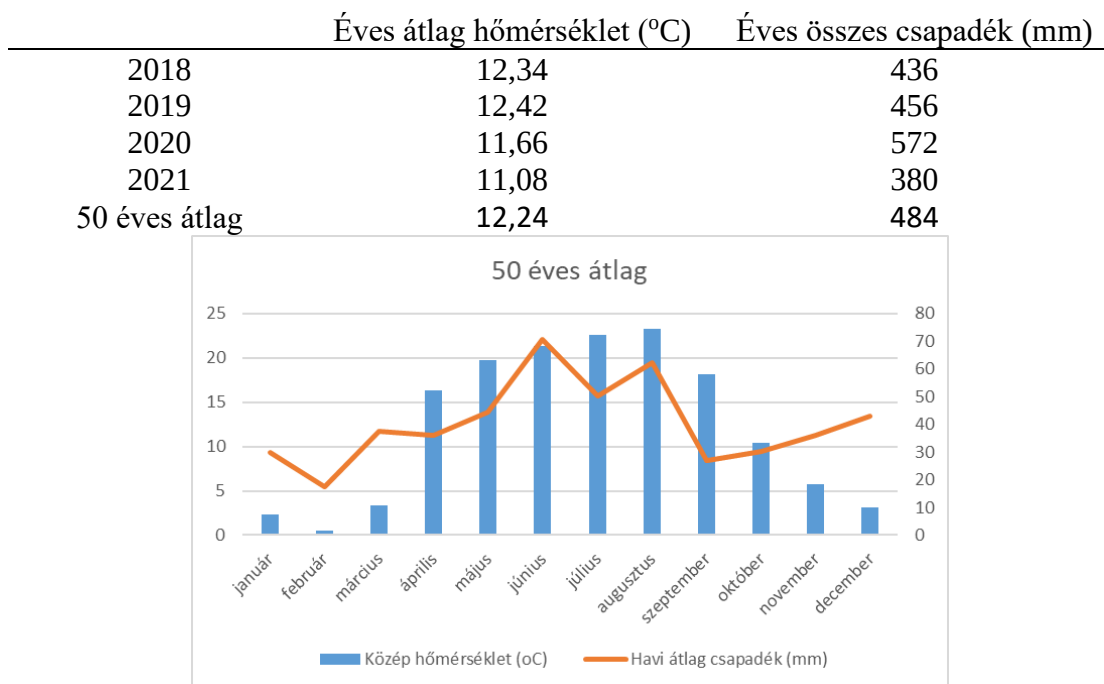
Forrás: OMSZ adatai alapján saját szerkesztés

4. ábra: A vizsgált évek időjárási elemeinek (havi középhőmérséklet (°C) és havi csapadékmennyiségeinek (mm)) alakulása

A csapadék adatokat tekintve megállapíthatjuk, hogy márciusban (30 mm), áprilisban (20 mm) és májusban (30 mm) kevesebb csapadék hullott, de júniusban és júliusban megugrott a csapadék mennyisége (110-120 mm). Augusztusban egy hirtelen zuhanást láthatunk a diagram görbájén, hiszen az érték ekkor lecsökkent 20 mm-re, az augusztus extrém száraz volt. Szeptemberben és októberben átlag 40-50 mm csapadék hullott le.

A 2021-es évben a hőmérsékleti adatok kiegyenlített növekedést mutattak márciustól (5 °C) egészen júliusig (24 °C). Augusztustól (21 °C) pedig kiegyenlített csökkenés volt tapasztalható az év végéig a középhőmérsékletben. A csapadék mennyisége márciustól (15 mm) májusig (45 mm) növekedett és júniusra lecsökkent (15 mm). Júliusban és augusztusban kissé növekedett (30-35 mm), azonban szeptemberre újra lecsökkent, ekkor már csak 10 mm csapadék hullott. Az októberi hónapban 20 mm csapadék érkezett.

3. táblázat: **Az egyes vizsgált évek és az elmúlt 50 év éves középhőmérsékletének (°C) és éves csapadékmennyiségeinek (mm) alakulása, illetve az elmúlt 50 év havi időjárási viszonyai**



Forrás: OMSZ adatai alapján saját szerkesztés

A vizsgált négy év közül 2018 mind csapadékviszonyait, mint hőmérsékleti értékeit tekintve átlagosnak volt tekinthető. 2019 ugyanakkor a tenyészidőszakban kifejezetten száraz évjáratot jelentett (a legmelegebb és a tenyészidőszak idején a legszárazabb év volt a vizsgált évek közül), 2020 nyara csapadékos és enyhe volt, azonban ebben az évben az augusztus a vizsgált évek valamennyi hónapja közül a legszárazabbnak bizonyult. A 2021-es évjárat a 2018-ashoz volt hasonló.

A vizsgált négy évet az elmúlt 50 év átlagához viszonyítva megállapíthatjuk, hogy a 2019-es év átlag középhőmérsékletét tekintve meghaladta az 50 éves átlagot, a leghűvösebb év a 2021-es volt. Míg a 2020-as év kifejezetten csapadékos volt, a 2018-as és a 2019-es év csapadékmennyisége közelítette az 50 éves átlagot. A 2021-es év ugyanakkor összességében extrémén száraz volt (3. táblázat).

3.4. Levélmintavétel mikroanatómiai vizsgálatokhoz, preparátumok készítése, mérések

A Debrecen lovász-zugi olasznáddal beállított kísérlet tesztnövényei (SC Blossom dél-karolinai, BFT indianai és STM hajdúsági vonalak) 2018. május 24-én kerültek telepítésre. A levélminták begyűjtése 2018. szeptember 13-án, 2019. október 24-én, 2020. szeptember 28-án és 2021. július 08-án történtek.



5. ábra. A minták begyűjtése, konzerválása, a konzervált minták a metszés előtt, az elkészített, vizsgálatra kész metszetek

Forrás: Saját felvételek

A kontroll minták a Debreceni Egyetem, AKIT Kutatóintézetnek (Nyíregyháza, Kótaji út) területéről kerültek begyűjtésre 2018. október 2-án. A levélminták begyűjtésekor ép, egészséges, kifejtett levelek (felülről a 3. levél, középső, legszélesebb részéből) kerültek begyűjtésre. A begyűjtött mintákat metszésig, epidermisz-preparátum készítésig Strasburger-Flemming-féle konzerváló oldatban (96%-os etanol: 99,5%-os glicerin: desztillált víz = 1: 1: 1 arányú keveréke) tartósítottuk (5. ábra).

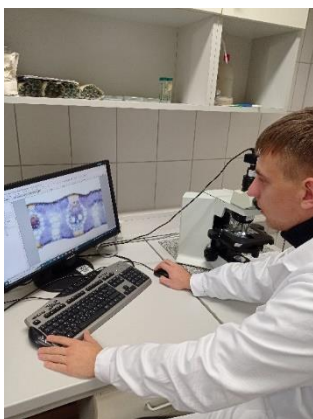
A levélmintákból nyúzatokat és keresztmetszeteket készítettünk. Az epidermisz nyúzatokat HILU és RANDALL (1984), illetve GARDNER et al. (1995) módszerei szerint készítettük,

valamint ELAGÖZ és munkatársait (2006) követve vizsgáltuk. A levéllemez felső- és alsó oldaláról nyúzatot készítettünk. Az epidermisz nyúzatokon, színen és fonákon is az alábbi mikromorfometriai paramétereket vizsgáltuk: kosztális sejtsorok száma (db), rövidsejtek (kovasejt, parasejt - fitolitok) gyakorisága a kosztális zónában (db/mm²), interkosztális sejtsorok száma (db), sztómadenzitás (sztómakomplexek gyakorisága (db/mm²), sztómakomplexek hosszúsága (µm), sztómakomplexek szélessége (µm).

A levelek metszését zsiléttpengével végeztük (6. ábra), a kapott keresztmetszeteken a következő paramétereket vizsgáltuk: színi epidermisz vastagsága (µm), fonáki epidermisz vastagsága (µm), levélmezofillum vastagsága (µm), edénynyaláb szélessége (µm), edénynyaláb magassága (µm), parenhimatikus koszorú és szállítónyaláb területe (µm²), bulliform sejtek száma (db), bulliform sejtek szélessége (µm), bulliform sejtek hosszúsága (µm), színi szklerenchima köteg vastagsága (µm), fonáki szklerenchima köteg vastagsága (µm).

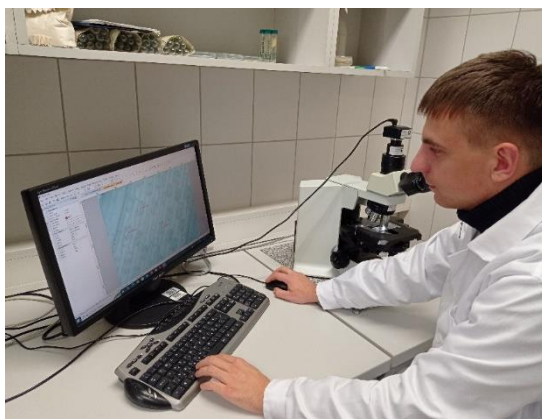


6. ábra: Levélkeresztmetszetek készítése



7. ábra. A levélkeresztmetszetet, illetve a levélepidermiszt jellemző paraméterek mérése a VSI RZ302 mérőprogrammal

Forrás: Saját felvétel



A paraméterek mérését, illetve számolását Olympus (BX51 típusú) fénymikroszkóppal végeztük. A digitális felvételek készítéséhez VSI RZ302 3M CMOS kamerát használtunk, majd VSI RZ302 mérőprogram segítségével mértük a fent említett paramétereket. A keresztmetszetek és az epidermisz nyúzatok is 4x10-es, 10x10-es, illetve 10x20-as nagyításban digitálisan archiváltuk (7. ábra). Valamennyi vizsgált paramétert kezelésként (3 vonal, 4 év) 5-5 ismétlésben mértünk, a kapott eredményeket átlagoltuk. A dolgozatban szereplő táblázatok a kapott átlagértékeket tartalmazzák.

3.5. Statisztikai módszerek

A kísérletben vizsgált paraméterek közötti összefüggéseket korrelációanalízissel vizsgáltuk (Microsoft Excel 2016). A korrelációs mátrixokat az 1. melléklet tartalmazza.

4. EREDMÉNYEK

4.1. Az Arundo vonalak levelének elemtartalmának alakulása a vizsgált években

A vizsgált Arundo vonalak levél-elemtartalmának elemzésekor az SC Blossom vonal esetében mért elemkoncentrációkat tekintettük viszonyítási alapnak, így a többi vonal eredményeit ehhez viszonyítottuk, százalékosan kifejezve. A makro- és mezoelemek terén mind a három vizsgálati évben a BFT vonal esetén lehetett magasabb koncentrációkat mérni, az STM vonal esetén azonban csak az első vizsgálati évben (2018) bizonyult magasabbnak a Mg és a Na koncentráció (pl. SC Blossom vonallal szemben 23,8%-kal, míg a BFT vonallal szemben 20,7%-kal bizonyult magasabbnak a Na-koncentráció). 2019-ben és 2020-ban a BFT Indianai és a STM Hajdúsági vonalban minden vizsgált makro- és mezoelem magasabb koncentrációban volt jelen, mint az SC Blossom vonalban. A BFT Indianai vonal esetében minden makro- és mezoelem koncentrációja 20-40%-kal magasabb értéket mutatott. Szintén nagyon magas értéket mutatott a Na koncentrációja (138,6%-os eltérés). A Na koncentráció az STM Hajdúsági vonalban is meghaladta az SC Blossom vonalban mért értékeket, az STM Hajdúsági vonal esetében azonban a makro- és mezoelemek csak 5-20%-kal mutattak magasabb koncentrációt az SC Blossom vonalban mért értékekhez képest (4. táblázat).

Az esszenciális mikroelemek vonatkozásában már jelentősebb eltérések voltak tapasztalhatók. Mivel esetükben is - a Mn kivételével - valamennyi esszenciális mikroelem koncentrációja az SC Blossom vonalban volt a legalacsonyabb, itt is ezt a vonalat tekintettük az összehasonlítás alapjául. A Cu, a Fe és a Zn 6 -27% közötti többletértéket mutatva koncentráltak a BFT indianai és az STM hajdúsági vonalakban. Mn-ra ugyanakkor a 2018-as első vizsgálati évben az eltérő tendencia volt a jellemző, a BFT vonal 1,8%-kal kevesebb, az STM vonal 12,6%-kal nagyobb értékeket mutatott. A 2019-es, illetve a 2020-as mintavételezési évben egyaránt a BFT vonal esetében minden elem magasabb koncentrációban volt megtalálható, míg az STM vonal esetén az SC Blossom vonalnál mért értékekhez képest alacsonyabb koncentrációk voltak mérhetők (2019-ben kivételt képez a bór: +8,3%). A BFT vonal esetén az eltérések az SC Blossom vonalhoz képest jelentősnek tekinthetők, itt az utolsó két év vizsgálati átlagából kiemelhetjük a mangánt és a cinket. Mangán koncentrációja 2019-ben 50,8%-kal, 2020-ban pedig 17,2%-kal haladta meg az SC Blossom vonalban mért koncentrációs értékeket. A cink 2019-es koncentrációja pedig 66,7%-kal, 2020-ban pedig 11,1%-kal bizonyult magasabbnak a BFT vonal esetében. Az utolsó két vizsgálati évben az STM vonal esetében az esszenciális mikroelemek koncentrációi jellemzően 8-25%-os mértékben alacsonyabbak voltak, mint az SC Blossom vonalban mért értékek (5. táblázat).

4. táblázat: **Olasznád makro-, mezelem és nátrium-tartalmának alakulása a vizsgált években (2018-2020)**

Fajta	Makro- és mezelemek (2018.09.13.)					Makro- és mezelemek (2019.10.17.)					Makro- és mezelemek (2020.06.25.)				
	P	K	Ca	Mg	Na	P	K	Ca	Mg	Na	P	K	Ca	Mg	Na
	mg/kg					mg/kg					mg/kg				
SC Blossom	2191	24329	2444	1699	13,54	1393	14292	2447	661	26,9	2241	29537	3441	1837	61,2
BFT Indianai	2522	26517	2328	1697	13,96	1535	17432	3388	942	35,1	2763	35664	4359	2431	146
STM Hajdúsági	2402	25732	2542	1690	16,77	1407	15349	2567	749	30,0	2547	31229	3977	1999	98,2

Forrás: Kutatási jelentés, Nyíregyházi Egyetem, 2021

5. táblázat: **Olasznád esszenciális mikroelem-tartalmának alakulása a vizsgált években (2018-2020)**

Fajta	Esszenciális mikroelemek (2018.09.13.)				Esszenciális mikroelemek (2019.10.17.)				Esszenciális mikroelemek (2020.06.25.)			
	Cu	Fe	Mn	Zn	Cu	Fe	Mn	Zn	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg/kg				mg/kg				mg/kg			
SC Blossom	4,07	45,6	92,3	17,5	8,33	45,8	128	70,2	9,88	90,7	91,3	92,7
BFT Indianai	10,2	10,8	53,5	193	10,8	53,5	193	117	10,6	94,0	107	103
STM Hajdúsági	4,83	39,2	86,6	16,9	7,65	41,2	111	59,8	8,39	80,1	68,7	83,9

Forrás: Kutatási jelentés, Nyíregyházi Egyetem, 2021

6. táblázat: **Olasznád toxikuselem-tartalmának alakulása a vizsgált években (2018-2020)**

Fajta	Toxikus elemek (2018.09.13.)						Toxikus elemek (2019.10.17.)						Toxikus elemek (2020.06.25.)				
	As	Ba	Cd	Cr	Ni	Pb	As	Ba	Cd	Cr	Ni	Pb	As	Ba	Cd	Cr	Ni
	mg/kg						mg/kg						mg/kg				
SC Blossom	0,065	1,72	0,270	0,146	0,467	0,425	0,211	1,96	0,200	0,079	0,583	0,392	0,224	3,39	0,467	2,24	3,05
BFT Indianai	0,094	1,97	0,329	0,297	0,611	0,620	0,272	2,60	0,297	0,111	1,046	0,616	0,315	5,89	0,634	2,94	3,55
STM Hajdúsági	0,103	1,82	0,329	0,564	1,05	1,27	0,209	2,25	0,191	0,070	0,506	0,369	0,214	4,35	0,501	2,46	3,17

Forrás: Kutatási jelentés, Nyíregyházi Egyetem, 2021

A toxikus elemek vizsgálata esetében szintén SC Blossom vonalat vettük összehasonlítási alapnak, mivel esetében tapasztaltuk a legalacsonyabb toxikus mikroelem koncentrációt. Már 2018-ban is megállapítható volt, hogy a BFT vonal toxikus elemkoncentrációi jelentősen meghaladják az SC Blossom vonalban mért értékeket, főként az As, Ni, Pb és a Cr tekintetében (31 – 103% közötti többlettel). Az STM vonal esetében több nehézfém esetén még ennél is nagyobb, 100%-ot meghaladó mértékű többletet is produkált (6. táblázat). 2019-től a BFT Indianai vonal esetén valamennyi toxikus elem koncentrációja meghaladta a másik két vonalban mért értékeket, azok 30-80%-kal magasabb értékeket jeleztek. Az STM Hajdúsági némiképpen csökkenés volt megfigyelhető a toxikus elemek koncentrációjában, az azonban a 15%-ot nemhaladta meg. 2020-ban továbbra is a BFT Indianai vonal akumulálta legnagyobb mértékben a toxikus elemeket, úgy, mint az arzént (40,6%), a báriumot (73,7%), a kadmiumot (35,7%), a krómot (31,2%), a nikkelt (16,4%) és az ólmot (65,9%). Az STM Hajdúsági vonal esetén a meghatározó toxikus elemek koncentrációja csak kis mértékben haladta meg az SC Blossom vonal esetében mértéket (az As és a Pb koncentrációja el is maradt azoktól): Ba: 28,3%-, Cd: 7,3%, - Cr: 9,8%-, Ni: 3,9%-kal (6. táblázat).

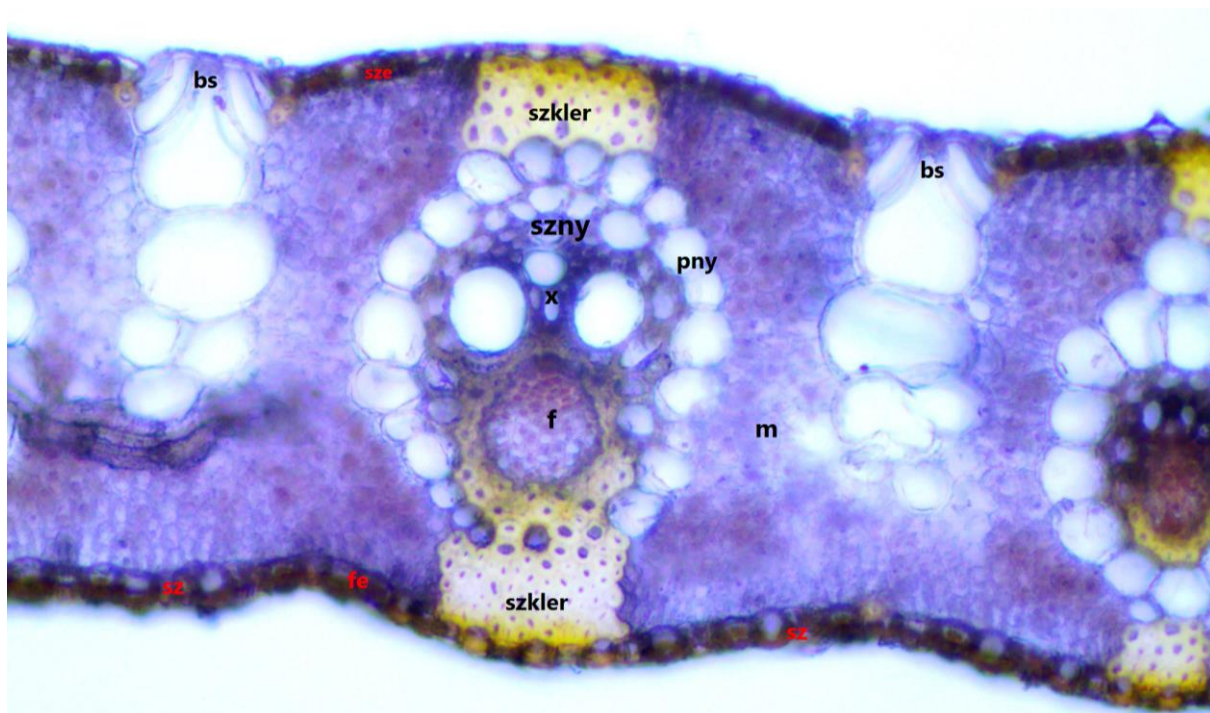
4.2. Az Arundo vonalak levelének általános mikroanatómiai jellemzői

A levélen elvégzett mikroanatómiai vizsgálatokból megállapítható, hogy az olasz nád levélmezofilluma izolaterális és homogén, anatómiai jegyei arra engednek következtetni, hogy a nedves, árnyékosabb élőhelyeket kedveli. Az erek a levéllemezről kiemelkednek, azokat parenchimatikus nyalábhüvely öleli körül, mely élesen elhatárolja a szállítónyalábokat a szivacsos parenchimától. Az edénnyalábokat az epidermisszel szklerenchima hidak kötik össze (8. ábra).

A nyalábok körül részleges koszorúbélyegeket találhatunk, ezek szerepet játszhatnak az olasz nád hatékony fotoszintézisében, mely jóval nagyobb intenzitású, mint azt valamennyi C3-as növény esetében tapasztalhatjuk (ESAU 1997, ROSSA et al. 1998, PAPA ZOGLOU et al. 2005). Az olasz nád ezen tulajdonsága miatt képes olyan magas szintű biomassza termelésre, amely a C4-es fotoszintetikus növények biomassza termelését is nagymértékben meghaladja (ANGELINI et al. 2009, KERING et al. 2012).

Az epidermiszek felszínét vastag kutikula réteg fedi. Az epidermiszen nagyszámú higromorf sztóma figyelhető meg, melyek a hosszúsejtek közé ékelődnek. A sztómák két súlyzóra emlékeztető formájú zárósejtből és háromszög alakú melléksejtekből tevődnek össze. A bórszöveti sejtek között jellegzetes bulliform (könyök) sejteket figyelhetünk meg. Ezek a

sejtek színanyaggal nem rendelkeznek vékony falúak, tág üregűek, a levélközép sejtjei közé ékelődve helyezkednek el (8. ábra).

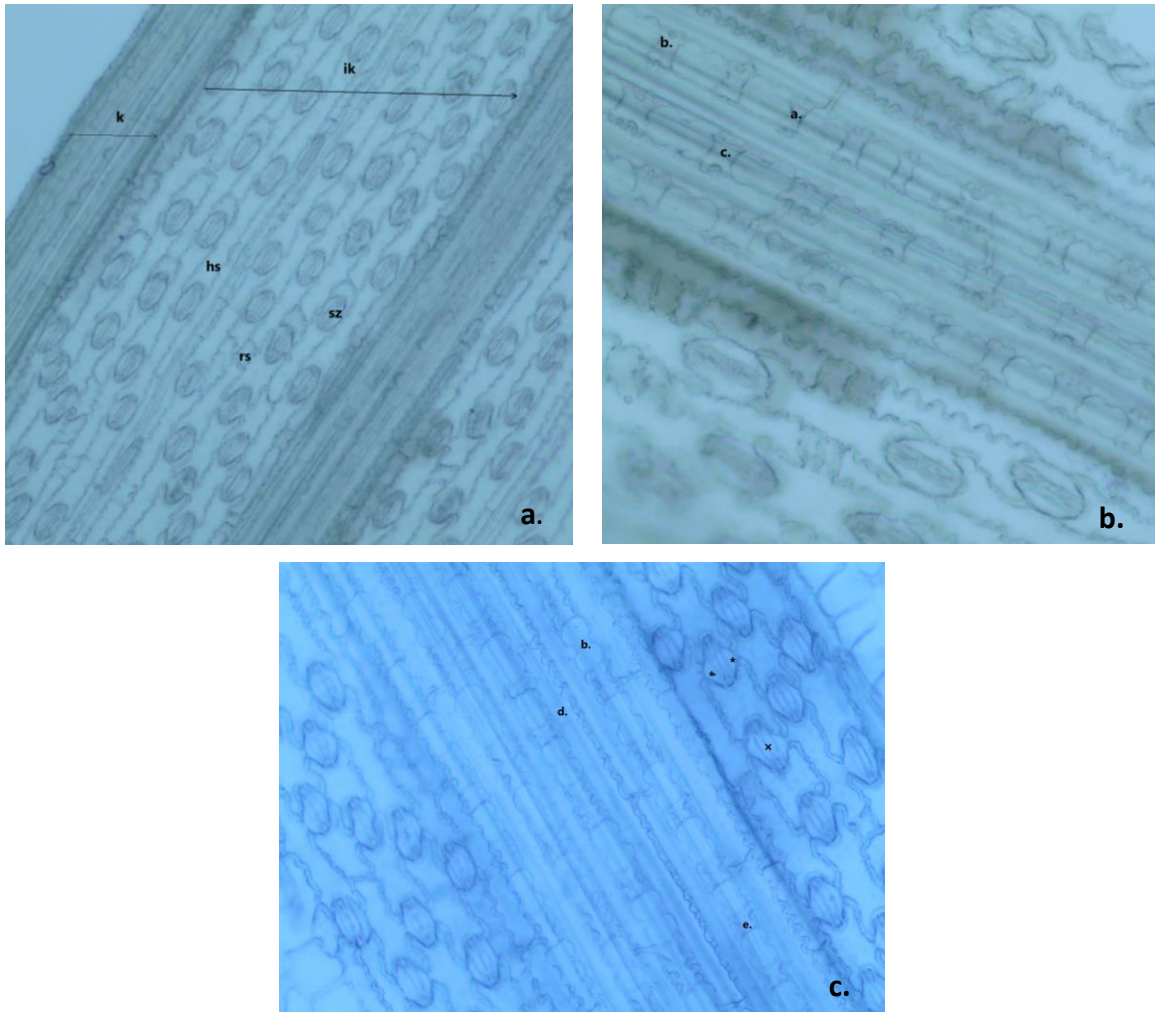


8. ábra: Az STM hajdúsági vonal kontroll mintájának levélkeresztmetszete

sze: színi epidermisz, fe: fonáki epidermisz, sz: sztóma, bs: bulliform sejtek, szny: szállítónyaláb, x: xilém, f: floém, pny: parenchimatis nyalábhüvely, szkler: szklerenchima, m: mezofillum

Forrás: Saját felvétel, Saját szerkesztés

Az epidermiszt hosszú- és rövid sejtek alkotják, mely tulajdonság jellemző a *Poaceae* családra. Eltérés mutatkozik színi és a fonák epidermisz jellemző mikromorfometriai jellegzetességeiben: kosztális zónát alkotó sejtsorok száma, hosszúsejtek mérete (hosszúság, szélesség), kovasejtek gyakorisága. A kosztális zónák a színi epidermiszen keskenyebbek, hosszúsejtjeik antiklinális fala a színi epidermiszen egyenes, a fonák epidermiszen hullámos lefutású. A hosszúsejtek a színi felszínen átlagosan hosszabbak a fonák felszínen lévőknél. A sejtekben papillák nem találhatók, a rövid sejtekből trichómák erednek. Az erek feletti és közötti részben kovatesteket, mint fitolitokat találhatunk, egyrészt mint kovásodott epidermális hosszú sejtek, bulliform sejtek (lumenüket szilícium-dioxid tölti ki), epidermális rövidsejtes fitolitok (nyergek, trapézok, kétkaréjos testek (bilobates)), valamint kovásodott sejtfalú sztóma záró- és melléksejtek (SHAKOOR et al., 2016).



9. ábra: Az *Arundo donax* L. színi- és fonáki epidermiszének jellemző felépítése

a. STM hajdúsági vonal (kontroll) fonáki epidermisz: k: kosztális zóna, ik: interkosztális zóna, hs: hosszú sejt, rs: rövid sejt, sz: sztóma; b. SC Blossom vonal (kontroll) színi epidermisz: a: kétkaréjú testek bevágással a külső széleken, b: kétkaréjos testek széles lebenyekkel és vastag szárral, c: kétkaréjos testek széles lebenyekkel és vastag szárral; c. STM hajdúsági vonal (kontroll) fonáki epidermisz: b: kétkaréjos testek széles lebenyekkel és vastag szárral, d: hullámos hosszúsejtek, e: kétkaréjos testek sima horgos lebennyel, x: súlyzó alakú zárósejtek; *: háromszög-alakú melléksejtek

Forrás: Saját felvétel, Saját szerkesztés

A fitolitok meghatározóan, mint kétkaréjos testek (bilobates) fordulnak elő az *Arundo* epidermiszében. Ezek közül legtöbbjük kétkaréjos test széles lebenyekkel és vastag szárral, kétkaréjos test sima szélekkel és hosszú szárral, kétkaréjú test bevágással a külső széleken, kétkaréjú test finom és hosszú szárral, kétkaréjos test sima és horgos lebennyel.

Az olaszárnak *Poaceae* családra jellemző paracitikus sztómakomplexei vannak. Mezomorfak, felépítésüket tekintve két súlyzó alakú zárósejtből, valamint két háromszög alakú melléksejtből állnak, utóbbiak helyzete laterális (9. ábra). A sztómák a mezofillum sejtek közé ékelődve, az interkosztális régiókban találhatók, a színi epidermisz esetén közvetlenül az ízületi sejtek mind két oldalán.

4.3. Az *Arundo* vonalak levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a vizsgált években (levélkeresztmetszet)

A következőkben összefoglaljuk a toxikus elemekkel terhelt talaj levélmikroanatómiai paraméterekre (levélkeresztmetszet, epidermisz) gyakorolt hatását.

4.3.1. Az *SC Blossom* vonal levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a vizsgált években

Az *SC Blossom* vonal levelének mikroanatómiai vizsgálata után (2018-2021) a következő eredményekről lehet beszámolni (7. táblázat):

A levélkeresztmetszeten elvégzett saját méréseim alapján elmondható, hogy az *SC Blossom* színi epidermisze a vizsgált négy év közül 2020-ban volt a legvékonyabb, a kontrollhoz képest 13,8%-kal mutatott kisebb értékeket. Ezt összevetve a 2020-as év időjárási adataival, feltételezhetjük, hogy a színi epidermisz vékonyodása a nagy mennyiségű csapadéknak köszönhető. Ezen olasz nád vonal által akkumulált toxikus elemek közül a bárium ($r=-0,85910727$), a króm ($r=-0,811725416$) és a nikkel ($r=-0,838852229$) szorosnak tekinthető negatív korrelációt mutatott a színi epidermisz vastagságának alakulásával.

7. táblázat: A jellemző levélmikroanatómiai paraméterek alakulása az *SC Blossom* vonal kontroll mintája és az egyes vizsgált évek esetében

Vizsgált paraméterek	SC Blossom				
	Kontroll	2018	2019	2020	2021
Színi epidermisz vastagsága (μm)	13,85	14,18	14,28	11,94	13,22
Fonáki epidermisz vastagsága (μm)	18,05	16,15	15,12	15,27	14,99
Levélmézofillum vastagsága (μm)	391,77	363,54	294,59	299,25	327,64
Edénynyaláb szélessége (μm)	156,96	183,93	153,20	152,57	173,36
Edénynyaláb vastagsága (μm)	223,06	246,93	200,25	198,59	244,96
Parenchimatikus koszorú és szálltónyaláb területe (μm^2)	54143,35	65561,40	41548,18	42648,00	63486,27
Bulliform sejtek száma (db)	4	3-5	4-6	4-5	4-5
Bulliform sejtek szélessége (μm)	79,69	97,01	82,98	86,81	111,47
Bulliform sejtek hosszúsága (μm)	259,34	274,18	222,92	235,23	215,49
Szklerenchima köteg kiterjedése színen (μm)	58,34	51,24	36,71	36,99	42,02
Szklerenchima köteg kiterjedése fonákon (μm)	37,51	39,91	36,43	40,56	28,10

Forrás: Saját adatok

A fonáki epidermisz vastagsága mind a négy vizsgálati évben kisebb értéket mutatott a kontrollhoz képest. 2018-ban 11%-kal, 2019-ben 16%-kal, 2020-ban 15%-kal és 2021-ben 17%-kal volt vékonyabb. Ezen megfigyeléseink összhangban vannak EL-KHATIB et al. (2016) megfigyeléseivel. A fonáki epidermisz vastagságának alakulása és az olasz nád által akkumulált arzéntartalom között szoros negatív korrelációt ($r=-0,845860811$) áll fenn.

A levélmezofillum vastagságát tekintve is elmondhatjuk, hogy a kontrollhoz képest valamennyi vizsgálati év eredményei alacsonyabb értéket mutatnak. Legnagyobb eltérés a 2019-es év mintájához viszonyítva figyelhető meg, ahol az értékek közötti differencia megközelíti a 25%-ot (. *ábra*). Ezen megfigyelésünk nagy hasonlóságot mutat BINI (2012), SRIDHAR et al. (2005), valamint ANDRÉ et al. (2006) megállapításaival, akik szintén beszámolnak a levélmezofillum kiterjedésének toxikus elem-terhelés hatására bekövetkező csökkenéséről (10. *ábra*).



10. ábra: A jellemző levélmikroanatómiai paraméterek alakulása az SC Blossom vonal kontroll mintája és az egyes vizsgált évek esetében

Forrás: Saját felvétel

A Blossom vonal által akkumulált toxikus elemek közül az arzén szorosan negatív korrelált a levélmezofillum vastagságának alakulásával ($r=-0,896793082$).

Az edénynyaláb szélessége a 2018-as évben mutatott viszonylag nagyobb szintű eltérést, ekkor a kapott érték 17%-kal volt magasabb a kontrollhoz viszonyítva. Legalacsonyabb értéket a 2020-as évben tapasztaltuk, amikor közel 3%-kal volt kevesebb a kontrollhoz képest. Az edénynyalábok magasságáról (vastagságáról) is elmondható az, amit azok szélességénél tapasztaltunk, a legnagyobb értéket ez esetben is a 2018-as mintánál, még a legkisebbet a 2020-as mintánál tapasztaltuk. 2018-ban a kontroll átlagánál közel 11%-kal magasabb, 2020-ban 11%-kal alacsonyabb a kapott érték.

A parenchimatikus koszorú és a szállítónyaláb együttes területe a kontrollhoz képest a következő %-okban tért el a vizsgálat éveiben az SC Blossom vonal esetében: 2018-ban +21%-kal, 2019-ben -23%-kal, 2020-ban -21%-kal, és 2021-ben +17%-kal mutatott más eredményt.

A bulliform sejtek számát tekintve, nagy általánossággal elmondható, hogy a vizsgálat éveiben 3 és 6 között váltakoznak. Legnagyobb mennyiségben a 2019-es mintában volt jelen, ahol a számuk elérte a 6 db-ot is.

A bulliform sejtek szélessége a vizsgálat minden évében felülmúlta a kontrollt. A legnagyobb értéket 2021-ben kaptuk, ahol 40%-kal volt magasabb a kontrollnál. Több irodalom is említést tesz arról, hogy a bulliform sejtek mérete/szélessége szoros korrelációban van a talaj/közeg nehézfém, főként kadmium tartalmával (HAMEED et al., 2012; GOMES et al., 2011). A megfigyelt változások valószínűsíthetőleg az akkumulált toxikus elem növekvő koncentrációjával magyarázható. A bulliform sejtek hosszúságát tekintve elmondhatjuk, hogy számottevő változás nem tapasztalható, legnagyobb eltérést a 2021-es minta esetében tapasztalhatunk, a kontrollhoz képest -17% a differencia. Az SC Blossom esetében megállapítható volt, hogy a bulliform sejtek hosszúsága negatívan korrelál az akkumulált arzén mennyiségével ($r=-0,937237381$).

A szklerenchima kötegek kiterjedése a levélszín esetében a kontrollhoz viszonyítva a 2018-as évben -12%-ban, 2019-ben -37%-ban, 2020-ban -37%-ban és 2021-ben -28%-ban tért el. Ezen eredményeink azonban ellentmondásosnak bizonyultak VOLLENWEIDER et al., (2006) eredményeivel szemben, akik a szklerenchimatikus állomány növekedését írják le toxikus elemterhelés hatására. Ugyanezek az értékek a levélfonákon: 2018-ban +6%, 2019-ben -3%, 2020-ban +8%, és 2021-ben -25% voltak – ezen értékek is eltérést mutatnak a meglévő irodalmi adatokhoz képest. Az elvégzett korrelációanalízis eredményeként megállapítható, hogy a színi szklerenchima kötegek kiterjedése és az SC Blossom által akkumulált arzén mennyisége között szoros negatív korreláció áll fenn ($r=-0,918706341$).

4.3.2. A BFT Indianai vonal levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a vizsgált években

Az elvégzett mérések alapján megállapítható, hogy a vizsgált BFT Indianai vonal színi epidermiszének vastagsága a kísérlet éveiben 13,06 μm és 15,17 μm között változott. A BFT Indianai vonal esetében kontroll mintával nem rendelkeztünk, így az ahhoz való viszonyítás nem volt lehetséges, a kapott eredményeket egymáshoz hasonlítom.

A fonáki epidermisz vastagságát vizsgálva a legnagyobb értéket 2021-ben tapasztaltam, amikor a 2019-es mintához képest (legkisebb érték) közel 19%-kal volt nagyobb a kapott érték. A tapasztalt eredmények kismértékben ellentmondtak a vártaknak (EL-KHATIB et al., 2016), az epidermiszek vastagsága ugyanis nem csökkent, mind a színi-, mind a fonáki epidermisz esetében vastagodást mértünk, ami valószínűsíthetőleg a vizsgált vonal toxikus elem toleranciájával magyarázható (8. táblázat).

8. táblázat: A jellemző levélmikroanatómiai paraméterek alakulása az BFT Indianai vonal kontroll mintája és az egyes vizsgált évek esetében

BFT Indianai				
Vizsgált paraméterek	2018	2019	2020	2021
Színi epidermisz vastagsága (μm)	13,88	13,06	13,75	15,17
Fonáki epidermisz vastagsága (μm)	15,83	14,50	14,96	17,19
Levélmefillum vastagsága (μm)	421,29	335,07	241,25	346,57
Edénnyaláb szélessége (μm)	190,46	166,65	140,95	178,04
Edénnyaláb vastagsága (μm)	264,53	232,44	176,06	256,96
Parenchimatikus koszorú és szállónyaláb területe (μm^2)	72596,10	54967,57	34121,22	84791,70
Bulliform sejtek száma (db)	4-5	4-5	3-5	4
Bulliform sejtek szélessége (μm)	109,21	91,69	91,55	128,59
Bulliform sejtek hosszúsága (μm)	314,23	268,18	214,16	269,91
Szklerenchima köteg kiterjedése színen (μm)	47,67	46,30	38,03	30,50
Szklerenchima köteg kiterjedése fonákon (μm)	42,27	49,47	39,62	38,92

Forrás: Saját adatok

A levélmefillum 2018-ban volt a legvastagabb (421,29 μm), a legvékonyabb 2020-ban volt (241,25 μm), amikor 43%-kal alul múlta a 2018-as minta értékét. Összeségében vizsgálataink eredményeképpen a BFT Indianai vonal esetében is a mefillum csökkenéséről tudunk beszámolni, hasonlóan ANDRÉ et al. (2006) megfigyeléseihez. Az összes vizsgált paraméter értékeinek alakulása azt sugallta, hogy a BFT Indianai vonal tekinthető a toxikus elemekkel szemben a „legérzékenyebb” vonalnak tekinthető, azonban erre egy érdekes tény rácsfol: ha megnézzük a levélmefillumát felépítő sejteket azt tapasztaljuk, hogy a vizsgálat 4. évében csökkent a mefillum sejtek mérete, ezzel párhuzamosan pedig növekedést tapasztaltunk az intercelluláris járatok kiterjedésében (11. ábra). Ezen megfigyeléseink

összhangban vannak SRIDHAR et al. (2005), valamint MELO et al. (2007) megfigyeléseivel, akik növekvő szennyeződéssel (Cd, Cu, Pb) csökkenő a mezofillum sejt-méretekről, valamint a köztük lévő intercelluláris járatok kiterjedésének növekedéséről számolnak be.



11. ábra: A jellemző levélmikroanatómiai paraméterek alakulása az BFT Indianai vonal kontroll mintája és az egyes vizsgált évek esetében

Forrás: Saját felvétel

Az edénynyalábok szélességét és vastagságát illetően is elmondható az, hogy 2018-ban voltak a legmagasabbak a kapott eredmények. A szállítónyaláb szélessége a 2018-as évben 26%-kal haladta meg a 2020-as minta esetében mért legkisebb eredményt, míg a hozzá legközelebb álló 2021-es mintát csupán 6,5%-kal. Az edénynyaláb vastagsága arányaiban az edénynyaláb szélességéhez hasonlóan alakult, a legnagyobb értéket 2018-ban, a legkisebbet 2020-ban mértem. Ha az edénynyalábok méretváltozásának trendjét elemezzük (8. táblázat), sokkal inkább valószínűsíthető, hogy azok az időjárási elemek változásával mutatnak szorosabb kapcsolatot, mintsem a toxikus elemek talajbeli jelenlétével. A fenti kijelentést támasztja alá, hogy az edénynyalábok szélességének és vastagságának alakulása szoros negatív korrelációt mutat a vizsgált évek tenyészidőszakának átlag csapadékmennyiségével ($r = -0,843379985$, illetve $r = -0,923700435$).

A fentiekhez hasonló megállapítást lehet levonni a parenchimatikus koszorú méret-alakulása tekintetében: a parenchimatikus koszorú és a szállítónyaláb együttes területe 2021-ben vette fel a legnagyobb értéket, mely 60%-kal meghaladta a tőle legtávolabb álló 2020-as minta értékét. A hozzá legközelebb eső 2018-as mintát 14%-kal múlta felül. A 2021-es évet kivéve a kiindulási évhez (2018) képest meghatározóan alacsonyabb méretekkkel volt jellemezhető ($r = -0,970541339$).

Az általam vizsgált mintákban a bulliform sejtek száma 3 és 5 között változott. Ezek szélessége 2021-ben volt a legnagyobb, amikor 40%-kal felülmúlta a 2020-as év legkisebb értékét. Ezen sejtek hosszúságának vizsgálatakor azt tapasztaltam, hogy 218-ban volt a leghosszabb ($314,23 \mu\text{m}$), még a legrövidebb ($214,16 \mu\text{m}$) 2020-ban volt. A fenti eredmények valószínűsíthetőleg sokkal inkább az évjáráthatással (extrémen csapadékos 2020-as év), mintsem a toxikus elemek koncentrációjával lesznek magyarázhatók. A bulliform sejtek számának vizsgálati években történő alakulása például igen szoros korrelációt mutat a vizsgált évek tenyészidőszakának átlaghőmérsékleti értékeivel ($r = 0,925131092$), szélességük alakulása azonban negatívan korrelál a tenyészidőszak átlag csapadékmennyiségével ($r = -0,820600488$). Meg kell azonban említeni, hogy az SC Blossom által akkumulált toxikus elemek közül a kadmium, a króm és a nikkel negatívan hathat a bulliform sejtek számára, közöttük igen szoros negatív korreláció áll fenn (Cd: $r = -0,986310881$, Cr: $r = -0,99731969$, Ni: $r = -0,991333316$).

A szklerenchima kötegek kiterjedése a levélszínen 2018-ban volt a legvastagabb, amikor 36%-kal többet mértem a 2021-es minta eredményeihez képest. Ugyanez a vizsgált paraméter a levél fonáki részén 2019-ben volt a legnagyobb ($49,47 \mu\text{m}$), a legvékonyabb - a levél színi részéhez hasonlóan - 2021-ben volt. Ezen eredmények kismértékben szintén ellentmondásosak VOLLENWEIDER et al., (2006) eredményeivel szemben, akik a szklerenchimatikus állomány növekedését írják le toxikus elem-terhelés hatására. A vizsgált olasz nád vonal esetében a toxikus elemek közül a Ba ($r = -0,919812195$), a Cd ($r = -0,962110523$), a Cr ($r = -0,936399669$) és a Ni ($r = -0,949602398$) statisztikailag igazolható módon negatívan hatottak a színi szklerenchimatikus állomány kiterjedésére. A fonáki szklerenchima kötegek kiterjedése és a Cd ($r = -0,82639029$), valamint Cr ($r = -0,819710506$) hajtásban akkumulált mennyisége között szintén erős negatív korreláció volt igazolható.

4.3.3. Az STM Hajdúsági vonal levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a vizsgált években

Az STM Hajdúsági levélmintákon elvégzett saját mérések alapján megállapíthatjuk, hogy a színi epidermisz vastagsága a legnagyobb vastagságát a 2021-es évben érte el, amikor a kontrollhoz képest 11%-kal volt vastagabbnak bizonyult.

A legkisebb értéket 2018-ban vette fel amikor közel 7%-kal volt vékonyabb a kontrollnál, a színi epidermisz vastagsága gyakorlatilag folyamatosan nőtt a vizsgát évek során. (Eredményeink itt megint csak ellentmondásosnak bizonyulnak EL-KHATIB et al. (2016) eredményeihez képest.)

A fonáki epidermisz vastagságának alakulása szintén egyértelműen a vastagodás irányába mutat, a tapasztalt eltérések valamennyi vizsgált évben pozitív irányúak a kontrollhoz képest. A legnagyobb mértékű vastagodás 2018-ban figyelhető meg, ekkor több mint 15%-kal haladta meg a kontroll minta értékét. Ezen megfigyeléseink ugyancsak ellentmondásban vannak EL-KHATIB et al. (2016) megfigyeléseivel szemben.

Levélmazofillum vastagsága esetén ugyancsak elmondható, hogy valamennyi vizsgálati év eredménye felülmúlja a kontroll minta értékét (9. táblázat). A legvastagabb levélmazofillumot 2018-ban mértük, amikor a kontrollhoz képest 53%-kal vastagabb volt a levélmazofillum. A második legnagyobb értéket 2021-ben sikerült mérni, ekkor a vastagodás mértéke 51%-os volt a kontroll mintához képest (12. ábra).

9. táblázat: A jellemző levélmikroanatómiai paraméterek alakulása az STM Hajdúsági vonal kontroll mintája és az egyes vizsgált évek esetében

Vizsgált paraméterek	STM Hajdúsági				
	Kontroll	2018	2019	2020	2021
Színi epidermisz vastagsága (µm)	13,64	12,72	12,83	13,42	15,14
Fonáki epidermisz vastagsága (µm)	13,90	16,05	14,12	15,14	14,65
Levélmazofillum vastagsága (µm)	248,99	381,12	288,43	255,38	376,54
Edénynyaláb szélessége (µm)	142,26	186,84	151,93	146,79	176,88
Edénynyaláb vastagsága (µm)	192,89	257,12	207,36	183,69	249,65
Parenchimatikus koszorú és szállítónyaláb területe (µm ²)	35363,24	67349,25	41881,20	38102,77	77122,13
Bulliform sejtek száma (db)	4	2-5	4-5	3-5	4
Bulliform sejtek szélessége (µm)	87,55	91,01	80,36	89,12	108,75
Bulliform sejtek hosszúsága (µm)	189,83	273,71	229,39	203,28	253,25
Szklerenchima köteg kiterjedése színen (µm)	45,22	53,83	40,27	36,77	32,53
Szklerenchima köteg kiterjedése fonákon (µm)	56,27	42,29	39,49	34,41	30,26

Forrás: Saját adatok

Az edénynyalábok szélessége az vizsgált évek mindegyikében meghaladta a kontroll minta értékét. A legkisebb eltérés 2020-ban mutatkozott, mely csupán 3%-os volt, a legnagyobb pedig 2018-ban, amikor a differencia a 31%-ot is elérte.

Az edénynyaláb vastagsága közel állandónak tekinthető, még akkor is, ha a 2020-ban nem érte el a kontroll minta eredményét, közel 5%-kal alulmulta azt. A 2018-as minta esetében tapasztalhatjuk a legnagyobb növekedést, 33%-ot. A parenchimatikus koszorú és szállítónyaláb együttes területe a kontroll mintában a legkisebb. Hozzá legközelebb a 2020-as minta

eredménye áll, mely +8%-kal, a 2019-es +18%-kal, a 2018-as +90%-kal még a 2021-es +118%-kal tér el.



12. ábra: A jellemző levélmikroanatómiai paraméterek alakulása az STM Hajdúsági vonal kontroll mintája és az egyes vizsgált évek esetében

Forrás: Saját felvétel

A bulliform sejteket vizsgálva megállapíthatjuk, hogy számuk a mintákban 2 és 5 között változik. Szélességük a kontrollhoz viszonyítva a következőképpen változik: 2018-ban: +4%, 2019-ben -8%, 2020-ban +2%, 2021-ben +24% eltérést mutat. Hosszúságuk a kontrollt minden vizsgált évben meghaladta, legnagyobb mértékben 2018-ban, 44%-kal növekedett. Összeségében tehát megállapíthatjuk, hogy mind a bulliform sejtek szélessége, mind pedig

hosszúsága a magas toxikus elem koncentrációnak kitett évek számával emelkedik, ahogy arról HAMEED et al. (2012) és GOMES et al. (2011) is beszámol. Az STM Hajdúsági vonal esetében a bulliform sejtek szélességének alakulása statisztikailag igazolhatóan erősen korrelált a növény által akkumulált toxikus elemek közül a kadmiummal ($r=0,839889939$).

A szklerenchima kötegek kiterjedése színen, pozitív és negatív irányban is elmozdult a legkisebb értéket 2021-ben tapasztaltuk, amikor 28%-kal volt alacsonyabb a kontrollnál, a legvastagabb 2018-ban volt, ekkor 19%-kal volt nagyobb, mint a kontroll. A fonákon a következőképpen alakult a szklerenchima hidak nagysága a kontrollhoz viszonyítva: 2018-ban -12%-kal, 2019-ben -30%-kal, 2020-ban -39%-kal és 2021-ben -46%-kal tért el. Összességében a vizsgált időszakban az STM Hajdúsági vonal esetében a szklerenchimatikus állomány kiterjedésének csökkenéséről tudunk beszámolni.

4.4. Az *Arundo* vonalak levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a vizsgált években (epidermisz)

4.4.1. Az *SC Blossom* vonal levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a levélepidermisz esetében a vizsgált években

SC Blossom színi epidermisz

Az SC Blossom vonal színi epidermiszének nyúzatát vizsgálva megállapítottam, hogy a vizsgált évek adatai közül csupán a 2019-es minta érte el a kontroll értékét a sztómaindexet tekintve. A sztómák darabszáma 2021-ben volt a legalacsonyabb, ekkor -41%-kal tért el a kontrolltól. A sztómaindex alakulása a 2019-es, 2020-as értékben mutatta a HERMLE et al. (2007) és EL-KHATIB et al. (2016) által leírt, fokozódó toxikus elem-terhelés hatására bekövetkező sztómaszám növekedést. A 2021-es száraz nyár hatására ebben az évben visszaesett az egységnyi területre eső sztómaszám (10. táblázat), noha a tenyészidőszak csapadékmennyisége erősnek tekinthető korrelációt mutatott a sztómaindex alakulásával, $r=0,820728305$.

10. táblázat: **Az SC Blossom vonal színi epidermiszének jellemző paraméterei**

SC Blossom (színi epidermisz)					
Vizsgált paraméter	Kontroll	2018	2019	2020	2021
Sztómaindex (db/mm ²)	246,40	178,40	246,40	230,40	145,60
Sztómaszélesség (μm)	8,56	6,68	5,52	8,03	6,97
Sztómahosszúság (μm)	30,58	32,27	32,12	33,61	42,66
Kosztális sejtsorok (db)	6,00	5,00	6,80	5,80	5,40
Interkosztális sejtsorok (db)	4,00	4,00	4,20	4,60	4,80
Fitolit (db/mm ²)	326,67	200	206,67	266,67	306,67

Forrás: Saját adatok

A sztómák szélessége egy minta esetében sem érte el a kontroll értékét, legközelebb 2020-ban állt hozzá, amikor csupán -6% volt az eltérés. A legnagyobb differencia a kontroll és a 2019-es minta között tapasztalható, -35,5%. A sztómák átlagmérete az irodalmi adatoknak megfelelően csökkenést mutatott (HERMLE et al., 2007 és EL-KHATIB et al., 2016), az SC Blossom szöveiben akkumulált toxikus elemek közül azonban a kadmium és a króm statisztikailag igazolható módon hatott a sztómák hosszúságára (Cd: $r=0,848353984$, Cr: $r=0,803037888$). A tenyészidőszak átlaghőmérséklete azonban szoros negatív korrelációt mutatott a sztómák hosszúságának alakulásával ($r=-0,881755373$).

A kosztális sejtsorok darabszáma a kontroll esetén 6, még a vizsgálati években átlagban 5 és 6,8 között mozog. A legalacsonyabb darabszámot 2018-ban érte el, ekkor átlagban 5 db, 2019-ben a legmagasabb 6,8 átlagos darabszámmal. Az interkosztális sejtsorok darabszáma a kontroll esetében 4, míg a vizsgált években 4 és 4,8 között alakul. Az interkosztális sejtsorok számának alakulása esetében erős, illetve szoros korrelációt tudunk kimutatni az akkumulált As ($r=0,852448576$), Ba ($r=0,85523808$), Cd ($r=0,916190167$), Cr ($r=0,965433044$), Ni ($r=0,969962797$) mennyiségével.

A fitolitok száma csökkent: a kosztális régióban számolt kétkaréjos fitolitok (bilobates) száma egy vizsgálati évben sem érte el a kontroll értékét. Legkevesebbet a 2018-as minta esetében tapasztaltam, amikor 200 db fitolit volt négyzetmilliméterenként, ez 39%-kal múlta alul a kontrollt, a 2020-as, illetve a 2021-es évben azonban számuk növekedését lehetett tapasztalni.

SC Blossom fonáki epidermisz

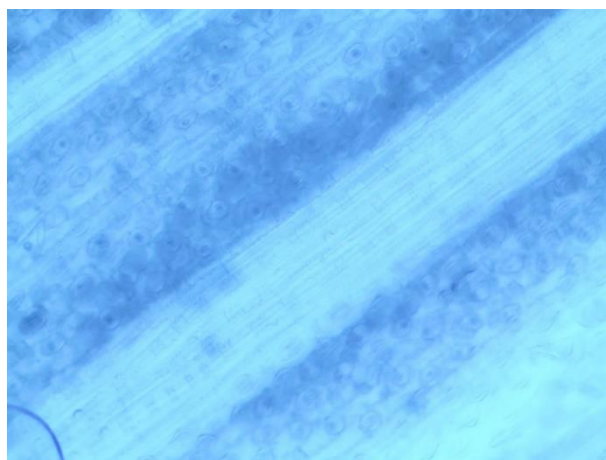
A sztómaindex a levélfonákon átlagosan magasabb értéket vesz fel a színi epidermiszhez viszonyítva. Átlagosan 342,2 db/mm²-t számoltam a 2020-as minta esetében, ami 9%-kal több nagyobb a kontroll minta sztómaindexére. A 2021-es évben azonban ez az érték drasztikusan lecsökkent, ennek hátterében valószínűsíthetőleg a száraz 2021-es nyár állhat (11. táblázat). (A sztómaindex alakulása egyébként ezen vonal esetében a fonáki epidermiszen korrelált a tenyészidőszak csapadékmennyiségével ($r=0,820728305$)).

A sztómák szélessége egyik évben se érte el a kontroll 7,6-es értékét, 2020-ban 7,17-tel állt hozzá a legközelebb, valójában jellemzően nem változott. Hosszúságukat tekintve az tapasztalható, hogy valamennyi minta meghaladja a kontrollt. 2018-ban 26%-kal, 2019-ben 27%-kal, 2020-ban 49%-kal és 2021-ben 58%-kal több – gyakorlatilag folyamatosan nőtt a vizsgált évek során. Míg a tenyészidőszak átlaghőmérséklete negatívan befolyásolta a sztóma

hosszúságot ($r = -0,904869842$), addig az akkumulált toxikus elemek közül a nikkelt erősen korrelál azzal ($r = 0,881665449$).

11. táblázat: Az SC Blossom vonal fonáki epidermiszének jellemző paramétereit

SC Blossom (fonáki epidermisz)					
Vizsgált paraméter	Kontroll	2018	2019	2020	2021
Sztómaindex (db/mm ²)	315,20	292,00	309,60	343,20	196,00
Sztómaszélesség (μm)	7,60	7,08	6,20	7,17	6,78
Sztómahosszúság (μm)	24,77	31,20	31,39	36,93	39,03
Kosztális sejtsorok (db)	7,20	3,80	4,80	4,00	3,20
Interkosztális sejtsorok (db)	4,60	5,20	5,20	6,20	5,40
Fitolit (db/mm ²)	303,30	226,67	260,00	250,00	300,00



Forrás: Saját adatok, Saját felvétel

A kosztális sejtsorok száma csökkent a kontrollhoz képest a vizsgálati évek során, 2021-ben már 56%-kal tér el attól. Az interkosztális sejtsorok átlagos darabszáma 5,2 és 6,2 között mozog a vizsgált években, míg a kontroll értéke 4,6 db.

A fitolitok számának változása jelentős eltéréseket nem mutat, számuk a levél színi részéhez hasonlóan a vizsgált évek egyikében sem érte el a kontroll értékét. 2018-ban 25%-kal, 2019-ben 14%-kal, 2020-ban 18%-kal, 2021-ben 1%-kal volt kevesebb.

4.4.2. Az BFT Indianai vonal levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a levélepidermisz esetében a vizsgált években

BFT Indianai színi epidermisz

A BFT Indianai vonal esetében kontroll mintával nem rendelkezttem, így az ahhoz való viszonyítás nem lehetséges. Az eredmények értékelésekor a vizsgálati évek eredményeit hasonlítom össze egymással (12. táblázat).

A levél színi részén a sztómaindex 2021-ben volt a legalacsonyabb 144 db/mm², míg a legmagasabb 2020-ban volt, amikor a 310-et is meghaladta a négyzetmilliméterenkénti sztóma darabszám (extrém nedves évszám volt a 2020-as év). Eredményeink szerint az Indianai vonal

esetében a színi epidermisz sztómaindexa erősen korrelál a tenyészidőszak hőmérsékletével ($r=0,952138155$). A sztómák szélessége a vizsgált évek átlagát tekintve $7,54\text{ }\mu\text{m}$ volt, értéke folyamatos csökkenést mutatott. A legalacsonyabb 2021-ben, $6,69\text{ }\mu\text{m}$, a legmagasabb 2019-ben $8,09\text{ }\mu\text{m}$ volt. A sztómahosszúság az utolsó vizsgált évben, 2021-ben volt a legmagasabb $37,01\text{ }\mu\text{m}$. A legalacsonyabb 2018-ban $31,13\text{ }\mu\text{m}$. A kosztális sejtsorok száma 4,4 és 5,8 db között mozog. A vizsgálati évek átlaga 4,95 db. Az interkosztális sejtek esetében nagyobb különbség figyelhető meg, a legkisebb értéket a 2018-as mintán tapasztaltam, ahol átlagosan 4,6 interkosztális sejtsor található. A legtöbb ilyen sejtsort a 2021-es mintán számolhatjuk, ahol átlagos darabszáma 8,4. A vizsgált négy év átlaga ebben a paraméterben 5,9. Az interkosztális sejtsorok számának alakulásánál erős korrelációt találtunk a kadmium esetében ($r=0,825695828$).

12. táblázat: **A BFT Indianai vonal színi epidermiszének jellemző paraméterei**

BFT Indianai (színi epidermisz)				
Vizsgált paraméter	2018	2019	2020	2021
Sztómaindex (db/mm ²)	196,80	257,60	310,40	144,00
Sztómaszélesség (μm)	7,69	8,09	7,70	6,69
Sztómahosszúság (μm)	31,13	34,09	32,84	37,01
Kosztális sejtsorok (db)	4,40	4,80	4,80	5,80
Interkosztális sejtsorok (db)	4,60	5,00	5,60	8,40
Fitolit (db/mm ²)	206,67	246,67	290	230

Forrás: Saját felvétel

A fitolitok száma a négy év átlagában $243,29\text{ db/mm}^2$, ezek közül 2018-ban a legkevesebb ekkor négyzetmilliméterenként $206,67\text{ db}$ -ot számolhatunk belőle átlagosan. 2020-ban ettől 40%-kal magasabb értéket kapunk. A fitolitok számának alakulására hatással volt a tenyészidőszak csapadékmennyisége ($r=0,827424741$).

BFT Indianai fonáki epidermisz

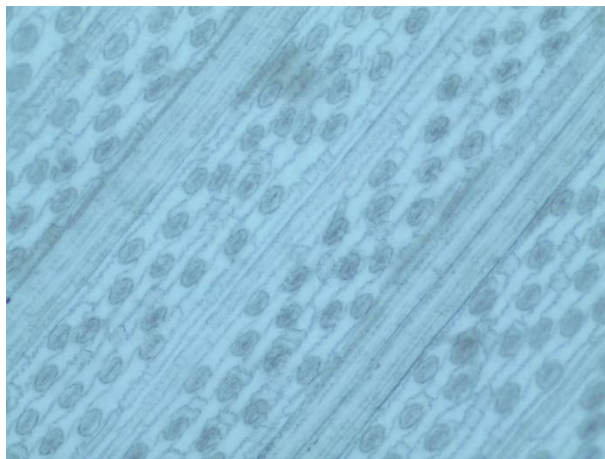
A fonáki epidermisz sztómáit vizsgálva viszonylag nagyobb eltéréseket tapasztalhatunk a különböző vizsgálati években. A négy év átlaga e paramétert illetően 233 db/mm^2 . A sztómaindex folyamatos csökkenést mutatott. A legkisebb értéket a 2021-es mintán tapasztaltam, mely csupán 132 db/mm^2 volt. A legtöbb sztómát a 2019-es mintán számoltam, ezen $338,4\text{ db}$ sztóma volt négyzetmilliméterenként. Utóbbihoz viszonyítva a 2021-es 61%-kal kevesebb (13. táblázat).

A sztómák szélessége átlagosan $8,18\text{ }\mu\text{m}$, a legkisebb 2020-ban $6,8\text{ }\mu\text{m}$, míg a legnagyobb 2021-ben, amikor $9,26\text{ }\mu\text{m}$. A sztómák szélességét befolyásolta a tenyészidőszak csapadékmennyisége ($r=-0,999067465$). A sztómák hosszúságát vizsgálva a legnagyobb 2018-

as (37,89 μm) és a legkisebb 2020-as (34,22 μm) közötti különbség a nagyobbhoz viszonyítva -10%-os volt. Igazolható módon, a növényben lévő bárium koncentráció negatívan hatott a sztómák hosszúságára ($r=-0,800893537$). A kosztális sejtsorok 3,2 db és 5,8 db között mozognak. A legkisebb 3,2-es értéket a 2018-as mintán számoltam, még a legnagyobb 5,8 az értéket a 2020-as mintán.

13. táblázat: **A BFT Indianai vonal fonáki epidermiszének jellemző paraméterei**

BFT Indianai (fonáki epidermisz)				
Vizsgált paraméter	2018	2019	2020	2021
Sztómaindex (db/mm ²)	220,80	338,40	240,80	132,00
Sztómaszélesség (μm)	8,51	8,16	6,80	9,26
Sztómahosszúság (μm)	37,89	36,78	34,22	36,34
Kosztális sejtsorok (db)	3,20	5,00	5,80	4,80
Interkosztális sejtsorok (db)	5,60	5,20	5,00	4,60
Fitolit (db/mm ²)	196,67	256,67	256,67	226,67



Forrás: Saját adatok, Saját felvétel

Az interkosztális sejtsorok négyéves átlaga 5,1 db, a legnagyobb (5,6 db) 2018-ban, a legkisebb (4,6 db) 2021-ben volt. Az akkumulált toxikus elemek nagy része, az arzén, a bárium, a kadmium, a króm és a nikkel ezen vizsgált *Arundo* vonal esetében statisztikailag igazolható módon negatívan befolyásolta az interkosztális sejtsorok számát: As: $r=-0,924586794$, Ba: $r=-0,91994061$, Cd: $r=-0,856324643$, Cr: $r=-0,834089063$, Ni: $r=-0,896879617$. A fitolitok száma 2018-ban volt a legkisebb, amikor 30,5%-kal alul múlta a legnagyobb 2019-es és 2020-as értékeket.

4.4.3. Az STM Hajdúsági vonal levelének toxikus elem terhelés hatására bekövetkező mikroanatómiai paraméter-változásai a levélepidermisz esetében a vizsgált években

STM Hajdúsági színi epidermisz

A sztómaindex értéke 2018-2020-ig meghaladta a kontroll értékeket, a toxikus elemterhelés következményeken várható módon emelkedett (2019-ben a differencia a kontrollhoz képest

+40% volt.). A 2021-es évben negatív irányba 30%-ot tért el a kontrollhoz képest, vélhetőleg a száraz éjárathatás miatt.

A sztómák mérete karakterisztikusan nem változott, a sztómaszélesség 2021-ben mutatta a legnagyobb eltérést, amikor a különbség -17% volt a kontrollhoz képest. A sztómahosszúság esetében a legnagyobb eltérés 2018-ban volt, aminek értéke -10%. A kosztális sejtsorok száma a kontroll esetében 6, 2020-ban 3,4, ami 43%-kal kevesebb, a legtöbb 2021-ben volt, amikor +10% volt a differencia. Interkosztális sejtsorok esetében a 2021-es év adata azonos a kontroll értékével, a többi évben a következő képpen tér el: 2018-ban +14%, 2019-ben +19%, 2020-ban +43% (14. táblázat).

14. táblázat: Az STM Hajdúsági vonal színi epidermiszének jellemző paraméterei

STM Hajdúsági (színi epidermisz)					
Vizsgált paraméter	Kontroll	2018	2019	2020	2021
Sztómaindex (db/mm ²)	182,40	234,40	255,20	227,20	128,00
Sztómaszélesség (μm)	7,72	7,00	7,75	8,01	6,40
Sztómahosszúság (μm)	34,52	31,06	32,47	33,90	36,34
Kosztális sejtsorok (db)	6,00	5,80	6,00	3,40	6,60
Interkosztális sejtsorok (db)	4,20	4,80	5,00	6,00	4,20
Fitolit (db/mm ²)	330	186,67	246,64	290	230

Forrás: Saját adatok

A fitolitok darabszáma egyik vizsgált évben sem érte el a kontroll 330 db/mm²-es értékét. A legkisebb 2018-ban volt, amikor 43%-kal alul múlta a kontrollt.

STM Hajdúsági fonáki epidermisz

A fonáki levélepidermisz tekintetében a sztómaszám gyakorlatilag csökkenő tendenciát mutatott a vizsgált években. 2021-ben tapasztaltuk a legkisebb értéket a sztómák darabszámát illetően, ekkor közel 35%-kal volt kevesebb a kontrollhoz képest, a kiugró értéként lehetett megfigyelni 2019-ben, amikor 31%-kal haladta meg a kontroll értékét. A vonal által akkumulált toxikus elemek közül a Ba, Cd, Cr és a Ni statisztikailag igazolható módon negatívan hatott a fonáki epidermisz sztómaszámára (Ba: $r = -0,823760771$, Cd: $r = -0,982468424$, Cr: $r = -0,939207289$, Ni: $r = -0,938033778$).

A sztómaszélesség a kontrollhoz képest a következőképpen alakult a vizsgált években: 2018-ban -18%-kal, 2019-ben -8%-kal, 2020-ban közel +5%-kal, 2021-ben -10,5%-kal tért el. A sztómák hosszúsága növekedést mutatott, valamennyi minta esetén meghaladta a kontrollt. A legnagyobb mértékű növekedés 2021-ben volt, ekkor 23%-kal volt nagyobb a sztómák átlagos hosszúsága.

15. táblázat: Az STM Hajdúsági vonal fonáki epidermiszének jellemző paraméterei

STM Hajdúsági, Fonáki					
Vizsgált paraméter	Kontroll	2018	2019	2020	2021
Sztómaindex (db/mm ²)	240,00	267,20	314,40	199,20	156,80
Sztómaszélesség (μm)	7,87	6,46	7,24	8,23	7,04
Sztómahosszúság (μm)	32,42	33,14	33,48	34,04	39,93
Kosztális sejtsorok (db)	4,40	5,00	5,40	4,80	4,80
Interkosztális sejtsorok (db)	6,80	4,40	4,80	5,40	8,20
Fitolit (db/mm ²)	336,67	230	313,33	220	210



Forrás: Saját adatok, Saját felvétel

A kosztális sejtsorok 4,8 és 5,4 átlagos darabszám között változnak, a kontroll értéke 4,4. Interkosztális sejtsorok esetében egy viszonylag magasabb átlagértéket találunk 2021-ben. A 2021-es minta értéke 20,5%-kal haladja meg a kontrollt.

A fitolitok darabszámának alakulásában tendencia nem figyelhető meg, 2019-ben volt a legmagasabb a számuk, de ekkor is 7%-kal alatta maradt a kontrollminták esetében tapasztalt értékekhez képest (15. táblázat).

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Vizsgálatainkból a következő megállapításokat tudtuk levonni:

- toxikus mikroelemekből (As+Ba+Cd+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Zn) a legtöbbet a BFT Indianai vonal akkumulált a szennyezett talajból
- valamennyi általunk vizsgált *Arundo* vonal levélének mikroanatómiai paraméterei kisebb-nagyobb mértékben mutatták a nehézfémek növényi szövetekre gyakorolt irodalomból ismert hatásait
- minden vonal esetében tapasztaltuk a levélmezofillum kiterjedésének csökkenését, legkifejezettebb a BFT Indianai vonal esetében volt (esetében megfigyelhető volt a mezofillum sejtek méretének zsugorodása, az intercelluláris terek növekedése (ANDRÉ et al., 2006))
- a BFT Indianai vonal esetében mind a színi-, mind a fonáki epidermisz vatagodott, szemben a többi vonal esetében tapasztaltakkal, ezen ténynek fontos szerepe van a nehézfém toleranciában (EL-KHATIB et al., 2016)
- a bulliform sejtek kiterjedése a BFT Indianai vonal esetében nőtt, mely ténynek a szárazság tolerancia fokozottabbá válásában lesz jelentősége
- a szklerenchimakötegek kiterjedése egyik vizsgált vonal esetében sem nőtt jelentősen, ami ellentmondásos megfigyelés azon megfigyelésekkel, amelyek a szklerenchimatikus állomány kiterjedésének növekedéséről számolnak be (VOLLENWEIDER et al., 2006). Kisebb növekedés volt tapasztalható az SC Blossom és a BFT Indianai vonal esetében.
- a szállítónyalánok kiterjedésének növekedése szintén a BFT vonal esetében volt a legjelentősebb, esetében nem tapasztaltuk a többi vonalra jellemző csökkenő tendenciát
- a sztómák száma a BFT Indianai vonal esetében mindkét epidermisz esetében csökkent, méretük nőtt, nem mutatta a várható, toxikus elem terhelésre irodalmakból ismert reakciót
- a fitolitok száma a BFT Indianai vonal esetében jelentős növekedést mutatott, a fitolitok gyakorlatilag képesek magukban akkumulálni a toxikus elemeket, védve ezáltal a növényi életfolyamatokat a toxikus elem okozta stressztől (KRISHNAN et al., 2020)

Vizsgálatainkból összességében megállapíthatjuk, hogy a különféle vonalak közül (SC Blossom, BFT Indianai és STM Hajdúsági) a BFT vonal a vizsgált mikromorfometriai jellemző tekintetében néhány esetben ugyan mutatja a nehézfém-szennyeződéshez történő adaptáció jellegzetes jegyeit, azonban legtöbb vizsgált paraméter esetében nem tudunk változásról

beszámolni. Mutatja a nehézfémekkel terhelt termesztési környezetben fejlődő azon jellemző bélyegeket, mint a levélmezofillum kiterjedésének csökkenése, a szklerenchimatikus állomány kiterjedésének növekedése. Mindezen bélyegekkal párhuzamosan azonban a sztómák mérete nem csökken, a sztómadenzitás pedig nem emelkedik. Nő a fitolitok száma – ez hatékony védekezési stratégia a toxikus elemek ellen. A fentiek ismeretében kijelenthető, hogy az általunk vizsgált vonalak közül az Indiana nehézfém terhelésre adott adaptációs, stresszt elkerülő válasza a legjobb. (A másik két vonal közül az SC Blossom vonal az, amelyik az STM hajdúsági vonalhoz képest jobban tolerálja a nehézfém-stressz hatásait, de adaptációs képessége az BFT indianai vonalhoz képest elmarad).

6. ÖSSZEFOGLALÁS

2018-ban Debrecen DNY-i határában elhelyezkedő Lovász-zugi tórendszer területén három *Arundo donax* L. vonallal (SC Blossom, BFT Indiana és STM Hajdúsági) szabadföldi mikroparcellás kísérlet beállítása történt meg. A terület az 1930-50-es évek között biológiai tisztítási funkciót töltött be Debrecen szennyvízkezelési folyamatában. A területet talajjal fedték le, ám sok helyen a felszín közelében helyezkedik el a magas toxikus elem koncentrációval jellemezhető szennyvízüledék. Vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a szennyvízüledék felvehető tápelemekben gazdag. Toxikus elemeket (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) jelentős mennyiségben tartalmaz, a legkiemelkedőbb értékeket a Cr és a Zn mutatta. Vizsgálatunk célja az volt, hogy megvizsgáljuk, hogy a mintaterületet jellemző magas toxikus elem koncentráció milyen mértékben és hogyan hat az *Arundo* vonalak leveleinek mikromorfometriai jellemzőire. A levelekben a vizsgált toxikus elemek (As+Ba+Cd+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Zn) legnagyobb összkoncentrációját a BFT Indiana vonalban (326 mg/kg) találtuk, az SC Blossomban (210 mg/kg) és STM Hajdúsági (182 mg/kg) vonalakban mért értékek elmaradtak attól. A legmagasabb Zn koncentrációt (103 mg/kg) a BFT Indiana vonal leveleiben találtuk. A mikroanatómiai vizsgálatokhoz a mintákat vonalanként, négy ismételtsben vettük meg, négy vizsgálati évben (2018, 2019, 2020, 2021). Leemeltük felülről a harmadik levelet, minden levél középső harmadát fixáló oldatba (Strasburger-Flemming féle konzerváló elegy) helyeztük. A mintákból levélkeresztmetszeteket és levélnyúzatokat készítettünk, melyeken a következő paramétereket vizsgáltuk: színi epidermisz és fonáki epidermisz, levélmezofillum vastagsága (μm); edénynyaláb szélessége és vastagsága (μm), parenchimatikus koszorú és szállítónyaláb területe (μm^2), bulliform sejtek száma (db), bulliform sejtek szélessége és hosszúsága (μm), szklerenchima köteg kiterjedése a levél színen és a levélfonákon (μm), sztómaindex (db/ mm^2), sztómaszélesség és -hosszúság (μm), kosztális és interkosztális sejt sorok száma (db), fitolitok száma (db/ mm^2). A három *Arundo* vonal összehasonlításaként megállapítható volt, hogy a BFT vonal nagyon sok vizsgált mikromorfometriai jellemző tekintetében mutatja a nehézfém-szennyeződéshez történő adaptáció jellegzetes jegyeit. Levélmikroanatómiáját a termesztési évekkal párhuzamosan vastagodó epidermisz, a szklerenchimatikus állomány kiterjedésének növekedése jellemzi. Jellemzi a sztómák méretének kismértékű növekedése, a sztómadenzitás csökkenése. Átlagban nő a bulliform sejtek magassága és szélessége. Toxikus elemterhelés hatására nő a fitolitok száma. A fentiek ismeretében kijelenthető, hogy az általunk vizsgált vonalak közül az Indiana nehézfém terhelésre adott adaptációs válasza a legjobb. Vizsgálataink ugyanakkor arra is rámutattak, hogy a fenti mikroanatómiai jellemzők alakulása meghatározóan függ az

évjáráthatástól is: az extrémén nedves 2020-as évben a színi epidermiszek vastagsága valamennyi vizsgált vonal esetében csökkent, visszább esett a bulliform sejtek mérete, a parenchimatikus koszorú- és szállítónyaláb területe, átmenetileg visszaesés mutatkozott a szklerenchimatikus elemek kiterjedésében.

7. SZAKIRIDALMI JEGYZÉK

- Acharya, J., Kamur, U., Rafi, P. M.: 2018. Removal of Heavy Metal Ions from Wastewater by Chemically Modified Agricultural Waste Material as Potential Adsorbent-A Review International Journal of Current Engineering and Technology 8 (3).
- André, O., Vollenweider, P., Günthardt-Goerg, M. S.: 2006. Foliage response to heavy metal contamination in Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus* L.). For. Snow Landsc. Res. 80, 3: 275–288.
- Angelini, L.G., Ceccarini, L., Nasso, N., Bonari, E.: 2009. Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: Analysis of productive characteristics and energy balance. Biomass and Bioenergy. 33: 635-643.
- Barna, Sz.: 2008. Növényekre adaptálható bioteszt kidolgozása talajok nehézfém-tartalmának jellemzésére, SZIE, Gödöllő
- Begam, M. A., Muhammad Ilyas, M. H.: 2016. Pharmacognostic studies leaves and wood of *Tamarindus indica* Linn. Subjected to cement dust pollution. International Journal of Advanced Research (2016), Volume 4, Issue 6, 1946-1954. ISSN 2320-5407. DOI: 10.21474/IJAR01
- Bini, C., Wahsha M., Fontana S., Maleci L.: 2012. Effects of heavy metals on morphological characteristics of *Taraxacum officinale* Web. growing on mine soils in NE Italy. Journal of Geochemical Exploration 123 (2012) 101-108.
- Currie, H.A., Perry, C.C.: 2007. Silica in plants: biological: biochemical and chemical studies. Ann. Bot. 100, 1383–1389.
- Czyński, Z., Jekő, J., Sinka, L.: 2015. HPLC/MS mérési módszer települési szennyvizek, szennyvíziszapok és komposztok gyógyszermaradványainak meghatározására, Települési szennyvizek innovatív és környezettudatos tisztítása és a szennyvíziszapok környezetbarát elhelyezése, Nyíregyházi Főiskola, ISBN 978-615-5545-58-0
- da Silva de Jesus D., Martins, F. M., de Azevedo Neto, A. D.: 2016. Structural changes in leaves and roots are anatomical markers of aluminum sensitivity in sunflower. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 46, n. 4, p. 383-390. e-ISSN 1983-4063 - www.agro.ufg.br/pat
- Elagöz, V., Han, S., Manning, W., J.: 2006. Acquired changes in stomatal characteristics in response to ozone during plant growth and leaf development of bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) indicate phenotypic plasticity. Environmental Pollution. 140: 395-405
- El-Khatib, A. A., El-Shanawany, A. A., El-Amery, E. M.: 2016. Tree leaf as bio-indicator for air pollution around superphosphate fertilizers plant, upper Egypt. Journal of Ecology of Health & Environment. 4, No. 2, 95-101 (2016).
- Esau, K.: 1953. Plant anatomy. Wiley, New York, London.
- Esau, K.: 1997. Anatomia das Plantas com Sementes. Blucher, S. Paulo, Brasil. 293.
- Gardner, S., D., L., Taylor, G., Bosac, C.: 1995. Leaf growth of hybrid poplar following exposure to elevated CO₂. New Phytologist. 131: 81–90.
- Gomes, M. P., De Sá E Melo Marques, T. C., Nogueira, M. O., De Castro, E. M., Soares, A.M.: 2011. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens*. Sci. Agric., 68: 566-573.
- Gostin, I. N.: 2009. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj 37 (2) 2009, 57-63 Print ISSN 0255-965X; Electronic ISSN 1842-4309
- Hameed, M., Nawaz, T., Ashraf, M., Tufail, A., Kanwal, H., Ahmad, M. S. A., Ahmad, I.: 2012. Leaf anatomical adaptations of some halophytic and xerophytic sedges of the Punjab. Pak. J. Bot., 44: 159-164.
- Hilu, K., W., Randall J., L.: 1984. Convenient method for studying grass leaf epidermis. Taxon. 33:413–415.
- Hermle, S., Vollenweider, P., Günthardt-Goerg, M. S., McQuattie, C. J., Matyssek, R.: 2007. Leaf responsiveness of *Populus tremula* and *Salix viminalis* to soil contaminated with heavy metals and acidic rainwater. Tree Physiology 27, 1517–1531.
- Hodson, M.J., Evans, D.E.: 1995. Aluminium/silicon interactions in higher plants. J. Exp. Bot. 46, 161–171
- Jason G., Jason C., Rene L., Robert M., Genie F., Jesse G.: 2011. *Arundo donax* (giant reed): Distribution and Impact Report, No. 06-374-559-0

- Kering, M.K., Butler, T.J., Biermacher, J.T., Guretzky, J.A.: 2012. Biomass yield and nutrient removal rates of perennial grasses under nitrogen fertilization. *Bioenergy Research*. 5: 61-70.
- Krishnan, S., Samson, N.P., Ravichandran, P., Narasimhan, D., Dayanandan, P., 2000. Phytoliths of Indian grasses and their potential use in identification. *Bot. J. Linn. Soc.* 132, 241–252
- Kutatói Jelentés: 2018. Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézetének oktatói. Toxikusselemtűrő lágy- és fásszárú növények termesztése, toxikus elemekkel szennyezett közegek fitoremediációjára, GINOP-2.2.1-15-2017-00042
- Kutatói Jelentés: 2021. Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézetének kutatói Komplex technológiai szennyvízüledékek fitoremediációjára, illetve toxikus elemekkel enyhén szennyezett talajú területek rekultivációjára, bioenergetikai hasznosítására vonatkozóan, GINOP-2.2.1-15-2017-00042
- Ma, J.F., Yamaji, N.. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Sci.* 11, 39–397.
- Melo, H.C., Castro, E.M., Soares, A.M., Melo, L.A., Alves, J.D.: 2007. Anatomical and physiological alterations in *Setaria anceps* Stapf ex Massey and *Paspalum paniculatum* L. under water deficit conditions. *Hoehnea* 34: 145-153.
- Papazoglou, E. G., Karantounias, G. A., Vemmos, S. N., Bouranis, D. L.: 2005. Photosynthesis and growth responses of giant reed (*Arundo donax* L.) to the heavy metals Cd and Ni. *Environment International*. 31: 243-249.
- Rossa, B., Tüffers, A.V., Naidoo, G., von Willert, D. J.: 1998. *Arundo donax* L. (Poaceae) — a C3 species with unusually high photosynthetic capacity. *Botanica Acta*. 111: 216–221.
- Shakoor, S. A., Bhat M. A., Soodan, A. S.: 2016. Taxonomic demarcation of *Arundo donax* L. and *Phragmites karka* (Retz.) Trin. ex Steud. (Arundinoideae, Poaceae) from phytolith signatures. *Flora* 224 (2016) 130–153.
- Simon, L.: 2004. Fitoremediáció. Környezetvédelmi Füzetek. Azonosító: 2318. BMKE OMIKK, Budapest. 1-59. old. ISBN:963 593 429 0, ISSN 0866-6091
- Simon, L.: 2006. Toxikus elemek akkumulációja, fitoindikációja és fitoremediációja a talaj-növény rendszerben. Akadémiai Doktori Értekezés. NYE, Nyíregyháza
- Simon, L., Kovács, B., Márton, L.: 2008. Olasz nád (*Arundo donax* L.) nehézfém fitoextrakciójának vizsgálata, Talajvédelmi különszám.
- Simon, L.: 2014. Potentially harmful elements in agricultural soils. In: Bini, C. & Bech, J. (eds.), PHEs, Environment and Human Health. Potentially Harmful Elements in the Environment and the Impact on Human Health. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London (ISBN 978- 94-017-8964-6), pp. 85–137, 142–150.
- Simon, L.: 2017. Az olasz nád (*Arundo donax* L.) termesztése és hasznosítása, Növénytermelés 66. (2) ISSN 0546-8191
- Sridhar, M. B. B., Diehl, S. V., Han, F. X., Monts, D. L., Su, Y.: 2005. Anatomical changes due to uptake and accumulation of Zn and Cu in Indian mustard (*Brassica juncea*). *Environmental and Experimental Botany* 54 (2005) 131-141.
- Tóth, Cs., Simon. L.: 2018. Ammónium-nitrát műtrágya, települési biokomposzt és települési szennyvíziszap-komposzt hatása az olasz nád (*Arundo donax* L.) levelének mikroanatómiájára, Nyíregyházi Egyetem, Nyíregyháza
- Tózsér, D., 2018. Nehézfémekkel szennyezett talajok fitoremediációjának vizsgálata, Debreceni Egyetem, Debrecen
- Uri, Zs., Simon, L., Irinyiné O. K., Vigh, Sz., Vincze, Gy.: 2015. Szennyvíziszap és szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági hasznosításának helyzetelemzése Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyében, Települési szennyvizek innovatív és környezettudatos tisztítása és a szennyvíziszapok környezetbarát elhelyezése
- Vollenweider, P., Cosio, C., Günthardt-Goerg M., Keller, C.: 2006. Localization and effects of cadmium in leaves of a cadmium-tolerant willow (*Salix viminalis* L.). II. microlocalization and cellular effects of cadmium. *Environmental and Experimental Botany* 58: 25-40.
- 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről
- INTERNET 1: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0008.html (2022.10.24.)
 - INTERNET 2: <http://static.atkft.hu/Cikkek/Takarmany/Arundo2207.pdf> (2022.10.26.)

Az évjárat és a toxikus elemtartalom hatása az Arundo vonalak mikromorfometriai paramétereire – Korrelációs mátrixok

SC Blossom	SZ_Sztómai	SZ_Sztómasz	SZ_Sztómah	SZ_Kosztss	Interkosztss	SZ_Fitolit	F_Sztómai	F_Sztómasz	F_Sztómah	F_Kosztss	Interkosztss	F_Fitolit	Sz_ep.vast.	F_ep.vast.	Levélmézt.	Idényyny.szél	Idényyny.vast	Par_k_ed.ny.	Bullif.szám	Bullif.szél.	Bullif.hossz	Szklar.Szin	Szklar.Fon	Teny.ádhm.	Teny.csap.	As	Ba	Cd	Cr	Ni	Pb
SZ_Sztómaindex db/mm2	1																														
SZ_Sztómaszélesség µm	0,169333																														
SZ_Sztómahosszúság µm	-0,80454	-0,1247	1																												
SZ_Kosztális sejtsorok db	0,770637	-0,27785	-0,35488	1																											
SZ_Interkosztális sejtsorok	-0,47241	0,031158	0,844617	-0,12175	1																										
SZ_Fitolit db/mm2	-0,04668	0,757899	0,340319	-0,06868	0,343062	1																									
F_Sztómaindex db/mm2	0,853543	0,247774	-0,88628	0,396965	-0,50446	-0,27348	1																								
F_Sztómaszélesség µm	0,085903	0,932415	-0,26268	-0,46261	-0,23645	0,580978	0,256042	1																							
F_Sztómahosszúság µm	-0,60312	-0,21752	0,792301	-0,279	0,911149	-0,03552	-0,47567	-0,38831	1																						
F_Kosztális sejtsorok db	0,724603	0,463105	-0,65616	0,453072	-0,63434	0,395229	0,47615	0,476328	-0,89068	1																					
F_Interkosztális sejtsorok	-0,13392	-0,00178	0,291818	-0,12794	0,678316	-0,188	0,143015	-0,17537	0,798049	-0,67774	1																				
F_Fitolit db/mm2	-0,02142	0,385676	0,392068	0,215592	0,275117	0,876993	-0,44555	0,206531	-0,10998	0,432314	-0,43043	1																			
SZ_epidermisz vastagsága (µm)	0,033456	-0,52737	-0,30402	0,160091	-0,71096	-0,37441	-0,14378	-0,28603	-0,61301	0,307642	-0,82157	-0,02256	1																		
F_epidermisz vastagsága (µm)	0,379411	0,624581	-0,56745	-0,05371	-0,69412	0,421463	0,317644	0,764849	-0,87062	0,863404	-0,71777	0,320255	0,315873	1																	
Levélmézfófillum vastagság (µm)	-0,07395	0,513807	-0,2698	-0,4312	-0,59196	0,380359	-0,05482	0,736697	-0,68235	0,567836	-0,74147	0,281359	0,407271	0,888981	1																
Edénynyaláb szélessége (µm)	-0,83491	-0,20228	0,353866	-0,84104	-0,07563	-0,22768	-0,5835	0,064271	0,163455	-0,48834	-0,16563	-0,26013	0,332142	-0,04268	0,404063	1															
Edénynyaláb vastagsága (µm)	-0,82838	0,004008	0,447919	-0,80219	-0,03667	0,121043	-0,71667	0,2251	0,056161	-0,27248	-0,37104	0,109593	0,339992	0,16212	0,594726	0,927003	1														
Parenhimatikus koszorú és Bulliform sejtek száma (db)	-0,81293	0,062522	0,415385	-0,83444	-0,05361	0,136064	-0,67481	0,288958	0,03898	-0,25375	-0,35588	0,090618	0,305639	0,199729	0,625819	0,925919	0,997254	1													
Bulliform sejtek szélessége (µm)	0	-0,90261	0,112995	0,417029	0,194625	-0,74129	-0,03516	-0,95276	0,419327	-0,54321	0,368161	-0,46336	0,157962	-0,81157	-0,82121	-0,0951	-0,3464	-0,39584													
Bulliform sejtek hosszúsága (µm)	-0,98378	-0,21389	0,891768	-0,66638	0,60445	0,08023	-0,88991	-0,19031	0,706204	-0,77017	0,213461	0,086387	-0,10702	-0,49578	-0,06886	0,729869	0,732323	0,709376	0,090337	1											
Szklerenchima köteg kiterjedése (µm)	0,008923	0,507439	-0,34807	-0,36678	-0,64996	0,352522	0,018658	0,731454	-0,74225	0,625588	-0,76275	0,262229	0,432829	0,919639	0,996161	0,346843	0,53174	0,563492	-0,80763	-0,15277	0,772471	1									
Szklerenchima köteg kiterjedése (µm)	0,608186	0,211198	-0,86745	0,056408	-0,59283	-0,43615	0,92177	0,337063	-0,43961	0,295189	0,154071	-0,6769	-0,07096	0,320309	0,088765	-0,22719	-0,43086	-0,37982	-0,07648	-0,69743	0,655506	0,147246	1								
Tenyészidőszak átlaghőm. (°C)	0,515906	-0,00423	-0,88176	-0,09692	-0,35567	0,56878	0,254963	-0,90487	0,637059	-0,62646	-0,31262	0,659614	0,688137	0,562785	0,0329	-0,01942	0,001224	-0,1923	-0,64688	0,792692	0,623804	0,652489	1								
Tenyészidőszak csap. (mm)	0,577616	0,284074	-0,47017	0,228741	0,051492	-0,19346	0,820728	0,165108	0,094358	0,023369	0,669954	-0,48125	-0,63757	-0,12215	-0,43035	-0,58051	-0,75839	-0,71564	0,096794	-0,55407	0,058821	-0,38938	0,743937	0,026793	1						
As (mg/kg)	-0,12328	-0,31346	0,594757	0,337496	0,852449	0,0221	-0,25377	-0,61218	0,804754	-0,55507	0,680966	0,115194	-0,53479	-0,84586	-0,89679	-0,37896	-0,42471	-0,4604	0,596747	0,292231	-0,93724	-0,91871	-0,44485	-0,83995	0,208206	1					
Ba (mg/kg)	-0,50692	0,454309	0,695791	-0,47986	0,855238	0,503581	-0,35717	0,265413	0,765054	-0,51134	0,665574	0,208206	-0,85911	-0,36264	-0,22925	0,081187	0,14066	0,160646	-0,24292	0,567867	-0,36906	-0,29356	-0,33735	-0,83929	0,175256	0,501895	1				
Cd (mg/kg)	-0,62499	0,310693	0,848354	-0,44908	0,91619	0,517902	-0,56118	0,116299	0,814879	-0,56718	0,570498	0,322785	-0,73628	-0,43921	-0,25145	0,151798	0,241325	0,24468	-0,15803	0,702195	-0,50084	-0,32426	-0,55411	-0,91745	-0,03521	0,572823	0,969312				
Cr (mg/kg)	-0,5091	0,245029	0,803038	-0,30733	0,965433	0,437524	-0,45125	0,001702	0,872408	-0,59681	0,696693	0,252923	-0,81173	-0,55356	-0,43113	0,00161	0,052748	0,053682	-0,01855	0,610352	-0,60512	-0,49462	-0,48836	-0,9559	0,113893	0,708202	0,96075	0,97828	1		
Ni (mg/kg)	-0,45351	0,226884	0,768502	-0,25335	0,969693	0,402231	-0,39321	-0,02452	0,881665	-0,5982	0,742174	0,217311	-0,83885	-0,58561	-0,49206	-0,05854	-0,02404	-0,023	0,028268	0,561647	-0,6295	-0,55091	-0,44556	-0,95547	0,181016	0,746801	0,949465	0,958161	0,99605	1	
Pb (mg/kg)	-0,37448	0,721379	0,03557	-0,81155	-0,13625	0,447927	-0,11993	0,877563	-0,17064	0,12534	-0,17567	0,104931	-0,15748	0,580782	0,780588	0,523262	0,640115	0,692681	-0,862	0,248152	0,657463	0,742357	0,107336	0,131059	-0,14361	-0,62556	0,357377	0,21239	0,107525	0,050851	1

BFT Indianai		SZ_Sztómai	SZ_Sztómasz	SZ_Sztómah	SZ_Kosztss	Interkosztss	SZ_Fitolit	F_Sztómai	F_Sztómasz	F_Sztómah	F_Kosztss	Interkosztss	F_Fitolit	Sz_ep.vast.	F_ep.vast.	Levélmézt.	Idényyny.szél	Idényyny.vast	Par_k_ed.ny.	Bullif.szám	Bullif.szél.	Bullif.hossz	Szklar_Szin	Szklar_Fon	Teny.ádhm.	Teny.csap.	As	Ba	Cd	Cr	Ni	Pb
SZ_Sztómaindex db/mm2	1																															
SZ_Sztómaszélesség µm	0,741265	1																														
SZ_Sztómahosszúság µm	-0,47775	-0,70212	1																													
SZ_Kosztális sejtsorok db	-0,54823	-0,85065	0,967628	1																												
SZ_Interkosztális sejtsorok	-0,59282	-0,92957	0,90266	0,981949	1																											
SZ_Fitolit db/mm2	0,813509	0,239854	0,043047	0,021123	-0,01476	1																										
F_Sztómaindex db/mm2	0,687127	0,942592	-0,42639	-0,63344	-0,76541	0,280837	1																									
F_Sztómaszélesség µm	-0,96383	-0,59564	0,510023	0,513109	0,509802	-0,83737	-0,48157	1																								
F_Sztómahosszúság µm	-0,63012	0,049183	-0,17323	-0,21808	-0,22427	-0,95148	0,027989	0,722258	1																							
F_Kosztális sejtsorok db	0,583515	0,015861	0,414392	0,358659	0,285213	0,922201	0,174864	-0,56796	-0,90092	1																						
F_Interkosztális sejtsorok	0,233799	0,721559	-0,9092	-0,93844	-0,91417	-0,36419	0,511985	-0,18586	0,537091	-0,64678	1																					
F_Fitolit db/mm2	0,69318	0,324536	0,285462	0,145741	0,020282	0,857903	0,51548	-0,58585	-0,72433	0,926844	-0,41812	1																				
Szini epidermisz vastagság:	-0,7491	-0,99354	0,617004	0,785624	0,882848	-0,27998	-0,9735	0,584128	-0,01827	-0,09038	-0,64943	-0,40936	1																			
Fonáki epidermis vastagság	-0,88029	-0,95379	0,544186	0,701058	0,797367	-0,50605	-0,94586	0,738357	0,225836	-0,31555	-0,49132	-0,58562	0,969691	1																		
Levélmézfófillum vastagság	-0,71037	-0,08952	-0,18771	-0,17814	-0,14511	-0,98716	-0,15694	0,746676	0,976895	-0,95863	0,506703	-0,85329	0,136898	0,374168	1																	
Edénynyaláb szélessége (µ	-0,83247	-0,27074	-0,01294	0,01167	0,048169	-0,99944	-0,30627	0,853474	0,942932	-0,91176	0,333289	-0,85645	0,309288	0,532259	0,981276	1																
Edénynyaláb vastagsága (µm)	-0,88704	-0,34868	0,158384	0,162389	0,177	-0,97865	-0,32513	0,928857	0,916894	-0,82307	0,188421	-0,76976	0,368281	0,580148	0,939849	0,983506	1															
Parenhimatikus koszorú és	-0,99344	-0,66009	0,424221	0,475543	0,510007	-0,86712	-0,60522	0,980032	0,712154	-0,64396	-0,14576	-0,71271	0,668607	0,821634	0,776515	0,883246	0,933082	1														
Bulliform sejtek száma (db	2,27E-16	0,670918	-0,53918	-0,67672	-0,73994	-0,54714	0,635326	0,171033	0,771974	-0,636	0,83205	-0,30151	-0,64934	-0,44409	0,658751	0,521737	0,461054	0,113284														
Bulliform sejtek szélessége	-0,94508	-0,91369	0,56127	0,688746	0,765862	-0,61352	-0,88016	0,893276	0,395513	-0,39485	-0,43953	-0,61688	0,923954	0,986363	0,485267	0,638523	0,695145	0,901854	-0,31511	1												
Bulliform sejtek hosszúság	-0,67951	-0,04342	-0,21586	-0,2147	-0,1865	-0,97942	-0,11127	0,724334	0,983388	-0,95876	0,538813	-0,83742	0,090471	0,330489	0,998905	0,972154	0,928159	0,749872	0,693153	0,444621	1											
Szclerenchima köteg kiterj	0,337736	0,863784	-0,79483	-0,90516	-0,94404	-0,26774	0,74689	-0,20861	0,514107	-0,48815	0,944201	-0,17297	-0,82453	-0,67288	0,415329	0,235862	0,129464	-0,23433	0,920177	-0,59198	0,455938	1										
Szclerenchima köteg kiterj	0,264923	0,737642	-0,16966	-0,40868	-0,56632	-0,10808	0,87887	-0,00725	0,397019	-0,06918	0,441759	0,306922	-0,78416	-0,67465	0,195592	0,088834	0,116035	-0,16514	0,790405	-0,54734	0,235053	0,707417	1									
Tenyészedőszak átlagához	0,215395	0,774147	-0,81855	-0,89777	-0,91161	-0,39256	0,625579	-0,11328	0,604612	-0,62057	0,977374	-0,3343	-0,72106	-0,65425	0,533906	0,361667	0,243047	-0,114	0,925131	-0,46798	0,570061	0,985936	0,615615	1								
Tenyészedőszak csap.	0,952138	0,577225	-0,52453	-0,51699	-0,50549	0,874225	0,451164	-0,99907	-0,72192	0,549766	0,191796	0,556012	-0,56152	-0,71555	-0,73474	-0,84338	-0,9237	-0,97054	-0,18441	-0,8206	-0,7162	0,200154	-0,02816	0,110696	1							
As (mg/kg)	0,119534	-0,40519	0,797124	0,762239	0,692776	0,637245	-0,17038	-0,11258	-0,72196	0,875519	-0,93459	0,732554	0,316187	0,122452	-0,74209	-0,61368	-0,46979	-0,7596	-0,78208	-0,20909	-0,87433	0,095907	1									
Ba (mg/kg)	0,055445	-0,60049	0,673637	0,749744	0,763089	0,623815	-0,48269	-0,16518	-0,80089	0,776791	-0,91994	0,499352	0,550297	0,335852	-0,73889	-0,59762	-0,49996	-0,1603	-0,964	0,228799	-0,76841	0,951417	1									
Cd (mg/kg)	-0,1648	-0,78401	0,606583	0,75	0,825696	0,40446	-0,74187	-0,01102	-0,65709	0,528254	-0,85632	0,17942	0,764646	0,584029	-0,53125	-0,37634	-0,30842	0,051896	-0,98631	0,467042	-0,57031	-0,96211	-0,82639	-0,94618	0,026362	0,721371	0,940183	1				
Cr (mg/kg)	-0,06923	-0,72091	0,55438	0,701212	0,771465	0,484686	-0,68954	-0,1087	-0,7243	0,581937	-0,83409	0,237209	0,702562	0,507792	-0,60194	-0,45829	-0,39784	-0,04457	-0,9364	-0,81971	-0,63856	-0,9364	-0,81971	-0,93016	0,123776	0,729509	0,951417	0,995211	1			
Ni (mg/kg)	-0,0368	-0,68988	0,639557	0,753	0,795433	0,537313	-0,60067	-0,1083	-0,75265	0,672698	-0,89668	0,35955	0,654733	0,451575	-0,65816	-0,5101	-0,42747	-0,0738	-0,99133	0,336226	-0,69246	-0,9496	-0,72365	-0,96447	0,117028	0,825432	0,9864	0,983109	0,988236	1		
Pb (mg/kg)	-0,55268	-0,53929	-0,21082	0,016341	0,193294	-0,51797	-0,71477	0,336967	0,286056	-0,6271	0,140642	-0,8664	0,634082	0,697852	0,483518	0,524094	0,432095	0,517338	-0,16903	0,646365	0,54598	-0,18061	-0,73077	-0,02029	-0,29612	-0,46451	-0,07993	0,262446	0,22617	0,08499		

STM Hajdúsági	SZ_Sztómai	iZ_Sztómai	SZ_Sztómai	SZ_Kosztss	Interkoszt	SZ_Fitolit	F_Sztómai	F_Sztómai	F_Sztómai	F_Kosztss	Interkoszt	F_Fitolit	Sz_ep.vast.	F_ep.vast.	Levélméz.	Idényyny.szél	Idényyny.vast	Par.k.ed.ny.	Bullif.szám	Bullif.szél.	Bullif.hossz	Szkler.Szín	Szkler.Fon	Teny.árhőm.	Teny.csap.	As	Ba	Cd	Cr	Ni	Pb
SZ_Sztómaindex db/mm2	0,662898	1																													
SZ_Sztómaszélesség µm	-0,8736	-0,30716	1																												
SZ_Sztómahosszúság µm	-0,43061	-0,65504	0,149933	1																											
SZ_Kosztális sejtsorok db	0,640743	0,619519	-0,34845	-0,9207	1																										
SZ_Fitolit db/mm2	-0,12704	0,649096	0,435902	-0,32264	0,061123	1																									
F_Sztómaindex db/mm2	0,814006	0,453246	-0,80284	0,135163	0,093039	-0,13348	1																								
F_Sztómaszélesség µm	-0,00052	0,72188	0,405588	-0,65044	0,438178	0,903569	-0,24856	1																							
F_Sztómahosszúság µm	-0,7666	-0,76818	0,713188	0,327674	-0,30998	-0,30904	-0,73694	-0,21932	1																						
F_Kosztális sejtsorok db	0,60789	0,012053	-0,54002	0,075215	0,319758	-0,61484	0,587554	-0,45331	-0,02104	1																					
F_Interkosztális sejtsorok c	-0,96799	-0,50619	0,955458	0,38804	-0,5918	0,300722	-0,77043	0,176181	0,736237	-0,58357	1																				
F_Fitolit db/mm2	0,254013	0,522723	-0,13413	0,289754	-0,31006	0,555917	0,632009	0,250154	-0,60109	-0,06431	-0,10873	1																			
Színi epidermisz vastagsági	-0,95399	-0,6076	0,939425	0,302152	-0,45559	0,117574	-0,86215	0,095214	0,880761	-0,44994	0,961625	-0,35638	1																		
Fonáki epidermis vastagsági	0,240633	-0,29444	-0,51048	-0,29983	0,355765	-0,69012	-0,0889	-0,48185	-0,0087	0,170278	-0,45386	-0,73667	-0,27282	1																	
Levélmézőfillum vastagsági	-0,30129	-0,90895	-0,08963	0,522856	-0,38306	-0,9001	-0,18978	-0,89679	0,559712	0,273506	0,105102	-0,60267	0,255361	0,584297	1																
Edénynyaláb szélessége (µ	-0,20227	-0,84361	-0,21046	0,419574	-0,29352	-0,91581	-0,14917	-0,8943	0,44223	0,252862	-0,01631	-0,63269	0,137211	0,708014	0,984257	1															
Edénynyaláb vastagsága (µ	-0,29738	-0,90484	-0,12697	0,606353	-0,47828	-0,87654	-0,11814	-0,93221	0,487359	0,235669	0,097428	-0,49643	0,21418	0,542179	0,989719	0,975877	1														
Parenhimatikus koszorú és	-0,49924	-0,9675	0,143089	0,509099	-0,42349	-0,79383	-0,40341	-0,77931	0,724562	0,133062	0,318739	-0,67008	0,473063	0,497851	0,971366	0,933544	0,947249	1													
Bulliform sejtek száma (db	0,547746	0,315716	-0,33045	0,197693	0,120824	-0,10144	0,725861	-0,10265	-0,20662	0,800095	-0,39984	0,490262	-0,41512	-0,42305	-0,18766	-0,25544	-0,18065	-0,29716	1												
Bulliform sejtek szélességi	-0,87241	-0,84962	0,671246	0,311649	-0,41829	-0,29377	-0,85376	-0,26655	0,900495	-0,3364	0,763232	-0,66889	0,877281	0,195786	0,634729	0,566323	0,588252	0,798163	-0,58416	1											
Bulliform sejtek hosszúsági	-0,03146	-0,76578	-0,32955	0,432748	-0,21507	-0,98352	0,035347	-0,93837	0,389132	0,487475	-0,15797	-0,5581	0,007353	0,659995	0,961575	0,96713	0,948997	0,877352	-0,00812	0,418261	1										
Szklerenchima köteg kiterj	0,480505	0,089126	-0,79598	0,120894	-0,11579	-0,27352	0,595193	-0,44993	-0,70069	0,012597	-0,62348	0,252261	-0,71123	0,447505	0,159333	0,285336	0,255611	-0,03317	-0,09894	-0,43472	0,271352	1									
Szklerenchima köteg kiterj	0,148003	0,399248	-0,23531	0,190688	-0,36835	0,506359	0,445256	0,163514	-0,72139	-0,45527	-0,12682	0,798219	-0,38484	-0,34455	-0,45302	-0,40347	-0,32458	-0,52704	-0,0593	-0,51171	-0,45859	0,620499	1								
Tenyészidőszak átlaghőm.	0,572324	0,400318	-0,72388	0,13115	-0,12858	0,071601	0,78571	-0,17371	-0,87798	0,01361	-0,6055	0,656513	-0,78097	0,022383	-0,22023	-0,12699	-0,10373	-0,40644	0,17967	-0,71741	-0,09201	0,887808	0,835786	1							
Tenyészidőszak csap.	0,597969	0,805866	-0,27338	-0,96893	0,935059	0,374544	0,090103	0,667802	-0,49229	0,042701	-0,51985	-0,08303	-0,46896	0,178667	-0,6427	-0,54211	-0,70973	-0,66566	0,010203	-0,52914	-0,50754	-0,05159	-0,07167	0,026793	1						
As (mg/kg)	-0,11626	-0,03171	0,441114	-0,23072	0,386679	-0,0375	-0,33287	0,253941	0,600949	0,413014	0,241132	-0,37322	0,407386	-0,2019	-0,03339	-0,13334	-0,15266	0,07769	0,355593	0,247203	-0,0296	-0,88791	-0,82332	-0,83009	0,198896	1					
Ba (mg/kg)	-0,5035	-0,27215	0,683107	-0,32932	0,282447	0,012995	-0,82376	0,302867	0,77545	-0,10089	0,532114	-0,70378	0,711689	0,062334	0,11438	0,051735	-0,01064	0,30183	-0,29013	0,659792	-0,00499	-0,84927	-0,80784	-0,97567	0,158717	0,790531	1				
Cd (mg/kg)	-0,71308	-0,44962	0,703456	-0,23372	0,045693	0,017359	-0,98247	0,201179	0,736111	-0,47416	0,65277	-0,75734	0,788573	0,234694	0,250373	0,225638	0,161187	0,446798	-0,71018	0,83989	0,057593	-0,5793	-0,56563	-0,8197	0,000494	0,392419	0,871306	1			
Cr (mg/kg)	-0,62071	-0,35561	0,705126	-0,3185	0,184913	0,030042	-0,93921	0,27633	0,756432	-0,32455	0,600153	-0,75957	0,760875	0,173523	0,174606	0,136464	0,064719	0,372073	-0,54845	0,766649	0,01307	-0,71551	-0,69015	-0,91059	0,106733	0,584266	0,958847	0,973685	1		
Ni (mg/kg)	-0,61718	-0,35127	0,703431	-0,32314	0,189705	0,031812	-0,93803	0,279565	0,753767	-0,32354	0,597157	-0,7595	0,758118	0,173993	0,171208	0,133501	0,060992	0,368451	-0,5474	0,763423	0,010526	-0,71587	-0,69057	-0,91028	0,111739	0,585615	0,959352	0,97298	0,999987	1	
Pb (mg/kg)	-0,15925	-0,06705	0,472526	-0,22112	0,366004	-0,04263	-0,37632	0,247677	0,635128	0,382514	0,27776	-0,40209	0,446906	-0,19036	-0,00944	-0,1107	-0,12986	0,109664	0,315233	0,292922	-0,0174	-0,90018	-0,83566	-0,8563	0,178021	0,9988	0,816629	0,434132	0,619649	0,620853	1