



A PETRÓLEUMTÓL A CRY4-TOXINFEHÉRJÉIG

„Tudom, hogy kell a szúnyog a fecskéknek, csak ne engem csípjen...” – halljuk gyakran a nyaralóktól, horgászoktól, telektulajdonosoktól. E közismert vérszívók egyedszám-csökkentésére alapvetően két lehetőség kínálkozik. Az egyik a már szárnyra kelt rovarok kémiai szerekekkel történő ritkítása. A másik a szúnyoglárva kelési sikerének mérséklése tenyészőhelyeiken. A szúnyogmentes nyárestéssel kapcsolatos elvárásokhoz társul egy általánosan elfogadott vélekedés: az emberi kényelmet szolgáló beavatkozások során a környezetünknek és a rovarfauna többi, „békés” tagjainak nem eshet bántódása.

A tudomány és a technológia napjainkra elérhetővé tette a bevezetőben megfogalmazott lehetőségek és elvárások együttes – ha nem is tökéletes – megvalósítását. A csípőszúnyogok kutatása – kiemelt közegészségügyi jelentőségük és az emberek irányába mutatott fokozott „érdeklődésük” miatt – hosszú ideje jókora ráfordítással zajlik. A tudományos közlemények száma alapján az elmúlt másfél évtized hazánkban is a csípőszúnyog-kutatás legintenzívebb időszakának tekinthető, a fajok elterjedésének feltárása, valamint a fajok és együttesek ökológiai kutatása terén országos léptékben jól állunk. Aktuálisan egyre nagyobb szerepet kapnak az alkalmazott térinformatikai módszereket használó ökológiai vizsgálatok és tenyészőhely-térképezések is. A csípőszúnyogok a klímaváltozásban és más globális folyamatokban alapkutatási (új fajok megjelenése) és alkalmazott kutatási (közegészségügyi, gyérítési) szempontból egyaránt fokozottan érintettek.

A vízváltó 1976. év

Eleinte, az 1930–40-es években főképp a lárvák elpusztítása állt a középpontban. Abban az időben még komolyan vetődtek fel olyan, ma már elfogadhatatlan megoldások, mint például a tenyészőhelyek lecsapolása, feltöltése. A vízterek meghagyásával járó lárvairatásra ekkor a *petróleum* víz-felületre juttatását javasolták, 100–150 liter/hektár mennyiségben: az oxigént a légtérből nyerő lárvák így „megfulladtak”. Természetvédelmi szempontból ez elég elrettentően hangzik.

Az 1940-es évek második felétől az 1960-as évek közepéig terjedő időszak a DDT (diklór-difenil-triklóretán) korszakaként vonult be a hazai csípőszúnyog-gyérítés történetébe. A DDT akkoriban a mezőgazdaság általánosan használt rovarirtó szere volt, s nem a csípőszúnyogok irtásához fejlesztették ki. A lárvák és imágók ellen egyaránt használt vegyszer kijuttatása ebben az esetben háti permetezővel, porozással, illetve az 1960-as évek elejétől földi ködképző gépekkel történt. A WHO segítségével zajló

drasztikus munkák fő célja a maláriát hordozó szúnyogegyedek elpusztítása volt – sikeressége következtében az 1950-es évek óta csak behurcolt maláriás esetek fordulnak elő hazánkban.

Időközben a DDT-ről kiderült, hogy egy nagyon lassan bomló, a zsírszövetben felhalmozódó, kifejezetten veszélyes vegyület. Magyarországon 1968-ban, a világon elsőként betiltották a mezőgazdasági, majd a közegészségügyi alkalmazását. Ezt követően foszfor-sav-észterekkel, főképp *diklórfosz, malation* és *diazinon* hatóanyagokkal ritkították a rovarokat. Maguk az irtások akkoriban meglehetősen átláthatatlan módon, a települések saját megrendelésére történtek – elsősorban földi *melegködös* technológia alkalmazásával. Utóbbi alapja egy speciális ködképző generátor, mely hatóanyagot tartalmazó meleg permethalmazt juttat a szabadba, s az ott hirtelen lehűlve, a rovarokat élő ködcsseppek formájában kicsapódik. A „ködölés” előnye, hogy a sűrű növényzetű, fás, bokros területeken megbúvó szúnyogok ellen is hatékony. Hátránya, hogy a felhasznált tetemes mennyiségű

vivőanyag (10–40 liter/hektár gázolaj) sokáig nagy környezetterhelést jelentett. E technológiát ma is alkalmazzák, de a jóval kevésbé szennyező mérgező anyagot nem tartalmazó, paraffinbázisú fehérölaj felhasználásával, hektáronként 1 liternél kisebb dózissal.

A hazai csípőszúnyog-gyérítések során 1976-ban vezették be a készítmények légi úton, ULV-technológiával (Ultra Low Volume; Nagyön Kis Mennyiség) történő kijuttatását. Ezzel az addigi aggályos módszereket felváltották a mérsékelt környezeti hatásokkal járó eljárások. A kémiai csípőszúnyog-gyérítés vonatkozásában emiatt alapvetően 1976 előtti és 1976 utáni időkről beszélhetünk. (Az emlősökre és madarakra fokozottan toxikus diazinon használatát is ekkor tiltották be.)

A légi ULV-technológia hazai próbaterepe a Balaton térsége volt. A módszer lényege, hogy a repülőgép szárnyaira szerelt szórófejek a tömény vagy hígított szerekből 50 mikrométernél kisebb cseppeket porlasztanak, ezáltal a kijuttatott vegyszer mennyisége minimálisra csökken. Az új technológia egyetlen hátránya, hogy hatástartóssága jóval rövidebb idejű, ám a pozitív tapasztalatok alapján az ország egyre több területén vezették be. Hatóanyagként ebben az időszakban a *malationt*, a *diklórfosz*t, a *bendiokarbot*, a *permetrint* és – rendkívül alárendelten – a *deltametrin*t alkalmazták. E vegyületek bomlási ideje már elfogadható, felhalmozódási hajlamuk pedig jóval alacsonyabb mértékű volt,

mint a korábban használtaké. Ennek ellenére a 2000-es évekig egyre több hatóanyag engedélyét vonták vissza az emlősökre és a madarakra kifejtett toxicitásuk, a rákkeltő és mutagén hatásukkal, valamint a velük szembeni rezisztencia megjelenésével kapcsolatos eredmények miatt.

Szigorúan ellenőrzött hatóanyagok

A hatóanyagok alkalmazásával kapcsolatos szabályozás az Európai Unió tagságunkkal tovább szigorodott. Jelenleg Magyarországon szúnyoggyérítésre (is) kizárólag részletes hatástani, humán-, valamint ökotoxikológiai vizsgálati adatokkal, majd környezeti kockázatértékeléssel rendelkező hatóanyagok használhatók. A folyamatos szigorításokat követően napjainkra mindössze kettő csípőszúnyoggyérítésre engedélyezett hatóanyag maradt a palettán: a *deltametrin* és a *lambda-cihalotrin*. Bioakkumulációja mindkettőnek kicsi, illetve közepes mértékű, lebomlásuk gyors. Toxicitásuk elhanyagolható mértékű a madarakra, az emlősökre vonatkozóan – a szájon át történő felvétel esetében – mérsékelt veszélyesek.

Az emberi környezetbe kijuttatott vegyületek kapcsán mindig vizsgálni kell azok rákkeltéssel, valamint egyéb akut és krónikus egészségügyi problémákkal kapcsolatos kockázatait. Az US EPA adatbázisa szerint sem a *deltametrin*, sem a *lambda-cihalotrin*

nem definiálható rákkeltő anyagként, ám az egyéb kockázatokkal kapcsolatos eredmények ellentmondásosak. A szúnyoggyérítésben aktuálisan túlnyomórészt használt *deltametrinnel* egyes kutatások szerint ugyan gyanítható a mutagén hatás, de a vegyületnek sem genotoxikus, sem reprotoxikus hatása nem bizonyított, az EU hivatalos értékelése szerint krónikus toxicitása csekély. (A szúnyoggyérítésben jelenleg hazánkban alkalmazható legnagyobb dózisa hektáronkénti 1 gramm, amelynek a humántoxikológiai kockázata kimutathatatlan mértékű.)

A hazai csípőszúnyog-gyérítés mintegy 80 éves története során használt hatóanyagok szelektálása folyamatosan a környezetterhelés és maguk az élő szervezetek veszélyeztetésének minimalizálása irányába haladt. Végeredményként napjainkban a kezdetekhez képest sokszázszorosan kevésbé veszélyes hatóanyagok – és a korábban jellemző mennyiségnek a század, kétszázad, háromszázad részében – kerülnek kijuttatásra.

A jelenleg gyérítésre engedélyezett kémiai hatóanyagok emlősökre, így emberre gyakorolt hatása elhanyagolható. Ellenben a főképp *deltametrin*t tartalmazó, általános rovarirtó szerek a szúnyogok mellett a nem célszervezetnek számító rovarok között is elhullást okoznak, a halakra és más vízi szervezetekre nézve pedig erősen toxikusak. Ezeket a járulékos

A hazánkban használt szerek hatóanyagai, zárójelben a nálunk már nem engedélyezett hatóanyagok

(KSZH: klórozott szénhidrogén; O: organofoszfát; K: karbamát; PI: piretroid; LD50: 50%-os halálozást okozó dózis)

(FORRÁS: ORSZÁGOS EPIDEMIOLÓGIAI KÖZPONT ÉS EXTENSION TOXICOLOGY NETWORK)

Hatóanyag	Típus	Alkalmazás	Kijuttatott mennyiség (g/ha)	Akut toxicitás LD ₅₀ mg/tt.kg			Lebomlás (felezési idő)	Akkumuláció
				Emlősök orális	Emlősök felületi	Madarak		
(DDT)	KSZH	1943-1968	224	113-1000	300-3000	>840	2-15 év	erős
(diazinon)	O	1947-1977	336	3,5	300-400	2,75	2-4 hét	kisfokú
(malation)	O	1966-1982	112-600	400-10000	4000	948	6 nap	nem jellemző
(diklórfosz)	O	1980-2007	150-280	25-100	70-250	12	7 nap	nem jellemző
(bendiokarb)	K	1990-1994	16	34-156	566	19.márc	1-4 hét	kisfokú
(permetrin)	PI	1988-1998	10	430-4000	4000	>10000	30-38 nap	közepes
deltametrin	PI	1981-	0,5-1	128-5000	>2900	>4640	1-2 hét	kisfokú
lambda-cihalotrin	PI	2005-	1	80-144	632	>3950	4-12 hét	nem jellemző

WHO besorolása szerint:	IA Extrém veszélyes	IB Nagyon veszélyes	II Mérsékelt veszélyes	III Nagyon kis mértékben veszélyes	IIIN Elhanyagolhatóan veszélyes
-------------------------	---------------------	---------------------	------------------------	------------------------------------	---------------------------------

természetkárosító hatásokat a szúnyoggyérítések térbeli és időbeli korlátozása a lehető legkisebb szintre csökkenti, mivel a települések bel- és sűrűbben lakott külterületein, illetve közvetlen napnyugta előtti (légi) és utáni (földi) órákban végzik a kezeléseket. A halakra és vízi gerinctelenekre gyakorolt negatív hatás kiiktatása érdekében a kémiai kezelések során kerülnek a természetes vizek nyílt vízterei – betartva az elsodródást is figyelembe vevő védőtávolságokat.

A légi ULV-technológia hazai bevezetése fordulópontot jelentett a kémiai kezelések történetében. Ennek ellenére a csípőszúnyog-gyérítés abban az időben még kicsit sem volt a maihoz hasonlítható mértékben természetkímélő. Néhány kisebb szakasz kivételével a balatoni kezelések csaknem a teljes tóparti sávra, hozzávetőleg 18 ezer hektárra terjedtek ki – beleértve az értékes parti nádasokat is. Az évenként 5–6 alkalommal végzett kezelés nyomán alaposan lecsökkent a csípőszám, viszont a beavatkozások mintegy 90 százalékos mortalitást (!) okoztak más rovarok állományában is. A természetes élőhelyek faunájának védelme érdekében a kezelésre kijelölt területek a parti zónából egyre inkább a szűkebben vett emberi környezetbe, vagyis a települések belterületeire tevődtek át, miközben azok kiterjedése számottevően csökkent, a Balaton térségében a korábbi mérték felére-nyegyedrere.

Országosan azonban a légi kémiai úton kezelt területek nagysága – a társadalom részéről felmerülő igényeket követve – 1976 és 2016 között nőttön-nőtt. A mintegy ötszörös növekedés – köszönhetően a független szakértői felügyeletnek – a részterületek zöménél együtt járt a területkijelölések észszerűsítésével. Ez utóbbinak köszönhető, hogy csakis ilyen mértékben gyarapodott a gyérített terület kiterjedése. Míg 1976-ban ugyanis csupán a Balaton térségében, 2016-ban már az ország teljes területén folytak kezeléseik. Amennyiben a kijelölések még mindig a kezdeti belterület/kezelt terület aránya szerint történének, úgy napjainkban országosan csaknem évi 1,5 millió hektár lenne a légi kémiai úton kezelt területek nagysága. Ilyen mértékű változás a szúnyogoktól mentesített területek arányában persze továbbra sem várható. Egyes

csípőszúnyogfajok utóbbi években tapasztalt betelepülése és terjedése okán felerősödhet a lakossági igény a kémiai úton kezelt területek növelésére. Jelenleg csekély a valószínűsége annak, hogy a hazánkban újonnan megjelent fajok (*Aedes albopictus*, *Aedes koreicus*, *Aedes japonicus*) állományai járványterjesztésre alkalmas méretűvé duzzadjanak. Ám ha a jövőben mégis közegészségügyi célú védekezésre lesz szükség ellenük, a kémiai kezelések szerepe meghatározó lehet, mivel a fajok biológiai gyérítése az életmódjukból adódóan nehézkes. Azokban az országokban, ahol eddig tömegessé váltak, elsődlegesen légi és földi kémiai módszerekkel védekeznek ellenük. A komoly szúnyoggyérítési tapasztalattal rendelkező Amerikai Egyesült Államokban már a Zika-vírus megjelenése előtti időszakban is évi 6,4 millió hektáron történtek kezelések *naled* hatóanyag felhasználásával (megjegyzendő, hogy ennek a szerves foszfor-sav-észter hatóanyagnak a nagy kiterjedésű alkalmazása vitákat váltott ki a szakemberek körében).

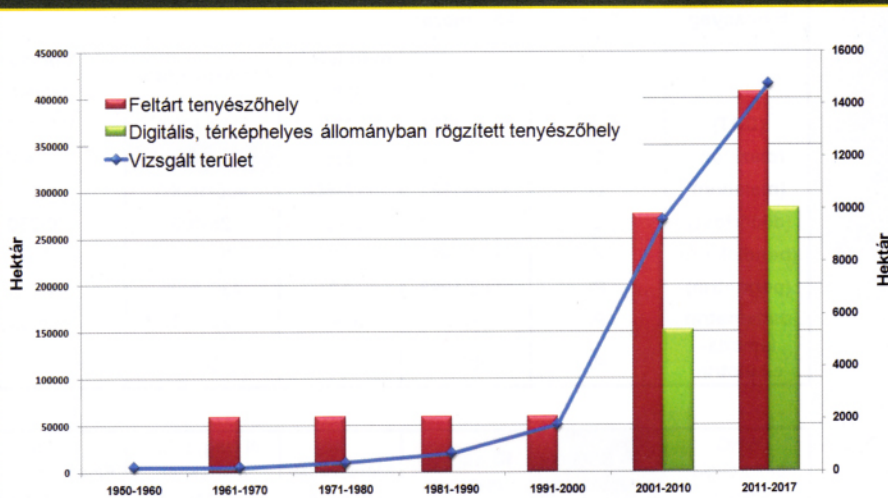
Biológiai módszerekkel

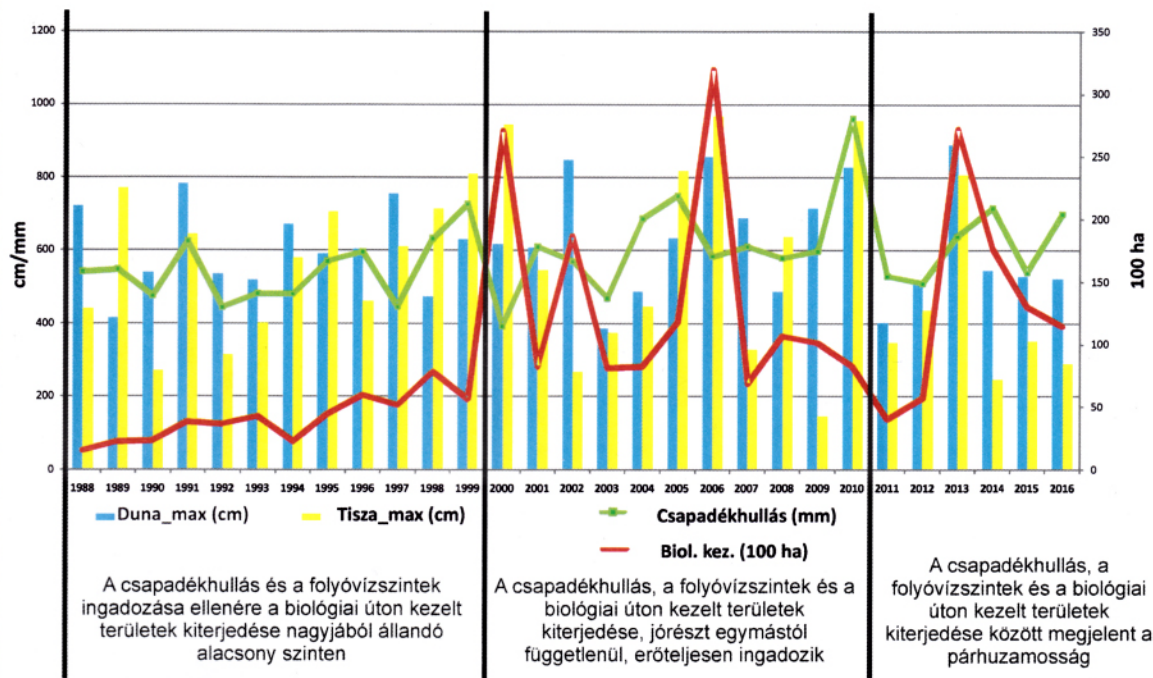
Minden, a kémiai gyérítésből fakadó, a környezetterhelést eredményesen csökkentő fejlesztés ellenére, a szúnyogok elleni legkedvezőbb gyérítési módszer jelenleg egyértelműen a biológiai megoldás. A csípőszúnyoglárvák ugyanis egy baktérium, a bizonyos ökoszisztémákban természetes módon is jelen lévő *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* H-14 szerotípusa (BTI) által termelt, rovarölő hatású fehérjével elpusztíthatók. A fehérje létrehozásához

a bakteriális fermentációt szabályozott, üzemi körülmények között végzik, majd a Cry4-toxinfehérje megfelelő mennyiségű termelődését követően a folyamatot leállítják, a baktériumokat pedig előlik. Az ezúton létrehozott szereknek a csípőszúnyogok tenyészhelyeire való kijuttatásával azt a lárvák elfogyasztják, s a bélrendszerükben a fehérje az emésztő enzimek hatására lebomlik. Az így felszabaduló hatóanyag – a bélhámsejtek nagyfokú károsítása útján – a lárvá halálához vezet. A BTI-tartalmú szerek nagy előnye, hogy kizárólag a csípőszúnyoglárvák pusztulását idézi elő, ezért azokra nézve szuperszelektívnek tekinthetők. Ez utóbbi teszi a biológiai gyérítést teljes mértékben természetkímélő módszerre. A BTI-készítmények folyékony állapotban (szuszpenzió), ULV-eljárással vagy permetezéssel juttathatók ki, de elérhetőek granulátum formájában is.

Magyarországon – szintén a Balatonnál – 1988-ban vezették be a biológiai módszerrel történő csípőszúnyog-gyérítést. A lárvagyérítés azonban napjainkig nem jutott uralomra, mivel a technológiai nehézségeken túl a biológiai kezelések előkészítése jókora munkát igényel. Mindenekelőtt pontosan fel kell térképezni azokat a tenyészhelyeket, ahová indokolt kijuttatni a készítményeket. Ez utóbbi a BTI-kezelések hazai megkezdése előtt jóval elindult. Nagyon sokáig azonban pontos térképi adatok és megfelelő helymeghatározó eszközök hiányában folyt e munka. A GPS-ek, majd a GPS-ekkel kombinált PDA-k megjelenése, a térképhelyes légifotó- és térképállományok, valamint térinformatikai szoftverek alkalmazása a 2000-es

Az elmúlt másfél évtizedben a hazai csípőszúnyog-tenyészhelyekre vonatkozó ismereteink exponenciálisan növekedtek
(FORRÁS: SZAKIRODALMI ÉS SAJÁT ADATOK ALAPJÁN)





A Duna és a Tisza legmagasabb vízállásai, az éves csapadékhullás, valamint a biológiai úton kezelt csípőszúnyog-tenyésztőhelyek kiterjedésének alakulása 1988 és 2016 között

(FORRÁS: WWW.HYDROINFO.HU, WWW.MET.HU ÉS ORSZÁGOS EPIDEMIOLÓGIAI KÖZPONT)

években aztán alapvető áttörést hozott. Az elérhető legkorszerűbb módszerek használata napjainkra általánossá vált a tenyészőhely-térképező munkákban. Hazai fejlesztési projekteknek köszönhetően az azonos jellemzőkkel leírható élőhely-foltok részben automatizált feltárása is megvalósítható már a háttérmintázat-feltáráson, illetve predikciós modellezéssel alapuló módszerek alkalmazásával (részletesen lásd a *Szúnyogfront – Csípőszúnyog-tenyészőhelyek térképezése* című írást az ÉT/2008/37. számban – A szerk.). Mindezeknek köszönhetően az elmúlt másfél évtizedben a hazai csípőszúnyog-tenyészőhelyekre vonatkozó ismereteink exponenciálisan növekedtek: a legkiemeltebb kezelendő hazai területek zöme térképezési szempontból készen áll a célzott és rendszeres biológiai lárvagyérítésekre. Ez utóbbi eredményeként 2011 óta a kezelt területek kiterjedése elkezdett együtt mozogni – a biológiai gyérítések indokoltságát elég jól leképező – a csapadékhullásra és a folyóvízszintekre vonatkozó adatokkal.

Házunk táján

Minden szempontból kíváncsi, hogy a csípőszúnyog-probléma hazai kezelése a lehető legkisebb környezetterheléssel járó módszerekkel történjen. A feltételek részben már biztosítottak, az optimális állapot elérése azonban további kutá-

tási és fejlesztési feladatok elvégzését, szemléletbeli változtatásokat, valamint a lakosság bevonását egyaránt igényli. Az eddig még egzakt módszerekkel feltáratlan területekre vonatkozóan is szükséges elkészíteni a távérzékelési alapú, de csak számottevő terepi munkával létrehozható, tenyészőhely-térképeket. A biológiai gyérítések során technológiai fejlesztésekkel kell megteremteni a granulátummal történő biológiai kezelések rendszeres lehetőségét.

Noha a humán jelentőségű nagyobb csípőszúnyog-tenyészőhelyek jó része védett természetvédelmi területen található, a környezetterhelés minimalizálása érdekében indokolt esetekben az országos jelentőségű védett területeken is lehetővé kellene tenni a biológiai módszerrel történő gyérítéseket. Az érdemi biológiai gyérítő tevékenységből a lakosság eddig a saját telke, épületei környékén található gyepek árkok tabletázás BTI-készítményekkel történő kezelése útján tudta (volna) kivenni a részét. Az utóbbi években indokoltá vált az esővízgyűjtő hordóknak és más hasonló, kisebb alkalmi vízgyűléseknek (telmáknak) a lakosság bevonásával történő, mind szélesebb körű gyérítése is. A mostanra hazánkban is megjelent invazív fajok terjedésében ugyanis e ház körüli tenyészőhelyek jelenléte meghatározó.

Optimális időpontban minden tenyészőhely bizonyosan nem kezelhető. Vannak tenyészőhelyek, amelyek helyzetükből adódóan a legjobb szándékkal sem érhetőek el. Ugyancsak kiesnek a gyérítendő területek közül az egészen apró pocsolyák, faodvak is, pedig azokból akár egy néhány literes víztér is elegendő több ezer szúnyogegység kifejlődéséhez. A kirepülő szúnyogok valamilyen közeli, számukra védelmet nyújtó fás-bokros élőhelyek jelenlétében 4–6 hétig is élhetnek. Búvóhelyeikről aztán újból és újból visszatelepülnek az emberi lakókörnyezetek gyérített területeire. Ráadásul jelen van a faunánkban olyan speciális életmódú, embert hevesen támadó faj is (*Coquillettidia richiardii*), melynek egyedei 9 hónapon át a vízi növényzet víz alatti szárrészeihez kötődve fejlődnek. Ez utóbbiak esetében nem megvalósítható a biológiai szerekekkel való gyérítés. Ebből adódóan jelenlegi ismereteink szerint a legfejlettebb biológiai gyérítési technológia sem fogja teljesen elkerülhetővé tenni a kémiai kezeléseket.

Legyen szó akár biológiai, akár kémiai gyérítésekről, a lényeg valamennyi esetben az, hogy a szúnyogcsípések hiánya nyújtotta komfortérzet elérése ne járjon sem az egészségünk, sem a környezetünkben található ökoszisztémák veszélyeztetésével.

KENYERES ZOLTÁN
TÓTH SÁNDOR