

Dr. Habil Horváth Gábor – Egri Ádám – Dr. Radnóti Katalin

Szabad-e déli napsütésben a növények leveleit öntözni?

Egy közismert biooptikai probléma biológus szemmel

Több országban elterjedt gyakorlat a természettudományos nevelés, mint a kutatásalapú természettudomány-tanítás koncepciója, aminek lényege, hogy a kutatás képezi a természettudományok tanításának alapját, irányítva a tanulói tevékenységek megszervezésének és kiválasztásának alapelveit (Molnár, 2006; Nagy L.-né, 2010). A kutatásalapú tanulás, rövidítve KAT (angolul: *inquiry-based learning*, IBL) olyan módszer, amely biztosítja, hogy a tanulók átéljék a tudásalkotás folyamatát és ösztönző sikerélményét. A módszer fő jellegzetessége, hogy a diákok végezzenek kutatással kapcsolatos, illetve kutatás jellegű tevékenységeket is a természettudomány tanulása során, amire több példát is lehet olvasni e lap hasábjain (Kontai és Nagy L.-né, 2011a, 2011b, 2011c).

Jelen írásunkban egy olyan biooptikai jelenségnek, a vízcseppel borított, napsütötte növényi levelek állítólagos napégésének eredünk nyomába, amiről sokan azt hiszik, hogy mindig bekövetkezik, és ismerik a magyarázatát is. Valójában mégis érdemes részletesen, egyszerű kísérletekkel utánajárni a kérdésnek, mert e probléma nem is olyan egyszerű, mint elsőre gondolnánk. Úgy véljük, hogy e probléma a tanulók számára is érdekes és könnyen vizsgálható. A szóban forgó jelenségnek fizikai és biológiai vonatkozásai is vannak. A téma fizikai/optikai vetületét *A Fizika Tanítása* 2013 februári számában mutatjuk be (Horváth és mtsai, 2013).

Széles körben elterjedt vélekedés a kertészetben és növényvédelemben, hogy a növényeket délben, tűző napon nem szabad locsolni, mert a rájuk tapadt vízcseppek megégethetik a leveleket azáltal, hogy a levélfelületre fókuszálják a napfényt. Hasonló vélemény fordul elő a bőrgyógyászatban és kozmetikában is, miszerint az emberi bőrön megtapadt vízcseppek veszélyt jelentenek napozás közben, mert gyűjtőlencseként a bőrre fókuszálják a napfényt. Az erdészeti szakirodalomban is föl-fölbukkan az a hit, hogy a vízcseppek által az elszáradt növényzetre fókuszált napfény erdőtüzet okozhat. A növények felületén ülő vízcseppek fényfókuszálásának biofizikáját részleteiben csak nemrég vizsgálták magyar kutatók és oktatók (Egri és mtsai, 2010a, 2010b; Horváth és mtsai, 2010; Stonawski és mtsai, 2011). Mivel mindez köznapi eszközökkel és egyszerű kísérletekkel is tanulmányozható, érdekes kutatási probléma lehet a tanulók számára is.

Milyen levélfelületek vannak?

Egy levél felületének szerkezete (simasága vagy szőrössége) és a felületet borító viaszréteg döntően meghatározzák a levél és a rajta ülő vízcsepp közti θ érintkezési szög (kontaktuszög) nagyságát. Ha $\theta < 90^\circ$, akkor a levélfelület nedvesítő (víztapasztó), miáltal rajta lapos, lencse alakú cseppek alakulnak ki. Ilyenkor a vízcseppek a levelekhez tapadnak, s csak nehezen kerülhetnek le róluk, például csak akkor,

ha heves szél rázza a növényt. Ha $\theta > 90^\circ$, akkor a levélfelület víztaszító (vízpergető), miáltal rajta gömbölyded, ellipszoid alakú cseppek alakulnak ki. Ekkor a vízcseppek a közel vízszintes levelekről már kis rázkódásra, enyhe szélben is könnyen leperegnek, illetve a vízszintestől már kissé dőlt levelekről szélrázás nélkül is legördülnek. A növények érdeke, hogy róluk legördüljenek az esőcseppek, mert különben a leveleiken kialakuló vízréteg elzárná a gázcserenyílásait, s míg e vízréteg el nem párologna, addig szünetelne a gázok cseréje és a párologtatás. Másrészt pedig a nedves levélfelületen a növény számára káros gombák telepednének meg és tenyésznének.

Az iskolai munkában a szóban forgó biooptikai probléma kísérleti vizsgálatának előkészítéseként az **első tanulói feladat** lehet víztapasztó és vízpergető levelek keresése az iskola udvarán vagy annak közelében. Fontos, hogy mindig frissen szedett levelekkel végezzék a kísérletet, mert a levelek fonnadásakor, száradásakor megváltozik a levélfelületi struktúra, s így a víz és a levélfelület közötti illeszkedési szög (kontaktszög) által vezérelt víztaszító/nedvesítő-képesség is. A diákok a szabad szemmel simának látszó leveleken túl próbáljanak meg szőrös leveleket is gyűjteni. A levélszőrök többnyire viaszosak, s így víztaszítóak, ezért rajtuk gömbölyded vízcseppek alakulnak ki. Ha e gömbölyű vízcseppek némelyike mégsem gördül le a levélről, akkor a fókuszterületük pont a levélfelület színre eshet, ami növeli a napégés esélyét. **Második tanulói feladat** lehet, hogy a diákok egy mikroszkóppal nézzék meg a begyűjtött levelek felületét, s figyeljék meg, hogy az sima vagy szőrös, és borítják-e viaszbolyhok.

Kísérletek nedvesítő és vízpergető levelekkel, csoportmunkában

A levelek előkészítése

Hgy nedvesítő és egy víztaszító levelű növényfaj 4–4 frissen szedett levelét egy tiszta,

színtelen, átlátszó üveglapra rögzítik a tanulók valamilyen színtelen, átlátszó ragasztószalaggal a levél szélén néhány helyen úgy, hogy minél jobban kisimuljon a levél felülete. Egy adott levéltípus esetén két levelet színével fölfelé, a másik kettőt pedig fonákjával fölfelé rögzítenek az üveglapokhoz. A szabadban, egy napsütötte, vízszintes, füves talajon mindegyik üveglapot a szélénél két helyen úgy támasztják alá, hogy az üveglap a rajta lévő levelekkel együtt vízszintes síkban legyen a fű fölött 1–2 dm magasságban (1A ábra). Ezzel jól modellezhető a levelek természetes megvilágítási viszonyai: a felülről jövő napfény és égboltfény, valamint a füves talajról visszaverődő, alulról jövő fény. A leveleknek e kísérletben azért kell vízszintesnek lenniük, hogy a később rájuk csöppentett folyadékcseppek ne gördüljenek le róluk a ferdeségük miatt.

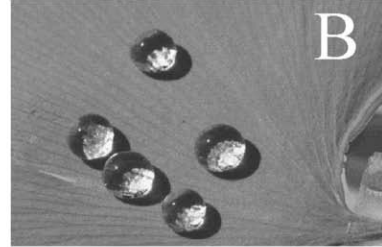
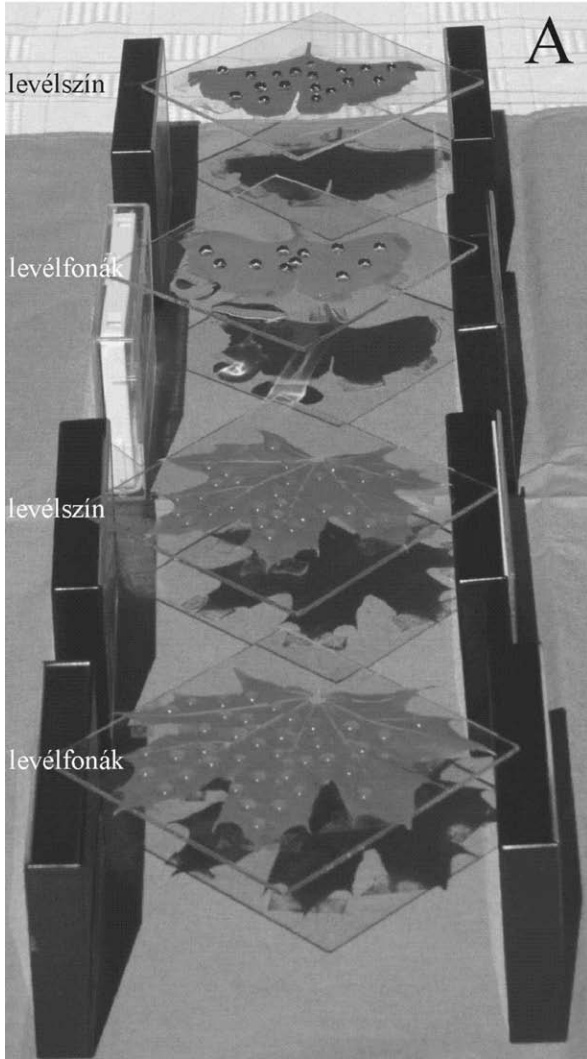
Vízcseppek levelek

Az így előkészített leveleket két azonos csoportra osztjuk úgy, hogy minden csoportban legyen egy pár nedvesítő és egy pár vízpergető levél, a pár egyike fonákkal fölfelé, a másik pedig színnel fölfelé nézve. Mindkét csoport leveleire egy szemcseppentőből számos, azonos méretű vízcseppet helyezünk egyenletes eloszlásban úgy, hogy a vízcseppek ne érintsék egymást (1B ábra). Minden vízcsepp a cseppentőből származó, azonos számú apró cseppből álljon, mert csak így biztosítható a vízcseppek egyforma alakja és mérete. A víz lehet közönséges csapvíz, de a valóságnak jobban megfelel, ha frissen összegyűjtött esővizet használunk. Ha ilyen nem áll rendelkezésre, akkor a boltban vett desztillált víz is megfelel, ami jól utánozza a frissen gyűjtött, tiszta esővizet. A csapvíz előnye, hogy miután elpárolog a levelekről, a belőle visszamaradt ásványzemcsék mutatják a vízcsepp eredeti helyét, míg esővíz vagy desztillált víz alkalmazása mellett nem marad ilyen nyom az elpárolgott cseppek után.

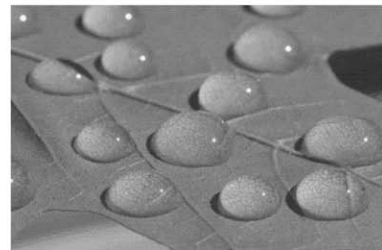
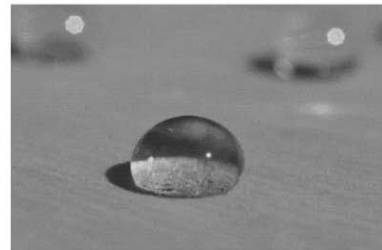
Az egyforma alakú és térfogatú vízcseppekkel borított levelek egyik csoportját közvetlen

nap- és égboltfénynek tesszük ki, e csoportot nevezzük napsütöttnek. A másik vízcseppes levelecsoporthoz egy megfelelő nagyságú és irányú kartonlappal végig kitarjuk a közvetlen napfényt, vagy egyszerűen egy épület vagy fa árnyékába tesszük a vízcseppes leveleket. E csoportot nevezzük árnyékosnak. A kísérletet addig

végezzük, míg a levelekről el nem párolog az utolsó vízcsepp is (érthető módon az árnyékos levelekről fognak legutoljára eltűnni a vízcseppek). E kísérlet elvégezhető a Nap különböző horizont fölötti szögmagasságai mellett, például napkeltekor, délelőtt és délben. A diákok jegyezzék föl a besugárzás kezdetének és végének



páfrányfenyő (*Ginkgo biloba*)



juhar (*Acer platanoides*)

1. ábra

(A) A páfrányfenyő (*Ginkgo biloba*, fönt) és a juhar (*Acer platanoides*, lent) sima felületű leveleivel elvégzett kísérlet elrendezése, melyben 2 juhar- és 2 páfrányfenyőlevél volt 2–2 vízszintes üveglapra rögzítve színnel, illetve fonákkal fölfelé. Mindkét növényfaj levelének fonákját, illetve színét vízcseppek borították (Dr. Horváth Gábor felvételei).

(B) Páfrányfenyő (felső kettő) és juhar (alsó kettő) levelein nyugvó vízcseppek közeli fényképei (Dr. Kriska György felvételei).

(az utolsó vízcsepp eltűnését a levelekről) időpontját, az ekkor mért léghőmérsékletet és a levelekre helyezett vízcseppek számát. Fontos, hogy a besugárzás során végig süssön a Nap, azaz még néha se takarják felhők. Mivel a felhők gyakorisága jelentősen megnő délután, ezért célszerű e kísérletet délelőtt végezni.

Ezután a diákok egy kézi nagyítóval vagy akár egy mikroszkóppal figyeljék meg, hogy keletkeztek-e a leveleken a vízcseppek közelében vagy alatt a cseppek által összegyűjtött fény által előidézett, napégésre utaló, apró, sárgás-barna foltok. A tanulók jegyezzék föl, mely leveleken találtak, s melyeken nem ilyen napégette foltokat. A kísérleti eredmények dokumentációjául a tanulók közeli (makro) fényképfelvételeket is készíthetnek a levelekről, vagy egy lapbeolvasóval számítógépre vihetik (beszkennelhetik) a levelek eredetileg vízcseppekkel borított, s a környezeti fénynek kitett, fölfelé néző oldalát.

Vízben áztatott gliceringolyók a leveleken

A vízcseppes kísérletekben a cseppek alakja lapos, lencseszerű a víznedvesítő leveleken, míg gömbölyded a víztaszítókon, a különböző kontaktszögek okán. A gazdaboltokban vagy virágboltokban, kertészeti árudákban vásárolhatnak a diákok száraz gliceringolyókat, melyek vízben áztatva megdagadnak a vízfölvétel hatására. Az ilyen hidratált gliceringolyók megtartják gömb alakjukat, ugyanakkor a spektrum látható részében a törésmutatójuk a vízéhez ($n = 1,33$) közelít, ha kellően hosszú ideig, minimum egy óráig vízben áztak (Stonawski és mtsai, 2011). Ily módon olyan „cseppekkel” is kísérletezhetnek a diákok, melyek alakja gömb, törésmutatója pedig gyakorlatilag a vízével egyezik. Az ilyen hidratált gliceringolyókkal a tanulók újra elvégezhetik az előző kísérletet úgy, hogy a vízcseppek helyett a gliceringolyókat helyezik a vízszintes levelekre olyan hosszú ideig, ami a vízcseppek teljes elpárolgására volt jellemző (a vízben áztatott gliceringolyók nem párolognak el, csak víztartalmuk csökken az idővel).

Olajcseppes levelek

A gliceringolyós kísérletben a vízcseppekével azonos törésmutatójú, de a vízcseppekétől eltérő, gömb alakú fénygyűjtő közegek, a hidratált gliceringömbök borították a leveleket. Ha szemcseppentőből átlátszó, szintelen olajcseppeket helyezünk a levelekre, akkor utánozhatjuk a vízcseppek laposabb alakját a törésmutató megnövelése mellett. A minőségtől függően ugyanis az olaj törésmutatója 1,5 és 1,57 között változik. Persze az olajcseppek alakja nem lesz pontosan egyező a vízcseppekével, mivel az olaj levelekre vonatkozó kontaktszöge a minőségtől függően többé-kevésbé eltér a víztől. A barkács, műszaki vagy építészeti boltokban beszerezhető szintelen, átlátszó olajcseppekkel újra elvégezhetik a diákok a fent leírt vízcseppes-leveles kísérletet olyan hosszú ideig, ami a vízcseppek teljes elpárolgására jellemző (az olajcseppek gyakorlatilag nem párolognak).

Tömény oldatcseppes levelek

A természetben a leveleken úgy is keletkezhetnek barna foltok, hogy valamilyen tömény oldat cseppjei hullanak rájuk. A tengerparti növények leveleire a sós tengervíz cseppjei kerülhetnek, melyek párologással egyre töményebbek lesznek. A levélnek a vízre nézve részben átteresztő bőrszövetén át ozmózissal víz vándorol a levélszövetből a tömény sóoldatcseppbe. E vízvesztés hatására elhalhat és barnává válhat a levélszövet. De a savas esők leveleken megtapadó cseppjei is okozhatnak ilyen ozmotikus eredetű levélfoltokat. Kerti körülmények között hasonló ozmotikus foltosodás következhet be, ha a levelekre klóros öntözővíz, tömény levéltrágya vagy vízben oldott permetezőszerek cseppjei kerülnek.

Ezen ozmotikus levélfoltosodás demonstrálására a tanulók úgy is elvégezhetik az eredeti árnyékos vízcseppes-leveles kísérletet, hogy szemcseppentővel tömény sóoldat, cukoroldat, vízzel hígított ecet, folyékony levéltrágya vagy permetlé cseppjeit helyezik az árnyékos levelekre.

re addig, míg a cseppek el nem párolognak, de legalább olyan hosszú ideig, ami a tiszta vízcseppek teljes elpárolgására volt jellemző az eredeti kísérletben. A permetlével persze nagyon óvatosan kell bánni, hogy még véletlenül se érje a diákok bőrét, ne nyeljük le és ne lélegezzék be annak gőzét. Fontos, hogy e kísérletben a leveleket ne érje közvetlen napfény, hogy az esetleges levélfoltokat ne az oldatcseppek által fókuszált erős napfény okozza.

Ellenőrző kísérletek

A lényegi kísérlet a napsütötte levelek csoportjával folytatandó, amiben azt vizsgálják a tanulók, hogy a fényfókuszáló közegek (vízcseppek, hidratált gliceringolyók, olajcseppek) által összegyűjtött napfény képes-e kiégetni a levélszövetet. Az árnyékos levélcsoporttal végzett besugárzás pedig az egyik fontos ellenőrző (kontroll) kísérlet. Ennek célja annak kiderítése, hogy önmagában a vízcseppek, nedves gliceringolyók és olajcseppek nem okoznak-e valamilyen szemmel látható foltosodást a leveleken, mely foltok összetéveszthetők a napégési foltokkal. Ha a nedves gliceringolyók ozmózzissal vizet szívnanak ki a levélszövetből az érintkezési felületükön, akkor az alattuk dehidratálódó levélszövetben esetleg a napégéshez hasonlatos sárgás-barna folt keletkezhet.

De már a vízcseppek esetében is fölvetődik, hogy a víz oldott ásvány-koncentrációjától és a levélszövetbeli növényi nedvek oldottanyag-koncentrációjától függően a vízcseppből víz távozhat a levélbe, vagy a levélszövetből a vízcseppbe a növény részben áteresztő bőrszövetén át. Mindkét folyamat eredménye valamilyen színváltozás, foltosodás lehet, ami nem tévesztendő össze a napégési folttal.

Ha az olaj nem színtelen, nem teljesen átlátszó, akkor az általa elnyelt fény melegíti az olajcseppet, ami akár annyira föl is forrósodhat, hogy már foltot hagyó hősérülést okozhat a levélszövetben. Ezért kell minél színtelenebb és átlátszóbb, azaz minél kevésbé fényelnyelő olajfajtát használni az olajcseppek-leveles kísérletben.

Ha az árnyékos kontrollcsoportbeli leveleken semmiféle foltosodás nem lenne tapasztalható, akkor a napsütötte csoport leveleinél a cseppek és gliceringolyók alatt vagy közelében esetleg észlelhető sárgás-barna foltocskák nem lennének mással magyarázhatók, mint a fókuszált napfény dehidratáló és levélszövetet roncsoló hőhatásával. Ha viszont az árnyékos csoport leveleinél is keletkeznek valamilyen foltok a folyadék-cseppek vagy gliceringolyók hatására, akkor körültekintően össze kell hasonlítani e foltokat a napsütötte levélcsoport foltjaival annak eldöntésére, hogy az utóbbiak kellően nagymértékben különböznek-e az előbbiektől ahhoz, hogy a különbség a napégésnek legyen betudható.

Ezen ellenőrző kísérletek tehát fontosak, s jól megvilágítják a tanulóknak, hogy a tudományos kutatásban mennyire körültekintően kell megtervezni minden kísérletet, továbbá egy adott jelenség vizsgálatában és magyarázatában ki kell zárni a lehetséges más hatásokat, magyarázatokat is.

Várható kísérleti eredmények

Fgri és munkatársai (2010a, 2010b), Horváth és munkatársai (2010), valamint Stonawski és munkatársai (2011) eredményei alapján a fent javasolt kísérletek várható eredményei a következők:

– Méretüktől függetlenül, sem a nedvesítő (víz-tapasztó) vízszintes leveleken (például juhar, *Acer platanoides*) kialakuló lapos, lencse alakú vízcseppek, sem pedig a víztaszító (vízpergető) vízszintes leveleken (például páfrányfenyő, *Ginkgo biloba*) keletkező gömbölyded vízcseppek (1. ábra) napsütésben sem képesek égési foltokat kiváltani a sima, szőrtelen leveleken, a napszaktól (Nap szögmagasságától) függetlenül. Ugyanakkor egyes szőrös leveleken (például rucaöröm, *Salvinia natans*) megülő vízcseppek (2. ábra) a Nap nagyobb szögmagasságainál (dél körül) szemmel is jól látható, kisebb-nagyobb, sárgás-barna égési nyomokat hagyhatnak a teljes elpárolgásuk

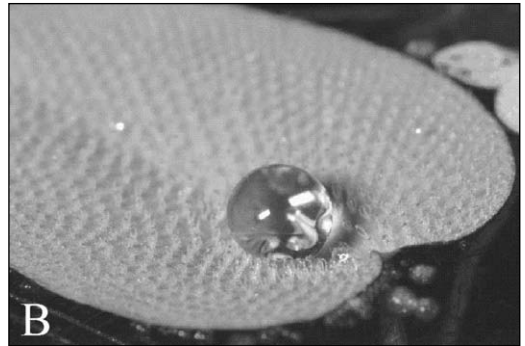
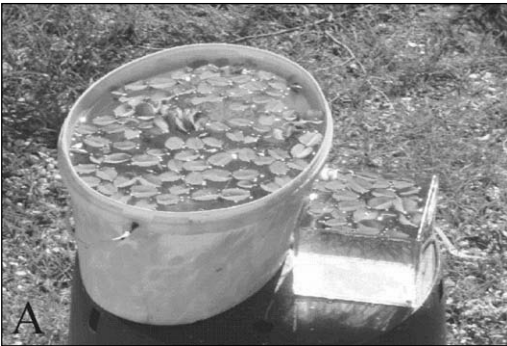
előtt, a cseppmérettől függően (3. ábra). Növényfajtól és napszaktól függetlenül, az árnyékos vízcseppes leveleken semmiféle foltosodás nem lesz megfigyelhető.

- A Nap közepes szögmagasságainál a vizes gliceringolyók égési foltokat hagyhatnak a napsütötte leveleken. Az árnyékos hidratált gliceringolyós leveleken ilyen foltosodás nem várható.
- A szintelen, átlátszó olaj törésmutatójától, az olajcseppek alakjától és a Nap szögmagasságától függően az olajcseppek égési nyomokat hagyhatnak a napsütötte leveleken. Ennek annál nagyobb a valószínűsége, minél gömbölyűbbek az olajcseppek (minél nagyobb a kontaktszögük a levélfelszínen) és minél nagyobb a törésmutatójuk. Az árnyékos olajcseppes leveleken ilyen foltok keletkezése nem várható.
- A só, cukor, ecet, levéltrágya és permetszer koncentrációjától függően az oldatcseppek barna foltokat hagyhatnak az árnyékos leveleken. Ennek annál nagyobb az esélye, minél töményebb az oldat.

Elemzés és következtetések

Habár a Nap bizonyos szögmagasságai mellett a napsütötte, sima felületű vízszintes leveleken ülő cseppek alakjától függő mértékben

a vízcseppek fókusztartománya a levélfelszínre esik, a kísérletek szerint ez mégsem okoz olyan mérvű fényintenzitás-növekedést, hogy égési sérülést szenvedne a levélszövet. Ennek egyik oka, hogy még a víztaszító felszínű vízszintes napsütötte leveleken (például páfrányfenyő, *Ginkgo biloba*) keletkező gömbölyded vízcseppek (1. ábra) sem fókuszálják a napégési foltok kiváltásához elegendő mértékben a napfényt. Más szóval: még a gömbölyded vízcseppek fókusztartománya is csak a Nap szögmagasságának olyan kis értékeinél esik a levélfelszínre, amikor már nem elég intenzív a beeső napfény az égési sérülés okozásához még a fókuszállás után sem. E cikknek *A Fizika Tanításában* (Horváth és mtsai, 2013) megjelenő párja szerint a gömbölyded vízcseppek által a levélre fókuszállt napfény intenzitása akkor a legnagyobb, mikor a Nap szögmagassága 23° . A napégés hiányának másik oka, hogy a levéllel érintkező vízcseppek hűtik az alattuk lévő levélszövetet. Továbbá az is hozzájárul ahhoz, hogy a vízcseppek nem képesek beégetni a leveleket, hogy azon vízcseppek (a gömbölydedek), melyek a legnagyobb mértékben fókuszálják a napfényt a levélfelületre, éppen a gömbölydedségük miatt könnyen legördülnek a levelekről. Amely vízcseppek (a laposak) pedig megtapadnak a leveleken, pont a laposságuk okán nem képesek



2. ábra

(A) A rucaöröm (*Salvinia natans*) szőrös leveleivel elvégzett kísérlet elrendezése, melyben két vízzel telt edénybe rucaörömöket helyeztünk, melyek levelei a vízfelszínen úsztak.

(B) A rucaöröm víztaszító, szőrös levelein nyugvó vízcsepp közeli fényképe (Dr. Kriska György felvételei).

kellő mértékben a levélfelszínre gyűjteni a napfényt.

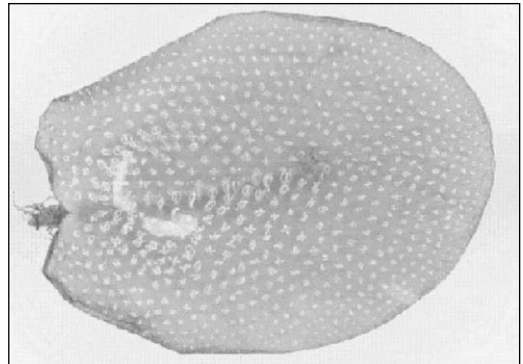
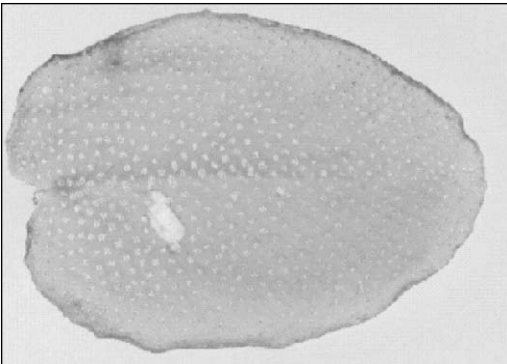
Ha azonban egy vízcseppet a levélfelszín borító viaszos szőrök a megfelelő magasságban tartják a levél fölött (2. ábra), akkor a Nap közepes vagy annál nagyobb szögmagasságainál a csepp fókusztartománya könnyen a levél felületére eshet, miáltal az ott fókuszált intenzív napfény égési nyomokat hagyhat (3. ábra). A Nap alacsonyabb állásainál ennek valószínűsége csekély a napsugárzás kis intenzitása miatt.

Mivel a vízben áztatott gliceringolyók alakja gömb, ezért az várható, hogy a Nap bizonyos szögmagasságainál égési foltokat hagyhatnak a napsütötte leveleken, az üveggolyókhoz hasonlóan, amiről *A Fizika Tanításában* lehet olvasni (Horváth és mtsai, 2013). Ne feledjük azonban, hogy a vízben áztatott (nedves) gliceringolyók törésmutatója csak 1,33 körüli, míg az üveggolyóké 1,5. Így a hidratált gliceringolyók fókusztartománya távolabb esik a golyóktól, mint az üveggolyóké. Ebből kifolyólag az üveggolyók esetéhez képest alacsonyabb napállásnál várható, hogy a nedves gliceringolyók fókusztartománya éppen a levélre essen, és esetleg napégést okozzon a levélszövetben. Az ilyen napégés esélyét csökkenti, hogy a nedves gliceringolyók jobban hűtik a velük érintkező levélrész, mint a sokkal rosszabb hővezető üveggolyók.

Mivel az olaj törésmutatója jóval nagyobb a vízénél, ezért egy szintelen, átlátszó olajcsepp-

nek a vízcseppénél nagyobb az $(n - 1)/R$ fénytörőereje, ahol n a csepp törésmutatója, R pedig a csepp adott pontján a helyi görbületi sugár. Nagyobb törőerő rövidebb fókusztávolsággal jár, azaz nagyobb az esély arra, hogy a Nap bizonyos szögmagasságainál az olajcsepp fókusztartománya a levélre essen, főleg akkor, ha az olajcsepp gömbölyded. Ha az olaj nem nedvesít egy levelet, akkor a nagy kontaktszög okán gömbölyded alakot ölt rajta. Tehát, minél gömbölyűbbek az olajcseppek és minél nagyobb a törésmutatójuk, annál inkább hagyhatnak égési nyomokat a napsütötte leveleken.

A levelek bőrszövege (kutikulája) a vízre nézve részben áteresztő hártayaként működik. A levélnedvek só-, cukor-, ecet-, levéltrágya- és permetszer-koncentrációja nulla vagy igen kicsi. Így ha egy levél egy olyan vízcseppel érintkezik, amiben só, cukor, ecet, levéltrágya vagy permetszer van feloldva, akkor a kutikulán át a levélből víz szivárog a cseppbe, az ozmózis azon törvényének megfelelően, hogy a víz mindig a hígabb oldatból vándorol a sűrűbb oldatba. Ily módon a szóban forgó oldatcseppek vizet szívnak el az alattuk lévő levélszövetből, minek hatására az kiszárad, és szemmel is látható, barna folt keletkezik a csepp alatt. E folt annál nagyobb és barnább, minél több víz távozik a levélből, vagyis minél töményebb az oldat. Ezen ozmotikus foltok nem tévesztendőek össze a napégés foltjaival.



3. ábra

Sárgás-barna napégési foltok a rucaöröm (*Salvinia natans*) szőrös, zöld levelein, a napsütéses kísérlet végén (Dr. Horváth Gábor felvételei)

Összegzés

Locsolhatjuk-e tehát a növényeket déli napsütésben vagy nem? E kérdésre a helyes válasz az, hogy ne öntözzük a növényeket déli verőfényben, de nem amiatt, mert a rájuk tapadt vízcseppek által fókuszált napfény égési sérüléseket okozhat a leveleken. Mint kiderült (Egri és mtsai, 2010a, 2010b; Horváth és mtsai, 2010), a szőrös levelű növények kivételével ilyen napégéstől nem kell tartani. A leveleken esetleg megjelenő foltok eredete sokkal inkább az ozmotikus folyamatokban rejlik, mintsem a napfény vízcseppek általi fókuszálásában. A víz elpárolgása miatt az oldott anyagok koncentrációja folyamatosan egyre nagyobb értékeket vehet fel, nagyon megnövelve ezzel a cseppekben urakodó ozmotikus nyomást, az ozmotikus eredetű sejtelhalást. A déli locsolási tilalomnak más oka és értelme is van. Egyrészt a déli hőségben a kilocsolt víz jó része hamar elpárolog, ami a növényöntözés szempontjából kárba vész. Ezért célszerűbb inkább reggel, napkelte előtt vagy este, napnyugta után locsolni, mikor az öntözővíz párolgási vesztesége minimális. Másrészt pedig a déli napsütésben és magas léghőmérsékletben felforrósodott növényeknek nem tesz jót, ha a leveleik hirtelen hideg vízzel érintkeznek.

Vizsgálataink alapján tehát az mondható, hogy a cikkünk fölvezetésében említett népi hitet a sima felületű levelekkel bíró növények esetén cáfoltuk, a szőrös levélfelszínű növények esetében viszont megerősítettük. Egy részgazságról van tehát szó, ami inkább téves, mint helyes, mivel a szőrös levelű növényfajok eléggé ritkák, és a víz általában leperog róluk a természetben. Vagyis ebben az esetben is kicsi az esélye a napégésnek.

Írásunkban a kutatásalapú természettudományos oktatásra mutattunk egy példát, a témának a biológia tantárgy körébe tartozó vetületeit járva körül, fölhasználva és elmélyítve a tanulók növényi levelekkel kapcsolatos ismereteit. A *Fizika Tanítása* című folyóiratban meg-

jelenő párhuzamos cikkünkben (Horváth és mtsai, 2013) a vizsgált biooptikai probléma fizikai vonatkozásai olvashatók.

Köszönetnyilvánítás: Köszönjük az angol és magyar cikkeink másik két társszerzőjének, Dr. Horváth Ákosnak (Leibniz Troposzféra Kutató Intézet, Lipcse, Németország) és Dr. Kriska Györgynek (ELTE Biológiai Intézet, Biológiai Szakmódszertani Csoport) a kutatási eredményeink elérésében nyújtott nélkülözhetetlen segítségüket. Hálásak vagyunk továbbá Dr. Gnädig Péternek (ELTE Atomfizika Tanszék), amiért fölhívta a figyelmünket a cikkünkben tárgyalt biooptikai problémára. Köszönettel tartozunk Dr. Orlóci Lászlónak, az ELTE Botanikus Kertje igazgatójának, amiért lehetővé tette a vízcseppek rucaörömmel (*Salvinia natans*) folytatott kísérletünk elvégzését a budapesti fűvészkertben.

Irodalom

- [1] Egri Ádám, Horváth Gábor, Horváth Ákos és Kriska György (2010a): Beégethetik-e napsütésben a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek? Egy tévhitekkel terhes biooptikai probléma tisztázása. I. rész: Napfény forgásszimmetrikus vízcseppek általi fókuszálásának számítógépes vizsgálata. *Fizikai Szemle*, **60**. 1–10. + címlap
- [2] Egri, Á., Horváth, Á., Kriska, G. és Horváth, G. (2010b): Optics of sunlit water drops on leaves: Conditions under which sunburn is possible. *New Phytologist*, **185**. 979–987. + cover picture + electronic supplement
- [3] Horváth Gábor, Egri Ádám, Horváth Ákos és Kriska György (2010): Beégethetik-e napsütésben a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek? Egy tévhitekkel terhes biooptikai probléma tisztázása. II. rész: Napfényes besugárzási kísérletek sima és szőrös leveleken ülő vízcseppekkel. *Fizikai Szemle*, **60**. 41–49. + színes borító 3. o.
- [4] Horváth Gábor, Egri Ádám és Radnóti Katalin (2013): Beégetik-e napsütésben a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek? Egy közismert

- biooptikai probléma fizikus szemmel. *A Fizika Tanítása*, **21**. 1. sz.
- [5] Kontai Tünde és Nagy Lászlóné (2011a): A kutatásalapú tanítás/tanulás jegyeinek feltárása a hazai biológiaoktatásban. *A Biológia Tanítása*, **19**. 2. sz. 17–29.
- [6] Kontai Tünde és Nagy Lászlóné (2011b): A kutatásalapú tanítás/tanulás fokozatainak bemutatása példákon keresztül. *A Biológia Tanítása*, **19**. 3. sz. 15–28.
- [7] Kontai Tünde és Nagy Lászlóné (2011c): Példák, ötletek a kutatásalapú tanítás/tanulás módszer alkalmazására a biológia tanításában. *A Biológia Tanítása*, **19**. 4. sz. 15–33.
- [8] Molnár Gyöngyvér (2006): *Tudástranszfer és komplex problémamegoldás*. Műszaki Kiadó, Budapest.
- [9] Nagy Lászlóné (2010): A kutatásalapú tanulás/tanítás ('inquiry-based learning/teaching', IBL) és a természettudományok tanítása. *Iskolakultúra*, **20**. 12. sz. 31–51.
- [10] Stonawski Tamás, Murguly Alexandra, Pátzay Richárd és Cérna László (2011): Folyadékcseppes levelek napégése – Egy biooptikai diákkísérlet. *Fizikai Szemle*, **61**. 259–263.