

A fák vízszállításáról újszerűen

A pulzáló rendszer elvi működése

Török András – ny. okl. erdőmérnök

Növényanatómiából elég jól ismerjük, hogy a kambium osztódó szövetei hozák létre a fatest belseje felé a különböző feladatok elvégzésére hivatott fajtákat, így a vízszállításra specializálódott sejteket is, melyeknek egy része a harántfalak perforálódásával vízszállító csövekké alakul át.

A következőkben kizárólag a csövekben szállított víz (oldat) mechanizmusával kívánok foglalkozni. Ahhoz, hogy megismerjük egy rendszer működését, mindenképpen meg kell ismerni a működési mechanizmusokat és az azt működtető erőt, valamint annak forrását is. A jelenleg ismert vízszállító elméletek között csak kisebb eltérések vannak, többé-kevésbé az alább leírtakkal megegyezők. A következőkben ezt ismeretemen nagyon röviden és kizárólag a víz (oldat)szállító csőre vonatkozóan.

A jelenleg elterjedt elmélet és felmerült problémák

A párolgás során a légtérrel közvetlen kapcsolatban lévő mezofil (levélalapi) sejtek felületén és a sejt közötti járatokban a párolgás hatására meniszkuszok (görbületek) alakulnak ki, melyek szívó hatást fejtenek ki. Ez adja a szívóerőt, ami a víz (oldat) szállítását végzi. Minél több vizet ad le a levél, annál kisebb sugarúak a mezofil sejtek felszínén kialakuló meniszkuszok, és annál nagyobb a szívó hatás, ami a gyökerektől a levelek felé irányuló víz (oldat) szállításának a hajtóereje.

Felmerült és meg nem válaszolt kérdések:

- Miért alakulnak ki a párolgás hatására a meniszkuszok?
- Miért kell egyre nagyobb szívó hatás?

Probléma: a végtelenségig nem csökkenhet a meniszkuszok sugara. Ebben az esetben viszont erő hiányában mi biztosítja a szívó hatást? Párolgásnál a csőben a vízszlop magassága nem csökkenhet. A csőnek állandóan víztelítettnek kell lenni. Ebben az egyensúlyi helyzetben a két erő, a lefelé irányuló gravitációs erő és a vele ellentétes irányú szívóerő kiegyenlíti egymást. A szíváshoz ennél egy kicsivel nagyobb erő

szükséges, mert párolgás és szívás csak ebben az esetben valósulhat meg.

A víz eredeti szintje, a cső telítettsége biztosítható ennél az állandóan egyenletes nagyságban működő erő esetén akkor, ha a légtérbe távozó vízmolekulák pótlása a gyökéri résznél megoldott. Ekkor a párolgás egyenletes. Egyre intenzívebb párolgáshoz egyre nagyobb szívóerő kell, de a be- és kilépő vízmolekulák számának ekkor is meg kell egyeznie. A fentiek a szívásra alapozott folyamatot és erőhatásait írják le. A későbbiekben kiderül, hogy ez a folyamat valószínűleg nem létezik, mert a párolgás nem így megy végbe. Ennél a rendszernél az állandó erőhatás nem biztosított (a meniszkuszok sugara a végtelenségig nem csökkenhet), és feltehetően a szívóerő nagysága sem elegendő.

A pulzáló rendszerről

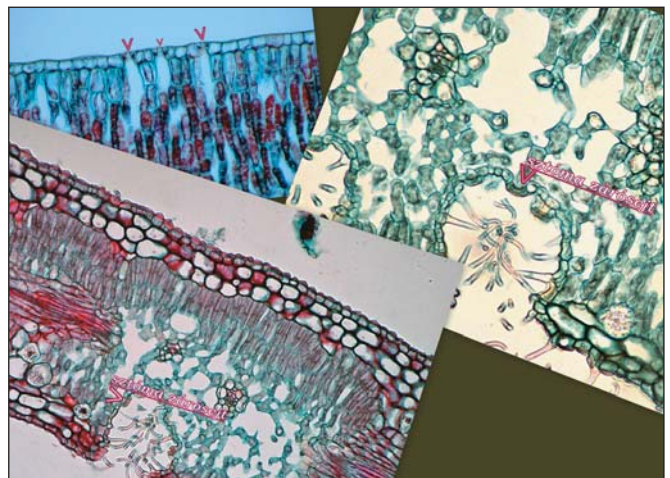
A levél felszínén igen kis méretű nyílások (sztómák) találhatóak. Ezek a sztómák, melyek többnyire a levél fonáki oldalán helyezkednek el, gondoskodnak a légcseréről és a párolgatásról. Párolgatáskor a sztómák nyitva vannak. Magasabb energiaszinten vízmolekulák távoznak a légtérbe. Értelmszerűen a csőben maradó víz lehül (hőelvonás jelensége). Mivel organikus rendszerről van szó, a vízcső a lehülésre keresztmetszet-csökkenéssel válaszol. Ebben az esetben pedig nem szívásról, hanem a légtér felé irányuló nyomásról beszélünk. A cső csak egy bizonyos határig tud szűkülni. Az összehúzódás befejeztével bezárul a légzőnyílás. Megszűnik a párolgás és a hőelvonás. Beindul egy hő-kiegyenlítődesi folyamat, ami szép lassan visszaállítja a cső eredeti keresztmetszetét. Ez a keresztmetszet-növekedés pedig szívóerőt generál a gyökerek irányába, ami felszívja a vizet a talajból.

Hasonlóan az orvosi szemcseppentőhöz, amikor is a benyomott, leszűkített keresztmetszetű, henger alakú, rugalmas gumit elengedve folyadékot szívunk fel a csőbe.

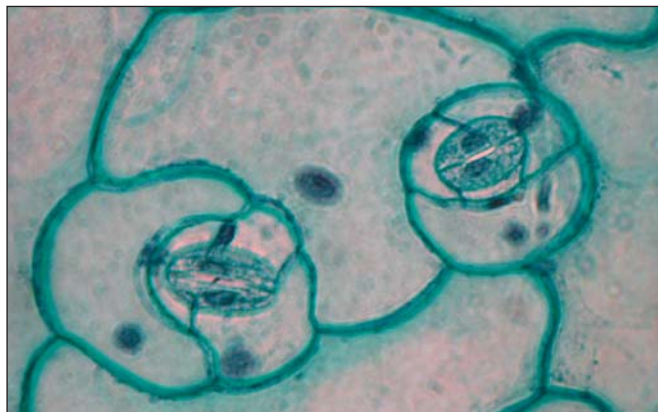
A víznyomáshoz (sztómanyitás-párolgás) szükséges nyomóerőt a párolgás miatti hőelvonás következtében bekövetkezett, az egész csőhosszra kiterjedő keresztmetszet-csökkenés állította elő. A gyökerek felé irányuló szívóerőt, ami az eredeti keresztmetszetet hivatott helyreállítani, a hő-kiegyenlítődes során keletkezett erő biztosítja. Jelen esetben a szívás és nyomás fázisban a cső teljes felülete pulzál, hisz magas fáknál nagy erő kifejtés szükséges. Ha tudjuk azt, hogy a nyomóerőt a nyomás és a felület szorzata adja, akkor könnyen belátható, hogy jóval nagyobb erő áll rendelkezésre, mintha azt csak a levél mezofil sejteinek meniszkuszváltozásai állították volna elő.

Az elmondottakból érzékelhető, hogy a víz szállításának ez az újfajta mechanizmusa csak fiatal, elsőéves, még összehúzódásra képes csövek esetén működhet. A növényanatómiával és élettannal foglalkozók megfigyelték, hogy a második évben a csövek már rugalmatlanok, bennük vízszállítás nem, csak oldatraktározás folyik. A többéves csövekben azért nem folyhat vízszállítás, mert a vízcső vége nincs kapcsolatban a levéllel.

A csak szívásra alapozott rendszernél felmerült kérdésekre és a problémára a válaszokat immáron meg tudjuk adni. A



Sztómák a levél keresztmetszetén. Forrás: Bognár János – <http://www.plantarium.hu/tag/sztoma-komplex/>



Anizocitikus sztómakomplex. Forrás: Bognár János, <http://www.plantarium.hu/wp-content/uploads/2012/07/Anizocitikus.jpg>

problémát és ellentmondásokat az okozta, hogy a rendszer másként működött, mint ahogy azt gondolták. Az új rendszernél már az erőforrás sem apad ki, hisz ebben a pulzáló rendszerben mindig van a működtetéshez elegendő erő.

Mit mutat a kísérlet, és ez hogyan illeszkedik a szívás-nyomás eltolt időfázisú elméletéhez?

Magyarországon a síkfőküti projekt keretében Bérés Csilla egyetemi tanár végezte el először a vízszállítás egzakt vizsgálatát a munkacsoportjával. 1985 novemberében Debrecenben üzembe helyezték az első ciklotron, és ez lehetőséget adott arra, hogy terepi kísérletekben először alkalmazzanak ciklotronban termelt rövid felezési idejű izotópokat, amelyek vízárammal szállítódhatnak. Az injektálást egy tú segítségével végezték el állandó vízáram mellett. Az aktivitást a fa törzsére különböző magasságokban elhelyezett szcintillációs detektorokkal mérték. A detektorokat az injektálási pontoktól felfelé 1, 3, 9 és 12 méterre helyezték el. Azt várták, hogy az aktivitás egy bizonyos idő múlva megjelenik a következő detektornál, s a két detektor közötti távolságot, valamint az aktivitási csúcs megjelenési idejét ismerve kiszámíthatjuk az áramlás sebességét. A mérési eredmények azonban ellentmondtak az előzetes elképzelésnek. Kiderült, hogy az áramlás nem egyenletes, hanem rövid ideig tartó kiugró csúcsok jelentek meg, majd csökkent a sebesség. Az áramlás egyenlenségeit a lombkorona eltérő transzspirációs viszonyaival magyarázták. Azok a levelek, amelyek éppen élénkebben párologtatnak, egy ideig gyorsítják a hozzájuk vezető tracheákban az áramlást. Ezt a jelenséget gyors áramlásnak nevezték el. A baj csak az volt, hogy a csúcsok éjszaka is jelent-

keztek, s ez nem magyarázható az eltérő párologtatásra alapozott elképzeléssel.

Bérés Csilla egy későbbi kísérleténél, amit már komputertomográfia segítségével fako-rongok mintavételezésével, immáron a fajok víztárolási képességeire fókuszálva végeztet, kijelentette:

„a vízáramlási mechanizmusok a fáknál még korántsem tisztázottak”. A kísérletből levont következtetésem, ami a változó sebességű mozgásban annak egy gyors és egy lassú sebességű formájában nyilvánul meg, úgy tűnik, igazolja a nyomás-szívás elképzelésre alapozott elméletet. A légtér irányába mutató keresztmetszet-csökkenéssel járó nyomási szakaszban egy rövid idejű gyorsuló, míg a gyökerek irányába mutató keresztmetszet-növekedéssel járó szívási szakaszban egy hosszú idejű, lassuló

mozgás valósulhat meg a kísérlethez hasonlóan. Úgy tűnik, Bérés Csilla kísérlete igazolta a szívás-nyomás eltérő időfázisú elméletét.

Kitekintésként talán érdemes megemlíteni, hogy az embereknél, a vér szállítása is a szívás-nyomás időben eltolt fázisú formájában megy végbe, amit a szív összehúzódása és elemnyedése működtet. Az általunk létrehozott folyadék-szállító gépeknél a szívás és nyomás általában egy ütemben valósul meg. Példaként említeném a jet-ski belső vízsugaras meghajtású motorját, és a közönséges vízvíznyomást, ahol a vízkerék egyik fele és a víz között helyezkedik el a szívott vízszakas, a vízkerék túloldala és a szabad légtér között pedig a nyomott víz található. Úgy tűnik, hogy a fák esetében a kétszakaszos, eltolt időfázisú szívás-nyomás rendszerű mechanizmust választotta az evolúció, az emberi szívhez hasonlóan. Talán nem véletlenül.

A vízcsőben történő szállítás szívás-nyomás gondolatának elmélete már Bérés Csilla cikke elolvasása előtt 2010-ben megfogalmazódott bennem. Az igaznak vélt tartalom készített e cikk megírására. 🌿

Kiegészítés Török András cikkéhez

Az összeállításban gyakori és alapvető problémának látom az egyoldalú, tehát nem rendszerű, csak fizikai alapon történő megközelítést. A példaesetben a vízszállító csőnek nevezett részt a saját szerepének megfelelően kiemelten tárgyalja. De rendszerről, még hozzá élő rendszerről van szó, amely magasabb fokú rendszer formájában jelenik meg. Fiatal korban a csőnek nevezett sejtkepződmény a fizikai törvényeknek megfelelően végzi dolgát, s így ellátja a feladatát. Később, magasabb szervezeti fokon azonban a csőrendszer nem tudja biztosítani a szükséges vízmennyiséget. Ilyenkor pedig, például a tavaszi levél- és hajtásképződéshez nagyobb mennyiségű víz és energia szükséges. Erre a szervezettel úgy lép, hogy az előző évben fotoszintézis útján felépített szénvegyületeket lebontja egyszerűbb cukrokká, azok vizes oldatát a csőrendszerbe juttatva biztosítja a vizet és az energiát a levél- és a hajtásképződéshez.

Hogyan jut fel a víz tavasszal a 20 méternél is magasabb fába?

E kérdés sokszor felmerült, és eddig a magyarázatok elég hiányosnak tűnnek. Az itt tárgyaltak erre is bizonyítékot szolgáltatnak. A probléma az, hogy kora tavasszal még nincs lombkorona sem, hogy párologtató felületével fő segítőtje legyen a csövekben való víz felszívásának.

A fa mint magas szervezetségű, nyár és tél szakaszos élőhelyen tenyésző növény tud úgy alkalmazkodni, hogy nyáron fotoszintézissel felépíti és tárolja a magasabb rendű szénvegyületeket. Majd ezek enzimjeik révén, amelyek hőspecifikusak, a tavaszi hőmérséklet hatására lebomlanak vízben oldódó, egyszerű cukrokká, és azok beszívárognak a szár külső szállító csatornájába, ahol nagyobb koncentrációjuknál fogva a közvetlen alattuk lévő vízre, mint kisebb cukortartalmú folyadékra szívóerőt gyakorolnak (vizet szívnak). (Kora tavasszal, a fák lombosodásakor, a törzs sérült részein kifolyó nedv magas cukortartalmáról mindenki meggyőződhet, lásd például a nyírvízcsapolást.) Ez a szívás alakul ki az éppen fölötté lévő részen is, s minél magasabba megyünk fiatalabb és fiatalabb szárrészt kapunk magasabb cukortartalommal és magasabb szívó hatással. Ilyen lépcsőzetes szívás révén jutunk a fa csúcsáig.

Az, hogy a cukortartalomnak ilyen lépcsős a változása, azzal a ténnyel magyarázható, hogy az alsóbb, idősebb részekben a szénvegyületek már fásodásra, tartalék- és más gesztessítő anyagokra alakultak át. A magas fák esetében tehát a szívó hatás egyik formája a magas cukortartalom, ami lefelé haladva lépcsős szívó hatássá alakul.

Prof. dr. Gencsi László, ny. egyetemi tanár