

SZEPESI ÁGNES, PÁLFI PÉTER, SÍPOS LILLA, BAKACSY LÁSZLÓ:

A növényanatómia oktatásának innovatív lehetőségei a Szegedi Tudományegyetem Növénybiológiai Tanszékén

Összefoglalás

A Szegedi Tudományegyetem Növénybiológiai Tanszéke már 100 éve képviseli magasszintű a növénybiológiai felsőoktatást és az ismeretterjesztést. A növényanatómia mindig is jelentős szerepet töltött be a tanszéken folyó oktatásban, ám a digitalizáció megjelenésével szükség van a rendelkezésre álló módszerek és oktatási technikák innovatív fejlesztésére. A növényvakság elleni küzdelem részeként szükség van a hallgatók számára biztosítani a növényanatómiai ismeretek könnyebb befogadását, ezáltal érzékenyíteni őket a növényvilág érdekességeinek megismerésére. A jelen tanulmány kitér a növényanatómia jelenlegi helyzetére, valamint a tanszéken folyó ilyen irányú törekvések bemutatására, valamint a növényanatómia néhány lehetséges alkalmazási területére.

Kulcsszavak: növényanatómia; digitalizáció; innováció; növényvakság; vizualizáció; metszet; mikroszkópia; növénybiológia; oktatás; centenárium; Mecenatúra; SZTE

Bevezetés

Az anatómia a növénytudomány egyik legrégebbi tudományága, mely óriási mennyiségű ismeretanyagot halmozott fel az évszázadok során, valamint rendkívül fontos összekötő kapcsként szolgál a modern növénytudomány számos kulcsfontosságú ága között (Sokoloff és mtsai. 2021). A növények biológiai funkcióinak, fejlődésének vagy evolúciójának megértése megköveteli anatómiájuk különböző léptékekben történő pontos leírását: az egész szervezetet, annak szerveit, az egyes szerveken belüli szöveteket, a szöveteken belüli sejteket, a sejtfalakat vagy a sejtorganellumokat a szervezetben (Legland és mtsai. 2018). Az anatómia számos hatással bír a növényfiziológiára és ökológiára, kiváló eszközt biztosítva e tudományágak történeti vonatkozásainak vizsgálatához, beleértve az éghajlatváltozással kapcsolatos kutatásokat (Sokoloff és mtsai. 2021).

Az elmúlt két évtizedben történt technológiai fejlődés megváltoztatta a biológiai tudományokban gyűjtött adatok mennyiségét és típusait. Elérhetővé vált a bioinformatika, a fejlődés kihatott az anatómiára is. Leginkább az, hogy a bioinformatika elérhetőségének növekedése a DNS- és RNS-szekvenálási költségek exponenciális csökkenésével párosulva forradalmasította a biológiai kutatást, megváltoztatva nemcsak az adatgyűjtés mértékét, hanem a megválaszolható kérdések típusát is (Buermans és den Dunnen, 2014). A nem molekuláris adatok gyűjtésében is jelentős előrelépések történtek. A legújabb vívmányok robotikát, távérzékelést és automatizált képelemzési folyamatokat foglalnak magukban, amelyek lehetővé teszik a nagy teljesítményű morfológiai és ökofiziológiai adatok gyűjtését (Perez-Sanz és mtsai. 2017; Baker és mtsai. 2017).

A belső anatómia értékelésére szolgáló nagy áteresztőképességű módszerek azonban még megoldásra várnak, ami kizárja a belső anatómia széles körben történő bevonását számos modern, omika szintű tanulmányba

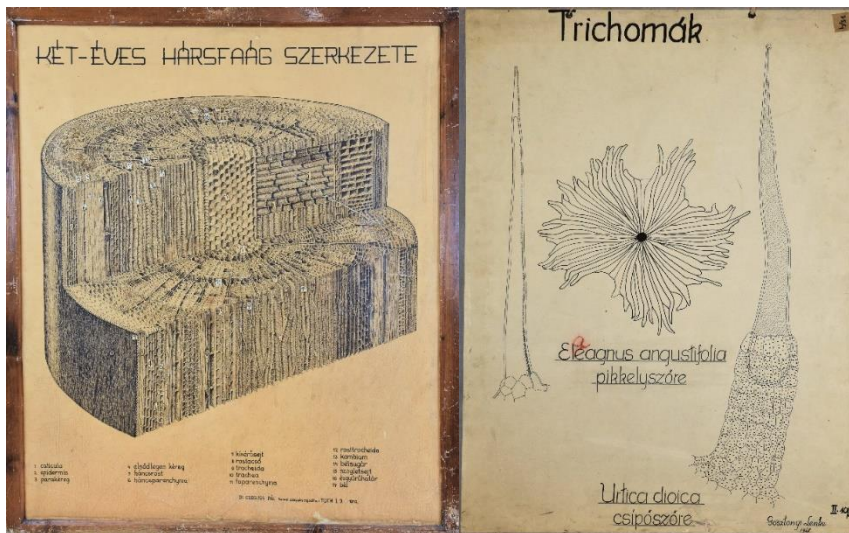
(Yadav és mtsai. 2021). A belső anatómiát több okból is különösen nehéz felmérni. Először is, a legtöbb technika magában foglalja a destruktív mintavételt. Léteznek élő képkalkotási technikák (Fang és Spector, 2010; Mathers és mtsai. 2018); ezek azonban költségesek lehetnek, gyakran viszonylag alacsony áteresztőképességűek, és jellemzően mesterséges körülmények között kell a növényeket nevelni a vizsgálatokhoz. A belső anatómia rekonstrukciója a destruktív mintavétel után meglehetősen nagy felbontással lehetséges (Miki és mtsai. 2020), azonban a destruktív mintavétel, a rögzítési, beágyazási, metszési és festési protokollok még akkor is időigényesek, ha rendelkezésre állnak automatizált beágyazó eszközök vagy motoros mikrotomok. A belső anatómia és a modern molekuláris és morfológiai adatkészletek teljes integrálásához az anatómiai információk egyszerű és gyors előállítása szükséges (Li és Chen, 2014; Pegg és mtsai. 2021).

A növényanatómia oktatása a Növénybiológiai Tanszéken

A Szegedi Tudományegyetem Növénybiológiai Tanszéke immár 100 éve igen magas színvonalon járul hozzá a növénybiológia egyetemi szintű oktatásához és az ismeretterjesztéshez. A biológia alapképzésben résztvevő hallgatók a növényanatómia tudományával a Növényiszervezetten és Növényi Sejtbiológia előadás és gyakorlat, míg magukkal a növényfajokkal a Növényrendszertan előadás és gyakorlat, valamint a Növényismeret terepgyakorlat keretein belül ismerkednek meg. Ezek az órák szervesen hozzájárulnak a növényvakság csökkentéséhez. A növényvakság kifejezést először James Wandersee és Elisabeth Schussler alkotta meg 1999-ban, ami a növények figyelmen kívül hagyását jelenti. A kutatók javaslatai alapján elmondható a botanika tényszerű ismerete elengedhetetlen a növényekkel kapcsolatos pozitív attitűd kialakításához, valamint a botanika és az állattan, az ökológia és az evolúció

közötti összefüggések segíthetnek a növényvakság megszüntetésében és a növények iránti pozitív attitűd kialakításában (Kubiátko és mtsai. 2021).

A Szegedi Tudományegyetem Növénybiológia Tanszéke fennállása óta már eddig is számos maradandót alkotott, melyek tudományos és oktatási szerepe mellett komoly eszmei értékkel is bír. Olyan kincsek származtathatók a tanszék elmúlt 100 évéből, mint például még az oktatást segítő digitális eszközök elterjedés előtt készített képgyűjtemény vagy az idei évtől digitalizálásra kerülő metszetgyűjtemény. Ezekből a munkákból mára művészeti jelentőségű alkotások maradtak fenn, gondoljunk csak Dr. Greguss Pál vagy Gosztonyi Lenke munkáira (1. ábra). Feladatunk ezeknek az alkotásoknak az értékmegőrző fenntartása és a nagyközönség számára történő elérése. A SZTE a Klebesberg Kúnó könyvtár digitalizáló csoportjának segítségével az elmúlt években egy jelentős megmentést hajtott végre, így már elérhető interneten keresztül a kézzel rajzolt metszetek egész sora a következő internetes oldalon: <https://mediateka.ek.szte.hu/collections/show/25>.



1. ábra: A bal oldali ábra egy két éves hárs (*Tilia sp.*) faág szerkezetét ábrázolja. A képet Dr. Greguss Pál tervei alapján Tóth I. J. rajzolta 1972-ben. A képről készült digitalizált fotó megtekinthető a következő linken: <https://mediateka.ek.szte.hu/items/show/26127>. A jobb oldali ábrán egy keskenylevelű ezüstfa csillagszőre, valamint a nagy csalán csalánszőre látható Gosztonyi Lenke alkotásán. A képről készült digitalizált fotó megtekinthető a következő linken: <https://mediateka.ek.szte.hu/items/show/26201>.

A modern digitális korszak igényeinek megfelelően át kell alakítani az eddigi növénybiológiai oktatási és kutatási folyamatokat egy felhasználóbarát, a hallgatók figyelmét teljes mértékben felkeltő rendszerré. A növények megismerése és vizsgálatuk az elmúlt évtizedekben a digitalizáció megjelenésével rohamos fejlődésen ment át, kihasználva a technika adottságait. A tanszék oktatói elkötelezettek amellyel, hogy a hallgatók tanulási folyamatait megkönnyítsék figyelembe véve, hogy a jelenkor nemzedékei már a gyorsan és egyszerűsített formában terjedő tájékoztatáshoz szokott, nagymértékben támasz-

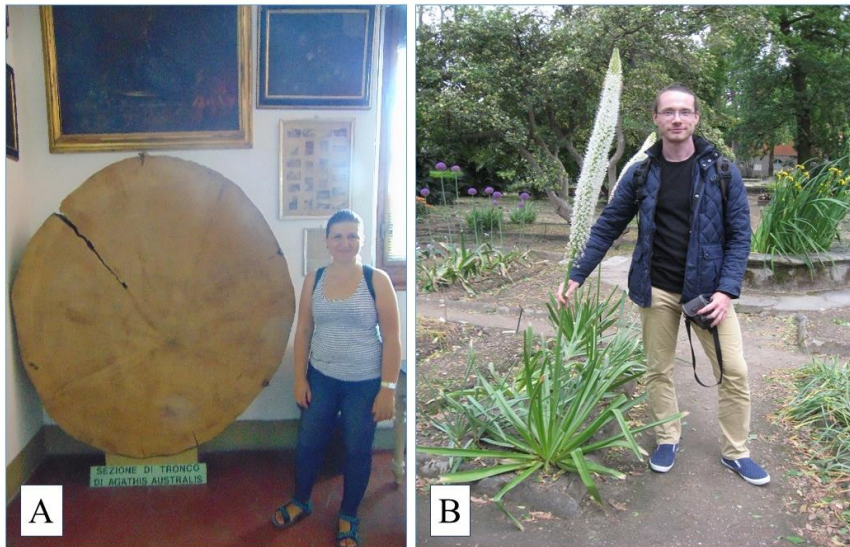
kodva a vizualitásra. Érdekes módon már Haraszty 1980-ban felhívja a figyelmet arra, hogy a technika fejlődésével és a modernebb eszközök megjelenésével nem lett több időnk a vizsgálatokra, így nem várható el az sem, hogy a jelenkor hallgatói több időt fognak tölteni a rövidebb idő alatt megszerezhető ismeretek tanulmányozásával. Az oktatók feladata egy olyan közérthetően történő és a kor igényeinek megfelelő tálalás, ami a hallgatókat befogadóvá tenné a növénybiológia iránt. Az egyik sarkalatos pontja ennek a feladatnak a kapott információk rögzítése és átadása. A 2021-ben elnyert Mecenatúra pályázat keretében a következőket tűztük ki célul:

„A tervezett kiadvány tudományos ismeretterjesztő és tudomány-népszerűsítő céllal készül, annak érdekében, hogy minél szélesebb célcsoport számára legyen elérhető a növények sokszínű, egyedülállóan érdekes, ugyanakkor rejtett mikrovilága. A tervezett kiadvány „Növények a mikroszkóp alatt” címmel jelenne meg a 100 éves Szegedi Tudományegyetem Növénybiológiai Tanszékének felbecsülhetetlen jelentőségű növényi mikroszkópos metszetgyűjteményének felhasználásával. A gyűjtemény egyedülálló abból a szempontból, hogy mintegy 87 növényfaj több mint 250 metszetét vonultatja fel, a moháktól egészen a magvas növényekig. A gyűjtemény azon túl, hogy látványos képi anyagot biztosít, eszmei és történeti jelentősége felbecsülhetetlen és pótolhatatlan. Mivel reneszánszát éli a múlt kutatási eredményeinek megismertetése a nagyközönséggel közérthető formában, a modernkori digitális technikákat alkalmazva célunk a gyűjtemény digitalizálása és online formában történő megjelentetése open access, mindenki számára nyílt hozzáféréssel. Ennek érdekében a célcsoportok bevonását tervezzük a közösségi média eszközeinek segítségével, valamint a digitalizált képeket egy online, bárki számára elérhető, böngészhető adatbázis létrehozását tervezzük az első év végére. A beérkezett visszajelzések alapján így a célcsoport érdeklődése alakítaná ki a könyv és az e-könyv végleges tartalmát, szem előtt tartva a magas minőségű tudományos és szakmai tudásanyagot is. A könyv kivitelezésekor környezetbarát technológiát veszünk igénybe a fenntarthatóság jegyében.”

Részlet a Mecenatúra 2021 MEC_K141281 számú pályázat célkitűzései közül.

A tantermi oktatásban meg kell, hogy jelenjen a felfedezés öröme, nagyban hozzájárulva nemcsak a hallgatók sikeresebb eredményeihez, de a növények jobb elfogadásához is. Napjaink nagy problémája, ami gátat jelenthet akár a klímaváltozás vagy a Földünket érő globális környezetszennyezések elleni küzdelemnek, hogy a felsőoktatásban tanuló hallgatók egy része nem méri fel akár a probléma nagyságát vagy a potenciálját annak, hogy a tanulmányai irányulhatnának ezen problémák enyhítéséhez. Ehhez összetett gondolkodásra van szükség, valamint az élővilág minden szereplőjének megismeréséhez, mert e nélkül nem lehet globális cselekvésekben gondolkodni.

Oktatóink nagy figyelmet fordítanak újabb szakmai kapcsolatok kiépítése mellett a szakmai fejlődésükre és a tapasztalatok gyűjtésére. Ennek egyik leghatékonyabb formája az Európai Unió keretein belül működő Erasmus ösztöndíjpályázatok oktatóknak kiírt változata. Az elnyert ösztöndíjak élénk tapasztalatcserére és közös gondolkodásra motiválnak minden résztvevő oktatót, akik a külföldi ismereteket így beépíthetik az oktatási tevékenységeikbe. Számos esetben a munka kiegészítése a külföldi botanikus kertek és intézetek meglátogatása, ahol megtekinthetnek olyan növényeket és értékmegőrzési stratégiákat, amelyek nagyban hozzájárulnak a növényvakság elleni küzdelemhez (2. ábra).



2. ábra: A növényvakság tesztelése a kedves olvasókon. Mit látunk először a képen? Az oktatókat? Vagy a mellettük látható növényeket? A: a firenzei botanikus kert herbáriumában kiállított, Új-Zélandon őshonos déli kaurifenyő (*Agathis australis*) ember nagyságú fateste Dr. Szepesi Ágnes mellett. B: korbácsolliom (*Eremurus himalaicus*) extrém hosszú virágzati tengelye Dr. Bakacsy László mellett a pisai botanikus kertben. A fotókat a képen látható oktatók készítették.

A botanika és növényanatómia újfajta megközelítésben történő megismerése, ami nagyban hozzájárulna a növényanatómia és az állattan, az ökológia és az evolúciós folyamatok közötti összefüggések jobb megértéséhez, így a következőekben néhány olyan alkalmazási területet mutatunk be, amely hozzájárulhat a növények iránti érdeklődés felkeltéséhez.

A növényanatómia alkalmazási területei

A növényanatómia az *evo-devo kutatás* egyik kulcsfontosságú eszköze, melynek során a génexpressziós mintázatok elemzését anatómiai technikákkal végzik. Feltárja a növényi merisztémák működését, valamint a sejt- és

szövetdifferenciálódás szempontjait a növények fejlődésbiológiájában, melyek a növényanatómia keretében nagy múltra visszatekintő kutatási témák. Az evo-devo kutatási irányok részletes információkat nyújtanak a fennmaradt és kihalt növények fejlődési folyamatairól, így az évszázados anatómiai kutatások során összegyűjtött részletes ismeretek nagy perspektívákat kínálnak az evolúciós fejlődésbiológiában (Bai, 2019).

A növények belső anatómiai struktúrái és azok ökofiziológiai funkcióinak vizsgálata szintén új utakat nyit meg a *növénynevelés* számára, valamint a természeti rendszerek komplex *ökológiai modellezésére* is alkalmas (Baker és mtsai. 2017; He és mtsai. 2017).

Szoros összefüggés van a növények anatómiai jellemzői és élettani, valamint *ökológiai funkciói* között, de az anatómiai sajátosságokról még mindig nagyon korlátozott ismeretekkel rendelkezünk. Példa erre a növények hajszálgökereinek anatómiai szerkezetének vizsgálata. A hajszálgökerek anatómiai szerkezete ugyanis szorosan összefügg funkciójukkal (King és mtsai. 2021; Wang és mtsai. 2019). Kimutatták, hogy különböző fajok hajszálgökerei eltérő felépítésűek és ezáltal eltérő bakteriális közösségnek biztosítanak életteret. Hasonlóképpen, Zhou és mtsai. 2022 eredményei is különböző funkcionális átmeneti mintákat tártak fel a gyökérrendek között, és különböző stratégiákat mutattak ki a gyökérrendszer felszívódásának és szállításának koordinálására az egyszikűek és a kétszikűek között.

Különböző éghajlatú területeken felfedezték, hogy ugyanazon növényfajok eltérő mikroanatómiai sajátosságokkal rendelkeznek. Egy Észak-Amerikában honos fűfaj (*Andropogon gerardii*) esetében a mikroanatómiai jellemzők variabilitása például hatással lehet a levélszintű szén- és vízhasználati stratégiákra, és a mikroanatómiai jellemzők értékei az éghajlati grádiensek függvényében változnak, és ez valószínűleg nagyobb ökológiai

léptékben mért tulajdonságok eltéréseinek háttérében is állhat (Bachle és Nippert, 2021).

A növényi maradványok hasznos bizonyítékként felhasználhatóak az igazságügyi esetek felderítésében, ami a *forenzikus vagy törvényszéki botanika* területe. Ez a tudományág több botanikai alszakterületre oszlik, beleértve a növényanatómiát (a sejtjellemzők tanulmányozása), a növényrendszertant (taxonómia és fajok azonosítása), a palinológiát (a pollen tanulmányozása), a növényökológiát (a növényi szukcessziós minták) és a limnológiát (édesvízi ökológia) (Bock és Norris, 1997). Egy bűnügy felderítése során a botanikai bizonyítékok elemzésének első lépése a fajok azonosítása (Bock és Norris, 1997; Quatrehomme és mtsai. 1997; Szibor és mtsai. 1998). Charles Lindbergh kisfiának 1932-ben bekövetkezett elrablása és halála volt az első modern kori eset, amikor botanikai bizonyítékként egy fából készült létra szolgált (Coyle és mtsai. 2001). Az azóta eltelt időben a törvényszéki nyomozás még mindig nem használta ki teljesen az ebben a tudományágban rejlő lehetőségeket (Caccianiga és mtsai. 2021), például a növényi makromaradványok (magok, gyümölcsök, virágok, levelek és egyéb vegetatív részek és/vagy ezek töredékei) hatékony eszközt jelentenek a holttest vagy más bizonyítékok egy elsődleges tetthely beazonosítására, mivel részletes információkat szolgáltathatnak annak korábbi ökológiai és földrajzi elhelyezkedéséről. A növényi makromaradványok azonban gyakran rosszul megőrzöttek és nehezen azonosíthatóak, mivel a diagnosztikai elemek ritkán vannak jelen a helyszínen. Leggyakrabban a környezet hatásának kitett és a lebomlásnak ellenálló növényi töredékek használhatók fel ilyen célra (Caccianiga és mtsai. 2021). Caccianiga és mtsai. 2021-es tanulmányukban rámutatnak, hogy szükség lenne a kis növényi mintákból történő diagnosztikus elemzésekhez egy olyan referenciagyűjteményre, amely segítené a bizonyítékok gyors analizését.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak azoknak az oktatóknak és hallgatóknak, akik bármilyen formában inspirálták e munka megjelenését. A kézirat a Mecenatúra 2022 MEC K 141281 számú pályázat támogatásával valósult meg.

Irodalom

- Bachle, S., Nippert, J. B. (2021) Microanatomical traits track climate gradients for a dominant C4 grass species across the Great Plains, USA. *Annals of botany*, 127(4), 451-459.
- Bai, S. N. (2019) Plant Morphogenesis 123: a renaissance in modern botany? *Science China Life Sciences*, 62(4), 453-466.
- Baker, R. L., Yarkhunova, Y., Vidal, K., Ewers, B. E., Weinig, C. (2017) Polyploidy and the relationship between leaf structure and function: implications for correlated evolution of anatomy, morphology, and physiology in Brassica. *BMC Plant Biology*, 17(1), 1-12.
- Bock, J. H., Norris, D. O. (1997). Forensic botany: an under-utilized resource. *Journal of Forensic Science*, 42(3), 364-367.
- Buermans, H. P. J., Den Dunnen, J. T. (2014) Next generation sequencing technology: advances and applications. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1842(10), 1932-1941.
- Caccianiga, M., Compostella, C., Caccia, G., Cattaneo, C. (2021) Contribution of plant anatomy to forensic investigation: Tree bark morphology. *Forensic Science International*, 318, 110598.
- Coyle, H. M., Ladd, C., Palmbach, T., Lee, H. C. (2001) The green revolution: botanical contributions to forensics and drug enforcement. *Croatian Medical Journal*, 42(3), 340-345.
- Crisci, J. V., Katinas, L., Apodaca, M. J., Hoch, P. C. (2020). The End of Botany. *Trends in plant science*, 25(12), 1173–1176.
- Fang, Y., Spector, D. L. (2010) Live cell imaging of plants. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2010(2), pdb-top68.
- Eissenstat, D. M., Achor, D. S. (1999) Anatomical characteristics of roots of citrus root stocks that vary in specific root length. *The New Phytologist*, 141(2):309–21.
- He, W., Adachi, S., Sage, R. F., Ookawa, T., Hirasawa, T. (2017) Leaf photosynthetic rate and mesophyll cell anatomy changes during ontogenesis in backcrossed indica× japonica rice inbred lines. *Photosynthesis Research*, 134(1), 27-38.

- King, W. L., Yates, C. F., Guo, J., Fleishman, S. M., Trexler, R. V., Centinari, M., Bell, T. H., Eissenstat, D. M. (2021). The hierarchy of root branching order determines bacterial composition, microbial carrying capacity and microbial filtering. *Communications biology*, 4(1), 483.
- Kubiatko, M., Fančovičová, J., Prokop, P. (2021) Factual knowledge of students about plants is associated with attitudes and interest in botany. *International Journal of Science Education*, 43(9), 1426-1440.
- Legland, D., Devaux, M. F., Guillon, F. (2018) Quantitative imaging of plants: multi-scale data for better plant anatomy. *Journal of Experimental Botany*, 69(3), 343-347.
- Li, Y., Chen, L. (2014) Big biological data: challenges and opportunities. *Genomics, proteomics bioinformatics*, 12(5), 187.
- Mathers, A. W., Hepworth, C., Baillie, A. L., Sloan, J., Jones, H., Lundgren, M., ... Sturrock, C. J. (2018) Investigating the microstructure of plant leaves in 3D with lab-based X-ray computed tomography. *Plant methods*, 14(1), 1-12.
- Miki, Y., Saito, S., Niki, T., Gladish, D. K. (2020) Three-dimensional digital image construction of metaxylem vessels in root tips of *Zea mays* subsp. *mexicana* from thin transverse sections. *Applications in plant sciences*, 8(5), e11347.
- Pegg, T. J., Gladish, D. K., Baker, R. L. (2021) Algae to angiosperms: Autofluorescence for rapid visualization of plant anatomy among diverse taxa. *Applications in Plant Sciences*, 9(6), e11437.
- Perez-Sanz, F., Navarro, P. J., Egea-Cortines, M. (2017) Plant phenomics: An overview of image acquisition technologies and image data analysis algorithms. *GigaScience*, 6(11), gix092.
- Quatrehomme, G., Lacoste, A., Baillet, P., Grevin, G., Ollier, A. (1997) Contribution of microscopic plant anatomy to postmortem bone dating. *Journal of Forensic Science*, 42(1), 140-143.
- Sokoloff, D. D., Jura-Morawiec, J., Zoric, L., Fay, M. F. (2021) Plant anatomy: at the heart of modern botany. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 195(3), 249-253.
- Szibor, R., Schubert, C., Schöning, R., Krause, D., Wendt, U. (1998) Pollen analysis reveals murder season. *Nature*, 395(6701), 449-450.
- Thomas, H., Ougham, H., Sanders, D. (2021). Plant blindness and sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*.
- Wandersee, J.H. and Schussler, E.E. (1999), "Preventing plant blindness", *The American Biology Teacher*, Vol. 61 No. 2, pp. 82-86.
- Wang, H., Wang, Z., Dong, X. (2019) Anatomical structures of fine roots of 91 vascular plant species from four groups in a temperate forest in Northeast China. *Plos one*, 14(5), e0215126.

- Yadav, V., Arif, N., Singh, V. P., Guerriero, G., Berni, R., Shinde, S., ... Tripathi, D. K. (2021) Histochemical techniques in plant science: More than meets the eye. *Plant and Cell Physiology*, 62(10), 1509-1527.
- Zhou, M., Guo, Y., Sheng, J., Yuan, Y., Zhang, W. H., Bai, W. (2022) Using anatomical traits to understand root functions across root orders of herbaceous species in temperate steppe. *New Phytologist*. 234(2), 422-434.

