



O'SIMLIK ANATOMIYASINI O'RGANISHNING TARIXIY ASOSLARI VA ZAMONAVIY INNOVATSION USULLARI: TAHLILIY-TAQQOSLASH

Mamatyusupov Azamatjon Shodmonovich,

Qo'qon universiteti Andijon filiali Tibbiy biologiya va jamoat salomatligi kafedrasini mudiri, Biologiya fanlari nomzodi dotsent.

E-mail: azamat.shm.1973@gmail.com

MAQOLA HAQIDA	ANNOTATSIYA
Qabul qilindi: 6-oktabr 2025-yil Tasdiqlandi: 8-oktabr 2025-yil Jurnal soni: 16 Maqola raqami: 51 DOI: https://doi.org/10.54613/ku.v16i.1471 KALIT SO'ZLAR/ КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА/ KEYWORDS o'simlik anatomiyasi, mikrotexnika, histologik bo'yash, yorug'lik mikroskopiyasi, CLSM, SEM, TEM, micro-CT, ImageJ, morfometriya.	O'simlik anatomiyasi - o'simlikning ichki tuzilishini ya'ni hujayra, to'qima va organlar kesimida - ilmiy jihatdan tahlil qiladigan asosiy botanika yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Mazkur sohaning shakllanishi mikroskopiyni paydo bo'lishi hamda gistologik preparat tayyorlash texnikalarining (fiksatsiya, mikrotomiya, bo'yash) standartlashuvi bilan bevosita bog'liq. So'nggi yillarda konfokal lazerli mikroskop, SEM va TEM kabi yuqori aniqlikdagi instrumental metodlar, shuningdek micro-CT texnologiyasining joriy etilishi o'simlik organlari va to'qimalarini yanada chuqurroq o'rganish imkoniyatlarini kengaytirdi. Ushbu maqolada klassik va zamonaviy metodlar solishtirma tahlil asosida yoritilib, ularning amaliy samaradorligi, texnik murakkabligi, resurs talabi hamda ta'lim jarayonidagi qo'llanish imkoniyatlari muhokama qilinadi. Umumiy xulosalarda metodlarni integratsiyalashtirgan tarzda qo'llash o'simlik anatomiyasini o'qitish va ilmiy tadqiqotlarda eng maqsadga muvofiq yondashuv ekanini asoslanadi.

Kirish. O'simliklarning ichki tuzilishi va to'qimalar tizimini o'rganish botanika fanida nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham muhim yo'nalish hisoblanadi. Chunki anatomik strukturalar – epiderma, parenxima, ksilema va floema elementlari, meristemalar va mexanik to'qimalar – o'simlikning yashash strategiyasi hamda moslanish mexanizmlarini tushuntirishda asosiy dalil bo'lib xizmat qiladi. Anatomik kuzatuvlar orqali to'qimalarning joylashuvi, organlarning ichki arxitekturasini va rivojlanishdagi morfogenetik ketma-ketliklarni aniqlash mumkin.

Shuningdek, o'simlik anatomiyasi doimiy (o'zgarmas) belgilar bilan cheklanib qolmaydi. To'qimalar qalinligi, stomalar zichligi yoki tomir elementlarining diametri kabi ko'rsatkichlar ekologik sharoitga, stress omillariga hamda genetik farqlarga nisbatan sezgir bo'ladi. Bu holat seleksiya va fenotiplash jarayonlarida anatomik tahlilni qo'shimcha indikator sifatida qo'llash zaruratini kuchaytiradi.

O'simlik anatomiyasining tarixiy taraqqiyoti mikroskop imkoniyatlarining kengayishi bilan doimo birga kechgan. Yorug'lik mikroskopi o'simlik to'qimalarini ilmiy asosda izohlashga yo'l ochgan bo'lsa, mikrotomiya va bo'yash metodlarining standartlashuvi preparat sifatini oshirib, natijalarni takrorlash imkonini yaratdi. Zamonaviy davrga kelib esa konfokal skanerlash, elektron mikroskopiya hamda kesmasiz 3D tasvirlash texnologiyalari o'simlik anatomiyasining tahlil darajasini tubdan kengaytirdi4,6,7.

Ushbu tahliliy maqoladan ko'zlangan maqsad, o'simlik anatomiyasini o'rganish metodlarining tarixiy bosqichlari va zamonaviy instrumental yo'nalishlarini qiyosiy tahlil qilish, hamda o'quv-ilmiy jarayon uchun amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

Adabiyotlar tahlili. O'simlik anatomiyasining klassik asoslari o'tgan asrda shakllangan fundamental darsliklar va monografiyalarda jamlangan. Xususan, Esau yuqori o'simlik organlarining anatomik tuzilishi va ularning differensiyasi masalalarini keng yoritgan bo'lib, bu yo'nalishdagi ko'plab keyingi tadqiqotlar uchun nazariy poydevor yaratgan8. Fahn tomonidan esa o'simlik to'qimalarining strukturaviy va

funksional moslanishlari, ularning ekologik sharoit bilan bog'liqligi ilmiy izohlangan10. Evert tahriri ostidagi yangilangan manbada esa meristema va to'qimalarning rivojlanish jarayonlari, hujayra tuzilishi va organ anatomiyasi zamonaviy tushunchalar bilan uyg'unlashtirilgan1.

Amaliy mikrotexnika bo'yicha Jensen va Ruzin ishlari o'simlik anatomiyasi laboratoriya tajribalarida "asosiy yo'riqnomalar" sifatida qadrlanadi. Ushbu qo'llanmalarda fiksatsiya, dehidratatsiya, paraffinlash, kesim olish va bo'yash jarayonlari bosqichma-bosqich bayon qilingan2,3. O'simlik hujayra devorini differensial bo'yashda toluidine blue O usuli O'Brien va hammualliflar ishida metodik jihatdan asoslangan bo'lib, bu texnika hozirgacha ko'plab tajribalarda ishlatiladi11.

Zamonaviy instrumental metodlar bo'yicha esa konfokal mikroskopiya nazariyasi Pawley tomonidan umumlashtirilgan bo'lib, optik kesmalar orqali fazoviy tasvir olish yondashuvi ilmiy-amaliy jihatdan izohlab berilgan6. Elektron mikroskop yo'nalishida Bozzola va Russell TEM hamda SEM uchun namuna tayyorlash, kontrastlash va mikrostruktur tahlilning ilmiy asoslarini batafsil ko'rsatadi4. SEM va rentgen mikroanaliz bo'yicha Goldstein va hammualliflar manbasi ushbu metodlarning laboratoriya protokollari va imkoniyatlarini yoritishda muhimdir5.

So'nggi davr anatomik tadqiqotlarda micro-CT texnologiyasi "kesmasiz 3D tahlil"ning istiqbolli yo'nalishi sifatida qaralmoqda. Staedler va hammualliflar tomonidan taklif qilingan yondashuv o'simlik to'qimalarini shikastlamasdan rekonstruksiya qilish imkoniyatini ko'rsatadi (7). Bundan tashqari, morfometrik o'lchovlar va statistik tahlil uchun ImageJ platformasining qo'llanishi Schneider va hammualliflar tomonidan izchil tavsiflangan12.

Rossiya ilmiy maktabiga oid metodik qo'llanmalar ham mikrotexnika va o'simlik anatomiyasi ta'limida muhim o'rin tutadi. Xususan, mikrotehnika spravochniklari va praktikumlar laboratoriya ishlarini standartlashtirish, metodlarni bosqichma-bosqich bajarish hamda amaliy ko'nikmalarni mustahkamlashga xizmat qiladi13,14.



1-rasm. O'simlik anatomiyasi metodlarining tarixiy rivojlanish ketma-kelligi.

Metodologiya. Mazkur maqola tahliliy-taqqoslash usuliga asoslanib, o'simlik anatomiyasini o'rganishda ishlatiladigan metodlar bo'yicha nashr qilingan ilmiy manbalar sistematik tarzda tahlil qilindi1,3. Tadqiqotning umumiy dizayni uch asosiy bosqichda amalga oshirildi:

Metodlarni guruhlariga ajratish. O'rganilgan usullar tarixiy rivojlanish nuqtayi nazaridan klassik va zamonaviy instrumental metodlarga bo'lindi:

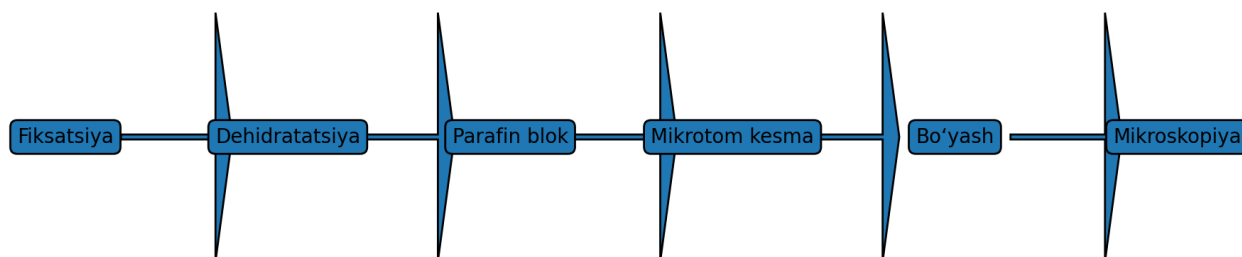
klassik: fiksatsiya → kesim olish → bo'yash → yorug'lik mikroskopiyasi2, 3;

zamonaviy: CLSM, SEM, TEM, micro-CT va raqamli morfometriya4, 5, 6, 7, 12.

Metodlar quyidagi mezonlar bo'yicha baholandi: tasvir aniqligi va rezolyutsiya imkoniyati1, 3; namuna tayyorlash murakkabligi2, 3; natijani olish tezkorligi3; texnik resurs va xarajat ko'rsatkichi4,5; ta'lim

laboratoriyalariga moslik darajasi 3,5; natijani hujjatlashtirish va qayta ishlash imkoniyati 12.

Natijalar. Klassik mikrotomiya va gistologik bo'yash usullari o'simlik anatomiyasi laboratoriyalarida eng keng tarqalgan yondashuvlardan biri bo'lib (2-rasm), bunday metodlarning asosiy ustunligi ularning soddaligi va amaliy imkoniyatlarining kengligidir. Yorug'lik mikroskopi yordamida to'qimalarning umumiy joylashuvi, tomir bog'lamlar konfiguratsiyasi, kambiy zonasi va mexanik elementlar yetarli darajada ishonchli kuzatiladi (1).



2-rasm. Mikrotomiya jarayonining bosqichlari.

Biroq klassik metodlarda preparat sifati laboratoriya texnikasiga to'liq bog'liq bo'ladi. Kesim qalinligining bir xil bo'lmashligi, bo'yash intensivligidagi farqlar yoki fiksatsiya rejimining buzilishi natijada tasvir aniqligini pasaytiradi¹⁰. Shu sababli bunday metodlar ko'pincha bazaviy o'qitish uchun qulay bo'lsa-da, ayrim nozik strukturaviy elementlarni chuqur tahlil qilishga to'liq yetmasligi mumkin.

Zamonaviy mikroskopiya. Zamonaviy instrumental usullar o'simlik anatomiyasining "ko'rish" imkoniyatlarini sezilarli oshirdi. Konfokal lazerli mikroskopiya optik kesmalar asosida 3D tasvir olishga sharoit yaratib, to'qimalarning fazoviy tashkil topishini aniqlashda samarali hisoblanadi⁶. SEM yordamida epidermal sirt strukturalari, stomalar va trixomalarning mikrorelyefi yuqori aniqlikda ko'rinadi⁵. TEM esa hujayra ichidagi ultrastruktura darajasini tahlil qilish uchun qo'llaniladigan eng kuchli metodlardan biri bo'lib, organoidlar va membrana tizimini aniqlashda yuqori informativlik beradi⁴.

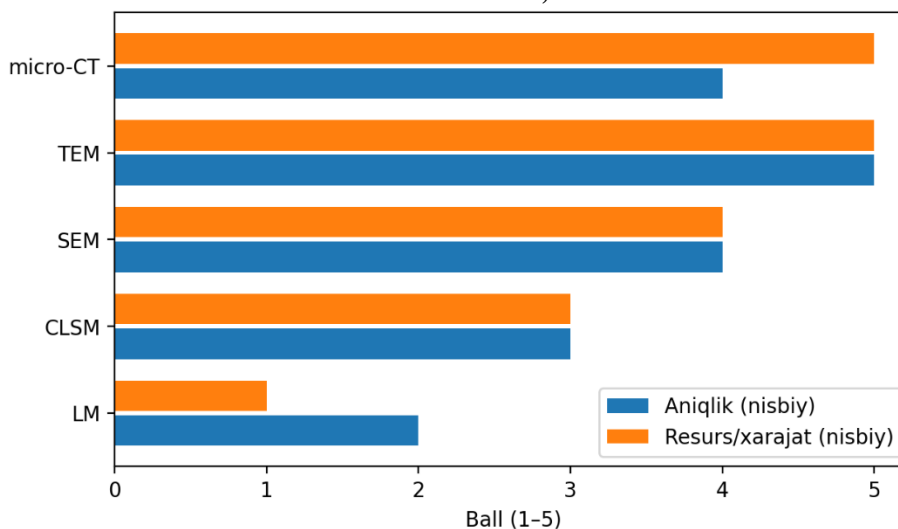
Shu bilan birga, zamonaviy metodlar qimmat uskunalar, murakkab namuna tayyorlash jarayoni va yuqori malakali kadrlar talab qilishi sababli har bir laboratoriyada doimiy qo'llanila olmasligi bilan cheklanadi^{4,5}.

Biroq klassik metodlarda preparat sifati laboratoriya texnikasiga to'liq bog'liq bo'ladi. Kesim qalinligining bir xil bo'lmashligi, bo'yash intensivligidagi farqlar yoki fiksatsiya rejimining buzilishi natijada tasvir aniqligini pasaytiradi (10). Shu sababli bunday metodlar ko'pincha bazaviy o'qitish uchun qulay bo'lsa-da, ayrim nozik strukturaviy elementlarni chuqur tahlil qilishga to'liq yetmasligi mumkin.

Raqamli morfometriya. Hozirgi biologiya va o'simlik fenotiplash tizimlarida anatomik belgilarni miqdoriy baholash alohida ahamiyat kasb etmoqda (9). ImageJ kabi dasturlar yordamida epiderma qalinligi, stomalar soni va zichligi, ksilema tomirlarining diametri kabi ko'rsatkichlarni o'lchash imkoniyati mavjud (12). Natijada klassik "tasviriy anatomiya" yondashuvi statistik asoslangan "miqdoriy anatomiya" bosqichiga o'tmoqda¹⁵.

Micro-CT: kesmasiz 3D rekonstruksiya. Micro-CT metodining asosiy afzalligi shundaki, u o'simlik organini kesmasdan turib ichki tuzilishni uch o'lchamli tasvirda ko'rsatib bera oladi. Bu yondashuv tomir bog'lamlar tizimi yoki ichki bo'shliqlar konfiguratsiyasini buzmasdan o'rganish imkonini beradi⁷. Shuning uchun micro-CT texnologiyasi o'simlik anatomiyasida istiqbolli yo'nalish sifatida baholanib, turli biologik va seleksion tadqiqotlarda qo'llanish imkoniyatiga ega.

Muhokama. LM, CLSM, SEM, TEM va micro-CT metodlarining qiyosiy taqqoslash natijalari aniqlik va harajatlar kriteriyalari bo'yicha 1 dan 5 gacha balli sistemada infografik diagramma shakllantirildi (3-rasm).



3-rasm. LM, CLSM, SEM, TEM va micro-CT metodlarining qiyosiy taqqoslanishi (infografika).

Ushbu diagrammada dalillariga ko'ra o'simlik anatomiyasida ishlatiladigan metodlar aniqlik va resurs talabi bo'yicha baholandi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, yorug'lik mikroskopiya (LM) arzon va o'quv jarayoni uchun qulay bo'lsa-da, SEM, TEM hamda micro-CT metodlari yuqori aniqlikdagi tahlilni ta'minlaydi, biroq texnik murakkablik va xarajat jihatidan yuqori resurs talab qiladi. Shuning

uchun amaliyotda metodlarni tadqiqot maqsadiga mos holda tanlash va integratsiyalash tavsiya etiladi.

Umumiy qilib aytganda, natijalar shuni ko'rsatadiki, o'simlik anatomiyasini o'rganishda metod tanlash birinchi navbatda tadqiqot maqsadi va mavjud resurslarga bog'liq. Klassik metodlar ta'lim jarayonida mustahkam poydevor yaratadi, zamonaviy instrumental

¹⁵ Васильев, А. Е., & Чистякова, Н. Г. (2005). Практикум по анатомии растений. СПбГУ.

metodlar esa chuqur ilmiy tahlil va yuqori aniqlikni ta'minlaydi^{1,6,7}. Shu sababli eng samarali yo'l – metodlarni raqobatli emas, balki bir-birini to'ldiruvchi tizim sifatida qo'llashdir^{3,12}.

Xulosa. O'simlik anatomiyasini o'rganish metodlari mikroskopiya asoslangan klassik laboratoriya yondashuvlaridan boshlab, zamonaviy yuqori aniqlikdagi instrumental tahlillargacha bosqichma-bosqich rivojlandi^{1,3}. An'anaviy metodlar amaliy soddaligi

va ta'lim jarayoniga mosligi bilan ahamiyatini saqlab qolmoqda^{2,15}. Zamonaviy metodlar esa o'simlik tuzilishini chuqur va aniq tahlil qilish, shuningdek miqdoriy hamda 3D rekonstruksiya qilish imkonini beradi^{4,6,7}. Shu bois o'quv amaliyotida ham, ilmiy tadqiqotlarda ham metodlarni integratsiya qilish eng maqsadga muvofiq yondashuv sifatida baholanadi^{7,12}.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Evert, R. F. (2006). Esau's plant anatomy: Meristems, cells, and tissues of the plant body: Their structure, function, and development (3rd ed.). Wiley.
2. Jensen, W. A. (1962). Botanical histochemistry: Principles and practice. W. H. Freeman.
3. Ruzin, S. E. (1999). Plant microtechnique and microscopy. Oxford University Press.
4. Bozzola, J. J., & Russell, L. D. (1999). Electron microscopy: Principles and techniques for biologists (2nd ed.). Jones & Bartlett.
5. Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2018). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis (4th ed.). Springer.
6. Pawley, J. (Ed.). (2006). Handbook of biological confocal microscopy (3rd ed.). Springer.
7. Staedler, Y. M., Masson, D., & Schönenberger, J. (2013). Plant tissues in 3D via micro-CT scanning: A method for nondestructive imaging. *Applications in Plant Sciences*, 1(5), 1300009.
8. Esau, K. (1977). Anatomy of seed plants (2nd ed.). Wiley.
9. Fiorani, F., & Schurr, U. (2013). Future scenarios for plant phenotyping. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 267–291.
10. Fahn, A. (1990). Plant anatomy (4th ed.). Pergamon Press.
11. O'Brien, T. P., Feder, N., & McCully, M. E. (1964). Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma*, 59, 368–373.
12. Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671–675.
13. Барыкина, Р. П., Веселова, Т. Д., Девятков, А. Г., Джалилова, Х. Х., Ильина, Г. М., & Чубатова, Н. В. (2004). Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. Издательство МГУ.
14. Прозина, М. Н. (2009). Ботаническая микроскопия и микротехника. КолосС.
15. Васильев, А. Е., & Чистякова, Н. Г. (2005). Практикум по анатомии растений. СПбГУ.