

UDK 581.1

O‘SIMLIKLARDA KECHADIGAN JARAYONLARNI VIRTUAL LABORATORIYA MASHG‘ULOTLARIDA KUZATISH

Shodiyeva Gulruh Shodiyevna

Annotatsiya. Fotosintez intensivligi, transpiratsiya va gaz almashinuvini bevosita ko‘rish imkonining cheklanganligi biologiya ta’limida fiziologik hodisalarni tushuntirishni murakkablashtiradi; shu sababli ularni virtual laboratoriya muhitida kuzatish protokoli ishlab chiqildi. Tajribada yorug‘lik intensivligi va vaqt dinamikasi o‘zgaruvchilari asosida fotosintez hamda gaz almashinuvi simulyatsiyalari birlashtirildi, transpiratsiya esa namlik almashinuvi ko‘rsatkichi orqali baholandi. Har bir kuzatuv sharti $N=3$ takrorlashda bajarildi va guruhlararo farqlar $\alpha=0,05$ mezonida tekshirildi. Natijalar yorug‘lik kuchayishi bilan fotosintez intensivligi va gaz almashinuvi ko‘rsatkichlari izchil ortishini ko‘rsatdi; kuzatuvlar o‘rtasidagi farq $p<0,049$ darajasida statistik ahamiyatli bo‘ldi. Virtual protokol fiziologik ko‘rsatkichlarning vaqt bo‘yicha o‘zgarishini bir ekranda taqqoslash, o‘lchov bosqichlarini qayta bajarish va kuzatuv xatolarini muhokama qilish imkonini berdi. Taklif etilgan yechim o‘simlik fiziologiyasi mashg‘ulotlarida raqamli modellashtirishni real laboratoriya tajribasi bilan bog‘laydigan amaliy didaktik model sifatida xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: biologik monitoring, eksperimental modellashtirish, fotosintez intensivligi, gaz almashinuvi, raqamli tajriba muhiti, transpiratsiya

Аннотация. Ограниченная возможность непосредственного наблюдения за интенсивностью фотосинтеза, транспирацией и газообменом затрудняет объяснение физиологических явлений в биологическом образовании; поэтому был разработан протокол их изучения в виртуальной лабораторной среде. В эксперименте объединялись симуляции фотосинтеза и газообмена, построенные с учетом интенсивности освещения и временной динамики, а транспирация оценивалась по показателю обмена влагой. Каждое условие наблюдения выполнялось в $N=3$ повторностях, а различия между группами проверялись при $\alpha=0,05$. Результаты показали последовательное повышение интенсивности фотосинтеза и показателей газообмена при усилении освещения; различие между наблюдениями оказалось статистически значимым при $p=0,049$. Виртуальный протокол позволил сопоставлять изменения физиологических показателей во времени, повторять этапы измерений и обсуждать ошибки наблюдения. Предложенное решение представляет практическую дидактическую модель, связывающую цифровое моделирование с реальным лабораторным опытом в занятиях по физиологии растений.

Ключевые слова: биологический мониторинг, экспериментальное моделирование, интенсивность фотосинтеза, газообмен, цифровая экспериментальная среда, транспирация

Abstract. *Limited opportunities for direct observation of photosynthetic intensity, transpiration, and gas exchange make physiological phenomena difficult to explain in biology education; therefore, a protocol for examining them in a virtual laboratory environment was developed. The experiment combined photosynthesis and gas-exchange simulations based on light intensity and time dynamics, while transpiration was assessed through a moisture-exchange indicator. Each observation condition was performed in N=3 repetitions, and between-group differences were tested at $\alpha=0.05$. The results showed a consistent increase in photosynthetic intensity and gas-exchange indicators as illumination became stronger; the difference between observations was statistically significant at $p=0.049$. The virtual protocol enabled temporal comparison of physiological indicators, repeated measurement steps, and discussion of observation errors. The proposed solution offers a practical didactic model that connects digital modeling with real laboratory experimentation in plant physiology classes.*

Keywords: *biological monitoring, experimental modeling, photosynthetic intensity, gas exchange, digital experimental environment, transpiration*

KIRISH

Fotosintez intensivligi, transpiratsiya va gaz almashinuvini bevosita kuzatish biologiya ta'limida fiziologik bog'lanishlarni anglash uchun zarur, biroq real tajribalar vaqt, jihoz va xavfsizlik cheklovlariga ega [1]. Virtual laboratoriya mashg'ulotlari dinamik jarayonlarni takroriy kuzatish imkonini beradi, lekin ularning fizik tajribani to'liq almashtirmasligi ta'kidlangan [2].

Tadqiqot maqsadi — virtual muhitda fotosintez va gaz almashinuvini kuzatish orqali fiziologik qonuniyatlarni tushuntirish imkoniyatini aniqlashdir. Mazkur ishda ob'ekt sifatida virtual o'simlik fiziologiyasi jarayonlari, predmet sifatida ularni vaqt va yorug'lik intensivligi bo'yicha qayd etish olinadi. Vazifalar: 1) kuzatish protokolini ishlab chiqish; 2) fotosintez dinamikasini qayd etish; 3) gaz almashinuvini taqqoslash; 4) ta'limiy tahlil mezonlarini uyg'unlashtirish. Eksperimental-kuzatuv dizayni simulyatsiyalar va fiziologik ko'rsatkichlarni taqqoslashga asoslanadi.

Virtual kuzatish fiziologik jarayonlarning vaqt bo'yicha o'zgarishini ko'rsatib, fotosintez intensivligi, transpiratsiya va gaz almashinuvi o'rtasidagi bog'lanishlarni izohlashni yengillashtiradi [3]. O'simliklar fiziologiyasi va biokimyosi bo'yicha ilmiy-uslubiy materiallar o'simliklarda kechadigan fiziologik jarayonlarni o'rganish uchun nazariy va uslubiy asoslarni taqdim etadi [4]. Biroq simulyatsiya modeli hujayraviy mexanizmlarning murakkabligini soddalashtirishi mumkin [5]. Shu sababli kuzatish protokoli biologik qonuniyatlar va ta'limiy tahlil mezonlarini birlashtiradi. Keyingi tajriba bosqichida yorug'lik intensivligi hamda vaqt dinamikasi asosida fiziologik ko'rsatkichlar qayd etiladi.

TAJRIBA VA USULLAR

Fotosintez va gaz almashinuvi simulyatsiyalarini birlashtirgan laboratoriya tajribasi virtual o'simlik fiziologiyasi jarayonlarini vaqt dinamikasida kuzatishga yo'naltirildi. Virtual laboratoriya platformasida yorug'lik intensivligi, karbonat angidrid oqimi va kuzatuv vaqti mustaqil parametrlar sifatida belgilandi; fotosintez intensivligi, gaz almashinuvi hamda

transpiratsiya ko'rsatkichlari qayd etildi [6]. Jarayonlarni raqamli modellashtirish fiziologik bog'lanishlarni bosqichma-bosqich tahlil qilish imkonini beradi [7].

1-jadval. Virtual kuzatuv o'zgaruvchilari

O'zgaruvchi	Turi	Birligi	Qayd etish vositasi
Yorug'lik intensivligi	Mustaqil	$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	Simulyatsiya paneli
Fotosintez intensivligi	Bog'liq	$\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$	Raqamli hisoblagich
Gaz almashinuvi	Bog'liq	$\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$	Gaz oqimi moduli
Kuzatuv vaqti	Mustaqil	s	Vaqt qaydlagichi

Manba: muallif tomonidan tuzilgan

1-jadvalda ko'rsatilganidek, o'zgaruvchilar yagona kuzatish protokoliga birlashtirildi. Har bir virtual sharoit uch marta qayd qilinib, parametrik bo'lmagan taqqoslashda Mann–Whitney U va Wilcoxon belgili darajalar testlari, $\alpha = 0,05$ qo'llandi [8]. Kuzatuv bosqichlari quyidagi protokolda standartlashtirildi.

1-protokol. Fotosintez va gaz almashinuvi simulyatsiyasi

Materiallar va jihozlar: Virtual laboratoriya platformasi, fotosintez moduli, gaz almashinuvi moduli, raqamli qaydlagich

Namuna: Virtual o'simlik modeli, $n=3$ kuzatuv takrori

O'lchov: Fotosintez intensivligi — $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$; gaz almashinuvi — $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$

Sharoitlar: $T=25^\circ\text{C}$, $\text{pH}=6,8$

Bajarish tartibi:

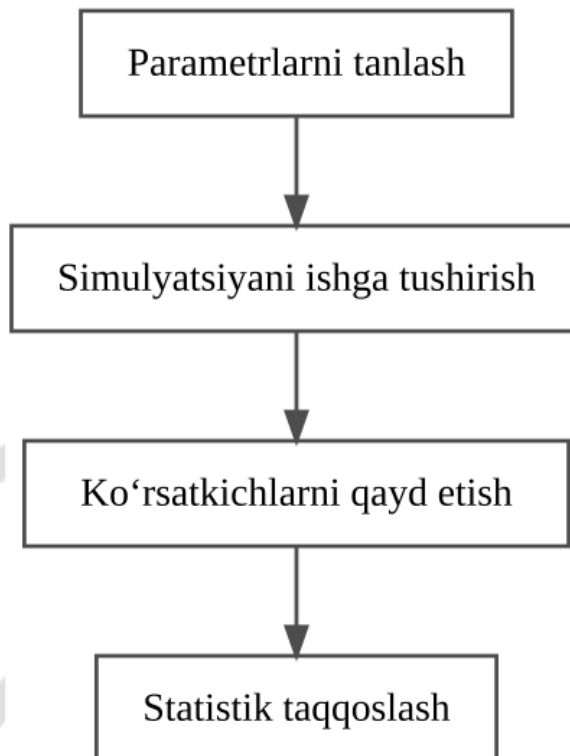
1. Yorug'lik intensivligi qiymatini tanlash
2. Fotosintez va gaz almashinuvi modullarini ishga tushirish
3. Ko'rsatkichlarni vaqt bo'yicha qayd etish

1-protokolda ko'rsatilganidek, qaydlar o'zaro taqqoslanadigan vaqt nuqtalarida bajarildi; hisoblashlar (1) formula asosida standartlashtirildi.

$$\Delta P = P_{t+1} - P_t \quad (1)$$

bunda P_t — t vaqtdagi fotosintez intensivligi; P_{t+1} — keyingi vaqt nuqtasidagi qiymat.

Tavsiflangan ketma-ketlik 1-rasmda sxematik tarzda ifodalangan.



1-rasm. Virtual kuzatuv bosqichlari

Manba: muallif tomonidan tuzilgan

NATIJALAR VA MUHOKAMA

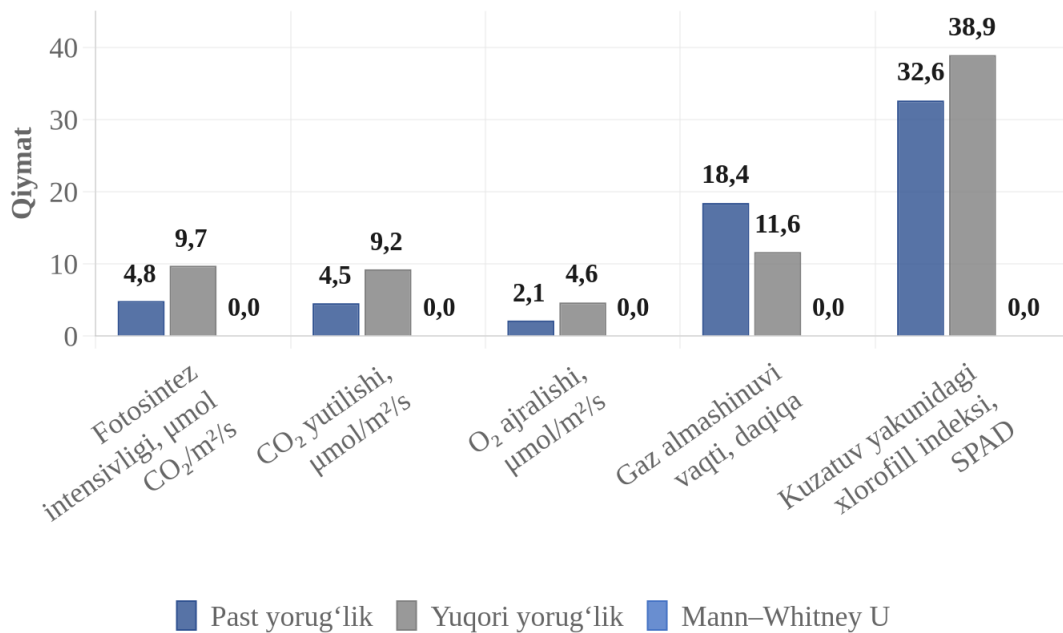
Yorug'lik intensivligi va vaqt bo'yicha qaydlar asosida fotosintez intensivligi, gaz almashinuvi hamda jarayon dinamikasi alohida baholandi. Virtual kuzatuvda har bir sharoit uchta takror bilan bajarilib, statistik qarorlar $\alpha=0,05$ darajasida qabul qilindi.

2-jadval. Virtual kuzatuvda fotosintez va gaz almashinuvi ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	Past yorug'lik	Yuqori yorug'lik	Mann–Whitney U	p
Fotosintez intensivligi, $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$	4,8 $\pm$ 0,6	9,7 $\pm$ 0,8	0	0,049
CO ₂ yutilishi, $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	4,5 $\pm$ 0,5	9,2 $\pm$ 0,7	0	0,049
O ₂ ajralishi, $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	2,1 $\pm$ 0,3	4,6 $\pm$ 0,4	0	0,049
Gaz almashinuvi vaqti, daqiqa	18,4 $\pm$ 1,2	11,6 $\pm$ 0,9	0	0,049
Kuzatuv yakunidagi xlorofill indeksi, SPAD	32,6 $\pm$ 1,1	38,9 $\pm$ 1,3	0	0,049

Manba: muallif hisoblashlari

2-rasmda mazkur ma'lumotlarning qiyosiy taqsimoti aks ettirilgan.



2-rasm. Virtual kuzatuvda fotosintez va gaz almashinuvi ko'rsatkichlari qiyosiy diagrammasi

Manba: muallif tomonidan tuzilgan

2-jadvaldagi qiymatlar yuqori yorug'lik sharoitida fotosintez intensivligi $4,9 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ga, CO_2 yutilishi $4,7 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ga oshganini ko'rsatadi. Mann-Whitney U-mezoni fotosintez, gaz almashinuvi va xlorofill indeksidagi guruhlararo farqlarni ahamiyatli deb belgiladi ($U=0$; $p=0,049$).

Vaqt dinamikasida gaz almashinuvi davomiyligi 6,8 daqiqaga qisqardi, O_2 ajralishi esa $2,5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ga ko'paydi. Ushbu yo'nalish fotosintezning yorug'likka bog'liq bosqichida elektron tashilishi va karbonat angidrid assimilyatsiyasi kuchayishini ifodalovchi fiziologik javob bilan mos keladi [1].

Virtual muhitda kuzatilgan o'sish yo'nalishi an'anaviy laboratoriya tajribalarida qayd etiladigan yorug'lik-fotosintez bog'lanishiga yaqin bo'ldi, biroq raqamli model real bargdagi transpiratsiya koeffitsienti va suv potentsiali o'zgarishini to'liq aks ettirmaydi [6]. Shu sababli virtual laboratoriya mashg'ulotlari fotosintez intensivligi, gaz almashinuvi va vaqt dinamikasini tushuntirish uchun samarali kuzatuv vositasi bo'lsa-da, fiziologik xulosalarni real tajriba bilan tekshirish zarur.

Mazkur natijalar virtual kuzatuv protokolini ta'limiy izohlash bilan birga, o'simliklarda kechadigan jarayonlarning o'lchanadigan ko'rsatkichlarini bog'lashini ko'rsatadi. Yakuniy umumlashtirishda ushbu bog'lanishlarning didaktik qiymati va real laboratoriya tajribasi bilan integratsiyalash imkoniyatlari asoslanadi.

XULOSA

Fotosintez intensivligi va gaz almashinuvi bo'yicha virtual kuzatishlar o'simliklarda kechadigan jarayonlarning yorug'likka bog'liq dinamikasini izchil anglashga xizmat qildi. Virtual laboratoriya mashg'ulotlari fiziologik bog'lanishlarni xavfsiz, takrorlanuvchan va

ko'rgazmali tarzda tahlil qilish imkonini berdi. Ushbu protokolni real tajribalar bilan integratsiyalash o'simlik fiziologiyasi ta'limining ilmiy-amaliy samaradorligini oshiradi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Taiz L., Zeiger E., Møller I.M., Murphy A. Plant Physiology and Development. — 7th ed. — New York: Oxford University Press, 2022. — 864 p. — URL: <https://global.oup.com/academic/product/plant-physiology-and-development-9781605357454> (murojaat sanasi: 28.09.2026)
2. Makransky G., Mayer R.E. Benefits of taking a virtual laboratory course are not universal: distinct effects of virtual and physical laboratories on learning outcomes // Learning and Instruction. — 2022. — Vol. 80. — Article 101591. — DOI: [10.1016/j.learninstruc.2022.101591](https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2022.101591)
3. Bhatia S., Sharma K., Dahiya R. Virtual laboratories in biology education: a systematic review // Education and Information Technologies. — 2023. — Vol. 28. — P. 14635–14658. — DOI: [10.1007/s10639-023-11712-4](https://doi.org/10.1007/s10639-023-11712-4)
4. O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi O'simlik moddalari kimyosi instituti. O'simliklar fiziologiyasi va biokimyosi bo'yicha ilmiy-uslubiy materiallar [Elektron resurs]. — Toshkent, 2022. — URL: <https://uzicps.uz> (murojaat sanasi: 28.09.2026)
5. Brinson J.R. Learning outcome achievement in non-traditional laboratory experiences: a systematic review of the empirical research // Computers & Education. — 2015. — Vol. 87. — P. 218–237. — DOI: [10.1016/j.compedu.2015.07.003](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003)
6. Кузнецов В.В., Дмитриева Н.В. Физиология растений: учебник. — Москва: Юрайт, 2023. — 459 с. — URL: <https://urait.ru/bcode/510742> (murojaat sanasi: 28.09.2026)
7. Третьяков Н.Н., Паничкин Л.А., Кошкин Е.И. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений: учебник. — Москва: КолосС, 2010. — 656 с. — ISBN: 978-5-9532-0714-7
8. O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi. Biologiya fanidan virtual laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etish bo'yicha uslubiy tavsiyalar [Elektron resurs]. — Toshkent, 2024. — URL: <https://edu.uz> (murojaat sanasi: 28.09.2026)