

ВОЙТОВИЧ О. М.*Запорізький національний університет,**Україна, 69011, м. Запоріжжя, вул. Університетська, 66, ORCID: 0000-0002-4024-4021**helenVoit@gmail.com, 0504201721*

ІНТЕГРАЦІЯ СУЧАСНИХ ГЕНЕТИЧНИХ ЗНАНЬ В КУРСІ «ОРГАНІЗАЦІЯ ГЕНОМУ»

Мета. Узагальнити досвід викладання курсу «Організація геному» для обґрунтування необхідності інтеграції новітніх наукових даних в освітній процес та формування систематизованого комплексу знань щодо геномів та молекулярно-генетичних технологій. **Методи.** Оптимізація методів викладання зі змістовим навантаженням курсу та застосування практично орієнтованих проблемно-пошукових завдань. **Результати.** Структура курсу передбачає поступове формування та поглиблення системи знань щодо структури, поліморфізму, функціонування та регулювання генетичних систем. Особлива увага приділяється розгляду сучасних молекулярно-генетичних та інформаційних технологій геномного аналізу як майбутньої методичної бази для вирішення актуальних прикладних задач. **Висновки.** Формування у студентів мережі сучасних знань щодо молекулярно-генетичних систем, особливостей їх функціонування та механізмів регулювання є нагальною необхідністю сьогодення. Максимально інтегроване сприйняття геномної складової біологічних систем є передумовою ефективного застосування отриманих знань для генетичних маніпуляцій різного рівня: від діагностики до корекції і редагування.

Ключові слова: структурно-функціональна організація геному, геномна інформація, генетичні технології, системні інтегровані знання.

Дослідження актуальних підходів у викладанні дисциплін молекулярно-генетичного спрямування відповідає вимогам сьогодення, бо сучасна біологія та генетика – це насамперед рівень функціонування біомолекул. Стрімкий розвиток в усьому світі генетичних технологій відкриває нові можливості у різних прикладних галузях, зокрема, в ефективній діагностиці та безпечному лікуванні спадкових хвороб, розробці перспективних стратегій генетичної трансформації із дотриманням принципів біобезпеки, інтеграції можливостей біоінформаційного аналізу у життя [1, 2]. Фахівець, здатний вибирати

адекватний метод ДНК-діагностики, грамотно інтерпретувати його, оцінити рівень поліморфізму, здійснювати біоінформаційний пошук або розумітися на тонкощах маніпулювання геномом, завжди може розраховувати на власну відповідність сучасному ринку праці та успішну професійну діяльність.

Підготовка у закладах вищої освіти фахівців вищезазначеного профілю, які володіють системним мисленням та інтегрованою системою знань, потребує постійного вдосконалення форм та методичних підходів навчання для підвищення ефективності процесу. Але одним із основних критеріїв успіху є відповідність змісту навчальних курсів потребам та викликам сьогодення. Вдале поєднання загальнобіологічного цілісного підходу до розгляду генетико-інформаційних систем різних рівнів з новітніми науковими даними щодо можливостей впливу на них робить дисципліни подібного інтегративного спрямування надзвичайно важливими для освітніх програм підготовки.

Матеріали і методи

Навчальна дисципліна «Організація генома» є обов'язковою компонентою освітньо-професійних програм підготовки магістрів Біологія та Генетика спеціальності Е1 Біологія та біохімія, яка здійснюється в Запорізькому національному університеті. Дисципліна відноситься до циклу професійної підготовки.

Більшість слухачів курсу мають базову підготовку із природничого напрямку, тож сформовані компетенції щодо біомолекулярного та клітинного рівня організації взагалі та генетичної складової зокрема, розуміння щодо загального шляху реалізації спадкової інформації, особливостей алейної та неалельної взаємодії, зчепленого та нехромосомного успадкування тощо, можливостей виникнення змін у структурі геномів, наслідки подібних явищ та загальні шляхи впливу на вищеперераховані складові. На жаль, відомості про структурну організацію генетичних систем, механізми біологічних про-

© **ВОЙТОВИЧ О. М.**

цесів, пов'язаних із відтворенням, реалізацією, змінами у інформаційних системах та поліморфізмом їх прояву, часто недостатньо інтегровані в єдину систему розуміння. Це не дозволяє ефективно набувати практичні навички щодо дослідження, прогнозування, корегування прояву або оцінки наслідків втручання у генетичні системи організмів. Саме ці можливості наразі є одними із найбільш перспективних у галузі молекулярно-генетичних технологій. Тому сучасна освітня траєкторія підготовки фахівців-біологів та генетиків магістерського рівня має враховувати виклики сьогодення та сприятиме формуванню максимально інтегрованого сприйняття геномної складової біологічних систем.

Курс має за мету сформувати систему сучасних знань щодо особливостей структурно-функціональної організації генетичних систем вірусів, прокаріотів та еукаріотів, механізмів природної регуляції їх активності, можливостей вивчення та маніпулювання генетичним матеріалом. Інтегрований погляд на генетичні системи, зосереджуючись на структурних, функціональних та еволюційних зв'язках між елементами, забезпечує багату основу для розуміння життя.

Всі аспекти існування біологічних істот генетично запрограмовані, розуміння цього та вивчення молекулярних та клітинних механізмів, що здійснюють вибір та реалізацією конкретної генетичної програми геному (епігенетичне успадкування) дозволяє корегувати «помилки» (редагування геному) або набувати нових ознак (генетична модифікація).

Досвід багаторічного викладання курсу дозволяє застосовувати при вивченні окремих тем та розділів різноманітні методи та форми навчання, створюючи оптимальний контекст для поступового формування у студентів максимально систематизованого та впорядкованого комплексу знань в галузі геномної біології.

Окрім традиційно застосованого для передавання значного масиву інформації пояснювально-ілюстративного методу, перевага надається проблемному викладанню, коли студенти стають свідками та співучасниками наукового пошуку. Зробити мислення більш продуктивним, а пошук більш активним вдається в динаміці курсу, переходячи до розгляду практично орієнтованих пізнавальних завдань. У цей час актуальним стає застосування не лише евристичного, але й дослідницького методу. Ініціатива, самостійність, творчий пошук є гарантими фор-

мування потрібного міцного комплексу системних знань з інтеграцією вже відомої та новітньої інформації у галузі молекулярно-генетичних технологій, що стане вдалим стартом реалізації в майбутньому власного наукового пошуку.

Результати та обговорення

Курс розділено на 6 змістових модулів. Модуль 1 «Стратегії та еволюція організації геному» передбачає розгляд питань стосовно будови геномів вірусів, прокаріотів та еукаріотів в еволюційному аспекті». Питання структури та функціональної активності геномів розглядаються в контексті ролі організмів в еволюційному процесі, тому передбачають аналіз доцільності наявних особливостей розміру та фракційного складу геномів та обговорення механізмів їх виникнення [3].

Враховуючи навність у студентів певної генетичної бази, сформованої за період бакалаврату, розгляд питань змістового модуля 2 «Регуляція реалізація генетичного матеріалу в онтогенезі» присвячено питанням епігенетичного регулювання генів та створенням патернів експресії. Навчання зосереджується не на механізмах генетичних процесів, а на їх регуляції. Зокрема, важливою є тема «Різноманіття некодуючих РНК: функціональна характеристика» [4].

Модуль 3 «Молекулярні методи дослідження геномів» включає розгляд питань виділення та вивчення ДНК із застосуванням сучасних підходів до використання молекулярних маркерів для оцінки та вивчення поліморфізму. Зокрема, розглядаються методи електрофоретичного розподілу, гібридизації, ампліфікації, генетичного профілювання тощо. Сучасний фахівець-біолог, зокрема генетик, має розумітися на принципах генетичної ідентифікації, оцінці рівня генетичного поліморфізму для відповідей на питання походження, родинних зв'язків або генетичного втручання. Саме генетична діагностика є сучасним методом, що дозволяє отримати об'єктивну інформацію про стан будь-якої біологічної системи, оцінити її перспективи або результати певного впливу [5].

Модуль 4 «Секвенування. Аналіз геномних послідовностей» присвячено розгляду питань розшифровки та аналізу нуклеотидних послідовностей з акцентом на сучасні можливості та перспективи біоінформаційних технологій. Особлива увага приділяється різним методам отримання геномних даних, вільно доступним в інтернеті геномним ресурсами та браузер-

рами, які дозволяють візуалізувати, аналізувати та проводити пошук доступної інформації [6]. Біоінформаційні технології – один із найперспективніших напрямків майбутньої сфери власної реалізації магістрів. Сучасний рівень цифровізації всіх сфер життя робить цю галузь для молоді більш зрозумілою та такою, що максимально інтегрує знання щодо молекулярно-генетичних особливостей будови з їх всебічним аналізом, передбаченням функцій, комп'ютерним конструюванням та філогенетичними дослідженнями. Також серед напрямків біоінформаційних методів певний акцент робиться на дослідження структурно-функціональної організації генетичних мереж організму: гомеостазу, онтогенезу, стрес-відповіді.

Генетичний потенціал біологічних систем майже нескінченний. Еволюційно сформовані механізми підтримки максимального рівня поліморфізму як гаранта ефективної реалізації спадкової інформації за різних умов дозволяють використовувати це як джерело практичного застосування та перспективних молекулярно-генетичних, геномних та біоінженерних технологій. Саме можливостям свідомого маніпулювання генетичним матеріалом і присвячений розгляд прикінцевих змістових модулів курсу. Модуль 5 «Технологія рекомбінантних ДНК» зосереджений на молекулярному клонуванні та генетичній інженерії, а модуль 6 «Редагування генетичного матеріалу» підіймає питання необхідності, можливостей, наслідків та ризиків внесення корегувальних змін до геномів та генної терапії. Розглядаються напрямки практичної генетичної трансформації та редагування геномів, їх обґрунтування, механізми, ризики та перспективи [7–9].

Для асинхронної взаємодії зі студентами використовується платформа Moodle на сайті ЗНУ, на якій у відкритому для студентів доступі зосереджені всі навчальні матеріали дисципліни. Синхронне дистанційне навчання (аудиторні заняття) здійснюється за допомогою платформи для відеозв'язку Zoom. Оцінювання ефективності вивчення дисципліни відбувається шляхом застосування різноманітних форм поточного контролю, зміст яких передбачає врахування вже набутих компетенцій та формування нових, більш інтегрованих та системних. Активно реалізуються методи проблемного навчання че-

рез дискусійні семінари та написання мініесе. Наприклад, запропоновані теми «Віруси, віроїди, пріони... Чому? і що далі?», «Геном бактерій: простота чи досконалість?», «Горизонтальне перенесення генів – ознака динамічності чи порушення стабільності?», «Мультирівнева регуляція генів у еукаріотів – вимушена складність чи еволюційна перевага?» та інші.

Впродовж вивчення курсу у студентів відбувається послідовне формування максимально цілісної картини сучасного розуміння геномної інформації та її використання. Для оцінки динаміки цього процесу було порівняно рівні успішності за розділами курсу (табл.).

Очікувано, що завдяки базовій підготовці з основних біологічних дисциплін молекулярно-генетичного профілю рівня бакалаврату найбільш ефективним виявився 1 змістовий модуль, присвячений молекулярній організації геномів вірусів, про- та еукаріотів. Найнижчі результати студенти показали при контролі 3 та 4 змістових модулів, присвячених сучасним методам вивчення і детекції молекулярно-генетичного поліморфізму, секвенуванню та анотації геномів і біоінформаційному аналізу.

Підвищення середнього балу наприкінці курсу, за змістовими модулями 5 та 6, враховуючи їх відчутну прикладну направленість, свідчить як про передбачувану цікавість майбутніх фахівців у можливостях застосування набутих знань у досягненні сучасних амбітних цілей вдосконалення світу молекулярно-генетичними методами, так і про поступове формування впродовж курсу системного підходу до розуміння їх застосування.

Тому постійне впровадження новітніх наукових даних в освітній процес, що і є однією із задач курсу «Організація геному», є обов'язковою компонентою навчання, підвищує його актуальність та сприяє розширенню сфер застосування набутих компетенцій та навичок. Виконання студентами підсумкового індивідуального завдання на тему «Молекулярно-генетичні механізми функціонування біологічних систем як предмет прикладних технологій» дозволяє слухачам показати досягнутий рівень інтеграції теоретичних знань щодо геномного аналізу до їх практичного застосування, а викладачам оцінити рівень реалізації поставлених задач курсу та скорегувати його за потреби.

Таблиця. Рівень успішності студентів за розділами курсу

Змістовий модуль	Середній бал (за 5-бальною шкалою)
1. Стратегії та еволюція організації геному.	4,38
2. Регуляція реалізація генетичного матеріалу в онтогенезі.	4,20
3. Молекулярні методи дослідження геномів.	4,10
4. Секвенування. Аналіз геномних послідовностей.	4,12
5. Технологія рекомбінантних ДНК.	4,25
6. Редагування генетичного матеріалу.	4,31

Висновки

Отже, впродовж вивчення курсу «Організація геному» відбувається інтеграція знань сучасної генетики, молекулярної біології, клітинної біології, геноміки та біоінформатики стосовно основних принципів функціонування інформаційних компонент біологічних систем на молекулярно-генетичному, клітинному та організмовому рівнях. Вибудовуються та закріплюються логічні ланцюги зв'язку між складом та структурою геному, його властивостями, функціями та можливістю їх регулювання чи

моделювання. Систематизація знань щодо ідентифікації генетичного поліморфізму різними молекулярно-генетичними методами та глибоке розуміння процесів на генетичному рівні дозволяє прогнозувати вплив на систему в цілому і висувати гіпотези щодо корегування процесів або навіть редагування носіїв інформації. У майбутньому це дозволить слухачам працювати над їх реалізацією та сприятиме прогресу геномних, біоінформаційних, селекційних, медико-генетичних та біотехнологічних досліджень.

References

1. Piskun R. P., Shkarupa V. M., Grynchak N. M., Sprut O. V., Klimchuk I. M. The modern concept of teaching genetics at a medical higher educational institution. *Factors in experimental evolution of organisms*. 2019. Vol. 25. P. 368–372. <https://doi.org/10.7124/FEEO.v25.1193>.
2. Hedzur T. I., Vakerych M. M., Kolesnyk A. V. Methodological approaches to teaching genetics in higher education institutions of Ukraine. *Scientific innovations and advanced technologies*. 2024. Vol. 2 (30). P. 1054–1065. [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-2\(30\)-1054-1065](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-2(30)-1054-1065).
3. Gyl M. I., Smetana O. Yu., Yulevych O. I. et al. Molecular genetics and genome research technologies: a textbook / ed.: M. I. Gyl. Mykolaiv : MNAU, 2014. 280 p. [in Ukrainian]
4. Paro R., Grossniklaus U., Santoro R., Wutz A. Introduction to epigenetics. Switzerland : Springer Nature Switzerland AG, 2023. 219 p. Retrieved from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36315658/>.
5. Gasynets Ya. S., Shchubelka Kh. M., Wolfsberger V. V., Kish R. Ya., Vakerych M. M., Kryvtsova M. V., Mirutenko V. S., Oleksyk T. Kh. Introduction to genomic biology: a teaching and methodological manual. Uzhhorod : Publishing house of UzhNU "Hoverla", 2023. 42 p. [in Ukrainian]
6. Diniz W. J, Canduri F. Bioinformatics: an overview and its applications: review-article. *Genetics and Molecular Research*. 2017. Mar 15. Vol. 16 (1). doi: 10.4238/gmr16019645.
7. Rajagopa K. Recombinant DNA technology and genetic engineering. New Delhi : Tata McGraw Hill Education Private Limited. 2012. 342 p.
8. Tofazzal Islam M., Kutubuddin Ali Molla CRISPR-Cas methods: Springer protocols handbooks. Volume 2. Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature. 2022. 399 p. Retrieved from: <https://dokumen.pub/crispr-cas-methods-volume-2-springer-protocols-handbooks-1071616560-9781071616567.html>.
9. Rudyshyn S. D. Plant biotechnology: a textbook. Sumy : PVKP "Korpunkt", 2024. 199 p. [in Ukrainian]

VOITOVYCH O. M.

Zaporizhzhia National University,
Ukraine, 69011, Zaporizhzhia, Universytetska str., 66

INTEGRATION OF MODERN GENETIC KNOWLEDGE IN THE COURSE «GENOME ORGANIZATION»

Aim. To summarize the experience of teaching the course «Organization of the Genome» to substantiate the need to integrate the latest scientific data into the educational process and form a systematized complex of knowledge about genomes and molecular genetic technologies. **Methods.** Optimization of teaching methods with the content load of the

course and the use of practically oriented problem-search tasks. **Results.** The course structure provides for the gradual formation and deepening of the system of knowledge about the structure, polymorphism, functioning and regulation of genetic systems. Special attention is given to the consideration of modern molecular genetic and information technologies of genomic analysis as a future methodological base for solving current applied problems. **Conclusions.** Formation of a network of modern knowledge among students regarding molecular genetic systems, the features of their functioning and mechanisms of regulation is an urgent need of today. The maximally integrated perception of the genomic component of biological systems is a prerequisite for the effective application of the acquired knowledge for genetic manipulations of various levels: from diagnostics to correction and editing.

Keywords: structural and functional organization of the genome, genomic information, genetic technologies, systemic integrated knowledge.