

НАЗВА ДИСЦИПЛІНИ: «PROTEIN SYNTHESIS» («СИНТЕЗ БІЛКА»)

Перелік дисциплін вільного вибору аспіранта
ДВА.03.01.02

ВИКЛАДАЧ:

Негруцький Б.С., доктор біологічних наук, професор, e-mail: negrutskii@imbg.org.ua

МОВА ВИКЛАДАННЯ: українська, англійська

ЗАГАЛЬНЕ НАВАНТАЖЕННЯ: 3 кредити ЄКТС

Заняття в аудиторії: 30 години (12 годин – лекційні заняття, 10 годин семінарських занять, 6 годин – модульні контрольні роботи 2 години – консультація).

Самостійна робота слухачів курсу: 60 годин.

АНОТАЦІЯ

Біосинтез білка – це один із трьох фундаментальних процесів, задіяних до передачі генетичної інформації від ДНК до білків. Викладання цього курсу має на меті забезпечити аспірантів найсучаснішою інформацією стосовно просторової структури і механізмів функціонування компонентів апарата трансляції в про- і еукаріотних клітинах. Велика увага приділяється самостійній роботі аспірантів з тільки-но опублікованими в провідних наукових журналах світу статтями, що розкривають тематику дисципліни. Підготування доповідей з цих питань робить суттєвий внесок до підготовки слухачів до праці в провідних лабораторіях світу у рамках пост-докторальних студій.

МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСУ:

ознайомити аспірантів із базовими принципами організації трансляційного процесу в про- і еукаріотних клітинах, дати сучасні уявлення стосовно індивідуальних компонентів білок-синтезуючого апарата, таких як тРНК, аміноацил-тРНК синтетази, рибосоми, мРНК, фактори трансляції; вивчити молекулярні деталі рибосомного синтезу білків ті їх пост-трансляційних модифікацій.

РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ, МЕТОДИ ВИКЛАДАННЯ І ФОРМИ ОЦІНЮВАННЯ

Результати навчання	Методи викладання і навчання	Форми оцінювання
Знати: механізми функціонування всіх компонентів апарата трансляції, Знати: принципи організації процесу біосинтезу білка на клітинному та молекулярному рівні. Вміти: самостійно вивчати англійськомовну наукову літературу, що містить результати, отримані іншими	Лекції, семінарські заняття	Індивідуальні завдання, модульні контрольні роботи, іспит

дослідниками в галузі вивчення особливостей синтезу білка в про- та еукаріотних клітинах; Вміти інтерпретувати наукові результати в галузі біосинтезу білка, отримані за допомогою різних молекулярно-біологічних та біохімічних методів.		
--	--	--

ЗМІСТ КУРСУ

Вступне слово

Курс поглиблює знання про організацію і функціонування одного із найфундаментальніших процесів, що відбуваються у живій клітині, а саме, білкового синтезу. Детально будуть розглянуті відомі просторові структури білків – компонентів елонгаційного етапу трансляції, буде показано зв'язок структур із функціями цих білків. Окрему увагу буде приділено функціонуванню еукаріотного апарата трансляції, зокрема механізму каналювання субстратів під час елонгації трансляції.

Буде розглянуто питання про еволюційні аспекти розвитку трансляційної машини.

Велику увагу буде приділено самостійній роботі аспірантів, зокрема розвитку їх здатності до розуміння англійської наукової публіцистики і усним доповідям-презентаціям на основі цих публікацій.

Тематичний план

№ з/п	Теми занять	Кількість годин
Лекція 1, Семінар 1	Матрична РНК, транспортна РНК, аміноацил-тРНК синтетази. Первинна структура мРНК. 5'-кінцева ділянка мРНК, що не транслюється. 3'-кінцева ділянка мРНК, що не транслюється. «Кеп». Полі(А) послідовність. Вторинна структура мРНК. Функціональне значення різних ділянок мРНК. Первинна, вторинна та просторова структури тРНК. Два класи тРНК. Неканонічні функції тРНК. Два класи аміноацил-тРНК синтетаз. Аміноацилювання тРНК. Специфічність аміноацил-тРНК синтетаз по відношенню до амінокислот та тРНК. Поняття надспецифічності. Механізм корекції помилок аміноацилювання. Особливості еукаріотних аміноацил-тРНК синтетаз. Високомолекулярні комплекси аміноацил-тРНК синтетаз. Ознайомлення із методами виділення тРНК і аміноацил-тРНК синтетаз. Семінар. Компоненти дорибосомного етапу трансляції. Індивідуальне завдання 1: Підготування презентацій за сучасними науковими статтями, присвяченими даній темі.	2 год +2 год.

Лекція 2, Семінар 2.	Рибосоми і фактори трансляції. Локалізація рибосом в прокаріотних та еукаріотних клітинах. Прокаріотний та еукаріотний типи рибосом. Субчастинки рибосом. Функціональні сайти рибосом: трьохсайтова модель. Роль внутрішньорибосомного тунелю. Методи вивчення структури рибосом (рентгеноструктурний аналіз, кріоелектронна мікроскопія). Фактори ініціації трансляції. Загальна кількість, мультисубодичність. Функції факторів ініціації. Фактори елонгації трансляції. eEF1. Мультикомпонентний комплекс фактора елонгації трансляції 1, роль різних субодиниць. Ізоформи eEF1A. Поліфункціональна роль фактора елонгації трансляції 1. Функція eEF2. Фактори термінації трансляції. Загальна кількість. Механізм дії. Порівняльний аналіз прокаріотних та еукаріотних факторів трансляції. Ознайомлення із методами виділення рибосом та факторів елонгації трансляції. Семінар. Фактори трансляції та рибосома. Індивідуальне завдання 2: Підготування презентацій за сучасними науковими статтями, присвяченими даній темі. Самостійна робота аспірантів 1. робота над лекційним матеріалом з конспектом та рекомендованою літературою; виконання самостійних завдань; опрацювання частини лекційного матеріалу, винесеного на самостійне вивчення, а саме: 1. Функціональний сенс існування двох класів тРНК і двох класів аміноацил-тРНК синтетаз. 2. Надспецифічність аміноацил-тРНК синтетаз. 3. Методи вивчення структури рибосом (рентгеноструктурний аналіз, кріоелектронна мікроскопія). 4. Функції комплексів факторів ініціації. 5. Прокаріотні і еукаріотні фактори термінації.	2 год. + 2 год
Семінар 3	Модульний контроль №1	2 год.
Лекція 3 + Семінар 4	Процес трансляції мРНК на рибосомах Поняття про полірибосоми. Особливості трансляції мРНК в еукаріотних клітинах. Транспортування мРНК з ядра до цитоплазми. Етапи трансляції. Ініціація трансляції в прокаріотних та еукаріотних клітинах. Елонгація поліпептидного ланцюгу на рибосомі. Транслокація і транспептидація. Модель гібридних сайтів. Термінація трансляції. Семінар. Механізми трансляції в клітинах вищих еукаріотів. Індивідуальне завдання 3: Підготування презентацій за сучасними науковими статтями, присвяченими даній темі.	2 год. + 2 год.
Лекція 4 + Семінар 5.	Каналювання субстратів в білковому синтезі. Пострибосомний тюнінг білкових молекул. Каналювання аміноацил-тРНК та тРНК під час трансляції в клітинах ссавців. Молекули, що приймають участь в	2 год. + 2 год.

	безпосередньому перенесенні тРНК та аміноацил-тРНК. Пост-трансляційна модифікація білків. Фосфорилування, метилювання, глікозилювання. Функціональне значення пост-трансляційних модифікацій. Семінар. Пост-трансляційний тюнінг білків. <u>Самостійна робота аспірантів 2.</u> Робота над лекційним матеріалом з конспектом та рекомендованою літературою; виконання самостійних завдань; опрацювання частини лекційного матеріалу, винесеного на самостійне вивчення, а саме: Пост-трансляційні модифікації білків. Функціональне значення різних пост-трансляційних модифікацій білків.	
Семінар 6	Модульний контроль №2	2 год.
Лекція 5	Організація процесу білкового синтезу в клітинах прокариотів та еукаріотів. Роль компартменталізації в функціонуванні метаболічних шляхів в клітині. Уявлення про трансляційний компартмент. Механізми локалізації мРНК. Роль компонентів апарату трансляції в процесах фолдингу і рефолдингу білків. <i>Індивідуальне завдання 3: Підготування презентацій за сучасними науковими статтями, присвяченими даній темі.</i>	2 год.
Лекція 6 + Семінар 7	Внутрішньоклітинна локалізація апарату трансляції. Цитоскелет і шорсткий ендоплазматичний ретикулум як структурний фундамент функціонування трансляційної машини. Синтез мембранних білків та білків цитоскелету. Роль цитоскелету в організації еукаріотного білкового синтезу. Взаємодія рибосом з мембранами шорсткого ендоплазматичного ретикулуму. Семінар. Спрямована локалізація мРНК і білків в клітинах вищих еукаріотів. <i>Індивідуальне завдання 4 Підготування презентацій за сучасними науковими статтями, присвяченими даній темі.</i> <u>Самостійна робота аспірантів 3.</u> робота над лекційним матеріалом з конспектом та рекомендованою літературою; виконання самостійних завдань; опрацювання частини лекційного матеріалу, винесеного на самостійне вивчення, а саме: Роль компартменталізації в функціонуванні метаболічних шляхів в клітині. Механізми спрямованої локалізації білків в клітині ссавців.	2 год. + 2 год.
Семінар 8	Модульний контроль №3	2 год.

УМОВИ ВИЗНАЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО РЕЙТИНГУ

Форми оцінювання	Кількість	Максимум балів за 1	Разом
Модульна робота	3	20	60

Індивідуальні завдання	3	5	15
Іспит	1	25	25
Разом			100

ВИМОГИ І КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Види робіт	Кількість балів за один вид робіт	Критерії оцінювання
Модульна контрольна робота	20	Роботу виконано і подано вчасно; автор демонструє належний рівень знань, розуміє основи біосинтезу білка, здатен аналізувати інформацію, мислити логічно.
Модульна контрольна робота	10-19	Роботу виконано і подано вчасно; автор частково розуміє матеріал курсу.
Модульна контрольна робота	1-10	Роботу виконано невчасно; автор демонструє недостатні знання.
Доповідь та презентація	5	Доповідь зроблена вчасно, побудована логічно, автор розуміє питання та може на них відповісти.
Доповідь та презентація	3-4	Доповідь зроблена вчасно, автор не повністю розуміє проблематику, відповідає на частину поставлених питань.
Доповідь та презентація	1-2	Доповідь зроблена невчасно, автор не розуміє проблематику питання.
	0	Завдання не виконане у обумовлені викладачем терміни або містить плагіат.

Порядок перерахунку рейтингових показників нормованої 100-бальної шкали оцінювання в національну шкалу та шкалу ЄКТС

За 100-бальною шкалою	За національною шкалою	За шкалою ЄКТС
	ІСПИТ	
91 – 100	Відмінно	A (відмінно)
81 – 90	Добре	B (дуже добре)

71 – 80		C (добре)
66 – 70	Задовільно	D (задовільно)
60 – 65		E (достатньо)
40 – 59	Незадовільно	FX (незадовільно – з можливістю повторного складання)
1 – 39		F (неприйнятно)

Мінімальний рівень оцінки за роботу в семестрі з курсу «Синтез білка» (допуск до іспиту) складає 40 балів. У разі отримання оцінки «неприйнятно» (нижче 40 балів) здобувач не допускається до складання іспиту. У разі отримання оцінки «незадовільно» здобувач має право на два перескладання: викладачеві та комісії. Максимальна підсумкова оцінка після перескладання може бути лише «задовільно».

ПОЛІТИКА ДОБРОЧЕСНОСТІ

Виконання навчальних завдань і робота в курсі має відповідати вимогам «Кодексу академічної доброчесності ІМБГ НАНУ», затвердженого Вченою радою ІМБГ НАН України 10 вересня 2019 року, http://imbg.org.ua/docs/education/IMBG_academic_integrity_code.pdf та вимогам «Положення про систему забезпечення академічної доброчесності в Інституті молекулярної біології і генетики Національної академії наук України від 23 червня 2026 року»: <https://www.imbg.org.ua/docs/education/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%20%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%B4%D0%BC%D1%96%D1%87%D0%BD%D1%83%20%D0%B4%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%BE%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D0%86%D0%9C%D0%91%D0%93%20%D0%9D%D0%90%D0%9D%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%96%CC%88%D0%BD%D0%B8%202026..pdf>

ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ

Загальні компетентності

- ЗК-1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу
- ЗК-2 Здатність використання новітніх інформаційних і комунікаційних технологій
- ЗК-3. Здатність самостійно проводити на сучасному рівні актуальні наукові дослідження
- ЗК-4. Здатність до пошуку, оброблення на аналізу інформації з різних джерел
- ЗК-5. Здатність генерувати нові ідеї (креативність)
- ЗК-6. Здатність працювати в міжнародному науковому просторі
- ЗК-7. Здатність до розробки та управління науковими проектами
- ЗК-8. Здатність розвиватися, вчитися і самовдосконалюватись
- ЗК-9. Здатність до окреслення та розв’язання на сучасному рівні наукових проблем
- ЗК-10. Здатність діяти з соціальною відповідальністю та громадянською свідомістю

Спеціальні (фахові) компетентності

СК-1 Здатність застосовувати отримані знання та уміння для вирішення проблем сучасної біології та біохімії

СК-2 Здатність формулювати наукову проблему та знаходити шляхи її розв'язання, формуючи робочі гіпотези, переосмислювати наявні та створювати нові знання

СК-3 Здатність визначати завдання біологічного дослідження та обирати адекватні методи для ефективного розв'язання конкретних науково-практичних задач у галузі біології та біохімії

СК-4 Здатність самостійно проводити наукові дослідження, що ведуть до отримання нових цілісних знань

СК-5 Здатність до адекватної інтерпретації даних, отриманих в результаті наукового дослідження, та порівняння фактів, виявлених у власних наукових дослідженнях, з сучасними концепціями, гіпотезами та теоріями

СК-6 Поглиблене знання і розуміння у конкретній галузі біології

СК-7 Здатність ефективно спілкуватися з широкою науковою спільнотою

СК-8 Розуміння етичних аспектів наукової діяльності

СК-9 Здатність розвивати особисте відчуття відповідальності за отримані в ході наукової діяльності результати

СК-10 Здатність представляти результати власного дослідження широкому загалу фахівців та нефаківців; здатність працювати у команді

ПРОГРАМНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

ПР1. Мати сучасні знання в біології: новітні концепції біології, знати сучасне методологічне та інструментальне забезпечення молекулярної біології, молекулярної генетики та біотехнології, інших суміжних предметних галузей знань

ПР2. Вільно спілкуватися з науковою спільнотою та громадськістю в певній галузі наукової та/або професійної діяльності; представляти результати наукових досліджень у наукових публікаціях у фахових вітчизняних та міжнародних виданнях та на конференціях як державною, так і іноземною мовою

ПР3. Знати сучасну фахову літературу у галузі дослідження: фундаментальні зарубіжні та вітчизняні праці, представників наукових шкіл

ПР4. Критично аналізувати наукову літературу та вміти визначати мало досліджені та суперечливі питання; формулювати ідеї та гіпотези, спрямовані на розв'язання досліджуваної проблеми; визначати актуальність власного наукового дослідження, обирати адекватні методи та підходи до його виконання, ініціювати, організовувати та проводити комплексні дослідження в галузі науково-дослідницької діяльності

ПР5. Вміти творчо застосовувати фундаментальні біологічні знання для адекватної оцінки та розв'язання прикладних задач у галузі біотехнології, молекулярної біології, молекулярної генетики

ПР6. Уміння ініціювати наукові та інноваційні проекти в галузі біології та у суміжних галузях науки, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання і розв'язувати важливі теоретичні та практичні проблеми біології з дотриманням норм академічної доброчесності з урахуванням соціальних, економічних, та правових аспектів; ініціативність та відповідальність під час їх реалізації

ПР7. Формування системного наукового світогляду, методологічної культури науковця, креативного мислення, філософського осмислення шляхів формулювання нових ідей, історичного досвіду розв'язання проблем в галузі дослідницько-інноваційної діяльності, професійної наукової етики

ПРН8. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу великого обсягу інформації, використовувати спеціалізовані бази даних та інформаційні системи

ПРН9. Підходити до постановки та виконання експериментального завдання з огляду на сучасні уявлення про молекулярні механізми біологічних процесів

ПРН10. Вміти залучати в науково-дослідну роботу як традиційні, так і новітні біотехнологічні методи

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основна література

1. Негруцький Б.С. Організація білкового синтезу у вищих еукаріотів. Київ, Обереги, 2001.
2. Negrutskii BS, Shalak VF, Novosylina OV, Porubleva LV, Lozhko DM, El'skaya AV. The eEF1 family of mammalian translation elongation factors. *BBA Adv.* 2022 Nov 30;3:100067. doi: 10.1016/j.bbadv.2022.100067.
3. Brito Querido J, Díaz-López I, Ramakrishnan V. The molecular basis of translation initiation and its regulation in eukaryotes. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 2024 Mar;25(3):168-186. doi: 10.1038/s41580-023-00624-9.
4. Stanley RE, Lowe TM, Ignatova Z. The regulation, function and disease relevance of cytoplasmic tRNAs. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 2026 Apr 21;10.1038/s41580-026-00963-3. doi: 10.1038/s41580-026-00963-3.
5. Richter-Dennerlein R, Dopico XC, Rorbach J. Mechanisms and disease relevance of mitochondrial translation in humans. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 2026 Jun;27(6):450-466. doi: 10.1038/s41580-026-00948-2.
6. Rodnina MV. Translation in Prokaryotes. *Cold Spring Harb Perspect Biol.* 2018 Sep 4;10(9):a032664. doi: 10.1101/cshperspect.a032664.

Додаткова література

1. Baranov PV, Atkins JF, Yordanova MM. Augmented genetic decoding: global, local and temporal alterations of decoding processes and codon meaning. *Nat Rev Genet.* 2015 Sep;16(9):517-29.
2. Bondarchuk TV, Shalak VF, Lozhko DM, Fatafska A, Szczepanowski RH, Liudkovska V, Tsuvariev OY, Dadlez M, El'skaya AV, Negrutskii BS. Quaternary organization of the human eEF1B complex reveals unique multi-GEF domain assembly. *Nucleic Acids Res.* 2022 Sep 9;50(16):9490-9504. doi: 10.1093/nar/gkac685.
3. Bourke AM, Schwarz A, Schuman EM. De-centralizing the Central Dogma: mRNA translation in space and time. *Mol Cell.* 2023 Feb 2;83(3):452-468. doi: 10.1016/j.molcel.2022.12.030. Epub 2023 Jan 19. PMID: 36669490.
4. Conibear AC. Deciphering protein post-translational modifications using chemical biology tools. *Nat Rev Chem.* 2020 Dec;4(12):674-695. doi: 10.1038/s41570-020-00223-8.
5. Fabbri L, Chakraborty A, Robert C, Vagner S. The plasticity of mRNA translation during cancer progression and therapy resistance. *Nat Rev Cancer.* 2021 Sep;21(9):558-577. doi: 10.1038/s41568-021-00380-y.
6. Fernández-Millán P, Schelcher C, Chihade J, Masquida B, Giegé P, Sauter C Transfer RNA: From pioneering crystallographic studies to contemporary tRNA biology. *Arch Biochem Biophys.* 2016 Jul 15;602:95-105.

7. Havrylenko S, Mirande M. Aminoacyl-tRNA synthetase complexes in evolution. *Int J Mol Sci*. 2015 Mar 23;16(3):6571-94.
8. Hosung Jung, Christos G. Gkogkas, Nahum Sonenberg, and Christine E. Holt. Remote Control of Gene Function by Local Translation. *Cell*. 2014 Mar 27; 157(1): 26–40.
9. Liao G, Mingle L, Van De Water L, Liu G. Control of cell migration through mRNA localization and local translation. *Wiley Interdiscip Rev RNA*. 2015 Jan-Feb;6(1):1-15.
10. Liu Y, Beyer A, Aebersold R. On the Dependency of Cellular Protein Levels on mRNA Abundance. *Cell*. 2016 Apr 21;165(3):535-50.
11. Negrutskii BS, Deutscher MP. Channeling of aminoacyl-tRNA for protein synthesis in vivo. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1991 Jun 1;88(11):4991-5.
12. Negrutskii B. Non-translational Connections of eEF1B in the Cytoplasm and Nucleus of Cancer Cells. *Front Mol Biosci*. 2020 Apr 9;7:56. doi: 10.3389/fmolb.2020.00056.
13. Negrutskii BS, Porubleva LV, Malinowska A, Novosylina OV, Dadlez M, Knudsen CR. Understanding functions of eEF1 translation elongation factors beyond translation. A proteomic approach. *Adv Protein Chem Struct Biol*. 2024;138:67-99. doi: 10.1016/bs.apesb.2023.10.001.
14. Noller HF. The ribosome comes to life. *Cell*. 2024 Nov 14;187(23):6486-6500. doi: 10.1016/j.cell.2024.10.035.
15. Novosylina O, Shalak V, Dąbrowska K, Patmanidis I, Lozhko D, Bondarchuk T, Schiøtt B, Pedersen JS, Knudsen CR, Nissen P, Dadlez M, Negrutskii B. Dynamics and structural features of the eEF1A1 and eEF1A2 paralogs. *Nucleic Acids Res*. 2025 Nov 13;53(21):gkaf1177. doi: 10.1093/nar/gkaf1177.
16. Putnam A, Thomas L, Seydoux G. RNA granules: functional compartments or incidental condensates? *Genes Dev*. 2023 May 1;37(9-10):354-376. doi: 10.1101/gad.350518.123.
17. Schuller AP, Green R. Roadblocks and resolutions in eukaryotic translation. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2018 Aug;19(8):526-541. doi: 10.1038/s41580-018-0011-4.
18. Swatek KN, Komander D. Ubiquitin modifications. *Cell Res*. 2016 Apr;26(4):399-422.
19. Yoon I, Cui H, Kim S. Human aminoacyl-tRNA synthetases as integrators of translation and cell signalling networks. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2026 Jul 3. doi: 10.1038/s41580-026-00980-2.
20. Zhang D, Zhu L, Wang F, Li P, Wang Y, Gao Y. Molecular mechanisms of eukaryotic translation fidelity and their associations with diseases. *Int J Biol Macromol*. 2023 Jul 1;242(Pt 1):124680. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124680.