

# **Без ГМО. Правда і страшилки про генну інженерію**

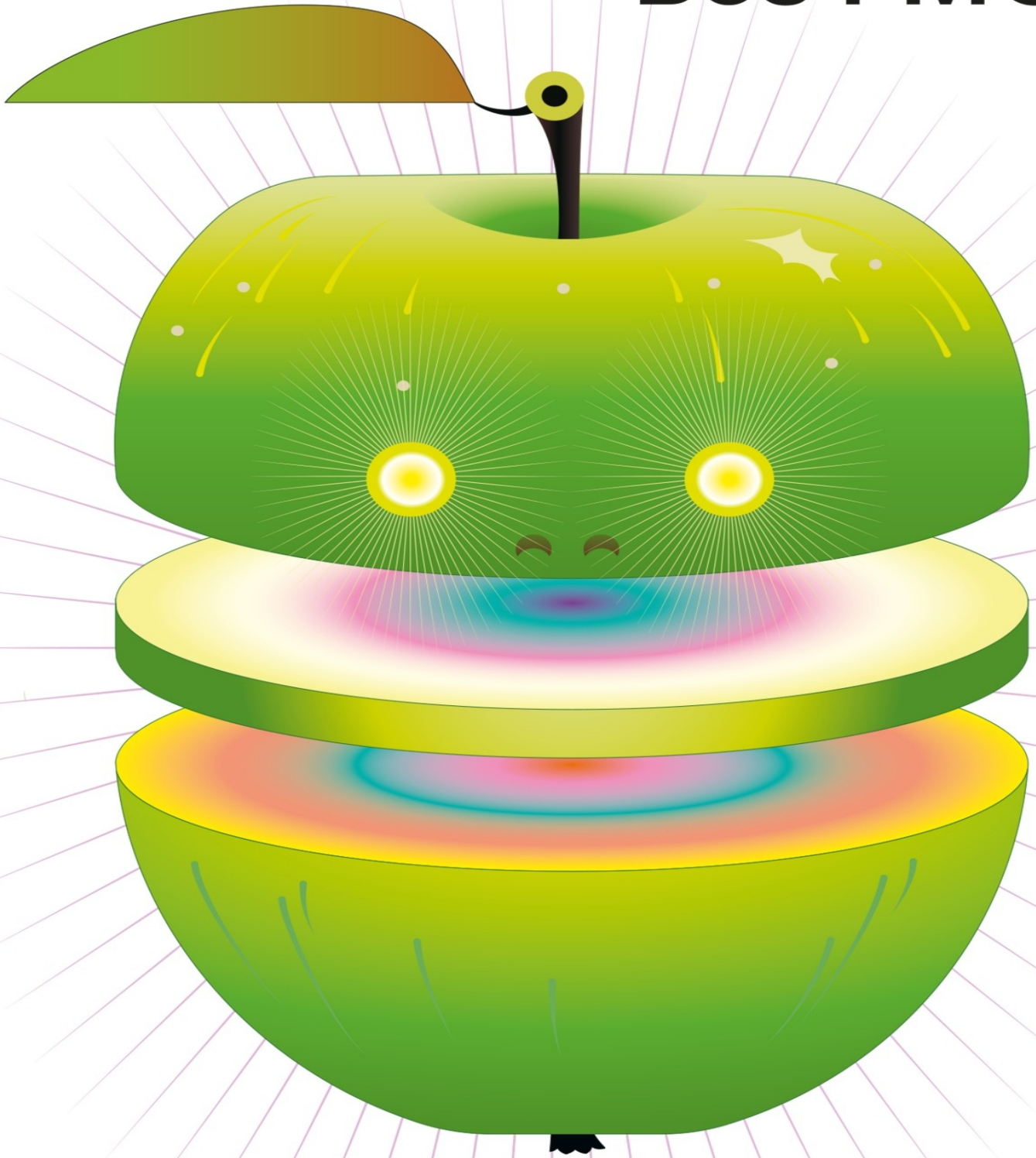
Вживання ГМО змінює нашу ДНК... та інші нісенітниці про генетично-модифіковані організми, які ви могли чути. Науковиця Оксана Півень у своїй книжці не лише спростовує ці та інші міфи про ГМО, а й пояснює, як насправді працює ГМО-технологія, якими «ножицями» ріжуть гени та чим їх склеюють, а також розповідає про ГМО у лабораторіях та на вашому столі.

Для чого потрібні стада генетично модифікованих кіз та чому одна мишка з відредагованими генами може коштувати 250 доларів? А ще як ГМО-технологія допомагає лікувати хворих на цукровий діабет і вирощувати свинок з людськими генами для трансплантації органів?

Авторка розповідає, як ГМ-томати та шпинат можуть стати вакциною проти сказу, чим можуть бути небезпечні продукти з поміткою «еко», як рослини зможуть замінити ліхтарі на вашій вулиці та чому не варто боятися ГМ яблук.

Оксана Півень

Без ГМО



ВіХбЛа

Правда і страшилки  
про генну інженерію

A large, light green sunburst graphic with many thin lines radiating from a central point on the right side of the page, extending across the top and middle sections.

Оксана Півень

# Без ГМО

Правда і страшилки про  
генну інженерію

**віхблa**

Київ • 2022

**Д**ослідження свідчать, що найгірше до гмо ставляться ті, хто найменше розуміє, що це таке. Книжка Оксани Півень — чудовий шанс розібратися в цьому питанні. Але не думайте, що це якесь поверхнєве пояснення для тих, хто не в темі. У книжці поєднані як базові знання, так і поглиблені коментарі, зокрема з власної наукової діяльності пані Оксани та інших українських науковців.

Що імпонує, так це те, що авторка не боїться багатогранно підходити до процесу редагування генів, озвучуючи складні питання та побоювання щодо гмо. Звісно, вона розповідає і про способи вирішення цих проблем.

Утім основний акцент — на перевагах і перспективах генної інженерії. Захист довкілля, вирішення проблеми нестачі їжі, медичне застосування (рослинні вакцини — це щось) та безпосередньо наукове застосування — це все про гмо, хай якими неприваблими комусь здаватимуться ці три літери.

**Артем Албул**

*автор каналу «Клятий раціоналіст»*

**ГМО?** Кажуть, від цих трьох літер у людини пришвидшується серцебиття, перехоплює подих і починають рости хвіст і роги. Досі боїтеся гмо або не розумієте, що це таке? Отже, ви обрали правильну книжку.

Ця книжка — акт екзорцизму, що здатен вигнати з вас усі міфи про гмо.

Як клітини китайського хом'яка рятують людей від інсультів, а генно модифікований рис здатен зберегти сотні тисяч життів, а коза чи корова може стати біореактором з виготовлення ліків? Чи безпечні гмо?

Якщо ж акт екзорцизму не вдасться, то ви завжди можете спалити цю книжку, але спершу варто її прочитати, бо так і не дізнаєтеся, чи містила вона у своєму складі гмо.

**Іван Черненко**

*лікар-анестезіолог, автор книжки*

*«Сміх у кінці тунелю»*

УДК 602.6(02.062)  
П32

**Півень Оксана**  
**П32** Без гмо. Правда і страшилки про генну інженерію /  
Оксана Півень. — К. : Віхола, 2022. — 176 с. — (Серія «Наукопоп»).

ISBN 978-617-7960-76-7 (п. в.)  
ISBN 978-617-7960-83-5 (е. в.)

Вживання гмо змінює нашу днк... та інші нісенітниці про генетично модифіковані організми, які ви могли чути. Науковиця Оксана Півень у своїй книжці не лише спростовує ці та інші міфи про гмо, а й пояснює, як насправді працює гмо-технологія, якими «ножицями» ріжуть гени та чим їх склеюють, а також розповідає про гмо у лабораторіях та на вашому столі.

Для чого потрібні стада генетично модифікованих кіз та чому одна мишка з відредагованими генами може коштувати 250 доларів? А ще як гмо-технологія допомагає лікувати хворих на цукровий діабет і вирощувати свиней з людськими генами для трансплантації органів.

Авторка розповідає, як генно модифіковані томати і шпинат можуть стати вакциною проти сказу, чим можуть бути небезпечні продукти з поміткою «еко», як рослини зможуть замінити ліхтарі на вашій вулиці та чому не варто боятися генетично модифікованих яблук.

УДК 602.6(02.062)

Усі права застережено. Будь-яку частину цього видання в будь-якій формі та будь-яким способом без письмової згоди видавництва і правовласників відтворювати заборонено.

ISBN 978-617-7960-76-7 (п. в.)  
ISBN 978-617-7960-83-5 (е. в.)

© Оксана Півень, 2022  
© Володимир Гавриш,  
обкладинка, 2022  
© ТОВ «Віхола», виключна ліцензія  
на видання, оригінал-макет, 2022

## Що таке ГМО і як його роблять?

Упевнена, що багато хто з вас уже чув це слово із трьох магічних літер — «ГМО». Можливо, ви навіть намагаєтеся знайти на полицках супермаркетів продукти із таким маркуванням, а може, у вашому кошику опиняються продукти виключно з маркуванням «Не містить ГМО». Особисто я не переймаюсь такими написами, коли купую овочі чи фрукти, а повідомлення «Не містить ГМО» на туалетному папері або мінеральній воді та пачках із кухонною сіллю відверто мене веселять. Чому? Я поясню трохи згодом, коли ми з вами дізнаємося, що таке ГМО та як їх створюють.

Тож берімо блокноти й ручки і нумо визначати, що таке ГМО. Мовою наукових термінів **генетично модифіковані організми** — це організми, **генотип** (сукупність генів, тобто ВСІ гени, певного організму) котрих був цілеспрямовано змінений шляхом уведення чужорідної ДНК (дезоксирибонуклеїнової кислоти).

Тут варто згадати уроки біології: всі живі організми рослинного і тваринного світу, і ми з вами не виняток, містять ДНК у кожній своїй клітинці. ДНК — це умовний жорсткий диск, на якому завдяки **генетичному коду** записано інформацію про план будови, особливості метаболічних і фізіологічних процесів, що забезпечують виживання та розмноження будь-якого організму: від маленької бактерії до величезного кита. Пригадайте лишень різноманіття живого, що оточує нас. Усі дивовижні й іноді химерні форми — це **фенотип** (прояв генотипу), або ж зовнішні ознаки, які ми можемо побачити, на відміну від генів або генотипу. А найдивовижнішою є універсальність генетичного коду, тобто форм: велетенські тропічні квіти, смачні плоди, тварини, що ніколи не старіють (наприклад, голі землекопи), тварини, що виношують дітей у сумках, морські ссавці чи зниклі динозаври, — усе фантастичне багатство форм записано на наших жорстких дисках за допомогою комбінацій усього-на-всього чотирьох



літер генетичного коду: **аденіну (А), гуаніну (Г), цитозину (Ц) і тиміну (Т)**. Ці літери, або ж **нуклеотиди**, у молекулі ДНК шикуються рядочком одна за одною, утворюючи **триплети**, тобто комбінації із трьох літер, і такі триплети є специфічним «бар-кодом» для **амінокислот**.

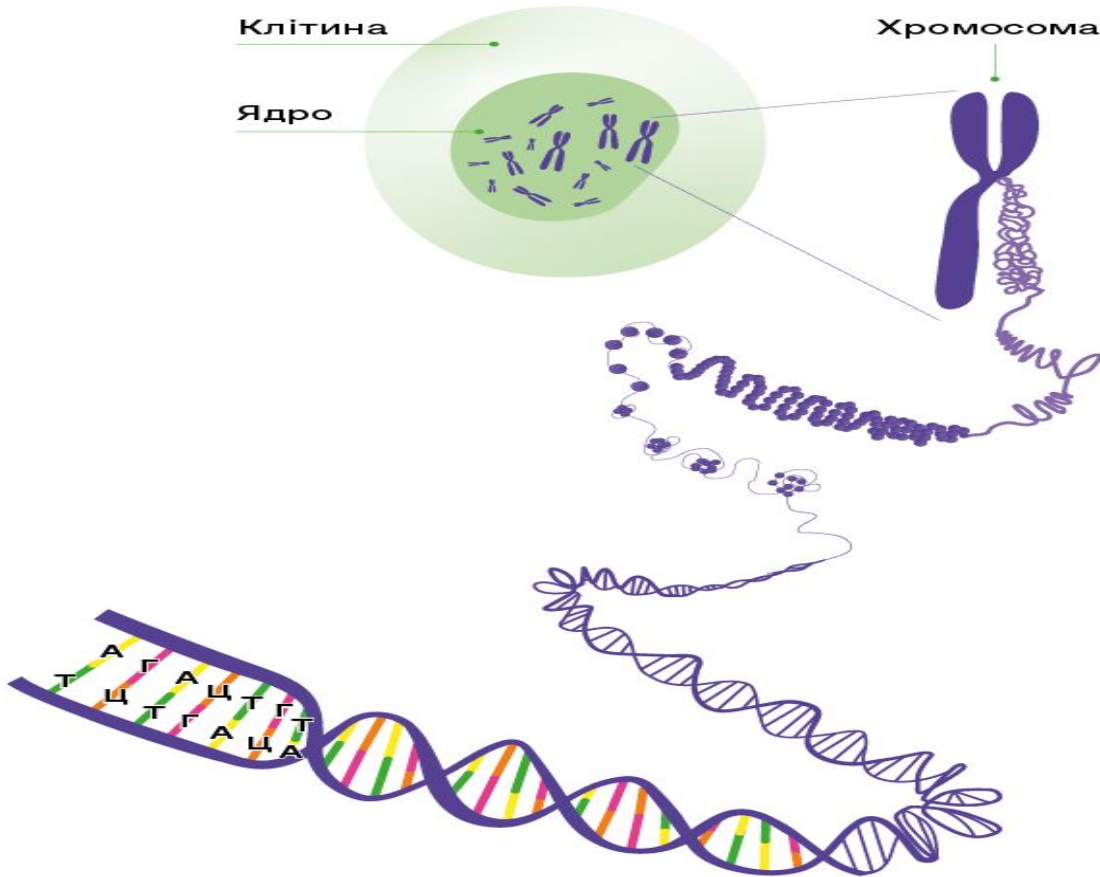


Рисунок клітини – ядро ДНК-триплет – відповідність амінокислоті

Амінокислоти — це цеглини, з яких складаються наші з вами білки, які у свою чергу виконують найрізноманітніші функції в тілі: будують клітини, забезпечують біохімічні реакції, передають інформацію іншим клітинам чи в ядро (наприклад, який ген клітинці зараз треба «ввімкнути» чи, навпаки, «вимкнути»). Всього у природі для побудови білків використовується лише 22 амінокислоти. Можливо, уважний читач запитав: «Як аж 22 амінокислоти і, відповідно, все різноманіття живого можна записати за допомогою лише чотирьох літер генетичного коду?». Виявляється, природі цього досить! Справа в тому, що можливих комбінацій із трьох нуклеотидів існує 64, тобто існує 64

можливості закодувати 22 амінокислоти, і, дійсно, деякі амінокислоти шифровані кількома триплетами, тобто комбінаціями із трьох нуклеотидів.

ТАБЛИЦЯ ГЕНТИЧНОГО КОДУ

		Друга літера							
		U	C	A	G				
Перша літера <b>U</b>	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC		UCC		UAC		UGC		C
	UUA	Leu	UCA	UAA	STOP	UGA	STOP	A	
	UUG		UCG	UAG	STOP	UGG	Trp	G	
<b>C</b>	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC		CCC		CAC		CGC		
	CUA		CCA	CAA	Gin	CGA		A	
	CUG		CCG	CAG		CGG		G	
<b>A</b>	AUU	Ile	ACU	Thr	AAU	Asn	AGU	Ser	U
	AUC		ACC		AAC		AGC		C
	AUA		ACA	AAA	Lys	AGA	Arg	A	
	AUG	Met	ACG	AAG		AGG		G	
<b>G</b>	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC		GCC		GAC		GGC		
	GUA		GCA	GAA	Glu	GGA		A	
	GUG		GCG	GAG		GGG		G	

Але повернімося до універсальності, бо саме завдяки тому, що у природі білки складаються із 22 амінокислот (і ми їх з вами знаємо) — а ці амінокислоти кодуються досить-таки простим і елегантним кодом із трьох нуклеотидів, — ми можемо маніпулювати цією інформацією. Тобто ми можемо примусити бактерію кодувати білок людини і напрацьовувати його. Ми можемо вбудувати ген бактеріального інсектициду (отрути) в геном рослини — і комахи-шкідники точно таки «вдавляться». Ми можемо вбудувати ген медузи у геном мишки чи кроля — і отримаємо фауну нереальної Пандори, де розгортаються події відомого фантастичного фільму Джеймса Кемерона «Аватар». І це не вигадка, а реальні речі, які вже створені й використовуються в науці, медицині та сільському господарстві! Технічно цей процес

називають **трансгenezом**, або **трансгенною технологією**, тобто перенесенням генів з одного біологічного об'єкта в інший.

Звісно, перенести ген з людини в бактерію набагато складніше, ніж написати це речення. Купа досліджень багатьох талановитих учених передувала такому технологічному прориву, щоб я мала наразі всі підстави написати: ми можемо перенести ген з організму X в організм Y. Можемо і робимо!



Джерело: [shorturl.at/IOEN8](http://shorturl.at/IOEN8)

Недостатньо знати, які білки яку роботу виконують у клітинці, з якої послідовності амінокислот складаються ці білки і як саме потрібні амінокислоти кодуються у ДНК. Необхідно ще щось. Це щось — це інструменти, що дають нам змогу «розрізати» ДНК та «зшивати» її наново, утворюючи нові комбінації генів. Такі інструменти вчені підгледіли у природи, вивчаючи бактерії та їхню взаємодію з бактеріальними вірусами (фагами). Це **рестрикційні ензими**, або ж **ферменти рестрикції**, та **ДНК-лігаза**. Ферменти рестрикції — це такі

білки, що вміють «розрізати» ДНК у специфічних місцях. Такими білками бактерії захищаються від атак вірусів (бактеріофагів), шматуючи вірусну ДНК, наче шредер. Уперше ферменти рестрикції виявили вчені Сальвадор Лурія, Ян Вейгл і Джузеппе Бертані ще на початку 1950-х <sup>1</sup>. Уявіть лишень, загалом вивчено та виявлено 3000 таких молекулярних «скальпелів», за допомогою яких можна різати ДНК майже будь-якого організму в різних специфічних місцях. Ба більше, близько 800 таких «ножів» нині комерційно доступні й використовуються генними інженерами в науці та промисловості. Як ви вже, мабуть, здогадалися, «порізати» ДНК — то лише половина справи. Наша мета — зібрати пазл, тобто нову молекулу ДНК, де поєднались би гени бактерій і рослин або людини. І тут нам на допомогу приходить інший інструмент — лігаза, білок, що вміє «зшивати» шматки ДНК до купи <sup>2</sup>.

Тож усе винайдено і придумано природою у процесі еволюції. Вчені лише розібралися та зрозуміли, ЯК ЦЕ ПРАЦЮЄ. Але дехто пішов далі — навчився і запропонував використовувати ці знання. Одним з таких новаторів був американський учений Пол Берг зі Стенфордського університету. Саме він уперше «вирівав» і «зшив» у пробірці в єдине ціле гени, виділені з різних організмів. Тоді, у 1971 році, це був ген фагу (*вірус бактерій*), ген бактерії і вірусу мавпи. У такий спосіб науковець отримав нову послідовність або варіант ДНК, яка, ймовірно, не утворилася б у природі самостійно. Тепер ми називаємо це **рекомбінантна ДНК**. Рекомбінація — процес, у якому ланцюжок ДНК розривається, а потім його фрагменти об'єднуються в іншому порядку. Пола Берга по праву можна назвати піонером генної інженерії та батьком технології рекомбінантної ДНК. Пізніше вчений отримав Нобелівську премію у галузі хімії та медицини в 1980 році. Його робота надихнула інших ентузіастів на створення не лише комбінацій з різних генів у пробірці, а й на перенесення цих молекул у живі організми. Біохіміки Стенлі Кохен і Герберт Боєр у 1972 році створили першу генетично модифіковану бактерію <sup>3</sup>.

На бактеріях учені не зупинились, і в хід пішли миші, рибки, кролі, рослини тощо. Про все це я розповім у наступних розділах.

Але повернімось у 1970-ті. Перша рекомбінантна ДНК у пробірці, перші генетично модифіковані бактерії надихали, збуджували уяву, не

давали спати допитливим науковцям — і вони здійснили переворот у генетиці. Сама можливість маніпулювати з генами й робити «дизайнерські» комбінації, які до того ж іще можуть відтворюватись і функціонувати в живих клітинах, відкривала величезні перспективи як у біотехнології, так і в медицині. Проте не варто думати, що вчені втратили голову від амбіцій і наввипередки почали гратися в Бога. Наприклад, Берг, та й не лише він, одразу збагнув потенційну небезпеку такої технології. Перенесення генів, залучених до виникнення раку, тобто онкогенів, у такий простий і тісно пов'язаний з нами мікроорганізм, як кишкова паличка, викликало побоювання, що ці гени «втечуть» з-під контролю і спричинять сплеск онкологічних хвороб у людей. Інша потенційна загроза — це створення суперстійких до дії антибіотиків бактерій. Ще існувала небезпека відродження євгеніки, яку світ добре пам'ятав саме в негативному контексті досліджень та ідей, що втілювались у нацистській Німеччині. Нова технологія потребувала і нових правил урегулювання. Тож учені зупинили експерименти, щоб обговорити всі ці питання із громадськістю та юристами. На мою думку, наукова спільнота просто почала грати на випередження, щоб розробити правила роботи з рекомбінантними ДНК до того, як за них візьмуться політики й бюрократи. Саме на це було спрямовано зусилля учасників міжнародної конференції, що відбувалася на Асиломарському державному пляжі у США (Asilomar State Beach) в 1975 році. Унікальність цього наукового заходу не в тому, що його проводили на березі океану і під пальмами, а в тому, що там було порушено питання, які стали підґрунтям розвитку технології рекомбінантних ДНК і створення генетично модифікованих організмів, сформульовано правила етики й біобезпеки та визначено межі, що можна робити, а що — ні. Всі можливі плюси та мінуси технології рекомбінантних ДНК обговорювали 140 фахівців (біологів, адвокатів і лікарів). Учасники намагалися виробити єдині правила в роботі, які гарантували б максимальну безпеку використання нового методу. І як стверджують свідки, на Асиломарі було спекотно не лише через клімат і сонце, а й через запеклі суперечки, що точилися там. Подейкують, що ледь не доходило до бійок. Іноді представників преси просили залишити зал, а щойно градус дискусії нормалізувався, запрошували їх назад.

Справа в тому, що одні вимагали повної заборони технології рекомбінантних ДНК і маніпуляцій з генами. Ба більше, Національна академія наук США у 1974 році запропонувала ввести тимчасовий мораторій на проведення досліджень у галузі генної інженерії. Інші вчені не погоджувались із таким підходом і переконували, що така заборона просто вб'є більшість напрямків досліджень, розвиток біотехнології та генної терапії. Переконливі аргументи на той час навів ще один професор Стенфордського університету, а нині лауреат Нобелівської премії, Джошуа Ледерберг. Науковець і відомий авторитет у своїй галузі став «адвокатом» нової технології, він зміг переконати всіх присутніх у потенціалі технології рекомбінантної ДНК для науки й медицини, і як виявилось згодом — він мав рацію. Врешті-решт, результати Асиломару визначили розвиток цілого напрямку в генетиці, біохімії та біотехнології, стали підґрунтям для правил біобезпеки, якими ми керуємось і нині <sup>4</sup>.

**«Молекулярні ножиці»** — саме так люблять називати систему **CRISPR-Cas** за точність і ефективність роботи. Це ще один інструмент в арсеналі генних інженерів, що допомагає створювати організми з потрібними властивостями, та й не лише це. «Молекулярні ножиці» мають великий потенціал застосування для редагування геному, зокрема і виправлення помилок у ньому. CRISPR-Cas — це природна система, яка еволюційно виникла у бактерій, щоб допомогти їм вижити в цьому агресивному світі й захиститися від атак **вірусів**. Віруси бактерій називають фаги або бактеріофаги. Вчені, досліджуючи бактерії, випадково натрапили на цю систему. Щоб зрозуміти її сенс і принцип роботи, знадобилися роки. У 2020 році за розробку методу редагування геному дві вчені, біохімікиня Дженніфер Дудна та мікробіологиня Емануель Шерпантьє, отримали Нобелівську премію з хімії. «Молекулярні ножиці» складаються із двох елементів — білка, що вміє «різати» ДНК або РНК, та невеликої молекули РНК (напрямна РНК), яка працює як GPS-навігатор і «садовить» білок-«скальпель» у потрібному нам місці. Справа в тому, що маючи точну інформацію про послідовність будь-якого гена, ми можемо запрограмувати і задати точки GPS, роблячи дизайн прямої РНК. Таким чином, учені мають змогу внести розриви ДНК виключно там, де потрібно. Далі клітина своїми природними системами ремонту (без

хімії та ГМО) «латає» діри в ДНК, а оскільки вона робить це поспіхом, щоб вижити, то припускається і помилок. Так науковці можуть «вимикати» або ж «нокаутувати» гени в новий і простіший спосіб для того, щоб вивчати, **ЯК ВОНИ ПРАЦЮЮТЬ**. Але є й інший сценарій подій: разом із внесенням розривів у ДНК у клітини можна помістити і ДНК — шаблон із потрібною нам інформацією, а клітина її «вбудує». У такий спосіб можна «вбудувати» фрагмент гена в геном будь-якого організму або виправити зламаний ген. Тож із такими інструментами займатися генною інженерією стало легше і цікавіше!

Тепер навіть студенти біологічних і біотехнологічних спеціальностей знають, як створювати ГМО.

Насамперед потрібно обрати організм, який ми будемо модифікувати, тобто геном, який ми змінюватимемо, і прочитати його. Знати цей шифр необхідно для того, щоб планувати зміни.

Задача номер два — визначити, яка нова ознака нам потрібна. Тут може бути безліч варіантів: стійкість до антибіотиків, стійкість до дії гербіцидів, підвищений вміст цукру чи білка, стійкість до грибкових інфекцій і багато-багато іншого, залежно від потреб, знань та уяви. Зважаючи на те, у якому напрямку ми хочемо «прокачати» наш об'єкт, ми обираємо інший біологічний об'єкт, який уже має бажану ознаку. Наприклад, медуза (*Aequorea victoria*) вміє флуоресціювати, тобто світитися зеленим примарним світлом, бо вона має зелений флуоресцентний білок (GFP — Green Fluorescent Protein). Відповідно у цієї медузи є ген, який кодує цей білок. До речі, за вивчення цього гена науковці Роджер Цинь, Осаму Сімомура та Мартін Чалфі у 2008 році отримали Нобелівську премію з хімії. А мені імponує цей ген і його продукт ще й тим, що має естетичність. Саме тому і поговоримо тут про нього. Тож ген GFP досить добре досліджений: відомі його послідовність (які саме нуклеотиди та в якій черговості його кодують) і розмір. Ми знаємо, що білок GFP будують 238 цеглин-амінокислот, які чітко визначені фрагментом ДНК, тобто геном завдовжки 730 п. о. (пар основ)<sup>5</sup>. Послідовність нуклеотидів, що кодує білок, наведено нижче і її можна знайти у спеціальних базах даних<sup>6</sup>:

Кінець безкоштовного уривку. Щоби читати далі, придбайте,  
будь ласка, повну версію книги.



**ridmi**  
ТВІЙ УЛЮБЛЕНИЙ КНИЖКОВИЙ

**КУПИТИ**