

НОВАЯ КАРТИНА МИРА

21. Универсальный генетический код.

Свойства генетического кода.

В отличие от большинства феноменов живой природы универсальный генетический код (УГК) исследован достаточно хорошо, чтобы допустить количественное описание в рамках поляризационного подхода. Универсальность УГК (одинаковость кода для всех известных земных форм жизни) указывает на его связь с фундаментальным уровнем вещества.

В современной биологии полагается, что УГК возникает при рождении жизни из косной материи и в силу случайности изменений в эволюционных процессах возможны любые варианты кода, связанные с перестановками 20 аминокислот. Число таких вариантов очень велико (20!) и требуется объяснить, каким образом, в силу каких причин выжил известный нам код, как из множества других отбирались его азотистые основания и аминокислоты. Делаются различные попытки понять это, но успешными их назвать нельзя: ответа, почему генетический код универсален и имеет найденную структуру, нет.

Под генетическим кодом понимают соответствие между кодонами – соседними тройками нуклеотидов молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) и двадцатью аминокислотами, формирующими клеточные белки (полипептиды). В УГК 64 различных кодона, из которых в кодировании аминокислот участвуют 61 кодон. Их называют функциональными. Остальные три кодона в кодировании не участвуют, определяя начало и конец считывания генетической информации ДНК. У них несколько названий: нефункциональные, нонсенс-триплет, стоп-кодона. УГК представлен в таблице 1.

Таблица 1. Универсальный генетический код.

№	Аминокислота	Кодоны ядерной ДНК
1	аланин (ала)	ЦГА, ЦГГ, ЦГТ, ЦГЦ
2	аргинин (арг)	ТЦТ, ТЦЦ, ГЦА, ГЦГ, ГЦТ, ГЦЦ
3	аспергин (асн)	ТТА, ТТГ
4	аспарагиновая к-та (асп)	ЦТА, ЦТГ
5	валин (вал)	ЦАА, ЦАГ, ЦАТ, ЦАЦ
6	гистидин (гис)	ГТА, ГТГ
7	глицин (гли)	ЦЦА, ЦЦГ, ЦЦТ, ЦЦЦ
8	глутамин (глен)	ГТТ, ГТЦ
9	глутаминовая к-та (глу)	ЦТТ, ЦТЦ
10	изолейцин (иле)	ТАА, ТАГ, ТАТ
11	лейцин (лей)	ААТ, ААЦ, ГАА, ГАГ, ГАТ, ГАЦ
12	лизин (лиз)	ТТТ, ТТЦ
13	метионин (мет)	ТАЦ
14	пролин (про)	ГГА, ГГГ, ГГТ, ГГЦ
15	серин (сер)	ТЦА, ТЦГ, АГА, АГГ, АГТ, АГЦ
16	тирозин (тир)	АТА, АТГ
17	треонин (тре)	ТГА, ТГГ, ТГТ, ТГЦ
18	триптофан (три)	АЦЦ
19	фенилаланин (фен)	ААА, ААГ
20	цистеин (цис)	АЦА, АЦГ

Обозначения: А – аденин, Г – гуанин, Т – тимин, Ц – цитозин.

Нуклеотиды различаются входящими в их состав азотистыми основаниями. Это аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т), цитозин (Ц). Стоп-кодонами имеют состав АТТ, АТЦ, АЦТ. Незначительные отличия генетического кода найдены в ДНК митохондрий некоторых видов. Общая особенность этих отклонений: триплет АЦТ читается как АЦЦ и из стоп-кодона превращается в шифр аминокислоты триптофана, т.е. число функциональных кодонов становится равным 62.

Из таблицы 1 видно, что УГК вырожден: одна и та же аминокислота шифруется несколькими кодонами. Обозначая степень вырождения кода через p , а число аминокислот со степенью вырождения p через a_p , представим спектр вырождения a_p в табл.2. В ней a'_p – число аминокислот со степенью вырождения p в некоторых митохондриальных ДНК.

Таблица 2. Спектр вырождения генетического кода.

p	1	2	3	4	6
a_p	2	9	1	5	3
a'_p	1	10	1	5	3

Числа табл.1 удовлетворяют уравнениям

$$\sum_p a_p = 20; \quad \sum_p p a_p = 61; \quad \sum_{p'} p' a_{p'} = 62.$$

У кодонов рибонуклеиновых кислот код также четырехбуквенный, только тимин заменяется урацилом (У). Это отличие приводит к тому, что вместо двойной спирали ДНК у РНК одинарная спираль и три модификации с разными функциями. Информационная (матричная) РНК (m РНК) образуется в ядре клетки в процессе транскрипции (считывания), в ходе которого на одной из цепей ДНК осуществляется матричный синтез m РНК, содержащей 300-3000 нуклеотидов. При транскрипции считывается участок, соответствующий гену. По её завершении m РНК покидает ядро и переходит в цитоплазму, где она прикрепляется к рибосоме и осуществляет матричный синтез аминокислот в полипептидную цепь. Этот процесс называется трансляцией. Доставка к рибосоме аминокислот осуществляется транспортными РНК (t РНК), молекулы которых содержат 75-95 нуклеотидов. На одном из концов t РНК находится антикодон – триплет нуклеотидов, комплиментарный (пространственно и химически) кодону m РНК, на другом – аминокислота в соответствии с кодом. Рибосомная РНК (r РНК) входит в состав рибосом, с помощью которых синтезируются белки. Молекулы r РНК содержат от 3000 до 5000 нуклеотидов. По мере сборки полипептидной цепи рибосома передвигается вдоль нитевидного участка гена, увеличивая длину белка. Это происходит потому, что в месте нахождения рибосомы антикодон t РНК прикрепляется к функциональному кодону m РНК. В результате параллельно нити m РНК с противоположного конца t РНК возникает связанная цепочка аминокислот, последовательность которых соответствует последовательности кодонов в m РНК и, следовательно, в ДНК. Такова упрощенная схема кодированного биосинтеза белков в клетке [1]. В ней ДНК выполняет функцию хранения генетической информации и передачи её потомкам, а РНК реализует биосинтез белков.

Физическая природа УГК.

Нашей целью здесь является получение ответа на вопрос: каков физический механизм УГК? Действительно ли кодоны ДНК (или, что то же, кодоны m РНК) шифруют аминокислоты посредством химических связей, как принято считать, или существует более фундаментальный механизм кодировки? В пользу последнего предположения – универсальность кода, указывающая на участие в кодировке фундаментальных частиц –

кварков иерархического уровня нуклеотидов и генов ($l=3$). В пользу кваркового механизма кодировки и спектр вырождения генетического кода. Степени вырождения, приведенные в табл. 2, соответствуют порядку осей кристаллов h -мира, порождающих кварки, которые вносят информацию этого мира в G -мир. Порядок оси задаёт число идентичных кристаллических состояний, обуславливающих вырождение УГК в рассматриваемом нехимическом механизме кодировки. Поэтому в генетическом коде должны отражаться симметрии обоих миров: симметрии 16-плетов h -мира и мультиплетов G -мира, соответствующих симметрии додекаэдро-икосаэдрной системы (ДИС) [2]. Это мультиплеты с размерностью 12 (13), 20 (21), 30 (31), 60 (61). В скобках указаны размерности в случае, когда к мультиплетам ДИС добавляется синглетное состояние центра симметрии додекаэдра или икосаэдра. В системах с поляризующимися тремя, четырьмя и пятью зарядами реализуются соответственно 12-, 20- и 30-плеты полей.

Чтобы понять, как возникают главные структурные особенности УГК (пятибуквенный алфавит, четырехбуквенные его редукции, триплетность нуклеотидов кодона, числа функциональных и стоп-кодонов, 20-плетность кодируемых аминокислот и, наконец, спектр вырождения кода), необходимо учитывать как левую, так и правую компоненту вещества, которая формирует цепочечные наследственные структуры (гены, ДНК). Природу этих эмпирически найденных особенностей УГК современная биология, базирующаяся на молекулярном уровне, не рассматривает. Это задача физической теории, учитывающей существование поляризационного мира, где все эти структуры рождаются.

В поляризационной теории вещественные структуры имеют две компоненты: состоящую из нуклонов левую материю релятивистского мира и кварковую правую материю, локализованную в поляризационном мире. У обособленных структур (в частности у кодонов, и аминокислот) правые кварки образуют цветонейтральные триплеты, аналогичные оболочкам нуклонов из левых кварков (в поляризационной теории, помимо оболочки, нуклоны и другие барионы имеют ещё ядро из правых кварков).

Симметрия h -мира проявляется в G -мире через 12-плет полей, включающий одно электромагнитное, три незаряженных и октет заряженных глюонных полей. В G -мире в каждом из состояний этого 12-плета, поляризуются пять вкусовых зарядов (t -зарядов), т. е. возникают 60-плеты состояний, образованные тремя типами зарядов, присущих кваркам G -мира. Эти кварковые 60-плеты порождают 20-плет бесцветных кварковых триплетов, соответствующих симметрии ДИС гравитирующего мира с четырьмя независимыми t -зарядами. Т.е. из пятибуквенного алфавита вкусовых зарядов (с нулевой суммой) реализуется четырёхбуквенный алфавит, выделяющий четыре азотистых основания, которые различаются t -зарядами связанных с ними правых кварков, локализованных в поляризационном мире. В случае ДНК носителями этих зарядов являются кварки первых двух поколений u , d и s , c . У РНК один из вкусовых зарядов другой, т.е. b –кварк третьего поколения заменяет один из кварков первых двух поколений. Это приводит к появлению нуклеотидных цепочек, не способных связываться в пары, и к трём формам РНК.

Нуклеотиды представляют собой элемент цветонейтральной структуры кодонов. Правая компонента нуклеотида, помимо кварковых триплетов, содержит ещё одинарный правый кварк. Три таких синглетных кварка с разными цветовыми зарядами при связывании создают цветонейтральный кодон, представляющий отдельную структуру. Связывание кварков, обладающих элетрическим, цветовыми и вкусовыми зарядами, реализуется комбинированными полями.

В случае четырёхбуквенного алфавита возможное число цветонейтральных триплетов, а значит, и кодонов, равно $4^3 = 64$. При переходе в G -мир 64-плет кварков реализоваться не может, ибо его структура не соответствует симметрии ДИС. Из него

выделяется 61-плет правых кварков, соответствующих функциональным кодомам. Остающийся триплет кварков может быть только левым, определяя триплет стоп-кодонов. Иная киральность приводит к тому, что наличие в цепи стоп-кодонов является точкой разрыва цепочки функциональных кодонов.

В особых условиях может проявить себя синглетное состояние, связанное с центром симметрии додекаэдра или икосаэдра. В этом случае вместо 20-плета реализуется 21-плет аминокислот и формирующих их комбинированных полей, а вместо 61-плета – два 31-плета состояний ДИС и, соответственно, 62 функциональных кодона. Такой живой организм (бактерию) обнаружили исследователи Института Скриппса (Калифорния). Дополнительной аминокислотой является *p*-аминофенилаланин. В её шифровке участвует один из стоп-кодонов, т.е. число функциональных кодонов составило 62, что также соответствует симметрии ДИС.

ДНК и РНК.

Мы установили, что симметрия ДИС связывает на нехимическом уровне правый кварковый 61-плет с левым фермионным 20-плетом, и предположили, что эта корреляция проявляется в шифре УГК. Нам нужно теперь уяснить механизм корреляции кодон – аминокислота, используя свойства ДНК и РНК.

Из пятибуквенного алфавита можно получить пять четырехбуквенных. В УГК реализуются два из них: АГТЦ в ДНК и АГУЦ в РНК, имеющей три формы – матричную, транспортную и рибосомную.

Так как, согласно [2], массы кварков *d*, *s* и *c* зависят от одного и того же поляризационного угла θ_c (угла Кабиббо), то можно предположить их участие в триплете левых стоп-кадонов, т.е. им соответствуют азотистые основания А, Т и Ц. Поэтому *u*-кварк участвует в формировании гуанина (Г). При образовании двойной спирали связывается поляризационная пара кварков одного поколения. Это значит, что *d*-кварк формирует цианин (Ц), а *s* и *c* – основания А и Т. Отсюда следует правило Чарграффа для ДНК: попарное равенство числа оснований, записываемое в виде

$$Г=Ц; А=Т.$$

Число оснований в стоп-кодоне обусловлено симметрией кварковых кристаллов *h*-мира. Если порядок оси кристалла растет с массой кварка, то

$$p_d=2; p_s=3; p_c=4.$$

Это приводит к тому, что в функциональных кодонах ДНК число оснований различно: Г встречается 48 раз, Ц – 46, А – 45 и Т – 44 (см. табл. 1).

Матричная РНК копирует одну из двух спиралей ДНК. С кодонами этой копии взаимодействуют антикодоны *t*РНК, которая другим своим концом связывается с аминокислотой и доставляет её к пептидной цепи, формируемой рибосомой. Между *t*РНК и *m*РНК или аминокислотами нет однозначной связи: в реализации кода участвует около 40 *t*РНК. Один антикодон может узнавать несколько кодонов, а несколько видов *t*РНК способны соединяться с одним кодоном [3]. В антикодоновую петлю *t*РНК входит 13-плет нуклеотидов, что может связывать его с *h*-миром. Из них 12 нуклеотидов соответствуют алфавиту и симметрии ДИС, а 13-ый нуклеотид, входящий в антикодон, является модифицированным (с нетипичным основанием).

Считается, что *t*РНК узнает кодоны и аминокислоты химическими механизмами. В фундаментальной теории кодировочный шифр определяется кварковыми взаимодействиями *h*- и *G*-миров. Чтобы убедиться в этом, рассмотрим спектр вырожденных УГК.

Вырождение УГК.

Влияние h -мира должно проявляться также в характере вырождения генетического кода. Какой механизм здесь возможен?

В дикварковой модели вырождения УГК [2] предполагается, что кодировка осуществляется 24-плетом комбинированных полей, действующих между правыми кварками кодонов и аминокислот. 23-плет взаимодействует с 61 функциональным кодоном, а фотоногравитонный синглет разрывает связь между ними, т.е. связан со стоп-кодоном.

Поскольку кварки приходят из h -мира в поляризационный мир, где кварковые структуры имеют цветовой заряд, в переходе участвуют один или два кварка. Там они формируют цветонейтральные триплеты релятивистского мира.

Рассмотрим степень вырождения УГК при механизме кодировки комбинированными полями соответствующего симметрии ДИС 20-плета аминокислот, когда осуществляют кодировку дикварки -- два из трёх правых кварка кодона.

При четырёхбуквенном алфавите дикварки содержат 16-плет кварков. Чтобы число дикварков превышало число аминокислот, в кодировке должны участвовать два дикварковых октета. Один из них кодирует аминокислоты, т.е. присоединение любого из четырех третьего кварка не меняет кодировки. Для соответствующих аминокислот степень вырождения $p=4$. Второй октет дикварков кодирует по две аминокислоты, давая $p=1, 2, 3$ при разделении квартета третьих кварков в соотношении 1:3 и 2:2. Таким образом, возникают 24 способа кодировки 20 аминокислот и триплета стоп-кодонов, связанных с двумя октетами дикварков. В кодировании аминокислот принимают участие 23 комбинированных поля, локализованных в поляризационном мире. 20 аминокислот кодируются 20-плетом комбинированных полей, содержащих гравитонное поле. Три комбинированных поля, его не содержащих, осуществляют параллельную кодировку трёх аминокислот первого октета дикварков. В результате эти три аминокислоты (аргинин, лейцин и серин) увеличивают степень вырождения кодировки до наибольшего «кристаллического» значения $p=6$. Остальные пять дикварков этого октета сохраняют степень вырождения $p=4$.

Второй октет дикварков осуществляет 16 кодировок. Они включают кирально-симметричный и соответствующий симметрии ДИС 13-плет кодировок с $p=2$. Его синглетное состояние относится к стоп-кодонам, а из остающегося 12-плета три кодировки являются параллельными и участвуют в кодировке аргинина, лейцина и серина. Поэтому число кодировок с $p=2$ равно 9. Две и одна кодировки имеют степень вырождения соответственно $p=1$ и $p=3$. В [2] приводится перечень дикваркового вырождения с указанием реализующих его комбинированных полей 23-плета.

Мы видим, что дикварковый спектр вырождения и спектр вырождения УГК соответствуют друг другу. Это означает, что последний обусловлен фундаментальными симметриями h - и G -миров, которые использовались при получении дикваркового спектра вырождения кода.

Является ли УГК единственно возможным? Из дикварковой модели кода это не следует. Например, двойную кодировку мог бы иметь и другой триплет аминокислот. Можно сказать, однако, что число возможных кодов не очень велико. Нашей земной жизни достался один из них. Коды не возникают в процессе эволюции. Это свойства живой материи гравитирующего мира, приходящей из h -мира, одно из его проявлений. Множественность генетических кодов указывает на возможность существования во Вселенной иных форм жизни. Поэтому универсальным земной код можно назвать лишь условно.

Литература.

[1] Биология. Справочник студента. –М.: АСТ, 2001.

[2] Чернуха В.В. Поляризациянная теория Мироздания. –М.: Атомэнергоиздат, 2008.

[3] Ярыгин В.Н. и др. Биология, кн.1. –М.: Высшая школа, 2001.