

УДК 576.1

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ КОЭВОЛЮЦИИ ПОЛИПЕПТИДОВ И НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ¹

© 2006 Ю.П. Фролов²

Исходя из феномена эквиспиральности вторичной структуры полипептидов и нуклеиновых кислот, рассмотрен возможный вариант коэволюции этих макромолекул у протобионтов.

Введение

Еще за пять веков до н.э. древнегреческий философ-диалектик Гераклит Эфесский, а за ним и Аристотель утверждали, что без знания происхождения и развития вещей нельзя понять их сущность. Применительно к живым системам это положение великих мыслителей означает, что если мы хотим глубоко познать усложнившиеся в процессе эволюции биологические структуры и процессы, прежде всего с практической целью, необходимо, насколько это возможно, изучить проблему их возникновения и исторического развития.

Характерно, что на ранних стадиях эволюции живого происходил выбор в точках бифуркации того или иного пути дальнейшего развития, коренным образом влияющий на сегодняшнее состояние биосистем. Смена траекторий развития в эти переломные моменты, как правило, обусловлена изменением внешних условий. Совместный анализ имеющихся сведений о состоянии внешней среды и живых систем в различные периоды времени позволяет благодаря взаимному дополнению обоих видов информации составить более правильное представление об эволюции жизни на Земле.

Не меньшее значение имеет и внутренне присущая системам логика развития, проявляющаяся уже на ранних стадиях эволюции живого в процессе дифференциации и интеграции, которые в полной мере проявились при формировании молекулярного уровня клеток.

1. Взаимное копирование полипептидов и нуклеиновых кислот

Суть феномена эквиспиральности вторичной структуры молекул полипептидов и полинуклеотидов, о которой шла речь ранее [1–4], заключается в том, что число витков альфа-спирали, включающей некоторое количество аминокислотных остатков, соответствует количеству витков участка

¹Представлена доктором биологических наук, профессором В.Г. Подковкиным.

²Фролов Юрий Павлович, кафедра биохимии Самарского государственного университета, 443011, Россия, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

вторичной структуры нуклеиновой кислоты (ДНК, РНК), кодирующего эти аминокислотные остатки. Параметры спиралей мало зависят от того, остатки каких аминокислот и какие азотистые основания они несут, поскольку их конформация задана монотонно повторяющимися группами атомов $-\text{NH}-\overset{|}{\text{C}}\text{H}-\text{CO}-$ в полипептидах и рибозофосфатными или дезоксирибозофосфатными — в полинуклеотидах. Все эти спирали правые, а против каждого аминокислотного остатка альфа-спирали, если ее расположить против спирали нуклеиновой кислоты, будут находиться три азотистых основания. Эти особенности геометрии спиралей двух классов биомолекул наводят на мысль о существовании в очень далеком прошлом у них взаимного комплементарного матричного синтеза, как это имеет место при репликации ДНК и транскрипции РНК.

Полипептиды и нуклеиновые кислоты представляют собой молекулы с неограниченным разнообразием первичной структуры. В протобионтах первоначально они выполняли каталитические функции. О каталитических возможностях нуклеиновых кислот, в частности, свидетельствует нуклеотидная природа коферментов, принимающих участие в кооперации с белковыми компонентами (апоферментами) в важнейших биохимических процессах у современных организмов.

Однако взаимодействие полипептидов и нуклеиновых кислот у протобионтов началось с такого интимного процесса, как редупликация. Суть этого древнего процесса состояла в том, что для своего удвоения нуклеиновая кислота использовала как матрицу молекулу полипептида, а полипептид — молекулу нуклеиновой кислоты. Такой межмолекулярный контакт осуществлялся лишь во время редупликации: после присоединения очередного аминокислотного остатка к растущей полипептидной цепи связь его с нуклеиновой кислотой утрачивается, как и при биосинтезе белка на рибосоме. Аналогичная ситуация имеет место и при синтезе молекулы нуклеиновой кислоты на полипептидной матрице. Таким образом, налицо своеобразная полуконсервативная редупликация молекул полипептидов и нуклеиновых кислот, ведущая к удвоению их количества.

На возможность существования на начальных этапах эволюции клетки механизма "прямого копирования" полипептидов и нуклеиновых кислот указывал в 1968 г. Уоэз [5]. Один из этих полимеров рассматривался им в качестве катализатора, действующего особым образом при синтезе другого, и наоборот. В соответствии с гипотезой Уоэза этот процесс был двухсторонним, то есть осуществлялась трансляция как полипептида с молекулы нуклеиновой кислоты, так и нуклеиновой кислоты с молекулы полипептида.

Существенным доводом в пользу гипотезы Уоэза явились эксперименты Бьерсона с соавторами [6] по троекратному увеличению скорости конденсации лизина в присутствии полиадениловой кислоты. Более того, у некоторых микроорганизмов установлен синтез полипептидов по схеме: нуклеозидтрифосфат + аминокислоты → нуклеозиддифосфат + пептид + ортофосфат. Показательно, что для каждого из четырех нуклеозидтрифосфатов существует определенная группа аминокислот, которые он может активировать [7], то есть структура полипептида в известной степени определяется природой участвующего в реакции нуклеозидтрифосфата.

Не исключено, что в "прямом копировании" по Уоэзу функцию своеобразной "копирки" выполняли трансляторы двухстороннего действия — молекулы, осуществляющие соответствие между триплетами (кодонами) и аминокислотами. При этом в работе такой системы могли возникать сбои, ведущие к несоответствию кодона и аминокислоты. Так возникали ошибки (мутации) в первичной структуре

нуклеиновых кислот и белков, которые передавались по наследству при редупликации. Мутации, возникающие в молекуле полипептида, передавались с нее молекуле нуклеиновой кислоты, которая, в свою очередь, тиражировала эту измененную молекулу полипептида. Наличие такой обратной связи между полипептидами и нуклеиновыми кислотами повышало эффективность эволюционного процесса.

2. Расхождение функций полипептидов и нуклеиновых кислот

Поскольку полипептиды состоят из большего набора мономеров (аминокислотных остатков), чем полинуклеотиды, да и сами аминокислоты более разнообразны по строению, чем азотистые основания, и, соответственно, обладают большими функциональными возможностями, в процессе эволюции произошло разделение "обязанностей" между этими классами макромолекул. Полипептиды стали выполнять своего рода исполнительные функции, важнейшей из которых является каталитическая, а нуклеиновые кислоты — преимущественно информационную (хранение, тиражирование, перенос информации). Это привело к исчезновению трансляции молекул нуклеиновой кислоты с полипептидной матрицы, сыгравшей свою роль в бурный период становления живого, а процесс трансляции белка усложнился и стал рибосомным. В самом информационном канале тоже произошла дифференциация. Молекулы РНК, которые принимали участие в редупликации у протобионтов, разделились на информационные, транспортные и рибосомные. С появлением прямой (ДНК-зависимая РНК-полимераза) и обратной (РНК-зависимая ДНК-полимераза) транскриптаз, первоначально представленных, вероятно, единым ферментом двойного действия, информационная РНК (иРНК) "делегировала" функцию хранения и тиражирования генетической информации химически более устойчивой молекуле ДНК (за отсутствием у последней гидроксильной группы у второго углеродного атома в дезоксирибозе [8]). Сама же иРНК стала выполнять функцию переносчика генетической информации от ДНК к формирующейся в процессе трансляции полипептидной цепи. Высокая же степень сохранности генетической информации на молекуле ДНК обеспечивается также с помощью ее двухцепочечного строения, позволяющего не только эффективно осуществлять репликацию, но и репарировать поврежденный участок одной цепи по неповрежденному участку другой цепи. Одновременно отпала необходимость в процессе обратной транскрипции.

Реликты давно прошедших событий, определявших ключевые процессы эволюции клетки, встречаются в современных условиях. Так, РНК сохранила свои "позиции" носителя генетической информации в РНК-содержащих вирусах. В 1970 г. была открыта обратная транскриптаза (ревертаза) в РНК-содержащих онкогенных вирусах. В качестве уникального реликта процесса трансляции, существовавшего в период "прямого копирования" по Уоэзу, можно, по-видимому, рассматривать активирование аминокислот при биосинтезе белка на рибосомах. Каждая аминокислота активируется своим ферментом — аминоацил-тРНК-синтетазой (АР-Сазой) и присоединяется к определенной транспортной РНК (тРНК). В АРСазе, как в фокусе, пересекаются три потока жизненного процесса: вещества (аминокислота), энергии (АТФ) и информации (тРНК). Необходимость в таком процессе имела и во время "прямого копирования", хотя конкретная реализация его, вероятно, была менее совершенной, чем у современных организмов.

Заключение

Обнаруженный автором статьи феномен эквиспиральности вторичной структуры полипептидов и нуклеиновых кислот является косвенным подтверждением возможного механизма "прямого копирования" по Уоэзу. Эквиспиральность, обусловленная требованием конформационного соответствия при взаимодействии этих классов макромолекул, позволяет объяснить ряд важных моментов молекулярной биологии.

Прежде всего, она дает убедительный ответ на предпочтение биосистем в использовании L-форм аминокислот и D-форм моносахаридов. Абиогенный синтез в период добиологической эволюции обеспечил накопление в водах Мирового океана рацемических смесей этих мономеров, которые использовались протобионтами в сочетаниях: L-форма аминокислот с D-формой моносахаридов и D-форма аминокислот с L-формой моносахаридов. В обоих случаях обеспечивалась эквиспиральность, но в первом варианте спирали были правыми, а во втором — левыми. Поскольку запас аминокислот и моносахаридов, образованных абиогенным путем, в некоторый момент оказался исчерпанным, перспективу для дальнейшей эволюции получили те протобионты, которые смогли с помощью своих ферментов осуществить синтез нужных им форм этих мономеров. Ими случайно оказались протобионты, использующие L-формы аминокислот и D-формы моносахаридов.

Требованием стерического соответствия спиралей обусловлен триплетный (избыточный) код нуклеиновых кислот. Широкое распространение альфа-спирали у природных белков можно рассматривать как реликт, сохранившийся со временем "прямого копирования". Другие конформации вторичной структуры белков стали возможными с появлением рибосомного синтеза, который не требует соблюдения эквиспиральности иРНК и транслируемого полипептида.

Литература

- [1] Фролов, Ю.П. Управление биологическими системами: Клеточный уровень / Ю.П. Фролов, М.М. Серых. — Самара: Изд-во "Самарский университет", 2000. — 116 с.
- [2] Биохимия и молекулярная биология / Ю.П. Фролов [и др.]. — Самара: Изд-во "Самарский университет", 2004. — 501 с.
- [3] Фролов, Ю.П. Эквиспиральность вторичной структуры биологических макромолекул / Ю.П. Фролов // Вестник Самарского государственного университета. 2004. — №4(34). С. 188–193.
- [4] Фролов, Ю.П. Некоторые вопросы эволюционной биохимии / Методология и методы научных исследований в области естествознания: материалы Всерос. науч.-практ. конференции. — Самара: Изд-во СГПУ, 2006. — С. 257–260.
- [5] Woese, C.R. / C.R. Woese // Proc. Nat. Acad. Sci. — 1968. — V. 50. — P. 110 (цит. по 6).
- [6] Бьернсон, Л. Реакции конденсации лизина в присутствии полиадениловой кислоты / Л. Бьернсон, Р. Леммон, И. Кальвин // Происхождение жизни и эволюционная биохимия. — М.: Наука, 1975. — С. 22–26.

- [7] Богданов, А. / А. Богданов // Тезисы докладов на I Всесоюзном биохимическом съезде. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 13 (цит. по 8).
- [8] Опарин, А.И. Возникновение и начальное развитие жизни / А.И. Опарин. – М.: Медицина, 1966. – 204 с.

Поступила в редакцию 4/*XII*/2006;
в окончательном варианте – 4/*XII*/2006.

ASPECTS OF POLYPEPTIDES AND NUCLEIC ACIDS COEVOLUTION³

© 2006 Yu.P. Frolov⁴

Based on the phenomenon of polypeptides and nucleic acids equispiralic secondary structure a possible way of their coevolution is considered for protobionts.

Paper received 4/*XII*/2006.
Paper accepted 4/*XII*/2006.

³Communicated by Dr. Sci. (Biology) Prof. V.G. Podkovkin.

⁴Frolov Yuriy Pavlovich, Dept. of Biochemistry, Samara State University, Samara, 443011, Russia.