

Эволюционная химия

Концептуальная система эволюционной химии находится в состоянии формирования. Она связана с включением в химическую науку принципа историзма, понятия времени и представлений о химической эволюции. Внимание эволюционной химии направлено на исследование процессов самоорганизации вещества — от атомов и простейших молекул до живых организмов. Содержание эволюционной химии тесно связано с проблемами супрамолекулярной химии, у истоков которой стоит Нобелевский лауреат Ж.-М. Лен (р. 1939)¹. Для описания процессов упорядочения атомов и молекул он использовал понятия «самосборка» и «самоорганизация». Наиболее известный процесс самосборки в живой природе — самосборка молекул нуклеиновых кислот и матричный синтез белков.

Таким образом, эволюционная химия по сути стремится «сесть на одну скамейку с Богом» — выявить механизм возникновения живой материи из материи косной. Действительно, выдающиеся химики Ю. Либих (1803—1873), П. Бертелло (1827—1907) и многие другие считали лабораторию живого организма идеальной химической лабораторией.

Факт из истории науки

Известный химик Ю. Либих (1803—1873) считал, что процесс брожения имеет чисто химическую природу. Л. Пастер показал, что образование спирта, нитроглицерина, янтарной кислоты при брожении происходит только в присутствии особого «организованного фермента» (именно так называли тогда живые клетки микробов), который размножается в бродящей жидкости. Показательными были опыты Пастера с жидкостью, которая содержала чистый сахар и минеральные соли, служившие для бродильного грибка пивной. Аммиачная соль из состава этой жидкости поставляла грибку потребный азот

Предпосылки эволюционной химии сформировались в начале XIX в., когда шведский химик И. Я. Берцелиус впервые установил: основу жизни составляет биокатализ. При этом специфика катализаторов в живых системах сформирована самой природой. Особые белки — ферменты — служат живыми катализаторами. Важные идеи позаимствованы у динамической биохимии, которая на рубеже XVIII и XIX вв. стала рассматривать процессы дыхания и брожения, ассимиляции и диссимиляции как специфические превращения веществ. Углублению знаний о ферментах способствовало исследование химии брожения, особенно исследования Л. Пастером (1822—1895) деятельности молочнокислых бактерий.

Академик Н. Н. Семенов (1896—1986) характеризовал химические процессы, протекающие в растительных и животных организмах, как «настоящий квалифицированный завод».

Таким образом, в рамках эволюционной химии намечаются несколько направлений исследования:

- выявление химического состава живых организмов;
- исследование специфики «лабораторных механизмов» живой природы;
- научный анализ процессов химико-биологической эволюции, т.е. процессов возникновения органических веществ из неорганических, а также процессов возникновения жизни на основе развития неорганических веществ.

Функции ферментов сходны с иными катализаторами, однако в рамках живых систем они обладают особой спецификой:

- чувствительны к температуре, как и живые существа. Промышленные катализаторы работают при 200—500°C, а большинство ферментов полностью теряют каталитические свойства уже при 70°C;
- чрезвычайно чувствительны к кислотности среды, причем каждый фермент работает только в узком диапазоне pH. Так, в крови здорового человека pH не отличается от среднего значения 7,4 более чем на 0,2, а при pH крови ниже 7,0 или выше 7,8 в результате нарушения деятельности ферментов наступает смерть;
- демонстрируют огромную каталитическую активность и способны ускорять реакции в 10¹⁴—10¹⁵ (миллион миллиардов) раз;
- обладают высокой специфичностью действия. Фермент может, например, воздействовать лишь на L-аминокислоты, входящие в состав природных белков, и игнорировать изомерные им D-аминокислоты.

Считается, что на основе химии живых организмов можно получить новые, необычные способы управления химическими процессами; к примеру, можно создать катализаторы, аналогичные природным, эффективность которых превосходит все промышленные аналоги. Не исключено, что на основе раскрытия механизмов биохимической энергетики и синтеза соответствующих полимерных материалов станет возможным создавать такие макромолекулы, которые будут способны превратить химическую энергию в механическую по аналогии с тем, как это происходит в мышцах живых организмов.

Химический анализ живой природы.

Субстратное направление эволюционной химии связано с выявлением материального субстрата жизни, т.е. химического состава живых организмов. Выяснилось, в частности, что природа оказалась привередливой в отборе необходимых для жизни компонентов, используя примерно 1/10—1/5 из всех возможных материалов. Так, более чем из 100 химических элементов, открытых к настоящему времени, многие участвуют в жизнедеятельности живых организмов. При этом только шесть элементов (они получили название органогенов: углерод, водород, кислород, азот, фосфор и сера) составляют основу живых систем. Их весовая доля в живом организме составляет 97,4%. Кроме того, биологически важен еще один ряд элементов: натрий, калий, кальций, магний, железо, кремний, алюминий, хлор, медь, цинк, кобальт. Эти элементы часто называют микроэлементами, поскольку их содержание в организме ничтожно мало (от 10⁻² до 10⁻⁷% массы соответствующего органа), но они необходимы живым организмам. Современная медицина считает, что для человека 43 элемента являются незаменимыми.

Какие требования предъявляла природа в процессе столь тщательного отбора? Как подчеркивает В. И. Кузнецов, «определяющими факторами здесь выступают требования соответствия между строительным материалом и объектами с высокоорганизованной структурой». Отбирались природой элементы, обладающие способностью к образованию прочных и энергоемких химических связей, а также к формированию лабильных связей, легко подвергающихся гомолизу, гетеролизу, циклическому перераспределению между живой и косной природой.

Особую роль природа отвела углероду, который способен образовывать почти все известные ныне типы химических связей. Его атомы в одном и том же соединении способны быть и акцепторами, и донорами электронов. Азот, фосфор и сера, а также микроэлементы, являющиеся активными центрами ферментов, — железо и магний — проявляют лабильность. Кислород и водород выступают носителями окислительных и восстановительных реакций в организме.

Только 20 аминокислот из 100 известных входят в состав белков; только четыре нуклеотида из многих известных входят в состав ДНК и РНК и несут ответственность за наследственность и регуляцию белкового синтеза в любых живых организмах.

О единстве субстратной основы живой материи свидетельствует факт идентичности аминокислотного состава гемоглобина самых низших позвоночных животных и человека; сходен состав ферментативных средств и состав веществ, накапливаемых впрок, и у разных видов растений.

Роль самоорганизации в химической эволюции.

Активно развивается функциональный подход. На его основе при анализе предбиологической эволюции исследуются процессы самоорганизации материальных систем. Важной методологической основой исследований на этом направлении являются идеи и принципы, выявленные кибернетикой, синергетикой и др

Каким образом природа из ограниченного количества химических элементов образовала сложнейшую биосферу?

Этот процесс сегодня представляется следующим образом.

1. На первых этапах химической эволюции, когда температура на поверхности Земного шара превышала 5000°K, в атмосфере происходили постоянные электрические разряды, был высокий уровень радиации, формирование конденсированного состояния вещества было затруднительным, а процесс катализа практически отсутствовал.

2. При последовательном снижении температуры возникает возможность образования первичных тел, отмечаются первые проявления катализа. Так, к 1984 г. был накоплен экспериментальный материал о самоорганизации физико-химических систем в условиях плазменных температур (3000-5000°K).

3. По мере приближения физических условий к современным земным и дальнейшего снижения температуры на поверхности Земли возрастает роль катализа. Однако общее значение катализа оставалось незначительным вплоть до того времени, когда в процессе химической эволюции появляются сложные органические молекулы.

4. Появляются первые химические системы, в основу которых положен углерод: CH_3OH , $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$; $\text{HC} = \text{CH}$, H_2CO , HCOOH , $\text{HC} = \text{N}$, а также первичные сахара, окси- и аминокислоты. Этот этап рассматривается химиками как некаталитическая подготовка старта «большого катализа». На этом этапе формируется как неорганическая, так и органическая ветви катализа. Поскольку каталитическая активность свежеприготовленных продуктов выше активности природных минералов того же состава, то неорганическая ветвь ведет к затуханию каталитической активности неорганических тел и исключению масс этих тел из химического круговорота углерода, азота и др.

5. При накоплении известного количественного минимума органических и неорганических соединений (этот минимум — «стартовое состояние» для катализа) роль катализа в развитии химических систем стала резко возрастать.

Таким образом, сформировались две формы вещественной основы химической эволюции: 1) химические соединения — как реагенты органического синтеза, приводящего к формированию веществ возрастающей сложности и степени организации; 2) агенты химических реакций — катализаторы.

Анализ химической эволюции не отвергает роль случайности, однако указывает на сложившуюся закономерную направленность этого процесса под влиянием развития каталитических процессов.

Российский химик А. П. Руденко (1925—2004) в 1969 г. выдвинул идею единства химической эволюции и биогенеза, которая позже получила обоснование в разработанной им теории. Он показал, что химическая эволюция представляет собой саморазвитие каталитических систем. В качестве предпосылок формирования этой теории называют открытие А. Гуотми и Р. Каннингемом явлений самоорганизации катализаторов под влиянием основной реакции, а также «мультиплетную теорию» А. А. Баландина, который указывал, что катализаторы способны ориентировать реакцию в одном из возможных направлений.

Теория А. П. Руденко в комплексе отвечает на следующие вопросы:

- о движущих силах и механизмах эволюционного процесса;
- об отборе элементов и структуре их причинной обусловленности;
- об уровне химической организации и иерархии химических систем как следствие эволюции.

При этом основным эволюционирующим веществом выступают катализаторы: в процессе химических реакций происходит самопроизвольный отбор наиболее активных каталитических центров. При многократных последовательных необратимых изменениях катализатора переход «на все более высокие уровни стационарности сопровождается эволюцией механизма базисной реакции как за счет изменений состава и структуры катализаторов, функционировавших в начале реакции, так и за счет дробления химического процесса на элементарные стадии и появления на них новых катализаторов. Эти новые катализаторы появляются не путем захвата их из внешней среды», а в результате саморазвития.

Выводы

Открытый А. П. Руденко основной закон химической эволюции гласит, что «эволюционные изменения катализатора происходят в том направлении, где проявляется его максимальная активность». Разработанная А. П. Руденко теория саморазвития каталитических систем позволяет получить четкие критерии для выявления этапов химической эволюции и классифицировать катализаторы в соответствии с уровнем их организации.

В процессе химической эволюции на Земле сформировались предпосылки появления живой материи из неживой природы, а эволюция нашей планеты сформировала условия, в которых эти предпосылки могли реализоваться.