

А. ШМУК

СХЕМА ХИМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ХРОМОСОМ

(Представлено академиком Н. И. Вавиловым 10 I 1939)

Хромосомам принадлежит исключительно важная роль в передаче наследственных свойств живых организмов, однако несмотря на такое исключительное значение их действительное химическое строение является пока мало выясненным.

На основании наблюдений, что хромосомы в различные периоды их превращения обладают способностью давать с некоторыми реагентами характерное окрашивание, цитологи полагают, что в состав хромосом входит тимонуклеиновая кислота.

Хромосома при таких реакциях (в известные стадии своих превращений) окрашивается однако не полностью, а лишь во вполне постоянных и определенных местах, являющихся весьма характерными для данной хромосомы, причем в одних частях хромосом эти окрашиваемые места располагаются весьма близко друг к другу, в других же частях расположение этих мест имеет другой характер, выявляя присутствие более обширных неокрашиваемых участков.

Характер пространственного линейного расположения этих окрашиваемых пунктов по длине хромосомы является строго наследственно специфичным для каждого вида организма.

Искусственное изменение в этом порядке расположения окрашиваемых участков, которое может быть вызвано например действием X-лучей, приводит к наследственным мутациям организмов, сохраняющих уже в этих случаях при дальнейшем размножении новый порядок линейного расположения окрашиваемых пунктов по длине хромосом.

Если принять, что эти окрашиваемые пункты в хромосоме действительно зависят от присутствия нуклеиновой кислоты, в чем по видимому нельзя сомневаться, то мы должны считать, что совокупность причин, удерживающих эту кислоту как раз в таком расположении, и является основным приспособлением, определяющим постоянство наследственных свойств организма.

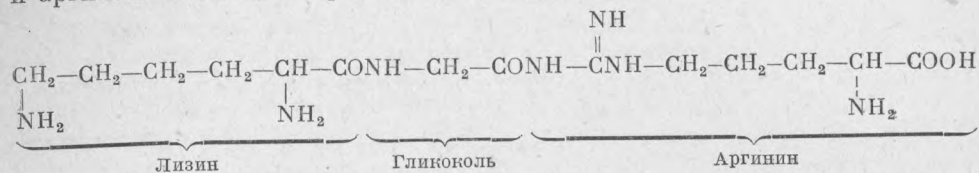
Согласно современным представлениям многих цитологов (1, 2) внутри хромосомы находится белковое вещество в форме линейно вытянутой, высокополимерной молекулы (генона — по академику Н. К. Кольцову). По исследованиям Winch (3) в состав этого белкового вещества ходят преимущественно щелочные полиаминокислоты.

Представление о том, что внутри хромосомы находится линейная полипептидная молекула, является по нашему мнению вполне достаточным для того, чтобы объяснить характерное и постоянное расположение окрашиваемых пунктов по длине хромосомы (расположение нуклеиновой кислоты), а также и присутствие в хромосоме слабоокрашиваемых районов.

*

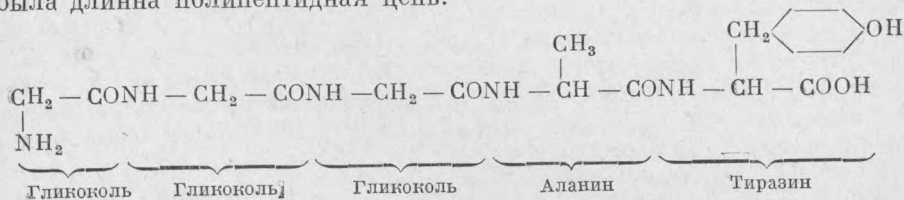
Действительно, если генома является гигантской линейной цепью соединенных друг с другом аминокислот, то по длине этой цепи на разных расстояниях друг от друга расположатся щелочные группы NH_2 , причем точное расположение их будет определяться химическим строением и порядком взаимного расположения отдельных аминокислот.

Например в следующем случае при взаимодействии лизина, гликоколя и аргинина это может принять следующий вид:



Если мы допустим, что присоединение нуклеиновой кислоты происходит лишь по месту групп NH_2 , дающих с нуклеиновой кислотой солеобразное соединение, то ясно, что расположение групп NH_2 в полипептидной цепи или в геноме зафиксировывает постоянство линейного распределения хромидных участков хромосомы, причем окрашенные пункты расположатся в очень различных местах хромосомы; так, в указанном примере первая хромидная группа будет отстоять от второй на расстоянии трех атомов углерода в цепи (примерно 4.62 Å), а вторая от третьей на расстоянии семи атомов углерода и трех атомов азота в цепи (примерно 15.4 Å).

При полипептидной связи гликоколя, аланина и других моноаминокислот мы вообще не можем иметь больше одной группы NH_2 в цепи, как бы ни была длинна полипептидная цепь.



Таким образом присоединение нуклеиновой кислоты, а следовательно и образование хромидных участков на протяжении этой части полипептидной цепи делается невозможным, и мы имеем достаточное соответствие этого участка генома с неокрашиваемыми районами хромосомы.

Следовательно, если мы допустим, что присоединение хроматинного вещества (нуклеиновой кислоты) в полипептидной цепи идет по месту расположения основных первично аминных групп, то указанная характерная особенность постоянства последовательного соединения различных аминокислот вполне прочно зафиксировывает эти места по линейной длине хромосомы.

Если указанные допущения действительно объясняют неравномерное распределение хроматинных (нуклеиновых) веществ по длине хромосомы, при котором строго зафиксированы их места, то какая причина заставляет этот порядок распределения аминокислот наследственно сохраняться, и почему из сложного набора отдельных аминокислот, присутствующих в клетках, не создадутся новые самые разнообразные полипептидные цепи с очень различным линейным взаимным расположением первично аминных групп?

Причиной этого по нашему мнению является то обстоятельство, что солеобразные соединения уже присутствующей полипептидной цепи с нуклеиновой кислотой вызывают строгую ориентацию образования новых полипептидных цепей в клетке. Так как нуклеиновая кислота является многоосновной кислотой, то ее молекула, будучи связана в солеобразное соединение с одной из аминогрупп полипептидной цепи, может присоеди-

нить в такой же форме связи еще другие первично аминные группы соответствующих аминокислот или полипептидных цепей.

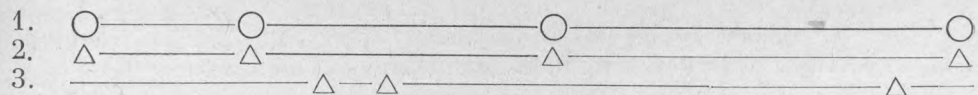
Реакции многократного присоединения в линейных молекулах повидному должны сильно зависеть от соответственного линейного расположения взаимно реагирующих групп, находящихся в другой молекулярной цепи.

Для данного случая должно иметь место пространственное линейное совпадение между группами NH_2 в аминокислотах или полипептидах и свободными кислотными радикалами нуклеиновой кислоты в геноме, следовательно если другая полипептидная цепь полностью совпадает по составу и порядку расположения аминокислот с геномной, то она присоединится к ней, и это будет соответствовать явлению конъюгации хромосом.

Если же такой полипептидной цепи, вполне подобной геномной данного организма, в клетке не имеется, то мы можем ожидать, что более или менее короткие и разнообразные цепочки, составленные из сочетаний отдельных аминокислот друг с другом, будут присоединяться к геномной тотчас же, как только линейное расстояние между группами NH_2 будет равно линейным расстояниям между нуклеиновыми группами геномной. Вероятно это может иметь место лишь при полном тождестве строения и расположения аминокислот в таких цепочках. Таким образом своеобразное строение геномной, являющейся линейно протяженной молекулой, составленной из соли полипептида и нуклеиновой кислоты, обуславливает специфичный и тождественный подбор аминокислот во вновь синтезируемой полипептидной цепи. Характерная белковая цепь в хромосомах данного организма репродуцирует сама себя и как бы способна наследственно размножаться*.

У нас нет пока прямых экспериментальных доказательств этих представлений, однако мы знаем много примеров того, что линейное расположение атомных групп в молекулах определяет собой течение химической реакции, так например, орто-фталевая кислота крайне легко дает ангидрид, в то время как мета-фталевая кислота и пара-фталевая кислота не дают его ни при каких условиях. Известно также огромное значение взаимного линейного расстояния между реагирующими группами при образовании лактонов и других соединений. Укажем еще на большую легкость образования мономерных циклических эфиров гликоля и щавелевой кислоты и трудность образования таких эфиров с дикарбоновыми кислотами, имеющими более длинную углеродную цепь.

Когда реакция взаимного присоединения протекает в одной из точек молекулы, то значение взаимной пространственной ориентации молекул не имеет большого значения, в том же случае, когда, как в наших примерах, молекулярные цепи взаимно реагируют в нескольких точках (атомных группировках), взаимная ориентация молекул должна иметь исключительно большое значение:



1. Геномная, кружками обозначены места присоединения нуклеиновой кислоты.
2. Полипептидные цепи, треугольниками обозначены места расположения NH_2 групп. Присоединение возможно.
3. Полипептидная цепь, треугольниками обозначены места расположения NH_2 групп. Присоединение невозможно.

* Все вышеизложенное является только схемой, и мы далеки от мысли утверждать, что она в точности соответствует строению хромосом. Вероятно, что хромосомные участки обусловлены не одной, а многими, близко расположенными группами NH_2 и что расстояние между этими участками может быть составлено многими аминокислотами, не содержащими свободных NH_2 групп.

Возможность течения реакции присоединения лишь при строгой взаимной линейной и пространственной ориентации реагирующих групп не только объясняет наследственное постоянство химического строения хромосом, но может быть с успехом приложена к объяснению целого ряда специфических биохимических процессов, а также процессов построения индивидуальных белков данного организма при питании его разнообразными аминокислотами и пр.

Специфическое постоянство строения полипептидной цепи с разнохарактерными функциональными группами ее состава, передаваемое из клетки в клетку и из организма в его потомство, должно привести к известному постоянству течения основных химических реакций, происходящих в клетках, а следовательно и к постоянству конечных продуктов этих реакций, что дает нам представление о материальных причинах наследственности.

Постоянство расположения отдельных функциональных групп [CO; NH; OH; C₆H₅(OH) и т. д.] по длине геномы и их взаимный порядок расположения и расстояний между ними является определяющим дальнейшее постоянство химических процессов в клетках; для этого необходимо, чтобы в клетках образовались химические вещества, которые требуются для течения этих реакций.

По нашему представлению такое последовательное динамическое постоянство течения химических процессов в клетках, а следовательно и постоянство связанных с ними форм и свойств организмов, может вполне объясняться указанным строением геномы без привлечения к этому объяснению особых, специальных генов.

Так как функциональные группы лежат в геноме между нуклеиновыми хромидными дисками, то мы полагаем, что именно эти промежуточные участки, более чем сами диски, принимают прямое участие в дальнейших реакциях, протекающих в клетках.

Наши допущения позволяют предвидеть, что в отдельных районах геномы могут находиться такие участки между двумя группами NH₂, которые могут быть замещены различными по химическому строению, но равными по длине расстояния между группами NH₂ цепочками аминокислот, в этом случае благодаря различиям функциональных групп мы будем иметь мутационные изменения течения химических реакций в клетках, которые должны привести к мутациям организма.

В отдельных случаях повидимому это может происходить особенно легко (замещение аланина серином, лейцина—изолейцином и т. п.), и поэтому для этих участков геномы мы будем иметь то, что генетики называют мутабельными районами хромосом.

Таким образом мутации организма могут быть обусловлены или изменениями состава и порядка расположения аминокислот в полипептидных цепях хромосом, или образованием в клетках таких цепочек аминокислот, присоединяющихся к геноме, которые отличны по своему химическому составу, но тождественны по линейному расстоянию между группами NH₂ отдельным участкам типичной полипептидной цепи хромосомы.

Поступило
11 I 1939.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. К. Кольцов, Организация клетки (1936); Н. К. Кольцов, Биологич. журнал, 7 (1938). ² G o l d s c h m i d t, Physiological Genetics (1938). ³ W r i n c h, Protoplasma, XXV, 550 (1936).