

ГЕНЕТИКА

М. С. НАВАШИН, Е. Н. ГЕРАСИМОВА и Г. М. БЕЛЯЕВА

**О ХОДЕ МУТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В КЛЕТКАХ ЗАРОДЫША
ПОКОЯЩИХСЯ СЕМЯН**

(Представлено академиком Н. И. Вавиловым 16 I 1940)

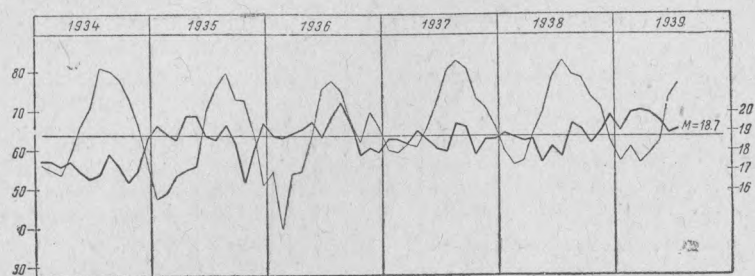
Для выяснения природы изменений, происходящих в семенах при их хранении и вызывающих мутации, важно установить характер связи между возрастом семян и числом обнаруживающихся мутационных изменений. Процент мутаций зависит от ряда условий, без учета которых невозможно характеризовать протекание мутационного процесса. На первом месте среди этих условий стоят, как известно, температура и влажность. В конце 1933 г. мы заложили опыт, имевший целью определить нарастание процента мутантов в материале, сохраняющемся в условиях, не изменяющихся из года в год. Семена были помещены в точно контролируемых условиях в весовом подвале Института метрологии и стандартизации (Ленинград) с разрешения проф. А. Н. Доброхотова. Температура в этом подвале в течение года колеблется незначительно, а относительная влажность воздуха претерпевает очень правильные сезонные изменения (см. ниже). Температура и относительная влажность воздуха в течение всего времени, протекшего с заложения опыта (декабрь 1933 г.), изо дня в день регистрировались при помощи самопишущих приборов; выполнением этой работы мы обязаны сотруднице лаборатории мер массы, тов. Чистович. На фиг. 1 даны кривые температуры и относительной влажности воздуха за время с декабря 1933 г. по июль 1939 г. Из этих кривых можно видеть, что температура не особенно правильно колебалась около годовой средней, равной $+18,7^{\circ}$; самая низкая температура была равна $+16,4^{\circ}$, самая высокая $+20,5^{\circ}$. Наиболее холодный месяц в подвале—октябрь, теплее всего там в весенние и летние месяцы; очевидно, подвал не вполне изолирован от сезонных влияний. Чрезвычайно правильные изменения обнаруживает влажность. Будучи минимальной (40—50%) в январе—феврале, она начинает быстро возрастать в марте, достигая максимума в июле—августе (80%). Эти сезонные колебания влажности вполне понятны: подвал, сохраняющий сравнительно постоянную температуру, зимой высыхает, а летом, когда он много холоднее наружной атмосферы, конденсирует влагу. Совершенно аналогичное положение должно существовать в любой глубокой пещере, расселине и пр.; поэтому описываемый опыт в той форме, в какой он проведен, проливает некоторый свет на обстоятельства, несомненно, часто встречающиеся в природе.

В этом сообщении мы излагаем результаты исследования семян *Crepis tectorum* и *C. capillaris*, сохранявшихся в подвале с 1933 г. Значительное количество семян *Crepis tectorum* (урожая того же 1933 г.) было помещено

в подвал; вместе с семенами других растений они были уложены в жестяную коробку, снабженную отдушиной; хорошо сообщаясь с воздушной средой, семена были в то же время почти полностью защищены от света. Ровно через 2 года (23 ноября 1935 г.) было добавлено большое количество семян *Crepis capillaris* (урожая 1934 г.) (сохранявшихся в течение одного года до помещения в подвал в лаборатории в Москве).

Определение содержания влаги в семенах, хранившихся в подвале, было произведено дважды. В мае 1936 г. в семечках *Crepis tectorum* содержание влаги оказалось равным 9,1%, а в зерновках ржи (хранившейся в той же коробке)—14,5%. В апреле 1938 г. семечки *Crepis capillaris* оказались содержащими 7,4% влаги. Эти цифры говорят о повышенном содержании влаги.

В начале 1936 г. первые порции семян урожая 1933 г. различных рас *Crepis tectorum* были взяты для исследования. Несмотря на их низкий



Фиг. 1. Температура в градусах Цельсия (цифры справа, толстая черта) и относительная влажность воздуха в процентах (цифры слева, тонкая черта), месячные средние за весь период опыта (1934—1939). Средняя температура за тот же период (M) показана горизонтальной чертой.

возраст (около $2\frac{1}{2}$ лет), семена всех порций оказались почти полностью потерявшими всхожесть, а жизнеспособность немногих получившихся проростков была почти равна нулю. На основании этих наблюдений в начале лета того же года (1936 г.) были взяты для исследования дополнительные порции более свежих семян *Crepis tectorum* и *C. capillaris*; семена последнего растения, как нами показано уже давно, отличаются гораздо большей устойчивостью. Как и следовало ожидать, способность к прорастанию и жизнеспособность сеянцев *C. tectorum* успели уже сильно снизиться; напротив, зародыши *C. capillaris* оказались, как обычно, гораздо более устойчивыми. Так, процент всхожести у *C. tectorum* колебался от 22,5 до 45,1, а процент выживших сеянцев—от 20,0 до 40,4; у *C. capillaris* соответственные цифры были от 75,0 до 96,0 и от 66,5 до 92,5.

Все выжившие сеянцы были выращены и корешки достаточно развитых растений подвергнуты цитологическому исследованию. Ход мутационного процесса было решено проследить по накоплению структурных изменений хромосом, т. е. транслокаций и инверсий, непосредственно видимых под микроскопом. Накопление мутаций характеризовалось нами числом различных структурных изменений хромосом, отнесенным к общему числу изученных растений (в процентах). Строго говоря, таким способом улавливались лишь жизнеспособные изменения, и притом возникшие лишь в тех клетках, которые дали начало ответвлениям корней; все же прочие многочисленные изменения, возникающие в разных клетках зародыша, ускользали от наблюдения. Таким образом под процентом мутации мы понимаем в дальнейшем относительное число различных жизнеспособных хромосомных перестроек, сохранившихся в корнях развитых расте-

ний, выраженное в процентах от числа исследованных растений. Разумеется, подобная характеристика условна, но для целей сравнения она вполне пригодна.

Всего были изучены таким образом 4 порции семян *C. capillaris* (одной и той же расы № 34.2004), взятые в 1936, 1937, 1938 и 1939 гг. Результаты исследования содержатся в таблице и наглядно изображены кривыми фиг. 2.

Результаты исследования проб семян *Crepis capillaris*, хранившихся в подвале Института метрологии

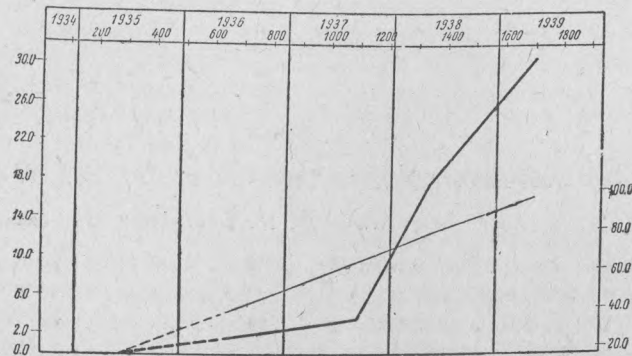
Дата взятия пробы	Время, протекшее с момента созревания («возраст») семян в днях	Число взятых семян	Получено семянцев		Выжило растений		Исследовано растений	Найдено структурных хромосомных мутаций	
			Число	%	Число	%		Число	%
1936, июнь	639	200	150	75,0	131	65,5	130	2	1,5
1937, сентябрь . . .	1 096	522	317	60,7	196	37,6	196	7	3,6
1938, май	1 338	2 000	442	22,1	442	22,1	221	39	17,7
1939, май	1 703	5 039	311	6,2	198	3,9	190	58	30,5

Из рассмотрения этих данных мы получаем достаточно ясное представление о ходе мутационного процесса, а также о его взаимоотношениях с вымиранием зародышей, происходящим при лежке семян, и вымиранием молодых растений. Легко видеть прежде всего, что мутационный процесс развивается не пропорционально времени, а во много раз быстрее; лишь вначале наблюдается пропорциональность, но с некоторого момента (после 1 000 дней) процент мутаций начинает быстро возрастать. Так, удлинение срока лежки в 1,2 раза связано с увеличением процента мутаций почти в 5 раз, удлинение в 1,5 раза — с увеличением процента мутаций почти в 9 раз. Таким образом не остается никаких сомнений, что мы, действительно, имеем дело с биологическим процессом, а не с простой аккумуляцией прямых результатов внешнего воздействия.

Процент вымирания, напротив, обнаруживает почти идеальную прямолинейную связь с продолжительностью лежки, как прекрасно видно на фиг. 2. Из этого, между прочим, непосредственно следует, что вымирание не может обуславливаться одним лишь накоплением мутаций, а должно зависеть и от каких-то иных причин. Эти же цифры еще раз полностью опровергают утверждение Гериберта Нильссона о том, что накопление мутаций есть, якобы, следствие избирательного вымирания: в нашем случае с чрезвычайной ясностью видно, сколь далеко от обратной пропорциональности отношение между процентом мутаций и процентом выживания.

Наконец, необходимо остановиться еще на одном существенном обстоятельстве, открывающемся при рассмотрении фиг. 2. Если произвести экстраполяцию, продолжив кривые влево (пунктир фиг. 2), т. е. вернуться к более свежим семенам, мы найдем, что и вымирание, и мутирование должны начинаться с возраста в 300 дней, причем обе кривые удивительно точно сходятся в этой одной точке. Этот результат экстраполяции прекрасно согласуется с непосредственными наблюдениями, из которых нам давно известно, что в семенах *C. capillaris* этого возраста мутаций практически

еще нет вовсе, а процент выживания близок к 100. У другого объекта, исследованного нами, *C. tectorum*, потеря жизнеспособности и развитие мутационного процесса начинаются, как мы отмечали выше, гораздо раньше. Это различие между обоими видами имеет глубоко приспособительное происхождение: в то время как *C. capillaris*—типичный однолетник, и поэтому семена его нормально прорастают весной, сохраняясь в течение 250—270 дней в состоянии покоя, *C. tectorum*—растение озимое, и его семена, как правило, прорастают в природе немедленно по созревании.



Фиг. 2. Ход мутационного процесса в зародышах семян *Crepis capillaris*. По оси абсцисс отложено время в днях, протекшее с момента созревания семян (сентябрь 1934 г.). По оси ординат—процент мутаций (цифры слева) и процент вымирающих зародышей и сеянцев (цифры справа). Толстой линией представлен процент мутаций, тонкой—процент вымирания. Пунктир—экстраполяция обеих кривых, приводящая к нулевой точке около 300-дневного возраста семян.

Мутационный процесс в материале, изученном нами, шел значительно скорее, чем он идет при хранении семян в обычных комнатных условиях. Это, конечно, объясняется повышенной влажностью. Нужно думать, что в ряде случаев, когда семена хранятся в глубоких расселинах, пещерах, подвалах и даже больших зданиях с массивными стенами, т. е. всюду, где имеет место конденсация влаги в летние месяцы, мутирование будет происходить скорее, чем при обычном хранении, например, в комнате обычного дома, где относительная влажность воздуха много ниже.

Поступило
5 II 1940