

А. С. ЗУРАБЯН

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАВНОВЕСНЫХ ПОПУЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ БИОСФЕРЫ

Согласно теоретическим представлениям популяция находится в равновесии при соблюдении условия  $H^2 = 4DR$ , где  $H$ —частота гетерозигот, а  $D$  и  $R$ —частота гомозигот-доминантных и рецессивных соответственно, причем, согласно закону Харди, равновесное состояние относительно одного гена наступает после первого поколения в популяции, где осуществляется панмиксия и отсутствуют какие-либо давления мутаций, отбора и миграции.

При рассмотрении действия давления мутаций на равновесную популяцию следует учесть наличие прямых и обратных мутаций. Известно, что частота обратных мутаций на порядок ниже частоты прямых. Если рассматривать случай одного гена и обозначить частоту прямых мутаций через  $u$ , а обратных—через  $v$  за одно поколение, то изменение частоты генов за одно поколение составит:  $\Delta q = ur - vq$ . Равновесие наступит при  $\Delta q = 0$ , т. е. при  $ur = vq$  ( $r$ —частота доминантного аллеля, а  $q$ —рецессивного). Отсюда следует, что при уровне мутаций, наблюдаемых у различных биологических объектов,  $10^{-4} \div 10^{-8}$ , изменение частоты генов будет происходить очень медленно.

Если на популяцию не будут действовать другие факторы (в частности отбор), то так как частота обратных мутаций на порядок меньше частоты прямых, концентрация мутантных генов будет на порядок выше, чем генов дикого типа, чего в природных популяциях не наблюдается.

Из той же формулы видно, что повышение мутабельности в популяциях за счет понижующих излучений или химических мутагенов увеличивает как частоту прямых, так и обратных мутаций, что, конечно, не приводит к изменению равновесного состояния.

Естественно, что рассмотренная выше модель достаточно абстрактна и не адекватна природным популяциям.

Рассмотрим, как влияет увеличение частоты мутаций в популяции, в которой действует отбор.

Отбор, действующий против рецессивных генов, поддерживает пропорцию прямых и обратных генов на совершенно другом уровне.

Для полностью рецессивного гена с учетом отбора

$$\Delta q = \frac{sq^2(1-q)}{1-sq^2} = u(1-q) - vq.$$

Если иметь дело с вновь возникшими мутациями, то, учитывая их низкую частоту, можно принять  $vq$  и  $sq^2$  равным 0 и переписать предыдущее выражение в такой форме:

$$u(1 - q) = sq^2(1 - q), \quad u = sq^2, \quad \text{а } q = \sqrt{\frac{u}{s}}.$$

Ниже приведены частоты генов и генотипов при различных уровнях отбора для рецессивного гена, при величине частоты мутаций  $10^{-5}$ .

$s = 0,001$	0,001	0,1	0,5
$q = 0,1$	0,03	0,01	0,0045
$q^2 = 0,01$	0,001	0,0001	$2 \cdot 10^{-3}$

Как видно, совместное действие давлений мутаций и отбора, при учете прямых и обратных мутаций, дает картину, которую мы наблюдаем в природных популяциях как животных и растений, так и человека. При коэффициенте отбора  $s$  частота генетических смертей составляет  $sq^2$ , величина, которая, как мы уже видели, равна  $u$ . Т. е. частота генетических смертей в равновесном состоянии равна частоте прямых мутаций  $u$ . При увеличении частоты мутаций популяция стремится к новому равновесному состоянию, такому, при котором увеличение частоты мутаций приведет к пропорциональному увеличению частоты генетических смертей. Однако приближение к новому равновесному состоянию происходит крайне медленно. Так, в первом поколении это изменение составит:

$$\Delta q = u(1 - q) - sq^2(1 - q).$$

При низких концентрациях  $q$  величину  $(1 - q)$  можно принять за 1. Тогда  $\Delta q = u - sq^2$ . При  $u = 10^{-5}$  увеличение частоты в два раза приведет к изменению  $\Delta q = 2 \cdot 10^{-5} - 10^{-5} = 10^{-5}$ , т. е. скорость изменения за поколение составит  $10^{-5}$ .

Таким образом, из теории следует, что повышение скорости мутаций в популяции не должно существенно и быстро изменить равновесное состояние популяции при фиксированном коэффициенте селекции. Как мы видели, именно отбор сохраняет существующие частоты генов в природных популяциях. С этой точки зрения наблюдаемое в популяциях человека снижение уровня отбора представляется гораздо более важным. Дефектные гены, обладатели которых ранее были обречены на гибель или на генетическую смерть, в настоящее время увеличивают свою частоту. Так, например, люди с врожденными пороками сердца, в развитии которых генетический фактор играет существенную роль, редко достигали репродуктивного возраста. В настоящее время, благодаря развитию хирургической техники, операции по поводу врожденных пороков с искусственным кровообращением становятся стандартными. Только в Ереване за год проводится коррекция примерно у 100 детей, что позволяет этим детям достигнуть репродуктивного возраста, иметь семью и детей.

Таким образом, повышение уровня мутаций, сопровождающееся повышением уровня отбора, может значительно сместить популяцию из равновесного состояния. Эти выводы получили экспериментальное подтверждение в опытах на модельных популяциях *Drosophila melanogaster*, в которых было показано, что повышение скорости мутаций вызывает повышение процента мутантных генов, причем этот процент поддерживается на определенном уровне в зависимости от уровня отбора.

Необходимо подчеркнуть, что, с одной стороны, в теории учтены не все факторы, а с другой—что все эти выводы касаются количественно стабилизированных популяций, популяции же человека далеко нельзя считать количественно стабилизированными. По данным ЮНЕСКО, популяции человека интенсивно увеличиваются и в таких популяциях можно ожидать значительного увеличения концентрации вредных генов при повышении уровня мутаций.

И еще один момент. Популяции человека в своем большинстве относятся к так называемым иерархическим популяциям, а в таких популяциях, как показано, уровень полиморфизма значительно выше. Если при этом учесть, что некоторые вредные или даже летальные рецессивные мутации в гетерозиготном состоянии обладают большой жизнеспособностью (сверхдоминирование), то становится ясным, что вероятность закрепления вредных генов в таких популяциях значительно повышается по сравнению с панмиктическими популяциями.

Как же можно оценить и попытаться понизить влияние увеличения концентрации разнообразных факторов во внешней среде на популяцию?

Разумеется, одна из важных мер, которая уже сейчас должна быть применена,—не допускать к работе с эвентуально мутагенными веществами людей, не достигших конца репродуктивного возраста (не в генетическом, а социальном смысле), наряду с мерами, препятствующими проникновению мутагенов в биосферу.

Необходимо организовать в нашей республике и во всем Союзе постоянно действующую медико-генетическую службу, которая проводила бы постоянный контроль над уровнем мутабельности человека и у классических объектов генетики—плодовой мушки и мышей.

Филиал Всесоюзного научно-исследовательского  
института клинической и экспериментальной  
хирургии МЗ СССР

Поступило 15.VI. 1976 г.

Ա. Ս. ԶՈՒՐԱՔՅԱՆ

ԱՂՏՈՏՎԱԾ ԲԻՈՍՖԵՐԱՅԻ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇԻՌ  
ՊՈՊՈՒԼՅԱՑԻԱՆԵՐԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԲԵՈՒԹԱԳՐԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հավասարակշիռ պոպուլյացիաների ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ պոպուլյացիաներում մուտացիաների մակարդակի բարձրացումը, որը ցու-

գաղիպվում է ընտրութեան մակարդակի իջեցման հետ կարող է պոպուլյացիայի համատարակչութեան սկիզբէն սեղաշարժել: Ակտի տաննալով այն հանգամանքը, որ մարդու պոպուլյացիան լինելով ըստ կառուցվածքի իերարիկ և շհամարվում քանակական ատաբիլիզացված, վարելի է ենթադրել, որ նոր լինելով քանակական անձանկում է: Առաջարկված է ատեղծել մշտապես գործող բժշկա-գենետիկական իմքեր քանակական համար քիմիքերայի ազդեցութեամբ մարդու պոպուլյացիաների վրա: