

УДК 575.113:536/636

РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ГЕНО-ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ ЖИВОТНЫХ

***В.Д.Кучин**, доктор физико-математических наук, профессор
Национальный аграрный университет*

***А.Л.Трофименко**, доктор биологических наук, профессор
Национальный аграрный университет*

***М.И.Гиль**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Николаевский государственный аграрный университет*

***В.Н.Теодорович**, старший научный сотрудник, соискатель
Национальный аграрный университет*

Известно, что популяции составляют генетико-динамические структуры любого вида животных. Изначально вид развивается в популяции. Последняя генетически и энергетически структурирована

в соответствии с законами равновесия Харди-Вайнберга и термодинамики. В основе генного равновесия, например, лежит полное соответствие количества гомозиготных и гетерозиготных генотипов согласно уравнению: $p + q = 1$. Частотная оценка их практически во всех популяциях, как свидетельствует вероятностная математика, вскрывает интересный биологический факт: все прогрессивные изменения в популяциях достигаются благодаря энтропии, а регрессивные — негэнтропии.

Поскольку ген является носителем информации синтеза белков: потенциальной энергии (структурных белков) и кинетической энергии (функциональных белков) — замечается параллелизм генетического и энергетического равновесия в популяциях животных. Частичному освещению этого феномена и посвящено данное сообщение.

В генетике популяций давно установлено, что популяции всегда динамичны. Популяция вблизи равновесия однозначно реагирует на возмущение (селекцию), возвращаясь уже в первом поколении в состояние равновесия генов. Если популяция удаляется от состояния равновесия, то она может стать неустойчивой. Вопреки второму закону термодинамики, эволюционируя от популяции простейших форм к высшим организмам, популяции самоорганизовались и остаются стремительными к уменьшению энтропии (хаоса). Вместе с тем, они подчас оказываются неустойчивыми к самым незначительным изменениям: давлению рецессивных или доминантных генов, летальности генов, дрейфу генов и загрязнению внешней среды.

В течение длительного времени считали, что к популяциям второй закон термодинамики неприменим. С точки зрения классической термодинамики, жизнедеятельность является процессом, вероятность протекания которого ничтожно мала. Все процессы, протекающие в популяциях, должны приближать их к термодинамическому равновесию, к минимуму свободной энергии и возрастанию энтропии, устранению градиентов физических величин. Но, применительно к организмам это означает смерть. Однако жизнь продолжается. Данное противоречие объясняется тем, что законы

классической термодинамики установлены для закрытых систем, под которыми подразумеваются только термодинамические, способные обмениваться энергией с внешней средой. Жизнь популяции происходит в открытой системе, которая для сохранения своего состояния непрерывно обменивается генами и энергией.

Открытые биологические системы многообразны и крайне сложны. Формообразование, метаболизм и динамичность популяции — главные направления их оценки. Взаимодействие со средой многофакториально: синтезы и ресинтезы (закономерная и мутантная наследственность). И в каждом варианте есть типичная энтропия — мера неустойчивости (беспорядка). Для эволюции — это один уровень, для онтогенеза — другой, для молекулярного биосинтеза белка — третий, для сохранения популяции и вида — четвертый.

Популяция представляет собой сложную саморегулирующуюся систему, которая характеризуется обменом генов. Генотипы существуют за счет селекции и окружающей среды. Границы существования возникают не столь произвольно, как для термодинамических закрытых систем. Они ограничивают некоторую пространственно-временную область, характеризующую диссипативную структуру. В последних когерентное поведение на надмолекулярном уровне является проявлением молекулярных свойств генов в условиях, далеких от термодинамического равновесия.

Взаимодействие популяции со средой обусловлено различными отличительными процессами: структурными и функциональными, т.е. неслучайными изменениями. Вероятностные изменения ее генотипов в популяциях может осуществляться на уровне макромолекул (мутации), клеток и рекомбинаций хромосом. Исходя из указанных процессов, характеризующих популяции, следует, что селекция различных генотипов, проводимая человеком, несет в себе конкретную информацию о величине энтропийных свойств. Они являются типичными для каждой популяции, подверженной селекции. Последняя в открытой популяции приближает ее к устойчивому стационарному состоянию. Согласно теории И.Пригожина, переход ее в новое стационарное состояние связан с

уменьшением потребления энергии. Общее изменение свободной энергии “ dE ” и энтропии “ dS ” в популяции разделяет две составляющих — $dE = dE_i + dE_e$ и $dS = dS_i + dS_e$. Знаки “ i ” и “ e ” соответственно означают внутреннюю и внешнюю популяции. Так как все генетически контролируемые процессы являются необратимыми (такими, которые протекают с превращением части энергии в тепло), то в результате этого свободная энергия генотипов непрерывно уменьшается ($dE_i < 0$), а энтропия растет ($dS_e > 0$). Но в популяции протекают и противоречивые процессы. Например, активный транспорт, при котором вещество переносится против градиента концентрации. Эти процессы, как правило, имеют локальный характер, но они всегда сопряжены с процессами, протекающими по градиенту. Активный процесс переноса генов против градиента концентрации сопровождается процессом гидролиза аденозинтрифосфата (АТФ). При этом эффективность превращения энергии АТФ не будет полной в результате чего свободная энергия генотипа будет уменьшаться, как и общий термодинамический потенциал.

В популяции свободная энергия постоянно восполняется за счет поступления ее из внешней среды, а энтропия, детерминированная генами внутри популяции, постоянно выводится, что означает $dS_e > 0$ и $dS_e < 0$. Таким образом, выделение популяцией конечных продуктов приводит к уменьшению ее энтропии, т.е. она поглощает “отрицательную” энтропию (негэнтропию), т.к. упорядоченность процессов жизнедеятельности не определяется термодинамической энтропией. Она создается за счет расхода поглощенной энергии на основе особых генетических информационных механизмов, обеспечивающих постоянство реакций биосинтеза белка каждого генотипа.

Понятие негэнтропии удобно использовать для формального описания термодинамики популяции. Энтропия ее не будет изменяться, если: “ $dS_i = dS_e$ ” и может уменьшаться при: “ $dS_i < dS_e$ ” (жизненный процесс). При: “ $dS_i > dS_e$ ” энтропия будет расти, процесс становится неравновесным, что в конечном итоге приведет к разрушению (биологической смерти организмов). Но так как в

живых популяциях энтропия всегда возрастает, то согласно второму закону термодинамики можно записать: $\frac{dS}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt}$, т.е. скорость возрастания энтропии в популяции равно алгебраической сумме скорости производства энтропии внутри генотипа и скорости поступления негэнтропии из среды.

В общем виде связь между энергией (депонирование и функциональные белки) “W” и энтропией “S” имеет вид: $dS = dW/T$, где “T” — температура в абсолютной шкале, т.е. является величиной сугубо положительной. Поэтому, согласно законам статистической термодинамики при получении популяцией энергии ее энтропия должна возрастать. Если энтропия отрицательна, что характерно для открытых биосистем, то можно считать условно: “ $T < 0$ ” (отрицательная температура). Все системы с инверсионной заселенностью энергетических уровней, широко используемые в квантовой электронике, можно трактовать как системы с “отрицательной” температурой. Этот вывод является следствием математической интерпретации систем с инверсионной заселенностью энергетических уровней, т.е. с такой заселенностью, при которой более высокие энергетические уровни “ ϵ ” заселены более плотно, чем низшие уровни энергии. Заселенность энергетических уровней описывается уравнением Больцмана: $f_B = A \exp(-\epsilon/kT)$, где “A” — заселенность самого нижнего энергетического уровня. Из приведенного уравнения следует, что из двух энергетических уровней “ $\epsilon_2 > \epsilon_1$ ”; уровень “ ϵ_1 ” в условиях термодинамического равновесия будет заселяться с большей вероятностью “ ϵ ” по сравнению с заселенностью уровня “ ϵ_2 ”. Если же предположить, что “ $T < 0$ ”, то уравнение Больцмана опишет инверсную заселенность энергетических уровней в популяции. Поэтому системы с инверсной заселенностью энергетических уровней и системы с отрицательной температурой — эквивалентные понятия.

Системы в различных стационарных состояниях, но в термодинамическом равновесии, с учетом выполнения закона сохранения количества составляющих системы (“N”) описываются классическим уравнением Больцмана: $(N/N_i) \exp(-\epsilon_i/kT)$, где

“ N_i ” — число составляющих, имеющих энергию “ ϵ_i ”. Можно показать, что любая популяция, находящаяся в менее вероятном состоянии, будет стремиться изменить его в направлении этого вероятного состояния. Таким образом, состояние термодинамического равновесия составляющих популяцию генотипов определяется как конкретное статически стационарное состояние. Биосинтез белка (анаболизм) в клетке — наполнение результирующего признака (живой массы тела), как и катаболизм — расходование белка в клетках (уменьшение живой массы) — тому подтверждение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блюмендфельд Л.А. Проблемы биологической физики.-М.:Наука, 1974.-607с.
2. Волькенштейн М.В. Общая биофизика.-М.:Наука, 1978.-420с.
3. Копанев В.И., Шакула А.В. Влияние гипогеомагнитного поля на биологические объекты.-Ленинград:Наука, 1985.-72с.
4. Нучин В.Д., Трофименко А.Л. Электромагнитные поля в атмосфере Земли и их биологическое значение.-М.:Наука, 1984.-375 с.