

ПРИРОДА

2001 12



В НОМЕРЕ:**3 Лебедев В.В.****Компьютерное моделирование рыночных механизмов**

Моделирование процессов в макроэкономике показывает, что рыночные механизмы не всегда способны привести систему в равновесие. Чтобы избежать хаоса, надо использовать государственное регулирование.

11 Петросян В.С.**Газовые шлейфы автотранспорта**

Автомобили выбрасывают множество токсичных соединений, которые отравляют воздух и почву, вызывая болезни населения и растений. Но, увы, альтернативы этому средству передвижения пока нет.

Калейдоскоп**17**

2000-й – год засух и пожаров (17). – Наводнения в 2000 году (17). – Ураганы в 2000 году (17). – Еще раз о причинах потепления в XX веке (42). – Микрораптор – самый мелкий из динозавров (63). – Остатки «допотопных» поселений на дне Черного моря (63). – Как обезопасить самолет от вулкана? (64). – Истории и искусству нанесен тяжелый удар (64).

18 Фокин С.И.**Ковалевские, Шевяковы, Догели. Сплетение судеб****28 Шевелев И.А.****Волновые процессы в зрительной коре мозга**

Идея о сканировании зрительной информации альфа-волной, высказанная более 50 лет назад, теперь подтверждается в экспериментах.

Вести из экспедиций**36 Рогачев К.А., Гогина Л.В.****Вихри течения Ойясио**

Эти вихри, растянутые вдоль Курило-Камчатского желоба, играют важную роль в быстрых изменениях климата северной части Тихого океана.

43 Захаров И.А.**Сексуальная жизнь божьей коровки**

Хотя половое поведение изучено очень хорошо, отдельные его моменты представляют огромный интерес с эволюционной точки зрения.

48 Леин А.Ю., Ульянова Н.В., Пименов Н.В.**Черноморские «кораллы» – продукт минерализации микробных матов****Заметки и наблюдения****55 Булавинцев В.И.****Семья малого крикуна****Красная книга****57 Гладышев А.И.****Ферулы – источники уникальных лечебных смол****Научные сообщения****65 Басов И.А.****Новый этап бурения в юго-западной части Тихого океана (181-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)****Новости науки****67**

Эхо Большого взрыва (67). – Хоровод вокруг черной дыры. Сурдин В.Г. (67). – Ядро суперкометы выдает неизвестную планету? (69). – Атмосферы планет разрушает солнечный ветер? (69). – Индия: первый научный спутник (70). – Состояние озоносферы в 2000 году (70). – Графитовый «стручок», фуллереновый «горох» (71). – SESAME нашел себе место (72). – Спинтроника предлагает... (72). – Морозоустойчивый дождевой червь (72). – Три Сестры угрожают (73). – Происхождение птиц: картина усложняется (74).
Коротко (27)

Рецензии**75 Миркин Б.М.****Феномен Николая Реймерса****Новые книги****78****Встречи с забытым****80 Богданов В.В.****Последний землепроходец из плеяды Нансена и Амундсена К 100-летию со дня рождения Г.А.Ушакова****86****Тематический и авторский указатели журнала "Природа" за 2001 год**

Сексуальная жизнь божьей коровки

И.А.Захаров

Предмет этих заметок может показаться занятным неспециалисту. Для биолога же проблема полового размножения в тех конкретных формах, в которых оно осуществляется у разных организмов, не просто любопытна, а представляет огромный интерес с позиций эволюционной теории. Действительно, каждый отдельный организм смертен, а их совокупность, т.е. биологический вид, — потенциально бессмертна. Смысл существования организма (не будем здесь рассуждать о смысле жизни человека) — сохранение своих генов в потомстве. Для успешного решения этой задачи нужно произвести как можно больше потомков, в той или иной степени обеспечить их ресурсами и, наконец, соединить свои гены с генами наиболее подходящего партнера (поскольку большинство высших организмов размножается половым путем). Каждый вид по-своему решает эти общие задачи. Неудачные способы отбрасываются в ходе эволюции, а то огромное разнообразие форм взаимодействия мужских и женских особей разных видов, наблюдаемое биологами, хотя, без сомнения, и обеспечивает сохранение генов в потомстве, но далеко не всегда нам понятно.



Илья Артемьевич Захаров, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук. Заместитель директора Института общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН. Автор более 200 печатных работ по различным разделам генетики (радиационной генетике, мутагенезу, генетике микроорганизмов, цитоплазматической наследственности, истории генетики), в том числе нескольких монографий и учебников. С 1975 г. изучает генетику и популяционную биологию жуков-кокцид (божьих коровок). Заслуженный деятель науки РФ (1999).

Речь пойдет о насекомых, а именно о тех ярко окрашенных и симпатичных жуках, которых называют божьими коровками*. Это народное название очень старое, повторяющееся в разных вариантах на нескольких европейских языках и санскрите и отражающее какие-то древние верования. В них улетающее в небо красное насекомое воспринималось как животное, принадлежащее Богу и возвращающееся к нему. Поведение божьих коровок при размножении хорошо изучено; порой оно сходно с поведением других насекомых,

* Подробнее см.: Захаров И.А. Красное и черное // Природа. 1992. №5. С.46—51.

отдельные же из описываемых ниже явлений совершенно своеобразны.

Встреча полов, ухаживание и спаривание

У некоторых видов божьих коровок, например у сибирской хармонии, самцы и самки легко различимы: голова самца белая, самки — черная с белым пятнышком. Самцов и самок европейских видов внешне отличить трудно или даже невозможно. Для этого их приходится умерщвлять и вскрывать, а то



Пара жуков хармония. Сверху — самец, под ним — самка. Спаривание происходит в лаборатории, жуки находятся в чашке Петри.

и дождаться момента спаривания, когда самец занимает определенную позицию — сверху, на спинке самки.

Если самцов и самок на несколько дней изолировать, а потом соединить, поместив в прозрачную чашку Петри, спаривание может произойти в течение нескольких секунд. Распознавание партнера происходит почти мгновенно, и если самка зрелая, уже имевшая сексуальный опыт, то сколько-нибудь продолжительного «ухаживания» не требуется. Напротив, при встрече готового к спариванию самца и молодой, еще девственной самки разыгрываются душещипательные сцены обольщения, преследования, борьбы и, наконец, лишения невинности.

Опишем, как это происходит у наиболее часто встречающейся в Европе и особенно хорошо изученной двуточечной божьей коровки (*Adalia bipunctata*).

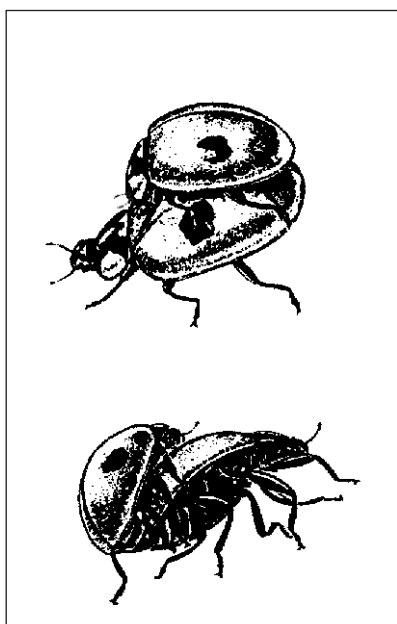
При встрече с другим жуком самец адалии старается забраться на спину. Если под ним оказался жук иного вида или не женского пола, самец немедленно слезает. Если же это самка, он делает попытку спариться с ней.

Во время спаривания самка не занимается активными поисками пищи, хотя и не отказывается от нее. Самец адалии во время спаривания обычно не двигается, а если он относится к более крупным видам (например, семиточечным коровкам), ведет себя темпераментно, «страстно», периодически резко раскачиваясь слева направо, так что наблюдать за этими парами малолетним детям не рекомендуется.

Адалии — чуть ли не единственный вид животных, самцы которого способны во время одного спаривания эякулировать два-три раза. Спаривание у них, как и у других божьих коровок, продолжается исключительно долго — от одного до нескольких (чуть ли не до восьми-девяти) часов. Адалии в благоприятных условиях способны спариваться ежедневно и, вероятно, даже по нескольку раз в день.

Каков биологический смысл такой длительной, многочасовой копуляции? Казалось бы, она вредна: жуки, во всяком случае самцы, при этом не питаются, пары малоподвижны и на них могут напасть хищники. Почему же эволюция растянула процесс спаривания на столь длительное время? На этот вопрос сейчас можно дать только один ответ: это выгодно самцу; он препятствует спариванию самки с другими жуками и тем самым увеличивает шансы на передачу своих генов потомству. Если самцы млекопитающих обычно придерживаются активной тактики, отгоняя конкурентов от своей избранницы или своего гарема, то тактика самцов божьих коровок пассивная — просто долго сидеть на самке, не прерывая с ней контакта и тем самым лишая конкурентов возможности спаривания.

Запаса спермы, который получает самка адалии, хватает для откладки около 550 оплодотворенных яиц. При обычном размере кладки в 15–20 штук (максимально — до 40) однократно оплодотворенная самка



Спаривание жуков адалия: самка приподнимает брюшко, препятствуя самцу осуществить эффективное спаривание (вверху); самка пытается сбросить самца (внизу).



Спаривание красных адалий с различным рисунком на надкрыльях.

оставляет способные к развитию яйца в течение примерно месяца. При повторных спариваниях за сезон она может отложить более 1000 штук.

Если спермы, полученной от одного самца, хватает на оплодотворение большого числа яиц в течение длительного времени, то каков биологический смысл повторных и многократных спариваний божьих коровок? Выгода для самца очевидна — он реализует свое стремление передать гены как можно большему числу потомков. Для самки ответ не столь ясен; вероятно, оставляя от каждого самца потомство, она разнообразит ту «генетическую среду», в которую будут включены ее гены. Один из многих партнеров может оказаться особенно хорошим производителем, и именно от него появится наиболее удачное потомство, которое в свою очередь сохранит и воспроизведет ее гены.

Выбор партнера

Для биолога вид *Adalia* интересен тем, что он — полиморфный: в одной и той же местности обитают жуки совершенно разной окраски, образующие единое сообщество*. В европейских популяциях встречаются два типа окраски надкрыльев —

* Подробнее см.: Захаров И.А. // Генетика. 1995. Т.31. №2. С.149—161.

красный с двумя черными точками и черный с четырьмя или шестью красными пятнами. В разных местах численно преобладают либо красные (например, в Москве более 90%), либо черные (в Петербурге 80%). Если в Ялте, например, черных в популяции 60% и жуки спариваются случайно, не обращая внимания на окраску партнера, то следует ожидать образования пар: красная самка и красный самец в 16% случаев, черная самка и черный самец в 36% случаев и с разной окраской партнеров в 48% случаев.

Как происходят спаривания адалий в природе, впервые изучили еще в начале прошлого века в Германии, а в 1961 г. советский зоолог и генетик Янис Янович Лусис опубликовал результаты обширных наблюдений, полученные им в Москве и в Риге. Его данные свидетельствовали о неслучайном образовании пар.

Наилучшее место для проведения таких исследований — морская набережная Ялты. На несколько сотен метров вдоль берега моря тянется полоса кустарника тамариска, на котором в июне в солнечные дни образуется великое множество пар. Согласно нашему учету, смешанные пары с участием красных и черных жуков здесь возникают значительно чаще, чем ожидается, — не в 48% случаев, а в 62%.

Помимо этого был получен еще один интересный результат. Мы изучили образование пар не только в Ялте, но и в Севастополе, где черных жуков в популяции значительно меньше — 25%. Оказалось, что в обоих городах наиболее часто спариваются жуки более редкой окраски: в Ялте — красные, в Севастополе — черные. Иными словами, более редкая для данного сообщества внешность пользуется большим успехом.

Английские исследователи в серии работ тщательно изучили формирование пар как в природе, так и в лаборатории. Они выявили, что, независимо от собственной окраски, самки адалии предпочитают спариваться с черными, а не красными самцами. Степень такого предпочтения удалось измерить и выразить количественно. Для самок, собранных в природе, она оказалась равной примерно 20%. Далее проводился отбор на большую склонность спариваться именно с черными самцами. К десятому поколению предпочтение возросло до 60%. Успех искусственного отбора по такому сложному поведенческому признаку показал, что влечение самок к черным самцам определяется их генами. Из этих опытов также следует, что коровки различают цвета партнеров. Удалось экспериментально смоделировать ситуацию поло-

вого отбора — важного, открытого Ч.Дарвином механизма эволюции, который действует в разных группах организмов, создавая такие украшения особей, как пышные хвосты или яркую окраску самцов у птиц, рога у оленей, бороды у мужчин и пр.

Сколько же нужно самцов

Если один самец может оплодотворить несколько десятков самок, то сколько же нужно самцов в популяции? При рождении их обычно появляется 50%, так как у жуков, как и у человека, пол определяется половыми хромосомами, X и Y, и такой хромосомный механизм обеспечивает соотношение полов 1:1, т.е. равную долю самцов и самок. При избытке ресурсов самцы не конкурируют за пищу с самками и их присутствие в значительном числе для сообщества не вредно. Однако при ограниченности ресурсов самцы на всех стадиях жизни конкурируют с самками, от количества и плодовитости которых зависит появление в достаточном числе особей следующего поколения. Учитывая высокую сексуальную активность самцов, можно предположить, что в неблагоприятных условиях их доля могла бы быть значительно меньше 50%, например 10%. В действительности надо учитывать еще один фактор: при малом числе самцов резко увеличивается вероятность их спаривания с сестрами и дочерьми, а в таких кровосмесительных браках потомство оказывается нежизнеспособным, что и было показано для двуточечной божьей коровки в многочисленных экспериментах.

Таким образом, оптимальная доля самцов в сообществе определяется наличием ресурсов, их половой активностью и вредными последствиями близкородственных скрещиваний. От экологических условий

явно должен зависеть первый фактор. И действительно, изучение полового состава популяций адалии в различных точках Европы показало, что и в Западной и в Восточной Европе доля самцов уменьшается с юга, более богатого ресурсами, к северу. Если на юге Франции и в Крыму соотношение самцов и самок 50:50, то в Петербурге самцов 30%, а в Стокгольме их всего 18%!

Каким образом регулируется соотношение полов? Большая часть самок оставляет в потомстве равное число самцов и самок в соответствии с хромосомным механизмом определения пола. Однако, как писал еще в 1947 г. Лусис, часть самок производит чисто женское потомство. Эта особенность оказалась наследственной, дочери и внуки исключительных самок также дают однополое потомство, спариваясь с самцами из нормальных семей.

Открытие Лусиса не привлекало особого внимания до начала 90-х годов, когда работающая в Кембридже группа английских исследователей не только воспроизвела его наблюдения, но и определила действующий фактор, вызывающий появление чисто женского потомства. Оказалось, что в цитоплазме клеток адалии обитают бактерии, для самок — безвредные симбионты, а для самцов — убийственный патоген. Как бактерии узнают пол зародышей, в клетки которого они попадают, до сих пор не известно, как не ясен и механизм, посредством которого они умерщвляют самцов.

Обнаруженные в Англии бактерии относятся к риккетсиям, которые широко известны (к риккетсиям принадлежит и возбудитель такой страшной болезни человека, как сыпной тиф). Риккетсии божьих коровок, однако, никакой опасности для теплокровных, в том числе и для мужчин, не представляют.

Проводившиеся нами начиная с 1994 г. исследования со-

отношения полов у адалий России дали совершенно неожиданный результат — тот же самый эффект, т.е. передающаяся в поколениях способность производить чисто женское потомство вызывается совершенно другими, чем в Англии, бактериями*. Риккетсия, правда, тоже была найдена, но встречается она очень редко, а преобладают две другие бактерии — спироплазма и вольбахия. В Москве одной из этих бактерий заражена каждая десятая самка адалии; в Санкт-Петербурге примерно 40% самок заражены спироплазмой, а в Стокгольме спироплазма обнаружена не менее чем у половины самок. Понятно, что если половина всех самок производит только дочерей, а другая половина — и дочерей, и сыновей, то соотношение полов в популяции окажется сдвинуто: действительно, как уже говорилось, в Стокгольме нашли только 18% самцов.

Инфицированность андрокцидными (убивающими мужской пол) бактериями и есть тот способ, которым регулируется в оптимальном направлении соотношение полов. На севере, где условия существования адалии хуже, зараженность встречается чаще и соотношение полов в пользу самок сдвигается сильнее, чем в средней полосе или на юге. Заметим, что андрокцидные бактерии известны и у ряда других насекомых. Однако их нет у позвоночных: все болезнетворные бактерии, например у человека, одинаково действуют и на мужской, и на женский пол.

Извращения

Без них не обходятся и божьи коровки. В лабораторных условиях нередко можно наблюдать некрофилию: самцы спариваются с умершими самка-

* Подробнее см.: Захаров И.А. Бактерии управляют половым размножением насекомых // Природа. 1999. №5. С.28—34.

ми (а иногда и с мертвыми самцами). Спаривание в этом случае может продолжаться долго, столь же долго, как и с живым партнером.

Содомию (скотоложество) изредко можно заметить у божьих коровок в природе. Самцы одного вида могут спариваться с самками другого. В некоторых случаях результат такого извращения бывает трагическим — из-за несоответствия формы половых органов партнеры пытаются, но не могут разойтись, травмируя друг друга. Межвидовые скрещивания не дают потомство, и спаривание самца с самкой другого вида может считаться биологически бессмысленным и даже вредным.

Божьим коровкам, несмотря на их название и их симпатичную внешность, свойственна склонность к каннибализму. Особенно она проявляется у личинок. Но и взрослые особи не брезгают себе подобными, нередко поедая яйца своего вида. Яйца съедаются даже отложившей их самкой, если она не находит другой пищи. Как следует трактовать такое поведение? Нехватка пищи свидетельствует о том, что ее может не найтись и для личинок, которые вылупятся из яиц и без корма скоро погибнут. Съедая яйца, самка пополняет свои ресурсы, необходимые для откладки последующих порций яиц, в более удобное время. У голодающей самки возможна задержка яйцекладки, и она не сможет воспользоваться более благоприятной для ее потенциального потомства ситуацией. Таким образом, материнский каннибализм имеет больше биологического смысла, чем склонность самцов к содомии или некрофилии.

Венерическая болезнь

Половая распущенность, как оказалось, наказуема не только у людей, но и у божьих коровок: у адалии обнаружена чрезвычайно редкая в мире беспозвоночных венерическая болезнь.

При изучении адалий, собранных на стенах Института общей генетики в Москве во время их осеннего лета на зимовку, выяснилось, что почти половина жуков заражена клещами. Клещи находятся на внутренней поверхности надкрылий. Они желто-оранжевого цвета, имеют крестообразную форму и неподвижны. К активному передвижению способны только личинки. Сидящие под надкрыльями самки клещей обычно окружены скоплением беловатых яиц. На одном жуке можно насчитать до 20 взрослых клещей. Ранее подобные паразиты были найдены на тропических божьих коровках и получили название «кокциполлипс».

При изучении московских клещей в Кембридже (в Англии их почему-то нет) выявилось два важных факта. Во-первых, среди коровок клещи распространяются в основном половым путем, чему чрезвычайно благоприятствует длительная копуляция: подвижные личинки клещей переползают с самца на самку или с самки на самца во время спаривания. Во-вторых, хотя клещи заметно не влияют на поведение жуков и продолжительность их жизни, они радикально изменяют физиологию самок: оплодотворенная и ранее плодовитая самка начинает откладывать неспособные к развитию яйца. Передача клещей при спаривании и патологические изменения у зараженных самок позволяют рассмат-

ривать отношения паразита (кокциполлипса) и хозяина (адалии) как случай передающейся половым путем (венерической) болезни. Такие хорошо известные у человека болезни почти совсем не встречаются у низших организмов. Свойственные адалиям массовые и беспорядочные спаривания, несомненно, способствуют распространению клещей. В отдельные сезоны почти 100% адалий может быть заражено клещами.

* * *

Возможно, что-то из рассказанного о личной жизни божьих коровок напомнит читателю некоторые проявления сексуальной жизни людей. Такому сходству можно дать два объяснения. Половое размножение у всех животных преследует одни и те же цели и осуществляется в форме взаимодействия двух функционально различных партнеров. Вероятно, те или иные черты сходства полового процесса у совершенно разных организмов возникали в эволюции независимо и повторно, поскольку Природа с ограниченным набором средств решала одни и те же задачи. Однако возможно и другое объяснение. При прочтении генома человека оказалось, что значительная часть его генов имеется и в уже расшифрованных геномах беспозвоночных — мухи-дрозофилы и червя-нематоды. Не общие ли гены программируют сходное поведение как насекомых, так и высших позвоночных? ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 96-04-49072, 96-15-97781, 99-04-48193, 00-15-97777.