

ADAPTAÇÕES PREDADOR X PRESA

Quando pensamos em predador e presa, normalmente pensamos no lince e no coelho, ou pássaro e no besouro - predadores que perseguem, capturam e comem presas individuais. Embora menores do que os predadores, tais presas normalmente parecem grandes o bastante para valer a pena perseguir. Mas muitos organismos consomem presas diminutas em enormes quantidades, e eles são também predadores. A baleia azul pesa muitas toneladas, mas se alimenta de pequenos camarões do tipo krill, pequenos peixinhos e coisas do gênero. Numa escala menor, mariscos e mexilhões bombeiam água através de dispositivos filtradores que capturam minúsculos plânctons, e muitos protozoários, esponjas e bactérias de filtros rotadores e outros microorganismos da água. À medida que o tamanho da presa aumenta em relação ao do predador, a presa torna-se mais difícil de ser capturada, e os predadores tornam-se mais especializados em perseguir e subjugar suas presas. Acima de certo valor, contudo, os predadores carecem de força e velocidade suficientes para capturar presas em potencial. Os leões atacarão animais de seu tamanho ou mesmo um pouco maiores, mas eles não são páreos para elefantes adultos. Com suas poderosas garras e mandíbulas, os leões podem subjugar presas bem maiores do que eles próprios, mas como não conseguem manter altas velocidades por grandes distâncias, a caça bem sucedida se baseia no segredo e na surpresa. Um poucas espécies, tais como os lobos, as hienas e as formigas ceifadeiras caçam em equipes e, deste modo, podem perseguir e subjugar

presas substancialmente maiores do que elas. No outro extremo do espectro de tamanhos relativos encontramos os parasitos - as miríades de vírus, bactérias, protozoários, vermes e outros que invadem o corpo do hospedeiro e se alimentam de seus tecidos ou sangue ou da comida parcialmente digerida nos seus intestinos. O parasitismo difere da predação e da filtração porque a sobrevivência de seu hospedeiro do que de sua morte. Dependendo de que parte da planta eles comam, os herbívoros podem agir como parasitos ou como predadores. Os parasitos vivem da produtividade de um organismo hospedeiro sem matá-lo, assim, um gamo, pastando em árvores e arbustos, funciona como um parasito. Já um carneiro, que consome uma planta inteira, arrancando-a pelas raízes e macerando-a em fragmentos sem vida, comporta-se como um predador. A larva do besouro que se desenvolve dentro de uma semente, e por meio disso destrói o organismo da planta embriônica que a contém, é também um predador. Os predadores precisam de mobilidade, sentidos e habilidade para manipular a presa. Por exemplo, a estrutura dos dentes reflete a natureza da dieta - isto é, o trabalho que eles devem realizar para segurar e processar os itens de alimentação. Os herbívoros, especialmente aqueles que se alimentam de gramíneas, possuem dentes com grandes superfícies de mastigação para quebrar materiais vegetais fibrosos e resistentes. Os dentes dos predadores têm superfícies cortantes e pontiagudas e que imobilizam a presa na boca e a cortam em pedaços pequenos o bastante para serem engolidos. Diferenças aparentemente simples na dentição refletem diferenças ecológicas importantes. Os incisivos superiores e inferiores dos cavalos, por

exemplo, são fortemente opostos de forma que eles possam cortar os caules fibrosos das gramíneas. Outros ungulados, tais como as vacas, os carneiros e os veados carecem de incisivos superiores, seus dentes inferiores pressionam contra a mandíbula superior num certo ângulo de forma a agarrar e arrancar o material das plantas. Muitos predadores utilizam suas patas anteriores para ajudar a dilacerar sua comida em pedaços pequenos. Entre os pássaros, por exemplo, os gaviões, as águias, as corujas e os papagaios usam as poderosas e afiadas garras de seus pés, assim como seus bicos em forma de gancho, para este propósito. Pássaros que mergulham comem constantemente grandes peixes, mas devem engoli-los inteiros porque suas patas posteriores são especializadas muito mais para nadar e mergulhar do que para agarrar e dismantelar presas. Algumas espécies de serpentes compensam sua falta de membros agarradores com mandíbulas extensíveis que as capacitam a engolir grandes presas inteiras. A qualidade da dieta influencia as adaptações do sistema digestivo e excretor do predador, assim como as estruturas diretamente relacionadas com a procura de comida. As plantas contêm moléculas fibrosas e longas, tais como a celulose e a lignina, que formam estruturas de suporte nos caules e folhas. Como esses componentes tornam a vegetação mais difícil de digerir do que as dietas de alto conteúdo protéico dos carnívoros, o trato digestivo dos animais herbívoros é freqüentemente muito alongado. Além disso, muitos possuem em seus tratos digestivos ramais em forma de bolsas - o ceco dos coelhos, o rúmen dos bois - que, à maneira dos vasos de fermentação, contêm bactérias e protozoários que auxiliam na digestão. Com um volume maior de

intestinos, os herbívoros podem manter refeições no trato digestivo por mais tempo e digeri-las mais completamente. No entanto, os herbívoros devem carregar quantidades de comidas não digeridas em suas barrigas, adicionando peso e reduzindo sua mobilidade.

Os Sentidos dos Predadores

Para localizar e capturar comida, os predadores desenvolveram sentidos proporcionais aos seus habitats, às suas táticas de alimentação e às habilidades de suas presas em evitar a detecção. Nós próprios usamos a visão para localizar comida, particularmente como ela agora é apresentada nas prateleiras dos supermercados, ainda que nossa visão insignificante em comparação com as dos gaviões e falcões, e a de muitos insetos que percebem a luz ultravioleta, a qual é invisível para nós. Os insetos podem também detectar movimentos rápidos, tais como os de uma asa batendo 300 vezes por segundo, nós vemos tal movimento apenas como um borrão. Entre os órgãos mais incomuns de predadores estão as fossetas loreais das víboras (o termo víbora é aplicado às cobras venenosas, com exceção da coral, as fossetas loreais são também chamadas de fossetas lacrimais, por se situarem abaixo e à frente dos olhos), um grupo que inclui as caçáveis. As fossetas loreais, localizadas em cada lado da cabeça, abaixo e na frente dos olhos, detectam a radiação infravermelha (calor) liberada pelos corpos quentes de presas potenciais - um tipo de visão no escuro. As víboras são tão sensíveis à radiação infravermelha que elas podem detectar um pequeno roedor alguns metros à frente em menos de 1 segundo. Além disso, devido às fossetas serem direcionalmente

sensíveis, as víboras podem localizar objetos quentes com precisão bastante para golpeá-los. Os sistemas de sonar dos morcegos (ordem *Chiroptera*) insetívoros e carnívoros, semelhantemente, capacitam esses predadores a localizar as presas voando no escuro. Os morcegos produzem pulsos de ruídos muito altos, de alta frequência - geralmente além de nossa capacidade auditiva - e sentem os ecos que retornam do corpo da presa. As corujas (família *Tytonidae* e *Strigidae*) não emitem ondas de sonar, mas possuem uma audição tão sensível e direcionalmente informativa que podem localizar ratos e outras presas pelos sons que fazem ao se moverem através do hábitat. Uns poucos animais aquáticos desenvolveram a habilidade sensorial de detectar campos elétricos. Algumas espécies de peixes elétricos liberam eletricidade continuamente a partir de órgãos musculares especializados, criando um fraco campo elétrico em torno de si. Objetos próximos distorcem o campo, e essas distorções são percebidas por receptores na superfície do peixe elétrico. Algumas espécies usam sinais elétricos para a comunicação entre indivíduos. A raia torpedo, através de estruturas especializadas, usa correntes elétricas poderosas (até 50 volts de tensão e corrente de vários ampéres) para se defender e para matar presas. Como se poderia esperar, a produção e percepção de campos elétricos é mais altamente desenvolvida em peixes que habitam águas escuras. Em outros habitats onde a visibilidade é pobre, espécies que moram no fundo, como o peixe-gato, usam barbatanas e filamentos em torno da boca como sensores de toque e receptores de paladar. Em contraste com os magníficos sentidos de muitos predadores, outros percebem seu ambiente apenas

timidamente e contam com a sorte para deparar com uma presa (para esta tática funcionar, suas presas devem ser igualmente distraídas). Mas mesmo esses predadores "cegos" adotam padrões de procura que aumentam suas chances de encontrar uma presa. Por exemplo, a larva predadora do besouro joaninha (família *Coccinellidae*) alimenta-se de ácaros (ordem *Acarina*) e pulgões (ordem *Homoptera*) que infestam as folhas de certas plantas, e elas devem entrar fisicamente em contato com suas presas para reconhecê-las. Seus movimentos nas folhas não são orientados em direção às suas presas, mas também não são aleatórios. Os veios e bordas constituem uma pequena porcentagem da superfície da folha, e, contudo as larvas gastam a maior parte de seu tempo procurando nessas áreas - onde a maioria dos pulgões fica distribuída.

A Fuga da Presa

As formas pelas quais as presas evitam os predadores são tão diversas quanto as táticas de caça dos predadores. Os organismos que são muito pequenos comparados com o tamanho de seus predadores - aqueles capturados por filtradores, por exemplo - apresentam poucas adaptações para evitarem ser capturados, mas uma presa maior pode esconder-se, lutar ou fugir. Um campo não oferece lugares para os grandes ungulados se esconderem, por isso para escapar depende de detectar com antecedência os predadores e de velocidade. As plantas não podem fugir e devem contar com espinhos e substâncias químicas para manter afastados os herbívoros. Atitudes defensivas raramente envolvem combate físico

porque poucas presas podem enfrentar seus predadores, e os predadores cuidadosamente evitam aquelas que podem. Em vez disso, muitos organismos aparentemente indefesos produzem cheiros enganosos ou secreções químicas nocivas para dissuadir os predadores. "Escorpiões-de-chicote" e "besouros-bombardeiros" espargem diretamente líquidos nocivos nos animais ameaçadores. Muitas plantas e animais contêm substâncias tóxicas, tornando-os não comestíveis ou venenosos. Animais de movimentos lentos, como o porco-espinho (família *Hystriidae*) e o tatu (família *Dasypodidae*), protegem-se com espinhos ou carapaças de cobertura.

Mimetismo

Animais e plantas não-palatáveis que apresentam coloração de advertência servem como um modelo para a evolução das formas mímicas palatáveis com semelhantes padrões de cores. Algumas presas potenciais até inventam para assemelhar-se com seus predadores. Essas relações são coletivamente denominadas mimetismo batesiano, em homenagem a seu descobridor, o naturalista inglês do século XIX Henry Bates. Em suas jornadas na região amazônica na América do Sul, Bates encontrou numerosos casos de insetos palatáveis que haviam renunciado aos padrões crípticos de parentes próximos para passarem a assemelhar-se às espécies não-palatáveis de coloração brilhante. Estudos experimentais demonstraram subsequentemente que o mimetismo realmente confere uma vantagem ao mínimo. Por exemplo, sapos que foram alimentados com abelhas vivas, daí em diante evitaram a

palatável mosca-abelha (família *Bombyliidae*, *Bombylius*) que mimetiza a abelha. Mas quando sapos inexperientes foram alimentados com abelhas mortas, das quais o veneno havia sido retirado anteriormente, eles apreciaram as mímicas moscas-abelhas. Resultados semelhantes foram obtidos com gaios azuis (*Garrulus*) como predadores; as borboletas monarcas não-palatáveis foram modeladas, e suas mímicas borboletas vive-rei (palatáveis) foram objetos do experimento. Em alguns casos, as relações de mimetismo podem envolver vários modelos diferentes. Por exemplo, na borboleta africana de cauda enrolada *Papilio dardanus*, as fêmeas são polimórficas, cada indivíduo assemelhando-se com uma de diversas outras espécies (os machos não mimetizam outras espécies, presumivelmente porque as fêmeas escolhem os machos na base de sua coloração e preferem o típico padrão de cor de sua espécie; além disso, devido a eles não produzirem nem carregam ovos, ou, ainda, não perdem tempo procurando locais convenientes para pôr ovos, os machos podem ser menos vulneráveis a predadores). Por que o mimetismo polimórfico se desenvolve? Quando os mímicos tornam-se comuns em relação ao modelo, o predador não aprende a evitar um ou outro tão rapidamente porque ele frequentemente prova o mímico palatável em vez do modelo nocivo. Neste caso, uma forma mimética rara tem uma vantagem: os predadores que estão aprendendo a associar a coloração de advertência com a não-palatabilidade não estão confundidos por freqüentes encontros com formas miméticas comuns. Essa seleção natural, favorecendo os tipos ímpares de mimetismo, age no sentido de diversificar a população. Um outro tipo de mimetismo, chamado

mimetismo mülleriano, em homenagem ao seu descobridor, ocorre entre as espécies de organismos não-palatáveis que vêm assemelhar-se (mimetizar) uns aos outros. Muitas espécies formam mimetismos mülleriano complexos, nos quais cada participante é tanto modelo quanto mímico. Quando um único padrão de coloração de advertência é adotado por várias espécies não-palatáveis, o aprendizado de rejeição dos predadores é tornado mais eficiente (não existe satisfação na predação de qualquer das presas apresentando aquela coloração), e cada má experiência benéfica todos os membros do complexo de mimetismo.

Defesas das Plantas

O conflito entre os herbívoros e as plantas assemelha-se àquele entre os parasitos e hospedeiros no sentido de que ambos são promovidos em campos de batalha bioquímicos. As defesas das plantas contra os herbívoros incluem o valor nutritivo inerentemente baixo da maioria dos tecidos vegetais e as propriedades tóxicas dos assim chamados compostos secundários produzidos e armazenados para a defesa. Organismos marinhos sésseis, incluindo tanto plantas quanto animais, também empregam diversas defesas químicas. Defesas estruturais, como espinhos, pêlos e coberturas de sementes resistentes, são também importantes. A qualidade nutricional e a digestibilidade dos alimentos vegetais são críticos para os herbívoros. Como os animais jovens têm alta exigência protéica para o crescimento, o sucesso reprodutivo de mamíferos que se alimentam de plantas depende do conteúdo protéico de sua alimentação. Os herbívoros normalmente selecionam alimentos

vegetais de acordo com seu conteúdo de celulose; frutas e sementes são particularmente nutritivas comparadas com folhas, caules e brotos. Muitas plantas usam substâncias químicas para reduzir a disponibilidade de proteínas aos herbívoros. Por exemplo, os taninos armazenados em vacúolos nas folhas do carvalho (família *Fagaceae*, *Quercus*) e de outras plantas combinam-se com as proteínas das folhas e enzimas digestivas nos intestinos dos herbívoros, e assim dificultam a digestão das proteínas. Deste modo, os taninos diminuem consideravelmente o crescimento de lagartas e outros herbívoros, reduzindo a qualidade dos possuidores de tanino como alimento vegetal. Com a formação de taninos nas folhas de carvalho durante o verão, cada vez menos folhas de carvalho são atacadas por herbívoros. Os insetos, por sua vez, podem reduzir os efeitos ser inibitórios do tanino através da produção de surfactantes semelhantes aos detergentes nos fluidos de seus intestinos, os quais tendem a desagregar o complexo tanino-proteína. Enquanto os taninos apresentam uma reação generalizada com proteínas de todos os tipos, muitas substâncias secundárias das plantas (isto é, aquelas não usadas para o metabolismo, mas para outros propósitos, principalmente defesa) interferem com os ciclos metabólicos ou processos fisiológicos específicos dos herbívoros. Porém, devido aos pontos de ação de tais substâncias estarem localizados bioquimicamente, os herbívoros podem contra-atacar seus efeitos tóxicos mediante a modificação de sua própria fisiologia e bioquímica. A desintoxicação pode envolver um ou mais passos bioquímicos, incluindo oxidação, redução ou hidrolisação da substância tóxica, ou sua conjugação com outro

composto. Diversos estudos anteriores da química trocada entre herbívoros e plantas focalizaram-se nas larvas de besouros bruchídeo, muitas das quais infestam as sementes de legumes (família das ervilhas). Os bruchídeos adultos põem seus ovos em sementes de vagens em desenvolvimento. As larvas então eclodem e enterram-se nas sementes, as quais consomem à medida que crescem. Para contra-atacar, as leguminosas montaram diversas defesas, incluindo o desenvolvimento de pequenas sementes. Cada larva se alimenta de somente uma semente. Para empupar com sucesso metamorfosear-se em adulto, a larva deve atingir determinado tamanho, o qual é em última instância limitado pela quantidade de alimento na semente. As sementes pequenas de algumas espécies de leguminosas contêm muito pouco alimento para sustentar o crescimento de uma única larva. A maioria dos legumes também contém substâncias que inibem as enzimas proteolíticas produzidas nos órgãos digestivos dos herbívoros. Embora essas toxinas proporcionem uma defesa bioquímica eficiente contra a maioria dos insetos, muitos besouros bruchídeos têm ciclos metabólicos que ou as contornam ou são insensíveis a elas. Entre as espécies de leguminosas, contudo, a soja permanece sendo resistente ao ataque da maioria dos besouros bruchídeos. Quando os bruchídeos depositam seus ovos em sementes de soja, as larvas do primeiro estágio morrem logo após enterrar-se sob a cobertura da semente; substâncias químicas isoladas da soja têm mostrado inibir o desenvolvimento das larvas de bruchídeos em situações de laboratório. Sementes da árvore leguminosa tropical *Dioclea megacarpa* contêm 135 de peso seco de L-canavanina, um

aminoácido não-protéico que é tóxico para a maioria dos insetos porque interfere com a incorporação de proteínas de arginina, com a qual muito se assemelha. Uma espécie de bruchídeo, *Caryedes brasiliensis*, possui enzimas que diferenciam a L-canavanina da arginina durante a formação de proteína e enzimas adicionais que degradam a L-canavanina em formas que podem ser usadas como fontes de nitrogênio. Para toda defesa, um novo ataque pode ser inventado. O verme-de-chifre do tabaco (estágio larval da mariposa *Manduca sexta*) pode tolerar concentrações de nicotina na sua dieta em níveis muito acima daqueles que matariam outros insetos. A nicotina interrompe o funcionamento normal do sistema nervoso porque impede as transmissões de impulsos de um nervo para o outro. O verme-de-chifre contorna essa defesa excluindo a nicotina do sistema nervoso na membrana celular (em outras espécies de mariposa, a nicotina rapidamente se difunde nas células nervosas). A resistência a nicotina capacita à *M. sexta* alimentar-se de tabaco (*Nicotiana tabacum*), que é da família dos tomates (*Solanaceae*), mas algumas outras espécies de *Nicotiana* produzem outras toxinas alcalóides que o verme-do-chifre não consegue tolerar. Quando vermes-de-chifre do tabaco foram criados com 44 espécies de *Nicotiana* em experimentos em estufas, as larvas cresceram normalmente em 25 espécies, mas foram retardadas ou impedidas completamente em outras. Além disso, 15 das espécies causaram mortalidade parcial ou extensa. A maioria das plantas produz compostos tóxicos e defensivos. Muitos destes, como a piretrina, são fontes importantes de pesticidas (tal como as plantas os utilizam); outros, como a digitalina, têm encontrado uso como

medicamento (alguns de seus efeitos farmacológicos são benéficos em pequenas doses). Os compostos vegetais secundários podem ser divididos em três grandes classes de estrutura química: compostos nitrogenados em última instância derivados de aminoácidos, (terpenóides e fenólicos). Entre as substâncias baseadas em nitrogênio está a lignina, um polímero altamente condensado que resiste à digestão; alcalóides, tais como a morfina (derivada da papoula - *Papaver*), a atropina e a nicotina (de diversos membros da família dos tomates); aminoácidos não-protéicos, como a L-canavanina; e glicosídeos cianogênicos, os quais produzem cianeto (HCN). Os terpenóides incluem óleos essenciais, látex e resinas vegetais; entre os fenólicos, muitos fenóis simples têm propriedades antimicrobianas. Quando a herbivoria é mais intensa, as plantas apresentam toxinas mais concentradas e também mais variadas. E quando as defesas das plantas são fortes, proliferam as adaptações dos herbívoros para desintoxicar as substâncias venenosas. Essa guerra entre plantas e herbívoros promove a especialização bioquímica de herbívoros a certos grupos restritos de plantas com toxinas semelhantes. As associações de plantas e herbívoros a certos grupos restritos de plantas com toxinas semelhantes. As associações de plantas e herbívoros em grupos baseados na química vegetal e na estrutura têm sido denominadas grêmios de defesa vegetal. Pesquisas recentes têm mostrado que as defesas das plantas podem ser induzidas por ataque dos herbívoros. Os alcalóides, os fenólicos, as N-oxidases e as proantocianinas, todos ligados a defesas anti-herbívoros, aumentaram drasticamente em muitas plantas após a desfolhação por herbívoros ou o corte das

folhas por pesquisadores. Outros estudos têm mostrado que as respostas das plantas à pastagem podem reduzir substancialmente a herbivoria subsequente. A indução sugere que as defesas químicas são muitas vezes caras demais para serem mantidas de forma econômica durante níveis de pastagem leve. Indubitavelmente, as táticas ofensivas bioquímicas dos herbívoros são também custosas.