

Rotenona: Uma ferramenta essencial, mas demonizada, para a avaliação da diversidade dos peixes marinhos**D. ROSS ROBERTSON Y WILLIAM F. SMITH-VANIZ**

Os recifes de coral, um dos ecossistemas biologicamente mais diversos e importantes da Terra, estão experimentando um declínio ecológico crescente e sem precedentes; mesmo assim a ictiofauna destes recifes e de outros habitats permanece insuficientemente conhecida. A rotenona, uma substância natural usada tradicionalmente pela pesca de subsistência, é uma ferramenta de incomparável eficiência para coletar amostras de peixes recifais e de outras zonas litorâneas para a pesquisa marinha. Infelizmente, esta técnica é percebida como muito destrutiva e em muitos países o incremento das proibições contra o uso de rotenona logo privará a pesquisa sobre biodiversidade de peixes recifais deste recurso. Neste artigo, afastamos idéias equivocadas comuns sobre os efeitos ambientais provocados pela amostragem com rotenona em pequena escala para pesquisa marinha.

Palavras-chaves: peixes de recifes coralinos, pesquisa sobre a biodiversidade, amostragem com rotenona.

D. Ross Robertson (e-mail: drr@stri.org) trabalha em el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales en Balboa, Republica de Panamá. William F. Smith-Vaniz (e-mail: smithvaniz@gmail.com) esta asociado con el Florida Museum of Natural History en la University of Florida en Gainesville. © 2008 American Institute of Biological Sciences.

Rotenona, um químico natural produzido por plantas leguminosas nativas do sudeste da Ásia e da América do Sul, tem sido usado tradicionalmente na pesca de subsistência indígena em sistemas de água doce e marinhos dessas áreas (Bearez 1998, Lockett 1998, Ling 2003). A rotenona mata os peixes e outros organismos ao bloquear a absorção celular de oxigênio (Singer e Ramsay 1994). Os administradores de pesqueiros de água doce a empregam, rotineiramente, em quantidades de até centenas de toneladas métricas para eliminar as espécies exóticas e ajudar a conservar os peixes nativos, assim como para eliminar de corpos de água peixes inadequados antes de colocarem peixes que dêem suporte à pesca esportiva (McClay 2000, Ling 2003).

A rotenona é o ingrediente ativo de inseticidas orgânicos comumente usados em animais e jardins domésticos, assim como na agropecuária. Informações sobre o uso da rotenona como pesticida, formuladas em relatórios governamentais, além de uma ampla série de estudos e literatura científica sobre as implicações de seu uso para saúde humana e meio-ambiente, estão disponíveis nas seguintes fontes: Organização Mundial da Saúde (WHO; www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard_rev_3.pdf), Rede Toxicológica de Extensão ([HTTP://extoxnet.orst.edu/pips/rotenone.htm](http://extoxnet.orst.edu/pips/rotenone.htm)), e Sociedade Americana de Pesca (AFS; WWW.fisheries.org/units/rotenone/index.htm); importantes relatórios da Agência para a Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*US Environmental Protection Agency*) também estão disponíveis no site da AFS); igualmente ver revisões de Lockett (1998) e Ling (2003). Em resumo, estas fontes consideram a rotenona como um pesticida relativamente seguro para ser empregado na agricultura e na pecuária. Não existem evidências claras de que seja carcinogênico ou teratogênico em ratos. A Organização Mundial da Saúde classifica a rotenona, junto com a piretrina, outro inseticida orgânico de uso doméstico comum, como moderadamente perigosa: está classificada como grau 3 numa escala de 1 (mais tóxico) a 4 (menos tóxico). Quando ingerida em grande quantidade, a rotenona apresenta baixa toxicidade em aves, porém é moderadamente tóxica em ratos. O principal perigo para a saúde humana associado com o uso da rotenona em manejo de pesca (e na pesquisa) provém da inalação do pó ou aerossol, o que pode ser prevenido utilizando máscaras. Os

peixes mortos devido à rotenona conservam doses muito pequenas da substância, principalmente em partes não-comestíveis do corpo. Não existem relatos de efeitos em humanos que consumiram peixes coletados usando a rotenona e ambos os autores têm consumido peixe coletado desta maneira sem mostrar efeitos imediatos perceptíveis. Além disso, a rotenona é termicamente lábil e o cozimento reduz o risco potencial para as pessoas que consomem peixes expostos ao composto. A elaboração rigorosa de estudos de grande escala para determinar os efeitos a longo prazo produzidos em humanos pelo consumo de peixes expostos à rotenona, é improvável, uma vez que estes são caros e normalmente restritos a pesticidas usados em países desenvolvidos, onde o uso da rotenona está altamente regulado e seu uso por pescadores é ilegal. A Sociedade Americana de Pesca sustenta que o estudo experimental que encontrou dano cerebral e sintomas similares aos do mal de Parkinson em ratos, após injeções intravenosas contínuas de rotenona, (Betarbet et al. 2000) tem uma relevância duvidosa para o uso da rotenona em manejo pesqueiro. A análise da AFS sobre esse estudo (ver www.fisheries.org/units/rotenone/index.htm; ver também Ling [2003]) notou que (a) a rotenona não é absorvida pelo aparelho digestivo dos mamíferos e é rapidamente degradada pelo fígado; (b) no estudo de Betarbet e colegas (2000), a liberação de rotenona ao cérebro dos ratos requereu de injeção intravenosa; (c) em estudos prévios, não se produziram sintomas similares aos de Parkinson ou modificações anatômicas em ratos que foram alimentados com rotenona durante um período prolongado; e (d) ao longo de muitas décadas, não tem havido evidência de qualquer vínculo entre o uso da rotenona em manejo pesqueiro e a doença de Parkinson em humanos.

Restrições ao uso da rotenona em pesquisas têm aumentado mundialmente. Muitos países localizados nos centros globais de biodiversidade de peixes costeiros tropicais e subtropicais, restringem ou mesmo proíbem os pesquisadores de usarem rotenona para coletar amostras recifais e litorâneas. Uma lista parcial inclui os Estados Unidos (territorial, as Ilhas Virgens e o Havaí), onde a rotenona, em água doce, é usada legalmente em grande escala no manejo da pesca e na restauração de populações de peixes

nativos; México, Belize, Honduras, Colômbia, Equador, Venezuela, Ilhas Caimán, Brasil, onde a rotenona tem sido usada historicamente pelos indígenas para a pesca de subsistência; Polinésia Francesa, Japão, Palau, Austrália, Nova Zelândia, Índia e África do Sul. Nós acreditamos, como demonstramos aqui, que tais proibições ou restrições desnecessárias resultam da falta de informação por parte dos administradores sobre a necessidade do uso de rotenona em pequena escala para coletar amostras e do desconhecimento sobre a natureza trivial e temporal dos efeitos secundários ambientais de tal amostragem.

A amostragem com rotenona produz informação essencial sobre a biodiversidade marinha

A taxonomia é fundamental na compreensão da biodiversidade e dos processos evolutivos e desempenha um papel essencial na biologia da conservação (Dubois, 2003), fatos que os administradores freqüentemente não reconhecem, mas que precisam ser levados em conta. Toda pesquisa biológica requer uma identificação precisa das espécies, a qual depende que os sistematistas nos museus tenham suficientes espécimes coletados em extensas áreas e através do tempo (Cotterill 1995). Os espécimes registrados nos museus são essenciais para a pesquisa sobre a biodiversidade de peixes costeiros; taxonomia (morfológica e genética); e respostas, ecológicas, evolutivas, biogeográficas e populacionais, às mudanças climáticas. A amostragem com rotenona tem sido crucial para o desenvolvimento de todos os guias modernos de identificação regional de peixes costeiros tropicais, os quais necessariamente incluem peixes crípticos. Estes guias, incluído o de Randall (2007) e seus nove guias anteriores de identificação regional de peixes coralinos do Indo-Pacífico e Atlântico (ver também Carpenter [2002] e três guias anteriores de peixes tropicais do Indo-Pacífico, editados pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação [FAO]), demonstram a importância de tal amostragem na compreensão da biodiversidade de peixes das costas tropicais ao redor do mundo. No entanto, grandes áreas tropicais não foram exploradas e ainda se está longe de saber quantas espécies de peixes costeiros tropicais existem, inclusive em áreas relativamente bem amostradas (ver Zapata e Robertson [2006]). Além disso, mais informação derivada das pesquisas com rotenona sobre o uso do habitat, ecologia e distribuição geográfica dos peixes costeiros é vital para a conservação e manejo desses peixes – os organismos mais vulneráveis à extinção local ou global por causa das condições adversas são aqueles com âmbitos geográficos pequenos e habitats e exigências ecológicas especiais.

De acordo com Gerald R. Allen, do *Western Australian Museum*, em Perth (comunicação pessoal, 13 de junho de 2007), a amostragem com rotenona provou ser fundamental em suas recentes pesquisas sobre a biodiversidade em suporte às atividades conservacionistas em lugares-chave nas Filipinas, Indonésia, Papua Nova Guiné e nas Ilhas Salomão. Combinada com censos visuais, tal amostragem revelou-se uma ferramenta poderosa para obter uma “foto instantânea” completa da fauna em cada sítio específico pesquisado. Allen tem usado a amostragem com

rotenona regularmente nos últimos 10 anos como parte de “avaliações biológicas rápidas” nessas áreas.

Estas avaliações são um elemento chave nas estratégias conservacionistas empregadas por organizações como *Conservation International* (CI), *The Nature Conservancy* (TNC) e o *World Wildlife Fund* (WWF). Estas amostragens desempenharam um aspecto vital nos reconhecimentos conduzidos por CI e TNC nas Ilhas Raja Ampat, sobre a costa oeste de Nova Guiné. A combinação de censos visuais e de pequenas estações de rotenona serviu, nestas ilhas reconhecidas pela equipe de Allen, para produzir uma lista impressionante de mais de 1.100 espécies de peixes, evidência indiscutível de que esta zona está entre as mais ricas do mundo em peixes tropicais de recifes. Como resultado direto desta documentação, uma rede de seis áreas marinhas protegidas está sendo estabelecida nessas ilhas – um resultado que não teria sido possível sem a amostragem com a rotenona.

O uso da rotenona na pesquisa marinha

Historicamente, os pesquisadores têm usado três formulações diferentes de rotenona para coletar peixes: (1) preparações aquosas diluídas, constituídas de raiz pulverizada (concentração de 5 a 8%) misturada com água para produzir uma pasta, freqüentemente adicionando um detergente biodegradável de uso doméstico para aumentar a emulsão do pó; (2) preparações comerciais líquidas diluídas à base de petróleo, compostas de resina de rotenona (até 50% de concentração) numa mescla de solventes de petróleo e emulsificadores que permitem que a preparação líquida se misture com a água; e (3) a rotenona cristalina ao 97% dissolvida em álcool ou acetona (Gilmore et al. 1981, McClay 2000). As preparações comerciais à base de petróleo, geralmente usadas no manejo de pesca de água doce, (McClay 2000) são caras, não confiáveis após uma armazenagem prolongada e, devido ao seu caráter inflamável, perigosas para transportar. A rotenona cristalina é extremamente cara. Por estas razões, os pesquisadores marinhos normalmente utilizam as preparações aquosas. Quando a amostragem é de peixes costeiros e de recifes, os coletores manualmente espalham no fundo uma pequena quantidade da pasta aquosa de rotenona (aproximadamente um quilo de pó misturado com vários litros de água). Em recifes de águas abertas, com esta quantidade se tomam amostras de peixes numa área de aproximadamente 10 metros de diâmetro em menos de uma hora, depois do qual a rotenona se dispersa a tal ponto que é ineficaz contra os peixes que entram à área tratada. Normalmente tais amostragens estão limitadas a áreas com baixo fluxo de água, porque muitas espécies de peixes são resistentes à rotenona (algumas requerem cerca de 20 minutos de exposição para se tornarem coletáveis), e a rotenona se dispersa rápido demais quando o fluxo da corrente é de moderado a alto.

A amostragem com rotenona é uma de um conjunto de ferramentas complementares - não alternativas - de pesquisa

Os censos visuais proporcionam informação precisa sobre as espécies visíveis nas águas claras dos recifes de corais, mas não sobre espécies em ambientes turvos, tais como estuários e mangues, ou de peixes crípticos que vivem ocultos nas gretas ou tocas nos recifes, nos mangues, na areia ou na

lama. Pesquisas realizadas com rotenona realmente proporcionam dados importantes para a compreensão dos peixes crípticos e de habitats turvos; também melhoram bastante a coleta de peixes de recifes profundos. Richard Pyle, do Bishop Museum, no Havaí (comunicação pessoal de 15 de junho de 2007), é membro de um pequeno grupo de mergulhadores cientistas a nível mundial que utiliza *recicladores de ar* para tomar amostras de peixes recifais em profundidades entre 45 e 150 metros. Na experiência dele, as amostragens com rotenona nessas profundidades triplica a velocidade de descobrimento de novas espécies de peixes crípticos de recifes profundos (exemplo, ver Smith-Vaniz [2005] para a descrição de uma dessas espécies e informação a respeito de coleta com *recicladores de ar*). John E. McCosker, da *California Academy of Sciences*, em San Francisco (comunicação pessoal, de 12 de junho de 2007), afirma que as pesquisas com rotenona são essenciais para uma amostragem efetiva de habitats muito profundos (> 150 metros), usando submarinos de pesquisa que utilizam um braço flexível para descarregar rotenona desde um reservatório a bordo até uma pequena caverna ou área no fundo.

Os peixes crípticos costeiros pertencem a uma vasta categoria de famílias de peixes que constituem quase a metade das espécies da ictiofauna costeira da região Neotropical (ver Carpenter [2002], Robertson e Allen [2006]), e de similar importância nas ictiofaunas costeiras em todas as zonas tropicais. As amostragens com rotenona revelam espécies crípticas que usualmente não são detectadas nos censos visuais de uma área, tipicamente quase dobrando o número de espécies registradas para a área (Harmelin-Vivien et al. 1985, Dibble 1991, Lockett 1998, Ackerman e Bellwood 2000, Collette et al. 2003, Dennis et al. 2005, Smith-Vaniz et al. 2006), embora Willis (2001) tenha encontrado seis vezes mais espécies usando a rotenona. Os reconhecimentos visuais não só falham em documentar a ocorrência de muitos peixes recifais crípticos, mas também subestimam grandemente as densidades de populações destes peixes. Por exemplo, Ackerman e Bellwood (2000) realizaram um censo visual em pequenas áreas antes da amostragem com rotenona e coletaram de 50 a 75% mais indivíduos usando rotenona; Willis (2001) e Dibble (1991) coletaram quatro e 16 vezes mais, respectivamente (ver também Brock [1982] e Kulbiki [1990]).

Coletar com anestésicos, como a quinaldina e o óleo de cravo da Índia, é efetivo quando se esguicham pequenas quantidades utilizando uma garrafa plástica que se aperta sobre cada indivíduo ao que se possa chegar perto. Em geral, contudo, os anestésicos são muito menos efetivos do que a rotenona na coleta de peixes ocultos, que deixam seus esconderijos (e se podem coletar) quando expostos à rotenona, porém normalmente falham em fazer o mesmo quando anestesiados. A rotenona também produz uma desorientação mais persistente nos peixes do que os anestésicos, o que permite coletá-los mais facilmente (Ackerman e Bellwood 2002). Além disso, a maioria dos anestésicos requer o uso de solventes, tais como álcool ou acetona. Embora os anestésicos possam ser usados para tomar amostras em pequenas áreas fechadas, como piscinas intermareais rochosas (Griffiths 2000), o uso dos anestésicos em grandes quantidades

necessárias nessa amostragem acarreta a liberação de solventes em quantidades que provavelmente afetem negativamente outros organismos além dos peixes.

O restante das técnicas de coleta tem limitações importantes para recolher amostras de peixes costeiros: os explosivos são geralmente destrutivos; as armadilhas e as redes são altamente seletivas em relação aos tipos de peixes capturados e podem destruir alguns habitats; e a eletro-pesca não funciona em água salada. Como a rotenona, a antimicina tem sido usada para coletar peixes; no entanto, este antibiótico é mais tóxico que a rotenona para uma ampla faixa de organismos, é substancialmente mais tóxico do que a rotenona para os mamíferos, é altamente variável em sua ação contra diferentes espécies de peixes e é ineficaz em condições de pH elevado, como ocorre em manguezais e outros habitats marinhos (Marking 1992).

De nossas experiências e das de outros colegas que coletam peixes costeiros, a amostragem com rotenona é o método mais efetivo para coletar uma ampla gama de peixes crípticos costeiros encontrados em águas turvas e em águas profundas durante pesquisas sobre a biodiversidade.

A rotenona é altamente seletiva para os peixes. A rotenona tem baixa toxicidade em aves, e as aves marinhas não mostram efeitos adversos depois de consumirem peixes tratados com rotenona durante as coletas feitas para a pesquisa (John E. McCosker, comunicação pessoal, 15 de junho de 2007); de qualquer jeito, o peixe retém muito pouca rotenona em seus tecidos. Além dos peixes, a rotenona afeta principalmente pequenos crustáceos planctônicos; uma típica estação coletora com rotenona fornece quantidades limitadas de estrelas-do-mar quebradiças, pequenos camarões bentônicos e polvos, os quais também são úteis para a pesquisa (Bussing 1972, Lockett 1998, Ling 2003; Gerald R. Allen, comunicação pessoal, 12 de junho de 2007; John E. Randall, Bishop Museum, Honolulu, comunicação pessoal, 13 de junho de 2007).

Os poucos experimentos pertinentes que foram realizados não detectaram efeitos nocivos nos corais expostos à rotenona diluída, usada pelos pesquisadores. Jaap e Wheaton (1975) encontraram que a solução não-diluída (muito forte), de rotenona líquida à base de petróleo em vez de se dissipar adequadamente, formou gotículas que se amontoaram e permaneceram nas superfícies horizontais dos corais duros. Isso causou uma “mortalidade parcial” das colônias de corais, nas quais morreram fragmentos de tecidos, mas não a colônia inteira. Mais adiante o coral pode regenerar a área morta do esqueleto. Tais efeitos da rotenona em sua máxima concentração não ocorreram nos corais moles, os quais, ao contrário dos corais duros, crescem em forma vertical e não retêm gotículas da solução de rotenona. Esses autores não encontraram efeitos da solução diluída de rotenona à base de petróleo nos corais duros e moles quando a solução se dissipou normalmente. Devido a que os pesquisadores que coletam peixes diluem a rotenona antes de liberá-la sob a água e também porque ela se dissipa rapidamente nas estações de coleta, os corais não experimentam um contato prolongado com a rotenona concentrada durante o procedimento.

Em diversos outros estudos de campo de peixes recifais que empregaram as típicas estações pequenas de

rotenona, não se observaram efeitos nocivos nos corais. Por exemplo, Bright e seus colegas (1974) não encontraram efeitos após usar rotenona à base de petróleo sob uma “tenda” de plástico que foi lastreada ao redor do borde para cercar uma área no fundo, limitando assim a dispersão de rotenona uma hora antes de retirá-la, a fim de permitir que os cientistas trabalhassem na área. Smith (1973) usou rotenona à base de petróleo para, repetidamente, amostrar fragmentos de corais por até três vezes em um período máximo de três anos, e não notou efeitos negativos nos corais (C. Lavett Smith, *American Museum of Natural History*, Nova York, comunicação pessoal, 13 de junho de 2007).

Além dos peixes, os únicos organismos macroscópicos mortos pela aplicação da rotenona à base de petróleo em uma grande poça de marés em um recife no centro do Pacífico, foram camarões e polvos (mas não caranguejos; Bussing 1972). O pessoal administrativo do Parque Nacional realizou uma avaliação de acompanhamento para medir os efeitos colaterais da amostragem com rotenona aquosa realizada por Smith-Vaniz e seus colaboradores (2006), nas Ilhas Virgens dos Estados Unidos, e não observou efeitos nocivos nos corais (Z. Hillis-Starr, *Buck Island Reef National Monument*, St. Croix, comunicação pessoal, 18 de junho de 2007).

A ausência de qualquer efeito nos corais submetidos à breve exposição com rotenona diluída em uma estação de coleta comum é algo consistente com nossas próprias observações durante muitos anos de atividade coletora. Tanto nós como outros pesquisadores, que usamos tanto a rotenona aquosa como a rotenona à base de petróleo – (por exemplo, Gilmore et al. 1981), observamos menos mortalidade de invertebrados com as preparações aquosas, indicando que os produtos com petróleo usados em preparados comerciais de rotenona são tóxicos tanto para os invertebrados como para os peixes. Restringir as coletas científicas de águas rasas o uso da rotenona aquosa não criaria obstáculos para as pesquisas. A rotenona à base de petróleo é a mais proveitosa para coletar em águas profundas, já que os cientistas mergulhadores (somente um pequeno grupo no mundo todo) que recolhem amostras nesses lugares dispõem de pouco tempo para completar seu trabalho e as temperaturas mais baixas reduzem dramaticamente a efetividade da rotenona aquosa (Richard L. Pyle, comunicação pessoal, 15 de junho de 2007; John E. McCosker, comunicação pessoal de 12 de junho de 2007).

A amostragem com rotenona não elimina todos os peixes nem destrói seus habitats. Amostrar pequenas estações de rotenona em águas abertas não mata todos os peixes da área. Os peixes devem permanecer na área tratada por algum tempo para se tornarem coletáveis e peixes grandes e móveis que passem brevemente através da área tratada, não são afetados. Muitos peixes que se movem evitam a rotenona e abandonam a área tratada temporariamente, até que a rotenona tenha se dissipado, embora as pequenas garoupas sejam atraídas aos sítios de coleta para devorar os peixes desorientados. Censos visuais podem fornecer informação adequada sobre os peixes recifais sub-representados em amostragens com rotenona por apresentarem tais reações de afastamento. Em amostragens com rotenona visando avaliar primordialmente a presença de

espécies de peixes crípticos, a fuga de espécies visíveis e móveis é desejada. Se houver a necessidade de reter os peixes que se movem (por exemplo, ao estimar a abundância de uma comunidade), redes de retenção podem ser instaladas ao redor da área de amostragem antes de administrar a rotenona (por exemplo, Ackerman e Bellwood 2000). Além disso, os peixes se recuperam de uma intoxicação leve por rotenona (Shultz 1948, Bussing, 1972, Smith 1973, Ling 2003). De fato, Galzin (1979) usou exitosamente a rotenona como um anestésico em peixes de recifes coralinos. Com uma garrafa esguichou diminutas porções de material altamente diluído nos peixes, até que eles estivessem suficientemente desorientados para serem capturados com uma rede de aquário; depois foram etiquetados e soltos. Um mês depois da captura com rotenona, ele observou 95% dos peixes etiquetados no campo.

Finalmente, em contraste com os métodos mecânicos de coleta, como a amostragem com rede de arrasto, que podem destruir ou perturbar grandes áreas das comunidades sésseis bentônicas que constituem um habitat para os peixes, a amostragem realizada por mergulhadores utilizando rotenona não envolve destruição física dos habitats marinhos.

A rotenona se dispersa e degrada rapidamente

As bolhas produzidas durante o mergulho de scuba, combinadas com os movimentos natatórios dos mergulhadores, levam embora rapidamente a água e a rotenona do lugar onde esta foi aplicada. Uma hora de atividade de um par de mergulhadores em águas abertas, em sítio de coleta sem corrente, é suficiente para dispersar a rotenona de modo que já não afete os peixes que entrem à área previamente tratada. As correntes de água aceleram em grande medida o processo de dispersão.

Informações sobre a degradação da rotenona em ambientes aquáticos e terrestres estão disponíveis nas mesmas fontes que fornecem informação a respeito do uso da rotenona como pesticida (ver acima). É amplamente reconhecido que a rotenona é quimicamente instável e se degrada rapidamente no ambiente através de mecanismos abióticos (fotólise e hidrólise). A velocidade da degradação da rotenona na água é determinada principalmente pela temperatura, mas também pela turbidez e pelos níveis de luz, pH e oxigênio. A degradação é mais rápida em águas cálidas, bem iluminadas e bem oxigenadas, onde pode ser completada em menos de uma semana. Embora estudos prévios não tenham, especificamente, examinado a degradação da rotenona nos recifes de coral, os resultados dos estudos sim indicam que sob condições como as normalmente associadas com os recifes de coral (calidez, limpidez, boa iluminação e oxigenação) a degradação completa da rotenona ocorre em poucos dias. A possibilidade de que a rotenona se acumule biologicamente através da cadeia alimentar é bem reduzida. A rotenona tem uma vida média de cerca de um dia nos peixes.

As populações de peixes costeiros são resilientes. As populações ictiocosteiras recuperam-se rapidamente dos desastres naturais de curta duração e dos efeitos muito mais localizados da amostragem com rotenona. O uso em grande escala da rotenona por administradores da pesca pode produzir alterações “permanentes” desejadas nas comunidades de

peixes de água doce de lagos e açudes, porque os peixes indesejáveis não podem repovoar as massas de águas isoladas de forma natural. Ao contrário, comunidades de peixes costeiros locais estão fortemente interligadas pela dispersão das larvas pelágicas produzidas pela maioria dos peixes marinhos.

As comunidades de peixes de recife em áreas pequenas flutuam naturalmente na composição das espécies e na abundância de cada espécie, em grande parte devido à variação interespecífica no ritmo e nos níveis de recrutamento pelágico de larvas aos habitats costeiros. A abundância absoluta de uma espécie varia em relação às flutuações do recrutamento, e as abundâncias relativas de peixes diferentes (sejam presas ou predadores) mudam, porque todos os anos os padrões de recrutamento não são os mesmos para todas as espécies (por exemplo, Sale 1988) – em resumo, as comunidades ictiocosteiras são entidades naturalmente dinâmicas.

As comunidades de organismos marinhos ao longo das costas do mundo sofrem estresses de escala global, como o aquecimento global, e um forte estresse de longo prazo, por fatores causados pelas atividades humanas, contínuas e de grande escala. Entretanto, os ambientes costeiros são altamente dinâmicos e estão submetidos, constantemente, a eventos naturais (por exemplo, enchentes, tempestades e furacões) que reduzem as populações de peixes costeiros em vastas áreas, e tanto destroem quanto constroem os habitats dos peixes. A dispersão larval permite às populações de tais peixes se recuperarem rapidamente da natural redução populacional, resultante de eventos relativamente breves e ocasionais e permite também às comunidades ictiocosteiras repovoar-se em questão de poucos meses dos efeitos mais limitados da amostragem em pequena escala com rotenona. Vários estudos têm documentado a recuperação de peixes costeiros da defaunação resultante de (a) eventos naturais ao longo do Golfo da Califórnia (Thomson e Lehner 1976); (b) testes atômicos na Polinésia Francesa (Planes et al. 2005); (c) defaunação de poças de marés com o uso de anestésicos na Califórnia (Grossmann 1982); e (d) amostragem com rotenona no noroeste do Pacífico americano (Polivka e Chotkowski 1998), recifes do Caribe (Smith 1973, Mahon e Mahon 1994), o Golfo do México (Ross e Doherty 1994), o leste dos Estados Unidos (Collette, 1986), a África do Sul (Beckley 1985), o Brasil (Rosa et al. 1997), a Austrália (Lardner et al. 1993) e a Nova Zelândia (Willis e Roberts 1996, Roberts e Stewart 2006). No Golfo de Aqaba, um derrame acidental de substâncias químicas que incluía pesticidas muito mais potentes do que a rotenona, produziu a completa eliminação dos peixes recifais em uma área centenas de vezes maior do que o tamanho da área examinada numa pequena estação de amostragem com rotenona. Gundermann e Popper (1975) monitoraram as populações de peixes em cabeças de corais nessa área, antes e depois desse evento, e encontraram que a recuperação aconteceu num prazo de 10 a 12 meses após o derrame.

As amostragens com rotenona são poucas, com grandes intervalos entre uma e outra e em pequena escala. Uma amostragem típica de biodiversidade, com duração de duas

semanas, a cargo de uma equipe de vários coletores, fará duas ou três coletas diárias com rotenona, e dividirá esta amostragem entre vários habitats e sítios. Em contraste, a rede de uma pequena traineira de camarões tomará cerca de dois minutos para dragar uma área equivalente àquela examinada durante um reconhecimento de duas semanas sobre biodiversidade e com a rede de arrasto se apanham muitos organismos aparte dos peixes e no processo se alteram os habitats do fundo.

Conclusões

A amostragem em pequena escala com rotenona é uma das melhores ferramentas disponíveis para obter informações vitais sobre a biodiversidade dos peixes tropicais costeiros. Dita amostragem combina uma forte seletividade e eficiência com mínimos e totalmente transitórios efeitos ambientais. As comunidades de peixes costeiros são resilientes e têm uma bem-demonstrada capacidade de recuperação de estresse temporal de média escala, como os causados por furacões, assim como de estresses muito menores e mais breves, como os produzidos pelas pequenas estações de rotenona. Os efeitos da amostragem em pequena escala com rotenona são imperceptíveis no âmbito de um sistema recifal, estuário ou país, em relação aos efeitos destrutivos de eventos naturais ou comparados com os efeitos de uma ampla gama de atividades humanas relacionadas com os peixes costeiros (pesca excessiva generalizada, a poluição e a perturbação do habitat).

Devido a que o uso da rotenona em pesquisa carece de uma base social ou econômica de influência política, constitui-se num alvo fácil e conveniente para as proibições. Para serem efetivas, no entanto, as decisões científicas e administrativas devem estar baseadas na melhor informação e nos melhores métodos disponíveis. Obter essa informação sobre a biodiversidade marinha envolve a amostragem com rotenona em pequena escala. Por conseguinte, instamos aos administradores de recursos marinhos para que, de modo responsável e objetivo, tomem em consideração as solicitações dos cientistas marinhos sobre o uso da rotenona nos programas de pesquisa que tenham objetivos científicos e administrativos claramente estabelecidos.

Agradecimentos

Queremos agradecer às seguintes pessoas por seus comentários a este manuscrito: Gerald R. Allen, Ralf Britz, Rene Galzin, Philip C. Heemstra, Keiichi Matsuura, Richard L. Pyle, John E. Randall, Peter F. Sale, Robert R. Warner e Richard Winterbottom. A participação de D.R.R. foi patrocinada pelo Instituto Smithsonian de Pesquisas Tropicais. O interesse e a participação de W.F.S.V. neste estudo é fruto de sua pesquisa no período em que era funcionário do US Geological Survey.

Referências citadas

- Ackerman JL, Bellwood DR. 2000. Reef fish assemblages: A re-evaluation using enclosed rotenone stations. *Marine Ecology Progress Series* 206: 227–237.
- _____. 2002. Comparative efficiency of clove oil and rotenone for sampling tropical reef fish assemblages. *Journal of Fish Biology* 60: 893–901.

- Bearez P. 1998. FOCUS: First archaeological indication of fishing by poison in a sea environment by the Engoroy population of Salango (Manabí, Ecuador). *Journal of Archaeological Science* 25: 943–948.
- Beckley LE. 1985. Tidepool fishes: Recolonization after experimental elimination. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 85: 287–295.
- Betarbet R, Sherer T, MacKenzie G, Garcia-Osuna M, Panov A, Greenamyre J. 2000. Chronic systemic pesticide exposure reproduces features of Parkinson's disease. *Nature Neuroscience* 3: 1301–1306.
- Bright TJ, Tunnell JW, Pequegnat LH, Burke TE, Cashman CW, Cropper DA, Ray JP, Tresslar RC, Teerling J, Wills JB. 1974. Biotic zonation on the West Flower Garden Bank. Pages 3–54 in Bright TJ, Pequegnat LH, eds. *Biota of the West Flower Garden Bank*. Houston (TX): Gulf.
- Brock RE. 1982. A critique of the visual census method for assessing coral reef fish populations. *Bulletin of Marine Science* 32: 269–295.
- Bussing WA. 1972. Recolonization of a population of supratidal fishes at Eniwetok Atoll, Marshall Islands. *Atoll Research Bulletin* 154: 1–4.
- Carpenter KE. 2002. *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic*. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication no. 5.
- Collette BB. 1986. Resilience of the fish assemblage in New England tidepools. *Fishery Bulletin* 84: 200–204.
- Collette BB, Williams JT, Thacker CE, Smith ML. 2003. Shore fishes of Navassa Island, West Indies: A case study on the need for rotenone sampling of reef fish biodiversity studies. *Aqua Journal of Ichthyology and Aquatic Biology* 6: 89–131.
- Cotterill FDP. 1995. Systematics, biological knowledge and environmental conservation. *Biodiversity and Conservation* 4: 183–205.
- Dennis GD, Smith-Vaniz WF, Colin PL, Hensley DA, McGehee MA. 2005. Shore fishes from the islands of the Mona Passage, Greater Antilles with comments on their zoogeography. *Caribbean Journal of Science* 41: 716–743.
- Dibble ED. 1991. A comparison of diving and rotenone methods for determining relative abundance of fish. *Transactions of the American Fisheries Society* 120: 663–666.
- Dubois A. 2003. The relationships between taxonomy and conservation biology in the century of extinctions. *Comptes Rendus Biologies* 326: S9–S21.
- Galzin R. 1979. La faune ichtyologique d'un récif corallien de Moorea, Polynésie française: Échantillonnage et premiers résultats. *Revue d'Écologie: La Terre et la Vie* 33: 623–643.
- Gilmore RG, Hastings PA, Kulczykcki GR, Jennison GBL. 1981. Crystalline rotenone as a selective fish toxin. *Florida Scientist* 44: 193–203.
- Griffiths SP. 2000. The use of clove oil as an anaesthetic and method for sampling intertidal rockpool fishes. *Journal of Fish Biology* 57: 1453–1464.
- Grossman GD. 1982. Dynamics and organization of a rocky intertidal fish assemblage: The persistence and resilience of taxocene structure. *American Naturalist* 119: 611–637.
- Gundermann N, Popper D. 1975. Some aspects of recolonization of coral rocks in Eilat (Gulf of Aqaba) by fish populations after accidental poisoning. *Marine Biology* 33: 109–117.
- Harmelin-Vivien M, et al. 1985. Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons: Méthodes et problèmes. *Revue d'Écologie: La Terre et la Vie* 40: 467–539.
- Jaap WC, Wheaton J. 1975. Observations on Florida reef corals treated with fish-collecting chemicals. *Florida Marine Research Publications* 10: 1–8.
- Kulbiki M. 1990. Comparisons between rotenone poisoning and visual counts for density and biomass estimates of coral reef fish populations. Pages 105–112 in *Proceedings of the 1990 Congress of the International Society for Reef Studies*; 14–18 November 1990, Noumea, New Caledonia.
- Lardner R, Ivantsoff W, Crowley LELM. 1993. Recolonization by fishes of a rocky intertidal pool following repeated defaunation. *Australian Zoologist* 29: 85–92.
- Ling N. 2003. *Rotenone—A Review of Its Toxicity and Use for Fisheries Management*. Wellington (New Zealand): Department of Conservation. Science for Conservation no. 211.
- Lockett MM. 1998. The effect of rotenone on fishes and its use as a sampling technique: A survey. *Zeitschrift für Fishkunde* 5: 13–45.
- Mahon R, Mahon SD. 1994. Structure and resilience of a tidepool fish assemblage at Barbados. *Environmental Biology of Fishes* 41: 171–190.
- Marking LL. 1992. Evaluation of toxicants for the control of carp and other nuisance fishes. *Fisheries* 17: 6–13.
- McClay W. 2000. Rotenone use in North America (1988–1997). *Fisheries* 25: 15–21.
- Planes S, Galzin R, Bablet JP, Sale PF. 2005. Stability of coral reef fish assemblages impacted by nuclear tests. *Ecology* 86: 2578–2585.
- Polivka KM, Chotkowski MA. 1998. Recolonization of experimentally defaunated tidepools by northeast Pacific intertidal fishes. *Copeia* 1998: 456–462.
- Randall JE. 2007. *Reef and Shore Fishes of the Hawaiian Islands*. Honolulu: University of Hawaii Sea Grant College Program.
- Roberts CD, Stewart AL. 2006. Diversity and biogeography of coastal fishes of the East Cape region of New Zealand. *Science for Conservation* 260: 1–57.
- Robertson DR, Allen GR. 2006. *Shorefishes of the Tropical Eastern Pacific: An Information System, version 2.0*. CD-ROM. Balboa (Panamá): Smithsonian Tropical Research Institute.
- Rosa RS, Rosa IL, Rocha LA. 1997. Diversity of the tide pool ichthyofauna from Cabo Branco Beach, João Pessoa, Paraíba, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* 14: 201–212.

- Ross ST, Doherty TA. 1994. Short-term persistence and stability of barrier island fish assemblages. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 38: 49–67.
- Sale PF. 1988. Perception, pattern, chance and the structure of reef fish communities. *Environmental Biology of Fishes* 21: 3–15.
- Schultz LP. 1948. The use of rotenone for collecting reef- and lagoon fishes at Bikini. *Copeia* 1948: 94–98.
- Singer TP, Ramsay RR. 1994. The reaction site of rotenone and ubiquinone with mitochondrial NADH dehydrogenase. *Biochimica et Biophysica Acta* 1187: 198–202.
- Smith CL. 1973. Small rotenone stations: A tool for studying coral reef fish communities. *American Museum Novitates* 2512: 1–21.
- Smith-Vaniz WF. 2005. *Petroscites pylei*, a new saber-toothed blenny from the Fiji Islands (Teleostei: Blenniidae). *Zootaxa* 1046: 29–36.
- Smith-Vaniz WF, Jelks HL, Rocha LA. 2006. Relevance of cryptic fishes in biodiversity assessments: A case study at Buck Island Reef National Monument, St. Croix. *Bulletin of Marine Science* 79: 17–48.
- Thomson DA, Lehner CE. 1976. Resilience of a rocky intertidal fish community in a physically unstable environment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 22: 1–29.
- Willis TJ. 2001. Visual census methods underestimate density and diversity of cryptic reef fishes. *Journal of Fish Biology* 59: 1408–1411.
- Willis TJ, Roberts CD. 1996. Recolonisation and recruitment of fishes to intertidal rockpools at Wellington, New Zealand. *Environmental Biology of Fishes* 47: 329–343.
- Zapata F, Robertson DR. 2006. How many shore-fish species are there in the tropical eastern Pacific? *Journal of Biogeography* 34: 38–51.

doi:10.1641/B580211

Incluir esta informação quando citar este material.