

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN/RESEARCH ARTICLE

TAXAS DE FILTRAÇÃO E INGESTÃO DE UMA MICROALGA
POR *Philodina roseola* (Rotifera: Bdelloidea)

Rates of Filtration and Ingestion of a Microalga
by *Philodina roseola* (Rotifera: Bdelloidea)

Tasas de filtración e ingestión de una microalga
por *Philodina roseola* (Rotifera: Bdelloidea)

Raquel Aparecida MOREIRA¹, Adrislaine da Silva MANSANO¹, Odete ROCHA¹.

¹ Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva, Universidade Federal de São Carlos. Rodovia Washington Luis, km 235. São Carlos, SP, Brasil.

For correspondence. raquel.moreira87@yahoo.com.br

Received: 8th February 2015, Returned for revision: 11st June 2015, Accepted: 30th September 2015.

Associate Editor: Santiago Gaviria Melo.

Citation / Citar este artículo como: Moreira RA, Mansano AS, Rocha O. Taxas de filtração e ingestão de uma microalga por *Philodina roseola* (Rotifera: Bdelloidea). Acta biol. Colomb. 2016;21(2):325-333. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v21n2.47837>

RESUMO

Rotíferos possuem um importante papel nos ciclos biogeoquímicos e na produtividade orgânica dos ecossistemas de água doce em decorrência de suas elevadas taxas metabólicas. Informações sobre a filtração, seu principal processo de aquisição de energia, são relevantes e ainda escassos para a região tropical. Os rotíferos da Subclasse Bdelloidea alimentam-se por filtração ou raspagem consumindo pequenos itens alimentares, como bactérias, algas, leveduras ou matéria orgânica particulada. Sabemos pouco sobre o papel que desempenham na dinâmica trófica dos habitats que ocupam e por isso o objetivo deste estudo foi quantificar em laboratório as taxas de filtração e ingestão do rotífero *Philodina roseola*, alimentado com *Raphidocelis subcapitata*. O delineamento experimental consistiu na exposição de 10 rotíferos adultos por tratamento, em cinco concentrações que variaram entre 10⁴ e 10⁷ cels mL⁻¹, mantidos sob temperatura de 25 ± 1 °C. Os experimentos tiveram a duração de 1 hora e as concentrações iniciais e finais da suspensão algal foram quantificadas por contagem numérica das células em câmara de Neubauer. Não foram encontradas diferenças significativas entre as concentrações iniciais e finais de células nos controles indicando não ter ocorrido crescimento algal. As taxas de filtração de *P. roseola* variaram entre 0,09 e 0,25 mL ind⁻¹ h⁻¹. Tendo em vista que a filtração é o principal processo de aquisição de energia de *Philodina roseola*, assim como dos demais rotíferos, e que está relacionada a questões importantes da dinâmica trófica dos ecossistemas aquáticos, informações adicionais são desejáveis mas necessitam, no entanto, ser ampliadas para outros tipos de alimento e para diferentes combinações de condições experimentais.

Palavras-Chave: filtração, interações tróficas, *Raphidocelis subcapitata*, rotífero, taxas de alimentação.

ABSTRACT

Rotifers play an important role in biogeochemical cycles and organic productivity of freshwater ecosystems due to their high metabolic rates. Information on filter feeding, their main process of energy acquisition, are relevant and still scarce for tropical regions. The rotifers of the class Bdelloidea feed by filtration or scraping consuming small food items, such as bacteria, algae, yeasts or particulate organic matter. We know little of their role in the trophic dynamics in the habitats they occupy and so the aim of this study was to quantify laboratory filtration and ingestion rates of the rotifer *Philodina roseola*, fed with *Raphidocelis subcapitata*. The experiment consisted of 10 adult exposure treatment at five concentrations approximately in the range between 10⁴ and 10⁷ cells mL⁻¹, at the temperature of 25 ± 1 °C. The experiments lasted one hour and initial and final concentrations of the algal suspensions were determined by counting the number of cells in a Neubauer chamber. There were no significant differences between the initial and final concentrations of cells in the control group indicating that algal growth did not occur. *Philodina roseola* filtration rates varied between

0.09 and 0.25 mL ind⁻¹ h⁻¹. Given that filtration is the main process of energy acquisition by *Philodina roseola*, as well as for most other rotifers, and that it comprises important issues related to trophic dynamics of aquatic ecosystems, additional experimental information is especially important and need to be extended to other types of food and combinations of experimental conditions.

Keywords: filter feeding, feeding rates, *Raphidocelis subcapitata*, rotifers, trophic interactions.

RESUMEN

Los rotíferos desempeñan un importante papel en los ciclos biogeoquímicos y en la productividad orgánica de los ecosistemas de agua dulce como consecuencia de sus elevadas tasas metabólicas. Es relevante la información sobre la filtración, su principal proceso de adquisición de energía, la cual es todavía escasa para la región tropical. Los rotíferos de la subclase Bdelloidea se alimentan por filtración o raspaje, consumiendo pequeños elementos alimenticios, como bacterias, algas, levaduras o materia orgánica particulada. Sabemos poco del papel que desempeñan en la dinámica trófica de los hábitats que ocupan, y por eso el objetivo de este estudio fue cuantificar en laboratorio las tasas de filtración e ingestión del rotífero *Philodina roseola*, alimentado con *Raphidocelis subcapitata*. El experimento consistió en la exposición de diez adultos por tratamiento en concentraciones entre 1x10⁴ y 1x10⁷ células mL⁻¹ y bajo temperatura de 25±1 °C. Los experimentos tuvieron la duración de una hora y las concentraciones iniciales y finales de la suspensión algal fueron cuantificadas por conteo numérico de las células en cámara de Neubauer. No fueron encontradas diferencias significativas entre las concentraciones iniciales y finales de células en los controles, lo cual indica que no se presentó crecimiento algal. Las tasas de filtración de *P. roseola* variaron entre 0,09 y 0,25 mL ind⁻¹ h⁻¹. Teniendo en cuenta que la filtración es el principal proceso de adquisición de energía de la *Philodina roseola*, así como de los demás rotíferos, y que comprende cuestiones importantes relacionadas con la dinámica trófica de los ecosistemas acuáticos, es importante ampliar la información con experimentos usando otros tipos de alimento y diferentes combinaciones de las condiciones experimentales.

Palabras clave: filtración, interacciones tróficas, *Raphidocelis subcapitata*, rotífero, tasas de alimentación.

INTRODUÇÃO

Os invertebrados do Filo Rotifera ocupam uma posição relevante na cadeia alimentar dos ecossistemas aquáticos, participando ativamente no movimento da energia através dos diferentes níveis tróficos (Armengol, 1980; Park e Marshall, 2000; Wetzel, 2001). São integrantes ativos da alça microbiana ao consumirem diretamente pequenas partículas orgânicas em suspensão (Pourriot, 1965), ou indiretamente, ao assimilarem substâncias orgânicas dissolvidas e consumirem bactérias e protozoários (Arndt, 1993). Os rotíferos também são importantes organismos como itens alimentares na dieta dos estágios larvais iniciais de muitas espécies de peixes de água doce e de espécies estuarinas de camarão (Das *et al.*, 2012). O alto valor nutricional dos rotíferos é de grande importância para a sobrevivência e crescimento das larvas de peixes (Awais, 1992; Oie e Olsen, 1997).

Os rotíferos da Subclasse Bdelloidea alimentam-se por filtração ou raspagem consumindo pequenos itens alimentares, como: bactérias, algas unicelulares, leveduras e matéria orgânica particulada (Ricci, 1984). Habitam as águas de ambientes lóticos e lênticos, bem como a fina película de água circundante às partículas do solo, ou de musgos e líquens (Ricci e Melone, 2001). Os seus requisitos físicos e químicos não são bem conhecidos e os padrões de distribuição espacial e temporal dos bdelóides revelam muitas vezes flutuações irregulares (Ricci e Balsamo, 2000).

Os fatores que controlam a distribuição e dinâmica populacional das espécies de bdelóides não são bem conhecidos, contudo considera-se que devam incluir a

disponibilidade de matéria orgânica particulada e o biofilme como principais fontes alimentares (Swan e Palmer, 2000), a concentração de oxigênio dissolvido tanto na água como no sedimento e o fluxo da água, especialmente nos ambientes lóticos (Palmer, 1990a; Palmer, 1990b) e também a granulometria do sedimento, já que a maioria dos bdelóides é de hábito bentônico (Ruttner-Kolisko, 1955; Ruttner-Kolisko, 1961). O padrão de distribuição espacial mais frequentemente encontrado para os rotíferos bdelóides é a por distribuição agregada ou em manchas, enquanto a flutuação temporal na abundância das populações é caracterizada por variações irregulares, que provavelmente dependem diretamente da flutuação temporal dos recursos alimentares (Ricci e Balsamo, 2000). A maioria das pesquisas tem tratado de espécies planctônicas, enquanto as bentônicas, e particularmente os Bdelloidea, tem sido um tanto negligenciados (Ricci e Fascio, 1995). Uma possível razão para isso é o fato de que a ausência de lóricas dificulta a identificação taxonômica e por isto na maioria das vezes os rotíferos não-loricados precisam ser observados vivos para se evitar uma identificação incorreta (Nogrady e Pourriot, 1995).

Monakov (2003) destacou em seus estudos o fato de que os Bdelloidea são geralmente filtradores e micrófagos desempenhando um papel crucial no consumo de bactérias em solos úmidos e tendo conseqüentemente, um papel relevante no ciclo do carbono. Pourriot (1977) sugeriu que muitas espécies de bdelóides são exclusivamente bacteriófagos (por exemplo, *Habrotrocha thienemanni*), enquanto alguns são fitófagos (por exemplo, *Philodina citrina*) e outros se alimentam tanto de matéria vegetal como bacteriana (por

exemplo, *Adineta vaga* e *Philodina roseola*). Em contraste com os monogonontas de ambientes aquáticos (Bogdan *et al.*, 1980; Bogdan e Gilbert, 1982; Boon e Shiel, 1990; Ooms-Wilms *et al.*, 1995), a eficiência de alimentação de bdelóides não foi ainda bem estudada (Erman, 1956; Wallace e Starkweat, 1983). Além disso, a maioria dos trabalhos sobre a filtração de invertebrados (Lampert, 1974; DeMott, 1982; Vanderploeg *et al.*, 1984; Lampert e Brendelberger, 1996) tem sido realizados em baixas temperaturas, características das regiões de clima temperado. Por esta razão tornam-se importantes os estudos com organismos normalmente submetidos a altas temperaturas, que são predominantemente encontradas em regiões tropicais.

Algumas espécies do gênero *Philodina* tem sido utilizadas como modelo para vários tipos de estudos, tanto biológicos quanto ecológicos e ecotoxicológicos (Schaefer e Pipes, 1973; Gladyshev e Meselson, 2008; Moreira *et al.*, 2015). Os indivíduos adultos são pequenos, se reproduzem por partenogênese, têm alta fecundidade e curto ciclo de vida. Assim, um grande número de indivíduos pode ser produzido em cada bioensaio, em um curto espaço de tempo. Além de serem facilmente gerados em grande número, os rotíferos do gênero *Philodina* são altamente representativos de habitats aquáticos em geral, sendo encontrados em uma grande variedade de massas de água doce, incluindo lagos, lagoas, pântanos, rios, córregos e nascentes. Esses rotíferos também podem estar presentes em musgos, hepáticas e líquens, matéria orgânica úmida, solo e até mesmo em tanques de tratamento de águas residuárias (Snell e Wallace, 2010).

A microalga clorofícea *Raphidocelis subcapitata*, anteriormente denominada *Pseudokirchneriella subcapitata* (Krienitz e Bock, 2011) foi a espécie selecionada como alimento para a realização dos bioensaios de filtração e ingestão no presente trabalho. Essa é uma espécie bastante disponível (a partir de coleções de culturas monoespecíficas e axênicas) e mantida em laboratório sob condições de cultura facilmente reproduzíveis (Nalewajko e Olaveson, 1998).

O presente estudo teve como objetivo determinar experimentalmente em laboratório as taxas de filtração e de ingestão do rotífero *Philodina roseola*. Esta informação é de grande relevância do ponto de vista ecológico, visto que este mecanismo representa o único processo de obtenção de toda a energia a ser canalizada por cada indivíduo e pela população deste pequeno metazoário para suas diferentes funções fisiológicas sendo assim, determinante para o seu papel funcional na cadeia trófica.

MATERIAL E MÉTODOS

Manutenção do cultivo-estoque do Rotifera *Philodina roseola*

Philodina roseola Ehrenberg, 1830 (Rotifera, Bdelloidea) foi coletado em tanques experimentais de cultivo de plâncton, mantidos na Estação de Aquicultura do Departamento

de Hidrobiologia da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil (21°58'58,4" S e 47°52'42,6" W). Os tanques de cultivo são constituídos de fibra de vidro e apresentam dimensões de 2,28 m de largura, 4,28 m de comprimento e 1 m de profundidade. Tem capacidade para 10.000 litros de água. Primeiramente, os tanques foram limpos com hipoclorito de sódio, enxaguados abundantemente com água e deixados para secar até que todo o resíduo de cloro fosse evaporado. Foram, então preenchidos com água de clorada, para posterior introdução da microalga *Raphidocelis subcapitata* e do zooplâncton coletado na Represa do Broa, localizada no município de Itirapina (São Paulo).

Os indivíduos de *Philodina roseola* presentes no zooplâncton foram coletados em um destes tanques por meio de arrastos verticais com rede de plâncton de 68 µm de abertura de malha. O material foi armazenado em frascos de polietileno, e no laboratório os rotíferos desta espécie foram separados vivos e utilizados como inóculo para o cultivo. Posteriormente foram identificados com base nas descrições de Koste e Terlutter (2001) e de Koste e Shiel (1986) e tiveram a identificação confirmada pela especialista Dra. Nataliia Iakovenko. Registros fotográficos das características da espécie foram realizados e podem ser vistos no material suplementar.

Como meio para o cultivo foi utilizada a água reconstituída preparada de acordo com os procedimentos recomendados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2010) e que tinha as seguintes características: pH entre 7,0 e 7,8; dureza entre 40 e 48 mg CaCO₃ L⁻¹ e condutividade elétrica de aproximadamente 160 µS cm⁻¹.

Cultivos-estoque de *P. roseola*, com grande densidade de indivíduos (em média 116 ind. mL⁻¹) foram mantidos em béqueres de 50 a 250 mL. Os cultivos foram mantidos em incubadora (FANEM® 347 CDG) com temperatura controlada a 25 ± 1 °C, com fotoperíodo de 16h claro: 8h escuro. Para evitar a evaporação do meio de cultura, os béqueres foram lacrados com filme de plástico e a manutenção das culturas foi realizada de acordo com os procedimentos propostos por Hagen *et al.* (2009), a cada 76 horas, quando eram renovados a água e o alimento. Os indivíduos de *P. roseola* foram alimentados com uma suspensão de *Raphidocelis subcapitata*, cujo biovolume é de 10,5 µm³ (Fonseca *et al.*, 2014) cultivada em meio CHU-12 (Müller, 1972), na concentração de 1 x 10⁵ células mL⁻¹.

Delineamento experimental

Para se testar a taxa de filtração do rotífero *Philodina roseola* em diferentes concentrações alimentares realizou-se um experimento que consistiu na exposição de 10 organismos adultos por réplica, expostos a diferentes concentrações da suspensão algácea de *Raphidocelis subcapitata*. As concentrações pretendidas foram: 1 x 10⁴; 0,5 x 10⁵; 1 x 10⁵; 0,5 x 10⁶; 1 x 10⁶; 0,5 x 10⁷ e 1 x 10⁷ células mL⁻¹ e

para cada concentração foram estabelecidas três réplicas. No entanto, as concentrações reais, determinadas por contagem das células nas suspensões fixadas após o preparo das suspensões, corresponderam respectivamente a: $4,7 \times 10^4$; $4,1 \times 10^5$; $4,9 \times 10^5$; $1,1 \times 10^6$; $1,4 \times 10^6$; $0,6 \times 10^7$; $0,8 \times 10^7$ células mL⁻¹. Os valores reais correspondem ao valor médio da concentração de células mL⁻¹ determinado após a contagem do número de células em três réplicas amostrais para cada concentração, em câmara de Neubauer.

Foram estabelecidos três controles contendo apenas água reconstituída e células algais, para cada concentração, sendo que os controles iniciais e finais foram fixados com solução de formaldeído a 4 %, no início e final do experimento, para posterior contagem do número de células algais em câmara de Neubauer, sob microscópio Zeiss em aumento de 40x, com o objetivo de se verificar a ocorrência ou não de crescimento algal. Antes de cada experimento, os animais permaneceram pelo menos 30 minutos sem qualquer alimento.

Os experimentos tiveram a duração de uma hora. Os rotíferos adultos utilizados nos experimentos foram obtidos a partir dos cultivos-estoque. O isolamento dos indivíduos foi realizado sob microscópio estereoscópico e estes foram manuseados cuidadosamente com pipetas Pasteur. Foram estabelecidas três réplicas para cada tratamento (concentração), sendo que em cada uma dez rotíferos adultos foram expostos a 3 mL de cada concentração de alga a ser testada.

Os organismos foram mantidos em vidros de relógio (90 mm de diâmetro) com capacidade de 10 mL e estes encerrados dentro de placas de Petri (110 mm de diâmetro x 15 mm de altura) com tampa para evitar a evaporação do meio. Os experimentos foram mantidos sob a mesma temperatura dos cultivos-estoque (25 ± 1 °C). No início dos testes foram realizadas medidas das variáveis pH, condutividade elétrica, temperatura, dureza da água e concentração de oxigênio dissolvido com a finalidade de se verificar as características da água reconstituída utilizada para as diluições.

De acordo com Wetzel (1975), os indivíduos selecionados para o experimento devem ter aproximadamente o mesmo comprimento, pois as taxas de filtração são afetadas também pelo tamanho decorrente do estágio no ciclo de vida. Para *P. roseola* há uma clara distinção de tamanho entre os rotíferos adultos e os juvenis, ainda que por um período limitado de tempo, dado o rápido desenvolvimento (Moreira *et al.*, 2016, no prelo). Assim, no presente trabalho, apenas os rotíferos maiores (tamanho médio de $429,96 \pm 28,12$ µm), que diferem notadamente em tamanho dos juvenis (tamanho médio de $198,77 \pm 25,88$ µm) foram coletados e utilizados no experimento.

Burns (1969) verificou que a sedimentação das partículas alimentares pode influenciar os resultados obtidos para as

taxas de filtração de algumas espécies de cladóceros. No presente estudo as suspensões algais nos vidros de relógio foram cuidadosamente agitadas manualmente no decorrer do experimento (quatro vezes) para minimizar a ocorrência de sedimentação.

Os experimentos tiveram um período curto de duração para que outros fatores, como os resíduos de excreção dos indivíduos da própria espécie, não interferissem nas taxas de filtração. Após o período de uma hora, os rotíferos foram removidos com uma micropipeta de vidro (microcapilar). Em seguida a suspensão algal em cada recipiente- teste foi homogeneizada por agitação e 1 mL foi recolhido para avaliação quantitativa da densidade final da microalga na suspensão utilizada como alimento.

A análise estatística dos dados obtidos foi feita por meio da aplicação do Teste “t” de Student em nível de 5 % de significância. Os cálculos foram feitos utilizando-se o programa PAST (Hammer *et al.*, 2001), versão 1.37.

Determinação das taxas de ingestão

As taxas de ingestão foram calculadas e expressas como o número médio de células algais ingeridas pelos rotíferos (cels ind⁻¹ hora⁻¹) no período de duração do experimento. Para os cálculos a seguinte equação, proposta por Paffenhöffer (1971), foi utilizada:

$$I = V (C_0 - C_t) / (tN), \text{ onde:}$$

I = A taxa de ingestão (cels ind⁻¹ hora⁻¹); V = volume da amostra no recipiente teste; C₀ = concentração inicial da suspensão algal e C_t = concentração final da suspensão algal nos frascos experimentais; t = tempo de duração do experimento (em horas); N (número de rotíferos).

Taxas de filtração do rotífero *Philodina roseola*

A taxa de filtração dos rotíferos foi calculada pelo método de contagem das células algais. Este método consiste na quantificação do número de células do alimento no meio, antes e após um período durante o qual os animais experimentais foram mantidos se alimentando. A taxa de filtração é calculada supondo-se que a taxa de nutrição do organismo seja proporcional à concentração de alimento. Usualmente a concentração de células de alimento diminui exponencialmente com o tempo. Assim, a mudança na concentração do alimento representa uma medida da quantidade de alimento ingerido e pode ser utilizada para o cálculo da taxa de filtração. A seguinte equação dada por Peters (1984) foi utilizada:

$$G = V (\ln C_0 - \ln C_t) / (tN), \text{ onde:}$$

G = taxa de filtração (mL indivíduo⁻¹ hora⁻¹); V = volume da amostra no recipiente teste; N = número de indivíduos

no frasco; t = duração do experimento em horas; C_0 = concentração inicial da alga e C_t = concentração final da alga nos frascos experimentais.

Os cálculos da taxa de filtração foram realizados para cada unidade experimental, sendo em seguida obtidos os valores médios para cada tratamento (concentração).

RESULTADOS

As variáveis abióticas medidas na água reconstituída utilizada para a preparação das suspensões algais no experimento das taxas de filtração e ingestão do rotífero *Philodina roseola* foram: temperatura de 24,2 °C; pH de 7,2; condutividade elétrica de 156,3 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; concentração de oxigênio dissolvido de 6,9 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e dureza de 40 $\text{mg}\ \text{CaCO}_3\ \text{L}^{-1}$. Os valores encontrados estão na faixa considerada adequada de acordo com as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2005) e também não houve mortalidade de organismos durante o experimento.

Não foram encontradas diferenças significativas entre as concentrações de células, iniciais e finais nas suspensões algais mantidas como controle por meio da aplicação do teste “ t ” de Student, com nível de significância de 5 %, razão pela qual não foram introduzidos fatores de correção para os cálculos da taxa de filtração, pois não houve crescimento significativo da população de algas nos controles.

Os valores das taxas de ingestão ($\text{cels. ind}^{-1}\ \text{hora}^{-1}$) de *Philodina roseola* alimentados com diferentes concentrações de *Raphidocelis subcapitata*, à temperatura de 25 ± 1 °C são apresentados na Figura 1. Os valores obtidos evidenciam que a taxa de ingestão máxima ocorreu quando os organismos foram expostos às maiores concentrações. Houve diferença

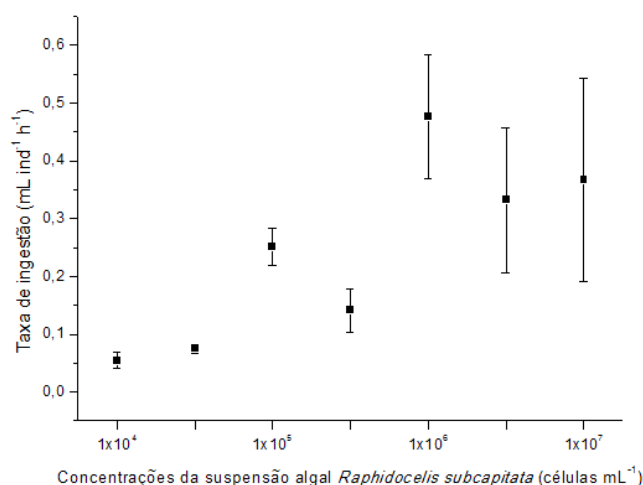


Figura 1. Valores médios e desvios-padrão das taxas de ingestão de *Philodina roseola* ($\text{cels. ind}^{-1}\ \text{h}^{-1}$) alimentados com suspensões da microclorofícea *Raphidocelis subcapitata* em concentrações crescentes. Três réplicas foram estabelecidas para cada tratamento e para o controle.

significativa entre as concentrações iniciais e finais entre os diferentes tratamentos, como evidenciado pela aplicação do teste “ t ”.

As taxas de filtração de *Philodina roseola* variaram entre 0,09 e 0,25 $\text{mL ind}^{-1}\ \text{hora}^{-1}$ nas concentrações testadas de *Raphidocelis subcapitata* (Fig. 2).

DISCUSSÃO

Os rotíferos da espécie *Philodina roseola* tiveram aumento contínuo na taxa de filtração com o aumento da densidade celular da alga fornecida como alimento, até atingirem a concentração incipiente limitante, que foi próxima à concentração de 1×10^6 cels. mL^{-1} . Após essa concentração a taxa de filtração decresceu.

Diversos autores já demonstraram experimentalmente que, acima de uma concentração limite, denominada concentração limiar ou “incipient limiting level” (Rigler, 1961), a taxa de filtração é uma função negativa da concentração de alimento (Mullin, 1963; Richman, 1966; Hotos, 2003). Assim, Porter *et al.* (1982) encontraram uma concentração incipiente limitante de 0,2 mg C L^{-1} ($1,0 \times 10^4$ cels. mL^{-1}) para *Daphnia magna* alimentada com a alga *Chlamydomonas reinhardtii* (concentrações expressas em carbono) sendo que as maiores variações nas taxas de filtração ocorreram entre 0,2 e 2,0 mg C L^{-1} (10^4 a 10^5 cels. mL^{-1}). A faixa de concentração de alimento disponível afeta também as taxas de ingestão dos animais (Peters, 1984). Acima de uma concentração incipiente limitante, as taxas de filtração diminuem e as taxas de ingestão podem diminuir, permanecer constantes, ou aumentar ligeiramente.

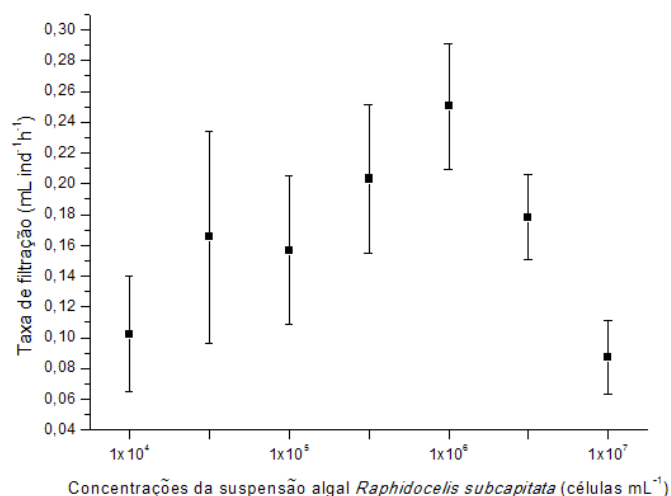


Figura 2. Taxas de filtração de *Philodina roseola* alimentados com suspensão da microclorofícea *Raphidocelis subcapitata* ($\text{mL ind}^{-1}\ \text{h}^{-1}$).

No presente trabalho a taxa de filtração diminuiu nas duas concentrações acima da concentração incipiente limitante na ordem de magnitude de 1×10^6 células mL^{-1} , em virtude das taxas de ingestão terem sido aproximadamente constantes nas duas concentrações mais elevadas, na ordem de magnitude de 10^7 células mL^{-1} .

Experiências realizadas por Erman (1956) com *Philodina roseola* demonstraram dependência quase completa da densidade algal na ingestão deste rotífero ao longo de uma ampla faixa de concentrações, enquanto que para *Brachionus urceolaris* e *Brachionus rubens*, uma considerável independência entre a densidade algal e a atividade alimentar foi observada. Esta diferença refletiu-se nas taxas de filtração (*clearance rates*) das duas espécies, que para *P. roseola* variaram substancialmente ao longo do gradiente de densidade, enquanto para *B. rubens* permaneceram constantes.

Em estudos anteriores há também evidências de que várias espécies de rotíferos respondem de forma diferente a preparações alimentares semelhantes. Assim, as espécies se comportam de maneira diferente, dependendo da natureza das partículas do alimento disponível em suspensão. King (1967) mediu as taxas de filtração da espécie litorânea *Euchlanis dilatata* cultivada em três tipos de partículas alimentares, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Euglena gracilis* e *E. geniculata*, demonstrando que, para esta espécie, as taxas estimadas e os padrões relacionados com a densidade do alimento diferiram ligeiramente entre os alimentos testados. Um resultado semelhante foi também obtido por Devetter (2009) em relação às taxas de filtração de *Habrotrocha thienemanni*, um rotífero bdelóide alimentado com partículas fluorescentes.

Existe uma variedade de mecanismos propostos para explicar a progressiva diminuição nas taxas de filtração com o aumento da densidade de alimentos, como por exemplo, Erman (1956) observou que *B. rubens*, em densidades elevadas de alimento, desacelerou sua velocidade de natação. Halbach e Halbach-Keup (1974) inferiram que a diminuição da taxa de filtração de *Brachionus calyciflorus*, por eles observada, resultou da interferência de altas densidades de algas sobre o aparelho filtrador. Estes autores sugerem que as estimativas das taxas de ingestão e de filtração podem ser afetadas por alterações na frequência ou quantidade de alimento rejeitado, na intermitência do esforço de alimentação ou pela variabilidade na eficiência de coleta com as alterações no tipo e quantidade de alimento. Gilbert e Starkweather (1977), também apontam que mecanismos regulatórios para a ingestão de partículas em suspensão, como a alteração no dobramento dos cirros do pseudotrochus e as alterações no batimento dos cílios e no funcionamento das mandíbulas podem influenciar as taxas de ingestão de *Brachionus calyciflorus*.

Ao compararmos diferentes estudos nos quais são avaliadas as taxas de filtração de microorganismos, diversos

aspectos devem ser levados em consideração, como por exemplo, as diferenças nas condições experimentais, os procedimentos utilizados, o período de duração dos experimentos, o tipo de alimento, as diferentes linhagens e as espécies utilizadas no estudo, além das diferenças de tamanho dos animais e da quantidade destes utilizada nos experimentos. A temperatura é uma das variáveis mais importantes, pois é amplamente reconhecido que este é um dos principais fatores que podem alterar as taxas metabólicas de microorganismos aquáticos, e que o volume de água e a concentração das partículas filtradas depende da temperatura (Gophen, 1976). Outro fator que deve ser levado em consideração é a morfologia das algas utilizadas como fonte alimentar nos experimentos. Lürling *et al.* (1997) registraram taxas de filtração menores para *S. obliquus*, uma alga colonial, quando comparadas às taxas de filtração de células isoladas da mesma espécie. Além disso, Infante (1973), investigando os valores nutricionais de diversas espécies de algas para algumas espécies zooplânctônicas observou que, em geral, algas com paredes celulares espessas, como *Scenedesmus* e *Stichococcus*, não foram muito consumidas.

De acordo com vários autores, as taxas de filtração tendem a aumentar com o aumento do comprimento do corpo dos organismos zooplânctônicos (Gliwicz, 1991; Macedo e Pinto-Coelho, 2000). A relação entre tamanho do corpo e o tamanho máximo das partículas que poderiam ser ingeridas foi estudada por Burns (1969) e Burns e Rigler (1967) em seis espécies de *Daphnia* e em *Bosmina longirostris*. Os resultados apontaram uma forte correlação positiva entre o aumento do tamanho do corpo e o tamanho da partícula ingerida pelas espécies avaliadas. Lürling *et al.* (1997) realizaram experimentos de herbivoria de curta duração e observaram uma diminuição nas taxas de filtração de *Daphnia* à medida que diminuía o comprimento da espécie de alga. Bogdan *et al.* (1980) constataram o mesmo comportamento para o rotífero *Keratella cochlearis*, onde maiores taxas de filtração eram realizadas por indivíduos de maior tamanho.

Diversos estudos demonstraram que a alimentação dos rotíferos em pequenas lagoas ou microcosmos artificiais pode reduzir drasticamente a densidade das espécies do nanoplâncton dominante em alguns dias (Diffenbach e Sachse, 1911; Pennington, 1941; Ito, 1955; Ito e Iwai, 1957; Boon e Shiel, 1990), um indicativo das suas elevadas taxas de filtração. Mialet *et al.* (2013) em um experimento *in situ* com rotíferos bentônicos da Subclasse Bdelloidea, mostraram que os rotíferos ingeriram seletivamente as cianobactérias filamentosas e ao fazerem isso removeram diariamente uma parte substancial (até 28 %) da biomassa de cianobactérias do corpo d'água estudado. Lionard *et al.* (2005) analisaram e compararam a eficiência de filtração do micro e mesozooplâncton sobre o fitoplâncton em experimentos *in situ* utilizando amostras de água natural de três distintos estuários. Nenhum impacto significativo

das atividades de filtração do mesozooplâncton foi encontrado em qualquer experimento apesar do fato da densidade do mesozooplâncton utilizado nos experimentos terem sido superiores às densidades no campo. Já para o microzooplâncton, este apresentou um impacto significativo na filtração, em cinco dos seis experimentos realizados, tendo sido responsável pela filtração de 84 % do fitoplâncton inicialmente presente.

Assim, os rotíferos desempenham um importante papel na ciclagem de nutrientes, tanto em sistemas de águas continentais (Bogdan e Gilbert, 1982), como em sistemas oceânicos (Heinbokel e Beers, 1979), em consequência de apresentarem elevado metabolismo, uma característica intrínseca das espécies de pequeno tamanho, possivelmente decorrente das elevadas razões superfície/volume corporal. Informações sobre a filtração, são relevantes e necessitam ser ampliadas para outras espécies, outros tipos de alimento e diferentes combinações de condições experimentais.

CONCLUSÕES

As taxas de filtração do rotífero *Philodina roseola* diminuem e as taxas de ingestão permanecem relativamente constantes, pelo menos para as duas concentrações acima da concentração incipiente limitante. Consideramos que o conhecimento sobre a taxa de filtração da espécie *Philodina roseola*, seu principal processo de aquisição de energia, assim como a dos demais rotíferos, abrange questões importantes relacionadas à dinâmica trófica dos ecossistemas aquáticos, especialmente envolvendo os microorganismos. Consideramos ainda que as informações disponíveis são ainda insuficientes para um amplo entendimento envolvendo suas interações bióticas, assim necessitando ser ampliadas para outros tipos de alimento e diferentes combinações de condições experimentais. Esperamos que este trabalho contribua para isso e estimule novas investigações sobre o comportamento alimentar de rotíferos em relação ao nanoplâncton.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro e ao Prof. David Siani Haidar pela tradução do resumo para o espanhol.

REFERÊNCIAS

- ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas. Ecotoxicologia aquática–Toxicidade crônica–Método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp (Crustacea, Cladocera). NBR 13373. Rio de Janeiro; 2010. p. 18.
- Armengol J. Colonización de los embalses españoles por crustáceos planctónicos y evolución de la estructura de sus comunidades. *Oecol Aquat.* 1980;(4):45-70.
- Arndt H. Rotifers as predators on components of the microbial web (bacteria, heterotrophic flagellates, ciliates): A review. *Hydrobiologia.* 1993;(255-256):231-246.
- Awais A, Kestemon P, Micha JC. Nutritional suitability of the rotifer, *Brachionus calyciflorus* for rearing freshwater fish larvae. *J Appl Ichthyol.* 1992;(8):263-270. Doi:10.1111/j.1439-0426.1992.tb00693.x
- Bogdan KG, Gilbert JJ, Starkweather PL. *In situ* clearance rates of planktonic rotifers. *Hydrobiologia.* 1980;(73):73-77.
- Bogdan KG, Gilbert JJ. Seasonal patterns of feeding by natural populations of *Keratella*, *Polyarthra*, and *Bosmina*: Clearance rates, selectivities, and contributions to community grazing. *Limnol Oceanogr.* 1982;27(5):918-934. Doi:10.4319/lo.1982.27.5.091
- Boon PI, Shiel RJ. Grazing on bacteria by zooplankton in Australian Billabongs. *Aust J Mar Freshw Res.* 1990;(41):247-257. Doi:10.1071/MF9900247
- Burns CW. Particle size and sedimentation in the feeding behavior of two species of *Daphnia*. *Limnol Oceanogr.* 1969;(14):392-402. Doi:10.4319/lo.1969.14.3.0392
- Burns CW, Rigler FH. Comparison of filtering rates of *Daphnia rosea* in lake water and in suspensions of yeast. *Limnol Oceanogr.* 1967;(12):492-502. Doi:10.4319/lo.1967.12.3.0492
- Das P, Mandal SC, Bhagabati K, Akhtar MS, Singh SK. Important live food organisms and their role in aquaculture. Chapter 5 [in Munilkumar Sukhan]. *Front in Aquacul.* Delhi, India: Narendra Publishing House; 2012. p. 69-86.
- DeMott WR. Feeding selectivities and relative ingestion rates of *Daphnia* and *Bosmina*. *Limnol Oceanogr.* 1982;27(3):518-527. Doi:10.4319/lo.1982.27.3.0518
- Devetter M. Clearance rates of the bdelloid rotifer, *Habrotrocha thienemanni*, a tree-hole inhabitant. *Aquatic Ecol.* 2009;(43):85-89. Doi:10.1007/s10452-007-9160-9
- Diffenbach H, Sachse R. Biologische Untersuchungen an Ridertieren in Teichgcwässern. *Int Rev Hydrobiol.* 1911;(3):1-93.
- Erman LA. On the quantitative aspects of the feeding of rotifers (Rotifera Phylum) [in Russian]. *Zool Zhurnal.* 1956;(35):965-71.
- Fonseca BM, Ferragut C, Tucci A, Crossetti LO, Ferrari F, Bicudo DC, Sant'Anna CL, Bicudo CEM. Biovolume de cianobactérias e algas de reservatórios tropicais do Brasil com diferentes estados tróficos. *Hoehnea.* 2014;41(1):9-30.
- Gilbert JJ, Starkweather PL. Feeding in the rotifer *Brachionus calyciflorus*. I. Regulatory mechanisms. *Oecologia.* 1977;(28):125-131.
- Gladyshev E, Meselson M. Extreme resistance of bdelloid rotifers to ionizing radiation. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2008;105(13):5139-5144. Doi:10.1073/pnas.0800966105.
- Gliwicz ZM. Food thresholds, resistance to starvation, and cladoceran body size. *Verh Internat Verein Limnol.* 1991;24(5):2795-2798.
- Gophen M. Temperature Dependence of Food Intake, Ammonia Excretion and Respiration in *Ceriodaphnia*

- reticulata* (Jurine) (Lake Kinneret, Isreal). *Freshwater Biol.* 1976;(6-5):451-455. Doi:10.1111/j.1365-2427.1976.tb01634.x
- Hagen T, Allinson G, Wightwick A, Nugegoda D. Assessing the performance of a bdelloid rotifer *Philodina acuticornis odiosa* acute toxicity assay. *B Environ Contam Tox.* 2009;(82):285-289. Doi:10.1007/s00128-008-9611-6
- Halbach U, Halbach-Keup G. Quantitative Beziehungen zwischen Phytoplankton und der Populationsdynamik des Rotators *Brachionus calyciflorus* Pallas. Befunde aus Laboratoriumsexperimenten und Freilanduntersuchungen. *Arch Hydrobiol.* 1974;(73):273-309.
- Hammer O, Harper DAT, Rian PD. Past: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. Version. 1.37. 2001. [Cited 2013 Dec 23] Available from: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Heinbokel JF, Beers JR. Studies on the functional role of tintinnids in the Southern California Bight. II. Grazing rates of field populations. *Marine Biol.* 1979;(52):23-32.
- Hotos GH. Growth, filtration and ingestion rate of the rotifer *Brachionus plicatilis* fed with large (*Asteromonas gracilis*) and small (*Chlorella* sp.) celled algal species. *Aquac Res.* 2003;(34):793-802. Doi:10.1046/j.1365-2109.2003.00868.x
- Infante A. Untersuchungen über die Ausnutzbarkeit verschiedener Algen durch das Zooplankton. *Arch Hydrobiol Suppl.* 1973;(48):340-405.
- Ito T. Studies on the "Mizukawari" in eel culture ponds. 1. The feeding activity of *Brachionus plicatilis* (rotifer) on phytonannoplankton (as a cause of "Mizukawari"). *Diet, Ecology. Rep Fac Fisheries-Pref Univ Mie.* 1955;(2):161-167.
- Ito T, Iwai, T. Studies on the "Mizukawari" in eel-culture ponds. VII. The relations between the feeding habit of *Brachionus plicatilis* and size of phytoplankters [In Japanese]. *Diet, Biology. Rep Fac Fisheries-Pref Univ Mie.* 1957;(2):509-516.
- King CE. Food, age, and the dynamics of a laboratory population of rotifers. *Ecology.* 1967;(48):111-128. Doi:10.2307/1933423
- Koste W, Shiel BRJ. Rotifera from Australian Inland Waters. I. Bdelloidea (Rotifera: Digononta). *Aust J Mar Freshw Res.* 1986;(37):765-92.
- Koste W, Terlutter H. Die Rotatorienfauna einiger Gewässer des Naturschutzgebietes "Heiliges Meer" im Kreis Steinfurt, Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen Band. 2001;(27):113-117.
- Krienitz L, Bock C. SSU rRNA Gene Phylogeny of morphospecies affiliated to the bioassay alga "*Selenastrum capricornutum*" recovered the polyphyletic origin of crescent-shaped Chlorophyta. *J Phycol.* 2011;(47):880-893. Doi:10.1111/j.1529-8817.2011.01010.x
- Lampert W. A method for determining food selection by zooplankton. *Limnol Oceanogr.* 1974;19(6):995-998.
- Lampert W, Brendelberger H. Strategies of phenotypic low-food adaptation in *Daphnia*: filter screens, mesh sizes, and appendage beat rates. *Limnol Oceanogr.* 1996;41(2):216-223. Doi:10.4319/lo.1996.41.2.0216
- Lionard M, Azemar F, Bouletreau S, Muylaert K, Tackx M, Vyverman W. Grazing by meso- and microzooplankton on phytoplankton in the upper reaches of the Schelde estuary (Belgium/The Netherlands). *Estuar Coast Shelf Sci.* 2005;(64):764-774. Doi:10.1016/j.ecss.2005.04.011
- Lüring M, De Lange HJ, Van Donk E. Changes in food quality of the green alga *Scenedesmus* induced by *Daphnia* infochemicals: biochemical composition and morphology. *Freshwater Biol.* 1997;(38):619-628. Doi:10.1046/j.1365-2427.1997.00225.x
- Macedo CF, Pinto-Coelho RM. Taxas de filtração de *Daphnia laevis* e *Moina micrura* em relação às clorofíceas *Scenedesmus quadricauda* e *Ankistrodesmus gracilis*. *Acta Limnol Bras.* 2000;(12):1-10.
- Mialet B, Majdi N, Tackx M, Azémar F, Buffan-Dubau E. Selective Feeding of Bdelloid Rotifers in River Biofilms. *Plos One.* 2013;8(9):e75352. Doi:10.1371/journal.pone.0075352
- Monakov AV. Feeding of freshwater invertebrates. Ghent, Belgium: Kenobi Productions; 2003. 373 p.
- Moreira RA, Mansano AS, Rocha O. The toxicity of carbofuran to the freshwater rotifer, *Philodina roseola*. *Ecotoxicology.* 2015;24(3):604-615. Doi:10.1007/s10646-014-1408-2
- Moreira RA, Mansano AS, Rocha O. Life cycle traits of *Philodina roseola* Ehrenberg, 1830 (Rotifera, Bdelloidea), a model organism for bioassays. *An Acad Bras Ciênc.* 2016;No prelo.
- Müller H. Wachstum und phosphatbedarf von *Nitzschia actinastroides* (Lemn.) v. Goor in statischer und homokontinierlicher Kultur unter Phosphatlimitierung. *Arch Hydrobiol Suppl.* 1972;(38):399-484.
- Mullin MM. Some factors affecting the feeding of marine copepods of the genus *Calanus*. *Limnol Oceanogr.* 1963;(8):239-250. Doi:10.4319/lo.1963.8.2.0239
- Nalewajko C, Olaveson MM. Ecophysiological considerations in microalgal toxicity tests. Chapter 19 [In: Wells PG, Lee K, Blaise C]. *Microscale Aquatic Toxicology, Advances, Techniques and Practice.* Lewis, Boca Raton, Florida, USA: CRC press; 1998. p. 289-309.
- Nogrady T, Pourriot R. Rotifera: The Notommatidae. Vol 3. [In: Nogrady T. and Dumont HJ]. *Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world.* Leiden, Netherlands; SPB Academics, Backhuys Publishers; 1995. p. 1-248.
- Oie G, Olsen Y. Protein and lipid content of the rotifer *Brachionus plicatilis* during variable growth and feeding conditions. *Hydrobiologia.* 1997;(358):251-258.
- Ooms-Wilms AL, Postema G, Gulati RD. Evaluation of bacterivory of Rotifera based on measurements of

- in situ ingestion of fluorescent particles, including some comparisons with Cladocera. J. Plankton Res. 1995;(17):1057-1077. Doi:10.1093/plankt/17.5.1057
- Paffenhöffer GA. Grazing and ingestion rates of nauplii, copepodites and adults of the marine copepod *Calanus helgolandicus*. Marine Biol. 1971;(11):286-298.
- Palmer MA. Temporal and spatial dynamics of meiofauna within the hyporheic zone of Goose Creek, Virginia. J N Am Benthol Soc. 1990a;(9):17-25. Doi:10.2307/1467930
- Palmer MA. Understanding the movement dynamics of a stream-dwelling meiofauna community using marine analogs. Stygologia. 1990b;(5):67-74.
- Park GS, Marshall HG. The trophic contributions of rotifers in tidal freshwater and estuarine habitats. Estuar Coast Shelf S. 2000;(51):729-742. Doi:10.1006/ecss.2000.0723
- Pennington W. The control of the number of freshwater phytoplankton by small animals. J Ecol. 1941;(29):204-211. Doi:10.2307/2256390
- Peters RH. Methods for the study of feeding, grazing and assimilation by zooplankton. In: Downing JA, Rigler FH, editors. A manual on methods for the assessment of secondary productivity in freshwaters. 2nd ed. Oxford: Blackwell Sci Publ; 1984. p. 336-412.
- Porter KG, Gerritsen J, Orcutt JD. The effect of food concentration on swimming patterns, feeding behavior, ingestion, assimilation, and respiration by *Daphnia*. Limnol Oceanogr. 1982;25(5):935-949. Doi:10.4319/lo.1982.27.5.0935
- Pourriot R. Recherches sur L'Ecologie des Rotiferes. Vie et Milieu Suppl. 1965;(21):1-224.
- Pourriot R. Food and feeding habits of Rotifera. Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol. 1977;(8):243-260.
- Ricci C. Culturing of some bdelloid rotifers. Hydrobiologia. 1984;(112):45-51.
- Ricci C, Fascio U. Life-history consequences of resource allocation of two bdelloid rotifer species. Hydrobiologia. 1995;(299):231-239.
- Ricci C, Balsamo M. The biology and ecology of lotic rotifers and gastrotrichs. Freshwater Biol. 2000;(44):15-28. Doi:10.1046/j.1365-2427.2000.00584.x
- Ricci C, Melone G, Walsh EJ. A carnivorous bdelloid rotifer, *Abrochtha carnivore n.sp.* Invertebr Biol. 2001;(120):136-141. Doi:10.1111/j.1744-7410.2001.tb00117.x
- Richman S. The effect of phytoplankton concentrations on the feeding rate of *Diaptomus oregonensis*. Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie. 1966;(16):392-398.
- Rigler FH. The relation between concentration of food and feeding rate of *Daphnia magna* Straus. Can J Zool. 1961;(39):857-868. Doi:10.1139/z61-080
- Ruttner-Kolisko A. Einige Beispiele für die unmittelbare Auswirkung des Wetters auf die Lebensbedingungen im feuchten Sand. Wetter und Leben. 1955;(7):16-22.
- Ruttner-Kolisko A. Biotop und Biozönose des Sandufers einiger österreichischer Flüsse. Verh Int Ver Theor Angew Limnol. 1961;(14):362-338.
- Schaefer ED, Pipes WO. Temperature and the toxicity of chromate and arsenate to the rotifer *Philodina roseola*. Water Res. 1973;(7):1781-1790.
- Snell TW, Wallace RL. Rotifera. Chapter 8. [In Thorp JP, Covich A]. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. New York: Academic Press; 2010. p. 173-206.
- Swan CM, Palmer MA. What drives smallscale spatial patterns in lotic meiofauna communities? Freshwater Biol. 2000;(44):109-201. Doi:10.1046/j.1365-2427.2000.00587.x
- Vanderploeg HA, Scavia D, Liebig JR. Feeding rate of *Diaptomus sicilis* and its relation to selectivity and effective food concentration in algal mixtures and in Lake Michigan. J Plankton Res. 1984;(6):919-941.
- Wallace RL, Starkweather PL. Clearance rates of sessile rotifers: in situ determinations. Hydrobiologia. 1983;(104):379-383.
- Wetzel RG. Limnology. Philadelphia: Saunders; 1975. p. 860.
- Wetzel RG. Limnology: Lake and River Ecosystems. 3rd ed. San Diego: Academic Press; 2001. p. 1006.

