

Efeito da composição iônica da água do mar artificial no desenvolvimento de larvas de *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879) [Crustacea, Decapoda] no estágio II

Margarete Mallasen e Wagner Cotroni Valenti*

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Centro de Aqüicultura da UNESP, 14870-000 Jaboticabal-São Paulo, Brazil.
*Author for correspondence.

RESUMO. Avaliou-se a importância da presença na água dos íons Ca^{2+} , K^+ , HCO_3^- , Br^- , Sr^{2+} , Mn^{2+} , HPO_4^{2-} , Li^+ , MoO_4^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, Al^{3+} , Rb^+ , Zn^{2+} , Co^{2+} e Cu^{2+} para o desenvolvimento do *Macrobrachium rosenbergii* no estágio larval II. Aplicou-se um teste de inanição, que consistiu na estocagem das larvas em béqueres contendo 15ml de água salobra (12‰), de diferentes composições iônicas. A cada 8 horas contou-se o número de larvas vivas e calculou-se o tempo médio de vida em todos os tratamentos. Os elementos Al^{3+} , Rb^+ , Zn^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Sr^{2+} , Mn^{2+} , HPO_4^{2-} , Li^+ , MoO_4^{2-} e $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ não influenciaram o tempo de vida das larvas. O K^+ e o Ca^{2+} foram os íons mais importantes para o desenvolvimento das larvas, seguidos pelo Br^- e pelo HCO_3^- , respectivamente, a presença desses íons no meio é indispensável e as larvas devem apresentar mecanismos eficientes de absorção desses elementos.

Palavras-chave: água do mar artificial, composição iônica do meio, *Macrobrachium rosenbergii*.

ABSTRACT. Effect of artificial seawater ionic composition on the development of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879) [Crustacea, Decapoda] at the larval stage II.

The importance of the ions Ca^{2+} , K^+ , HCO_3^- , Br^- , Sr^{2+} , Mn^{2+} , HPO_4^{2-} , Li^+ , MoO_4^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, Al^{3+} , Rb^+ , Zn^{2+} , Co^{2+} and Cu^{2+} in water on the development of *Macrobrachium rosenbergii* at the larval stage II was evaluated. A starvation test was applied. It consisted in keeping larvae of *M. rosenbergii* in beakers containing 15ml of brackish water (12‰) with different ionic compositions. In order to estimate average life time, larvae which survived the treatment were counted every eight hours. Elements Al^{3+} , Rb^+ , Zn^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Sr^{2+} , Mn^{2+} , HPO_4^{2-} , Li^+ , MoO_4^{2-} and $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ were not effective on the larvae life time, whereas K and Ca^{2+} were the most important ions for larvae development, followed by Br^- and HCO_3^- , respectively. These ions are indispensable in water and larvae must have an efficient mechanism to absorb them.

Key words: artificial seawater, *Macrobrachium rosenbergii*, water ionic composition.

Diversas espécies de camarões de água doce do gênero *Macrobrachium* vêm sendo estudadas e cultivadas em países de climas tropical e subtropical. Dentre elas, *Macrobrachium rosenbergii* é a mais utilizada em projetos de aqüicultura (Sebastian, 1990; Valenti, 1993; New, 1995), principalmente porque a tecnologia para sua criação está mais desenvolvida. A produção mundial desse camarão em viveiros foi de 31.235 toneladas em 1992; na América do Sul, os principais produtores são o Equador e o Brasil (New, 1995).

Os jovens e adultos de *M. rosenbergii* normalmente habitam corpos de água doce, porém o desenvolvimento larval dessa espécie ocorre em água salobra até a metamorfose em pós-larva; sendo assim, a maioria das larviculturas comerciais localizam-se junto ao litoral. No entanto, sabe-se

que no Brasil existe um grande potencial para a produção de *M. rosenbergii* no interior e pós-larvas são transportadas de avião por milhares de quilômetros a um custo elevado (Valenti, 1993).

A utilização de água do mar artificial em sistema de recirculação pode estimular a implantação de larviculturas em regiões distantes do litoral e próximas das fazendas de engorda e dos mercados consumidores. Além disso, a água do mar sintética tem a vantagem de evitar a introdução nos tanques de desenvolvimento larval de substâncias tóxicas, provenientes da poluição do mar, de parasitas, de predadores e de competidores dos camarões. Outro proveito do uso da água do mar artificial, segundo Neiheisel e Young (1992), é a possibilidade de reproduzir uma água uniforme em termos de qualidade, pois a água do mar natural pode perder

suas propriedades quando armazenada por longo período.

Empresas privadas desenvolveram misturas para o preparo de água do mar artificial, mas geralmente não apresentam a composição química exata (Spotte *et al.*, 1984). Embora tenha havido evolução na tecnologia de preparação de água do mar comercial, esse problema ainda não foi totalmente resolvido. O desenvolvimento de composições específicas para espécies cultivadas em escala comercial certamente traria benefícios técnicos e econômicos.

Tentativas de produzir comercialmente pós-larvas de *M. rosenbergii* em água do mar sintética foram iniciadas na Índia (Sebastian, 1990) e no Brasil (Valenti, 1993). No entanto, pesquisas adicionais são necessárias para formular uma água do mar artificial bem definida, possibilitando sua reprodução e aplicação prática.

Dessa maneira, avaliou-se a importância dos íons Ca^{2+} , K^+ , HCO_3^- , Br^- , Sr^{2+} , Mn^{2+} , HPO_4^{2-} , Li^+ , MoO_4^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, Al^{3+} , Rb^+ , Zn^{2+} , Co^{2+} e Cu^{2+} para o desenvolvimento do *M. rosenbergii* no estágio larval II, visando fornecer subsídios para a otimização da composição iônica da água salobra usada para a larvicultura dessa espécie.

Material e métodos

O trabalho foi realizado no Laboratório de Biologia de Crustáceos do Departamento de Biologia Aplicada da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, associado ao CAUNESP, câmpus de Jaboticabal.

O experimento foi conduzido conforme o teste de inanição desenvolvido por Cooper e Heinen (1991). Este consiste basicamente na estocagem de larvas de *M. rosenbergii*, no segundo estágio larval, em béqueres de 30ml mantidos em temperatura ambiente constante. O estágio II foi escolhido porque é atingido no segundo dia após a eclosão, facilitando a obtenção das larvas. Animais no estágio I mudam rapidamente, originando uma amostra mais heterogênea, e apresentam maior tolerância às variações de salinidade. Assim, sua utilização foi descartada.

As larvas em condições ótimas de sobrevivência gastam uma quantidade mínima de energia para manter seu metabolismo basal. Em estado de inanição, devem levar mais tempo para morrer em meios mais adequados ao seu desenvolvimento. Portanto, o tempo de vida deve refletir o efeito do meio sobre o metabolismo. A morte mais rápida indica a presença de fatores de estresse e o tempo de vida será tanto menor quanto maior for o efeito negativo desses fatores sobre as larvas.

A água do mar artificial foi preparada conforme formulação adaptada de Bidwell e Spotte (1985), na

qual os sais são classificados em macromelementos (MA), micromelementos (MI) e elementos traços (ET) (Tabela 1). A água salgada foi diluída com água deionizada até a salinidade de 12‰.

Tabela 1. Macromelementos, micromelementos e elementos traços utilizados na preparação da água do mar artificial

Macromelementos (MA)	
Sais	g/L de água doce
Cloreto de Sódio (NaCl)	27,6
Sulfato de Magnésio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$)	6,9
Cloreto de Magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)	5,4
Cloreto de Cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$)	1,4
Cloreto de Potássio (KCl)	0,6
Bicarbonato de Sódio (NaHCO_3)	0,2
Micromelementos (MI)	
Sais	g/L de água doce
Brometo de Potássio (KBr)	0,027
Cloreto de Estrôncio ($\text{SrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)	0,020
Sulfato de Manganês ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	0,004
Fosfato de Sódio ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$)	0,004
Cloreto de Lítio (LiCl)	0,001
Molibdato de Sódio ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$)	0,001
Tiosulfato de Sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$)	0,001
Elementos traços (ET)	
Sais	g/L de água doce
Sulfato de Alumínio [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$]	$8,6 \times 10^{-4}$
Cloreto de Rubídio (RbCl)	$1,5 \times 10^{-4}$
Sulfato de Zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$)	$1,0 \times 10^{-4}$
Sulfato de Cobalto ($\text{CoSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$)	$9,0 \times 10^{-5}$
Sulfato de Cobre II ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$)	$1,0 \times 10^{-5}$

O trabalho consistiu de cinco etapas realizadas seqüencialmente, e que foram denominadas Fase 1 (seis tratamentos), Fase 2 (sete tratamentos), Fase 3 (nove tratamentos), Fase 4 (nove tratamentos) e Fase 5 (cinco tratamentos).

Nas Fases 1 e 2 do experimento, foram avaliados os elementos traços alumínio, rubídeo, zinco, cobalto e cobre. Os tratamentos da Fase 1 foram formulados com todos os sais MA e MI. O tratamento 1 continha todos os ET e, dos demais meios, retirou-se, por vez, um único sal correspondente aos íons traços Al^{3+} , Rb^+ , Zn^{2+} , Co^{2+} e Cu^{2+} , respectivamente.

Na Fase 2, os meios continham na sua composição todos os sais MA e MI. No tratamento 1 todos os ET foram adicionados à água e no tratamento 7 a água continha apenas os sais MA e MI. Os demais meios foram preparados adicionando-se, por vez, um único sal da série dos ET.

As duas etapas seguintes avaliaram as águas salobras de diferentes formulações em relação aos íons bromo, estrôncio, manganês, fosfato, lítio, molibdato e tiosulfato, correspondentes aos sais da série MI.

Nas Fases 3 e 4, os meios continham todos os sais MA e variaram-se suas composições em relação aos micromelementos. Na terceira Fase, os meios tiveram um único íon da série MI retirado por vez, enquanto que na Fase 4 foram adicionados um micromelemento por vez. Em ambas, o tratamento 1

continha todos os sais MA e MI, e o tratamento 9 apenas os MA.

Na última etapa, ou Fase 5, foram analisados cinco meios com diferentes composições em relação aos íons Ca^{2+} , K^+ , HCO_3^- e Br^- . No tratamento 1, a água continha todos os sais da série MA e mais o brometo de potássio. Nos demais meios, foram, por vez, retirados os sais correspondentes aos elementos cálcio, potássio, bicarbonato e brometo, respectivamente.

A retirada do cátion ou ânion ligado ao íon testado foi considerada desprezível, pois a redução em sua concentração foi, em média, da ordem de 0,0007% para os traços, 0,02% para os microelementos e 1,3% para os macroatmentos.

As larvas utilizadas em cada etapa do experimento foram obtidas a partir de uma fêmea ovada de *M. rosenbergii*. Imediatamente após atingir o segundo estágio, as larvas foram cuidadosamente lavadas com água do próprio tratamento sobre uma malha de 125 μm , e então colocadas, com ajuda de uma pipeta Pasteur, em béqueres de vidro de 30ml, contendo 15ml de água salobra 12‰. Todos os tratamentos apresentaram três repetições (três béqueres) com seis larvas no estágio II em cada béquer.

A cada 8 horas (às 7h00, 15h00 e 23h00) contou-se o número de larvas vivas em cada unidade experimental. As larvas mortas foram desprezadas e aquelas que ainda possuíam algum indício de vida, como batimentos cardíacos ou movimentos dos maxilípodos, foram recolocadas nos respectivos béqueres e contadas como larvas vivas.

O tempo médio de vida foi calculado para cada parcela, usando-se a expressão:

$$T_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{si}$$

onde: T_s = tempo médio de vida, T_{si} = número de horas de vida da larva i e n = número de larvas no béquer.

A temperatura e a salinidade da água dos tratamentos foram monitoradas diariamente. O pH de cada meio testado foi medido no início e no final das Fases do experimento. As temperaturas máxima e mínima do ar da sala de cultivo foram controladas, regulando-se os condicionadores de ar para manter a temperatura em torno de 30°C. Manteve-se um fotoperíodo de 16 horas de luz e 8 horas de escuro.

Em todas as Fases do trabalho utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado para a análise estatística do tempo médio de vida. Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA e as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey.

Resultados

Na Fase 1, o tempo médio de vida das larvas variou de 77 a 93 horas e não diferiu significativamente entre os tratamentos (Tabela 2). Os meios formulados sem os elementos traços alumínio e rubídeo apresentaram, respectivamente, a maior e a menor média de sobrevivência.

Tabela 2. Tempo médio de vida das larvas nos tratamentos da Fase 1. MA = macroatmentos, MI = microelementos, ET = elementos traços e Ep. = erro padrão

Tratamentos	Tipos de meios	Médias (horas)	Ep.
2	MA + MI + [ET - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$]	93 a	1
4	MA + MI + (ET - ZnSO_4)	90 a	5
1	completa: MA + MI + ET	82 a	3
6	MA + MI + (ET - CuSO_4)	80 a	4
5	MA + MI + (ET - CoSO_4)	78 a	5
3	MA + MI + (ET - RbCl)	77 a	3

Coeficiente de variação = 8%

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; + → adicionou-se; - → retirou-se

A Tabela 3 indica que o tempo médio de vida das larvas não diferiu significativamente entre os tratamentos da Fase 2. O número médio de horas de vida variou de 80 a 99. O meio contendo todos os íons traços proporcionou maior tempo de vida para as larvas, e o tratamento 5, que recebeu apenas o íon Co^{2+} como elemento traço, apresentou a menor média de sobrevivência. O meio do tratamento 7 foi preparado sem a inclusão de qualquer elemento traço e não diferiu estatisticamente do meio completo (tratamento 1).

Tabela 3. Tempo médio de vida das larvas nos tratamentos da Fase 2. MA = macroatmentos, MI = microelementos, ET = elementos traços e Ep. = erro padrão

Tratamentos	Tipos de Meios	Médias (horas)	Ep.
1	completa: MA + MI + ET	99 a	3
2	MA + MI + $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	98 a	2
4	MA + MI + ZnSO_4	94 a	1
6	MA + MI + CuSO_4	92 a	7
3	MA + MI + RbCl	91 a	4
7	MA + MI	88 a	5
5	MA + MI + CoSO_4	80 a	6

Coeficiente de variação = 9%

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; + → adicionou-se

Na Fase 3, o tempo médio de vida das larvas diferiu significativamente ($P < 0,05$) entre os tratamentos (Tabela 4). No entanto, nenhum deles diferiu do tratamento 1. Esse resultado mostrou que os meios formulados excluindo-se um único íon da série dos microelementos não diferiram do tipo de água preparado com todos os elementos MI. No tratamento 2, cuja água não continha o íon Br^- , obteve-se a menor média de vida, 55 horas.

Na Fase 4, o tempo médio de vida das larvas diferiu significativamente ao nível de 1% entre os tratamentos (Tabela 5). O tratamento 1, contendo

todos os íons representados pelos sais MI, não se diferenciou do meio que incluía apenas o brometo como microelemento. Os outros tratamentos não diferiram estatisticamente do meio preparado somente com os sais MA. O menor tempo médio de vida das larvas foi obtido no tratamento 8, que incluiu o sal tiosulfato de sódio em sua formulação.

Tabela 4. Tempo médio de vida das larvas nos tratamentos da Fase 3. MA = macroelementos, MI = microelementos e Ep. = erro padrão

Tratamentos	Tipos de meios	Médias (horas)	Ep.
8	MA + (MI - Na ₂ S ₂ O ₃)	80 a	2
5	MA + (MI - Na ₂ HPO ₄)	79 ab	4
7	MA + (MI - Na ₂ MoO ₄)	78 ab	8
3	MA + (MI - SrCl ₂)	78 ab	5
1	MA + MI	69 ab	3
4	MA + (MI - MnSO ₄)	69 ab	7
6	MA + (MI - LiCl)	66 ab	1
9	MA	62 ab	6
2	MA + (MI - KBr)	55 b	3

Coeficiente de variação = 12%

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; + → adicionou-se; - → retirou-se

Tabela 5. Tempo médio de vida das larvas nos tratamentos da Fase 4. MA = macroelementos, MI = microelementos e Ep. = erro padrão

Tratamentos	Tipos de meios	Médias (horas)	Ep.
1	MA + MI	111 a	8
2	MA + KBr	99 ab	8
5	MA + Na ₂ HPO ₄	75 bc	2
3	MA + SrCl ₂	71 bc	5
7	MA + Na ₂ MoO ₄	70 bc	14
6	MA + LiCl	66 bc	5
9	MA	64 c	4
4	MA + MnSO ₄	63 c	6
8	MA + Na ₂ S ₂ O ₃	61 c	3

Coeficiente de variação = 16%

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; + → adicionou-se

Na última Fase do experimento, o número médio de horas de vida das larvas diferiu significativamente ($P < 0,01$) entre os tratamentos (Tabela 6). A maior média foi 113 horas, obtida com o meio contendo todos os elementos macro mais o íon brometo, que se diferenciou dos demais. A ausência dos íons bicarbonato e brometo (tratamentos 4 e 5) fez decrescer de forma significativa as médias de vida das larvas para 94 e 54 horas, respectivamente. Os meios formulados sem os macroelementos Ca²⁺ e K⁺, que correspondem respectivamente aos tratamentos 2 e 3, condicionaram as menores médias no tempo de vida e não diferiram entre si.

A temperatura média da água obtida em cada Fase experimental oscilou entre $28,5 \pm 0,2$ e $30,1 \pm 0,1$ °C e apresentou pouca variação durante a realização do trabalho. A salinidade da água de cada

tratamento nas Fases do experimento permaneceu ao redor de 12‰. O pH manteve-se entre 7,6 e 8,1, caracterizando a água como ligeiramente alcalina. Somente o meio sem bicarbonato de sódio (tratamento 4) da Fase 5 apresentou valor mais baixo (pH inicial=5,9 e pH final=6,2).

Tabela 6. Tempo médio de vida das larvas nos tratamentos da Fase 5. MA = macroelementos e Ep. = erro padrão

Tratamentos	Tipos de meios	Médias (horas)	Ep.
1	MA + KBr	113 a	5
4	MA - NaHCO ₃ + KBr	94 b	3
5	MA	54 c	6
2	MA - CaCl ₂ + KBr	35 d	0
3	MA - KCl + KBr	34 d	1

Coeficiente de variação = 11%

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; + → adicionou-se; - → retirou-se

Discussão

Rainbow (1988; 1990) considerou o Zn, o Cu e o Co essenciais, porque esses metais exercem variadas funções bioquímicas. Muitas vezes agem como cofatores enzimáticos, atuando em processos fundamentais para o metabolismo. O zinco é necessário para a ação de enzimas carbônicas (anidrase) e exerce funções estruturais (Rainbow 1988; 1990). Quantidades consideráveis desse elemento são encontradas na musculatura de crustáceos (Zatta, 1985; Depledge, 1989). O cobre é um constituinte essencial para muitos organismos marinhos (Sverdrup *et al.*, 1942), sendo um componente importante do pigmento respiratório dos crustáceos. Os níveis de Zn e Cu na hemolinfa provavelmente são regulados em todos os crustáceos decápodos (Rainbow, 1988; Rainbow e White, 1989; 1990), o que não ocorre com o cobalto (Rainbow e White, 1990).

O Zn, o Co e o Cu acumulados pelos animais durante a fase de ovo foram suficientes para a manutenção dos processos metabólicos das larvas até o estágio II (algumas, inclusive, mudaram para o estágio III antes de morrer). Isso indica que não houve perda significativa desses elementos durante os dois primeiros estágios larvais. Portanto, as larvas de *M. rosenbergii* são capazes de reter íons por certo tempo. A extensão desse período merece ser investigada.

Embora a presença de elementos traços no meio não tenha beneficiado a sobrevivência das larvas, a carência dos íons Al³⁺, Rb⁺, Zn²⁺, Co²⁺ e Cu²⁺ poderia manifestar-se ao longo da ontogênese, prejudicando o desenvolvimento normal do *M. rosenbergii*. Por outro lado, Harrison *et al.* (1981) verificaram que as larvas dessa espécie adaptaram-se melhor à água doce com o desenvolvimento. Segundo esses autores, essa habilidade, provavelmente, ocorre devido às alterações

estruturais nas áreas de transporte de sais no organismo. Isso pode indicar que, com o desenvolvimento, as larvas fiquem menos dependentes da água salobra e dos elementos traços.

Os resultados evidenciaram a importância do microelemento bromo, na formulação da água do mar artificial, para a sobrevivência das larvas. Silva (1995) observou que a omissão do íon Br^- provocou total mortalidade do *M. rosenbergii* no início do desenvolvimento larval, mesmo fornecendo alimento às larvas. Isso indica que a principal fonte de íon Br^- para as larvas é o meio aquático e que estas devem apresentar um mecanismo de absorção desse elemento. Gleeson *et al.* (1993) encontraram quantidades significativas do íon Br^- na antênula e cutícula da sensila olfatória de *Panulirus argus*, *Procambarus clarkii* e *Callinectes sapidus*; porém não conseguiram explicar qual a função que esse íon exerceria na fisiologia desses crustáceos. Spaargaren (1988), estudando adultos de *Crangon crangon*, verificou que o elemento bromo, provavelmente, participa do processo osmótico. Segundo Funge - Smith *et al.* (1995), o brometo pode formar complexos de transferência de carga com o íon Cu , podendo afetar as enzimas carregadoras de cobre e os pigmentos, que em crustáceos atuam tanto na respiração quanto na esclerotização do exoesqueleto.

O tiosulfato não faz parte da composição iônica da água do mar (Bidwell e Spotte, 1985). De acordo com Boyd (1990) e Noga (1996), a adição desse íon na água é o método mais efetivo para a remoção de resíduos de cloro (Cl_2). Como o tiosulfato de sódio não causou qualquer efeito tóxico às larvas, sugere-se que este deva ser adicionado na formulação, quando se utilizar água clorada no preparo da água artificial.

Os resultados observados neste trabalho sugerem que, na preparação de água para a larvicultura de *M. rosenbergii*, são dispensáveis os seguintes íons: Sr^{2+} , Mn^{2+} , HPO_4^{2-} , Li^+ , MoO_4^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, Al^{3+} , Rb^+ , Zn^{2+} , Co^{2+} e Cu^{2+} . Silva (1995) obteve taxa de sobrevivência de pós-larvas de 47%, em um meio no qual não foi adicionado qualquer um desses elementos, corroborando essa hipótese. No entanto, segundo Mallasen e Valenti (1998), a produtividade de pós-larvas de *M. rosenbergii* foi menor em um meio artificial contendo 13 íons (Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , K^+ , Br^- , Sr^{2+} , PO_4^{3-} , Mn^{2+} , MoO_4^{2-} , Li^+ e $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) do que em água do mar natural. Essa maior produção pode ser explicada pela presença de outros íons não estudados neste trabalho ou substâncias orgânicas diluídas no meio natural. É importante ressaltar que esses íons aparentemente dispensáveis podem tornar-se essenciais em outros estágios ou ter um efeito retardado.

A ausência do íon bicarbonato provocou diminuição do pH do meio. Geralmente, o efeito do pH sobre os organismos ocorre de forma indireta; segundo Spotte (1979), a redução do pH eleva as concentrações de CO_2 livre, diminuindo a afinidade do pigmento respiratório

pelo oxigênio. No entanto, para Sebastian (1990), a presença de bicarbonato é fundamental para as atividades fisiológicas do *M. rosenbergii*. O HCO_3^- , juntamente com o Ca^{2+} , participa do processo de calcificação do exoesqueleto de crustáceos decápodos (Taylor *et al.*, 1991). Em *Astacus leptodactylus*, o nível de bicarbonato na hemolinfa aumentou (elevando o pH) antes da ecdise, sem qualquer mudança na pressão parcial de CO_2 (Dejours e Beekenkamp, 1978 apud Truchot, 1983). Segundo Truchot (1983), o processo de muda afeta de forma marcante o balanço ácido-básico da hemolinfa em crustáceos, sugerindo que os estoques de carbonatos são importantes nessa fase de troca do exoesqueleto. Não se pode afirmar, com base nos resultados obtidos neste trabalho, se a diminuição do tempo de vida das larvas ocorreu devido à ausência do íon HCO_3^- ou ao baixo pH da água gerado pela falta deste.

A carência de potássio e cálcio provocou elevado estresse às larvas, ocasionando sua morte rápida. Isso indica que o meio é uma fonte importante desses elementos para as larvas de *M. rosenbergii* e estas apresentam mecanismos desenvolvidos para absorvê-los. Por outro lado, as reservas acumuladas durante a fase de ovo não foram suficientes para manter o metabolismo dos animais nessa fase inicial do desenvolvimento, sugerindo uma demanda crescente desses íons para atender às necessidades das larvas. O cálcio é importante componente do exoesqueleto dos crustáceos e, portanto, ocorrerá aumento na quantidade absoluta desse elemento no corpo das larvas com o crescimento.

Stern *et al.* (1987) e Funge - Smith *et al.* (1995) verificaram que juvenis de *M. rosenbergii* mantiveram hiperregulados os íons K^+ e Ca^{2+} em salinidades variando de 0 a 28‰. Esses íons devem participar de processos fisiológicos fundamentais para essa espécie.

A alimentação pode ser importante fonte de elementos para a regulação iônica. Os resultados obtidos por Morrith (1989) indicam que o sódio pode ser absorvido do alimento no intestino de anfípodos e isso pode representar importante parte da regulação iônica. Para Stern *et al.* (1987), a manutenção hiperiônica do K^+ pelos adultos de *M. rosenbergii*, em várias salinidades (0, 15 e 24‰), pode ser atribuída à reabsorção desse íon nas glândulas antenais e à ingestão de alimentos. Segundo Rainbow e White (1990), os alimentos podem ser fornecedores de elementos traços para o desenvolvimento dos invertebrados marinhos. Possivelmente, alguns íons estudados aqui podem ser obtidos pela alimentação, e o animal pode não depender, exclusivamente, da absorção direta do meio.

Neste trabalho mostrou-se que o K^+ e o Ca^{2+} são os íons componentes da água salobra mais importantes para o desenvolvimento de larvas de *M. rosenbergii* no estágio II, seguidos pelo Br^- e HCO_3^- . Pesquisas devem ser desenvolvidas para verificar quais são as

concentrações mínimas desses elementos que o animal pode suportar sem estresse e como eles agem sobre as larvas durante o processo de desenvolvimento, pois a capacidade de regulação pode variar com os estágios larvais. Essas informações são importantes tanto para fins teóricos quanto práticos. Em uma condição de “conforto osmótico”, o organismo poderia deslocar o gasto energético envolvido na regulação iônica para outras funções, como, por exemplo, o crescimento e aceleração do desenvolvimento larval.

Agradecimento

Ao CNPq, pelas bolsas e auxílio concedidos.

Referências bibliográficas

- Bidwell, J.P.; Spotte, S. *Artificial seawater: formulas and methods*. Woods Hole: Jones & Bartlett, 1985.
- Boyd, C.E. *Water quality in ponds of aquaculture*. Alabama: Birmingham, 1990.
- Cooper, R.K.; Heinen, J.M. A starvation test to determine optimal salinities for larval freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii*. *Comp. Bioch. Physiol.*, 100A(3):537-542, 1991.
- Depledge, M.H. Re-evaluation of metabolic requirements for copper and zinc in decapod crustaceans. *Marine Envir. Res.*, 27:115-26, 1989.
- Funge-Smith, S.J.; Aylor, A.C.; Whitley, J.; Brown, J.H. Osmotic and ionic regulation in the giant Malaysian fresh water prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man), with special reference to strontion and bromine. *Comp. Bioch. Physiol.*, 110A(4):357-365, 1995.
- Gleeson, R.A.; Aldrich, H.C.; White, J.F.; Trapido-Rosenthal, H.G.; Carr, W.E.S. Ionic and elemental analyses of olfactory sensillar lymph in spiny lobster, *Panilurus argus*. *Comp. Bioch. Physiol.*, 105A(1):29-34, 1993.
- Harrison, K.E.; Lutz, P.L.; Farmer, L. The ontogeny of osmoregulatory ability of *Macrobrachium rosenbergii*. *Amer. Soc. Zool.*, 21:1014, 1981.
- Mallasen, M.; Valenti, W.C. Comparison of the artificial and natural, new and reused, brackish water for the larviculture of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* in a recirculating system. *J. World Aquac. Soc.*, 29(3):345-350, 1998.
- Morrit, D. Ionic regulation in littoral and terrestrial amphipods (Crustacea: Amphipoda: Talitridae). *J. Exper. Marine Biol. Ecol.*, 32(1):53-67, 1989.
- Neiheisel, T.W.; Young, M.E. Use of three artificial sea salts to maintain fertile sea urchins (*Arbacia punctulata*) and to conduct fertilization test with copper and sodium dodecyl sulfate. *Envir. Toxicol. Chem.*, 11(8):1179-1185, 1992.
- New, M.B. Status of freshwater prawn farming: a review. *Aquac. Res.*, 26:1-54, 1995.
- Noga, E.J. *Fish disease*. St.Louis: Mosby, 1996. p.227.
- Rainbow, P.S. The significance of trace metal concentrations in decapods. In: SYMPOSIA OF THE ZOOLOGICAL SOCIETY OF LONDON, 1987, London. *Proceedings...* London: Clarendon Press, 1988. p.291-313.
- Rainbow, P.S. Heavy metal levels in marine invertebrates. In: Furness, R.W.; Rainbow, P.S. (ed.). *Heavy metals in marine environment*. Boca Raton: CRC Press, 1990. p.67-79.
- Rainbow, P.S.; White, S.L. Comparative strategies of heavy metal accumulation by crustacean: zinc, copper and cadmium in a decapod, an amphipod and a barnacle. *Hidrobiologia*, 174(3):245-262, 1989.
- Rainbow, P.S.; White, S.L. Comparative accumulation of cobalt by three crustacean: a decapod, an amphipod and a barnacle. *Aquat. Toxicol.*, 16:113-126, 1990.
- Sebastian, M.T. *The giant freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii* (De Man). Trissur: Kelara Agricultural University, 1990.
- Silva, C.A. *Utilização de água do mar artificial em larvicultura de Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879) [Crustacea, Palaemonidae]. Jaboticabal, 1995. (Master's Thesis in Aquaculture) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Centro de Aqüicultura, Universidade Estadual Paulista.
- Spaargaren, D.H. Low temperature halogen accumulation in the brown shrimp, *Crangon crangon* (L.). *Comp. Bioch. Physiol.*, 90A(3):397-404, 1988.
- Spotte, S. *Fish and invertebrate culture: water management in closed systems*. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1979.
- Spotte, S.; Adams, G.; Bubucis, P.M. GP₂ medium is an artificial seawater for culture or maintenance of marine organisms. *Zoo Biol.*, 3:229-240, 1984.
- Stern, S.; Borut, A.; Cohen, D. Osmotic and ionic regulation of the prawn of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) adapted to varying salinities and ion concentrations. *Comp. Bioch. Physiol.*, 86A(2):373-379, 1987.
- Sverdrup, H.U.; Johnson, M.W.; Fleming, R.H. *The oceans, their physic, chemistry and general biology*. New York: Prentice Hall, 1942. p.174-87.
- Taylor, E.W.; Whiteley, N.M.; Wheatly, M.G. Respiratory gas exchange and the regulation of acid-base status in decapodan crustaceans. In: Woakes, M.K.; Grieshaber, C.R.; Bridges, C.R. (ed.). *Physiological Strategies for Gas Exchange and Metabolism*. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. p.79-106.
- Truchot, J.P. Regulation of acid-base balance. In: Bliss, D.E. (ed.). *The Biology of Crustacea*. New-York: Academic Press, 1983. p.54-143.
- Valenti, W.C. Freshwater prawn culture in Brazil. *World Aquac.*, 24(1):30-34, 1993.
- Zatta, P. Interaction between Zn²⁺, Co²⁺, Mn²⁺ with hemocyanin from *Carcinus maenas*. *Cahiers Biol. Mar.*, 26(3):241-9, 1985.

Received 27 February 1998.

Accepted 07 May 1998.