

Efeitos da salinidade, temperatura e concentração de fósforo na composição química de *Gelidium crinale* (Turner) Lamouroux (Gelidiaceae, Rhodophyta)

Paulo Nelo Medeiros Perfeto^{1*}
Albano Schwarzbald²
Lúcia Rebello Dillenburg²

¹Rua Cassol n. 1400 – Apto. 902 – Kobrasol
São José – SC - Brasil CEP 88.102-340
E-mail: pnperfeto@ig.com.br

²Programa Pós Graduação em Botânica – UFRGS
Av. Bento Gonçalves, 9500 – Campus do Vale, Prédio 43433
CEP 91501-970 – Porto Alegre-RS – Brasil

*Autor para correspondência

Submetido em 11/08/2004
Aceito para publicação em 20/12/2004

Resumo

O efeito das diferentes condições de cultivo (temperatura, salinidade e fósforo inorgânico dissolvido), sobre os talos de *Gelidium crinale*, foi estudado durante uma semana. A maior produção de proteínas ocorreu em cultivos onde a temperatura foi de 25 °C, em concentrações de 5,0 e 10,0 µM de fósforo inorgânico dissolvido e salinidade entre 15 e 20 ups, cujos valores médios do incremento variaram entre 2,42 a 2,83 % peso seco de alga. Para carboidratos não foi observada uma interação de terceira ordem através da análise estatística, somente interações

de segunda ordem entre temperatura e diferentes concentrações de fósforo inorgânico ($P < 0,005$) e temperatura e salinidade ($P < 0,000$). O maior incremento de fósforo nos talos da alga (0,80 %) ocorreu na menor temperatura (15 °C), associada à baixa salinidade (10 ups) e alta concentração de fósforo inorgânico no meio (10,0 μM). O coeficiente de correlação de Pearson revelou correlações positivas ($P < 0,001$) entre teor de proteína, temperatura e fósforo inorgânico dissolvido no meio de cultivo. Para carboidratos, as correlações foram positivas com os três parâmetros abióticos. Fósforo tecidual apresentou uma relação positiva com o fósforo inorgânico disponível no cultivo; com salinidade e temperatura esta correlação foi negativa. Entre os componentes químicos, proteínas e carboidratos apresentaram uma relação positiva, porém fósforo tecidual apresentou uma correlação negativa com ambos, embora com proteínas esta relação não tenha sido significativa.

Unitermos: *Gelidium crinale*, proteínas, carboidrato, fósforo tecidual e parâmetros abióticos

Abstract

Effects of salinity, temperature and phosphorus concentration on the chemical composition of *Gelidium crinale* (Turner) Lamouroux (Gelidiaceae, Rhodophyta).

The effects of different culture conditions (temperature, salinity and dissolved inorganic phosphorus) were investigated for seven days, under controlled conditions. The maximum production of proteins occurred in cultures where the temperature was 25°C, with concentrations of 5.0 and 10.0 μM of dissolved inorganic phosphorus and salinity between 15 and 20 psu, with values varying from 2.62 to 2.83% of algae dry weight. For carbohydrates, a third-order interaction was not observed in the statistical analysis; only a second order interaction was observed between temperature and inorganic phosphorus concentrations

($P < 0.005$) and between temperature and salinity ($P < 0.000$). The greatest phosphorus increase in the thalli (0.80 %) occurred in the lowest temperature (15 °C), associated with low salinity (10 psu) and high inorganic phosphorus concentration (10.0 μM). The Pearson's correlation coefficient revealed positive correlations ($P < 0.001$) among protein content, temperature and inorganic phosphorus available in the growth medium. For carbohydrates, correlations were positive with all three abiotic parameters. For tissue phosphorus, a positive correlation occurred only with dissolved inorganic phosphorus; with temperature and salinity, the correlations were negative. Among the chemical components present in the algae, proteins and carbohydrates showed a positive correlation, while tissue phosphorus presented a negative correlation with both, although this correlation was not significant with regard to protein.

Key words: *Gelidium crinale*, proteins, carbohydrates, tissue phosphorus and abiotics parameters

Introdução

A intensa exploração de espécies economicamente importantes, principalmente as dos gêneros *Gelidium* Lamouroux e *Gracilaria* Greville, tem provocado depleção ou até o esgotamento de populações naturais. Este fato estimulou a realização de estudos que de alguma forma buscam alternativas para o uso desses recursos naturais, seja através de cultivos em ambientes abertos (Wakibia et al., 2001; Jayasankar e Varghese, 2002), em tanques de cultura massiva (Nagler et al., 2003) e laboratoriais (Israel et al., 1999).

O controle do crescimento, reprodução, ciclo de vida, produção de biomassa e composição química de várias espécies de algas (Perfeto, 1998; Sousa-Pinto et al., 1999; Orduña-Rojas et al., 2002), são regulados por uma complexa interação entre os

parâmetros ambientais como salinidade, temperatura, luz e nutrientes (Bellorín e Castro, 1997; Hernandez-Guerrero et al., 2000). Portanto, informações relativas a estas variáveis abióticas são fundamentais para que um sistema de cultivo algal se torne efetivo.

Buscando estudar o comportamento apresentado por *Gelidium crinale* em função das variações de parâmetros abióticos, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da temperatura, salinidade e disponibilidade de fósforo inorgânico no incremento de proteínas, carboidrato solúvel e fósforo tecidual nos talos da espécie, mantida em diferentes condições controladas de cultivo unialgal.

Material e Métodos

Coleta e Limpeza

As amostras de *Gelidium crinale* (Turner) Lamouroux, coletadas no Molhe Oeste de Rio Grande, RS, Brasil (32°09'54''LS; 52°05'35''LW), foram transportadas para o laboratório em sacos plásticos com água do ambiente; colocadas em aquários e posteriormente limpas com água do mar filtrada. Durante a limpeza, os talos foram transferidos para outro aquário, onde permaneceram por duas semanas na temperatura de 20 °C, intensidade luminosa ambiente ($8 \mu\text{Mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e salinidade de 25 ups (unidade padrão de salinidade) para adaptação.

Após este período de adaptação selecionaram-se talos íntegros que foram separados em duas porções. Uma foi armazenada seca conforme descrito abaixo e definida como amostra controle, ou momento zero do cultivo. A outra porção foi colocada em solução de hipoclorito de sódio em água do mar, por um minuto, numa concentração de 1:1000 (v:v) (Salinas, 1991); a seguir em solução de dióxido de germânio (GeO_2), por

duas horas, na concentração de seis mg/l para eliminação de diatomáceas, segundo procedimentos modificados de Polne-Fuller e Gibor (1987), sendo, logo em seguida, levada a cultivo.

Cultivo das Algas

Dois gramas de talos de *G. crinale* foram cultivados em meios de cultivos preparados com água do mar (salinidade de 25 ou 30 ups) e água potável, filtradas em filtro para água, em elemento filtrante com 1 μm de poro, autoclavada a uma pressão de 1,5 atm. Após foi realizada a diluição da água do mar com água potável até atingir as salinidades de 10, 15, 20 e 25 ups. Cada meio foi enriquecido com fósforo, na forma de ortofosfato ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ p.a.), cujas concentrações finais foram de 2,5; 5,0 ou 10,0 μM ; a concentração de nitrogênio foi mantida constante (50 μM) através de adição de cloreto de amônio (NH_4Cl p.a.) a cada 48 horas. Para ajustar as concentrações de fosfato e amônio nos meios de cultivo, a água do mar foi filtrada em filtro de 0,45 \pm 0,02 μm (Millipore HA) e a determinação das concentrações, antes e após o enriquecimento com estes nutrientes, seguiu os métodos colorimétricos descritos em Baumgarten et al. (1996).

Os cultivos ficaram expostos a temperaturas de 15, 20 ou 25 °C com variação de ± 1 °C, e intensidade luminosa de 24 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (400-700nm), proveniente de lâmpadas fluorescente (luz do dia plus, F20W), com fotoperíodo de 12:12 (luz:escuro) e aeração constante.

Três experimentos foram realizados e em cada um fixou-se uma das temperaturas pré-estabelecida, estudando-se simultaneamente os diferentes índices de salinidade e de concentrações de fósforo inorgânico, onde talos de *G. crinale* foram cultivados em frascos de Erlenmeyer com 1.000 mL de meio de cultivo, em duplicata, durante uma semana (Perfeto, 2004).

Análises Químicas

As algas provenientes do cultivo e da amostra controle foram secas em estufa a 60 °C por 24 horas. Após terem sido trituradas, foram conservadas em sacos plásticos herméticos a uma temperatura de 15°C negativos (Perfeto, 1998), até o momento da análise dos teores de proteínas, carboidratos e fósforo tecidual.

A quantidade de proteínas foi determinada a partir do nitrogênio total, obtido pelo método de Microkjeldhal (A.O.A.C., 1980), multiplicado pelo fator padrão de 6,25 (Abdel-Fatah et al., 1973). O conteúdo de carboidratos solúveis foi determinado, após extração com ácido tricloroacético 5% a quente, pelo método colorimétrico fenol-sulfúrico (Dubois et al., 1956), usando glicose como padrão. Os teores de fósforo tecidual foram determinados a partir do conteúdo de cinzas, pelo método colorimétrico, usando reagente vanadomolibdato (APHA, 1989).

Todas as análises químicas foram realizadas em triplicata para cada amostra, e os valores dos componentes químicos estimados em percentagem de peso seco (proteínas e carboidratos) e de cinzas (fósforo tecidual), aceitando-se os valores que apresentaram diferenças inferiores a 5% entre si.

Análise Estatística

Os resultados (diferença entre os valores obtidos após cultivo e a amostra controle) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) ($P < 0,05$), utilizando um modelo fatorial 3x3x4, para determinar o efeito isolado e interativo dos parâmetros abiótico na produção de proteínas, carboidratos e fósforo tecidual. O teste de comparações múltiplas de Duncan foi utilizado para comparar os valores obtidos e o coeficiente de

correlação de Pearson ($P = 0,05$) para determinar correlações entre os parâmetros abióticos e componentes químicos (STATSOFT, INC., 1995). Foram verificados os pré-requisitos da análise.

Resultados

Os resultados encontrados para os componentes químicos foram submetidos à análise de variância fatorial, cujo resumo é mostrado na tabela 1, onde se constatou que os incrementos nos teores dos componentes químicos dependeram da ação individual e sinérgica dos parâmetros abióticos estudados ($P < 0,00$). Contudo, observou-se que o incremento nos teores de carboidratos não foi influenciado significativamente ($P > 0,05$) pela ação sinérgica dos três parâmetros estudados. Através do coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 2) foram analisadas as relações entre os teores de proteínas, carboidratos, fósforo tecidual e os parâmetros abióticos.

Em todas as condições de cultivo constatou-se um incremento na produção de proteínas (Figura 1). Os menores teores foram registrados na temperatura de 15 °C, sob a qual não se verificou uma variação acentuada entre os valores médios, quando analisados em função da salinidade e fósforo inorgânico dissolvido. Com a elevação da temperatura para 25 °C registrou-se um acúmulo nos teores de proteínas nos talos da alga, principalmente nas salinidades intermediárias de 15 e 20 ups e nas concentrações de 5,0 e 10,0 μM de fósforo inorgânico disponível no meio de cultivo, produzindo um incremento entre 2,42 % e 2,83 % de proteínas em relação as amostras controle.

TABELA 1 – Resumo da análise de variância fatorial onde se comparam os efeitos da temperatura (1), concentração de fósforo inorgânico adicionado ao meio de cultivo (2), salinidade (3) e suas interações sobre a quantidade dos componentes químicos produzidos durante o experimento.

Fatores variáveis	Gl	Proteínas		Carboidratos		Fósforo tecidual	
		F	p	F	p	F	P
1	2	139,61	0,00***	194,54	0,00***	98,76	0,00***
2	2	31,84	0,00***	79,12	0,00***	154,99	0,00***
3	3	27,72	0,00***	61,46	0,00***	319,82	0,00***
1x2	4	10,45	0,00***	3,97	0,01**	8,74	0,00***
1x3	6	9,62	0,00***	16,83	0,00***	7,55	0,00***
2x3	6	2,97	0,01**	0,95	0,47ns	3,00	0,01**
1x2x3	12	2,12	0,03**	0,96	0,49ns	3,57	0,00***
Resíduo	72						
Total	107						

*** significativo $p = 0,001$, ** $p = 0,01$, * $p = 0,05$, ns = não significativo

Diferente do que ocorreu com os valores para proteínas, a interação de terceira ordem não foi significativa para a produção de carboidratos solúveis. De uma maneira geral, os teores desta biomolécula aumentaram significativamente com a elevação da temperatura e disponibilidade de fósforo inorgânico (Figura 2), cujo maior incremento (5,20 %) ocorreu em cultivo onde a temperatura foi de 25 °C e a concentração de fósforo inorgânico dissolvido foi de 10,0 µM. Na temperatura de 15 °C a produção carboidratos foi baixa, com valores médios considerados iguais estatisticamente nas concentrações de 2,5 e 5,0 µM de fósforo inorgânico dissolvido no meio.

A figura 3 revela mais uma vez que a elevação da temperatura é responsável pelo incremento de carboidrato nos talos da espécie estudada, cujo valor máximo (5,75 %) ocorreu na temperatura de 25 °C e salinidade de 25 ups. Na menor temperatura analisada (15 °C), os diferentes índices de salinidades

não interferiram na produção de carboidratos, pois os valores obtidos mantiveram-se estatisticamente semelhantes.

TABELA 2 – Análises do coeficiente de correlação de Pearson para fatores abióticos temperatura, fósforo inorgânico dissolvido (F I D), salinidade e componentes químicos, proteínas, carboidrato fósforo tecidual de *G. crinale*. Correlações significativas estão marcadas com * (P = 0,05).

VARIÁVEIS	Temperatura	F. I. D.	Salinidade	Proteínas	Carboidrato	Fósforo Tecidual
Temperatura	1,00	0,00	0,00	0,61*	0,64*	- 0,32*
	p= ---	p=1,00	p=1,00	p=0,000*	p=0,000*	p=0,001*
F I D		1,00	0,00	0,32*	0,41*	0,43*
		p= ---	p=1,00	p=0,001*	p=0,000*	p=0,000*
Salinidade			1,00	- 0,04	0,44*	- 0,75*
			p= ---	p=0,681	p=0,000*	p=0,000*
Proteínas				1,00	0,58*	- 0,02
				p= ---	p=0,000*	P=0,801
Carboidrato					1,00	- 0,29*
					p= ---	p=0,004*
Fósforo Tecidual						1,00
						P= ---

A partir dos resultados analisados pela interação de terceira ordem (Figura 4), observou-se que a quantidade de fósforo acumulada nos talos da alga decresceu significativamente com o aumento da temperatura, da salinidade e com a diminuição da concentração de fósforo inorgânico disponível nos meios de cultivo, cujos valores médios oscilaram entre 0,08 % e 0,11 %. O aumento nos valores de fósforo tecidual esteve relacionado com a concentração deste elemento no meio de cultivo, atingindo valor máximo de 0,80 %, principalmente quando a salinidade foi menor (10 ups), associado à temperatura baixa (15 °C).

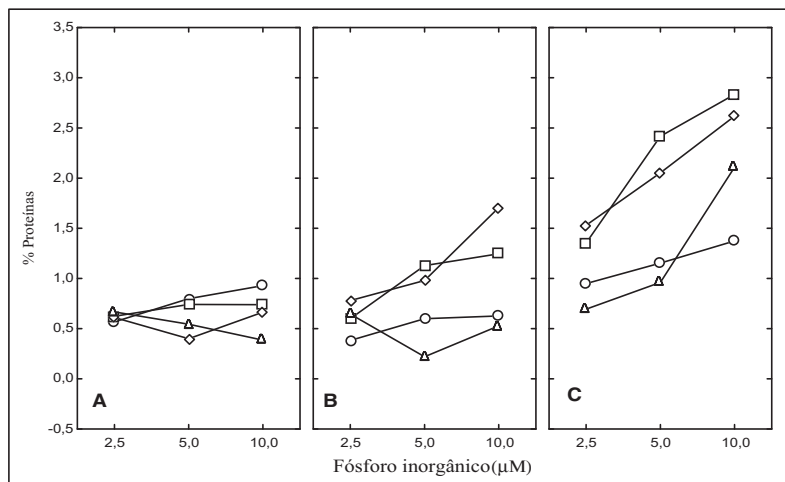


FIGURA 1: Valores médios do incremento de proteínas em porcentagem de peso seco, obtidos pela interação de terceira ordem entre fósforo inorgânico dissolvido no meio temperatura (**A** = 15 °C; **B** = 20 °C; **C** = 25 °C), salinidade (—○— 10 ups; —□— 15 ups; —◇— 20 ups; —△— 25 ups).

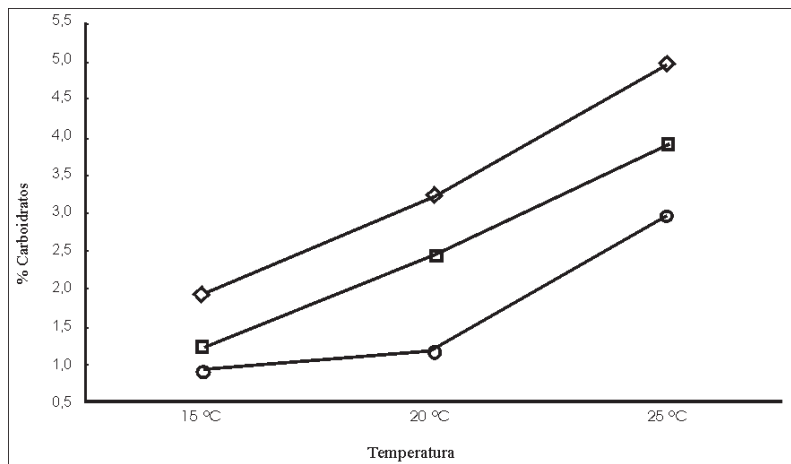


FIGURA 2: Valores médios do incremento de carboidratos solúveis em porcentagem de peso seco, obtidos pela interação de segunda ordem entre temperatura e fósforo inorgânico dissolvido no meio (—○— 2,5μM; —□— 5,0μM; —◇— 10,0μM).

Efeito dos parâmetros abióticos em cultivo de *G. crinale*

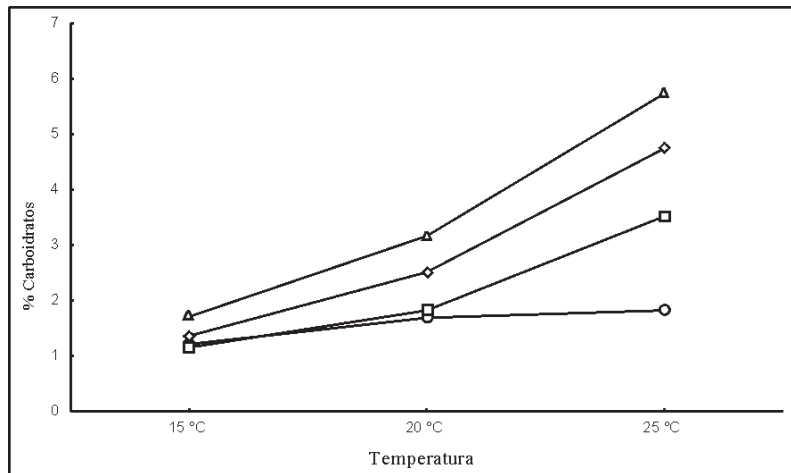


FIGURA 3: Valores médios do incremento de carboidratos solúveis em porcentagem de peso seco, obtidos pela interação de segunda ordem entre temperatura e salinidade (○-10 ups; □- 15 ups; ◇- 20 ups; △- 25 ups).

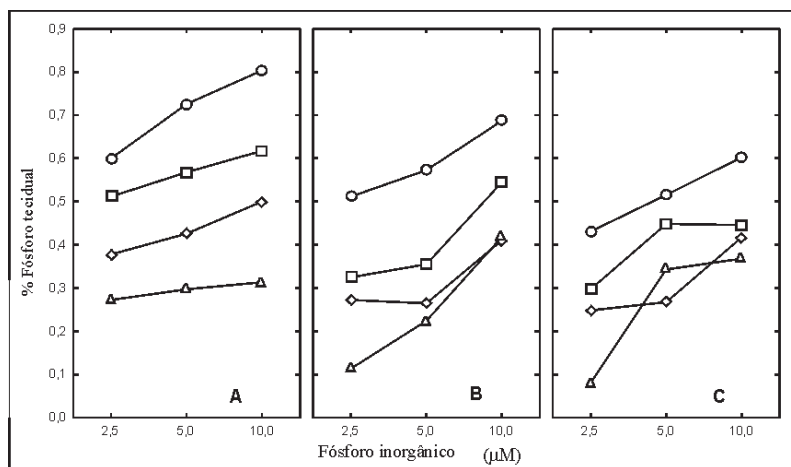


FIGURA 4: Valores médios do incremento de fósforo tecidual em porcentagem de peso cinzas, obtidos pela interação de terceira ordem entre concentração de fósforo inorgânico dissolvido no meio, temperatura (**A** = 15 °C; **B** = 20 °C; **C** = 25 °C) e salinidade (○- 10 ups; □- 15 ups; ◇- 20 ups; △- 25 ups).

Discussão

Os efeitos dos parâmetros abióticos, estudados em cultivos laboratoriais, estão relacionados com o local e época de coletas, os quais interferem na fisiologia das espécies estudadas (Pfetzing et al., 2000). Estudos laboratoriais preliminares revelaram que, intensidade luminosa relativamente alta ($100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), foi responsável pelo processo de foto-oxidação dos pigmentos vermelhos de *Gelidium crinale*. Porém, talos que foram mantidos em baixa intensidade luminosa ($8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), durante processo de adaptação, mantiveram sua coloração natural. Provavelmente isto ocorre porque em seu habitat natural os talos desta alga crescem em locais protegidos da luz, além da presença de materiais em suspensão (observação pessoal), motivo pelo qual se fixou a intensidade luminosa em $24 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Em populações naturais de *Gracilaria cornea* (Orduña-Rojas et al., 2002), a manutenção da coloração dos talos, função dos elevados índices de pigmentos vermelhos (ficobilinas), está associada às baixas intensidades luminosas.

Em *G. crinale* os teores de proteínas apresentaram uma correlação positiva altamente significativa com os parâmetros temperatura e fósforo inorgânico dissolvido, porém com salinidade foi observada uma correlação negativa não significativa (Tabela 2). Esta relação pode ser reflexo dos elevados teores desta biomolécula terem ocorrido nos valores intermediários (15 e 20 ups) de salinidade. A interação entre salinidade e fósforo inorgânico dissolvido permitiu observar que, para obter um incremento máximo nos teores de proteínas entre 2,42 % e 2,83 %, os talos de *G. crinale* podem ser cultivados em condições onde a concentração do fósforo inorgânico disponível no meio seja de 5,0 ou 10,0 μM , na salinidade de 15 ups ou de 10,0 μM na salinidade de 20 ups, desde que a temperatura seja constante a 25 °C, pois os valores médios, relativos ao incremento da biomolécula, nestas combinações, formam entre si grupos

estatisticamente iguais ao nível de significância de 5 %. Em *Gracilaria tenuistipitata* var. *luju* (Israel et al., 1999), a máxima concentração de proteínas foi registrada em meios cuja salinidade variou de 20 ups e 30 ups e nas temperaturas de 20 °C e 30 °C. Segundo os autores nenhum dos dois parâmetros abióticos influenciaram na quantidade de proteínas encontrada nos talos da espécie, pois a mesma se manteve constante nos tratamentos avaliados. Este fato não foi constatado em nossos experimentos, pois após o término do cultivo observou-se um incremento de proteínas nos talos de *G. crinale*.

Estatisticamente pode-se afirmar que os conteúdos de carboidratos apresentaram uma correlação positiva, altamente significativa, com temperatura, salinidade e fósforo inorgânico dissolvido. Contudo, a ação sinérgica dos três parâmetros, agindo efetivamente sobre o aumento dos teores desta biomolécula, não foi observada, limitando-se a interações de segunda ordem, onde as combinações da temperatura com salinidade e com fósforo inorgânico dissolvidos foram efetivas para o incremento de carboidratos. Orduña-Rojas et al. (2002) constataram que os valores máximos de carboidratos, observados em *Gracilaria cornea*, ocorreram durante os meses em que os níveis de salinidade e temperatura foram elevados. Ao relacionar o conteúdo de carboidratos com a variação da temperatura, Pftzing et al. (2000) constataram que em *Pelvetia canaliculata* ocorreu um aumento de 50 % nos teores de manitol e de volemitol em ambientes cuja temperatura variou entre 20 e 27 °C. Quando a temperatura do meio de cultivo de *G. crinale* foi elevada para o valor máximo de 25 °C ocorreu um aumento considerável nos valores de carboidratos, com um incremento máximo de 5,75% em relação à amostra padrão. Nesta temperatura observou-se que as diferenças no incremento desta biomolécula estão relacionadas com os distintos níveis de salinidade, enquanto que nas demais temperaturas estudadas estas diferenças não foram tão marcantes (Figura 3). Estudos realizados por Macler (1988)

em *Gelidium coulteri* constataram que o aumento no conteúdo de floridosídeo, carboidrato de baixo peso molecular, estava diretamente relacionado com o aumento da salinidade do meio.

Normalmente os estudos com algas marinhas revelam uma correlação negativa entre os teores de proteínas (nitrogênio tecidual) e a concentração de carboidratos, principalmente em seu habitat natural, onde a variação dos parâmetros físicos e químicos está relacionada com a sua sazonalidade (Perfeto, 1998; Orduña-Rojas et al., 2002). No presente estudo a relação entre os teores de proteínas e carboidratos revelou uma correlação positiva ($r = 0,58$; $P = 0,000$) altamente significativa. Acredita-se que esta relação direta entre as duas biomoléculas possa ser uma resposta de ajuste osmótico, por parte de *G. crinale*, às flutuações de salinidade nos meios de cultivo, pois as algas marinhas procuram manter sua pressão de turgor constante acima das concentrações osmóticas externas (Kirst e Bisson, 1979; Kirst, 1989) e este balanço osmótico pode ser alcançado através do acúmulo dos solutos orgânicos como aminoácidos e/ou carboidratos (Lüning, 1990). Em *Compsopogon coeruleus* (Glazer et al., 1994) foi observada uma relação direta entre o aumento de carboidrato de baixo peso molecular (floridosídeo) com a elevação dos níveis de salinidade, acreditando os autores que este aumento seja em função do processo de osmoaclimação.

As algas marinhas parecem ajustar um balanço no fluxo de carbono, direcionando-o para produção e armazenamento de carboidratos de reserva e/ou estrutural em resposta a suas necessidades fisiológicas. O enriquecimento da água do mar com fósforo inorgânico afeta significativamente o conteúdo de polissacarídeos. Logo, Chopin et al. (1991), Chopin e Wagey (1999) sugerem que este elemento pode ser um importante regulador do fluxo de carbono, particularmente em *Agardhiella subulata* e *Chondrus crispus*, principalmente para a síntese de glicose e amido ou de galactose e carragenina. No presente estudo observou-se uma correlação positiva entre o conteúdo de carboidratos e fósforo

inorgânico disponível nos meios de cultivo ($r = 0,41$; $P = 0,000$). O incremento no conteúdo de carboidratos atingiu um pico nas máximas concentrações de fósforo inorgânico dissolvido (Figura 2). Nossos resultados são consistentes com os encontrados em *Gelidium robustum* (Sousa-Pinto et al., 1996) e *Agardhiella subulata* (Chopin et al., 1991), sendo que nestas espécies os carboidratos como ágar e amido de florídea, respectivamente, apresentaram teores elevados quando estas espécies estavam sujeitas a regimes de alta concentração de fósforo inorgânico dissolvido nos meios de cultivo.

A capacidade de incorporar fósforo inorgânico e armazená-lo no interior das células, quando suas concentrações estão elevadas no meio, é denominada “consumo de luxo” (Salisbury e Ross, 1994), sendo uma estratégia considerada ecologicamente importante, pois esta quantidade excedente permite que as algas cresçam mesmo em condições onde o fósforo é limitante (Kuhl, 1974). Como resposta às diferentes concentrações de fósforo inorgânico disponíveis, nos experimentos realizados com *G. crinale*, observou-se que os altos teores deste elemento tecidual ocorreram nos cultivos cuja máxima concentração foi de $10,0 \mu\text{M}$, principalmente quando a temperatura aplicada foi a mais baixa ($15 \text{ }^\circ\text{C}$). A ação da salinidade no acúmulo de fósforo tecidual está perfeitamente caracterizada através de uma correlação negativa ($r = - 0,75$; $P = 0,000$), onde os baixos níveis deste parâmetro são responsáveis pelo incremento deste componente químico nos talos da alga. Esta elevação de fósforo tecidual em *G. crinale* aconteceu durante um período totalmente adverso à produção de proteínas e carboidratos.

Segundo Kuhl (1968), o fósforo possui um papel importante nos processos celulares, envolvendo a geração e transformação da energia metabólica, constatando que células com altos conteúdos de carboidratos são deficientes em quantidade de fósforo tecidual. Neste estudo com *G. crinale* pode-se observar

uma correlação negativa, altamente significativa, entre os teores de carboidratos e fósforo tecidual. Esta relação inversa pode ser uma resposta ao processo de absorção de fósforo inorgânico dissolvido no meio por parte da alga, utilizando energia proveniente dos carboidratos de reserva e/ou da parede celular, para acumulá-lo em seus tecidos. Dentro de determinados níveis de concentração, os teores de fósforo tecidual controlam o conteúdo de carboidratos (carragenina) em *Chondrus crispus* (Chopin et al., 1995), e quando estes níveis se elevam muito ocorre uma queda acentuada nos teores deste polissacarídeo. Para Chopin et al. (1991), quando a atividade fotossintética não produz energia suficiente para os processos metabólicos, as algas podem utilizar suas reservas de carboidratos.

As diferentes combinações entre os parâmetros abióticos estudadas neste trabalho, permitiram observar que as maiores taxas de incremento de proteínas e carboidratos, assim como o fósforo tecidual, ocorreram em cultivos cuja concentração de fósforo inorgânico disponível no meio foi a mais elevada (10,0 μ M). Contudo, nesta concentração, em todos os casos analisados, observaram-se resíduos de fósforo inorgânico nos meios de cultivo (Perfeto, 2004). Preocupados com a permanência residual deste elemento químico, que normalmente é lançado nos efluentes dos sistemas de cultivo e depositado no ambiente natural, é importante definir não só sua concentração, mas também de outros, utilizados para o enriquecimento dos cultivos, tão necessários para a realização dos processos fisiológicos das algas.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Danilo Calazans, Laboratório de Crustáceos, Prof. Dr. Luiz Felipe Niencheski, Laboratório de Hidroquímica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), por permitirem a utilização de seus laboratórios. Ao Prof. Dr. Tabajara Lucas de Almeida, Departamento de Matemática (FURG) pelo

apoio nas análises estatísticas. À Dra. Lezilda C. Torgan, Dra. Iara Maria Franceschini e Dr. João Ito Bergonci pelas sugestões e críticas apresentadas a este trabalho. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, que permitiu, através do Processo 200553/94, ampliar os conhecimentos do primeiro autor na área de Ficologia.

Referências

- Abdel-Fattah, A. F.; Abed, N. M.; Edrees, M. 1973. Seasonal variation in the chemical composition of agarophyte *Pterocladia capillaceae*. **Australian Journal of Marine Freshwater Research**, **24**: 177-181.
- A.O.A.C. 1980. **Official methods of analysis of the association of official agriculture chemistry**. Ed. William Horwitz, Washington, USA, 1018 pp.
- APHA, 1989. American Public Health Association. **Standard methods for examination of water and wastewater**. Ed. Clescei, L. S.; Grenberg, E.; Trussel, R., Washington, USA, 1193 pp.
- Baumgarten, M. G. Z.; Rocha, J. M. B.; Niencheski, L. F. 1996. **Manual de Análises em Oceanografia Química**. Ed. FURG, Rio Grande, Brasil, 132 pp.
- Bellorín, A. M.; Castro, A. J. L. 1997. Efecto de la temperatura y la irradiación en el crecimiento *in vitro* del alga *Gracilaria tenuifrons* (Bird & Oliveira) Fredericq & Hommersand (Gracilariales, Rhodophyta). **Boletín Instituto Oceanográfico de la Venezuela, Universidad Oriente**, **36**: 61-67.
- Chopin, T.; Gallant, T.; Davison, I. 1995. Phosphorus and nitrogen nutrition in *Chondrus crispus* (Rhodophyta): Effects on total phosphorus and nitrogen content, carrageenan production and photosynthetic pigments. **Journal of Phycology**, **31**: 283-293.

Chopin, T.; Hanisak, M. D.; Koehn, F. E. 1991. Effects of seawater phosphorus concentration on floridean starch content in *Agardhiella subulata* (C: Agardh) Kraft et Wynne (Rhodophyceae). **Botanica Marina**, **34**: 369-373.

Chopin, T.; Wagey, B. T. 1999. Factorial study of the effects of phosphorus and nitrogen enrichments on nutrient and carrageenan content in *Chondrus crispus* (Rhodophyceae) and on residual nutrient concentration in seawater. **Botanica Marina**, **42**: 23-31.

Dubois, M.; Gilles, K. A.; Hamilton, J. K.; Rebers, P. A.; Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. **Analytical Chemistry**, **28**: 352-356.

Glazer, A. N.; Chan, C. F.; Karsten, U.; West, J. A. 1994. Salinity tolerance, biliproteins, and floridoside content of *Compsopogon coeruleus* (Rhodophyta). **Journal of Phycology**, **30**: 457-461.

Hernandez-Guerrero, C.J.; Casas-Valdez, M.; Ortega-Garcia, S.; Hernandez-Vasquez, S. 2000. Effect of climatic variation on the relative abundance of the red alga *Gelidium robustum* in Baja California Sur, Mexico. **Journal of Applied Phycology**, **12**: 177- 183.

Israel, A.; Martinez-Goss, M.; Friedlander, M. 1999. Effects of salinity and pH on growth and agar yield of *Gracilaria tenuistipitata* var. *liui* in laboratory and outdoor cultivation. **Journal of Applied Phycology**, **11**: 543-549.

Jayasankar, R.; Varghese, S. 2002. Cultivation of marine red alga *Gracilaria edulis* (Gigartinales, Rhodophyta) from spores. **Indian Journal of Marine Sciences**, **31**: 75-77.

Kirst, G. O. 1989. Salinity tolerance of eukaryotic marine algae. **Annual Review Plant. Physiology, Plant Molecular Biology**, **40**: 21-53.

Kirst, G. O.; Bisson, M. A. 1979. Regulation of turgor pressure in marine algae: ion and low-molecular-weight organic compounds. **Australian Journal of Plant Physiology**, **6**: 539-556.

Kuhl, A. 1968. Phosphate metabolism of green algae. *In*: Jackson, D. F. (ed.). **Algae, Man and Environment**. Academic Press, New York, USA, p. 37-52.

Kuhl, A. 1974. Phosphorus. *In*: Stewart, W. D. P. (ed.). **Algal Physiology and Biochemistry**. University of California Press, Los Angeles, USA, p. 636-654.

Lüning, K. 1990. **Seaweeds, their environment, biogeography and ecophysiology**. A. Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 527 pp.

Macler, B. A. 1988. Salinity effects on photosynthesis, carbon allocation and nitrogen assimilation in the red alga, *Gelidium coulteri*. **Plant Physiology**, **88**: 690-694.

Nagler, P. L.; Glenn, E. P.; Nelson, S. G.; Napoleon, S. 2003. Effects of fertilization treatment and stocking density on the growth and production of the economic seaweed *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in cage culture at Molokai, Hawaii. **Aquaculture**, **219**: 379-391.

Orduña-Rojas, J.; Robledo, D.; Dawes, C. J. 2002. Studies on the tropical agarophyte *Gracilaria cornea* J. Agardh (Rhodophyta, Gracilariales) from Yucatan, Mexico. I. Seasonal physiological and biochemical responses. **Botanica Marina**, **45**: 453-458.

Perfeto, P. N. M. 1998. Relation between chemical composition of *Grateloupia doryphora* (Montagne) Howe, *Gymnogongrus griffithsiae* (turner) Martius and abiotic parameters. **Acta Botânica Brasileira**, **12**: 77-88.

Perfeto, P. N. M. 2004. **Efeitos de variáveis abióticas na composição química de *Gelidium crinale* (Gelidiaceae,**

P.N.M. Perfeto et al.

Rhodophyta) em cultivo unialgal. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 123 pp.

Pfetzinger, J. D.; Stengel, B.; Cuffe, M. M.; Savage, A. V.; Guiry, M. D. 2000. Effects of temperature and prolonged emersion on photosynthesis, carbohydrate content and growth on the brown intertidal alga *Pelvetia canaliculata*. **Botanica Marina**, **40**: 399-407.

Polne-Fuller, M.; Gibor, A. 1987. Callus and callus-like growth in seaweeds: induction and culture. **Hydrobiologia**, **151/152**: 131-138.

Salinas, J. M. 1991. El proceso de refijación en *Gelidium sesquipedale*(Clem.) Born. et Thur. (Gelidiales: Rhodophyta). **Boletín Instituto Español de Oceanografía**, **7**: 3-58.

Salisbury, F. B.; Ross, C. W. 1994. **Fisiología Vegetal**. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. Ed. Española, Cidade do México, México, 759 pp.

Sousa-Pinto, I.; Lewia, R.; Polne-Füller, M. 1996. The effect of phosphate concentration on growth and agar content of *Gelidium robustum* (Gelidiaceae, Rhodophyta) in culture. **Hydrobiologia**, **326/327**: 437-443.

Sousa-Pinto, I.; Murano, E.; Coelho, S.; Felga, A.; Pereira, R. 1999. The effect of light on growth and agar content of *Gelidium pulchellum* (Gelidiaceae, Rhodophyta) in culture. **Hydrobiologia**, **398/399**: 329-338.

STATSOFT, INC. 1995. **Statistica for Windows [Computer Program Manual]**. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2325 East 13th street, Tulsa, OK, 74104.

Wakibia, J. G.; Anderson, R. J.; Keats, D. W. 2001. Growth rates and agar properties of three gracilarioids in suspended open water cultivation in St. Helena Bay, South Africa. **Journal of Applied Phycology**, **13**: 195-207.