

Efecto de la emersión a corto plazo a dos temperaturas de exposición aérea sobre parámetros de calidad en cola de langosta espinosa (*Panulirus interruptus*)

Quality parameters of spiny lobster (*Panulirus interruptus*) tails as affected by short-term emersion at two different air temperatures

E Márquez-Ríos¹, S Gómez-Jiménez¹, VM Ocaño-Higuera², FJ Castillo-Yáñez², R Pacheco-Aguilar^{1*}

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC, Apartado postal 1735, CP 83000, Hermosillo, Sonora, México.

* E-mail: rpacheco@cascabel.ciad.mx

² Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Universidad de Sonora, Rosales y Niños Héroes S/N, Apartado postal 1819, CP 83000, Hermosillo, Sonora, México.

Resúmen

La langosta espinosa *Panulirus interruptus* es un crustáceo de alto valor comercial, para la cual la mayor parte de su producción es comercializada en vivo. Durante los procedimientos de comercialización por la industria pesquera del norte de México, específicamente de Baja California, los animales son expuestos a emersión durante periodos cortos a diferentes temperaturas ambientales. En este trabajo se evaluaron los efectos de la emersión a corto plazo (hasta 10 h) a dos temperaturas ambientales (7°C y 20°C) y un periodo de recuperación de 2 h, monitoreando los niveles de ATP y sus productos de degradación, así como algunos parámetros de calidad del músculo. Se obtuvo una supervivencia de 100% después de la emersión en todos los casos. No se encontraron diferencias significativas ($P = 0.05$) en la carga energética adenilada (CEA), ni en los niveles de ATP o sus productos de degradación. Los metabolitos AMP, IMP e INO se encontraron en mayor concentración, mientras que los niveles más bajos fueron los de ATP. Los parámetros de calidad del músculo, así como la capacidad de retención de agua (CRA) y el esfuerzo al corte, se mantuvieron igual que el control. Aunque el pH disminuyó ligeramente con la emersión, sus valores regresaron a valores cercanos al control después de 2 h de recuperación. Los resultados sugieren que la langosta espinosa (*P. interruptus*) puede realizar trabajo fisiológico compensatorio hasta después de 10 h en emersión aun a 20°C, sin afectar considerablemente la calidad de su músculo.

Palabras clave: *Panulirus interruptus*, langosta espinosa, calidad, músculo, emersión, ATP.

Abstract

The spiny lobster, *Panulirus interruptus*, is a valuable crustacean and most of its production is marketed live. In the northern fisheries of Baja California, Mexico, the animals are exposed to short-term emersion at different air temperatures during the live marketing procedures. This work evaluates the effect of short-term emersion (up to 10 h) at two air temperatures (7°C and 20°C) and of a 2-h recovery period on ATP, its related metabolites and some muscle quality parameters. Survival was 100% after all emersion times. No significant differences were found either in the adenylic energetic charge or in the levels of ATP and its related metabolites. The highest concentrations were found for AMP, IMP and INO, while ATP had the lowest levels. Muscle quality parameters such as water holding capacity and shear force remained similar to the control values. Although pH decreased slightly with emersion, it was very close to the control values after the 2-h recovery period. The overall results suggest that *P. interruptus* may perform physiological compensatory work after 10 h emersion even at 20°C without significantly affecting the muscle quality.

Key words: *Panulirus interruptus*, spiny lobster, muscle quality, emersion, ATP.

Introducción

La langosta espinosa, *Panulirus interruptus* (Randall 1840), es una especie submareal que se distribuye a lo largo de las costas de California y Baja California, desde San Luis Obispo, California, hasta la Isla Santa Margarita en Baja California Sur, México (Vega *et al.* 1996).

En México la mayor parte de su producción de alrededor, de 2100 toneladas por año (SEMARNAP 2005), se destina a su comercialización en vivo; sin embargo, muchas de las prácticas y métodos de manejo en vivo usados comúnmente pueden

Introduction

The spiny lobster, *Panulirus interruptus* (Randall 1840), is a subtidal species distributed along the coasts of California and Baja California, from San Luis Obispo, California, USA, to Santa Margarita Island, Baja California, Mexico (Vega *et al.* 1996).

Most of the Mexican production of around 2100 tons per year (SEMARNAP 2005) is directed to the live marketing trade; however, many of the practices and methods commonly used throughout the global live shellfish trade may impose

causar un serio estrés que perjudica las respuestas compensatorias fisiológicas del animal, generando cambios patológicos que a su vez enferman al organismo o causan la pérdida intrínseca de calidad (Gómez-Jiménez 1998).

Panulirus interruptus ocupa biotipos donde la temperatura cambia muy poco y donde, como especie submareal, raramente experimenta exposición aérea, excepto durante su comercialización en vivo. Varios estudios han reportado que durante la emersión las especies submareales rápidamente acumulan CO₂, el cual conduce a una acidosis respiratoria e hipoxia metabólica (Taylor y Whiteley 1989, Spicer *et al.* 1990, Schmitt y Uglow 1997, Morris y Oliver 1999). De igual forma, se ha reportado el efecto de la emersión durante la comercialización en vivo de *Penaeus japonicus* (Goodrick *et al.* 1993), *Nephrops norvegicus* (Spicer *et al.* 1990, Schmitt y Uglow 1997), *Homarus gammarus* (Taylor y Whiteley 1989, Whiteley *et al.* 1990), *Jasus edwardsii* (Jussila *et al.* 1997), *Maia squinado* (Durand *et al.* 2000) y *Panulirus interruptus*, sobre algunas respuestas fisiológicas e inmunológicas (Gómez-Jiménez *et al.* 2000). Morris y Oliver (1999) y Speed *et al.* (2001) estudiaron los efectos combinados de emersión y temperatura sobre las consecuencias metabólicas en langosta *J. edwardsii*, midiendo, entre otros metabolitos, ATP y sus productos relacionados. Sin embargo, a la fecha no hay ningún informe sobre los efectos de la emersión sobre la calidad del músculo de la cola de crustáceos comerciales.

Es bien conocido que el ATP se transforma en ADP, AMP e IMP durante la exposición aérea de las langostas como una respuesta a necesidades energéticas (Morris y Oliver 1999), y que estos metabolitos pueden afectar el sabor del producto (Church 1998). El ácido láctico formado en el músculo durante la emersión conduce a cambios de pH y puede aumentar la actividad proteolítica afectando atributos de calidad del músculo como su textura y su capacidad de retención de agua (Ocaño-Higuera *et al.* 2001).

En un estudio de campo realizado por Gómez-Jiménez *et al.* (2001) se describen dos periodos de emersión a diferentes temperaturas aéreas durante los procedimientos de comercialización en vivo de *P. interruptus*. En el presente estudio se simuló en el laboratorio las mismas condiciones para evaluar sus efectos sobre el ATP, sus metabolitos relacionados y algunos parámetros de calidad del músculo de la cola de la langosta espinosa *P. interruptus*.

Materiales y métodos

Animales

Las langostas fueron capturadas por medio de trampas a profundidades entre 3 y 40 m en la costa del Pacífico Noroeste de México, entre las zonas central y sur de la costa occidental de la Península de Baja California (de 28° a 24°N). Langostas de ambos sexos y con longitud de carapacho mínima comercial (82.5 mm) se mantuvieron en tanques con agua marina durante 10 días (20°C y salinidad de 36‰). Se colocaron “casas” de

serious stress, which impairs the animal's physiological compensatory responses and generates pathological changes leading to overt disease or intrinsic quality loss (Gómez-Jiménez 1998).

Panulirus interruptus occupies biotopes where the temperature changes very little and, since it is a subtidal species, it rarely experiences air exposure, except during its live marketing. Several studies have reported that during emersion of subtidal species the gills clump together and the lamellae do not appear well perfused, so aquatic crustacea rapidly accumulate CO₂ leading to respiratory acidosis and metabolic hypoxia (Taylor and Whiteley 1989, Spicer *et al.* 1990, Schmitt and Uglow 1997, Morris and Oliver 1999). Studies have been conducted on the effects of emersion on some physiological and immunological responses of subtidal species and some of them dealt specifically with emersion procedures during the live marketing of commercial crustaceans, such as *Penaeus japonicus* (Goodrick *et al.* 1993), *Nephrops norvegicus* (Spicer *et al.* 1990, Schmitt and Uglow 1997), *Homarus gammarus* (Taylor and Whiteley 1989, Whiteley *et al.* 1990), *Jasus edwardsii* (Jussila *et al.* 1997), *Maia squinado* (Durand *et al.* 2000), and *Panulirus interruptus* (Gómez-Jiménez *et al.* 2000). Furthermore, Morris and Oliver (1999) and Speed *et al.* (2001) studied the combined effects of emersion and temperature on the metabolic consequences in the lobster *J. edwardsii* by measuring, among other metabolites, ATP and its related products. There are no reports, however, on the effects of emersion on the quality of the tail muscle of commercial crustaceans.

It is well known that ATP is transformed into ADP, AMP and IMP during the aerial exposure of lobsters as a response to energetic needs (Morris and Oliver 1999), and these metabolites may affect the flavor of the product (Church 1998). The lactic acid formed during emersion in the muscle can lead to pH changes and this can enhance proteolytic activity, which may affect muscle quality attributes like texture and water holding capacity (Ocaño-Higuera *et al.* 2001).

Gómez-Jiménez *et al.* (2001) described two short emersion periods at different air temperatures during the live marketing procedures of *P. interruptus*. In this study we simulated these conditions in the laboratory to evaluate their effects on ATP, its related metabolites and some quality parameters of the tail muscle of the live spiny lobster *P. interruptus*.

Material and methods

Animals

Lobsters were trap-caught at depths ranging from 3 to 40 m off Baja California, on the northwestern Pacific coast of Mexico, between the central and southern zones (from 28°N to 24°N). Lobsters of both sexes measuring the minimum commercial carapace length (82.5 mm) were maintained in seawater tanks for 10 days (20°C and 36 ppt salinity). Wooden “houses” were placed at the bottom of the tank to provide substitute burrows for the lobsters. The animals were fed squid

madera en el fondo del tanque para proporcionar madrigueras a las langostas, las cuales fueron alimentadas con calamar y carne de almeja. El alimento se retiró 48 h antes del inicio de los experimentos con el objetivo de tener un nivel alimenticio similar.

Experimento de emersión

Se transfirieron cinco grupos de cinco langostas de tamaño comercial (607 ± 12 g) de su tanque principal a los contenedores experimentales de plástico colocados en un cuarto a temperatura controlada de 20°C. Las langostas se cubrieron ligeramente con lana empapada en agua marina para evitar la deshidratación, se expusieron al aire hasta por 10 h y se muestrearon después de 1, 4, 7 y 10 h. Inmediatamente las langostas se decapitaron manualmente girando su cabeza y luego cortándola con unas tijeras. El mismo procedimiento experimental se realizó con langostas en emersión a 7°C. Ambas temperaturas se seleccionaron basadas en medidas de campo y prácticas de manejo poscaptura. La temperatura media del aire en la región más productiva de langosta en el noroeste de México es de 20°C. Es allí donde estos animales pueden ser expuestos a esta temperatura ambiental durante varias horas; mientras que 7°C es la temperatura media aplicada según los protocolos de comercialización en vivo. Los datos de temperatura y humedad relativa dentro de los cuartos donde se realizaron los experimentos se registraron usando los equipos Hobo-XT y Hobo-HR (Onset Computer Corp., MA, USA), respectivamente. Después de concluida la emersión, las langostas se sacrificaron y el músculo de su cola se congeló inmediatamente a -80°C. Un grupo adicional (control) se mantuvo siempre inmerso en agua marina y se muestreó al inicio del periodo de exposición aérea. Este valor de preemersión representó el valor del control. Para los experimentos de reimmersión, dos nuevos grupos de cinco langostas se expusieron a cada una de las temperaturas de emersión durante 10 h. Después de este tiempo se sumergieron nuevamente en acuarios individuales de cristal que contenían 16 L de agua marina y se dejaron recuperar por 2 h. Después de este tiempo de recuperación se sacrificaron y el músculo de su cola se congeló inmediatamente a -80°C.

Análisis químicos

El contenido de humedad, ceniza y proteína se determinó siguiendo las metodologías descritas por la AOAC (1993) (Sec. 950.46, 938.08 y 955.04, respectivamente). Los extractos para la determinación de nitrógeno no proteico (NNP) se prepararon homogeneizando en una licuadora por 2 min, 50 g de langosta con 100 mL de una solución de ácido tricloroacético (ATA) al 10%, y filtrando a través de papel Whatman No. 1. El NNP se determinó por micro-Kjeldhal (AOAC 1993) (Sec. 955.04). El contenido de grasa se calculó siguiendo la metodología descrita por Woyewoda *et al.* (1986).

and clam flesh *ad libitum* and food was denied to them 48 h before the experiments in order to have a similar nutritional level.

Experimental emersion

Five groups of five commercial size lobsters (607 ± 12 g) were transferred from their main tank to experimental plastic containers that were placed inside a temperature controlled room at 20°C. Lobsters were slightly covered with seawater-soaked insulating wool to avoid dehydration and left exposed to air for up to 10 h and sampled after 1, 4, 7 and 10 h. The lobsters were immediately decapitated manually by turning the head around and then cutting with scissors. The same experimental emersion procedure was performed on experimental lobsters emersed at 7°C. Both temperatures were selected based on field measurements and post-catch handling practices: 20°C is the average air temperature in the most productive lobster region of northwestern Mexico and animals may be exposed (emersed) at this ambient temperature for several hours, while 7°C is the average keeping temperature that is applied by many live marketing protocols. Temperature and relative humidity data were recorded inside the insulated rooms using Hobo-XT and Hobo-HR data loggers (Onset Computer Corp., MA, USA), respectively. After each of the above emersion times, lobsters were sacrificed and their tail muscle was immediately frozen at -80°C for further analysis. An additional group (control) was kept immersed in seawater and sampled at the beginning of the air exposure period. This pre-emersion value represents the control value. For the reimmersion experiments, two new groups of five lobsters were exposed to the above air temperatures and left emersed for 10 h. They were then reimmersed in individual glass aquaria containing 16 L of seawater and left to recover for 2 h. After this recovery time they were sacrificed and their tail muscle was immediately frozen at -80°C.

Chemical analysis

Moisture, ash, and protein were determined following the AOAC (1993) methods (Sec. 950.46, 938.08 and 955.04, respectively). Extracts for nonprotein nitrogen (NPN) were prepared by homogenizing 50 g minced lobster with 100 mL of 10% trichloroacetic acid (TCA) solution in a blender for 2 min, and filtering through Whatman No. 1 filter paper. The NPN was determined by the micro-Kjeldhal method 955.04 (AOAC 1993). The fat content was measured following the method described by Woyewoda *et al.* (1986).

ATP and degradation products

The concentration of nucleotide degradation compounds (ATP, ADP, AMP, IMP, inosine and hypoxanthine) in the lobster muscle extract was determined by modifying the method of Ryder (1985). A high-pressure liquid chromatographic

ATP y productos de degradación

La concentración de compuestos derivados de la degradación de nucleótidos (ATP, ADP, AMP, IMP, inosina e hipoxantina) en el extracto de músculo de langosta se determinó por el método de Ryder (1985), utilizando un equipo Hewlett-Packard de cromatografía líquida de alta resolución (Hewlett-Packard Co., Waldbronn, Alemania) provisto de una válvula de inyección de 20 µL de capacidad y un detector de absorbancia UV-VIS. Se utilizó una columna Beckman ultrasférica ODS RP 18 de fase reversa (5 µm, 25 cm × 3.9 mm i.d.) (Beckman Instruments, Fullerton, CA). La fase móvil estuvo compuesta de un amortiguador de fosfatos de pH 7.0 (KH₂PO₄ 0.04 M y K₂HPO₄ 0.06 M) a una velocidad de flujo de 2 mL min⁻¹. El efluente fue monitoreado a 254 nm. Se utilizaron estándares de nucleótidos a una concentración de 0.166 mM, elaborando una mezcla de adenosina 5'-trifosfato (ATP), adenosina 5'-difosfato (ADP), adenosina 5'-monofosfato (AMP), inosina 5'-monofosfato (IMP), inosina (HxR) e hipoxantina (Hx).

Carga energética adenilada

La carga energética adenilada (CEA) en el extracto de músculo de langosta se calculó según la ecuación de Maguire *et al.* (2002), la cual se define como la razón:

$$CEA = (ATP + 0.5ADP) / (ATP + ADP + AMP).$$

Ácido láctico

Los niveles de ácido láctico se determinaron usando un kit colorimétrico de Sigma (cat. No. 735, Sigma Chemical Corp., México).

pH

Las muestras fueron preparadas de acuerdo a Woyewoda *et al.* (1986), usando un potenciómetro digital modelo 240 (Corning Science Products, New York).

Textura

Se midió el esfuerzo al corte para evaluar la textura del músculo de cola de la langosta usando la navaja Warner-Bratzler en un instron Universal modelo 1130 (Instron Corp., Canton, MA). Se utilizaron cortes estandarizados de 10 × 10 × 20 mm ($n = 4$), registrándose la fuerza necesaria (kg_f) para cortar el músculo. La velocidad de la celda fue de 20 cm min⁻¹ y la fuerza de corte se aplicó transversalmente a la orientación de las fibras musculares.

Capacidad de Retención de Agua

La capacidad de retención de agua (CRA) del músculo de cola de langosta se determinó por el método descrito por Cheng *et al.* (1979), en donde 5 g de muestra se colocaron en

system (Hewlett-Packard Co., Waldbronn, Germany) with an injection valve of 20 µL capacity loop, equipped with a UV-Vis absorbance detector, was used. A Beckman ultrasphere ODS RP 18 reverse phase column (5 µm, 25 cm × 3.9 mm i.d.) (Beckman Instruments, Fullerton, CA) was employed for separation. The mobile phase was 0.1 M phosphate buffer pH 7.0 (0.04 M KH₂PO₄ and 0.06 M K₂HPO₄) with a flow rate of 2 mL min⁻¹. The eluant was monitored at 254 nm. Nucleotide standards included a mixture of adenosine 5'-triphosphate (ATP), adenosine 5'-diphosphate (ADP), adenosine 5'-monophosphate (AMP), inosine 5'-monophosphate (IMP), inosine (HxR) and hypoxanthine (Hx) at 0.166 mM.

Adenylic energetic charge

The adenylic energetic charge (AEC) in the lobster muscle extract was calculated using the equation reported by Maguire *et al.* (2002), which is defined by the following ratio:

$$AEC = (ATP + 0.5ADP) / (ATP + ADP + AMP).$$

Lactic acid

Lactic acid levels were analyzed using a Sigma colorimetric kit (cat. No. 735, Sigma Chemical Corp., Mexico).

pH

Samples were prepared according to Woyewoda *et al.* (1986), using a Corning digital pH-meter, model 240 (Corning Science Products, NY).

Texture

Shear force was measured to evaluate texture in the lobster muscle, using a Warner-Bratzler blade in an Instron Universal Testing Machine, model 1130 (Instron Corp., MA). Standardized cuts of 10 × 10 × 20 mm ($n = 4$) were used and the necessary force (kg_f) to shear the muscle was recorded. The speed was set at 20 cm min⁻¹ and the shearing force was applied transversally to the orientation of muscle fibers.

Water holding capacity

The water holding capacity (WHC) of lobster tail muscle was analyzed following the method described by Cheng *et al.* (1979). A sample of 5 g was placed in a 50-mL centrifuge tube and centrifuged under vacuum at 28,000 g at 2°C for 30 min. The supernatant was eliminated and the WHC was calculated as:

$$\% WHC = 100 - (W_i - W_c) / W_i \times 100$$

where W_i is the initial weight of the sample and W_c is weight of the centrifuged sample. The analysis was carried out in triplicate for each sample.

tubos de 50 mL, centrifugándose bajo vacío a 28,000 g a 2°C por 30 min. Se eliminó el sobrenadante y se calculó la CRA según la fórmula:

$$\%CRA = 100 - (P_i - P_c) / P_i \times 100$$

donde P_i es el peso inicial de la muestra y P_c es el peso de la muestra centrifugada. El análisis fue realizado por triplicado para cada muestra.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico NCSS. Se realizó una prueba de ANOVA de dos vías. Los factores principales fueron la temperatura aérea (con dos niveles) y el tiempo de exposición aérea (con cinco niveles). Se aplicó la prueba de Tukey sólo cuando la interacción de los dos factores principales no fue significativa ($P \geq 0.05$). Se utilizó un nivel de significancia de 5% para todas las estadísticas.

Resultados

Las temperaturas ambientales registradas en los cuartos aislados donde se realizaron los experimentos de emersión fueron de $20.5 \pm 0.3^\circ\text{C}$ ($93 \pm 0.4\%$ humedad relativa, HR) y $7.3 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ($93.8 \pm 0.5\%$ HR). No se registraron mortalidades en ninguno de los tiempos de emersión, ni después del periodo de recuperación (reimersión). La composición proximal de músculo de cola de langosta se resume en la tabla 1.

La figura 1 muestra los niveles de ATP y compuestos relacionados ($\mu\text{mol g}^{-1}$) en el músculo de cola de langostas sujetas a emersión a dos temperaturas aéreas (7°C y 20°C). La concentración molar inicial de ATP y derivados en el músculo de cola fue de $8.3 \pm 0.6 \mu\text{mol g}^{-1}$. El análisis estadístico no mostró una interacción significativa ($P \geq 0.05$) entre los dos factores principales para ATP y derivados; complementariamente, ninguno de los dos factores principales analizados separadamente fue significativo ($P \geq 0.05$). Este mismo comportamiento se obtuvo para la CEA (fig. 2a). Aunque la interacción de los dos factores principales para ácido láctico (fig. 2b) no fue significativa

Tabla 1. Composición química del músculo de langosta espinosa (*Panulirus interruptus*). Los valores representan la media y desviación estándar de $n = 2$.

Table 1. Chemical composition (humidity, fat, protein, ash and nonprotein nitrogen) of spiny lobster (*Panulirus interruptus*) muscle. Values represent the mean and standard deviation of $n = 2$.

Component	%
Humidity	75.1 ± 0.20
Fat	0.9 ± 0.03
Protein	22.8 ± 0.90
Ash	1.9 ± 0.10
Nonprotein nitrogen	1.1 ± 0.01

Statistical analysis

The statistical analysis was carried out using the NCSS program. A two-way ANOVA test was used. The main factors were air temperature (with two levels) and air exposure time (with five levels). Tukey's test was applied when needed only if the interaction of the two main factors was not significant ($P \geq 0.05$). A significance level of 5% was used in all statistics.

Results

The ambient temperatures logged for the insulated rooms where the emersion experiments were carried out were $20.5 \pm 0.3^\circ\text{C}$ ($93 \pm 0.4\%$ relative humidity [RH]) and $7.3 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ($93.8 \pm 0.5\%$ RH), respectively. Mortalities did not occur in any of the emersion times or after the recovery (reimmersion) period. The proximate composition of tail muscle is summarized in table 1.

Figure 1 shows the levels of ATP and its related compounds ($\mu\text{mol g}^{-1}$) in lobster tail muscle emersed at two air temperatures (7°C and 20°C). The initial molar concentration of ATP and derivatives in tail muscle was $8.3 \pm 0.6 \mu\text{mol g}^{-1}$. The statistical analysis showed a nonsignificant ($P \geq 0.05$) interaction between the two main factors for ATP and derivatives; in addition, neither of the two main factors analyzed separately were significant ($P \geq 0.05$). Similar results were obtained for the AEC (fig. 2a). Although the interactions of the two main factors for lactic acid (fig. 2b) was not significant ($P \geq 0.05$), air temperature did significantly affect this parameter ($P < 0.05$). Following reimmersion, muscle lactic acid levels remained within the range for the control group ($P \geq 0.05$).

Table 2 shows the results of pH, WHC and shear force (texture) for the control, emersed and reimmersed groups of lobsters at both air temperatures. The interactions of the two main factors for pH, WHC and shear force were not significant ($P \geq 0.05$); however, exposure to air evoked significantly ($P < 0.05$) lower pH levels in the muscle of live *P. interruptus*.

Discussion

The results indicate that the spiny lobster *P. interruptus* is able to tolerate air exposure up to 10 h, even at 20°C , without effects on its quality as food, provided that the relative humidity remains high. Mortalities were not recorded at any of the emersion times or after the recovery period. Even though the proximate composition of *P. interruptus* muscle is similar to that reported by Sikorski *et al.* (1990) and Huss (1995) for *Panulirus* sp. and for the Norway lobster *Nephrops norvegicus*, the protein content (22.8%) was higher than the values reported by these authors. According to Sikorski *et al.*'s (1990) classification, the tail muscle of *P. interruptus* could be classified as high protein, low fat.

Our results showed that ATP content in immersed (control) lobsters was low ($0.08 \mu\text{mol g}^{-1}$) compared with that reported by Speed *et al.* (2001), of $8.66 \mu\text{mol g}^{-1}$ in wild immersed

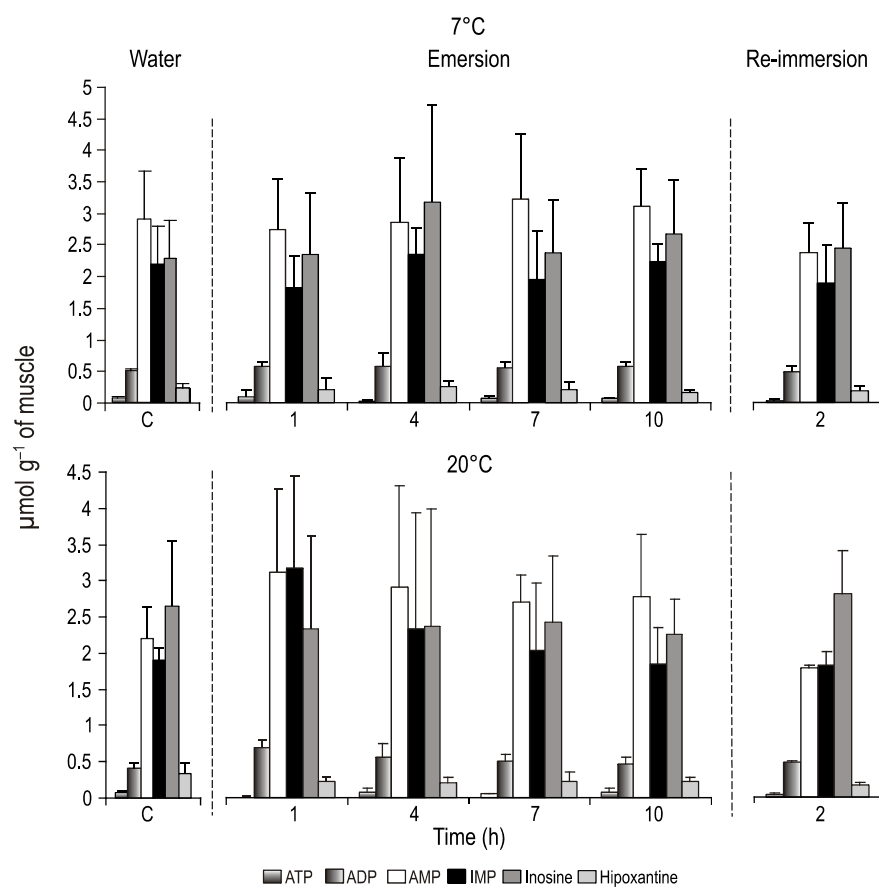


Figura 1. Adenosina 5'-trifosfato (ATP) y sus metabolitos relacionados en músculo de langosta espinosa, *Panulirus interruptus*, expuesta a emersión a corto plazo a 7°C y 20°C. Los valores son la media de cuatro replicas ($n = 4$) \pm desviación estándar.
 Figure 1. Adenosine 5'-triphosphate (ATP) and its related metabolites in muscle of live spiny lobster, *Panulirus interruptus*, exposed to short-term emersion at 7°C and 20°C. The values are the mean of four replicates ($n = 4$) \pm standard deviation.

tiva ($P \geq 0.05$), la temperatura aérea afectó significativamente ($P < 0.05$) este parámetro. Después de la reinmersión, los niveles de ácido láctico del músculo permanecieron dentro del rango para el grupo de control ($P \geq 0.05$).

La tabla 2 muestra los resultados de pH, CRA y esfuerzo al corte (textura) para el grupo de langostas control, en emersión y en reinmersión a ambas temperaturas de exposición aérea. La interacción de los factores principales no fue significativa ($P \geq 0.05$) para pH, CRA y esfuerzo al corte; sin embargo, la exposición aérea resultó en niveles más bajos ($P < 0.05$) de pH.

Discusión

Los resultados indican que la langosta espinosa *P. interruptus* es una especie capaz de tolerar la exposición aérea hasta por 10 h, aun a 20°C, sin efectos en su calidad como alimento, siempre y cuando esté expuesta a una humedad relativa alta. No se registró mortalidad alguna en ninguno de los tiempos de emersión o después del periodo de recuperación. Aunque la composición proximal del músculo de *P. interruptus* fue similar a la reportada por Sikorski *et al.* (1990) y Huss (1995) para *Panulirus* sp. y para la langosta noruega *Nephrops norvegicus*,

lobster *J. edwardsii*. The same authors, however, reported an important decrease in the ATP level to $0.57 \mu\text{mol g}^{-1}$ for the same species after being in captivity for 14 days at 12°C. Lobsters in this study were kept in captivity for 10 days at 20°C; after this time and just before the initiation of the emersion experiment the muscle of control animals was sampled for further analysis. The results indicated that captivity may represent a stage during which the animals use their ATP reserves for physiological or compensatory work, given that captivity conditions will never be the same as wild conditions. The ATP data suggested that the experimental conditions affected all the experimental animals to the same extent. On the other hand, the stress caused by the captivity had an evident effect on the degradation of ATP and its related compounds. Consequently, some of these compounds have already been used as stress indicators before the sacrifice. Commonly, the indicators have been ATP, AMP and IMP; however, in our study there was an initial high HxR level ($>2.1 \mu\text{mol g}^{-1}$), which could affect the suitability of using the K value at zero time. The abnormal initial level of HxR should be studied in more detail, since Mendes *et al.* (2001) reported that freezing protocols could affect the ATP degradation pattern. Likewise, it is necessary to

el contenido de proteína (22.8%) fue más alto que los valores reportados por esos autores. De acuerdo con la clasificación de Sikorski *et al.* (1990), el músculo de cola de *P. interruptus* podría ser clasificado como alto en proteína y bajo en grasa.

Los resultados mostraron que el contenido de ATP en langostas inmersas (control) fue bajo ($0.08 \mu\text{mol g}^{-1}$) comparado con el contenido reportado por Speed *et al.* (2001), de $8.66 \mu\text{mol g}^{-1}$, en langosta silvestre *J. edwardsii* inmersa. Sin embargo, estos mismos autores reportaron una importante disminución en el nivel de ATP a $0.57 \mu\text{mol g}^{-1}$ para esa especie después de estar en cautiverio por 14 días a 12°C . Las langostas en el presente estudio se mantuvieron en cautiverio por 10 días a 20°C ; después de este tiempo, justo antes del inicio del experimento de emersión, se muestreó el músculo de los animales control para su análisis.

Los resultados indican que el cautiverio puede presentar una etapa en la cual los animales usan sus reservas de ATP para trabajo fisiológico o compensatorio, dado que las condiciones de cautiverio nunca serán las mismas que las condiciones silvestres. Los datos de ATP sugieren que las condiciones experimentales afectaron en igual grado a todos los sujetos. Por otra parte, el estrés causado por el cautiverio tuvo un efecto evidente en la degradación del ATP y sus productos. Derivado de este hecho, algunos de estos compuestos ya se han utilizado como indicadores de estrés previo al sacrificio. Comúnmente, los indicadores han sido ATP, AMP e IMP; sin embargo, en nuestro estudio se presentó un alto nivel inicial de HxR ($>2.1 \mu\text{mol g}^{-1}$), el cual podría afectar la conveniencia de usar el valor K en el tiempo cero. Este valor inicial inusual de HxR debe ser estudiado con más a detalle, ya que Mendes *et al.* (2001) reportaron que los protocolos de congelación pueden afectar el patrón de degradación del ATP. De igual forma, es necesario caracterizar y evaluar la actividad 5'-nucleotidasa, la enzima que transforma el IMP en HxR.

Es bien conocido que el efecto del estrés a corto plazo sobre la bioquímica del animal puede ser medido mediante el cálculo de la CEA, la cual fluctúa en el rango de 0 a 1

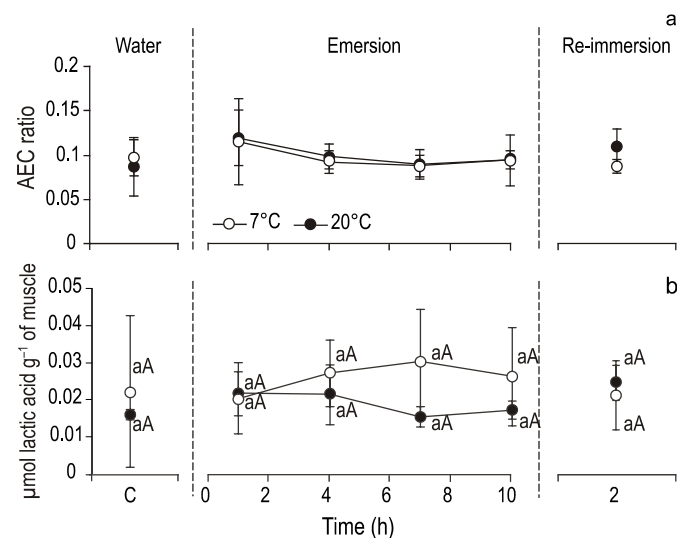


Figura 2. (a) Carga energética adenilada (CEA) y (b) ácido láctico en músculo de cola de langosta, *Panulirus interruptus*, expuesta a emersión a corto plazo a 7°C y 20°C . Los valores son la media y desviación estándar de $n = 4$. Las letras minúsculas diferentes para la misma temperatura indican diferencias significativas ($P < 0.05$). Las letras mayúsculas diferentes entre temperaturas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Figure 2. (a) Adenylic energetic charge (CEA) and (b) lactic acid in muscle of live spiny lobster, *Panulirus interruptus*, exposed to short-term emersion at 7°C and 20°C . The values are the mean and standard deviation of $n = 4$. Different lower case letters for the same temperature indicate significant differences ($P < 0.05$). Different capital letters between temperatures indicate significant differences ($P < 0.05$).

characterize and evaluate the activity of 5'-nucleotidase, the enzyme that transforms IMP into HxR.

It is well known that the effect of short-term stress on the biochemistry of the animal can be measured by calculating the AEC, which ranges from 0 to 1 (Atkinson 1968). In optimal conditions, animals typically display AEC levels >0.8 , whereas under stress conditions the values range from 0.5 to 0.75. Severely stressed animals yield values of <0.5 and they show a

Tabla 2. El pH, la capacidad de retención de agua (CRA) y el esfuerzo al corte (textura) en músculo de la langosta espinosa viva (*Panulirus interruptus*) expuesta a periodos cortos de emersión a 7°C y 20°C . Los valores representan la media \pm desviación estándar de $n = 4$. Para cada análisis las figuras con el mismo superíndice son iguales ($P \geq 0.05$).

Table 2. The pH, water holding capacity (CRA) and shear force (texture) in the muscle of live spiny lobster (*Panulirus interruptus*) exposed to short-term emersion at 7°C and 20°C . The values represent the mean \pm standard deviation of $n = 4$. For each analysis, figures with the same superscript are equal ($P \geq 0.05$).

Variable	Temperature	Control	Emersion (h)				Reimmersion (h)
			1	4	7	10	2
pH	7°C	7.0 ± 0.2^a	6.8 ± 0.1^b	6.8 ± 0.3^{ab}	6.9 ± 0.3^a	6.9 ± 0.3^{ab}	7.0 ± 0.3^{ab}
	20°C	7.3 ± 0.3^a	6.9 ± 0.3^{ab}	6.8 ± 0.2^a	7.0 ± 0.2^a	7.0 ± 0.1^a	7.0 ± 0.2^a
CRA	7°C	98.6 ± 0.7^a	98.5 ± 0.1^a	98.1 ± 0.3^a	98.7 ± 0.8^a	98.9 ± 0.4^a	98.3 ± 0.5^a
	20°C	98.4 ± 0.6^a	97.3 ± 1.1^a	98.2 ± 0.6^a	98.6 ± 0.3^a	98.5 ± 0.6^a	98.5 ± 0.3^a
Textura	7°C	1.4 ± 0.3^a	1.7 ± 0.1^a	1.5 ± 0.3^a	1.5 ± 0.1^a	1.7 ± 0.2^a	1.8 ± 0.4^a
	20°C	1.4 ± 0.3^a	1.5 ± 0.1^a	1.8 ± 0.3^a	1.8 ± 0.16^a	1.7 ± 0.2^a	1.6 ± 0.1^a

(Atkinson 1968). En condiciones óptimas los animales típicamente muestran una CEA > 0.8 , mientras que bajo condiciones de estrés los valores fluctúan entre 0.5 y 0.75. Los animales estresados severamente presentan valores < 0.5 , mostrando un crecimiento más lento, una recuperación difícil y en ocasiones imposible (de Zwaan *et al.* 1980, Livingstone *et al.* 1981, Fleury *et al.* 1997). En el presente estudio, los niveles medios de ATP y ADP fueron < 0.1 y $0.5 \mu\text{mol g}^{-1}$, respectivamente, mientras que el nivel medio de AMP fue de $2.9 \mu\text{mol g}^{-1}$, para dar un promedio de CEA de 0.1 ± 0.01 . En conjunto, los niveles de ATP, ADP y AMP con los datos de CEA indicaron un severo estrés energético en los animales después de 10 días en cautiverio. Este patrón se mantuvo hasta el final de los tratamientos experimentales de exposición aérea. La CEA media después del período de recuperación de 2 h fue de 0.11 ± 0.01 , indicando que los animales continuaron bajo estrés. En consecuencia, es necesario realizar más investigación para elucidar totalmente los efectos del cautiverio sobre la fisiología de estos animales.

Varios autores han reportado una fuerte correlación entre el catabolismo de nucleótidos y la frescura en varias especies marinas (Ehira y Uchiyama 1986, Murata y Sakaguchi 1986, Ohashi *et al.* 1991, Church 1998). Además, el IMP ha sido identificado como un potenciador de sabor responsable del dulzor característico del músculo de pescado fresco (Kassemsarn *et al.* 1963, Church 1998), mientras que la Hx tiene un sabor amargo (Dondero *et al.* 1982). Los altos niveles de IMP detectados en este estudio en animales vivos ($2.15 \pm 0.65 \mu\text{mol g}^{-1}$) y los bajos niveles de Hx ($0.22 \pm 0.09 \mu\text{mol g}^{-1}$), indican que las langostas expuestas a emersión a corto plazo a alta humedad relativa, aun a 20°C , conservarían su característico sabor dulce.

Cuando los animales vivos se exponen a hipoxia o anoxia, el suministro de energía disminuye, siendo entonces provisto por el metabolismo anaerobio mediante el cual el glucógeno almacenado es catabolizado a ácido láctico causando un decremento en el pH del músculo (Ashie *et al.* 1996). Hasta cierto punto durante la exposición aérea el cambio de metabolismo aerobio a anaerobio depende de la especie. Este hecho ha sido más evidente en crustáceos submareales, sobre todo en aquellos cuyos procedimientos de comercialización en vivo implican varios periodos de emersión. Durante estos periodos puede ocurrir acumulación de ácido láctico en el músculo, pudiendo causar un efecto directo sobre la calidad de su textura debido a la pérdida de funcionalidad de las proteínas miofibrilares (Ocaño-Higuera *et al.* 2001).

En este estudio el promedio de los niveles de ácido láctico en el músculo ($0.022 \pm 0.008 \mu\text{mol g}^{-1}$) no se vio afectado por el tiempo de emersión ($P \geq 0.05$). Los resultados estuvieron de acuerdo con los reportados por Paterson (1993) en camarón *Penaeus monodon*, en el que no se detectaron cambios significativos ($P \geq 0.05$) en la concentración de ácido láctico del músculo en animales sujetos a exposición aérea hasta 12 h. La

negative scope for growth and the recuperation is very difficult or not possible (de Zwaan *et al.* 1980, Livingstone *et al.* 1981, Fleury *et al.* 1997). In the present study the average ATP and ADP levels were < 0.1 and $0.5 \mu\text{mol g}^{-1}$, respectively, while the average AMP level was $2.9 \mu\text{mol g}^{-1}$, yielding an average AEC of 0.1 ± 0.01 . Muscle ATP, ADP and AMP levels along with AEC data indicated severely energetic stressed animals after 10 days in captivity and this pattern remained until the end of the experimental air exposure treatments. Moreover, the average AEC after the recovery period of 2 h was 0.11 ± 0.01 , indicating that the animals continued under stress. Further research is needed to fully elucidate the effects of captivity on the physiological performance of these animals.

Several authors have indicated a strong correlation between nucleotide catabolism and freshness in several marine species (Ehira and Uchiyama 1986, Murata and Sakaguchi 1986, Ohashi *et al.* 1991, Church 1998). Furthermore, IMP has been identified as a flavor enhancer and responsible for the characteristic sweetness of fresh fish muscle (Kassemsarn *et al.* 1963, Church 1998), while Hx has a bitter flavor (Dondero *et al.* 1982). The high IMP levels detected in this study for live animals ($2.15 \pm 0.65 \mu\text{mol g}^{-1}$) and the low levels of Hx ($0.22 \pm 0.09 \mu\text{mol g}^{-1}$) suggest that lobsters exposed to short-term emersion at high relative humidity, even at 20°C , will retain their characteristic sweet flavor.

When live animals are exposed to either hypoxia or anoxia, the energy decreases and it is supplied by anaerobic metabolism where the stored glycogen is catabolized to lactic acid, resulting in a reduction of muscle pH (Ashie *et al.* 1996). The extent of air exposure before shifting from aerobic into anaerobic metabolism depends on the species. This has been more evident in subtidal crustaceans, especially those that during live marketing procedures require several lengths of emersion. During this period, accumulation of lactic acid in the muscle can occur and may have a direct effect on its quality by affecting texture due to the loss of functionality of myofibrillar proteins (Ocaño-Higuera *et al.* 2001).

In this study, the average lactic acid level in muscle ($0.022 \pm 0.008 \mu\text{mol g}^{-1}$) was not affected by emersion time ($P \geq 0.05$). Our results agreed with those reported by Paterson (1993) for shrimp *Penaeus monodon*, where no significant changes ($P \geq 0.05$) in the concentration of muscle lactic acid were detected after 12 h of air exposure. The accumulation of lactic acid in muscle was affected only by air temperature ($P < 0.05$). The average content of lactic acid during emersion was $0.026 \pm 0.004 \mu\text{mol g}^{-1}$ at 7°C and $0.019 \pm 0.003 \mu\text{mol g}^{-1}$ at 20°C . Lactic acid data correlated well with pH data: at 7°C the pH was 6.81 ± 0.06 and at 20°C , it was 6.91 ± 0.08 ; however, this small difference was not significant ($P \geq 0.05$). Animals exposed at both air temperatures showed a similar pattern of decreasing pH values after 1 and 4 h of air exposure and a slight recovery after 7 and 10 h of emersion. Changes in lactic acid or pH during the emersion period and after the 2-h recovery period at the two air temperatures, did not affect the texture or WHC of lobster tail muscle. The overall mean value

acumulación de ácido láctico en el músculo de cola de langosta se afectó sólo por la temperatura de exposición aérea ($P < 0.05$). El contenido medio de ácido láctico durante la emersión a 7°C fue $0.026 \pm 0.004 \mu\text{mol g}^{-1}$, mientras que a 20°C fue de $0.019 \pm 0.003 \mu\text{mol g}^{-1}$. Los datos de ácido láctico se correlacionaron bien con los datos de pH donde a temperatura de 7°C el pH fue de 6.81 ± 0.06 y a 20°C fue de 6.91 ± 0.08 ; sin embargo, esta pequeña diferencia no fue significativa ($P \geq 0.05$). Los animales expuestos a ambas temperaturas aéreas mostraron un patrón similar de reducción en los valores de pH después de 1 y 4 h de exposición aérea, así como una ligera recuperación después de 7 y 10 h de emersión. Los cambios en la concentración de ácido láctico o pH durante el periodo de emersión, así como después de un periodo de 2 h de recuperación a ambas temperaturas de exposición aérea, no afectaron la textura o la CRA en el músculo de cola de langosta ($P \geq 0.05$). El valor medio para la textura fue de $1.60 \pm 0.21 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$ y para CRA fue de $98.4 \pm 0.52\%$.

Las proteínas miofibrilares son los componentes funcionales más importantes en el músculo, ya que confieren muchos de los atributos fisicoquímicos y sensoriales deseables del músculo como alimento. Estas proteínas tienen un punto isoeléctrico aproximado de 5.2. La disminución de pH en el músculo puede repercutir en su capacidad de retención de agua y por consiguiente en la textura. En este estudio los cambios de pH (tabla 2) y ácido láctico (fig. 2) fueron mínimos y no afectaron la textura ni la CRA.

Las respuestas fisiológicas durante el procedimiento de comercialización en vivo de crustáceos de alto valor, tales como las langostas, han sido sujeto de estudio en la última década. Sin embargo, pocos estudios se han enfocado en evaluar los cambios en la calidad del músculo inducidos por las complejas condiciones de estrés por las que atraviesan los animales durante el mercadeo en vivo. En el presente trabajo se encontró que aun cuando el músculo de cola de langosta sufre un agudo estrés durante el cautiverio, y que este estrés permaneció después del periodo de exposición aérea, la hipoxia metabólica generada no causó una gran acumulación de ácido láctico en el músculo, ni un decremento de pH, que pudiera afectar su calidad característica de textura y sabor. Los resultados reflejan que la emersión a corto plazo, aun a una alta temperatura ambiental (20°C), conduce a condiciones de estrés en el animal sin promover un desorden fisiológico significativo que pudiera ser reflejado en la calidad total del músculo para esta especie. Los resultados aquí mostrados podrían tener un impacto significativo en la incipiente comercialización de langosta viva en México.

Agradecimientos

Agradecemos la invaluable ayuda de L Tejada y C Verdugo durante el experimento de exposición aérea y protocolos de muestreo. El estudio fue apoyado por CONACYT, proyecto I35559-n de S Gómez-Jiménez.

for shear force (texture) was $1.60 \pm 0.21 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$ and for WHC, $98.4 \pm 0.52\%$.

Myofibrillar proteins are the most important functional components in muscle since they confer many of the desirable physicochemical and sensory attributes of muscle foods. These proteins had a composite isoelectric point of approximately 5.2. A pH reduction in the muscle can reverberate in the WHC and, consequently, in texture. In this study, the changes in pH (table 2) and lactic acid (fig. 2) were minimal and did not affect either texture or WHC.

The physiological responses during live marketing procedures of high value crustaceans such as lobsters have been the subject of several studies in the last decade. Few studies, however, have focused on evaluating muscle quality changes induced by the complex and stressful conditions that these procedures may impose on the animals. In this work we found that even though the lobster tail muscle suffers an energetic stress during captivity and that this stress remained after the air exposure period, the metabolic hypoxia generated did not result in a large accumulation of lactic acid in muscle nor in a drop in pH that could affect the texture quality and flavor characteristics. The results reflect that short-term emersion, even at high ambient temperature (20°C), causes stress in the animal without promoting a significant physiological disorder that could be reflected in the overall muscle quality for this species. These results could have a significant impact on the incipient marketing effort of live lobster in Mexico.

Acknowledgements

We greatly appreciate the helpful assistance of L Tejada and C Verdugo during the air exposure set-up and sampling protocols. This study was supported by a CONACYT grant (I35559-N) to S Gómez-Jiménez.

Referencias

- AOAC. 1993. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Vol II. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.
- Ashie INA, Smith JP, Simpson BK. 1996. Spoilage and shelf-life extension of fresh fish and shellfish. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 36: 87–121.
- Atkinson DE. 1968. The energy charge of the adenylate pool as a regulatory parameter. Interaction with feedback modifiers. *Biochemistry* 7: 4030–4034.
- Cheng CS, Hamann DD, Webb NB. 1979. Effect of species and storage time on minced fish gel texture. *J. Food Sci.* 44: 1087–1092.
- Church N. 1998. MAP Fish and crustacean sensory enhancement. *Food Sci. Technol. Today* 12: 73–83.
- de Zwaan AR, Thompson RJ, Livingstone DR. 1980. Physiological and biochemical aspects of the valve snap and valve closure responses in the giant scallop *Placopecten magellanicus*. *Biochem. J. Comp. Physiol.* 137B: 105–114.
- Dondero ML, Claveria MV, Faúndez N. 1982. Degradación del monofosfato de inosina en merluza (*Merluccius gagy gayi*,

- Guichenot), refrigerada y congelada, y su relación con la calidad organoléptica. Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment. 22: 257–264.
- Durand F, Devillers N, Lallier FH, Regnault M. 2000. Nitrogen excretion and changes in blood components during emersion of the subtidal spider crab *Maia squinado* (L.). Comp. Biochem. Physiol. 127A: 259–271.
- Ehira S, Uchiyama H. 1986. Determination of fish freshness using the K value and comments on some other biochemical changes in relation to freshness. In: Kramer DE, Liston J (eds.), Seafood Quality Determination. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 185–193.
- Fleury PG, Mingant C, Castillo A. 1997. A preliminary study of the behavior of reseeded juvenile great scallops of three sizes in three seasons. Aquacult. Int. 4: 325–337.
- Gómez-Jiménez S. 1998. Some physiological and immunological responses of the spiny lobster, *Panulirus interruptus* (Randall, 1840), to practices used in its live marketing in the Baja California fishery. PhD thesis, University of Hull, UK.
- Gómez-Jiménez S, Uglow RF, Gollas-Galván T. 2000. The effects of cooling and emersion on total haemocyte count and phenoloxidase activity of the spiny lobster *Panulirus interruptus*. Fish Shellfish Immunol. 10: 631–635.
- Gómez-Jiménez S, Uglow RF, Pacheco-Aguilar R, Noriega-Orozco LO. 2001. Using HACCP principles and physiological studies to improve marketing practices for live crustaceans. In: Paust BC, Rice AA (eds.), Marketing and Shipping Live Aquatic Products. University of Alaska Sea Grant, AK-SG-01-03, Fairbanks, pp. 271–282.
- Goodrick GB, Paterson BD, Grauf S. 1993. Air transport of live kuruma prawns (*Panaeus japonicus*). Temperature control improves survival. Food Aust. 45: 400–403.
- Huss HH. 1995. Quality and quality changes in fresh fish. FAO Fish. Tech. Pap. 348.
- Jussila J, Jago J, Tsvetnenko E, Dunstan B, Evans LH. 1997. Total and differential haemocyte counts in western rock lobsters (*Panulirus cignus* George) under post-harvest stress. Mar. Freshwat. Res. 48: 863–867.
- Kassemsarn B, Sanz PB, Murray J, Jones R. 1963. Nucleotide degradation in the muscle of iced haddock (*Gadus aeglefinus*), lemon sole (*Pleuronectes microcephalus*), and plaice (*Pleuronectes platessa*). J. Food Sci. 28: 28–37.
- Livingstone DR, de Zwaan A, Thompson RJ. 1981. Aerobic metabolism, octopine production and phosphoarginine as sources of energy in the phasic and catch adductor muscles of giant scallop *Placopecten magellanicus* during swimming and the subsequent recovery period. Comp. Biochem. Physiol. 70B: 35–44.
- Maguire JA, O'Donoghue M, Jenkins S, Brand A, Burnell GM. 2002. Temporal and spatial variability in dredging induced stress in the great scallop *Pecten maximus* (L.). J. Shellfish Res. 21: 81–86.
- Mendes R, Quintana R, Nunes ML. 2001. Changes in baseline levels of nucleotides during ice storage of fish and crustaceans from the Portuguese coast. Eur. Food Res. Technol. 212: 141–146.
- Morris S, Oliver S. 1999. Circulatory, respiratory and metabolic response to emersion and low temperature of *Jasus edwardsii*: Simulation studies of commercial shipping methods. Comp. Biochem. Physiol. 122A: 299–308.
- Murata M, Sakaguchi M. 1986. Storage of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) white and dark muscles in ice: Changes in content of adenine nucleotides and related compounds. J. Food Sci. 55: 321–326.
- Ocaño-Higuera VM, Pacheco-Aguilar R, Maeda-Martínez AN. 2001. Bioquímica posmortem en pectínidos. En: Maeda-Martínez AN (ed.), Los Moluscos Pectínidos de Iberómerica: Ciencia y Acuicultura. Limusa, México, pp. 405–429.
- Ohashi E, Okamoto M, Ozawa A, Fujita T. 1991. Characterization of common squid using several freshness indicators. J. Food Sci. 56: 161–174.
- Paterson BD. 1993. The rise in inosine monophosphate and L-lactate concentrations in muscle of live penaeid prawns (*Panaeus japonicus*, *Panaeus monodon*) stressed by storage out of water. Comp. Biochem. Physiol. 106B: 395–400.
- Ryder JM. 1985. Determination of adenosine triphosphate and its breakdown products in fish muscle by high-performance liquid chromatography. J. Agric. Food Chem. 33: 678–680.
- Schmitt ASC, Uglow RF. 1997. Haemolymph constituent levels and ammonia efflux rates of *Nephrops norvegicus* during emersion. Mar. Biol. 127: 403–410.
- SEMARNAP. 2005. Subsecretaría de Pesca, México. [Http://regpesc.semarnap.gob.mx/pesca/](http://regpesc.semarnap.gob.mx/pesca/)
- Sikorski ZE, Kolakowska A, Sun-Pan A. 1990. The nutritive composition of the major groups of marine food organisms. In: Sikorski ZE (ed.), Seafood: Resources, Nutritional Composition, and Preservation. CRC Press, Boca Raton, pp. 29–54.
- Speed SR, Baldwin J, Wong RJ, Wells RMG. 2001. Metabolic characteristic of muscle in the spiny lobster, *Jasus edwardsii*, and responses to emersion during simulated live transport. Comp. Biochem. Physiol. 128B: 435–444.
- Spicer JJ, Hill AD, Taylor AC, Strang RHC. 1990. Effect of aerial exposure on concentrations of selected metabolites in blood of the Norwegian lobster *Nephrops norvegicus* (Crustacea: Nephropidae). Mar. Biol. 105: 129–135.
- Taylor EW, Whiteley NM. 1989. Oxygen-transport and acid-base balance in the hemolymph of the lobster, *Homarus gammarus*, during aerial exposure and resubmersion. J. Exp. Biol. 144: 417–436.
- Vega A, Espinoza-Castro G, Gómez-Rojo C. 1996. Pesquería de langosta *Panulirus* spp. En: Casas-Valdez M, Ponce-Díaz G (eds.), Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur, México, pp. 227–261.
- Whiteley NM, Al-Wassia AH, Taylor EW. 1990. The effect of temperature, aerial exposure and disturbance on oxygen consumption in the lobster, *Homarus gammarus*. Mar. Behav. Physiol. 17: 213–222.
- Woyewoda AD, Shaw SJ, Ke PJ, Burns BG. 1986. Recommended laboratory methods for assessment of fish quality. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 1448.

Recibido en octubre de 2006;
aceptado en de diciembre de 2006