

Messa a punto e funzionamento di un sistema di monitoraggio biologico per il controllo in continuo delle acque potabili

Paolo Melotti¹, Alessandra Roncarati^{2*}, Andrea Dees², Fernando Gelli³

1 Centro Interdipartimentale di Ricerca sulle Tecnologie e l'Igiene degli Allevamenti Intensivi delle Piccole Specie. Università di Bologna. Via San Giacomo 9 – 40126 Bologna.

2 Centro Universitario di Ricerca e Didattica in Acquacoltura e Maricoltura. Università degli Studi di Camerino. Viale Europa 6 – 63039 San Benedetto del Tronto (AP).

3 ARPA Emilia Romagna, Sezione di Ferrara. Corso Giovecca – Ferrara.

* referente per la corrispondenza (Fax 0735 7897409; alessandra.roncarati@unicam.it)

Pervenuto il 15.1.2003; Accettato il 1.8.2003

Riassunto

Viene descritto il funzionamento di due sistemi di monitoraggio biologico messi a punto al fine di un controllo in continuo sia delle acque grezze in entrata che di quelle parzialmente trattate negli impianti di potabilizzazione. L'impiego iniziale di due vasche di forma conica dotate di dispositivi di allarme azionati elettricamente e la successiva puntualizzazione di un modulo, sorvegliato da telecamere fisse posizionate di fronte e lateralmente alle vasche test, ha consentito di ottimizzare il sistema mediante il controllo a distanza, attraverso monitor, del comportamento dei pesci. Le specie ittiche saggiate sono state la trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*), la trota fario (*Salmo trutta morpha fario*), il carassio (*Carassius carassius*), l'alborella (*Alburnus alburnus alborella*) e la pseudorasbora (*Pseudorasbora parva*). Quest'ultima specie è risultata particolarmente indicata negli impianti riforniti con acque superficiali caratterizzate da un'elevata torbidità.

PAROLE CHIAVE: acque potabili / sorveglianza tossicologica in continuo / dispositivi di allarme / pesci in sistemi d'allerta

Abstract

Optimization and use of an early biological warning system for the continuously monitoring of drinking water

Two early biological warning systems were described with particular regard to their working and optimization. At different times, a continuously monitoring of inflow and treated waters in a drinking water plant was studied and tested. The use of conical tanks equipped with a warning system electrically activate and the subsequent definition of a new module controlled by cameras placed in front and laterally of the test tanks, allowed oversee the fish behavior at distance by monitor. The systems are tested with different fish species: rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), brown trout (*Salmo trutta morpha fario*), crucian carp (*Carassius carassius*), bleak (*Alburnus alburnus alborella*) and *Pseudorasbora parva*. This last species was particularly suitable in the safe-guard of waters with high degrees of turbidity.

KEY WORDS: drinking water / continuous toxicological control / alarm disposals / fish species as sentinel

INTRODUZIONE

La potabilità di un'acqua destinata al consumo umano è vincolata alla rispondenza di 62 parametri di qualità previsti dal DPR n. 236/88, ma il loro monitoraggio in continuo risulta impossibile. Alcuni parametri, infatti, non figurano come singolo composto, ma come gruppo e pertanto, prima della determinazione, occorre preliminarmente procedere alla loro identifica-

zione (HAMILTON, 1976). Altri parametri, inoltre, richiedono tempi di preparazione del campione e di analisi non compatibili con il monitoraggio in continuo. Come osservato da SHAW e CHADWICK (1998), la legge, peraltro, non prevede controlli di questo tipo, bensì un certo numero di analisi puntiformi distribuite nel corso dell'anno con una frequenza correlata al numero

di abitanti serviti da quella rete idrica.

È il caso di sottolineare come l'enorme varietà degli inquinanti potenziali delle acque superficiali rende questo tipo di approvvigionamento particolarmente vulnerabile (HUNN, 1989). In tale situazione la difesa più indicata è rappresentata dal monitoraggio biologico che, fornendo una risposta in tempo reale e non essendo specifico per un determinato gruppo di sostanze, risulta proprio per questo maggiormente affidabile (KLEMM *et al.*, 1994; RAND, 1995).

A livello internazionale, sono stati proposti i più disparati sistemi di biomonitoraggio (CAIRNS e GRUBER, 1980; BALDWIN, 1990; KRAMER e BOTTERWEG, 1991; BALCH e EVANS, 1999); quelli che considerano i pesci come indicatori si basano principalmente sull'osservazione di cambiamenti comportamentali (VAN HOOFF, 1980), fisiologici (SCHLENK, 2001) e di reotassi (SHARF, 1979).

Nel gennaio 1991, a seguito dello scoppio della "Guerra del Golfo", al fine di evitare il più prontamente possibile le gravi conseguenze di eventuali attacchi terroristici verso bersagli di importanza strategica, quali le riserve idropotabili, si è intrapreso lo studio di un dispositivo di monitoraggio biologico in continuo dell'acqua erogata in un impianto di potabilizzazione a servizio della popolazione di una grande città del Nord Italia: tale studio era motivato dalla consapevolezza che nessun sistema di tipo chimico era in grado di rilevare tutte le possibili cause di un inquinamento acuto, potenzialmente tossico per l'uomo.

Il rischio di attacchi terroristici si è ripresentato in modo più eclatante in seguito agli eventi accaduti negli USA l'11 settembre 2001. Ciò ha indotto il gruppo di ricerca che aveva già operato nel 1991 a riprendere con la massima urgenza le proprie sperimentazioni, al fine di proporre un sistema di monitoraggio biologico che, alla luce delle più recenti acquisizioni tecnologiche, fosse in grado di monitorare in continuo sia le acque grezze in entrata negli impianti di potabilizzazione che quelle parzialmente trattate.

Il presente lavoro ha avuto inoltre la finalità di individuare la specie ittica più idonea ad essere impiegata in questo sistema di monitoraggio biologico, in relazione alla sensibilità ai molteplici composti tossici che potrebbero venire immessi, ma al tempo stesso dotata di tolleranza nei confronti dei composti utilizzati nelle fasi di pretrattamento delle acque in fase di potabilizzazione.

MATERIALI E METODI

Dispositivo di monitoraggio messo a punto nel biennio 1991-'92

Nel 1991-92 è stato messo a punto un dispositivo di monitoraggio il cui avviamento venne notevolmente

accelerato dalla necessità pressante ed improrogabile di disporre in tempi brevi di un sistema capace di sventare ipotetiche incursioni, legate allo svolgimento del conflitto. Non essendo disponibili sul mercato moduli aventi caratteristiche corrispondenti alle esigenze della ricerca, si dovette procedere per tentativi sino alla realizzazione di vasche a forma di imbuto in grado di soddisfare le esigenze sperimentali.

Il principio di funzionamento del dispositivo di monitoraggio automatico partiva dal presupposto che, dopo la morte, il pesce scende sul fondo o sale in superficie; fu pertanto prevista una fotocellula in corrispondenza degli scarichi di superficie e di fondo, per rilevarne la presenza, allertando il sistema di allarme (Fig. 1).

Relativamente alle specie ittiche, in questo primo ciclo di prove, quali organismi saggio della tossicità dell'acqua, furono prescelte due specie ittiche: il carassio (*Carassius carassius*) e l'alborella (*Alburnus alburnus alborella*).

I pesci presenti nella vasca test, in numero di 10, erano mantenuti a digiuno per tutta la settimana di permanenza, al termine della quale venivano sostituiti da altri prelevati da una delle due vasche di stabulazione, dove venivano regolarmente alimentati e mantenuti sotto osservazione per un mese.

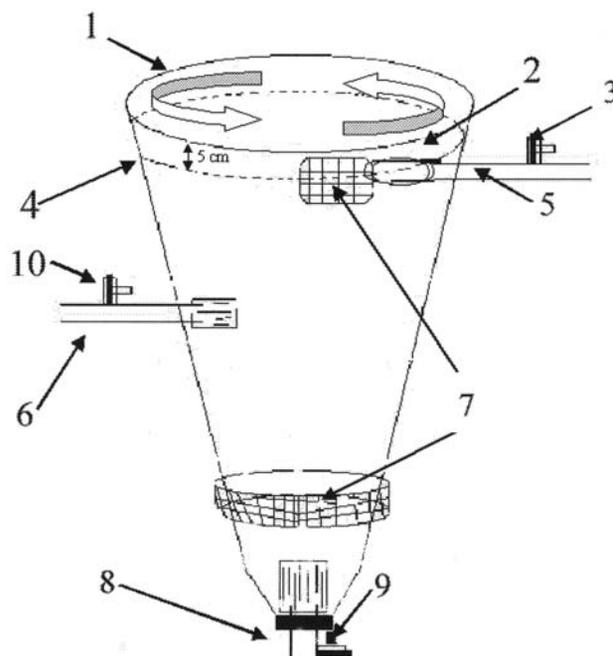


Fig. 1. Modello di vasca test impiegata per il monitoraggio automatico nel 1991: 1) orientamento del flusso d'acqua; 2) contaimpulsore; 3) flussimetro; 4) livello dell'acqua; 5) scarico acqua di superficie (3 L/min); 6) ingresso acqua (4 L/min); 7) conduttore (dissuasore elettrico); 8) scarico di fondo (1 L/min); 9) flussimetro; 10) flussimetro.

Dispositivo di monitoraggio messo a punto nel 2001

Nel corso del 2001 sono stati messi a punto due moduli di monitoraggio uguali fra loro, di cui uno operante con le acque grezze in ingresso all'impianto di potabilizzazione e l'altro con le acque pretrattate.

Ogni modulo era costituito da: 1) due vasche test di forma parallelepipedica, con pareti e fondo in vetro, della capacità di 110 L (cm 83 x 35 x 38 di profondità) e ricambio idrico pari a 3 L/min; 2) una vasca di stabulazione per i pesci prima del loro impiego, della capacità di 280 L (cm 123,5 x 48 x 47,5) e 3) una identica vasca di recupero dei soggetti in uscita dalle vasche test; nei moduli di recupero i pesci permangono per un periodo variabile da 15 a 30 giorni secondo la specie. L'illuminazione era garantita da lampade fluorescenti in grado di simulare il passaggio tra giorno e notte, rispettivamente di 14 h e 1200 lux e 10 h e 300 lux.

Un impianto di monitoraggio costituito da due telecamere fisse posizionate di fronte e lateralmente alle vasche test rilevava in continuo il comportamento dei pesci, osservabile a distanza da un operatore su alcuni monitor (Fig. 2).

L'adozione di un oscilloscopio, in grado di misurare l'attività di ventilazione dei pesci, consentiva di allertare l'operatore quando il comportamento degli animali non rientrava negli standard prestabiliti (frequenza respiratoria compresa tra 0,01 e 0,8 Hz). Inoltre, ad intervalli prestabiliti (15 minuti), l'operatore doveva comunque premere un pulsante a riprova che lo stesso avesse controllato il monitor.

I pesci utilizzati nello svolgimento dei test condotti nel 2001 sono stati la trota iridea, la trota fario e il Ciprinide pseudorasbora (*Pseudorasbora parva*); le prime due avevano lunghezza compresa tra 7 e 15 cm, mentre il Ciprinide aveva una taglia di 3-6 cm.

Per quanto riguarda il numero di pesci presenti in ogni vasca test, questo è stato stabilito in 10 esemplari per le trote e 100 soggetti per la pseudorasbora. Le prime due specie permanevano nelle vasche di monitoraggio, dove non ricevevano alimento, per 15 giorni, mentre il Ciprinide veniva sostituito ogni settimana. I pesci in uscita dalle vasche test, rimpiazzati da soggetti provenienti dalle vasche di stabulazione, venivano trasferiti nelle vasche di recupero dove erano normalmente alimentati.

I sistemi di monitoraggio già presenti presso l'impianto di potabilizzazione mantenevano costantemente sotto controllo i principali parametri fisico-chimici (temperatura, pH, conducibilità elettrica, torbidità, ossigeno disciolto, potenziale redox), sia nelle vasche test approvvigionate con le acque grezze in ingresso che in quelle pretrattate.

Sugli animali deceduti nelle vasche test ed in quelle

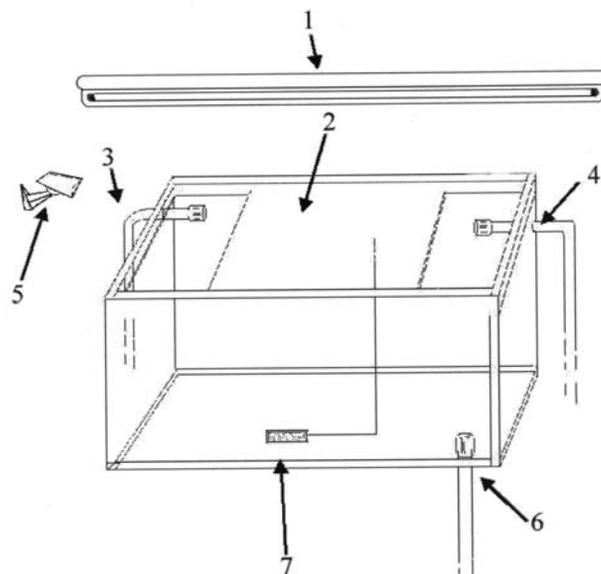


Fig. 2. Modello di vasca test messa a punto nel 2001: 1) lampada fluorescente per l'illuminazione con timer per giorno (14 ore, 1200 lux) e notte (10 ore, 300 lux); 2) copertura scorrevole in vetro; 3) ingresso acqua; 4) scarico di superficie con funzione di troppo pieno; 5) telecamera a fuoco fisso per riprese diurne e notturne; 6) scarico di fondo per la pulizia delle vasche; 7) diffusore poroso d'aria.

di stabulazione sono state condotte analisi finalizzate ad individuare le cause di morte.

RISULTATI

Dispositivo di monitoraggio messo a punto nel biennio 1991-'92

Dopo una serie di prove, che richiesero la realizzazione di vari tipi di vasche di forma parallelepipedica e piramidale nonché la messa a punto dei necessari collegamenti elettrici ed idraulici, fu predisposto un nuovo tipo di vasca test, caratterizzato dalla forma conica, più rispondente ai requisiti richiesti. In tale dispositivo, infatti, la velocità della corrente con flusso circolare tangenziale alle pareti poteva essere opportunamente regolata da una valvola di immissione posta nella parte superiore della vasca.

L'adozione della forma conica nella vasca test è risultata determinante per la corretta gestione del modulo impiantistico; la presenza di un flussimetro, a valle di entrambi gli scarichi, ha fornito una valida garanzia poiché ogni diminuzione di portata segnalava prontamente –con un allarme– l'ostruzione parziale degli scarichi causata da un pesce morto.

Allo scopo di indirizzare il pesce morto verso lo scarico di superficie, si tentò di creare una corsia preferenziale, ottenuta posizionando in superficie un cono rovesciato, sospeso in posizione eccentrica.

Tuttavia, il modello dovette essere ulteriormente perfezionato, in quanto si erano evidenziate numerose incursioni di pesci vivi nei pressi delle fotocellule, nonostante l'elemento di disturbo indotto dalla velocità di flusso più elevata in tali zone.

Nel tentativo di eliminare questo inconveniente si fece ricorso all'installazione di una sorgente luminosa ad alta intensità in corrispondenza degli scarichi oscurando la zona intermedia. Tuttavia anche questa brusca variazione di luminosità non diede il risultato sperato.

Analogamente, l'immissione di aria compressa in corrispondenza di ciascun scarico non riuscì ad allontanare i pesci. Le incursioni vennero facilmente registrate a seguito dell'installazione di due contaimpulsori, uno in grado di cogliere le incursioni di brevissima durata da parte dei pesci vivi e l'altro le permanenze superiori a 6 secondi, dovute alla presenza di pesce morto.

Poiché l'intrusione di pesci vivi nelle aree contigue agli scarichi di superficie e di fondo avveniva con notevole frequenza fu necessario mettere a punto un ulteriore e più efficace elemento di dissuasione. Considerando l'elevata sensibilità dei pesci nei confronti dei campi elettrici, furono installati elettrodi alimentati da corrente alternata, in grado di impedire l'accesso nelle aree situate in prossimità dei dispositivi di rilevamento. Il campo elettrico, del tutto innocuo, veniva creato da un oscillatore alimentato con corrente a bassa tensione, in grado di generare impulsi negativi di 80 Volt con una frequenza regolabile da 5 a 25 Hz (Fig. 1).

Il dispositivo di monitoraggio, costituito da due vasche test coniche impiegate in parallelo e da due vasche di stabulazione dei pesci, fu installato presso la condotta di alimentazione, dalla quale attingeva acqua attraverso una piccola derivazione posta a monte dell'impianto di clorazione.

Ciascuna vasca test era dotata di uno scarico di fondo e di uno scarico di superficie; ogni scarico era dotato di fotocellula e di due contaimpulsori, uno per incursioni momentanee e l'altro per incursioni superiori a 6 secondi. Le vasche test avevano una capacità di 76 litri, con un ricambio idrico, regolato da un flussimetro, di 4 L/min suddiviso nei due scarichi di superficie e di fondo, rispettivamente di 3 L/min e di 1 L/min, anch'essi provvisti di flussimetri.

Il dispositivo poteva essere allertato sia su segnalazione delle fotocellule presenti in entrambe le aree prossime agli scarichi sia da una diminuzione di flusso, opportunamente segnalato da due flussimetri collocati a valle degli scarichi, dovuta all'ostruzione meccanica indotta dalla presenza di un eventuale pesce deceduto.

Analogamente, contatori di impulsi erano a loro volta in grado di segnalare e/o confermare la presenza

di un soggetto in prossimità di uno scarico. Il modello ha fornito risultati incoraggianti: i pesci narcotizzati sperimentalmente venivano trascinati sul fondo ed attirati verso lo scarico, attivando la fotocellula presente sul fondo del cono. Quelli che venivano a galla, grazie ad una certa accelerazione impressa dalla corrente superficiale, venivano trascinati verso lo scarico di superficie, anch'esso dotato di una propria fotocellula.

Si è potuto inoltre stabilire, saggiando frequenze variabili da 5 a 25 Hz applicate a due elettrodi antistanti agli scarichi, che la frequenza ottimale doveva essere superiore a 20 Hz, in quanto valori più bassi inducevano piccole contrazioni nei pesci senza allontanarli dall'area.

Dispositivo di monitoraggio messo a punto nel 2001

Nel 2001, la disponibilità di un controllo ininterrotto attraverso monitor e telecamere fisse nell'arco delle 24 ore ha notevolmente semplificato la scelta della vasca da impiegare poiché normali acquari di forma parallelepipedica sono risultati perfettamente idonei alla stabulazione degli organismi saggio.

Dalla tabella I, che riporta i valori medi dei parametri rilevati nelle acque nel corso del 2001, può evincersi l'elevata correlazione esistente tra torbidità e mortalità nelle vasche approvvigionate con acque grezze. In queste, infatti, la torbidità ha raggiunto valori tali da compromettere la vita di entrambe le specie di trote saggiate, mentre nelle acque pretrattate i Ciprinidi non hanno fatto rilevare mortalità importanti se non attribuibili a fattori ambientali quali la bassissima temperatura delle acque registrata nel mese di gennaio.

Per quanto riguarda i Salmonidi, i decessi in termini percentuali, maggiori rispetto ai Ciprinidi, erano dovuti all'elevata presenza di materiale in sospensione ed ai suoi effetti nei confronti delle lamelle branchiali, con conseguente riduzione dell'efficienza respiratoria.

Grazie alla possibilità di osservare gli animali a distanza, oltre alle mortalità già ricordate sono stati presi in considerazione anche comportamenti palesemente anomali da parte di tutti i pesci presenti nelle vasche test.

DISCUSSIONE

La protezione, fornita dai dispositivi di monitoraggio biologico messi a punto, si basava sull'immediata sospensione dell'impiego delle acque in ingresso all'impianto di potabilizzazione, qualora il numero di decessi nelle vasche test avesse superato il valore prestabilito.

Quantunque l'impianto di monitoraggio sperimentato nel 1991-92 avesse dimostrato di possedere ottime doti di affidabilità, la possibilità di disporre di un controllo visivo sull'arco delle 24 ore ha indotto il gruppo di ricerca a focalizzare il proprio interesse verso il

Tab. I. Parametri fisico-chimici relativi al mese di gennaio 2001 (media settimanale \pm deviazione standard) rilevati nelle vasche test approvvigionate con acque grezze e acque pretrattate dell'impianto di potabilizzazione e mortalità riscontrata nelle tre specie ittiche saggiate.

Giorni	Temp. °C	pH pH	Cond. el. μ S/cm	Torbidità mg/L	Ossigeno mg/L	Pot. redox mV	Mortalità %		
							PS*	TF*	TI*
Acque grezze									
1-7	1,1 \pm 0,3	8,19 \pm 0,2	834 \pm 53	8,35 \pm 3	12,35 \pm 1	405 \pm 5	1	100	100
8-15	2,3 \pm 0,5	8,20 \pm 0,3	798 \pm 72	19,45 \pm 4	11,90 \pm 2	412 \pm 7	2	-	-
16-22	3,4 \pm 0,1	8,19 \pm 0,5	750 \pm 41	120,88 \pm 62	10,33 \pm 1	402 \pm 13	3	100	100
23-30	3,6 \pm 0,4	8,18 \pm 0,1	632 \pm 39	87,64 \pm 24	12,56 \pm 1	435 \pm 4	1	-	-
Acque pretrattate									
1-7	0,3 \pm 0,2	7,82 \pm 0,2	721 \pm 32	0,035 \pm 0,002	12,58 \pm 2	762 \pm 3	0	10	10
8-15	1,0 \pm 0,4	7,91 \pm 0,3	743 \pm 21	0,031 \pm 0,001	12,26 \pm 1	778 \pm 4	2	33	22
16-22	1,3 \pm 0,3	7,88 \pm 0,2	734 \pm 12	0,029 \pm 0,001	12,35 \pm 1	783 \pm 6	3	40	50
23-30	2,2 \pm 0,4	7,78 \pm 0,1	712 \pm 8	0,025 \pm 0,003	12,03 \pm 1,4	761 \pm 9	2	80	75

* PS= pseudorasbora; TF= trota fario; TI= trota iridea

N. iniziale pesci: pseudorasbora = 100 soggetti, sostituiti ogni 7 giorni; trota fario e trota iridea = 10 soggetti/specie, immessi ogni 15 giorni.

dispositivo di monitoraggio più semplice realizzato nel 2001.

I due dispositivi messi a punto nel 1991 e 2001 si differenziano notevolmente dal punto di vista del funzionamento e sono in grado di soddisfare esigenze diverse. Il primo appare più adatto a piccoli impianti di potabilizzazione, privi di monitoraggio visivo, mentre nei grandi impianti la disponibilità di operatori presenti in sala controllo 24 ore su 24 consente l'utilizzo del monitoraggio visivo continuo, attraverso opportuni monitor collegati a telecamere. A ciò si aggiunge, come ricordato, la disponibilità di un dispositivo in grado di allertare l'operatore anche quando viene rilevato un comportamento anomalo dei pesci riconducibile al controllo della frequenza respiratoria.

L'adozione dei Ciprinidi quali organismi saggio è stata giustificata da fenomeni di alta torbidità ai quali il corso idrico di alimentazione, a regime torrentizio, andava incontro periodicamente. Nell'ambito di questa

famiglia la scelta della pseudorasbora, piccolo Ciprinide di origine asiatica ormai diffuso in tutto il continente europeo, è risultata ottimale per la facile reperibilità e le doti di rusticità, che ne consentono la vita anche in acque estremamente torbide.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro rappresenta un primo approccio verso la standardizzazione di un sistema di monitoraggio delle acque sottoposte ad un controllo in continuo mediante l'utilizzo di organismi acquatici in impianti per la potabilizzazione.

Questo filone di ricerca affronta alcuni aspetti considerati nella normativa vigente in materia di monitoraggio delle acque (D.Lgs. 152/99 e D.Lgs. 258/00). Il metodo messo a punto nel 2001, grazie alle innovazioni tecnologiche adottate, risulta di facile realizzazione e consente un controllo ininterrotto dei pesci test anche da postazioni situate a decine di chilometri di distanza dalle vasche di monitoraggio.

Bibliografia

- BALCH G.C., EVANS R.D., 1999. A recirculating flow-through system for toxicity testing with stream-dwelling aquatic benthic invertebrates. *Aquatic Toxicology*, **45**: 241-251.
- BALDWIN I.G., 1990. *Review of fish monitors and other whole organisms monitoring systems*. Water Research Centre Publication UM 1109, Medmenham, U.K., 62 pp.
- CAIRNS J., GRUBER D., 1980. A comparison of methods and instrumentation of biological early warning systems. *Water Resources Bulletin*, **16**: 261-266.
- HAMILTON R.D., 1976. Aquatic environmental quality: toxicology. *J. Fish. Res. Board Can.*, **33**: 2671-2688.
- HUNN J.B., 1989. History of acute toxicity tests with fish, 1863-

1987. In: Fish & Wildlife Service (ed.), *Investigation and Fish Control*. National Fisheries Research Center, LaCrosse, Wisconsin: 1-10.
- KLEMM D.J., MORRISON G.E., NORBERG-RING J.J., PELTIER W.H., M.A. HEBER, 1994. *Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to marine and estuarine organisms*. EPA-600/4-91/003, Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 115 pp.
- KRAMER K.J.M., BOTTERWEG J., 1991. Aquatic biological early warning systems: an overview. In: Jeffrey D.W, Madden B. (eds.), *Bioindicators and Environmental Management*. Academic Press Limited, New York: 95-126.
- RAND G., 1995. *Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment*. Taylor & Francis, Londra, 245 pp.
- SCHLENK D., 2001. General mechanisms of toxicity. In: Schlenk D., Benson W.H. (eds.), *Target organ toxicity in marine and freshwater teleosts*. Taylor & Francis, Londra, 224 pp.
- SHARF B.W., 1979. A fish test alarm device for the continual recording of acute toxic substances in water. *Archive für Hydrobiologie*, **85**: 250-256.
- SHAW I.C., CHADWICK J., 1998. *Principles of environmental toxicology*. Taylor & Francis, Londra, 285 pp.
- VAN HOOF F., 1980. Evaluation of an automatic system for detection of toxic substances in surface water using trout. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **25**: 221-225.