

I Chiroterri come bioindicatori della qualità degli ecosistemi fluviali: risultati preliminari

Carmelina De Conno^{1*}, Valentina Nardone¹, Marco Guida², Salvatore De Bonis³, Marco Trifuoggi⁴, Ines Jorge⁵, Ugo Scarpa¹, Danilo Russo^{1,6}

1 *Wildlife Research Unit, Laboratorio di Ecologia Applicata, Dip. di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, via Università, 100 – 80055 Portici (NA)*

2 *Dip. di Biologia Strutturale e Funzionale, Università degli Studi di Napoli Federico II, via Cinthia, Complesso Univ. di Monte Sant'Angelo, Napoli*

3 *ARPA Lazio sezione di Frosinone, Unità risorse idriche, via Armando Fabi, 215, Frosinone*

4 *Dip. di Scienze Chimiche, Univ. di Napoli Federico II, via Cinthia, Complesso Univ. di Monte Sant'Angelo, Napoli*

5 *University of Porto, Portugal*

6 *School of Biological Sciences, Life Sciences Building, University of Bristol, Bristol*

* *Referente per la corrispondenza: carmelina.deconno@unina.it*

Pervenuto il 24.2.2017; accettato il 28.4.2017

Riassunto

L'ordine dei Chiroterri presenta una elevata biodiversità, ha ampia distribuzione geografica, occupa diverse nicchie ecologiche e svolge importanti servizi ecosistemici. Per queste caratteristiche, unitamente alla loro sensibilità agli stress ambientali di origine antropica e alla relativa facilità di campionamento, sono ritenuti dei possibili buoni bioindicatori. Tra i vari habitat, quelli delle acque dolci e i fiumi in particolare rivestono un'importanza fondamentale per questi animali, come aree sia di foraggiamento che di abbeveraggio.

In questo studio abbiamo testato il comportamento dei chiroterri in relazione alle loro potenzialità di utilizzo quali bioindicatori fluviali, in dieci fiumi del centro-sud Italia che attraversano aree a diverso grado di antropizzazione e inquinamento. Per ciascun corso d'acqua è stato calcolato l'indice Star_ICMi per i macroinvertebrati e l'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF). Contemporaneamente, è stata monitorata la chiroterrofauna, attraverso il posizionamento di bat detector automatici in punti di ascolto fissi per riconoscere le specie e misurare e individuare il tipo di attività da loro svolta.

Confrontando i risultati delle varie analisi, la valutazione dello stato ecologico ottenuta dai macroinvertebrati e i dati qualitativi (composizione in specie) e quantitativi (attività e numero di *feeding/drinking buzz*) della chiroterrofauna, si potrà valutare l'affidabilità della risposta della comunità dei pipistrelli all'alterazione dell'habitat fluviale, il range di applicabilità e se questo tipo di monitoraggio possa contribuire attivamente alla bioindicazione degli ecosistemi fluviali.

PAROLE CHIAVE: Indicatori ecologici / Pipistrelli / Macroinvertebrati / Monitoraggio / Habitat acquatici

Bats as bioindicators of riparian ecosystems quality

Bats are a biodiverse group of mammals covering wide geographic regions and exploiting a range of ecological niches. They provide crucial ecosystem services worldwide, i.e. pest control, seed dispersal and pollination. Bats are also highly sensitive to human-driven environmental alteration, so they have been proposed to act as effective bioindicators. However, few studies have tested their bioindication performances for main habitat categories, including rivers. The latter represent key bat habitat for foraging, drinking and commuting.

The aim of this work is to test whether bats can be used as river bioindicators. We selected ten rivers in central and southern Italy crossing areas characterized by different degrees of pollution. We evaluated the Star_ICMi index for macroinvertebrates and Index of Fluvial Functionality (IFF). We also surveyed bat occurrence and activity at the same study sites with automatically triggered bat detectors (D500X, Pettersson Elektronik, Uppsala, Sweden). The analysis of bat sounds allowed us to distinguish among different species and types of activity (foraging, drinking or commuting).

The further step of our study will be to compare bat responses to different degrees of habitat degradation with the other habitat parameters recorded to explore the potential offered by bats as bioindicators of river quality.

KEY WORDS: Ecological indicators / Bats / Macroinvertebrates / Monitoring / Freshwater habitat

INTRODUZIONE

Gli habitat naturali sono sempre più minacciati dalle innumerevoli pressioni di origine antropica. Gli ecosistemi delle acque interne, in particolare, da secoli fondamentali per gli insediamenti umani e per molte attività produttive, sono tra i più colpiti, poiché la loro biodiversità diminuisce più velocemente che in ogni altro ecosistema marino o terrestre (Jenkins, 2003; Strayer e Dudgeon, 2010). Per questi motivi, da molti anni si portano avanti campagne di monitoraggio ambientale, volte al controllo e salvaguardia dei delicati equilibri alla base del funzionamento di questi habitat.

Negli ultimi trent'anni, si è affermata l'importanza della bioindicazione, come strumento di supporto alle tradizionali tecniche di monitoraggio. Questa centralità è stata riconosciuta anche a livello legislativo con l'inserimento dei bioindicatori tra i parametri richiesti per la valutazione complessiva della qualità degli ambienti acquatici (Direttiva Quadro sulle Acque, 2000/60/CE, D.Lgs. 152/2006). Sono diversi i bioindicatori attualmente in uso in questo tipo di ambienti: macroinvertebrati bentonici, macrofite, diatomee e pesci. Per una migliore comprensione delle dinamiche interne alle catene trofiche degli ecosistemi di acque dolci, però, è necessario caratterizzare anche le interazioni trofiche esistenti tra il fiume e i circostanti ecosistemi terrestri (Polis *et al.*, 1997).

Diversi studi hanno dimostrato quanto gli ambienti umidi delle acque interne siano importanti per la comunità dei chiroterri: i fiumi sono usati come vie preferenziali per gli spostamenti e le migrazioni (Fenton e Thomas, 1985); l'attività dei pipistrelli è maggiore sui fiumi e sui laghi piuttosto che in altri habitat e alcune specie si

alimentano quasi esclusivamente sull'acqua o vicino alla vegetazione riparia (Vaughan *et al.*, 1997; Russo e Jones, 2003; Biscardi *et al.*, 2007; Almenar *et al.*, 2009; Hagen e Sabo, 2011). I pipistrelli possono essere considerati, quindi, come un importante ponte tra ecosistemi terrestri ed acquatici.

Questi piccoli mammiferi, inoltre, sembrano avere tutte le caratteristiche richieste da un buon bioindicatore: un'elevata biodiversità (l'ordine dei Chiroterri è composto da più di 1300 specie in tutto il mondo), ampia distribuzione geografica, sensibilità agli stress ambientali di origine antropica, relativa facilità di campionamento e tassonomia stabile (Jones *et al.*, 2009). I chiroterri si trovano ai vertici della catena alimentare, quindi si ritiene possano mostrare i segni di un'alterazione ambientale prima di altri taxa appartenenti a livelli trofici inferiori come, ad esempio, gli invertebrati (Jones *et al.*, 2009, McGeoch, 1998). I chiroterri forniscono anche importanti servizi ecosistemici, come la dispersione di semi e l'impollinazione di numerose piante (ad opera delle specie frugivore e nettariovive delle aree tropicali) o il controllo delle popolazioni di insetti. I pipistrelli insettivori, riuscendo a catturare una quantità di prede pari finanche alla propria massa corporea ogni notte (Boyles *et al.*, 2011; Puig-Montserrat *et al.*, 2015), hanno un ruolo importante nella riduzione degli insetti nocivi all'agricoltura. Finora sono stati condotti pochi studi (López-Baucells *et al.*, 2017) per valutare le performance di bioindicazione di questi mammiferi in importanti ecosistemi, come ad esempio quelli acquatici.

Da queste considerazioni, è nata l'idea di testare il comportamento dei chiroterri come potenziali bioindicatori degli ecosistemi

fluviali. In particolare, ci siamo chiesti quanto segue: è possibile trovare un collegamento tra la ricchezza o la composizione in specie e la qualità ambientale del fiume? Esiste una correlazione tra l'attività di volo di trasferimento (commuting) o tra l'attività di foraggiamento della chiroterrofauna e lo stato ecologico? Esistono specie la cui presenza/assenza sia indicatrice di particolari condizioni ambientali?

MATERIALI E METODI

La nostra area di studio comprende dieci fiumi del centro-sud Italia: Aventino, Sangro e Sagittario in Abruzzo, Calore Irpino, Calore Lucano, Sabato, Sele, Tammaro, Tusciano e alto Volturno tra Campania e Molise. In questi corsi d'acqua sono stati selezionati 50 punti di campionamento, disposti lungo tutta l'asta fluviale, variando da 1225 m s.l.m. a 31 m s.l.m. Ogni sito è stato campionato due volte, in stagioni diverse, nel periodo tarda primavera/inizio estate e tarda estate/inizio autunno.

I macroinvertebrati sono stati campionati con il metodo multi-habitat proporzionale per il calcolo dell'indice STAR_ICMi per la classificazione dello stato ecologico (Buffagni e Erba, 2007; Buffagni *et al.*, 2007; Buffagni e Erba, 2014). Per la raccolta degli invertebrati bentonici, è stata utilizzata una rete Surber, con un'area di base pari a 0,05 m², poiché i nostri siti rientrano tutti nelle IdroEcoRegioni (HER) 12, 13 e 18, per le quali è richiesta un'area campionata pari a 0,5 m². Ogni campione ottenuto è stato smistato in campo, con il riconoscimento degli organismi raccolti. Solo una piccola parte del campione è stato fissato in alcool a 90° per confermare le identificazioni dubbie. In laboratorio, quindi, è stata completata l'identificazione

a livello di famiglia e di genere, facendo riferimento a specifiche chiavi tassonomiche (Moretti, 1983; Rivosecchi, 1984; Sansoni, 1988; Campaioli *et al.* 1999; Tachet *et al.*, 2000). Le liste faunistiche così ottenute sono state utilizzate per il calcolo dell'indice STAR_ICM attraverso il software MacrOper.ICM 1.0.5 (Buffagni e Belfiore, 2013).

In concomitanza con il primo campionamento del macrobenthos, abbiamo valutato l'Indice di Funzionalità Fluviale (Siligardi *et al.*, 2007) per i tratti fluviali contenenti i prescelti punti di campionamento.

In ogni sito è stata monitorata la comunità dei chiroteri, attraverso la registrazione dal tramonto all'alba degli ultrasuoni da

loro emessi per l'ecolocalizzazione, con un bat detector automatico, il D500X (Pettersson Elektronik, Uppsala, Sweden). I file ottenuti, salvati su Compact Flash Card, sono stati analizzati con il software BatSound 4.1 che ha permesso la misura delle variabili considerate in Russo e Jones (2002) sugli oscillogrammi, gli spettri di potenza e gli spettrogrammi dei segnali registrati. Abbiamo utilizzato un approccio robusto all'analisi bioacustica, raggruppando i segnali di specie potenzialmente simili e tali da confondersi tra loro, in "gruppi bioacustici".

I dati sono stati analizzati con un Modello Generalizzato Lineare per Effetti Misti (GLMM) con il pacchetto lme4 (Bates, 2010) del software R, per valutare l'influenza

di diversi fattori (quota, larghezza dell'alveo fluviale bagnato, valore dello STAR_ICMi e dell'IFF) sulla variabilità della ricchezza in specie e dell'attività dei pipistrelli, intesa come numero totale di passaggi in un sito.

RISULTATI PRELIMINARI

I risultati esposti nel presente lavoro, riguardano solo una parte del campione raccolto e sono da considerarsi parziali. Lo stato ecologico dei cinque fiumi (Tab. I) varia, nella media annuale, tra lo stato "Ottimo", corrispondente alla 1^a classe di qualità e "Moderato", corrispondente alla 3^a classe. I fiumi Sagittario e Tusciano hanno mostrato una progressiva diminuzione della qualità con il decrescere della quota. Questo andamento non è riconoscibile negli altri tre fiumi, dove invece si nota una prevalenza della 1^a classe nel Sangro, della 2^a nel Tammaro e della 3^a nel Calore Irpino. Andamenti simili sono stati riscontrati anche nella funzionalità fluviale, che però varia tra "Buono", corrispondente al livello II e il "Moderato-Scadente" del livello III-IV.

Da una prima analisi dei dati (Tab. I), non abbiamo riscontrato una relazione tra lo stato ecologico o il livello di funzionalità e la ricchezza in specie dei chiroteri, come successivamente confermato anche dall'analisi statistica. Dal modello GLMM, è invece emersa una relazione positiva tra la ricchezza in specie e la quota ($F=4,6920$, $p < 0,05$) e una relazione negativa tra il numero totale di passaggi e i valori dello STAR_ICMi ($F=6,268$, $p < 0,05$) (Fig. 1).

DISCUSSIONE

I risultati, sebbene preliminari, permettono di fare alcune considerazioni. Dal nostro lavoro, non è emersa la presenza di specie esclusive di particolari condizioni

Tab. I. Valori dello STAR_ICMi e relative classi di qualità e di IFF con relativi livelli di funzionalità per i siti fluviali campionati.

Fiume	Sito	STAR_ICM index	Classe	IFF	Livello di Funzionalità	N. specie chiroteri media
Tammaro	TAM1	0,891	2	230	II	8
	TAM2	0,854	2	203	II	8,5
	TAM3	0,607	3	194	II-III	6,5
	TAM4	0,825	2	165	III	7,5
	TAM5	0,868	2	183	II-III	5
	TAM6	0,728	2	165	III	7
Tusciano	TUS1	1,011	1	234	II	7,5
	TUS2	0,866	2	161	III	4,5
	TUS3	0,559	3	118	III-IV	8,5
Sagittario	SAG1	0,988	1	239	II	9,5
	SAG2	0,815	2	185	II-III	4,5
Sangro	SAN1	1,096	1	213	II	6,5
	SAN2	0,628	3	218	II	10,5
	SAN3	0,795	2	159	III	8,5
	SAN4	1,014	1	205	II	9,5
	SAN5	0,985	1	142	III	7,5
	SAN6	1,022	1	185	II-III	8
	SAN7	0,966	1	233	II	10
	SAN8	0,980	1	225	II	6
	SAN9	0,806	2	170	III	6
Calore Irpino	CAI1	0,957	2	246	II	10
	CAI2	0,703	3	120	III-IV	10
	CAI3	0,828	2	111	III-IV	10
	CAI4	0,555	3	115	III-IV	8
	CAI5	0,604	3	131	III	7
	CAI6	0,586	3	158	III	8,5

ambientali, ma solo un generale aumento del numero di specie con la quota, in accordo con quanto riportato da McCain (2007) per le regioni temperate. A quote più elevate, infatti, si ha una presenza maggiore di foreste ben strutturate, che possono, quindi, supportare una maggiore diversità e abbondanza di prede (Russo e Jones, 2003). La relazione negativa tra l'attività dei pipistrelli e la qualità dell'acqua emersa dall'elaborazione statistica dei dati non è sempre confermata dalla letteratura. In alcuni casi, non sono state trovate variazioni significative dell'attività tra aree a differente qualità ambientale (Abbot *et al.*, 2009), mentre in altri, come emerso in un recente lavoro (López-Baucells *et al.*, 2017), una maggiore attività può indicare una qualità migliore dell'habitat, ma solo in presenza di foreste ripariali ben sviluppate su entrambe le rive. Quest'ultimo studio è incentrato, però, solo sulla specie *Myotis daubentonii*.

Sebbene i chiroterri siano da molti ritenuti potenzialmente dei buoni bioindicatori, finora pochi studi hanno realmente testato la loro risposta ai differenti livelli di

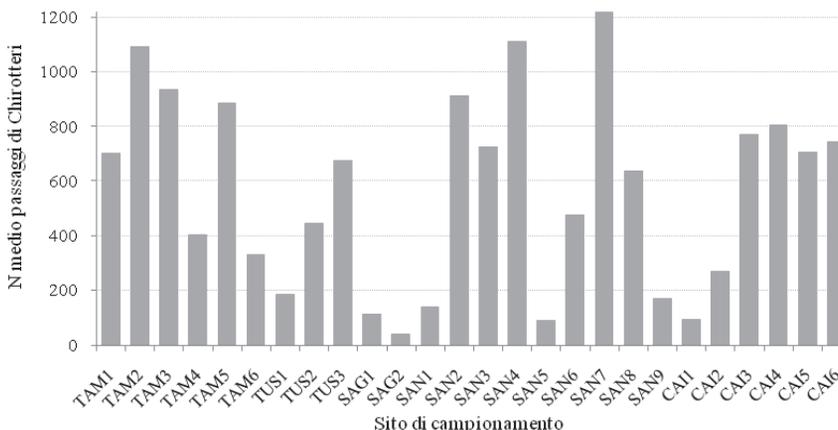


Fig. 1. Numero di passaggi di Chiroterri per notte, mediato tra le due sessioni di campionamento.

qualità di un intero ecosistema. La relazione negativa riscontrata tra l'attività totale della chiroterrofauna e lo stato ecologico non sorprende, poiché i pipistrelli hanno esigenze metaboliche elevate, pertanto solo gli ambienti con un'alta densità d'insetti, come quelli caratterizzati da acque eutrofiche, sono in grado di supportare un'elevata attività. Studi pregressi condotti sul Fiume Sangro (Nardone *et al.*, 2015) hanno dimostrato come le aree di fondovalle, caratterizzate da peggiore qualità ambientale, sostengano popolazioni più nu-

merose di chironomidi, tra le principali prede di diverse specie di chiroterri.

Il lavoro sullo studio dell'uso dei chiroterri come bioindicatori ambientali è ancora in corso e sarà necessaria l'analisi dell'intero set di dati, con l'aggiunta dei campioni provenienti da fiumi caratterizzati da condizioni ambientali peggiori. Ciò consentirà di chiarire i pattern fin qui rilevati ed eventualmente di individuarne di nuovi, così da valutare la possibilità di impiegare anche l'ordine dei chiroterri ai fini della bioindicazione fluviale.

BIBLIOGRAFIA

- Abbott I.M., Sleeman D.P., Harrison S., 2009. Bat activity affected by sewage effluent in Irish rivers. *Biological conservation*, **142**: 2904-2914.
- Almenar D., Aihartza J., Goiti U., Salsamendi E., Garin I., 2009. Foraging behaviour of the long-fingered bat *Myotis capaccinii*: implications for conservation and management. *Endangered species research*, **8**: 69-78.
- Bates D.M., 2010. *lme4: mixed-effects modeling with R*. Springer, New York. <http://lme4.r-forge.r-project.org/book/>

- Biscardi S., Russo D., Casciani V., Cesarini D., Mei M., Boitani L., 2007. Foraging requirements of the endangered long-fingered bat: The influence of micro-habitat structure, water quality and prey type. *Journal of Zoology*, **273**: 372-381.
- Boyles J.G., Cryan P.M., McCracken G.F., Kunz T.H., 2011. Economic importance of bats in agriculture. *Science*, **332** (6025): 41-42.
- Buffagni A., Erba S., 2007. *Macroinvertebrati acquatici e Direttiva 2000/60/EC (WFD) – Parte A. Me-*

todo di campionamento per i fiumi guadabili. IRSA-CNR, Notiziario dei Metodi Analitici, Marzo 2007: 2-27.

- Buffagni A., Belfiore C., 2013. *Macroper.ICM software, v. 1.0.5*. CNR-IRSA & UniTuscia DEB, Roma, 2013.
- Buffagni A., Erba S., 2014. *Linee guida per la valutazione della componente macrobentonica fluviale ai sensi del DM 260/2010*. ISPRA, Manuali e Linee Guida, 107, 99.
- Buffagni A., Erba S., Aquilano G., Armanini D., Beccari C., Casalegno C., Cazzola M., Demartini D., Ga-

- vazzi N., Kemp J.L., Mirolo N., Rusconi M., 2007. *Macroinvertebrati acquatici e Direttiva 2000/60/EC (WFD) – Parte B. Descrizione degli habitat fluviali a supporto del campionamento biologico*. IRSA-CNR, Notiziario dei Metodi Analitici, Marzo 2007, 28-52.
- Campaioli S., Ghetti P.F., Minelli A., Ruffo S., 1999. *Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane*. Vol. I–II: Provincia Autonoma di Trento.
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, “Norme in materia ambientale” pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006, Supplemento Ordinario n. 96
- Direttiva 2000/60/CE, 2000. *Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque*. Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee, L327/1. Commissione Europea, Bruxelles.
- Fenton M.B., Thomas D.W., 1985. Migrations and dispersal of bats (Chiroptera). Contributions to Marine Science. In: M. A. Rankin (ed.), *Special supplement: Migration: mechanisms and adaptive significance*, **27**: 409-424.
- Hagen E.M., Sabo J.L., 2011. A landscape perspective on bat foraging ecology along rivers: does channel confinement and insect availability influence the response of bats to aquatic resources in riverine landscapes? *Oecologia*, **166** (3): 751-760.
- Jenkins M., 2003. Prospects for biodiversity. *Science*, **302** (5648): 1175-1177.
- Jones G., Jacobs D., Kunz T., Willig M., Racey P., 2009. Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research*, **8**: 93-115.
- López-Baucells A., Casanova L., Puig-Montserrat X., Espinal A., Páramo F., Flaquer C., 2017. Evaluating the use of *Myotis daubentonii* as an ecological indicator in Mediterranean riparian habitats. *Ecological Indicators*, **74**: 19-27.
- McCain C.M., 2007. Could temperature and water availability drive elevational species richness patterns? A global case study for bats. *Global Ecology and Biogeography*, **16**: 1-13.
- McGeoch M.A., 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, **73**: 181-201.
- Moretti G., 1983. *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane: Tricotteri (Trichoptera)*. Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Nardone V., Cistrone L., Di Salvo I., Ariano A., Migliozi A., Allegrini C., Ancillotto L., Fulco A., Russo D., 2015. How to be a male at different elevations: ecology of intra-sexual segregation in the trawling bat *Myotis daubentonii*. *PLoS ONE* **10** (7): e0134573. doi: 10.1371/journal.pone.0134573
- Polis G.A., Anderson W.B., Holt R.D., 1997. Toward an integration of landscape and food web ecology: the dynamics of spatially subsidized food webs. *Annual review of ecology and systematics*, **28** (1): 289-316.
- Puig-Montserrat X., Torre I., López-Baucells A., Guerrieri E., Monti M.M., Ràfols-Garcia R., Ferrer X., Gisbert D., Flaquer C., 2015. Pest control service provided by bats in Mediterranean rice paddies: Linking agroecosystems structure to ecological functions. *Mammalian Biology*, **80** (3): 237-245.
- Rivosecchi L., 1984. *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane: Ditteri (Diptera)*. Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Russo D., Jones G., 2002. Identification of twenty-two bat species (Mammalia: Chiroptera) from Italy by analysis of time-expanded recordings of echolocation calls. *Journal of Zoology*, **258**: 91-103.
- Russo D., Jones G., 2003. Use of foraging habitats by bats in a Mediterranean area determined by acoustic surveys: conservation implications. *Ecography (Cop.)*, **26**: 197-209.
- Sansoni G., 1988. *Atlante per il riconoscimento dei Macroinvertebrati dei corsi d'acqua italiani*. Provincia Autonoma di Trento.
- Siligardi M., Avolio F., Baldaccini G., Bernabei S., Bucci M.S., Cappelletti C., Chierici E., Ciutti F., Floris B., Franceschini A., Mancini L., 2007. *IFF: Indice di Funzionalità Fluviale*. Manuale APAT 2007. 325 pp.
- Strayer D.L., Dudgeon D., 2010. Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. *Journal of the North American Benthological Society*, **29**: 344-358.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P., 2000. *Invertébrés d'eau douce: Systématique, biologie, écologie*. CNRS Edition, Paris, 587 pp.
- Vaughan N., Jones G., Harris S., 1997. Habitat Use by Bats (Chiroptera) Assessed by Means of a Broad-Band Acoustic Method. *Journal of Applied Ecology*, **34**: 716-730.