

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第4期 Vol.32 No.4 2012

中国生态学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 4 期      2012 年 2 月 (半月刊)

## 目 次

固垦对南汇东滩湿地大型底栖动物的影响·····	马长安,徐霖林,田伟,等	(1007)
基于 ArcView-WOE 的下辽河平原地下水生态系统健康评价·····	孙才志,杨磊	(1016)
京郊典型集约化“农田-畜牧”生产系统氮素流动特征·····	侯勇,高志岭,马文奇,等	(1028)
不同辐射条件下苹果叶片净光合速率模拟·····	高照全,冯社章,张显川,等	(1037)
藏北高原典型植被样区物候变化及其对气候变化的响应·····	宋春桥,游松财,柯灵红,等	(1045)
祁连山中段林草交错带土壤水热特征及其对气象要素的响应·····	唐振兴,何志斌,刘鹄	(1056)
祁连山青海云杉林冠生态水文效应及其影响因素·····	田风霞,赵传燕,冯兆东,等	(1066)
呼伦贝尔沙地樟子松年轮生长对气候变化的响应·····	尚建勋,时忠杰,高吉喜,等	(1077)
结合激光雷达分析上海地区一次连续浮尘天气过程·····	马井会,顾松强,陈敏,等	(1085)
福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系·····	田丰歌,徐兆礼	(1097)
香港巨牡蛎和长牡蛎幼虫及稚贝的表型性状·····	张跃环,王昭萍,闫喜武,等	(1105)
东海原甲藻与中肋骨条藻的种间竞争特征·····	李慧,王江涛	(1115)
起始生物量比对 3 种海洋微藻种间竞争的影响·····	魏杰,赵文,杨为东,等	(1124)
不同磷条件下塔玛亚历山大藻氮的生态幅·····	文世勇,宋琍琍,龙华,等	(1133)
秦岭天然次生油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应·····	陈书军,陈存根,邹伯才,等	(1142)
伊犁河谷北坡垂直分布格局及其与环境的关系——一种特殊的双峰分布格局·····	田中平,庄丽,李建贵	(1151)
濒危种四合木与其近缘种霸王水分关系参数和光合特性的比较·····	石松利,王迎春,周红兵,等	(1163)
干旱胁迫下黄土高原 4 种乡土禾草抗氧化特性·····	单长卷,韩蕊莲,梁宗锁	(1174)
施加角担子菌 B6 对连作西瓜土壤微环境和西瓜生长的影响·····	肖逸,王兴祥,王宏伟,等	(1185)
内蒙古典型草原区芨芨草群落适生境·····	张翼飞,王炜,梁存柱,等	(1193)
盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系·····	管孝艳,王少丽,高占义,等	(1202)
黄土高原水蚀风蚀交错区坡地土壤剖面饱和导水率空间异质性·····	刘春利,胡伟,贾宏福,等	(1211)
松嫩平原玉米带农田土壤氮密度时空格局·····	张春华,王宗明,居为民,等	(1220)
小麦冬性强弱评价体系的建立·····	王鹏,张春庆,陈化榜,等	(1230)
唐家河自然保护区高山姬鼠和中华姬鼠夏季生境选择的比较·····	黎运喜,张泽钧,孙宜然,等	(1241)
西花蓟马在 6 种蔬菜寄主上的实验种群生命表·····	曹宇,鄧军锐,孔译贤	(1249)
同位素富集-稀释法研究食性转变对鱼类不同组织 N 同位素转化率的影响·····	曾庆飞,谷孝鸿,毛志刚,等	(1257)
基于生态网络分析的南京主城区重要生态斑块识别·····	许文雯,孙翔,朱晓东,等	(1264)
珠三角城市绿地 CO <sub>2</sub> 通量的季节特征·····	孙春健,王春林,申双和,等	(1273)
污染场地地下水渗流场模拟与评价——以柘城县为例·····	吴以中,朱沁园,刘宁,等	(1283)
<b>专论与综述</b>		
湿地退化研究进展·····	韩大勇,杨永兴,杨杨,等	(1293)
绿洲农田氮素积累与淋溶研究述评·····	杨荣,苏永中,王雪峰	(1308)
<b>问题讨论</b>		
抗辐射菌 <i>Deinococcus radiodurans</i> 的多样性·····	屠振力,方俐晶,王家刚	(1318)
平茬措施对柠条生理特征及土壤水分的影响·····	杨永胜,卜崇峰,高国雄	(1327)
<b>研究简报</b>		
祁连山典型灌丛降雨截留特征·····	刘章文,陈仁升,宋耀选,等	(1337)
野生鸭儿芹种子休眠特性及破除方法·····	喻梅,周守标,吴晓艳,等	(1347)



**封面图说:** 遗鸥群飞来——遗鸥意即“遗落之鸥”(几乎是最后才被发现的新的鸥种,因此得名)。1931 年,瑞典动物学家隆伯格撰文记述在中国额济纳采到了标本。1987 年,中国的鸟类学家在鄂尔多斯的桃力庙获得了一对遗鸥的标本。1990 年春夏之交,发现了湖心各岛上大量的遗鸥种群。近年来的每年夏季,大约全球 90% 以上的遗鸥都会到陕西省神木县境内的沙漠淡水湖-红碱淖上聚集。遗鸥——国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

**彩图提供:** 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201012261848

田丰歌,徐兆礼. 福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系. 生态学报, 2012, 32(4): 1097-1104.

Tian F G, Xu Z L. Relating the distribution of zooplankton abundance in the coastal waters of central Fujian Province to the seasonal variation of water masses. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(4): 1097-1104.

## 福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系

田丰歌<sup>1,2</sup>, 徐兆礼<sup>1,2,\*</sup>

(1. 厦门大学海洋与环境学院, 厦门 361005;

2. 中国水产科学研究院东海水产研究所 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090)

**摘要:** 根据 2009—2010 年在福建中部近海 24°55′—25°13′N, 119°11′—119°32′E 水域冬、春、夏 3 个季节的调查资料, 探讨了该水域浮游动物总丰度与生物量的平面分布、季节变化及其与台湾海峡水团变化的关系。结果表明, 调查水域浮游动物的数量在冬、春之交变化较大, 而在春、夏季变化较小。浮游动物冬、春两季的平均丰度分别为 8.90 个/m<sup>3</sup> 和 245.65 个/m<sup>3</sup>, 夏季为 236.82 个/m<sup>3</sup>。冬、春两季, 该水域浮游动物的分布特征相近。其数量在近岸较高, 向外侧水域逐渐降低。冬季浮游动物的丰度最高为 31.56 个/m<sup>3</sup>, 春季最高达到 831.67 个/m<sup>3</sup>。中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*) 是冬、春季影响总丰度变化最主要的种类。与冬、春季不同, 夏季浮游动物的数量在离岸水域较高, 丰度最高达 1053.13 个/m<sup>3</sup>, 而在近岸较低, 最低值仅 19.17 个/m<sup>3</sup>。汉森莹虾 (*Lucifer hanseni*)、双生水母 (*Diphyes chamissonis*) 是影响总丰度变化最主要的种类。浮游动物在各季的不同分布特征与台湾海峡的季节性水团变化有关。受季风转换影响, 从冬季到夏季, 海峡内沿岸流势力逐渐减弱, 台湾暖流水势力逐渐增强, 并影响到沿岸的水文环境。这导致调查水域内浮游动物的优势种类由暖温种向暖水种演替。由于冬、春季的重要优势种类中华哲水蚤与夏季的汉森莹虾、双生水母具有不同的温度适应性, 受不同性质水团的影响, 在近岸和离岸水域各自呈现出不同的数量高低。从而进一步影响到各季浮游动物总数量的分布。

**关键词:** 浮游动物; 数量分布; 水团

## Relating the distribution of zooplankton abundance in the coastal waters of central Fujian Province to the seasonal variation of water masses

TIAN Fengge<sup>1,2</sup>, XU Zhaoli<sup>1,2,\*</sup>

1 College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China

2 Key and Open Laboratory of Marina and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China

**Abstract:** In three oceanographic surveys conducted in the coastal waters of central Fujian Province (24°55′—25°13′ N, 119°11′—119°32′ E) in December 2009 and April and August 2010, the abundance, biomass, horizontal distribution, and seasonal variation of zooplankton were investigated, and their relation to the seasonal variation of water masses in the Taiwan Strait was examined. The results showed that the numbers of zooplankton changed between winter and spring, but remained steady between spring and summer. In winter and spring, the zooplankton showed similar patterns of distribution, though the distribution pattern was different in summer. The average number of zooplankton was 8.90 ind./m<sup>3</sup> in winter and 245.65 ind./m<sup>3</sup> in spring. In these two seasons, the zooplankton were most abundant in nearshore waters and gradually diminished offshore. In summer, the average number of zooplankton was 236.82 ind./m<sup>3</sup>. The zooplankton abundance in nearshore waters was low, but the zooplankton were abundant in offshore waters. To ascertain which species made the

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2010CB428705); 国家自然科学基金项目(40776077)

**收稿日期:** 2010-12-26; **修订日期:** 2011-05-03

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaomin@sh163.net

greatest contribution to these distribution patterns, the regression contribution of each dominant species' abundance was computed. In winter and spring, *Calanus sinicus* was the species whose distribution determined the distribution of zooplankton abundance. In summer, *Lucifer hansenii* and *Diphyes chamissonis* exerted the greatest influence on the distribution of zooplankton abundance. As a warm-temperate species, *Calanus sinicus* usually prospers in low-temperature waters. By contrast, *Lucifer hansenii* and *Diphyes chamissonis* are warm-water species; they are usually abundant in high-temperature waters. The adaptability of these three species to water temperature is an important factor in determining the distribution patterns of zooplankton abundance in each season. However, the most important factor is the seasonal variation of the water masses in the Taiwan Strait. This variation leads to the seasonal alternation of the dominant species. In winter, the west side of the Taiwan Strait is controlled by China's coastal water, which has a low temperature. The dominant species in the investigated waters in winter were warm-temperate species like *Calanus sinicus*. In spring, as the northeast monsoon weakens, China's coastal water wanes and the Taiwan Warm Current becomes stronger. However, the west side of the Taiwan Strait is still controlled by China's coastal water so warm-temperate species are still dominant. In winter and spring, the offshore water has a relatively high temperature because of the Taiwan Warm Current. Correspondingly, in the offshore water *Calanus sinicus* had a low abundance. The greatest abundance of *Calanus sinicus* was in the nearshore water. In summer, the southwest monsoon begins and the Taiwan Warm Current dominates. The major species were mainly warm-water species, such as *Lucifer hansenii* and *Diphyes chamissonis*. In summer, the water is heavily stratified, and there is an upwelling of bottom water in the nearshore region of the western side of the strait. As a result, the water temperature in this region was the lowest. Accordingly, warm-water species such as *Lucifer hansenii* and *Diphyes chamissonis*, were less abundant in the nearshore water. The different distribution patterns of these important zooplankton species further influenced the total abundance and overall distribution patterns in different seasons.

**Key Words:** zooplankton; distribution; water masses

浙闽沿岸流和台湾暖流是影响台湾海峡海洋环境的两个重要水团。受到季风转换的影响,这两个水团的势力在不同季节此消彼长<sup>[1]</sup>,影响着沿岸海域的水文环境,使之表现出明显的季节变化。该海域浮游动物的数量和分布,与水团变化有密切的联系。对这一现象的研究很有必要。

关于浮游动物与水团的关系,国内已经有不少的研究,例如徐兆礼等研究了东海水团变化对水母类<sup>[2]</sup>、海樽类<sup>[3]</sup>、介形类<sup>[4]</sup>等浮游动物类群的影响,陈瑞祥等<sup>[5]</sup>研究了我国近海浮游介形类与各水系的关系,林景宏等<sup>[6]</sup>对东海黑潮区水文环境对介形类的影响进行了研究。在国外,Bieri<sup>[7]</sup>研究了太平洋毛颚类分布与水团的关系,Pages<sup>[8]</sup>等研究了南美 Humboldt 海流系统中管水母、栉水母、被囊类等五类胶质浮游动物各自与水团的关系。在台湾海峡,有陈瑞祥、林景宏等<sup>[9-11]</sup>对海峡西部介形类与水团关系进行的研究,Lan 等<sup>[12]</sup>对春季海峡北部桡足类的分布与水团的关系的研究等。但这些研究往往只局限于浮游动物的一个或几个类群。对浮游动物整体数量分布与水团变化的关系的研究较为少见。

本研究以福建中部近海为研究水域,根据冬、春、夏三季的浮游动物调查结果,分析了该水域浮游动物及其优势种的数量的水平分布与季节变化,讨论了台湾海峡的水团变化对浮游动物数量分布的影响。这对于明确该水域浮游动物资源的数量与分布,以及了解浮游动物的分布和变化规律有明显的科学意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样时间、区域和方法

于 2009 年 12 月,2010 年 4 月与 8 月于福建中部近海(24°55'—25°13'N 和 119°11'—119°32'E)租用渔船闽长渔 4412#进行了 3 个航次的生态环境调查,设置 12 个测站(图 1)。浮游动物采集方法及处理均按照《海洋调查规范》进行。浮游动物样品用浅水 I 型浮游生物网,在涨潮时自海底至海面垂直拖拽获得。所获样品经 5% 福尔马林溶液固定,带回实验室进行分类鉴定、计数和称重(生物量为湿重,单位为 mg/m<sup>3</sup>;个体丰度单

位为个/ $m^3$ 。)

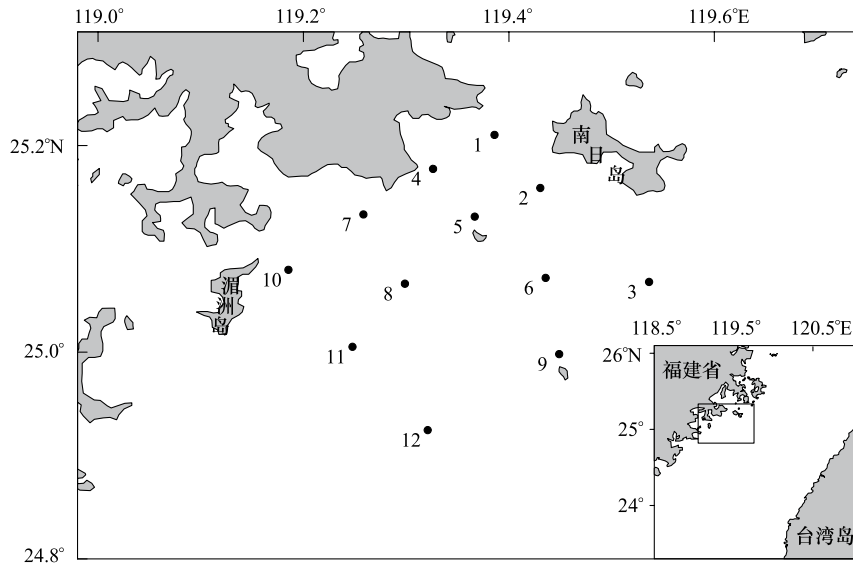


图1 采样站位图

Fig. 1 Sampling stations

## 1.2 数据处理

优势度用自编程序采用如下公式<sup>[13]</sup>计算:

$$\text{优势度} = Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中, $n_i$ 为第*i*种类各站的总丰度(个/ $m^3$ ); $N$ 为所有物种各站的总丰度(个/ $m^3$ ); $f_i$ 为第*i*种类在所有站点出现的频率。定义浮游动物优势度 $Y \geq 0.02$ <sup>[13]</sup>的为优势种。

分析优势种对总丰度变化的影响,先以总丰度为因变量,各优势种丰度为自变量,根据 $P(<0.05)$ 值筛选出对总丰度回归方差贡献显著的优势种,然后计算标准回归系数( $\beta$ )。标准回归系数作为总丰度贡献指数值用于研究各优势种对总丰度变化的影响,具体计算参见文献<sup>[14]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 浮游动物总丰度和生物量分布

冬季(12月),浮游动物平均丰度为8.90个/ $m^3$ 。浮游动物丰度值以北部近岸的7#站为高值中心,向外侧逐渐降低(图2)。7#站位浮游动物丰度为31.65个/ $m^3$ ,主要组成种类为中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)。外侧的3#、10#、12#站位丰度不足5个/ $m^3$ 。冬季的平均生物量为9.43 mg/ $m^3$ ,其分布与丰度分布基本一致(图2)。

春季(4月)浮游动物的丰度与冬季相比有较大上升,平均丰度达到245.65个/ $m^3$ 。各站位丰度值的分布特征与冬季近似。同样,高值中心出现在7#站附近水域,7#站与8#站的浮游动物丰度值分别为831.67个/ $m^3$ 和726.39个/ $m^3$ ,其中中华哲水蚤是占总丰度比例最高的种类,在7#站的丰度达到了536.67个/ $m^3$ 。小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)亦有一定数量,丰度最高值在8#站,为53.33个/ $m^3$ 。春季平均生物量为187.47 mg/ $m^3$ ,变化幅度为36.25—537.50 mg/ $m^3$ ,在7#站最高,并同样呈现出向外侧水域逐渐降低的趋势(图2)。

夏季(8月)浮游动物平均丰度为236.82个/ $m^3$ 。最高值出现在最南部的12#站,丰度高达1053.13个/ $m^3$ ,其次为东部的3#站,丰度为576.25个/ $m^3$ ,皆为靠外侧的站位。其中汉森莹虾(*Lucifer hanseni*)、肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)、亚强真哲水蚤(*Eucalanus subcrassus*)等是丰度较高的种类。近岸的7#站位的丰度值最低,为19.17个/ $m^3$ (图2),主要种类为亚强真哲水蚤。夏季平均生物量为217.29 mg/ $m^3$ 。从分布趋势上看,生

物量较高值同样位于 12#、3# 等站位, 至近岸站位逐渐降低, 与丰度的分布趋势相一致(图 2)。

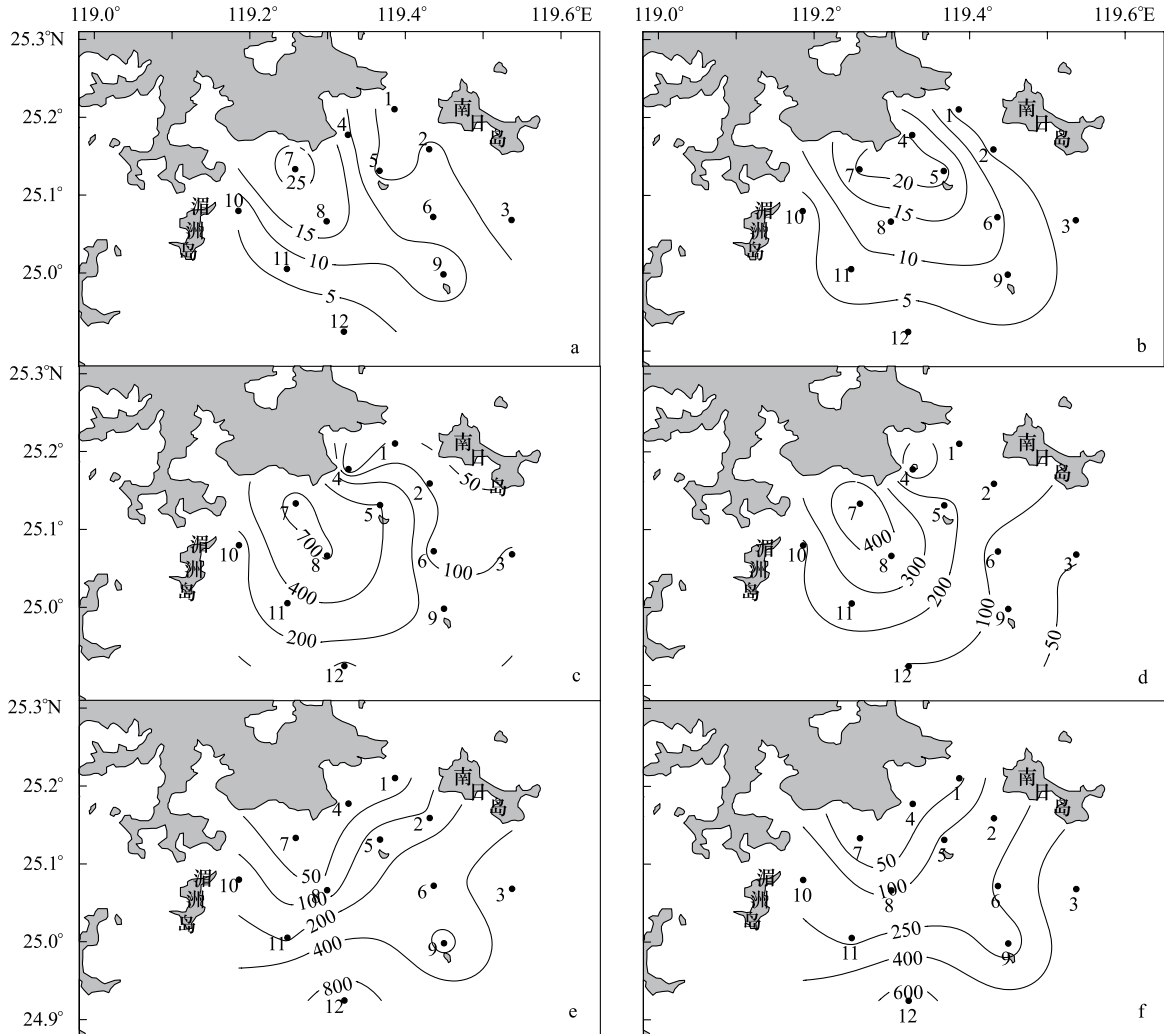


图 2 浮游动物总丰度(个/ $m^3$ )与生物量( $mg/m^3$ )分布

Fig. 2 Horizontal distribution of zooplankton's abundance and biomass

a. 冬季丰度; b. 冬季生物量; c. 春季丰度; d. 春季生物量; e. 夏季丰度; f. 夏季生物量

## 2.2 优势种及其对总丰度分布的贡献

三季共有优势种 12 种。其中冬季与春季的优势种皆为 3 种, 夏季为 7 种(表 1)。

从优势度上看, 冬、春季皆以中华哲水蚤为占绝对优势的种类。尤其是春季, 中华哲水蚤的优势度高达 0.64, 远高于其他种类。夏季, 各优势种的优势度较为平均, 没有出现优势度明显偏高的种类, 大多数种类的优势度都介于 0.05 至 0.09 之间(表 1)。

从对总丰度的贡献上看, 冬季对总丰度贡献极显著( $P < 0.001$ )的优势种仅有中华哲水蚤一种,  $\beta$  值高达 0.98。春季对总丰度贡献极显著的有中华哲水蚤和小拟哲水蚤, 其中仍以中华哲水蚤对总丰度贡献值  $\beta$  较大(0.83), 远远超过小拟哲水蚤(0.20)。近缘大眼剑水蚤(*Corycaeus affinis*)虽然是优势种, 但是对总丰度的贡献不显著。夏季, 对总丰度有显著贡献( $P < 0.05$ )的有亚强真哲水蚤、球型侧腕水母(*Pleurobrachia globosa*)、拟细浅室水母(*Lensia subtiloides*)、双生水母(*Diphyes chamissonis*)、汉森莹虾 5 种。对总丰度贡献极显著的有球型侧腕水母、双生水母、汉森莹虾 3 种, 其中又以双生水母与汉森莹虾贡献最大,  $\beta$  值分别为 0.31 与 0.36, 其他种类的  $\beta$  值皆小于 0.20(表 1)。而肥胖箭虫和凶形箭虫(*Sagitta ferox*)对总丰度的贡献不显著。

表1 优势种( $Y \geq 0.02$ )的优势度( $Y$ )、平均丰度( $\bar{x}$ )及对总丰度的贡献( $\beta$ 为标准回归系数)(个/ $m^3$ )Table 1 Dominance ( $Y$ ), average abundance ( $\bar{x}$ ), and contribution to total abundance of dominant species

优势种 Dominant species	12月 December				4月 April				8月 August			
	$Y$	$\bar{x}$	$\beta$	$p$	$Y$	$\bar{x}$	$\beta$	$p$	$Y$	$\bar{x}$	$\beta$	$p$
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.24	2.56	0.98	$1 \times 10^{-7}$	0.64	157.78	0.83	$1 \times 10^{-7}$				
太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>	0.04	0.72		$> 0.05$								
瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuiremis</i>	0.04	0.45		$> 0.05$								
小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>					0.06	15.6	0.20	$4.57 \times 10^{-5}$				
近缘大眼剑水蚤 <i>Corycaeus affinis</i>					0.03	9.13		$> 0.05$				
亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>									0.09	22.17	0.15	$7.90 \times 10^{-3}$
肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i>									0.09	21.71		$> 0.05$
球型侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i>									0.08	21.87	0.16	$4.70 \times 10^{-5}$
拟细浅室水母 <i>Lensia subtiloides</i>									0.08	19.47	0.19	0.03
双生水母 <i>Diphyes chamissonis</i>									0.07	15.86	0.31	$3.69 \times 10^{-5}$
汉森莹虾 <i>Lucifer hanseni</i>									0.05	14.24	0.36	$4.18 \times 10^{-5}$
凶形箭虫 <i>Sagitta ferox</i>									0.03	6.95		$> 0.05$

### 2.3 重要种类丰度分布

将对总丰度贡献极显著,  $\beta$  值大于 0.30 的优势种类称为重要种类, 冬、春季为中华哲水蚤, 夏季为双生水母与汉森莹虾。

冬季中华哲水蚤的平均丰度值仅为 2.56 个/ $m^3$ , 丰度以近岸的 7# 站位为高值中心, 最高值为 10.63 个/ $m^3$ 。中华哲水蚤的丰度值向外侧水域方向逐渐降低(图 3)。

春季, 中华哲水蚤的平均丰度值升至 157.78 个/ $m^3$ 。丰度的分布趋势与春季相近, 在 7# 站丰度值最高(536.67 个/ $m^3$ ), 至外侧水域, 丰度值不足 100 个/ $m^3$ (图 3)。

夏季, 汉森莹虾与双生水母的平均丰度分别为 15.86 个/ $m^3$  与 14.24 个/ $m^3$ 。汉森莹虾的丰度分布较不平均, 在最南部的 12# 站丰度值高达 135.00 个/ $m^3$ 。其他站位尤其是近岸站位的丰度值很低, 除东侧的 6# 站以外, 丰度值皆在 10 个/ $m^3$  以下。双生水母丰度的最高值也出现在 12# 站, 为 50.00 个/ $m^3$ 。东部的 3# 站与 6# 站同样是丰度较高的站位。双生水母在近岸水域的丰度亦较低, 除北部的 2#、5# 站位以外, 其他站位丰度值同样低于 10 个/ $m^3$ 。

## 3 讨论

### 3.1 总数量平面分布和季节变化特征

由 2.1 可见, 无论从总丰度还是从总生物量上看, 研究水域的浮游动物在各个季节的数量分布均表现出一定的规律性。

从平面分布上讲, 浮游动物在冬、春季呈现出相近的分布特征, 即以近岸为中心, 数量逐渐向外侧递减。由图 1 可见, 冬、春两季, 浮游动物的丰度与生物量的最高值都出现在 7# 站附近水域。而向外侧水域方向, 丰度和生物量都逐渐降低。冬季, 最外侧的 12# 站丰度不足 5 个/ $m^3$ , 生物量不足 5 mg/ $m^3$ 。春季, 最外侧的 12#、9# 站丰度都在 200 个/ $m^3$  以下, 生物量都在 100 mg/ $m^3$  以下。夏季浮游动物的分布特征却相反, 由近岸站位向外侧站位, 丰度和生物量都逐渐升高。图 1 中, 夏季丰度和生物量的最高值都出现在外侧的 12# 站, 丰度值超过 800 个/ $m^3$ 。而最靠近近岸的 7# 站丰度在 50 个/ $m^3$  以下, 生物量不足 50 mg/ $m^3$ 。

从数量水平上讲, 浮游动物的数量在冬季较低, 平均丰度仅 8.90 个/ $m^3$ , 平均生物量为 9.43 mg/ $m^3$ 。至春季, 平均丰度上升至 245.65 个/ $m^3$ , 平均生物量升至 187.47 mg/ $m^3$ 。夏季的数量与春季较为接近, 平均丰度为 236.82 个/ $m^3$ 。由于夏季优势种中有较多的管水母等胶质浮游动物, 平均生物量稍有上升, 为 217.29 mg/ $m^3$ 。可见, 浮游动物的数量水平在冬春之交变化最大, 而春季和夏季的变化较为平稳。

浮游动物数量的变化与优势种的数量变化息息相关。

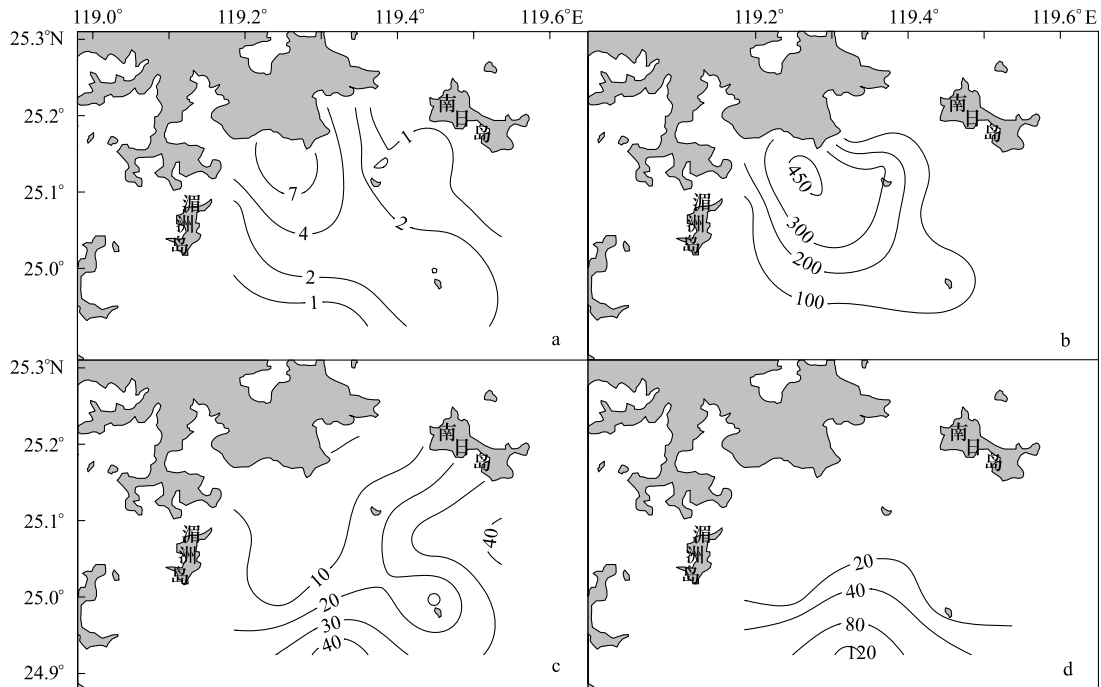


图3 重要种类的丰度(个/ $\text{m}^3$ )分布

Fig. 3 horizontal distribution of important species

a. 冬季中华哲水蚤丰度 abundance of *Calanus sinicus* in winter; b. 春季中华哲水蚤丰度 abundance of *Calanus sinicus* in spring; c. 夏季双生水母丰度 abundance of *Diphyes chamosonis* in summer; d. 夏季汉森莹虾丰度 abundance of *Lucifer hanseni* in summer

### 3.2 总丰度的分布与重要种类的关系

优势种对总丰度变化的回归贡献反映了优势种类的丰度变化与总丰度变化的相关性。根据优势种的回归贡献率的高低,可以衡量该种类的分布对总丰度分布特征形成的影响的大小。从优势种中选取对总丰度变化贡献较大的种类,就是要选出对总丰度分布特征的形成有重要意义的种类。

由表1可见,中华哲水蚤是冬、春两季对总丰度贡献最大的种类。其对总丰度变化的贡献值 $\beta$ 在两季分别达到0.98和0.83。由图3可见,中华哲水蚤的丰度分布特征正与浮游动物总丰度的分布特征相一致,即以近岸水域为高值中心,向外侧其丰度逐渐降低。这样的分布规律,以往的文献也曾有报道<sup>[15]</sup>。由此可见,在冬、春两季,浮游动物总丰度所形成的分布特征,主要受到中华哲水蚤分布的影响。

而浮游动物总数量由冬季到春季的急剧上升,明显也是由于中华哲水蚤的数量上升所致。根据以往文献<sup>[16]</sup>,台湾海峡的中华哲水蚤的数量最早在3月达到全年高峰。由表1可见,中华哲水蚤的平均丰度由12月的2.56个/ $\text{m}^3$ 上升至4月的157.78个/ $\text{m}^3$ 。

夏季,尽管各种类的优势度相差不大,但是双生水母和汉森莹虾的 $\beta$ 值明显大于其他种类,因此是夏季影响浮游动物总丰度变化的最主要优势种。如图3所示,夏季双生水母和汉森莹虾的丰度最高值都出现在外侧站位,双生水母在12#站和3#站丰度最高,汉森莹虾丰度的最高值也出现在12#站。在最靠近近岸的站位,其丰度值都处在较低的水平。这与夏季浮游动物的总丰度分布特征相一致。可见在夏季,双生水母和汉森莹虾的分布对浮游动物总丰度的分布特征起到了最主要的影响。

各季节重要种类所呈现出的数量分布规律,与各种类的生态适应性以及台湾海峡的水团变化有着直接的联系。

### 3.3 重要种类的生态适应

中华哲水蚤为典型的近岸暖温种,适宜生活于低温低盐的近岸水团中。中华哲水蚤的主要限制因子为温度<sup>[17]</sup>,在20℃左右就已达到其适宜生活和生殖的上限<sup>[18]</sup>,可见较高的水温不利于其生长和繁殖。双生水母



和汉森莹虾同属暖水性较强的种类。双生水母是一种近岸暖水种<sup>[19]</sup>,常与暖温性的五角水母相互演替。汉森莹虾是外海暖水种,其在东海的高丰度区仅在夏季出现在外海和南部近海<sup>[20]</sup>。与中华哲水蚤相反,在温度偏高的水域,它们往往能够出现较高的数量。

各个重要种类的生态适应性是形成浮游动物在各季数量分布特征的内在因素,而影响浮游动物数量分布特征的外在因素是台湾海峡的季节性水团变化。内在因素通过外在因素的作用而表现出来。

### 3.4 台湾海峡水团变化对浮游动物重要种类的影响

台湾海峡水团变化对重要种类分布特征的影响主要体现在两方面,一是影响浮游动物优势种的演替,二是每个季节海峡内的水团分布情况影响浮游动物重要种类的水平分布。

根据文献<sup>[1]</sup>,台湾海峡内存在以沿岸流为主的西边界流和以台湾暖流为主的东边界流。冬季,东北季风盛行,低温低盐性的沿岸流势力加强,并控制台湾海峡西岸水域。而由海峡南部北上的台湾暖流水受东北季风影响,势力转弱。在沿岸流的影响下,调查水域的浮游动物以近岸暖温性的种类为主,主要为中华哲水蚤、瘦尾胸刺水蚤等。春季,东北季风减弱,台湾暖流水的势力有所增强。沿岸流势力虽然亦因此减弱,但海峡西侧近岸水域仍为其所控制,所以,浮游动物的优势种类仍为以中华哲水蚤为代表的暖温性种类。夏季,东北季风向西南季风转换,台湾暖流水成为台湾海峡的主要水团。受此高温水团影响,该水域夏季的浮游动物优势种主要为暖水种,如亚强真哲水蚤、双生水母、汉森莹虾等。

冬、春季,沿岸流势力虽然为全年中最强,但其影响范围仅限于海峡西侧水域,在海峡东侧,温盐度值仍较高。尤其进入春季后,沿岸流的分布范围仅限于海峡西侧沿岸中、北部的海坛岛至泉州湾一带,外侧水域全为台湾暖流水所控制<sup>[21]</sup>。外海水域相对高温的环境,不利于中华哲水蚤的生存,故研究水域中华哲水蚤的高丰度区局限在偏近岸一侧。

夏季,台湾海峡全为台湾暖流水所占据,但海温的最低值仍位于海峡西岸中、北部近海。这是由于夏季海水分层作用强烈,而相对低温的深层水在海峡西侧涌升,而且在海坛岛附近的近岸水域最为显著<sup>[21]</sup>。由于对近岸水域偏低温度的不适应,夏季重要种类双生水母和汉森莹虾丰度的高值中心大都出现在外侧水域的站位。

### 3.5 台湾海峡水团变化对浮游动物数量分布的影响

综上所述,研究水域浮游动物在各季呈现出不同的数量分布特征,其内在因素是优势种的不同生态适应性。而海峡内水团的季节性变化是浮游动物数量分布在各季不同的外因。台湾海峡内季节性的水团变化决定了浮游动物优势种的演替。而浮游动物总数量的变化与这些优势种中的一些重要种类的数量变化密切相关。由于各季的重要优势种类具有不同的生态适应性,其数量分布规律也不同。在各季节受不同性质水团的影响,这些种类在近岸和离岸水域呈现出不同的数量高低,并进一步影响浮游动物总数量的分布,使其在各季呈现出不同的特征。

**致谢:** 沈晓民先生对写作给予帮助,陈佳杰、孙鲁峰、阙江龙等帮助采集样品,特此致谢。

### References:

- [ 1 ] Jan S, Wang J, Chern C S, Chao S Y. Seasonal variation of the circulation in the Taiwan Strait. *Journal of Marine Systems*, 2002, 35: 249-268.
- [ 2 ] Xu Z L, Lin M. Causal analysis on diversity of medusa in the East China Sea. *Biodiversity Science*, 2006, 14(6): 508-516.
- [ 3 ] Xu Z L, Lin M, Zhang J B. Relationship of water environment and abundance distribution of Thaliacea in the east china sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2007, 38(6): 549-554.
- [ 4 ] Xu Z L. Analysis on the indicator species and ecological groups of pelagic ostracods in the East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2008, 27(6): 83-93.
- [ 5 ] Chen R X, Lin J H. Large-scale ecological study on planktonic ostracoda in China's seas and adjacent waters II. Correlation between planktonic ostracoda and water systems. *Acta Oceanologica Sinica*, 1998, 20(2): 96-101.
- [ 6 ] Lin J H, Chen R X. Ecology of the planktonic Ostracoda in the Kuroshio area of the East China Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(2): 174-179.

- [ 7 ] Bieri R. The distribution of the planktonic Chaetognatha in the Pacific and their relationship to the water masses. *Limnology and Oceanography*, 1959, 4(1): 1-28.
- [ 8 ] Pagès F, González H E, Ramón M, Sobarzo M, Gili J M. Gelatinous zooplankton assemblages associated with water masses in the Humboldt Current System, and potential predatory impact by *Bassia bassensis* (Siphonophora; Calyptophorae). *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 210: 13-24.
- [ 9 ] Chen R X. Distribution of planktonic ostracoda in western Taiwan Strait. *Acta Oceanologica Sinica*, 1982, 4(5): 617-626.
- [ 10 ] Chen R X, Lin J H, Zeng W Y. Distribution of planktonic ostracoda in source region of kuroshio and western Taiwan Strait. *Acta Oceanologica Sinica*, 1992, 14(5): 101-106.
- [ 11 ] Lin J H, Chen R X. Ecological character of planktonic ostracoda in western Taiwan Strait. *Acta Oceanologica Sinica*, 1989, 11(5): 638-644.
- [ 12 ] Lan Y C, Shih C T, Lee M A, Shieh H Z. Spring distribution of copepods in relation to water masses in the northern Taiwan Strait. *Zoological Studies*, 2004, 43(2): 332-343.
- [ 13 ] Xu Z L, Chen Y Q. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea. *Chinese Journal of Ecology*, 1989, 8(4): 13-15.
- [ 14 ] The Probability and Statistics Group of Computational Center of the Chinese Academy of Sciences. *The Probability and Statistics Calculation*. Beijing: Science Press, 1979: 105-144.
- [ 15 ] Fujian Institute of Oceanography. *A Report on the Comprehensive Investigation in the Taiwan Strait*. Beijing: Science Press, 1988: 269-305.
- [ 16 ] Huang J Q, Li S J, Chen G. Distribution and reproduction of *Calanus sinicus* in Taiwan Strait and its adjacent sea areas. *Studia Marina Sinica*, 2002, 44: 95-100.
- [ 17 ] Uye S. Why does *Calanus sinicus* prosper in the shelf ecosystem of the Northwest Pacific Ocean. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57(6): 1850-1855.
- [ 18 ] Pu X M. *Life Strategy of Calanus sinicus in the Southern Yellow Sea in Summer [D]*. Qingdao: Graduate University of the Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanography), 2003.
- [ 19 ] Xu Z L. Dynamics of medusa abundance in the East China Sea. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(5): 854-861.
- [ 20 ] Xu Z L. Study on the dominant species of pelagic Decapods in the East China Sea and their ecological adaptability. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(6): 762-768.
- [ 21 ] Weng X C, Zhang Q L, Yan T Z, Wang C M, Liang H X. Analysis of water masses in the middle and northern Taiwan Strait in spring and summer. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1992, 23(3): 235-244.

#### 参考文献:

- [ 2 ] 徐兆礼, 林茂. 东海水母类多样性分布特征. *生物多样性*, 2006, 14(6): 508-516.
- [ 3 ] 徐兆礼, 林茂, 张金标. 东海水母类数量分布及与环境的关系. *海洋与湖沼*, 2007, 38(6): 549-554.
- [ 5 ] 陈瑞祥, 林景宏. 中国近海浮游介形类大尺度生态研究 II. 浮游介形类与水系的相关研究. *海洋学报*, 1998, 20(2): 96-101.
- [ 6 ] 林景宏, 陈瑞祥. 东海黑潮区浮游介形类的生态特征. *生态学报*, 1994, 14(2): 174-179.
- [ 9 ] 陈瑞祥. 台湾海峡西部沿岸浮游介形类的分布. *海洋学报*, 1982, 4(5): 617-626.
- [ 10 ] 陈瑞祥, 林景宏, 曾文阳. 黑潮源地与台湾海峡西侧浮游介形类的分布. *海洋学报*, 1992, 14(5): 101-106.
- [ 11 ] 林景宏, 陈瑞祥. 台湾海峡西部海域浮游介形类的生态特征. *海洋学报*, 1989, 11(5): 638-644.
- [ 13 ] 徐兆礼, 陈亚翟. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲆渔场的关系. *生态学杂志*, 1989, 8(4): 13-15.
- [ 14 ] 中国科学院计算中心概率统计组. *概率统计计算*. 北京: 科学出版社, 1979: 105-144.
- [ 15 ] 福建省海洋研究所. *台湾海峡中、北部海洋综合调查研究报告*. 北京: 科学出版社, 1988: 269-305.
- [ 16 ] 黄加祺, 李少菁, 陈钢. 台湾海峡及其邻近海域中华哲水蚤的分布和繁殖. *海洋科学集刊*, 2002, 44: 95-100.
- [ 18 ] 蒲新明. *中华哲水蚤夏季在南黄海的生活策略[D]*. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2003.
- [ 19 ] 徐兆礼. 东海水母类丰度的动力学特征. *动物学报*, 2006, 52(5): 854-861.
- [ 20 ] 徐兆礼. 东海浮游十足类优势种环境适应的研究. *水产学报*, 2005, 29(6): 762-768.
- [ 21 ] 翁学传, 张启龙, 颜廷壮, 王从敏, 梁红星. 台湾海峡中北部海域春、夏季水团分析. *海洋与湖沼*, 1992, 23(3): 235-244.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 4 February, 2012 (Semimonthly)  
CONTENTS

The influence of a reclamation project on the macrobenthos of an East Nanhui tidal flat ..... MA Changan, XU Linlin, TIAN Wei, et al (1007)

Ecological health assessment of groundwater in the lower Liaohe River Plain using an ArcView-WOE technique ..... SUN Caizhi, YANG Lei (1016)

Nitrogen flows in intensive “crop-livestock” production systems typically for the peri-urban area of Beijing ..... HOU Yong, GAO Zhiling, MA Wenqi, et al (1028)

The simulation of leaf net photosynthetic rates in different radiation in apple canopy ..... GAO Zhaoquan, FENG Shezhang, ZHANG Xianchuan, et al (1037)

Phenological variation of typical vegetation types in northern Tibet and its response to climate changes ..... SONG Chunqiao, YOU Songcai, KE Linghong, et al (1045)

Soil moisture and temperature characteristics of forest-grassland ecotone in middle Qilian Mountains and the responses to meteorological factors ..... TANG Zhenxing, HE Zhibin, LIU Hu (1056)

Eco-hydrological effects of Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) canopy and its influence factors in the Qilian Mountains ..... TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (1066)

Response of tree-ring width of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* to climate change in Hulunbuir sand land, China ..... SHANG Jianxun, SHI Zhongjie, GAO Jixi, et al (1077)

Analysis of a dust case using lidar in Shanghai ..... MA Jinghui, GU Songqiang, CHEN Min, et al (1085)

Relating the distribution of zooplankton abundance in the coastal waters of central Fujian Province to the seasonal variation of water masses ..... TIAN Fengge, XU Zhaoli (1097)

Phenotypic traits of both larvae and juvenile *Crasstrea hongkongensis* and *C. gigas* ..... ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (1105)

Inter-specific competition between *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* ..... LI Hui, WANG Jiangtao (1115)

Effects of initial biomass ratio on the interspecific competition outcome between three marine microalgae species ..... WEI Jie, ZHAO Wen, YANG Weidong, et al (1124)

On the ecological amplitude of nitrate of *Alexandrium tamarense* at different initial phosphate concentrations in laboratory cultures ..... WEN Shiyong, SONG Lili, LONG Hua, et al (1133)

Time lag effects and rainfall redistribution traits of the canopy of natural secondary *Pinus tabulaeformis* on precipitation in the Qinling Mountains, China ..... CHEN Shujun, CHEN Cungen, ZOU Bocai, et al (1142)

The vertical distribution of vegetation patterns and its relationship with environment factors at the northern slope of Ili River Valley: a bimodal distribution pattern ..... TIAN Zhongping, ZHUANG Li, LI Jianguo (1151)

Comparative analysis of water related parameters and photosynthetic characteristics in the endangered plant *Tetraena mongolica* Maxim. and the closely related *Zygophyllum xanthoxylon* (Bunge) Maxim. .... SHI Songli, WANG Yingchun, ZHOU Hongbing, et al (1163)

Antioxidant properties of four native grasses in Loess Plateau under drought stress ..... SHAN Changjuan, HAN Ruilian, LIANG Zongsuo (1174)

The effects of the addition of *Ceratobasidium stevensii* B6 and its growth on the soil microflora at a continuously cropped water-melon (*Citrullus lanatus*) site in China ..... XIAO Yi, WANG Xingxiang, WANG Hongwei, et al (1185)

Suitable habitat for the *Achnatherum splendens* community in typical steppe region of Inner Mongolia ..... ZHANG Yifei, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1193)

Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district ..... GUAN Xiaoyan, WANG Shaoli, GAO Zhanyi, et al (1202)

Spatial heterogeneity of soil saturated hydraulic conductivity on a slope of the wind-water erosion crisscross region on the Loess Plateau ..... LIU Chunli, HU Wei, JIA Hongfu, et al (1211)

Spatial and temporal variations of total nitrogen density in agricultural soils of the Songnen Plain Maize Belt ..... ZHANG Chunhua, WANG Zongming, JU Weimin, et al (1220)

The evaluation system of strength of winteriness in wheat ..... WANG Peng, ZHANG Chunqing, CHEN Huabang, et al (1230)

A comparison of summer habitats selected by sympatric *Apodemus chevrieri* and *Apodemus draco* in Tiangjiahe Nature Reserve, China ..... LI Yunxi, ZHANG Zejun, SUN Yiran, et al (1241)

Life tables for experimental populations of *Frankliniella occidentalis* on 6 vegetable host plants ..... CAO Yu, ZHI Junrui, KONG Yixian (1249)

Effect of diet switch on turnover rates of tissue nitrogen stable isotopes in fish based on the enrichment-dilution approach ..... ZENG Qingfei, GU Xiaohong, MAO Zhigang, et al (1257)

Recognition of important ecological nodes based on ecological networks analysis: A case study of urban district of Nanjing ..... XU Wenwen, SUN Xiang, ZHU Xiaodong, et al (1264)

Seasonal characteristics of CO<sub>2</sub> fluxes above urban green space in the Pearl River Delta, China ..... SUN Chunjian, WANG Chunlin, SHEN Shuanghe, et al (1273)

Simulation and evaluation of groundwater seepage in contaminated sites: case study of TuoCheng County ..... WU Yizhong, ZHU Qinyuan, LIU Ning, LU Genfa, DAI Mingzhoet al (1283)

**Review and Monograph**

Recent advances in wetland degradation research ..... HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, LI Ke (1293)

A review concerning nitrogen accumulation and leaching in agro-ecosystems of oasis ..... YANG Rong, SU Yongzhong, WANG Xuefeng (1308)

**Discussion**

The diversity of the radio-resistant bacteria *Deinococcus radiodurans* ..... TU Zhenli, FANG Lijing, WANG Jiagang (1318)

Effect of pruning measure on physiology character and soil waters of *Caragana korshinskii* ..... YANG Yongsheng, BU Chongfeng, GAO Guoxiong (1327)

**Scientific Note**

Characteristics of rainfall interception for four typical shrubs in Qilian Mountain ..... LIU Zhangwen, CHEN Rensheng, SONG Yaoxuan, et al (1337)

Dormancy break approaches and property of dormant seeds of wild *Cryptotaenia japonica* ..... YU Mei, ZHOU Shoubiao, WU Xiaoyan, et al (1347)

# 《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 4 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 4 2012

<b>编 辑</b>	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	<b>Edited by</b>	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
<b>主 编</b>	冯宗炜	<b>Editor-in-chief</b>	FENG Zong-Wei
<b>主 管</b>	中国科学技术协会	<b>Supervised by</b>	China Association for Science and Technology
<b>主 办</b>	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	<b>Sponsored by</b>	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
<b>出 版</b>	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	<b>Published by</b>	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
<b>印 刷</b>	北京北林印刷厂	<b>Printed by</b>	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
<b>发 行</b>	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	<b>Distributed by</b>	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net
<b>订 购</b>	全国各地邮局	<b>Domestic</b>	All Local Post Offices in China
<b>国外发行</b>	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	<b>Foreign</b>	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
<b>广告经营 许 可 证</b>	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元