361-367

第12卷 第4期
1992年12月

生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol. 12, No. 4
Dec., 1992

石油分散剂BP-1100X对海洋围隔生态系的影响研究*

唐森铭 陈孝麟 庄栋法
(国家海洋局第三海洋研究所，厦门，361005)

X550.32

摘 要

在分散剂作用下，围隔水体中浮游动物种群数量明显减少，浮游植物因捕食压力不大而诱发"赤潮"。分散的原油在围隔水体中的生态效应变得不明显，细菌生物量和生产力在实验前期比对照组高，后期则随原油降解而波动，这表明微生物积极参与了原油的降解活动。实验揭示，由于添加物的毒性作用促成的生态系的不平衡，也可最终导致"赤潮"发生。

关键词：海洋生态系，石油，分散剂，围隔实验，藻华。

使用石油分散剂Corexit 9527及其与原油的混合物研究海洋实验生态系的污染效应已有报道[1,2]。分散剂 BP-1100X 的污染生态效应是否与其一致，是本围隔实验探讨的问题。1989年12月在厦门陆基大池使用 4 个玻璃钢围隔装置研究了分散剂BP-1100X和分散的胜利原油对海洋浮游生态系的污染效应。从实验结果得知，分散原油对浮游动植物种群的影响不大，而单独使用分散剂BP-1100X 对海洋浮游生态系种群结构的稳定性有较大的影响。污染效应可在营养级的某个层次上起作用，并影响到其他层次。

一、材料与方法

1989年12月14日至1990年 1 月10日于国家海洋局第三海洋研究所濒海陆基大池进行实验，池深4m，面积为20×10m²。实验池顶覆盖半透明玻璃纤维板。池水与海水循环沟通，以保持池水与海区水温基本一致。

实验共使用 4 个玻璃钢圆桶。桶高2m，下底直径 1m，开口直径1.2m。容积 1.3m³左右。桶内壁衬以无毒聚丙烯塑料薄膜。4 个圆桶由正方形钢架支撑固定，灌水后浮于池内水面上。对角线上放置两个对照桶C_1和C_2。DB 为 BP-1100X分散剂添加桶，添加浓度为 1.0 mg/l 。BO为胜利原油和分散剂混合物添加桶，浓度分别为10mg/l和1.0mg/l。

实验用海水抽自大池堤外70m处，海水盐度 28.973‰。使用隔膜泵通过软管向桶中灌水，各桶充水后统一添加营养盐 ($NaNO_3$:KH_2PO_4:Na_2SiO_3 = 10:5:0.5μg mol/l)，分散剂和原油添加物。

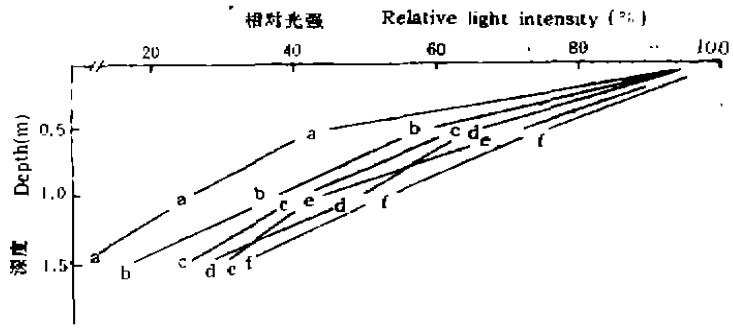
浮游动物的取样使用口径 20cm，200μm网目的拖网垂直拖取，其他水样均用蠕动泵垂

* 本实验为国家科委主办的1989年中国国际海洋生态系围隔实验高级培训班项目，联合国教科文组织和国家海洋局给予部分资助，特此致谢。
参加本实验工作的还有：吴省三、林 昱、蔡子平、林柴澄、郑慧苑、林燕顺、陈兴群和张 明等。
本文于1991年 3 月20日收到，修改稿于1991年 8 月22日收到。

维普资讯 http://www.cqvip.com

直积分抽取，水样集中于20l塑料桶中，分样后供各项目分析使用。取样日分别安排在1989年12月15、16、17、18、20、23、27、30日及次年1月4和10日，整个过程共28天。水温和光照分别用水银温度计和水下照度计现场测量，细菌生物量用吖啶橙染色萤光显微镜计数，细菌生产力由氚化胸腺嘧啶核甙标定，浮游植物数量用倒置显微镜计数鉴定，叶绿素a用萃取萤光法测定，初级生产力用碳-14示踪法，浮游动物用研究解剖镜计数鉴定。详细测试方法见海水分析手册[3]。

实验期为冬季。与以往的实验条件比较，水温和光照强度都比较低，据抽样实测，桶内外温差不超过0.2℃，与气温温差最大不超过1.1℃。实验期间水温在16℃左右波动，后期接近14℃，与春季同类实验的水温比较，平均大约低3—5℃。由于大池上方覆盖玻璃纤维板，池内水面光照低于开阔海面，光照值在45—96μE/s·m² 之间。图1为DB桶内各水深处的相对光照强度，水下1.5m处光强不低于表层的10%，各桶内同一层次光照强度差别不大(见表1)。实验期间DB桶中浮游藻类产生水华，证明冬季水温和光照条件不影响围隔实验的正常进行。



图·1 DB桶内不同水深的相对光强

表层光强为100%。图中曲线上a, b, c, d, e, f分别表示15, 16, 17, 18, 23, 20日取样。

Fig.1 Relative light intensity at various water layers taking light intensity at the surface as 100%. Letter a, b, c, d, e and f represents sampling date at 15, 16, 17, 18, 23 and 20, respectively.

二、结 果

1. 细菌生物量和细菌生产力

实验期间，对照组C_1和C_2的细菌生物量呈直线下降，1月4日降至低点，此后增加。污染物添加组DB和BO中，实验开始4d内生物量缓慢增加，此后出现波动，但各点的细菌数量大都超过对照组(图2，A)。在实验后期，添加组中生物量开始回升。细菌生产力一般都较对照组高(图2，B)，DB桶除1月4日的生产力明显升高之外，其他各点数值都低于BO桶。

表1 各桶内不同水深处光强度T值(绝对值)检验表

Table 1 T-test for light intensity at various water layers

深度(m)	桶间比较T值					
	C_1-C_2	C_1-DB	C_1-BO	C_2-DB	C_2-BO	DB-BO
0	0.988	0.903	0.453	0.000	1.200	0.138
0.5	1.095	1.261	0.996	0.000	0.283	0.174
1.0	0.374	0.042	0.918	1.581	1.745	1.954
1.5	0.300	0.349	1.416	1.936	1.535	2.500

注：由T检验双侧分位表，$n=9$，$T_{0.05}=2.262$，上表中仅DB与BO桶在1.5m处差异较大。(一般认为多重T检验比较应缩小α值[4]，故该处的差异不算显著)。

2. 浮游植物

(1) 叶绿素a与初级生产力 叶绿素a和初级生产力的变动趋势见图3。实验中期(12

维普资讯 http://www.cqvip.com

月23日和27日)，C_1和C_2中叶绿素a含量出现低值，仅 0.2mg/m³ 左右。低谷的出现与细胞计数法得出的结果一致(图 4)。生物量的峰值出现在实验初期和实验后期。DB桶叶绿素a峰值在 1 月 5 日出现，为20.03mg/m³。此后下降。BO桶峰值出现在12月20日，为3.1mg/m³，

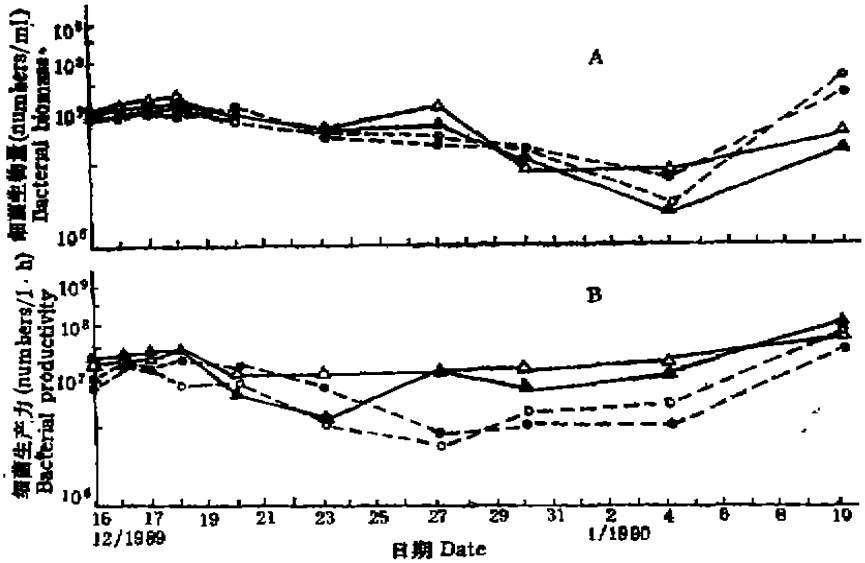


图 2　细菌生物量(A)和细菌生产力(B)的变化
(1 月 4 日C_1和C_2上两点生物量为推算值)

Fig.2 Changes in bacterial biomass(A)and bacteria productivity(B), The vertical coordinate is in log scale. The biomass data for C_1 and C_2 on 4th Junuary is extrapolated
C_1 ●----●, C_2 ○----○, DB ▲——▲, BO △——△

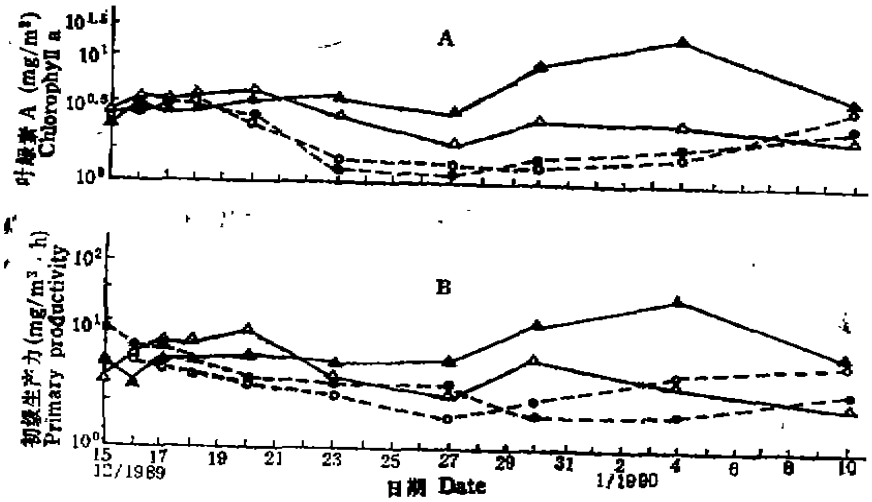


图 3　叶绿素a(A)和初级生产力(B)的变化
纵轴为对数标度，图上各标点数据经(W+1)变换。

Fig.3 Changes in chlorophyll a(A)and primary productivity(B).
The vatical coordinate is in log scale. Data in the figure has been transformed by(W+1).
C_1 ●----●, C_2○ ----○, DB ▲——▲, BO △——△

维普资讯 http://www.cqvip.com

27日出现低值(0.65mg/m³)，为对照组同期的3倍。从整个发展趋势看，BO桶中叶绿素a含量都较对照组相应点的实测值高。在整个实验期间初级生产力的变化类似于叶绿素a（图3，B)。

（2）浮游植物组成和数量 实验观察到的浮游植物主要种类有硅藻、微型鞭毛藻、其次为甲藻、绿藻及眼虫藻等。在DB桶中，27日达到峰值，以骨条藻(*Skeletonema costatum*)为优势种的浮游植物种群形成"赤潮"现象，后期数量虽有减少，但种类组成没有发生变化，自23日起两星期内，骨条藻以外藻类所占比较不超过总数量的10%。而在其他各桶中，硅藻的演替正常，优势种从浮游型的圆心硅藻发展到底栖型的羽纹硅藻，23日以后羽纹硅藻逐渐占绝对优势。

各桶中，藻类细胞生物量的变化见图4(A)。对照组中植物细胞数量变动呈马鞍型，实验中期出现低值(23日C_2桶)，细胞密度不足6个/ml。高生物量出现在实验的早期和后期。因此，桶内细胞生物量的变化可以划分为两期，数量减少期和数量增长期，这一变化与叶绿素a、初级生产力的变化很类似。DB桶中出现的植物种类没有明显的演替现象，骨条藻在实验结束时仍为优势种，桶中细胞数量和叶绿素a存在显著的相关关系，其关系式为，

叶绿素a＝2.34＋细胞密度(个/ml)/2533，($r=0.987$，$n=10$)。

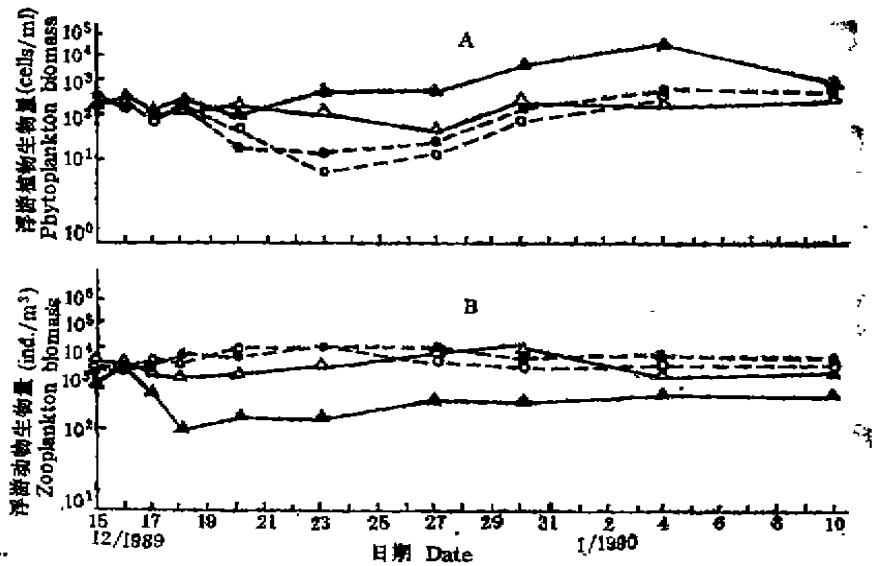


图4 浮游植物(A)和浮游动物(B)数量的变化
纵轴为对数标度

Fig.4 Changes in numbers of phytoplankton(A)and zooplankton(B)
The vertical coordinate is in log scale.
C_1● -----●, C_2○-----○, DB ▲——▲, BO △——△

3. 浮游动物

浮游动物的生物量的变化过程见图4(B)。C_1、C_2和BO桶的浮游动物数量大多在3000—10000个/m³之间波动，数值不低于4位数。在C_1和C_2桶，12月23日浮游动物出现峰值，达1.3×10^4个/m³。与同一处理组内浮游植物数量发生的低谷期对应，很明显，这是浮游动物的摄食压力造成的。此后，浮游动物数量减少，桶中浮游植物的数量得以恢复。

维普资讯 http://www.cqvip.com

在DB桶中，12月15 、16日 2d，水体中动物密度分别为 1271 和 3721个/m^3。17 日以后数量减少，最低值仅 114个/m^3，实验中后期，数量才有所回升，但与其他各桶比较，偏低一个数量级。浮游动物种群中，以小型拟哲水蚤（*Paracalanus parvus*）为优势种的桡足类幼体和住囊虫（*Oikopleura*）的数量较大，捕食性的浮游动物所占比例不超过 1 %。

三、结论与讨论

中尺度围隔实验以大水体（一般大于1m^3）为实验对象，观察结果在一定时期内能比较客观地再现自然生态系统的生态现象，很适用于污染生态学的研究[5]。在我们的实验中，使用了两个对照桶，其中生物量，生产力等参数在桶中的变化过程相当一致。这为解释不同污染条件下的生态效应提供了很大的方便。

分散剂BP-1100X在单独（一次投放浓度 1mg/l）使用时，表现了与Corexit-9527不同的生态效应。根据 Parsons[6]的实验，单独使用 Corexit-9527（2mg/l）不影响浮游生态系食物链的组成，但分散剂和石油混合物则促使水体中细菌和鞭毛虫大量发生，浮游动物受到抑制。他称混合物的综合作用为加和效应[6]。在我们的实验中，DB桶中发生骨条藻水华，浮游动物种群数量很低，群落结构已被改变；而BO桶中分散原油的生态效应类似于对照组，浮游植物种类组成的变化和动物受压抑的程度均不如单独添加分散剂的 DB 桶严重。可以认为，BP-1100X和石油混合物仅对生态系造成短期轻微影响，可归于它们的拮抗作用。由于分散剂BP-1100X和石油混合物对生态系的污染效应不明显，对海洋生态系的影响比较轻微，在消除或控制溢油污染时使用BP-1100X较为有利。

实验使用的分散剂剂量较低，虽然它的毒性作用于不同的营养级上，但它明显地抑制了浮游动物，特别是草食性浮游动物种群的发展，捕食压力削弱是导致浮游植物种群大量生长的主要原因，同时它又改变着浮游植物的种群结构（指细胞大小组成）以至种类组成，浮游植物的大量存在则改变着捕食动物种群的状态[7]，以至于DB桶中骨条藻成为优势种，出现所谓"赤潮"现象。可见，污染物对食植动物造成的影响可相当于浮游生态系内食肉动物的作用，即由于食肉动物捕食，食植动物减少，捕食压力降低，从而造就了藻华的条件。因此，促成浮游植物大量繁殖的原因，除水体富营养化等理化因子和动物捕食外，污染物的毒性效应也是不可忽略的因素。

实验生态系中微生物种群受到添加物的影响似乎不大，这与细菌繁殖周期短，较易形成抗污种类而我们取样的间隔太长不能确切反映细菌的数量变化有关。细菌的数量可反映水体中可溶有机物的含量[8]。实验中细菌数量在前期稍高于对照组，很可能是由于污染效应造成的水体中有机体分泌物或石油碳烃化合物增加的结果。后期细菌生物量有升有降，波动较大，用现有的数据尚难解释其原因，但从细菌生产力来看，添加组的生产力始终比较高，这说明细菌降解有机物的功能得到加强，并形成降解石油的种群，1986年的实验已有专门的观察和报道[9]。细菌生物量或生产力在污染之后得以提高，体现了生态系自净的能力。值得注意的是污染组的细菌生产力在实验后期较高，细菌生物量相对低，看不到生物量积累的现象，暗示营养阶层间存在着重要的食物关系[10]，因此这一现象值得进一步探讨。在海洋中细菌可被微型生物利用[11]。在围隔的生态系中细菌能量的传递通过什么环节，是否也存在着微生物环（microbiocycle）吸收或消散着能量，围隔装置为解决这一问题提供了很好的

维普资讯 http://www.cqvip.com

手段，对这一问题的进一步探索将有助于对生态系的更多的了解。

参 考 文 献

〔1〕陈兴群、陈其焕，庄兆钟，分散剂及其与胜利原油的混合物对海洋围隔生态系内浮游动、植物的影响，环境科学学报，1988 8(3):373—379。

〔2〕Harrison, P. J., et al., The effects of Crude Oil and Corexit 9527 on Marine Phytoplankton in an Experimental Enclosure. *Marine Environmental Research* 1986 18:93—109.

〔3〕Parsons, T. R., Maita Y. and Lalli C. M. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press. 1984, 173.

〔4〕中国科学院数学研究所，方差分析，科学出版社，1977，109—115.

〔5〕Takahashi, M., Pelagic Mesocosms. I. Food Chain Analysis. In: Lalli, C. M. (ed.) *Enclosed Experimental Marine Ecosystems*: A Review and Recommendations. Springer-Verlag. 1990, 218.

〔6〕Parsons, T. R., et al., An Experimental Marine Ecosystem Response to Crude Oil and Corexit 9527: Part 2-Biological Effects. *Marine Environmental Research* 1984, 13:265—275.

〔7〕Steele, J. H. and Gamble, J. C. Predator Control in Enclosures, In: Grice, G. D. and M. R. Reeve. (ed.) *Marine Mesocosms*, Springer-Verlag New York. 1982, 227—238.

〔8〕Vaccaro, R., Azam F. and Hodson R., Response of Natural Marine Bacterial Populations to Copper: Controlled Ecosystem Pollution Experiment. *Bull. Mar. Sci.* 1977, 27:17—22.

〔9〕Lin Rongcheng, et al., The Response of Bacteroplankton to Crude Oil and Corexit 9527 in the Marine Enclosed Ecosystem Experiment. In: *International Marine Ecosystem Enclosed Experiments Symposium*, China Oceanic Press, 1987.

〔10〕Lee .K., Microbial Degradation of Petroleum in Aquatic Environments: Ecosystem Enclosure Studies. In: *International Marine Ecosystem Enclosed Experiments Symposium*, China Oceanic Press, 1987.

〔11〕Stockner, J. G and Antia N. J., Algal Picoplankton from Marine and Fresh water Ecosystems: a Multidisciplinary Perspective. *Can. J. Fish. Aquat.* 1986, 43:2472—2503.

THE EFFECTS OF BP-1100X DISPERSANT AND DISPERSED SHENGLI CRUDE OIL ON THE ECOSYSTEM

——MARINE ECOSYSTEM ENCLOSURE EXPERIMENT

Tang Sen-Ming Chen Xiao-Lin Zhuang Dong-Fa

(The Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen, 361005)

A 28 day marine ecosystem enclosure experiment using BP-1100X dispersant and dispersed Shengli crude oil as addictive was conducted in Xiamen, China, in December 1989. The enclosures used were composed of 4 barrels, which,based on nutrient addation, barrels C_1 and C_2 were assigned as controls, barrel DB was added with BP-1100X (1.0mg/l) and barrel BO was added with a mixture of BP-1100X (1.0mg/l) and Shengli crude oil (10 mg/l), The results showed that the ecological processes were basically the same as those in the controls while zooplanktonic population was evidently depressed due to the effect of dispersant in DB where the reduced grazing

维普资讯 http://www.cqvip.com

pressure on phytoplankton encouraged an algalbloom. There was no obvious effect in barrel BO because of mixed dispersant and oil. Compared with the controls, bacteria biomass and bacteria productivity were high in the early period of experiment and fluctuated afterwards with the decomposition of crude oil, showing an active microbial degradation. The experiment demostrated that the phenomena of red tide could result from ecosystem unbalance caused by the toxicity of additive materails.

Key words: marine ecosystem, oil, dispersant, enclosure experiment.

（上接封3）

1990年生态学学科获国家自然科学基金资助研究项目(54项)

项目名称	姓名	单位
绿孔雀的生物生态学及保护对策	魏天昊	中国科学院昆明生态研究所
东北林区马鹿和狍营养适应对策的比较研究	马建章	东北林业大学
四种食用经济动物卵在孵化时成份比例与能值变化研究	王培潮	华东师范大学
高原鼠兔挖掘行为的研究	樊乃昌	中国科学院西北高原生物研究所
草鱼生物能量学模型的建立及验证	崔奕波	中国科学院武汉水生生物所
小家鼠和黄毛鼠活动行为的研究	梁杰荣	广东省昆虫研究所
大亚湾四种双壳类在核电站运作前后的生长和繁殖	金启增	中国科学院南海海洋研究所
黄土高原地下害虫区系及演替规律的研究	郭士英	西北农业大学
昆虫迁飞模式和雷达监测规范的研究	陈瑞鹿	吉林省农业科学院植物保护研究所
番茄驱避菜粉蝶次生物质的研究	管致和	北京农业大学
中国北部典型草原蝗虫多种群复合经济阈值的研究	李鸿昌	中国科学院动物研究所
夜行蛾类害虫视觉行为与复眼特征的比较研究	郭郛群	中国科学院动物研究所
刺吸类害虫吸食量及动态经济阈值和复合防治指标研究	丁锦华	南京农业大学
稻田多种捕食性天敌与多种害虫共存系统的研究	吴进才	江苏农学院
刺五加生殖生态学与种群生态学研究	祝宁	东北林业大学
小兴安岭森林沼泽植物与泥炭的营养物质交换过程	邸惠卿	东北师范大学
蓝莓种群与熔小蜂生殖动态的相互关系研究	马炜梁	华东师范大学
棉花和棉铃虫间化学关系研究	曹日强	南京大学
华南农区的植物化学他感作用研究	骆世明	华南农业大学
小麦品质生态区划研究——河南小区比较研究	王绍中	河南省农业科学院小麦研究所
缺硫稻田生态系统硫的循环	邓纯章	中国科学院昆明生态研究所
不同农业系统中磷循环规律的实验研究	沈善敏	中国科学院沈阳应用生态研究所
稻油鱼菇生态结构高产稳产原理及群落生态结构研究	刘祖贵	四川省自然资源研究所
华南地区主要农田杂草生物生态学特性的研究	宁洁珍	华南农业大学
山地生态环境对果树产量品质性状及功能表达作用研究	张光伦	四川农业大学
西双版纳热带林叶虫食状况和植物防卫特征研究	郑征	中国科学院昆明生态研究所
落叶松和水曲柳偏利关系的研究	王义弘	东北林业大学
林内倒木分解速率及其对森林更新的影响	陈华	中国科学院沈阳应用生态研究所
林茶间作茶树生理机制和优化管理的研究	唐荣南	南京林业大学
中国山毛榉森林群落优势植物生殖生态与生长节律研究	曹坤芳	中国科学院植物研究所
我国森林土壤中苏云金芽孢杆菌生态分布的研究	张万儒	中国林业科学研究院林业研究所
羊草群体寿命的研究	刘庚长	东北师范大学
白三叶在北亚热带越夏特性的研究	鲍健寅	湖北省农业科学院畜牧兽医研究所
动物幼体开口饵料—微型浮游生物的研究	程兆第	厦门大学
养虾池碎屑食物链关系的研究	张志南	青岛海洋大学

（未完待续）