

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

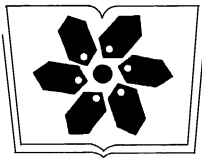
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 22 期 Vol.31 No.22 **2011**

中国生态学学会
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 31 卷 第 22 期

2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

叶冠尺度野鸭湖湿地植物群落含水量的高光谱估算模型	林 川, 宫兆宁, 赵文吉 (6645)
中国水稻潜在分布及其气候特征	段居琦, 周广胜 (6659)
大豆异黄酮浸种对盐胁迫大豆幼苗的生理效应	武玉妹, 周 强, 於丙军 (6669)
黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝桧柳对地下水位变化的生理生态响应与适应	张 佩, 袁国富, 庄 伟, 等 (6677)
高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应	赵成章, 高福元, 石福习, 等 (6688)
基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程生态补偿标准研究	肖建红, 陈绍金, 于庆东, 等 (6696)
基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征	蒋蕊竹, 李秀启, 朱永安, 等 (6708)
高分辨率影像支持的群落尺度沼泽湿地分类制图	李 娜, 周德民, 赵魁义 (6717)
土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理	成艳红, 陈小云, 刘满强, 等 (6727)
基于网络 K 函数的西双版纳人工林空间格局及动态	杨珏婕, 刘世梁, 赵清贺, 等 (6734)
树轮灰度与树轮密度的对比分析及其对气候要素的响应	张同文, 袁玉江, 喻树龙, 等 (6743)
冀北山地阴坡优势树种的树体分维结构	田 超, 刘 阳, 杨新兵, 等 (6753)
帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征	陈 进, 陈步峰, 潘勇军, 等 (6766)
不同类型拌种剂对花生及其根际微生物的影响	刘登望, 周 山, 刘升锐, 等 (6777)
一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型	仝玉华, 周洪亮, 黄浙丰, 等 (6788)
不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析	刘志龙, 虞木奎, 马 跃, 等 (6796)
黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关系及其变化	施 宇, 温仲明, 龚时慧 (6805)
干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能	谭永芹, 柏新富, 朱建军, 等 (6815)
火灾对马尾松林地土壤特性的影响	薛 立, 陈红跃, 杨振意, 等 (6824)
江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应	王 磊, 张 磊, 段学军, 等 (6832)
高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与叶绿素荧光的影响	赵素芬, 何培民 (6845)
江苏省典型干旱过程特征	包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等 (6853)
黄土高原半干旱草地地表能量通量及闭合率	岳 平, 张 强, 杨金虎, 等 (6866)
光质对烟叶光合特性、类胡萝卜素和表面提取物含量的影响	陈 伟, 蒋 卫, 邱雪柏, 等 (6877)
铜陵铜尾矿废弃地生物土壤结皮中的蓝藻多样性	刘 梅, 赵秀侠, 詹 婧, 等 (6886)
圈养马麝刻板行为表达频次及影响因素	孟秀祥, 贡保草, 薛达元, 等 (6896)
田湾核电站海域浮游动物生态特征	吴建新, 阎斌伦, 冯志华, 等 (6902)
马鞍列岛多种生境中鱼类群聚的昼夜变化	汪振华, 王 凯, 章守宇 (6912)
基于认知水平的非使用价值支付动机研究	钟满秀, 许丽忠, 杨 净 (6926)
综述	
植物盐胁迫应答蛋白质组学分析	张 恒, 郑宝江, 宋保华, 等 (6936)
沉积物氮形态与测定方法研究进展	刘 波, 周 锋, 王国祥, 等 (6947)
野生鸟类传染性疾病预防研究进展	刘冬平, 肖文发, 陆 军, 等 (6959)
鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法	石小涛, 陈求稳, 黄应平, 等 (6967)
专论	
IPBES 的建立、前景及应对策略	吴 军, 徐海根, 丁 晖 (6973)
研究简报	
柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究	陈建文, 王孟本, 史建伟 (6978)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-11



封面图说: 滩涂芦苇及野鸭群——中国的海岸湿地, 尤其是长江入海口以北的海岸线, 多为泥质性海滩, 地势宽阔低洼, 动植物资源丰富, 生态类型独特, 为迁徙的鸟提供了丰富的食物和休息、庇护的良好环境, 成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬、繁殖地。一到迁徙季节, 成千上万的各种鸟类飞临这里, 尤其是雁鸭类数量庞大, 十分壮观。

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

刘波,周锋,王国祥,许宽,杜旭,凌芬,夏劲. 沉积物氮形态与测定方法研究进展. 生态学报, 2011, 31(22): 6947-6958.

Liu B, Zhou F, Wang G X, Xu K, Du X, Ling F, Xia J. Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6947-6958.

沉积物氮形态与测定方法研究进展

刘 波^{1,2}, 周 锋¹, 王国祥^{1,*}, 许 宽¹, 杜 旭¹, 凌 芬¹, 夏 劲¹

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046; 2. 南通大学地理科学学院, 南通 226007)

摘要: 长期以来, 国内外学者对沉积物中氮进行了大量的研究, 在氮生物地球化学循环和生态学效应方面取得了重要进展。然而, 现有关于氮赋存形态的研究主要集中在总氮和无机氮方面, 还不能深入阐明沉积物氮的生物和生态学机制。分析了沉积物和土壤氮赋存形态划分和测定方法的研究进展, 研究表明: 沉积物氮的形态划分与测定方法基本上还是借鉴了土壤氮的研究方法; 无机态氮的研究多集中在可交换态氮方面, 对固定铵的研究相对较少; 在可交换态氮提取方法上并没有针对沉积物与土壤的差异进行必要的论证和改进, 沉积物中可溶态氮对可交换态氮测定的影响还不明确; 有机氮的测定方法基本上是经验方法, 目前尚无针对有机氮生态学效应的分类及测定方法; 连续分级浸提方法从生态学效应的角度对沉积物氮的研究进行了有益的探索, 为深入揭示氮的生态学机制提供了新的思路, 但是此类方法目前还集中在国内学者的相关研究中。

关键词: 沉积物; 测定方法; 可交换态氮; 有机氮; 可溶态氮

Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments

LIU Bo^{1,2}, ZHOU Feng¹, WANG Guoxiang^{1,*}, XU Kuan¹, DU Xu¹, LING Fen¹, XIA Jin¹

1 College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

2 School of Geography Science, Nantong University, Nantong 226007, China

Abstract: Nitrogen (N) is generally recognized as one of the most critical nutrients to limit the river's productivity in the aquatic ecosystem. The N in sediment is released into the overlying water making the sediment N content the most important factor in determining the N concentration in the water. Thus, N release from sediments may have a significant impact on aquatic systems. Researchers have recorded the N content in sediments starting in the 1960s. The N content in the upper layers of sediments was examined from some North American lakes and from marine sediments in the North Atlantic Ocean. Scholars have developed a large body of research on the levels of N in sediments and have made considerable progress in studying N cycling and the ecological effects of N. Recent research focused mainly on total N and inorganic N, the levels of which need to be determined when studying the background N content in sediments. However, this research has not explored the biological and ecological mechanisms of N cycling in sediments. The results also show not all N in sediments may be involved in N cycling, but instead, past results indicate that only a small part of N in sediments may be involved. Therefore, it is important to investigate forms in which N exists in sediments. In this paper, we analyzed both past research on the forms of N occurring in sediments and on analytical methods used to study the N content in sediments and soils. A review of the literature revealed the methods used in N classification and measurement in sediments closely followed the N analysis methods used in soil research but lagged behind when compared with the quality of N studies in soils. For inorganic N, most studies concentrated on exchangeable N, while few considered fixed N in ammonium. Exchangeable N compounds had been extracted from sediment samples yielding a variety of extractants while using a variety of extraction techniques. Choosing the most effective method to extract exchangeable N is still controversial. No systematic research has looked at the

基金项目: 江苏省科技厅科技支撑计划 (BE2008677); 太湖水环境治理省级专项资金 (TH2010303); 住房和城乡建设部科技项目 (2010-K7-7)

收稿日期: 2011-05-31; **修订日期:** 2011-09-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangguoxiang@njnu.edu.cn

influence of extraction methods on the analysis of exchangeable N in sediments. The debate continues on whether to use fresh wet sediment or dried sediment in measuring the exchangeable N or other fractions of inorganic N. The effect of dissolved N on measuring exchangeable N is also uncertain. To determine N bioavailability in sediments, some domestic scholars employed the sequential extraction method used in the studies of marine sediments and lake sediments and N was divided into four fractions: ion-exchangeable forms, carbonate forms, iron-manganese oxide forms and organic matter-sulfide forms. The sequential extraction method provides new insights into the future study of N content in sediments. Although investigating the fractions of organic N in sediments is important, the measurement method used to measure organic N primarily has depended on the researchers' experience with the method, and no reliable method exists to determine organic N content in sediments.

Key Words: sediment; determination; exchangeable nitrogen; organic nitrogen; dissolved nitrogen

氮作为水生生态系统的主要营养元素,被认为是水生生态系统初级生产力的关键限制性因子^[1]。沉积物中富含氮物质,是水生生态系统中氮的重要源和汇^[2-3]。研究发现沉积物中不同形态氮的环境地球化学行为存在差异^[4],不是全部形态的氮都参与氮的生物地球化学循环^[3],因而沉积物氮在水生生态系统中的作用不是仅仅通过单一的总量能够阐明的^[5]。因此,深入研究沉积物中氮的赋存形态组成与分布,是准确理解水生生态系统中氮生物地球化学循环及其环境效应的前提^[6-7]。在借鉴土壤氮形态的分类及测定方法的基础上,沉积物氮赋存形态研究取得了一定的进展,随着测定技术手段的改进,沉积物氮形态研究也日渐深入。从目前的研究来看,还没有研究就沉积物氮赋存形态与分析方法进行系统分析,多为直接搬用土壤的分类及分析方法,或者借鉴前人的相关研究方法,没有根据不同的沉积物类型在氮赋存形态和分析方法上进行必要的论证。因而,有必要对已有的沉积物氮的分类及分析方法及土壤中的相关研究进行总结与分析。本文总结国内外学者在沉积物氮赋存形态划分及分析方法方面的研究工作,通过与土壤相关研究进展的比较,概述了沉积物氮形态划分和测定方法的研究进展,为开展氮地球化学循环研究提供借鉴,尤其为湖泊富营养化机理及其控制技术等方面的研究提供参考。

1 沉积物氮赋存形态

沉积物中氮赋存形态研究始于 20 世纪 60—70 年代,北美学者对部分陆地水体^[8-11]和北大西洋沉积物氮形态开展了相关研究^[12]。沉积物中氮形态的研究方法,基本上按照土壤氮形态研究方法来进行划分与测定。借鉴土壤分类方法^[13],将沉积物的氮分为有机氮和无机氮两大部分,二者之和称为全氮。

1.1 沉积物无机氮赋存形态

沉积物无机氮主要包括可交换性氮(Exchangeable Nitrogen)和固定态铵(Fixed Ammonium)^[9-12, 14]。可交换性氮包括铵氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮。可交换性氮能够直接被初级生产者吸收,对水生生态系统具有非常重要的生态意义。同时,溶解态交换性氮通过分子扩散可以迅速在溶液介质中迁移,这是沉积物和上覆水体之间氮素交换的主要方式^[7]。固定态铵,亦称非交换性铵,是指在地质环境中通过置换矿物中的 K^+ (Na^+ 、 Rb^+ 、 Ca^+ 等) 而存在于矿物晶格中的铵。固定铵被认为是土壤氮库的重要组成部分^[15],有研究表明沉积物中固定铵可以占到总氮的 10%—96%,是水体生态系统氮的重要储存库^[12]。国内外学者在海洋^[16-18]、海岸^[19-22]、河口^[23]、湖泊水库^[6-7, 24-26] 和河流^[27-29] 等不同水体环境中,研究了沉积物中无机氮赋存形态的时空差异及生物地球化学行为,其中可交换性氮研究较多。

1.2 沉积物有机氮赋存形态

与无机氮一样,沉积物有机氮的赋存形态划分也是借鉴的土壤研究方法。研究发现表层土壤中的氮有 90% 以存在于有机物中,有机氮在土壤中的存在形式大致可以分为两大类,一类是未分解或部分分解的有机物残体;另一类为腐殖质^[30]。腐殖质是具有酸性、含氮量很高的胶体状的高分子有机化合物^[31]。腐殖质

组成与结构非常复杂,一般认为含氮物质由氨基酸、蛋白质和环状有机物组成。研究者根据蛋白质、氨基酸水解的特性,可以通过加热水解的方法来测定土壤的有机氮,因而有机氮的赋存形态划分实质上是根据测定方法的经验分类。

1965 年 Bremner^[32]按照测定方法提出了土壤有机氮分为水解态氮和非水解态氮,水解态氮按照提取方法分成氨氮、氨基酸态氮、氨基糖态氮和水解未知态氮。由研究表明沉积物中有机氮大多数为氨基酸,其主要存在于蛋白质中^[33]。蛋白质态氮占沉积到洋底颗粒态有机氮的 40%—65%^[34],占海岸表层沉积物总氮的 40%—60%^[35]。Keeney 等^[8]依据水解实验方法将沉积物中的有机氮形态分为水解性铵氮、己糖胺态氮、氨基酸态氮和羟胺基态氮。Kemp^[9-10]用类似方法进行有机氮研究,将有机氮分为氨基酸态氮、己糖胺态氮和不可水解态氮进行研究。王圣瑞^[36]将湖泊沉积物中的有机氮按照 Bremner 方法分类,同时把土壤中的潜在可矿化氮的概念引入到湖泊沉积物氮形态研究中,试图探究各形态有机氮与潜在可矿化氮之间的关系。另外有研究通过直接测定含氮有机物质^[37-40],这类含氮物质主要有氨基酸、氨基糖、乙醇胺、尿素、腐殖酸和富里酸等。Burdige^[41]通过测定含氮化合物水解性氨基酸(Hydrolyzable amino acids, HAAs)中的冬氨酸,谷氨酸,甘氨酸和丙氨酸研究 HAAs 在海洋沉积物氮循环中的作用。Faganelia^[42]将亚得里亚海沉积物中的有机氮,氨基酸和己糖胺等含氮有机物作为气候变化的示踪指标,研究该区域在第四纪以来的气候变化。林素梅等^[43]将可交换态氮通过差减法得出沉积物可溶性有机氮(Dissolved Organic Nitrogen, DON),探讨湖泊表层沉积物中 DON 的影响因素。

近年来水体中 DON 受到关注。研究发现 DON 大多具有生物可利用性^[44],海洋环境中 70%—80% 的 DON 为小分子量物质(<1 kDa)^[45]。其中 14% DON 可以在分子水平上进行鉴定,如:尿素、氨基酸、氨基糖、核苷酸等,对于大分子量含氮物质(<1 kDa),如蛋白质,通过水解为氨基酸后进行测定^[46]。

1.3 连续分级浸提态氮

宋金明等^[18, 47]和马红波等^[48]利用分级浸取分离法首次将自然粒度下渤海表层沉积物中的氮分为可转化态氮(Transferable nitrogen, T-N)和非转化态氮(Non-transferable nitrogen, NT-N),并将可转化态氮区分为 4 种形态:离子交换态氮(Ion-exchangeable form, IEF-N)、碳酸盐结合态氮(Carbonate form, CF-N)、铁锰氧化态氮(Iron-manganese oxide form, IMOF-N)及有机态和硫化物结合态氮(Organic matter-sulfide form, OSF-N),着重探讨可转化氮在海洋生态系统中的作用。吕晓霞等^[4]和郑国侠等^[49]用这种方法分别研究了南黄海和南海沉积物中氮的形态分布及潜在生态学功能。焦立新^[50]和王圣瑞等^[51]将分级浸取的方法用到湖泊沉积物研究中,探讨了长江中下游地区 14 个浅水型湖泊沉积物中的氮形态及释放特征。古小治^[52]在南四湖的沉积物研究中也运用了这种分级浸取分离法。后有学者在水库^[53]和三峡入库河流^[54]的沉积物氮形态分布研究中也按此方法对沉积物氮进行分类。

钟立香等^[55]和王书航等^[56]在分级浸取分离法基础进行改良,运用连续分级方法提取巢湖沉积物中的氮形态,将氮分为:游离态氮(Free nitrogen, FN),即动态释放的氮形态,是水-沉积界面氮释放的主要形态;可交换态氮(Exchangeable nitrogen, EN),即结合能力较弱和易被释放的氮形态,是沉积物氮营养盐比较活跃的一部分;酸解态氮(Hydrolysable nitrogen, HN),在矿化作用可被转化而释放的氮形态,主要以有机氮形式存在;残渣态氮(Residue nitrogen, RN),是最不容易释放的氮形态,也称不可转化态氮。

2 氮形态测定方法

2.1 常规测定方法

沉积物氮赋存形态的类型划分与测定方法是结合在一起的,从测定方法上大致可以把上述沉积物氮分类方法分为两种类型,即常规方法和分级测定方法。常规测定方法主要是借鉴土壤氮测定的方法,按照总氮、有机氮和无机氮来区分,无机氮^[6-7]和有机氮^[10, 36]在不同的提取方法和测定技术下可以进一步划分。

2.1.1 无机氮测定

(1) 总氮测定

总氮的测定方法主要是运用的是开氏消煮法^[13],当难提取态固定态铵的含量高时,需要用 HF-HCL 法 (HF-Kjeldahl Method) 对样品进行预处理^[57]。土壤测定中关于 Kjeldahl Method 和 HF-Kjeldahl Method 两种方法对总氮测定中的差异,不同学者的观点并不一致^[58-61],对于固定态铵达到何种含量需要用 HF-Kjeldahl Method 修正至今并没有明确的界定^[61]。沉积物中的总氮测定方法基本上运用的是 Kjeldahl Method,关于固定态铵对于 Kjeldahl Method 测定沉积物中总氮的影响尚未见报道。Smarta^[62]等用过硫酸酸盐消化方法测定沉积物和植物中的总氮,并与 Kjeldahl Method 做了对比,发现两种方法测定结果差异不大。后有学者^[12, 18, 63-64]在沉积物研究中运用过硫酸盐消化法。钱君龙等^[65]用过硫酸盐同步消化方法测定土壤中的总氮和总磷,取得了较好的效果。此方法在南四湖^[66]和长江中下游^[67]等湖泊沉积物研究中得到运用。过硫酸盐消化法与 Kjeldahl Method 相比具有操作便捷,测定简单的优点,但也存在取样量太少,测定代表性不强的问题。另外,一般的 Kjeldahl Method 测定的全氮不包括 NO_3^- -N 和 NO_2^- -N,如果测定 NO_3^- -N 含量较高的样品需要加入 NO_3^- -N 和 NO_2^- -N 还原为 NH_4^+ -N 的步骤^[13]。除了化学测定方法,近年来元素测定仪也被用来测定沉积物中的全氮^[68-69],江伟等^[70]就 Kjeldahl Method 与元素测定仪对测定沉积物全氮做了对比研究,发现当 NO_3^- -N 和 NO_2^- -N 的含量较低时,两种测定方法均可采用,且 Kjeldahl Method 的精密度更高;当 NO_3^- -N 和 NO_2^- -N 的含量较高时,应选用元素测定仪法测定样品中的全氮含量。

(2) 可交换态氮测定

交换态氮测定原理是通过浸提液与样品混合,振荡,将样品吸附态氮交换到浸提液中,然后对浸提溶液进行测定^[13]。理论上硝酸盐水溶性很强,因而最简单的浸提液就是水,由于考虑到其他无机氮尤其是铵氮用水浸提不充分,所以中性盐液成了广泛使用的浸提液^[71]。浸提液大多用的是 KCl^[13, 72-74],也有用 NaCl^[13]、 CaCl_2 ^[75]、 K_2SO_4 ^[6]作为浸提液。用 K_2SO_4 作为浸提液是减少石膏含量高的样品中钙对滴定结果的影响^[71]。浸提液规格有 0.05 mol/L 的 K_2SO_4 、0.01 mol/L 的 CaCl_2 ,KCl 的浓度有 1、2 mol/L 和 4 mol/L。样品与浸提溶液的比例(固液比),常用的是 1:10,实际研究中从 1:1 到 1:1000 之间都有运用^[20-21, 75-76]。浸提时间从 30 min 到 24 h 不等^[77]。Wheatley 等^[75]就浸提方法对土壤中可交换态铵氮的影响进行了较为全面的研究,结果表明不同摇床设备对测定结果影响不大;最佳浸提时间是 30 min;最佳浸提剂是 2 mol/L 的 KCl;固液比是 1:5 时,各种浸提剂(除了水)对可交换态硝态氮提取效果最好。Brodick^[78]就不同浸提方法对湿地底泥交换态硝态氮测定的影响进行了研究。结果表明:从浸提次数来看,前 3 次浸提浓度大致相似,第 4 次开始下降;从浸提时间来看,2 h 处浓度最大,浸提超过 2 h 后浓度开始降低;从固液比来看,从 1:20 到 1:50 对可交换态硝态氮影响不大。关于不同浸提方法对沉积物中可交换态氮测定的影响,至今尚未见系统的研究。笔者认为沉积物类型复杂多样,根据研究的需要尤其是涉及到氮的通量问题时,对浸提方法应做一个必要的浸提方法论证。

(3) 固定态铵测定

固定态铵,亦称非交换性铵,当前普遍认为其存在于 2:1 型铝硅酸盐晶层之间,不能用中性盐交换下来,而可以通过一定的化学试剂破坏矿物晶格后释放^[13]。土壤中固定态铵的研究相对成熟^[14],沉积物固定态铵的研究相对较少^[26]。自从 Rodrigues^[79]1954 年发现热带土壤中含有相当数量的固定态铵以来,测定固定态铵的方法不断出现。目前大致有以下几类,NaOH 和 KOH 分别蒸馏法^[79-80]、HF 处理法^[81-82]和烧灼法^[80, 83]。Bremner^[80]系统探究了几类测定方法的不足,发现碱式蒸馏法和烧灼法在去除有机物和铵氮再释放方面都存在问题,认为 HF 处理法科学依据更为可靠,其中尤以 Silva-Bremner 法^[82]精度较高;尽管如此,也发现 Silva-Bremner 法是否能完全清除有机态氮对固定态铵含量的影响仍是个未知数。李生秀等^[83]对 Silva-Bremner 法和 Mogilevkina 烧灼法进行了比较,提出土壤粘粒,有机质含量与固定态铵关系的密切程度可以作为判断测定方法准确性和可靠性的标准,根据这一标准 Silva-Bremner 法要优于 Mogilevkina 烧灼法。沉积物固定态铵研究中基本使用的是 Silva-Bremner 方法^[6-7, 10, 12, 20-21, 26]。关于几类测定方法对于测定沉积物中固定态铵的差异尚未见报道。

2.1.2 有机态氮测定

(1) 有机氮物质提取

根据蛋白质态氮可以通过水解提取方法获得的原理,利用热酸(或碱)促使样品释放粘土矿物有机胶体中的氮素成分^[13],典型的测定法是将样品与 HCl(3 mol/L 或 6 mol/L)在 100—110 °C 共热 12—24 h 或 150—170 °C 共热 1—4 h^[8, 10, 32],从而获得水解物,然后对水解产物进行测定。进入水解物中的有机氮称为总水解氨基酸态氮(Total Hydrolysable Amino Nitrogen, THAA),有研究表明 THAA 占沉积物 TON 的比例一般要小于 50%^[46]。除了采样和样品保存的原因,提取方式是影响氨基酸态氮测定结果的主要原因^[84]。Nunn 和 Keil^[85]用 6 种不同的方式对海洋沉积物进行提取,鉴别何种提取方式在蛋白质分离过程中能最大程度得保证氨基酸分子结构的完整性,进而能满足后续大分子测定技术的需要。与传统的 HCl 对氨基酸提取效率对比研究发现,0.5 mol/L NaOH 在 37 °C 下共热 2 h 氨基酸分子结构保存的最为完整。其他的提取方式对总氨基酸的提取量较小,分别表现为 Triton X-100 ≥ 热水 > NH₄HCO₃ (50 mmol/L) > HF,不过每种提取液中包含的氨基酸有本质差异,丰富了传统 HCl 水解方法提取氨基酸的种类。研究表明有些试剂可以将可能是水溶性的蛋白质直接从沉积物中提取出来,而大部分蛋白质紧密吸附在沉积物颗粒上不易直接提取。那么,用联合提取方法可以区分生物可利用性蛋白质和抗生物降解性蛋白质^[46]。

(2) 蒸馏测定法

蒸馏测定法的基本原理是通过加入不同的催化剂用不同的蒸馏方法,提取出水解液中的铵氮进行测定。由于该方法对实验条件要求不高,又便于操作,被很多研究者采用^[8, 12, 39, 51],至今蒸馏测定还是沉积物有机氮测定中使用的基本方法。Mulvaney 等^[86]用¹⁵N 示踪方法对蒸馏测定对土壤有机氮的测定精度进行了评价,发现氨基糖态氮测定值明显偏低,氨基酸态氮测定值也有偏低,在此基础上提出用扩散方法来替代蒸馏测定法。关于蒸馏测定法对沉积物有机氮测定精度的研究尚未见报道。

(3) 色谱测定技术

作为一种物理化学分离测定的方法,色谱技术是从混合物中分离组分的重要方法之一,因其能够分离物化性能差别很小的化合物,在水生生态系统的有机物质鉴别与测定研究中越来越受到重视,目前广泛使用的是气象色谱仪(Gas Chromatography, GC)和高效液相色谱(High-performance Liquid Chromatography, HPLC)^[87-88]。GC 配置合适的检测器可以有效得分离和检测有机氮类物质。研究表明氮磷检测器(NPD)对有机氮的测定灵敏度要比氢火焰离子化检测器(FID)高 50 倍^[89]。由于有机氮类物质是由大量的非挥发性物质组成,所以至今 GC 并没有被广泛运用于有机氮的测定^[46]。大多数色谱技术测定多为游离态有机胺类,Fitzsimons 等^[90]通过改进的浓缩技术运用 NPD 检测器可以测定甲胺,并将检测限提高到 2—12 nmol/L。随着色谱技术发展,毛细管柱,固相微萃取技术和气质联用技术在沉积物有机氮物质测定中的运用也受到关注^[46, 91]。相比于 GC 技术,HPLC 技术适合于分离和测定挥发以及非挥发含有有机氮物质,在水生生态系统有机氮物质检测中使用最多的荧光检测器(Fluorescence Detection, FLD)^[46]。有机氮类物质目前多使用的是衍生化方法进行测定,在水样 DON 测定中出现了非衍生化的色谱测定方法^[92]。

(4) X 射线光谱技术

一般用于物体表面薄层化学测定,并没有广泛用于有机物质的测定研究中,不过有研究发现此技术可以提供氮杂环化合物的信息^[46]。Patience 等^[93]运用 X 射线光谱技术结合 GC 和元素测定技术对秘鲁上升流区域的表层沉积物进行了研究,发现氮杂环化合物在总氮中的组成比重超过了氨基态氮化合物。

(5) 核磁共振技术(¹⁵NNMR, ¹⁵N Nuclear Magnetic Resonance)

随着现代光谱学技术的发展,¹⁵NNMR 技术逐渐被应用到自然界有机氮测定研究中,在土壤中测定相对较多^[94-96]。¹⁵NNMR 技术的主要优点是避免化学或热力降解对有机氮形态的人为干扰,大多数研究中运用交叉极化魔角自旋核磁共振(Cross Polarization Magic angle Spinning, CP-MAS)技术对固相物质进行测定。Knicker 和 Hatcher^[97]对百慕大红树林湖不同深度的沉积物进行¹⁵NNMR 测定,探究有机物的降解途径,研究发现氨基化合物态氮存在于各深度的腐殖质中;用这种方法可以鉴定出盐酸水解后残渣中的氨基化合物态氮。不过,目前来看¹⁵NNMR 测定的有机氮大多数是氨基化合物态氮^[98],由于氮杂环化合物在自然界中丰度

都很低,因而 ^{15}N 测定比较困难,需要进行改进。

2.2 分级浸提测定方法

分级浸提方法是由宋金明等^[18]和马红波等^[48]在海洋沉积物氮的生物地球化学功能研究中首先提出的。这种分级浸提的思想来自于对沉积物磷的分级提取,即通过研究不同浸取剂释放出来的磷,鉴别各种形态磷以何种形式结合在沉积物中,进而对各形态磷的地球化学特征和行为进行研究。宋金明、马红波在借鉴了改进的磷分级浸提方法^[99],创立了沉积物氮的分级浸提方法。分级浸提得到的不同形态氮在一定程度上说明了:氮与沉积物结合牢固程度的差异与地球化学行为的不同和在氮循环中所起的作用亦不同相关联^[47]。这种分级测定方法目前主要是集中在国内的相关研究中。

宋金明认为要在自然粒度(全粒度)下,而不是在磨碎的条件进行测定,这样可以了解在实际的环境条件下,哪一种结合形态的氮更容易释放,还可以推测沉积物氮中究竟有多大部分存在于颗粒的表层,即有多大部分可以真正参与循环^[18]。但是,风干样直接测定与磨碎后进行测定相比,存在取样代表性和均一性的问题,需要在测定中加大测试样品的重复数量。多数学者使用风干后的沉积物样进行氮分级浸提研究,王圣瑞^[100]将不同粒径下沉积物磨碎过筛进行氮分级浸提。有学者可能是出于湖泊和河流沉积物氮含量较高的考虑,样品取样量为0.5 g^[54, 100],海洋沉积物氮分级浸提研究中样品取样量均为1 g。在可转化态氮的浸提中,学者们基本沿用了创立者的方法,只是在第一步的离子交换态氮测定中借鉴了土壤可交换态氮浸提方法做了不同的改动,主要表现在提取剂规格和固液比。最初提取剂用的是1 mol/L MgCl_2 ^[47-48, 101],后好多学者使用的提取剂是1 mol/L LKCl ^[51-52, 100, 102-103],也有用1 mol/L NaCl ^[53]。固液比常用的是1:20,有由于样品取样量减半而形成的1:40^[54, 100],何桐等^[102]使用的是1:30。与土壤可交换态氮测定一样,在浸提这个环节并没有严格的界定。提取后对硝态氮和铵氮的测定方法基本都是常规方法。但是,总氮测定基本上使用的是过硫酸钾氧化法。

钟立香^[55]与王书航^[56]等运用的连续分级提取方法,从本质上看,试图通过同一批样品连续测定而获得水溶态氮(与FN对应)、可交换态氮(与EN对应)、酸水解有机氮(与HN对应)和部分非水解态氮(与RN对应),为沉积物氮形态研究提供了一种新的思路。测定方法均为土壤中对应形态氮的常规测定方法。另外,研究中提出了一种将水溶态氮的浓度折算成沉积物氮含量的计算办法,为解决固液相态中物质含量难以比较的问题提供了一种方法。

3 问题与展望

3.1 水溶态氮的作用

无机氮分为水溶态、交换态和固定态^[13],固定态氮和水溶性氮、交换性氮之间处于动态平衡状态^[22, 26]。在样品采集到测样过程中,几种无机态氮之间存在转化的可能。在沉积物研究中这个问题主要的关注点集中在样品采用干泥(Dried sediment)还是用鲜泥(Fresh wet sediment)进行测定,不同学者运用的方法不同。有研究^[12, 22, 104]认为干燥过程中可溶态氮随水挥发,间隙水中的可溶态氮在挥发后对可交换态氮贡献不大。即使间隙水中铵氮浓度很高,对沉积物交换态氮影响也不大^[12],因而使用干样测定能够较为准确地反映可交换态氮的含量。

与土壤相比,沉积物处于不同程度的淹水环境中,沉积物中的含水量要显著大于土壤。间隙水是沉积物的重要组成部分,是沉积物中可溶态氮的主要载体。从水生生态系统物质循环的角度来看,沉积物系统(含间隙水),是水生生态系统物质的源于汇,间隙水是泥-水界面氮迁移与转化的主要平台,因而沉积物中的可交换态氮还应包括间隙水中可溶解态氮。这也是有学者坚持用鲜泥进行进行氮测定^[9, 27-28]的重要依据。不过用鲜泥直接浸提对测定沉积物交换态氮的测定影响有多大?目前对这一问题也尚无具体研究。用鲜样进行浸提,有多少溶解态氮会进入浸提液中还不明确。进入浸提液中的溶解态氮与浸提出的吸附态氮一同测定,然后按照干样的计算办法获得可交换态氮含量对可交换态氮最终测定结果的影响至今尚不明确。

目前在泥-水界面的氮形态转化与迁移研究中,关注更多的是间隙水与上覆水之间的氮迁移与转化问题,而对间隙水与底泥间的关系研究较少。那么,间隙水中各形态氮含量占沉积物中可交换态氮总量的比重是多

少?目前尚没有学者对此做专门研究,可能是因为液相与固相之间单位不一致而无法比较。Morin^[76]等运用含水率和沉积物密度将间隙水中的铵氮浓度转化为沉积物干重条件下的含量,根据其实验图表数据计算发现间隙水中的铵氮是可交换态铵氮的 11.7%。钟立香等^[55]在巢湖沉积物氮空间分布研究中,先用离心方法测定间隙水中的无机氮,然后对残留固体进行浸提测定交换态无机氮,通过含水率将间隙水中的氮浓度折算成沉积物干重条件下的含量。根据其实验数据进行计算,间隙水中的铵氮为可交换态铵氮的 1.4%—6.5%。可见间隙水中的氮是沉积物氮的一个重要组成部分。因而,在进行沉积物氮测定时不能忽略间隙水中水溶态氮的贡献。另外,Keeney^[8]在研究安大略湖沉积物时发现用干样测定固定态铵会偏高。Kemp^[10]发现用湿样和干样测定有机氮结果差别不大。若要如实反映沉积物各形态氮的含量,不是单纯得通过干样和鲜样来测定能解决的,亟需加以专门研究来确定科学合理的测定方法。

3.2 有机氮形态的研究

在 30 a 前 Antia 等^[105]就强烈呼吁海洋地理学家和海洋生物学家不能忽视水生生态系统中 DON 在初级生产力中的重要作用。随着研究深入,发现水生生态系统中的 DON 并不是人们传统观念中难以进行生物降解的物质,Jackson 和 Williams^[106-107]发现南加利福尼亚海岸的水中的总可溶性有机氮和易分解有机氮的更新周期分别只有 21 d 和 17 d。研究还发现 DON 是水生生态系统中氮库的重要组成,在某些淡水系统中 DON 占可溶性总氮(Total Dissolved Nitrogen, TDN)的含量超过了 50%,是颗粒态有机氮(Particulate Organic Nitrogen, PON)的 5 到 10 倍^[106, 108]。有研究表明,在浅水型淡水生态系统、河口和海岸生态系统中沉积物被认为是上覆水中 DON 的主要来源^[106, 109-110]。Lomstein 等研究发现沉积物向上覆水释放的 DON 要 2 倍于 DIN^[111],因而对沉积物 ON 的研究显得尤为重要。

随着上覆水体中 DON 研究不断深入,需要加强沉积物有机氮形态及转化的研究,才能真正完善氮循环理论。从目前沉积物氮素研究来看,更注重无机氮的研究。沉积物有机氮的研究相对滞后一是由于沉积物有机氮甄别的难度较大。与土壤有机氮研究类似,有机氮组成类型非常复杂,从分子水平上鉴别有机氮难度很大。相关研究表明^[10, 88, 94, 112]非水解态氮和水解未知态氮多为氮杂环化合物,对于此类物质目前还没有切实有效的测定方法。二是从理论上还无法对有机氮的生物有效性进行界定,虽然研究者试图建立一种有机氮的化学分级方法,以期将其与生物分解性相联系,但研究表明,目前的有机氮的化学提取性与生物分解性之间并没有明确的内在联系^[113]。因而,在期待技术进步解决有机氮种类鉴定与测定方法的同时,还要从理论上研究有机氮的生物有效性,从生态学效应角度对有机氮加以科学分类。这样才能完善氮的生物化学循环理论,从而深入阐明氮的生物学和生态学机制。

References:

- [1] Nowlin W H, Evarts J L, Vanni M J. Release rates and potential fates of nitrogen and phosphorus from sediments in a eutrophic reservoir. *Freshwater Biology*, 2005, 50(2): 301-322.
- [2] Gross A, Boyd C E, Wood C W. Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. *Aquacultural Engineering*, 2000, 24(1): 1-14.
- [3] Gardner W S, Yang L Y, Cotner J B, Johengen T H, Lavrentyev P J. Nitrogen dynamics in sandy freshwater sediments (Saginaw Bay, Lake Huron). *Journal of Great Lakes Research*, 2001, 27(1): 84-97.
- [4] Lü X X, Song J M, Yuan H M, Li X G, Zhang T R, Li N, Gao X L. The potential ecological roles of nitrogen in the surface sediments of the South Yellow Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8): 1635-1643.
- [5] Khoia C M, Guonga V T, Merckxb R. Predicting the release of mineral nitrogen from hypersaline pond sediments used for brine shrimp *Artemia franciscana* production in the Mekong Delta. *Aquaculture*, 2006, 257(1/4): 221-231.
- [6] Wang S R, Jiao L X, Jin X C, Liu J H. Distribution of total, exchangeable and fixed nitrogen in the sediments from shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(1): 37-43.
- [7] Wang Y C, Wan G J, Yin C Q, Huang R G. Distribution of total, exchangeable and fixed nitrogen in the sediments of two lakes in Guizhou province. *Journal of Lake Sciences*, 2002, 14(4): 301-309.
- [8] Keeney D R, Konrad J G, Chesters G. Nitrogen distribution in some Wisconsin Lake sediments. *Water Pollution Control Federation*, 1970, 42

- (3): 411-417.
- [9] Kemp A L W. Organic carbon and nitrogen in the surface sediments of Lakes Ontario Erie and Huron. *Journal of Sedimentary Research*, 1971, 41(2): 537-548.
- [10] Kemp A L W, Mudrochova A. Distribution and forms of nitrogen in a Lake Ontario sediment core. *Limnology and Oceanography*, 1972, 17(6): 855-867.
- [11] Konrad J G, Keeney D R, Chesters G, Chen K L. Nitrogen and carbon distribution in sediment cores of selected Wisconsin Lakes. *Water Pollution Control Federation*, 1970, 42(12): 2094-2101.
- [12] de Lange G J. Distribution of exchangeable, fixed, organic and total nitrogen in interbedded turbiditic/pelagic sediments of the Madeira Abyssal Plain, eastern North Atlantic. *Marine Geology*, 1992, 109(1/2): 95-114.
- [13] Lu R K. *Soil Agrochemistry Analysis Method*. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2000: 146-165.
- [14] Zhu W Q, Zhang Y S, Lin X Y. Advances in the studies of mineral Nonexchangeable-ammonium in soils. *Soil and Environmental Sciences*, 2000, 9(4): 333-335.
- [15] Zhu Z L. *Nitrogen in Soil of China*. Nanjing: Jiangsu Science And Technology Publishing House, 1992: 171-174.
- [16] Müller P J. C/N ratios in Pacific deep-sea sediments: effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1977, 41(6): 765-776.
- [17] Shigemitsu M, Watanabe Y W, Narita H. Time variations of delta $\delta^{15}N$ of organic nitrogen in deep western subarctic Pacific sediment over the last 145 ka. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2008, 9: Q10012, doi:10.1029/2008GC001999.
- [18] Song J M, Ma H B, Lü X X. Nitrogen forms and decomposition of organic carbon in the southern Bohai Sea core sediments. *Acta Oceanologica Sinica*, 2002, (1): 125-133.
- [19] Denis L, Grenz C, Alliot E, Rodier M. Temporal variability in dissolved inorganic nitrogen fluxes at the sediment-water interface and related annual budget on a continental shelf (NW Mediterranean). *Oceanologica Acta*, 2001, 24(1): 85-97.
- [20] Liu S M, Zhu B D, Zhang J, Wu Y, Liu G S, Deng B, Zhao M X, Liu G Q, Du J Z, Ren J L, Zhang G L. Environmental change in Jiaozhou Bay recorded by nutrient components in sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(9): 1591-1599.
- [21] Mathews L, Chandramohanakumar N, Geetha R. Nitrogen dynamics in the sediments of a wetland coastal ecosystem of southern India. *Chemistry and Ecology*, 2006, 22(1): 21-28.
- [22] Rosenfeld J K. Ammonium adsorption in nearshore anoxic sediments. *Limnology and Oceanography*, 1979, 24(2): 356-364.
- [23] Simon N S, Kennedy M M. The distribution of nitrogen species and adsorption of ammonium in sediments from the tidal Potomac River and estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 1987, 25(1): 11-26.
- [24] Chen G Y, Li J Q, Li Q M, Zhou Y Y. Different forms of nitrogen contents and their vertical variations of transformation modes of the sediments of Lake Yuehu, Wuhan. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20(4): 463-469.
- [25] Fan C X, Yang L Y, Zhang L. The vertical distributions of nitrogen and phosphorus in the sediment and interstitial water in Taihu Lake and their interrelations. *Journal of Lake Sciences*, 2000, (4): 359-366.
- [26] Jiao L X, Wang S R, Jin X C, Liu J H, Zhao H C. Characteristic of fixation ammonium and effecting factors on the sediments from shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(4): 57-63.
- [27] Bi C J, Zheng X M, Chen Z L. Spatial distribution characteristics of COD_{Cr} and NH_3-N in the sediment of suburban reach of Suzhou Creek. *Shanghai Environmental Sciences*, 2000, 19(7): 305-308.
- [28] Jia X S, Xu X R, Li S Y, Xia B C. Distribution and release of nitrogen and phosphorus in typical river sediments, Pearl River Delta region, China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2005, 44(2): 107-110.
- [29] Wei R F, Zhuang S Y, Rong J, Yang H. Characteristics of nitrogen distribution in river water and sediments in the typical river network region of Suzhou City. *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(12): 1433-1439.
- [30] Kelley K R, Stevenson F J. Forms and nature of organic N in soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1995, 42(1/3): 1-11.
- [31] Stevenson F J, He X T. Nitrogen in humic substances as related to soil fertility//McCarthy P, Clapp C E, Malcolm R L, Bloom P R, eds. *Humic Substances in Soil and Crop Sciences; Selected Readings*. Madison: American Society of Agronomy, 1990.
- [32] Bremner J M. Organic forms of nitrogen//Black C A, ed. *Methods of Soil Analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965: 1148-1178.
- [33] Pantoja S, Lee C. Molecular weight distribution of proteinaceous material in Long Island Sound sediments. *Limnology and Oceanography*, 1999, 44(5): 1323-1330.
- [34] Lee C, Cronin C. Particulate amino acids in the sea: effects of primary productivity and biological decomposition. *Journal of Marine Research*, 1984, 42(4): 1075-1097.
- [35] Burdige D J, Gardner K G. Molecular weight distribution of dissolved organic carbon in marine sediment pore waters. *Marine Chemistry*, 1998, 62

- (1/2): 45-64.
- [36] Wang S R, Jin X C, Niu D, Wu F C. Potentially mineralizable nitrogen in sediments of the shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River area in China. *Applied Geochemistry*, 2009, 24(9): 1788-1792.
- [37] Dungworth G, Thijssen M, Zuurveld J, van der Velden W, Schwartz A W. Distribution of amino acids, amino sugars, purines and pyrimidines in a Lake Ontario sediment core. *Chemical Geology*, 1977, 19(1/4): 295-308.
- [38] Horsfall I M, Wolff G A. Hydrolysable amino acids in sediments from the Porcupine Abyssal Plain, northeast Atlantic Ocean. *Organic Geochemistry*, 1997, 26(5/6): 311-320.
- [39] Kemp A L W, Mudrochova A. The distribution and nature of amino acids and other nitrogen-containing compounds in Lake Ontario surface sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1973, 37(9): 2191-2206.
- [40] Yamamoto S, Ishiwatari R. A study of the formation mechanism of sedimentary humic substances. III. Evidence for the protein-based melanoidin model. *Science of The Total Environment*, 1992, 117-118: 279-291.
- [41] Burdige D J, Martens C S. Biogeochemical cycling in an organic-rich coastal marine basin; 10. The role of amino acids in sedimentary carbon and nitrogen cycling. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1988, 52(6): 1571-1584.
- [42] Faganeli J, Ogorelec B, Mišič M, Dolenc T, Pezdnič J. Organic geochemistry of two 40-m sediment cores from the Gulf of Trieste (Northern Adriatic). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1987, 25(2): 157-167.
- [43] Lin S M, Wang S R, Jin X C, He X C. Contents and distribution characteristics of soluble organic nitrogen in surface sediments of lakes. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(5): 623-630.
- [44] Berg G M, Repeta D L, LaRoche J. Dissolved organic nitrogen hydrolysis rates in axenic cultures of *Aureococcus anophagefferens* (Pelagophyceae): comparison with heterotrophic bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, 68(1): 401-404.
- [45] McCarthy M, Pratum T, Hedges J, Benner R. Chemical composition of dissolved organic nitrogen in the ocean. *Nature*, 1997, 390(6656): 150-154.
- [46] Worsfold P J, Monbet P, Tappin A D, Fitzsimons M F, Stiles D A, McKelvie I D. Characterisation and quantification of organic phosphorus and organic nitrogen components in aquatic systems: a review. *Analytica Chimica Acta*, 2008, 624(1): 37-58.
- [47] Song J M, Ma H B, Lü X X, Yuan H M. Biogeochemical functions of nitrogen in Bohai Sea sediments. *Studia Marina Sinica*, 2003, 45: 86-100.
- [48] Ma H B, Song J M, Lü X X, Yuan H M. Nitrogen forms and their functions in recycling of the Bohai Sea sediments. *Geochimica*, 2003, 1(1): 48-54.
- [49] Zheng G X, Song J M, Sun Y M, Dai J C, Zhang P. Characteristics of nitrogen forms in the surface sediments of southwestern Nansha Trough, South China Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2008, 26(3): 280-288.
- [50] Jiao L X. Nitrogen Forms Characteristic in the Sediments From the Shallow Lakes and Functions in Biogeochemical Cycling. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2007.
- [51] Wang S R, Jin X C, Jiao L X, Wu F C. Nitrogen fractions and release in the sediments from the shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River Area, China. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2007, 187(1/4): 5-14.
- [52] Gu X Z. Study of Adaptive Amelioration and the Control Mechanism of Nitrogen and Phosphorus in Lake Sediments. Nanjing: Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [53] Wang L S, Cai B B, Liu H. Distributive characteristics of nitrogen forms in sediment of water source reservoir. *Journal of Xi'an University of Architecture and Technology(Natural Science Edition)*, 2010, 42(5): 734-740.
- [54] Zhang L, Qin Y W, Zheng B H, Xu D X. Nitrogen forms and its distribution character in immersed and water-level-fluctuating zone soils of the backwater reach from input river of three gorges reservoir. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2009, 30(10): 2884-2890.
- [55] Zhong L X, Wang S H, Jiang X, Jin X C. Speciation characteristics of different combined nitrogen in the spring sediments of chaohu lake by sequential extraction methods. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(10): 2132-2137.
- [56] Wang S H, Jiang X, Zhong L X, Jin X C, Sun S Q. Seasonal occurrence characteristics of different forms of nitrogen in the sediments of Chaohu Lake. *Environmental Science*, 2010, 31(4): 946-953.
- [57] Keeney D R, Bremner J M. Use of the coleman model 29A analyzer for total nitrogen analysis of soils. *Soil Science*, 1967, 104(5): 358-363.
- [58] Bremner J M. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *The Journal of Agricultural Science*, 1960, 55(1): 11-33.
- [59] Chen B Y, Cheng L L, Wen Q X. A modified HF-Kjeldahl method for determining total nitrogen in soil. *Pedosphere*, 1997, (4): 375-378.
- [60] Stewart B A, Porter L K. Inability of the Kjeldahl method to fully measure indigenous fixed ammonium in some soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1963, 27(1): 41-43.
- [61] Zhang C Y, Li S X. Does the total soil N determined by Kjeldahl method include fixed NH_4^+ ? *Agricultural Sciences in China*, 2005, 4(2): 134-141.

- [62] Smarta M M, Rada R G, Donnermeyer G N. Determination of total nitrogen in sediments and plants using persulfate digestion. An evaluation and comparison with the Kjeldahl procedure. *Water Research*, 1983, 17(9): 1207-1211.
- [63] Sardessai S. Humic and fulvic acids in sediments of the Hooghly Estuary and some coastal areas in the northern Bay of Bengal. *Indian Journal of Marine Sciences*, 1989, 18(1): 16-20.
- [64] Song J M, Ma H B, Li X G, Yuan H M, Li N. Geochemical characteristics of adsorbed inorganic nitrogen in the South Bohai Sea sediments. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 35(4): 315-322.
- [65] Qian J L, Zhang L D, Le M L. Test method for total nitrogen and total phosphorus in soils by persulfate. *Soils*, 1990, 22(5): 258-262.
- [66] Gu X Z, Wang Q, Zhang L, Shen Q S, Wang Z D, Fan C X. Influence of physical amelioration on the characteristic of sediments and pore waters in Lake Nansi Wetland. *China Environmental Science*, 2010, 30(2): 256-262.
- [67] Wang D H, Huang Q H, Wang C X, Ma M, Wang Z J. Temporal and spatial distribution of total nitrogen and its species in shallow eutrophic lakes of China. *Environmental Science*, 2004, 25(S1): 27-30.
- [68] Lohse L, Kloosterhuis R T, de Stigter H C, Helder W, van Raaphorst W, van Weering T C E. Carbonate removal by acidification causes loss of nitrogenous compounds in continental margin sediments. *Marine Chemistry*, 2000, 69(3/4): 193-201.
- [69] Wang M L, Ai Y P, Zhou W B. Vertical distribution characteristic of nitrogen in the core sediments of Three Rivers Estuary in Poyang Lake. *Agricultural Science and Technology*, 2010, 11(2): 155-158.
- [70] Jiang W, Li X Q, Jiang Q, Huang D K, Cheng H G. Kjeldahl method and the elemental analyzer method in measurement of total nitrogen in sediments: comparison and its significance. *Geochimica*, 2006, 35(3): 319-324.
- [71] Pansu M, Gautheryou J. *Handbook of Soil Analysis; Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*. New York: Springer, 2006.
- [72] Bengtsson N. The determination of ammonia in soil. *Soil Science*, 1924, 18(4): 255-278.
- [73] Bremner J M. Inorganic forms of nitrogen//Black C A, ed. *Methods of Soil Analysis*, Madison: American Society of Agronomy, 1965.
- [74] Sahrawat K L. Evaluation of some chemical extractants for determination of exchangeable ammonium in tropical rice soils. *Comments in Soil Science and Plant Analysis*, 1979, 10(7): 1005-1013.
- [75] Wheatley R E, MacDonald R, Smith A M. Extraction of nitrogen from soils. *Biology and Fertility of Soils*, 1989, 8(2): 189-190.
- [76] Morin J, Morse J W. Ammonium release from resuspended sediments in the Laguna Madre estuary. *Marine Chemistry*, 1999, 65(1/2): 97-110.
- [77] Klingensmith K M, Alexander V. Sediment nitrification, denitrification, and nitrous oxide production in a deep Arctic Lake. *Applied and Environmental Microbiology*, 1983, 46(5): 1084-1092.
- [78] Brodrick S, Cullen P, Maher W. Determination of exchangeable inorganic nitrogen species in wetlands soils. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1987, 38(3): 377-380.
- [79] Rodrigues G. Fixed ammonia in tropical soils. *Journal of Soil Science*, 1954, 5(2): 264-274.
- [80] Bremner J M, Nelson D W, Silva J A. Comparison and evaluation of methods of determining fixed ammonium in soils. *Proceedings of the Soil Science Society America*, 1967, 31(4): 466-472.
- [81] Bremner J M. Determination of fixed ammonium in soil. *The Journal of Agricultural Science*, 1959, 52(2): 147-160.
- [82] Silva J A, Bremner J M. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soil: 5. Fixed ammonium. *Soil Science Society America Journal*, 1966, 30(5): 587-594.
- [83] Li S X, Zhang X C, Zhang X W, Tian X H, Hou G P. The behaviour of non-exchangeable ammonium in soils: I. Evaluation of two methods determining non-exchangeable ammonium in soils. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry(Natural Science Edition)*, 1991, 19(1): 7-12.
- [84] Cowie G L, Hedges J I. Sources and reactivities of amino acids in a coastal marine environment. *Limnology and Oceanography*, 1992, 37(4): 703-724.
- [85] Nunn B L, Keil R G. A comparison of non-hydrolytic methods for extracting amino acids and proteins from coastal marine sediments. *Marine Chemistry*, 2006, 98(1): 31-42.
- [86] Mulvaney R L, Khan S A. Diffusion methods to determine different forms of nitrogen in soil hydrolysates. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65(4): 1284-1292.
- [87] Kvenvolden K A, Peterson E, Wehmiller J, Hare P E. Racemization of amino acids in marine sediments determined by gas chromatography. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1973, 37(10): 2215-2225.
- [88] Stevenson F J. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. 2nd ed. New York: Wiley, 1994.
- [89] Skoog D A, Leary J J. *Principles of Instrumental Analysis*. 4th ed. New York: Saunders College Publishing, 1992.
- [90] Fitzsimons M F, Jemmett A W, Wolff G A. A preliminary study of the geochemistry of methylamines in a salt marsh. *Organic Geochemistry*, 1997, 27(1/2): 15-24.

- [91] Tsukioka T, Ozawa H, Murakami T. Gas chromatographic-mass spectrometric determination of lower aliphatic tertiary amines in environmental samples. *Journal of Chromatography A*, 1993, 642(1/2): 395-400.
- [92] Gibb S W, Mantoura R F C, Liss P S. Analysis of ammonia and methylamines in natural waters by flow injection gas diffusion coupled to ion chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 1995, 316(3): 291-304.
- [93] Patience R L, Baxby M, Bartle K D, Parry D L, Rees A G W, Rowland S J. The functionality of organic nitrogen in some recent sediments from the Peru upwelling region. *Organic Geochemistry*, 1992, 18(2): 161-169.
- [94] Benzing-Purdie L, Ripmeester J A, Preston C M. Elucidation of the nitrogen forms in melanoidins and humic acid by nitrogen-15 cross polarization-magic angle spinning nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1983, 31(4): 913-915.
- [95] Olk D C. Organic forms of nitrogen//Carter M R, Gregorich E G, eds. *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science, 2007: 667-674.
- [96] Thorn K A, Mikita M A. Nitrite fixation by humic substances: nitrogen-15 nuclear magnetic resonance evidence for potential intermediates in chemodenitrification. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(2): 568-582.
- [97] Knicker H, Hatcher P G. Sequestration of organic nitrogen in the sapropel from Mangrove Lake, Bermuda. *Organic Geochemistry*, 2001, 32(5): 733-744.
- [98] Knicker H. Solid-state 2-D double cross polarization magic angle spinning ^{15}N ^{13}C NMR spectroscopy on degraded algal residues. *Organic Geochemistry*, 2000, 31(4): 337-340.
- [99] Ruttenberg K C. Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments. *Limnology and Oceanography*, 1992, 37(7): 1460-1482.
- [100] Wang S R, Jin X C, Jiao L X. Distribution of transferable nitrogen in different grain size from the different trophic level lake sediments. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(3): 52-57.
- [101] Dai J C, Song J M, Zheng G X, Li X G, Yuan H M, Li N. Environmental biogeochemical significance of nitrogen in Jiaozhou Bay sediments. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2007, 28(9): 1924-1928.
- [102] He T, Xie J, Yu H S, Fang H D, Gao Q Z. Distribution characteristics of different forms of nitrogen in surface sediments of Daya Bay. *Journal of Tropical Oceanography*, 2009, 28(2): 86-91.
- [103] Lü X X. *Forms of Nitrogen in Different Grain Size Sediments and Its Functions in Biogeochemical Cycling of the Yellow Sea*. Qingdao: Graduate School of the Chinese Academy of Sciences (The Woods Hole Oceanographic Institution), 2003.
- [104] Stevenson F J, Cheng C N. Organic geochemistry of the Argentine Basin sediments: carbon-nitrogen relationships and Quaternary correlations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1972, 36(6): 653-671.
- [105] Antia N J, Berland B R, Bonin D J. Proposal for an abridged nitrogen turnover cycle in certain marine planktonic systems involving hypoxanthine-guanine excretions by ciliates and their reutilization by phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 1980, 2: 97-103.
- [106] Berman T, Bronk D A. Dissolved organic nitrogen: a dynamic participant in aquatic ecosystems. *Aquatic Microbial Ecology*, 2003, 31(3): 279-305.
- [107] Jackson G A, Williams P M. Importance of dissolved organic nitrogen and phosphorus to biological nutrient cycling. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 1985, 32(2): 223-235.
- [108] Wheeler P A, Kirchman D L. Utilization of inorganic and organic nitrogen by bacteria in marine systems. *Limnology and Oceanography*, 1986, 31(5): 998-1009.
- [109] Burdige D J, Zheng S L. The biogeochemical cycling of dissolved organic nitrogen in estuarine sediments. *Limnology and Oceanography*, 1998, 43(8): 1796-1813.
- [110] Zehr J P, Paulsen S G, Axler R P, Goldman C R. Dynamics of dissolved organic nitrogen in subalpine Castle Lake, California. *Hydrobiologia*, 1988, 157(1): 33-45.
- [111] Lomstein B A, Jensen A G U, Hansen J W, Andreassen J B, Hansen L S, Berntsen J, Kunzendorf H. Budgets of sediment nitrogen and carbon cycling in the shallow water of Knebel Vig, Denmark. *Aquatic Microbial Ecology*, 1998, 14(1): 69-80.
- [112] Schulten H R, Schnitzer M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. *Biology and Fertility of Soils*, 1998, 26(1): 1-15.
- [113] Wang J Y, Zhu S G, Xu C F. *Biochemistry*. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2002: 123-154.

参考文献:

- [4] 吕晓霞, 宋金明, 袁华茂, 李学刚, 詹天荣, 李宁, 高学鲁. 南黄海表层沉积物中氮的潜在生态学功能. *生态学报*, 2004, 24(8): 1635-1643.
- [6] 王圣瑞, 焦立新, 金相灿, 刘景辉. 长江中下游浅水湖泊沉积物总氮、可交换态氮与固定态铵的赋存特征. *环境科学学报*, 2008, 28(1):

37-43.

- [7] 王雨春, 万国江, 尹澄清, 黄荣贵. 红枫湖、百花湖沉积物全氮、可交换态氮和固定铵的赋存特征. 湖泊科学, 2002, 14(4): 301-309.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 146-165.
- [14] 朱维琴, 章永松, 林咸永. 土壤矿物固定态铵研究进展. 土壤与环境, 2000, 9(4): 333-335.
- [15] 朱兆良. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 171-174.
- [24] 陈国元, 李建秋, 李清曼, 周易勇. 武汉月湖沉积物不同形态氮含量与转换途径的垂直变化. 湖泊科学, 2008, 20(4): 463-469.
- [25] 范成新, 杨龙元, 张路. 太湖底泥及其间隙水中氮磷垂直分布及相互关系分析. 湖泊科学, 2000, 12(4): 359-366.
- [26] 焦立新, 王圣瑞, 金相灿, 刘景辉, 赵海超. 长江中下游浅水湖泊沉积物固定态铵特征及影响因素. 环境科学研究, 2007, 20(4): 57-63.
- [27] 毕春娟, 郑祥民, 陈振楼. 苏州河市郊段底泥中 COD_{Cr} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的空间分布特征. 上海环境科学, 2000, 19(7): 305-308.
- [28] 贾晓珊, 徐昕荣, 李适宇, 夏北成. 珠江流域河网底泥的氮磷污染特征及释放机理. 中山大学学报(自然科学版), 2005, 44(2): 107-110.
- [29] 魏荣菲, 庄舜尧, 戎静, 杨浩. 苏州河网区河道上覆水与底泥中氮素形态分布特征. 环境科学研究, 2009, 22(12): 1433-1439.
- [43] 林素梅, 王圣瑞, 金相灿, 何星存. 湖泊表层沉积物可溶性有机氮含量及分布特性. 湖泊科学, 2009, 21(5): 623-630.
- [47] 宋金明, 马红波, 吕晓霞, 袁华茂. 渤海沉积物氮的生物地球化学功能. 海洋科学集刊, 2003, 45: 86-100.
- [48] 马红波, 宋金明, 吕晓霞, 袁华茂. 渤海沉积物中氮的形态及其在循环中的作用. 地球化学, 2003, 1(1): 48-54.
- [50] 焦立新. 浅水湖泊表层沉积物氮形态特征及在生物地球化学循环中的功能. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.
- [52] 古小治. 湖泊基底植物适生性改良及对氮磷营养盐的控释机制研究. 南京: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 2010.
- [53] 王禄仕, 柴蓓蓓, 刘虹. 水源水库沉积物中氮的形态分布特征研究. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2010, 42(5): 734-740.
- [54] 张雷, 秦延文, 郑丙辉, 徐德星. 三峡入库河流大宁河回水区浸没土壤及消落带土壤氮形态及分布特征. 环境科学, 2009, 30(10): 2884-2890.
- [55] 钟立香, 王书航, 姜霞, 金相灿. 连续分级提取法研究春季巢湖沉积物中不同结合态氮的赋存特征. 农业环境科学学报, 2009, 28(10): 2132-2137.
- [56] 王书航, 姜霞, 钟立香, 金相灿, 孙世群. 巢湖沉积物不同形态氮季节性赋存特征. 环境科学, 2010, 31(4): 946-953.
- [64] 宋金明, 马红波, 李学刚, 袁华茂, 李宁. 渤海南部海域沉积物中吸附态无机氮的地球化学特征. 海洋与湖沼, 2004, 35(4): 315-322.
- [65] 钱君龙, 张连弟, 乐美麟. 过硫酸盐消化法测定土壤全氮全磷. 土壤, 1990, 22(5): 258-262.
- [66] 古小治, 王强, 张雷, 申秋实, 王兆德, 范成新. 物理改良对湖泊沉积物和间隙水特征的影响. 中国环境科学, 2010, 30(2): 256-262.
- [67] 王东红, 黄清辉, 王春霞, 马梅, 王子健. 长江中下游浅水湖泊中总氮及其形态的时空分布. 环境科学, 2004, 25(S1): 27-30.
- [70] 江伟, 李心清, 蒋倩, 黄代宽, 程红光. 凯氏蒸馏法和元素分析仪法测定沉积物中全氮含量的异同及其意义. 地球化学, 2006, 35(3): 319-324.
- [83] 李生秀, 张兴昌, 张兴悟, 田霄红, 侯格平. 土壤中非代换铵的行为——I. 两种测定土壤非代换铵方法优劣的判别. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 1991, 19(1): 7-12.
- [100] 王圣瑞, 金相灿, 焦立新. 不同污染程度湖泊沉积物中不同粒级可转化态氮分布. 环境科学研究, 2007, 20(3): 52-57.
- [101] 戴纪翠, 宋金明, 郑国侠, 李学刚, 袁华茂, 李宁. 胶州湾沉积物氮的环境生物地球化学意义. 环境科学, 2007, 28(9): 1924-1928.
- [102] 何桐, 谢健, 余汉生, 方宏达, 高全洲. 大亚湾表层沉积物中氮的形态分布特征. 热带海洋学报, 2009, 28(2): 86-91.
- [103] 吕晓霞. 黄海沉积物中氮的粒度结构及在生物地球化学循环中的作用. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2003.
- [113] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学(第三版). 北京: 高等教育出版社, 2002: 123-154.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 22 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Hyperspectral estimation models for plant community water content at both leaf and canopy levels in Wild Duck Lake wetland	6645
Potential distribution of rice in china and its climate characteristics	6659
Effects of seed soaking with soybean isoflavones on soybean seedlings under salt stress	6669
Ecophysiological responses and adaptation of <i>Tamarix ramosissima</i> to changes in groundwater depth in the Heihe river basin	6677
<i>Melica przewalskyi</i> population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland	6688
A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint	6696
Spatial-temporal variation of NPP and NDVI correlation in wetland of Yellow River Delta based on MODIS data	6708
Marshclassification mapping at a community scale using high-resolution imagery	6717
The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of <i>Arabidopsis thaliana</i> L. and the possible mechanisms	6727
Spatial and dynamic analysis of plantations in Xishuangbanna using network <i>K</i> -function	6734
Contrastive analysis and climatic response of tree-ring gray values and tree-ring densities	6743
Fractal structure of dominant tree species in north-facing slope of mountain of northern Hebei	6753
Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China	6766
Effects of seed-dressing agents on groundnut and rhizosphere microbes	6777
Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing	6788
A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different <i>Quercus acutissima</i> provenances	6796
Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China	6805
An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in Five woody plants living in arid zone	6815
The effect of fire on soil properties in a <i>Pinus massoniana</i> stand	6824
Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province	6832
Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two <i>Kappaphycus</i> species	6845
Analysis on characteristics of a typical drought event in Jiangsu Province	6853
Surface heat flux and energy budget for semi-arid grassland on the Loess Plateau	6866
Effects of light quality on photosynthetic characteristics and on the carotenoid and cuticular extract content in tobacco leaves	6877
Cyanobacterial diversity in biological soil crusts on wastelands of copper mine tailings	6886
Stereotypic behavior frequency and the influencing factors in captive Alpine musk deer (<i>Moschus sifanicus</i>)	6896
Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station	6902
Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China	6912
A novel cognitive-based approach to motivation for non-use value	6926
Review	
Salt-responsive proteomics in plants	6936
Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments	6947
Review of research progress of infectious diseases in wild birds	6959
Review on the methods to quantify fish's ability to cross velocity barriers in fish passage	6967
Monograph	
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: foundation, prospect and response strategy	6973
Scientific Note	
A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature <i>Caragana korshinskii</i> plantations	6978

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 22 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 22 2011

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