

· 学科进展与展望 ·

典型生境重要地球元素循环的微生物驱动机制

——第77期“双清论坛”综述

杨海花¹ 东秀珠¹ 黄力¹ 连宾² 温明章³

(1 中国科学院微生物研究所, 北京 100101; 2 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002;

3 国家自然科学基金委员会生命科学部, 北京 100085)

[摘要] 国家自然科学基金委员会于2012年8月25—27日在贵阳主办了主题为“典型生境重要地球元素循环的微生物驱动机制”的第77期“双清论坛”。此次会议主题涉及微生物学、地球化学、生态学和生物信息学等领域, 学科交叉显著。专家们围绕微生物在海洋、湿地和土壤元素循环中的驱动机制和地微生物学研究中的新技术和新方法等方面的热点问题、研究进展和发展趋势展开了交流和讨论。经过研讨, 专家们一致认为, 全面启动该领域研究的时机已经成熟。专家们结合我国的研究现状, 凝练和提出了相关的前沿科学问题, 提出从微生物的新代谢途径和新能量储存方式出发, 解析微生物对生态系统元素循环的驱动作用。

[关键词] 生境, 元素循环, 微生物, 驱动机制, 双清论坛

岩石圈、水圈、大气圈和生物圈构成了地球系统, 作为一个封闭系统, 物质在各圈层中互相作用、迁移及转化。微生物不仅是分解者的主体, 也是生产者的重要组成部分, 在生态系统中具有重要的地位。在各种生命形式中, 微生物分布最广泛, 从高山到深海, 从地表到深层, 从冰川到火山, 从冷泉到热泉, 从沙漠到湿地, 不同的生境孕育了不同的微生物类群和不同的生存代谢方式。已有的生物地球化学研究表明, 微生物在地球元素循环中发挥着关键的驱动作用。微生物通过氧化还原反应塑造着地球表面的氧化还原状态, 促进岩石风化和土壤及矿床形成, 改变海洋的成分和土壤生产力; 它们通过光合、固氮和生物转化作用改变大气成分, 推动地球与生命的共进化。现代微生物学研究已有100多年的历史, 但人类仍对99%以上的微生物及其在地球化学循环中的作用知之甚少。近期研究表明, 微生物催化的厌氧甲烷氧化过程可将在海底产生的甲烷中的75%转化为碳酸盐沉淀, 从而避免了大量海洋温室气体的释放; 微生物催化的厌氧氨氧化反应则衔接了先前不完整的氮循环。然而, 这些新近发现的途径只是微生物丰富的代谢途径多样性的冰山一角。

长期以来, 由于研究思路和技术手段的限制, 人类对微生物在各种环境元素循环中的作用认识不足。近些年, 基因组学技术、单细胞技术、微生物培养技术、计算机技术(生物信息学和复杂体系的建模)、生物地球化学技术、深海取样技术等的发展和建立, 为探讨微生物在地球元素循环中的作用机制提供了技术支撑, 并使得研究所需的学科交叉(如生态学、气候科学与微生物生理学, 地质科学与微生物多样性)具有可行性。为了推动该领域的发展, 国家自然科学基金委员会于2012年8月25—27日在贵阳主办了主题为“典型生境重要地球元素循环的微生物驱动机制”的第77期“双清论坛”。

中国科学院水生生物研究所赵进东院士、中国科学院上海生命科学研究院赵国屏院士、厦门大学焦念志院士、中国科学院微生物研究所黄力研究员共同担任论坛主席。来自中国科学院微生物研究所、中国科学院水生生物研究所、中国科学院上海生命科学研究院、中国科学院生态环境研究中心、中国科学院地球化学研究所、北京大学、清华大学、厦门大学、中国农业大学、上海交通大学、美国Oklahoma大学等25个科研院校的40余名在相关领域具有丰

本文于2012年11月15日收到。

富研究经验的知名专家、教授以及国家自然科学基金委员会生命科学部、地球科学部和政策局等部门的同志参加了本次论坛。此次论坛的主要目的是鼓励在民主、自由的学术氛围中,促进不同学科的专家进行学术思想的碰撞,探讨微生物在各种地学和生态学宏观问题中的作用。研讨会提出了若干重要的科学问题,分析了限制和制约该领域发展的主要问题和困难,为中国今后在该领域的发展和资助提供了科学参考。

1 学术报告概况

在为期两天的会议期间,共有 36 位专家进行了学术报告。他们分别从“海洋碳循环的微生物驱动机制”、“湿地湖泊碳循环的微生物驱动机制”、“土壤碳氮循环中的微生物驱动机制”、“微生物在地球地质过程中的作用”和“地微生物学研究中的新技术和新方法”等几个方向进行了学术交流和讨论。

1.1 海洋碳循环的微生物驱动机制

海洋生态系统在全球碳循环中起着决定性作用,海底沉积物是全球最大的有机碳库之一,而微生物在海洋有机碳循环过程中发挥着重要作用,深入探讨海洋微生物的碳循环代谢过程、关键酶类及其作用机制,将为全球碳循环研究提供重要的理论依据。围绕该研究方向,十几位专家分别从藻类、细菌、嗜盐古菌、胞外酶、微型生物碳泵、深海热液区微生物多样性及成矿、甲烷的厌氧氧化过程等角度阐释了微生物在海洋不同区域、不同代谢过程中的作用。中国科学院水生生物研究所赵进东院士做了“藻类在硫循环碳循环中的作用”的报告,从微藻产生甲硫醚和合成纤维素的角度,阐述了微藻在水体硫循环和碳循环中的作用和意义。中国科学院微生物研究所的向华研究员发现极端嗜盐古菌可通过乙酰-CoA 羧化途径将 CO_2 固定形成 PHBV 进行碳储存,并实现进一步循环利用,该结果加深了我们对高盐环境中碳循环新途径的认识。上海交通大学肖湘教授在“厌氧甲烷氧化的人工模拟与代谢途径环境基因组分析”的报告中介绍,他们利用自行设计的高压流动培养系统,获得了高度富集的厌氧甲烷氧化古菌与共生硫酸盐还原菌共生体 (ANME-2/SRB),发现了甲烷产生的完整途径,证实了厌氧甲烷氧化是甲烷产生途径的逆过程,在 ANME-2 还发现了不同的电子传递途径。厦门大学汤凯在“海洋碳循环与微型生物碳泵 (MCP)”报告中介绍了“海洋微型生物碳泵”的研究现状及发展趋势,涉及 MCP 的过

程、机制与调控,MCP 与微生物功能类群的关系,MCP 的能量代谢特征与储碳效率等。中国科学院过程工程研究所邢建民研究员在“硫酸盐还原菌的碳代谢及在海洋碳循环中的作用”的报告中介绍了硫酸盐还原菌 (SRB) 在海洋有机碳代谢中的重要作用。

1.2 湿地湖泊碳循环的微生物驱动机制

湿地是一个多功能的、富有生物多样性的生态系统,能够吸收大量的二氧化碳,产生氧气,同时湿地也会排放大量的甲烷、氨气等气体。中国科学院微生物研究所东秀珠研究员在“古菌的自养型固碳氮及其生态学意义”的报告中,介绍了近年发现的 6 条微生物固碳途径,并根据携带新的碳固定途径的海洋古菌在海洋中的优势地位,推测这个新固碳途径可能对海洋的碳通量具有重要贡献。根据湿地优势的甲烷古菌的基因组信息,推测偶联于氮代谢的碳循环可能在低温湿地中发挥重要作用。湖泊是陆地水圈的重要组成部分,具有极其活跃的碳源和碳汇功能。中国科学院南京地理与湖泊研究所吴庆龙研究员的“湖泊稳态转换下的碳循环及其微生物驱动”报告,在阐述湖泊内部不同稳定态下浮游细菌结构具有较大差别(在植被分布区内浮游细菌的结构差异更高)后,提出应关注不同稳态下有机质分解过程、微生物的偶联关系及其环境调控机制和湖泊的稳态转换是否导致湖泊的碳汇功能发生变化等问题。山东大学李越中教授的“粘细菌的种群生态”报告,从一个新的视角阐述了粘细菌与物质代谢和循环的关系,他们认为粘细菌是降解难降解大分子有机物残骸的主要菌群,而且其能够捕食其他微生物,可以调控微生物群落种群组成。

1.3 土壤碳氮循环中的微生物驱动机制

陆地生态系统的元素循环有较多研究,但人们对微生物在土壤中的种类、分布、不同季节的活动规律及其在元素循环中所起的调控作用仍然了解不多。中国科学院环境生态研究中心贺纪正研究员在“土壤氮素转化的关键微生物过程”的报告中介绍,他们于 2007 年首次报道了酸性土壤中存在大量氨氧化古菌,氨氧化古菌的数量与土壤硝化潜势呈显著正相关关系,氨氧化古菌和氨氧化细菌的组成因不同土壤和不同管理方式(如施肥)而有所不同,由于氨氧化古菌的发现,硝化作用过程和硝化微生物的贡献需要进行重新评估。中国科学院研究生院王艳芬教授在“土壤碳氮周转过程与微生物功能群:土壤微生物生态学研究中的复杂性与不确定性”报告

中以高寒湿地土壤微生物功能群与甲烷排放的关系和高寒草甸土壤微生物功能群与 N_2O 排放为例阐述了微生物功能群在土壤碳氮周转过程中的作用机理。中国科学院南京土壤研究所褚海燕研究员针对高寒土壤微生物的空间分布及其对气候变化的响应做了报告。中国农业大学陆雅海教授在“脂肪酸互营氧化”的报告中,生动地介绍了水稻土中脂肪酸的互营氧化现象,即有机质的厌氧降解产生短链脂肪酸积累,这些脂肪酸的厌氧氧化为吸热反应,在热力学上不能自发进行,因此需依靠产甲烷古菌消耗氧化反应的产物并使其浓度保持在很低水平时,脂肪酸氧化才能克服能量障碍而进行。他们运用稳定同位素探针技术,不仅发现了经典互营氧化菌的作用,而且发现大量未培养细菌在互营过程中起关键作用;研究还发现参与互营氧化的产甲烷古菌群落因脂肪酸种类而变化,表明互营菌群之间的专一性互营关系,该研究对揭示水稻土有机质降解和甲烷产生的微生物作用机制有重要意义。

菌根真菌是土壤微生物中生物量最大的类群,近些年,人们逐渐关注对菌根的研究,中国科学院微生物研究所郭良栋研究员在“菌根真菌在土壤碳循环中的作用”的报告中介绍,植物光合产物大约有3%—20%可转移到菌根真菌中,占土壤有机碳的15%,而且这些有机碳主要是以菌根真菌的蛋白质、细胞壁的几丁质和菌丝分泌的球囊霉素形式存在,可稳定存在于土壤中达几十年,具有重要的碳汇功能;菌根真菌与土壤微生物间存在有益或拮抗的相互作用,可直接或间接地影响根际生物区系的组成、数量和功能,从而影响土壤有机碳的循环。根瘤菌是与豆科植物共生,形成根瘤并固定空气中的氮气供植物营养的一类杆状细菌,由于根瘤菌对农业和土壤改良的影响非常大,多年来一直备受关注。华中农业大学张忠明教授的“豆科植物共生信号途径及根瘤菌与非豆科植物共生的可能性”报告,介绍了国际上豆科植物调控内生体(根瘤)形成的进展情况及他们实验室在豆科植物中共生信号转导途径及调控机制的研究成果,希望大力开展非豆科植物遗传改造及共生特性的研究,为建立非豆科植物共生固氮体系奠定理论基础。西北农林科技大学韦革宏教授以“根瘤菌-豆科植物共生固氮体系对污染土壤的生物修复作用”为题介绍了他们筛选获得的抗性根瘤菌和对抗性机理的研究进展,研究还发现一些抗重金属根瘤菌可以分泌植物激素、维生素、铁载体、ACC脱氨酶、挥发性化合物、有机酸等促植物生

长物质。

1.4 微生物在地球地质过程中的作用

微生物分布广泛,对地球地质形成过程有很大的影响,3位专家介绍了相关工作。武汉地质大学谢树成教授在“泥炭地甲烷菌对碳循环的影响”报告中介绍,他们在神农架大九湖泥炭地,利用来源于产甲烷古菌的标志化合物揭示了两次甲烷释放的高峰。中国科学院地球化学研究所连宾研究员“对喀斯特区域微生物驱动的碳循环的初步认识”的报告介绍,他们从喀斯特森林土壤分离出一株能利用 NO_3^- 为惟一氮源的真菌 *Alternaria* sp.,发现其具有通过硝酸盐还原作用固定 CO_2 诱导形成碳酸钙的能力;发现胶质芽孢杆菌(*Bacillus mucilaginosus*)能通过碳酸酐酶催化的水合反应固定 CO_2 ,吸收水合反应产物 HCO_3^- ,并把它掺入到菌体代谢中;利用碳酸盐岩表面分离到的多种微生物可以诱导碳酸盐颗粒的形成。结果均暗示岩溶地区地下水及其流域中的 HCO_3^- 不仅仅可以被光合微生物所吸收,还有部分会被非光合作用微生物所利用,这对解释当前全球大气 CO_2 的收支不平衡具有重要意义。北京大学鲁安怀教授的“非光合微生物获取能量新方式研究”报告,提出了“光电能”营养型微生物通过半导体矿物获得太阳能的一种新型能量储存方式。他们的研究发现,自然界常见的半导体矿物如金红石(TiO_2)、针铁矿($FeOOH$)和闪锌矿(ZnS)等,在可见光下发生光催化作用所产生的光生电子,可沿着半导体矿物与微生物之间所形成的长程电子传递链最终传递给微生物,刺激并促进非光化能自养型微生物氧化亚铁硫杆菌(*Thiobacillus ferrooxidans*)和非光化能异养型微生物粪产碱杆菌(*Alcaligenes faecalis*)的大量生长,并能显著改变土壤微生物群落构成,预示这些微生物可以利用光生电子作为能源,该结果将增进人们对地球上微生物生命活动、能源获取与利用方式的理解。

1.5 地微生物学研究中的新技术和新方法

新技术和新方法是推动生命科学基础研究的技术保障,更是交叉学科发展的前提。7位专家针对微生物在地球元素循环中的作用介绍了与研究相关的新技术、新方法及其在实际中的应用。中国科学院上海生命科学研究院赵国屏院士“基因组时代的微生物系统分类学”的报告,针对目前细菌系统分类学研究中正被广泛采用的策略的弊端,提出要充分利用基因组数据,改善原核生物的系统分类学和分子生态学研究,报告认为今后应努力探讨该技术发

展方向及其在相关科学研究和资源开发中的应用。美国 Oklahoma 大学周集中教授做了“From Community Structure to Functions: Metagenomics Technologies, Current Status, Challenges and Future Perspectives”的报告,他首先详细阐述了环境基因芯片开发的最新进展,对比了不同的元基因组技术在分析微生物群落结构中的优缺点,又举例说明如何使用高通量元基因组学技术解决生物学问题,如在草地生态系统中微生物介导的对气候变暖的反馈机制,报告还介绍了一个用于辨别微生物群落网络相互作用的基于随机矩阵理论的计算机新方法。复旦大学全哲学教授在“追寻遗漏的微生物”报告中介绍了5种追寻“遗漏”的微生物的方法,包括基于分离培养、常规群落结构分析、元转录组分析的方法、利用元基因组公共数据库的方法、通过高简并引物的两步 PCR 方法。他们开发了基于元转录组的、不需要特定引物的微生物群落结构分析方法,此方法可用于同时分析细菌、古菌和真核微生物,而且可以准确鉴定微生物群落结构,所能检测到的微生物多样性远高于传统方法,可发现很多以前“遗漏”的功能微生物。国家人类基因组南方研究中心王升跃研究员在“高通量测序技术在地球各类环境微生物群落结构和相关作用研究中的应用”的报告中介绍,国家人类基因组南方研究中心建立了一系列微生物群落基因资源的大规模分离和鉴定技术体系和数据处理与分析平台,为开展地球环境微生物结构及其在环境中的作用研究奠定了基础。中国科学院微生物研究所刘双江研究员以“稀有微生物群体(rare microbiosphere)——占群体中多数的少数:其概念及研究策略”为题,阐述了稀有微生物群体的概念,认为这些微生物虽然单个物种占整个群体的比例小,但如果把生态系统中所有稀有微生物物种加起来,数量往往超过整个群体的75%以上,为了加强对未知微生物的认知和研究,他建议从微生物元基因组、培养更多微生物和加强模式微生物菌种研究3个方面入手。中国科学院南京土壤所贾仲君研究员在“土壤微生物多样性:方法与展望”的报告中针对目前土壤微生物研究中的问题,阐述了其对样品采集、土壤DNA提取、风干土和新鲜土壤在样品测试中的优缺点、土壤微生物多样性高通量测序等的看法,并对室内短期实验能否代替野外长期实验和微尺度的模拟实验能否反映大尺度下土壤的氨氧化等问题进行了讨论,认为今后应构建土壤微生物多样性研究的标准方法体系和创新土壤微生物研

究新技术。杨云锋教授“环境基因芯片(GeoChip)在土壤碳氮循环领域的应用”的报告,介绍了他们利用GeoChip开展的工作,如在青藏高原草甸,发现由于环境压力的原因,土壤微生物群落结构、植物群落和碳氮循环存在异常显著的相关性,而放牧对土壤微生物群落结构和参与碳氮循环的功能基因产生了明显扰动,他们通过土壤移栽实验,发现一批对环境变化敏感的碳氮循环相关基因。这些分子水平的功能基因研究,为土壤碳氮循环的现象提供了机理解释。

2 研讨产生的共识

微生物在重要地球元素循环中的驱动机制,不仅是地生物学领域的重大科学问题,而且是关系到经济社会可持续发展的战略问题。大约10年前,我国科学家已经意识到开展微生物在地球元素循环中的作用研究的重要性,提出了有关建议。近年来,我国的相关研究工作逐步展开并取得了重要进展。2011年夏天,20多位科学家在一起进行了研讨,对该领域的发展状况、态势以及亟待解决的科学问题进行了讨论,初步提出了“典型生境重要地球元素循环的微生物驱动机制”的科学主题。2011年10月,黄力研究员在生命科学部专家咨询组会上介绍了关于推动我国该领域发展的想法。2011年,美国微生物学会出台的“将微生物过程整合于气候模型”的报告及发达国家的深海研究计划,均将微生物的驱动作用作为重点研究内容。本次论坛的与会专家经过充分的交流和讨论,认为国内已经拥有一支高水平的研究队伍,取得了有国际影响的初步研究成果,全面启动该领域研究的时机已经成熟。发达国家在该领域已开始部署,目标不仅是科学前沿,更是面向大洋、极地、土壤等各类资源的评估和开发。为了应对国际竞争压力,建议国家自然科学基金委员会高度关注该领域的国际发展动向,安排相应的项目系列,如考虑重大研究计划等,以推动我国在这一领域的发展。

3 凝练出的重要科学问题

专家围绕论坛主题和4个领域方向,根据国内外研究现状和存在的问题,提炼出本领域的以下科学问题:

3.1 特定环境中驱动碳、氮、硫等重要元素循环的微生物及群落结构

开展特定环境中驱动碳、氮、硫循环的功能微生物

物及其群落结构研究,特别关注新功能微生物类群,尤其是重要的“储碳”功能微生物类群、湿地及土壤产温室气体的微生物类群(如产甲烷及厌氧氧化甲烷的古菌、土壤氨氧化古菌)、形成海洋重要惰性溶解有机碳的微生物类群(微型生物碳泵);分析微生物的时空分布特征(环境特异功能类群)、多样性维持机制、种间互作、与病毒相互作用、代谢耦合、时空响应,阐明它们对特定环境碳、氮、硫等元素循环的贡献和驱动机制。

3.2 特定环境微生物的碳、氮、硫代谢新途径

近年在地球元素循环中,发现了一些新的微生物,它们具有全新的碳固定途径或新的有机碳氮化合物分解途径。如海洋古菌中新的碳固定途径可能对海洋及其沉积物碳固定通量具有重要贡献;海洋“微型生物碳泵”可能是重要的海洋碳汇。开展典型环境元基因组研究,分析微生物不同碳、氮代谢途径的生境分布;开展功能微生物生理学及基因组学研究,发现新的代谢途径;关注不依赖光能的海洋古菌/细菌的碳固定途径、尤其是重要“储碳”微生物代谢途径的研究。

3.3 微生物能量获取及储存新途径

海洋中大量的微生物、尤其是古菌,以非光合作途径获得并储存能量;古菌具有利用“能量极限代谢途径”的储能机制(如多种ATP合成耦合机制、电子歧化介导的电子逆向传递机制);我国科学家还发现了通过半导体矿物获取光能的“光电能微生物”。建议开展不依赖于光合作用生命体系的能量获取及储存机制;开展光电子调控矿物与微生物相互作用机制的研究。上述研究可为地球生命起源与生物早期演化的能量储存机制提供新的研究思路,将可能有重大的理论突破。

3.4 环境微生物学新技术的开发与运用

无论是从地质学发现厌氧甲烷氧化现象到微生物学家揭示驱动此过程的微生物类群和可能的代谢途径,还是海洋学家发现厌氧水域的氨亏损到厌氧氨氧化微生物及其代谢途径的解析,无一不是通过学科交叉和技术发展实现的。因此,发展和开发新的环境组学技术、单细胞分析技术、同位素示踪技术、原位观测技术、新培养技术、学科特异的生物信息学技术等,可从时间和空间尺度上综合分析微生物在地球物质循环中的代谢活力和通量贡献,从而准确认识微生物的生命过程对生态环境的影响,并可利用新理论设计生态学模型,突破传统微生物学研究的局限。

4 若干建议

经过热烈的讨论,专家们对如何开展及如何做好该领域研究提出了很多富有建设性的意见和建议:

(1) 要推动实质性的多学科交叉。该领域的研究具有学科交叉性,既包括微观研究也需要宏观的视角,涉及微生物学、地学、生态学,该领域研究的深入依赖于不同学科间的交融和合作,依赖于理论和观念的更新,这就要求今后要寻找可行的切入点,使不同学科的专家有兴趣围绕同一目标开展深入研究。

(2) 要以这次会议为契机,针对中国独特的生境、独特的资源开展创新性、前瞻性和引领性的研究,要有前瞻的研究目标,避免我国在该领域一味赶热点、仅仅做一些跟踪性工作的情况。

(3) 要注意研究的系统性,应从微观入手,采用自下而上的研究方式,解决宏观科学问题。微生物丰富的代谢多样性是在与地球共进化中形成的,从探寻人类未知的、新的代谢途径和新的能量储存方式着手,在微生物基因、物种、种群、群落等不同层次,解析微生物对整个生态系统元素循环的作用。

(4) 要加强新技术手段的研究。技术手段的缺乏是目前该领域发展的最大制约因素。创建新的技术平台、新的研究手段、新的方法,以打破研究的瓶颈制约,解决新的科学问题,发现新机制,提出新理论。

(5) 要关注地球元素循环的整体性,重视微生物种间耦合作用。微生物在地球元素循环中的作用涉及多个物种间的耦合作用,它们驱动的元素循环,如碳、氮及硫等的循环相互关联。

综上所述,第77期双清论坛“典型生境重要地球元素循环的微生物驱动机制”完全体现了“双清论坛”以问题为导向的科学、民主、自由的宗旨,促进了不同学科的交叉和多种学术思想的交融与碰撞。经过研讨,与会专家提出了很多建设性的意见和建议,凝练出了许多重要的前沿科学问题,并且达成了共识,认为开展该领域研究的时机已经成熟,而该研究既有理论创新的意义,又有利国利民的现实意义,还可以催生新的技术、方法和平台的建立。大会主席赵进东院士在总结中还特别强调不同学科专家合作的重要性,希望每位专家都要在整体的系统中找到自己的位置,开展特色研究。

(下转第153页)

KEY SCIENTIFIC ISSUES ON THE PATHOGENESIS AND REPAIR OF SPINAL CORD INJURY — Summary of 81th Shuangqing Forum

Wu Zhourui¹ Zhu Yuangui² Cheng Liming¹ Sun Yi¹
Dai Jiangwu³ Cao Heqin² Dong Erdan²

(1 *Affiliated Tongji Hospital of Tongji University, Shanghai 200065*; 2 *National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085*;
3 *Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Science, Beijing 100101*)

Abstract Spinal cord injury (SCI) has remained a challenging area for scientists and clinicians due to the adverse and complex nature of its pathogenesis. To date, clinical therapies for debilitating SCI are largely ineffective. In order to promote the research and enhance the collaboration in this field, National Natural Science Foundation of China (NSFC) held the 81st Shuangqing Forum entitled “Critical scientific issues in spinal cord injury and its repair”. This forum mainly focuses on the advance of clinical therapy, the pathogenesis of secondary injury, and the transplantation-based treatments after SCI. Moreover, key scientific issues on this field are compacted and discussed in the forum. Finally, suggestion are proposed for the basic and clinical research, and funding support for SCI in the coming decade in China.

Key words spinal cord injury, secondary injury, repair, regeneration, stem cells

(上接第 132 页)

include the developments of Aberration-corrected transmission electron microscope, and its application in the observation and modulation of materials interface. After a lively discussion, the forum reached summarization of the key scientific issues of the field, and suggested highlights in the further Funding scheme.

Key words transmission electron microscope, aberration-corrected, materials science

(上接第 137 页)

REVIEW ON THE 77TH SHUANGQING FORUM “MECHANISMS OF MICROBIAL DRIVEN CYCLING OF BIOGENIC ELEMENTS IN TYPICAL ECOSYSTEMS” —Summary of 77th Shuangqing Forum

Yang Haihua¹ Dong Xiuzhu¹ Huang Li¹ Lian Bin² Wen Mingzhang³

(1 *Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*;

2 *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002*;

3 *Department of Life Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085*)

Abstract The 77TH Shuangqing forum focused on “mechanisms of microbial driven cycling of biogenic elements in typical ecosystems” was held in Guiyang during 25—27TH, August 2012. Topic of this forum was related to microbiology, geochemistry, ecology and bioinformatics. Participants reported their own work and discussed hot issues and trends in the study of microbial driven cycling of biogenic elements in the oceans, wetland and soils. Technological innovations in geomicrobiology were also a main topic in the forum. The participants reached a consensus on starting a new research initiative and outlined important research, taking into consideration the current status of research in the field in China. They also suggested that the new initiative should aim to understand mechanisms underlining microbial driven cycling of biogenic elements in typical ecosystems by focusing on novel metabolic pathways and novel ways of energy conservation.

Key words ecosystems, cycling of elements, microbe, driving mechanism, Shuangqing Forum