

山地生态地球化学——定义、进展及展望

吴艳宏¹⁾, 邴海健^{2,3)}

1) 中国科学院—水利部成都山地灾害与环境研究所, 贡嘎山高山生态系统观测试验站, 成都, 610041;

2) 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 湖泊科学与环境国家重点实验室, 南京, 210008;

3) 中国科学院研究生院, 北京, 100049

内容提要:生态地球化学是生态学和地球化学相结合的学科, 研究自然界中化学、物理、地质和生物过程, 以及这些过程之间的相互作用及其对生态系统发生、发展所产生的影响, 具体而言生态地球化学通过化学物质在生态系统中的分布、分配、迁移、转化规律研究, 评价生态系统状态及发展方向。生态地球化学虽然形成较晚, 西方科学家甚至很少用“生态地球化学”这一名词, 但国内外都已取得了长足进展, 形成了以生态地球化学填图为基础, 生态安全和健康评价为目的的多个独立生态系统的生态地球化学研究方向, 如城市生态地球化学、湿地生态地球化学等。山地是陆地最主要的地貌单元, 具有独特的生态系统特性, 国内外山地生态地球化学研究尚未系统开展, 但在山地元素地球化学、生物地球化学和生态地球化学评价等方面均已有了相当显著的成果, 今后山地生态地球化学研究在加强理论研究的同时, 要注重建立完善的方法体系、研究体系和生态效应评价体系, 为山地生态地球化学预警和生态保护、恢复提供依据。

关键词:生态地球化学; 生物地球化学; 化学物质循环; 生态系统; 山地

“生态地球化学”(Ecogeochemistry)一词近年来在我国地质学界频繁出现, 并且被称之为“地质工作的重要创新领域”(张建新, 2006), 2009年4月20~23日香山科学会议第348次学术讨论会围绕“生态地球化学环境与健康”召开, 标志着我国生态地球化学发展进入新的发展阶段, 并指出了生态地球化学研究中的重大科学问题(韩存志, 2009)。近些年来, 生态地球化学有了长足的发展, 还逐步形成了“城市生态地球化学”(杨忠平等, 2009)、“湿地生态地球化学”(姚志刚等, 2006)等专门针对独特生态系统单元的研究领域。西方文献中很少提及“生态地球化学”这一名词, 而是更多地使用“生物地球化学”(Biogeochemistry), 事实上“生态地球化学”和“生物地球化学”是相对独立的两门学科, 存在着相互联系, 又有所区别, 研究内容各有侧重, 不应产生混淆或者互相取代。

本文将对“生态地球化学”和“生物地球化学”提出笔者的认识, 并提出山地这一独特生态系统中“山地生态地球化学”的概念、研究进展及研究展望。

1 山地生态地球化学的定义

生态地球化学顾名思义是生态学和地球化学相结合的学科, 而生物地球化学是生物学和地球化学相结合的学科。生态学是研究生物与环境及生物与生物之间相互关系的分支学科; 生物学, 又称生命科学或是生物科学, 是研究生命物质结构、功能、发展规律及与环境之间相互关系的科学。这样两个相对独立的学科与地球化学相结合产生了生态地球化学和生物地球化学, 它们的研究重点和相互关系也服从于生态学和生物学各自的研究内容和相互关系。

生态地球化学一词最早出现在1988年前苏联召开的“第四届当代条件下地球化学勘查的理论与实践”会议文集中(杨忠芳等, 2005)。国内生态地球化学这一术语是近些年由勘查地球化学部门提出的, 它与生物地球化学、元素地球化学、环境地球化学、土壤地球化学、勘查地球化学、生态学、土壤学等一系列学科相互交叉、相互联系, 以系统地统筹考虑整个生态系统中物质迁移与生态效应之间的关系(杨忠芳等, 2004)。综合国内外对生态地球化学这

注: 中国科学院重要方向性项目(批准号: KZCX2-YW-BR-20)资助的成果。

收稿日期: 2011-06-08; 改回日期: 2011-08-30; 责任编辑: 章雨旭、黄敏。

作者简介: 吴艳宏, 1969年生。博士, 研究员。中国科学院“百人计划”入选者, 主要从事生物地球化学研究。电话: 028-85257118; Email: yhwu@imde.ac.cn。

一新领域的认识,它以元素及其化合物在生物—地质复合系统中的循环为基础,以地球化学及其与环境、生物等交叉的边缘学科的方法原理为依托,以元素对人的影响为核心,研究元素在系统中的分布、分配、迁移、转化规律,并评价其生态效应(张建新, 2006)。纵观国内外对于生态地球化学的定义及其研究内容,可以认为:生态地球化学较多的侧重于多个地球化学过程的生态效应、环境效应,是通过地球化学指标对生态环境状态进行描述、评价的一门科学。生态地球化学调查和评价,已成为我国地质工作近年来重要的创新工作(张建新, 2006),国际上生态地球化学研究开展较为领先的是俄罗斯、芬兰、挪威等国家在北极附近共同开展的“Kola Ecogeochemistry”研究计划(Äyräs et al., 1996; <http://www.ngu.no/Kola>)和“Barent Ecogeochemistry”研究计划(Salminen et al., 1999; <http://projects.gtk.fi/barents/index.html>)。

较生态地球化学一词早 60 多年,也是前苏联科学家提出了“生物地球化学”的概念(Schlesinger, 2005)。生物地球化学研究包含了自然界中化学、物理、地质和生物等多个过程及其相互作用的研究,这些过程和相互作用控制了自然环境(包括岩石圈、生物圈、水圈和大气圈)的发展方向、过程和结果。概括地说生物地球化学关注不同圈层的化学物质循环及其与生物的相互作用,相对于生态地球化学来说,是针对“过程”开展研究的一门科学。

生物地球化学是生态地球化学研究途径之一,或者说生物地球化学为地球化学的生态效应评价提供了有效手段。生物地球化学是生态系统形成、发展、演化的驱动力之一,是“因”之一,生态地球化学是生物地球化学、元素地球化学、环境地球化学、土壤地球化学等一系列地球化学过程所产生的生态学状态,是“果”。

山地是具有一定的海拔高度、相对高度和坡面的地质体,它是一个生态复杂的系统,具有独特的结构和功能,而且拥有丰富的资源,包括生物资源、水资源、矿产资源、旅游资源等。UNEP—WCMC (2002)对山地做了细致的定义,将山地分为四类:

(1)海拔在 300 ~ 1000 m 之间,但相对高度在 300 m 以上的区域。

(2)海拔高度在 1000 ~ 1500 m 之间,但坡度在 5°以上或相对高度在 300 m 以上的区域。

(3)海拔在 1500 ~ 2500 m 之间,但坡度在 2°以上的区域。

(4)海拔大于 2500 m 的所有地区(UNEP/WCMC, 2002;方精云等, 2004)。

按照这一标准,全球约 22% 的表面积属于山地,而且分布广泛,从赤道到极地几乎都有山地分布;而根据丁锡祉等(1996)的定义,我国山地面积达到全国总面积的 2/3(包括高原和丘陵)。作为全球物质能量循环的起点,山地是最主要的物源区,山地系统的生态环境状况,关乎到山地本身,更影响到山地以下的平原、水体,乃至海洋的生态环境安全。

山地生态地球化学是针对山地生态系统开展各要素中元素或化合物的组成特征、来源、含量、形态、迁移转化规律及其所产生的生态环境效应研究的一专门学科。山地往往具有较大的海拔梯度,气象、水文、生态指数在较短的水平距离内产生较大的改变,一些海拔较高的山体甚至表现出从热带到寒带的所有气候、水文和生态特征,山地系统中生物多样性高,气候、水文和生态序列完整,因此山地生态地球化学的发展、演化具有其独特性、多样性和复杂性。

山地生态地球化学作为一门新学科的兴起具有重大意义,涵盖了山地生态学和地球化学等学科,它以生态学和地球化学的方法原理为依托,以研究山地系统中元素及其化合物的分布、迁移转化规律为核心,以探索山地生态环境的演替趋势为目的,从而建立评价山地生态环境在自然和人为影响下的生态效应标准。

2 山地生态地球化学研究进展

2.1 山地元素地球化学研究

海拔高度差异显著导致山地系统中的气候状况、生态系统组成存在较大差异,这是高山生态系统区别于其它生态系统的主要特征,也使得山地元素地球化学研究变得非常复杂。目前,国内外对山地元素地球化学循环过程主要侧重于营养元素、重金属元素和特定化合物如有机污染物的研究。

2.1.1 山地营养元素地球化学研究

营养元素作为植物、微生物生长发育的主要影响因素受到很多研究者的关注。森林生态系统作为全球巨大的碳汇之一,是全球变暖研究的主体,很多有关森林系统碳的收支平衡研究在山地区域开展(Dixon et al., 1994; Hall et al., 2001; Davis et al., 2003),涉及到了碳元素的循环机理研究。相对于碳循环的研究,N、P、S 等营养元素,尤其是 N 和 P 作为植物生长的限制性元素(Schulze et al., 1994; Whitehead et al., 1997; Niinemets and Kull, 2003,

2005),受到更多山地元素地球化学研究的重视。

Köhler 等(2006)对西班牙 Teide 山不同高度土壤和植物中营养元素(N、P、Ca、K、Mg)进行了测定,以了解高度对元素分布的影响,另外发现由于高度差异所导致的小气候和水文要素对元素的分布影响较大;Unger 等(2010)也针对不同高度下热带雨林土壤中营养元素(N、P、Ca、K、Mg)的变化进行研究,测定了不同高度下有机和矿物土壤表层氮的净矿化和硝化速率、植物可用 P 以及 Ca、K、Mg 的浓度水平。Wu 等(2006)研究了中国北部长白山苔原生态系统中营养元素(N、P、S)的循环,强调了微生物对有机物的矿化作用。Berg(2000)利用模拟的手段对森林土壤中凋落物的降解和有机物的转换进行了研究。在降解时,某些营养元素(如 N、P、S)的减少限制了纤维素等物质的降解速率。Moller 等(2002)专门对高山生态系统中土壤中硫元素的形态进行研究,发现土壤中硫的各形态之间、C 和 N 与 S 及其形态之间具有密切联系。

山地系统中磷的研究多集中于土壤中磷的迁移转化、生物可利用性及其影响因素研究。Turrión 等(2008)对西班牙 Sierra de Gata 山地土壤中磷的可利用性研究发现,岩石类型、降水、坡向、土壤有机物、叶片凋落物的产生以及金属络合物等因素都会对生物可用磷的含量造成影响。Kaňa 和墨 Kopáček(2006)的研究表明,湖泊流域内土壤中磷酸盐的吸附主要受 Al 和 Fe 的氧化物含量控制,基岩较高的释磷能力和土壤较低的吸附磷酸盐的能力导致了湖泊磷的陆源负荷加重。Turrión 等(2007)发现植被类型的差异对土壤中磷的形态也具有重要影响,同时指出可迁移的无机磷形态对土地利用类型比较敏感,可以作为土壤质量的指示者。而 Porder 等(2007)模拟研究了地块的抬升、侵蚀和土壤深度对磷的迁移性和生物可利用性的影响。另外,森林的砍伐和燃烧对土壤中营养元素的迁移转化也存在着显著作用,不同程度上影响着生物可利用的营养元素在生态系统中的循环(Giardina and Rhoades, 2001; Palviainen et al., 2004; Turrión et al., 2010)。

许多研究表明土壤中营养元素与重金属元素之间存在着密切联系(Yu and Zhou, 2009; Lin et al., 2010; Zhang and Zhang, 2010),但是通过野外试验对其研究还较少,尤其在高山生态系统中的研究尤为稀少。Melamed 等(2003)在 Pb 污染的土壤进行了小规模的野外试验来评价磷对土壤中 Pb 固定

的影响,发现磷的添加导致土壤中 60% 的 Pb 由非残渣态转化成残渣态,使土壤 Pb 对植物的毒性下降。在土壤—植物系统内,磷可以导致重金属元素的迁移或者固定(Cao et al., 2003; Ware et al., 2003),其中土壤中重金属的固定涉及到重金属与磷酸盐之间发生吸附、沉淀和络合反应;重金属的迁移主要是因为磷酸盐可以酸化土壤(pH 值下降),导致不溶或者难溶的金属元素溶解,而且阳离子的替换反应也会导致重金属离子进入土壤溶液,最后被动植物吸收,当含量达到一定程度就会产生毒害作用;另外,菌根群落分泌的酸性物质也可以使土壤 pH 下降。

总之,营养元素在山地生态系统中的循环是复杂而存在规律的,营养元素之间以及营养元素与微量元素、有机物、植物、微生物之间存在密切的关系。因此,研究山地系统中营养元素及其化合物的迁移转化规律必须将其放到整个系统的角度上进行研究。

2.1.2 山地重金属元素地球化学研究

山地生态系统由于其地理位置而成为评价大气污染程度和来源的适宜区域(Battarbee et al., 2002),由于冷凝作用和大气沉降的增强,高山区域往往是大气污染物的汇。对高山生态系统不同研究对象的研究,可以获取重金属污染或者富集目前所处的状态,在不同系统中的迁移转化机制、污染历史和来源,以及人类活动对重金属污染的影响。

土壤作为重金属元素主要的汇,也是金属元素进入食物链的主要来源(Niskavaara et al., 1997)。Bacardit 和墨 Camarero(2010a)对欧洲比利牛斯山中不同高度土壤中重金属(As、Cd、Cu、Ni、Pb、Zn)的污染程度和来源进行了探讨,海拔高度和岩性是元素分布差异的主要因素,而不同高度下的气候梯度对元素的富集具有重要影响。类似的研究还有,Purohit 等(2001)研究了喜马拉雅山 Doon 峡谷土壤中重金属的分布及来源。Reimanna 等(2007a)选取挪威南部森林区域 120 km 长的断面上岩石和土壤样品进行元素来源及循环机制研究。另外,土壤重金属形态研究也受到研究者的重视(Blaser et al., 2000; González-Miqueo et al., 2010)。高山湖泊对环境变化非常敏感,Bacardit 和墨 Camarero(2010c)对比利牛斯山中中部湖泊及其流域内 Pb、Zn 和 As 的大气沉降和入湖通量进行了测定,并且建立了模型,模拟了三种元素从陆地生态系统向水体系统的转移。Battarbee 等(2009)对过去 30 年欧洲高

山湖泊的研究进行了综述,尤其突出了高山湖泊生态系统所面临的威胁,其中在湖泊沉积物中记录了重金属的污染。通过湖泊沉积物研究,可以追溯重金属的污染来源、污染历史,可以为生态系统安全预防提供基础。高山积雪可用于测量冬季大气污染物沉降,尤其是对不同海拔高度下积雪中污染物的测定,不仅可以揭示大气沉降导致的元素分布状况,而且可以区分元素来源及其污染的特征(Veysseyre et al., 2001; Kang et al., 2007; Bacardit and Camarero, 2010b)。全球变暖导致了冰雪融化,从而释放冰雪中的污染物质,使下游的生态系统受到破坏(Meyer and Wania, 2008)。另外,季节的变化也会引起元素化学性质的变化,从而使其富集和分布受到影响(Marinoni et al., 2001; Shrestha et al., 2002; Balerna et al., 2003)。

很多因素制约着山地生态系统中重金属元素的分布、迁移转化以及生物可利用性,包括地质因素(土壤组成、结构等)(Purohit et al., 2001; Liu et al., 2009; González-Miqueo et al., 2010)、地形(海拔高度、坡向、坡度等)(Smidt and Herman, 2004; Gerdol and Bragazza, 2006; Reimann et al., 2007a; Bacardit and Camarero, 2010a)、土壤属性(pH、Eh、CEC、OM等)(Giller et al., 1998; Blasar et al., 2003; Watmough et al., 2005; González-Miqueo et al., 2010)、气候状况(温度、降水、风向、风速等)(Shparyk and Parpan, 2004; Kang et al., 2007; Meyer and Wania, 2008; Bacardit and Camarero, 2009)、植被类型(Reimann et al., 2007a)、微生物作用(Giller et al., 1998)以及人类活动(Reimann et al., 2005, 2007b; Liu et al., 2009)等。研究显示,这些影响因素往往不是单一影响重金属的分布和循环,它们之间存在密切的联系,共同影响着土壤中重金属的地球化学行为(Reimann et al., 2007b)。

2.1.3 山地有机污染物地球化学研究

高山地区是有机污染物的汇,很多研究者在高山地区发现了持久性有机污染物(POPs)(van Drooge and Grimalt, 2004; Daly and Wania, 2005; Shen et al., 2005)。Yang等(2007)在青藏高原湖泊和河流中鱼体内检测到有机污染物,而且在鱼的不同组织中的含量有较大差异,反映了长距离大气传输造成了高山区域有机物的富集。Grimalt等(2001)在欧洲19个高山湖泊鱼体内和沉积物中检测到有机氯等有机污染物。Grimalt等(2004)对欧洲高山湖泊流域土壤和沉积物中有机氯化化合物的组

成进行了研究,发现土壤中有有机污染物的含量 DDTs > PCBs > HCB,而且沉积物和土壤中的差异显示沉积物比土壤能更好地保存有机氯化物。Carrera等(2002)对欧洲3个高山湖泊中有机物化合物(PCBs、HCHs、HCB)的大气沉降进行了评价,3个湖泊中均出现了不同程度的有机污染物。

2.2 山地生物地球化学研究

山地生物地球化学过程可以简单的描述为物质从土壤、水体或者大气进入植物,到枯枝落叶,经微生物分解后再回到土壤、水体或者大气(黄建辉和韩兴国, 1995)。在这一循环中,植物和微生物起到了十分重要的作用,而山地系统存在不同的高度带(气候区),植物和微生物的种类和数量都很多。因此,对山地植物和微生物的研究不仅有助于获取元素在生物地球化学循环中的行为,而且有助于山地生态地球化学评价体系的建立。

2.2.1 山地植物

山地生态系统中的植物种类丰富,不同高度的区域分布着不同种类、不同数量的植物。它们是自然环境演化与人类活动影响的产物,在生物地球化学循环过程中发挥着重要作用。植物对土壤中的营养元素和重金属元素非常敏感,它们能够通过根和叶片直接与空气和水体接触来累积这些元素。对于植物来讲,区分生物指示植物和生物累积植物有助于进行针对性的工作。生物指示植物指当金属含量发生异常时,由于胁迫造成植物形态或者生理上发生明显变化的物种;而生物累积植物指在同样环境条件下能够累积更多元素的物种(Aceto et al., 2003)。前者可以用于监测环境变化,而后者有益于环境修复。苔藓是常见的指示大气污染物(尤其是微量元素)的植物,因此,苔藓组织中金属含量已经被用于评价区域尺度上的金属沉降(Loppi and Bonini, 2000; Aceto et al., 2003; Sucharova and Suchara, 2004; Gerdol and Bragazza, 2006)。研究发现许多因素影响了苔藓组织中元素的富集,包括海拔高度(Zechmeister, 1995; Soltes, 1998; Gerdol et al., 2002)、细胞特征(Gerdol et al., 2002)、组织大小(Økland et al., 1997)、季节和气候条件(Aceto et al., 2003)等。另外,也有研究着眼于利用苔藓来去除污水中的重金属元素(Aldrich and Feng, 2000)。

植物对土壤中微量元素的富集是很难量化的。某些微量元素,例如Cu和Zn对植物的生长起重要作用,而且在根围区域的再循环比较活跃;然而

某些微量元素,例如 As 和 Pb 对植物生长就不起积极作用。在没有筛选机制的情况下,元素 Pb 和 As 等会消极地被植物吸收,而叶片表面的沉降也会引起污染物的生物富集(Blaser et al., 2000)。

目前,对植物中元素的生物地球化学循环研究主要集中于植物对营养元素的利用、微量元素的累积以及在各个组织中的分配。例如,Kula 等(2010)对 Akdag 山 29 种植物的研究表明,微量元素在这些植物中的含量较低,没有表现出污染的特征;但是,统计学分析显示,不同植物对于元素的累积程度存在较大差异。Reimann 等(2007b)对挪威山地植物桦树的叶片、树皮和材质中 26 种元素进行了测定。他们的研究发现大多数元素累积于桦树的叶片中,树皮和材质中的含量较低。但是,与苔藓中元素的对比发现,桦树作为城市污染的生物指示者的作用不大(Reimann et al., 2006)。Berg (2000)对森林凋落物中营养元素的含量进行调查,发现新鲜的凋落物缺少某些营养元素(如 N、P、S),从而限制了降解速率。其它研究还包括松树的松针和树皮、柏树树皮以及草地植被等(El-Hasan et al., 2002; Baslar et al., 2003; Dogan et al., 2007; Onder et al., 2007)。此外,土壤中的某些重金属(如 Hg)可以通过植物作用产生挥发性的物质而进入大气中。

2.2.2 微生物

土壤微生物是土壤的重要组成部分,在土壤质量的演变过程中,微生物发挥了重要的作用,几乎所有的土壤过程都直接或者间接的与土壤微生物有关。在土壤生态系统中,微生物作用主要体现在分解土壤有机质,吸收、固定并释放养分,与植物共生促进植物生长,在污染物治理中具有重要作用等。叶协锋等(2009)综述了土壤微生物与土壤营养元素(C、N、P、S)的关系,而杨成德等(2008)对土壤微生物功能群的研究进行了报道。但是,这些研究大都基于草地、农田和湿地生态系统,而对于山地生态系统中微生物的研究涉及较少。

目前,在山地系统对微生物的研究很多集中于微生物种群结构和微生物活性的研究(Collins and Cavigelli, 2003; Hackl et al., 2005; Jiménez Esquilín et al., 2007; Hörtnagl et al., 2010),但是,对于山地生态地球化学微生物研究,在此基础上,更侧重于微生物对元素循环所起的作用。微生物与营养元素之间具有复杂的联系,微生物既可以固定养分,成为植物有效养分的储存库,又可以释放养分,成为土壤养分转化和循环的动力。例如,Krashevsk

等(2010)在厄瓜多尔山区的热带雨林中进行的研究显示,C、N、P 是微生物生物量的限制因子,营养元素的添加增加了微生物的生物量。Hu 等(2006)对天目山的研究显示,微生物对自然界磷和钾的循环有重要作用,这些微生物可以溶解矿物中的磷和钾,从而能够被植物所利用。周焱等(2009)对武夷山不同海拔梯度具有代表性的高山草甸土壤微生物生物量和微生物呼吸进行了研究,发现二者均随海拔梯度的升高而增加,随土层深度增加而降低,而且与土壤总有机碳、总氮和总磷具有明显的关系,可以用于评价土壤质量。此外,在研究微生物对元素循环影响研究时,应注意外界因素(自然和人为)对微生物的影响,因为外界干扰可以引起土壤物理化学属性、微生物组成、活性以及生物量的改变(Arunachalam et al., 1996; Imberger and Chiu, 2002; Lipson et al., 2002; Barbhuiya et al., 2004; Kim et al., 2004; Wendt-Potthoff et al., 2002; Hart et al., 2005),从而影响了元素的生物地球化学循环。

2.3 山地生态地球化学评价

山地生态地球化学评价属于区域地球化学评价的范畴,主要任务是查明山地区域元素及其化合物的分布、分配、成因及来源,研究这些物质在地表各圈层中的迁移转化规律,评价其产生的生态效应(有害或有益),应用生态学和地球化学等学科的基本理论和方法对产生危害的山地生态系统进行预测预警,从而为生态地球化学修复提出治理建议。

目前,国内外对区域性生态地球化学评价的方法大都采用区域性地质填图,例如,俄罗斯、芬兰和挪威等国家,共同开展的“Kola Ecogeochemistry”和作为后续项目的“Barent Ecogeochemistry”研究计划,对研究区进行生态地球化学 1: 10000 填图,重点关注化学污染物质和放射性污染物质的区域分布、累积及其生态效应(Äyräs et al., 1995; Salminen et al., 1999)。Burenkov 等(1999)报道了俄罗斯进行的多目标地质填图,这些图件有助于了解区域的地质特征、矿物潜力、生态状况、背景水平、可耕区的土壤肥力和化学污染状况,从而为自然资源的管理提供基础。我国从 1999 年以来也进行了大面积的区域多目标地球化学填图(奚小环, 2008),涉及到的区域包括河流生态系统、湖泊湿地生态系统、农田生态系统、城市生态系统等。

山地生态地球化学评价应建立在地球化学研究的基础上,针对生态系统产生的问题进行评价。首

先,根据不同的地质背景和不同的生态景观建立一套可靠的元素背景基准,在此基础上评价生态系统中元素的累积或者亏损,从而为生态地球化学评价提供理论基础;其次,针对不同的环境指示因子,建立不同种类、不同层次的生态环境阈值,为生态地球化学预警和生态地球化学修复提供依据;另外,要特别注重人类活动对山地生态系统产生影响的评价。山地以其特殊的地理特征,在建立生态地球化学评价各项基准时,应注意地质因素、环境条件以及生物作用对表生环境中元素地球化学行为的影响。

3 研究展望

基于对前人研究的评述,山地生态地球化学虽然在某些方面取得了很多成果,但系统性不够,对照其他生态系统已取得的成果和山地生态地球化学的研究现状,今后山地生态地球化学研究应重点关注以下几个问题:

(1)由于山地地貌形态、地质背景和气候类型差异较大,采样难度大,尤其对高山区域的研究更增加了采样难度。在采样过程中如何保证样品的代表性与采样密度,以达到生态地球化学研究的要求,为建立完善的生态地球化学评价体系提供基础,首先要建立山地生态地球化学研究的样品采集要求和标准。

(2)山地生态地球化学的研究成果比较分散,缺乏统一的调查方法体系、测试方法体系和评价方法体系。方法上的差异不仅对实验的可重复性和可靠性带来影响,而且对结果的对比研究也有很大制约。另外,目前研究的技术和手段相对较少,如模拟研究和同位素示踪研究仍不健全。因此迫切需要建立山地生态系统研究的方法、技术和评价体系,确定化学物质的区域背景和生态安全阈值。

(3)进一步加强植物和微生物群落组成和结构研究及其对化学物质在山地系统内分布、分配、迁移、转化的定性、定量研究。不同植物和微生物种群对化学物质的吸收、利用和迁移转化机制不同,因而要了解植物和微生物对化学物质循环的影响机制,定量评价植物和微生物对化学物质的吸收、转化的过程及量。

(4)山地生态地球化学研究必须建立在大气—水体—土壤—植物—微生物系统研究的基础上,以探讨化学物质的循环机制及生态环境效应,切不可割裂研究单一水、气、土或者生物,应将山地系统作为一个相互关联的整体,开展多载体的生物地球化

学过程研究,从而为客观、全面地进行山地生态地球化学评价提供科学依据。

(5)注重人与自然影响下山地生态地球化学研究。人类活动对生态环境的影响已经在地球的每个角落留下印记,随着社会经济的发展,人类活动对山地系统的直接干预愈来愈大,同时由于有些化学物质具有大气传输的特性,而山地系统由于相对高海拔和较低温度,成为大气传输化学物质的主要沉降区,一方面反映更大空间尺度的人类活动的方式和强度的变化及其对全球生态环境的影响,另一方面也对山地生态环境状况带来改变。因此山地系统是研究人类活动对生态环境影响的理想区域,应加强这方面的研究,以调适人类活动的方式强度,保障山地生态环境安全,并提供依据。

(6)加强山地生态地球化学安全预警研究。目前对山地地球化学评价的研究总体上还处于理论研究阶段,还没有建立起系统的评价标准,更没有建立山地生态地球化学安全预警机制,今后的工作中应加大力度建立化学物质在土壤—植物—微生物中的基准水平,建立多种生态环境指示因子,完善山地系统的地质填图,为山地生态地球化学预警和生态保护、修复服务。

参 考 文 献 / References

- 丁锡祉,郑远昌. 1996. 再论山地学. 山地研究, 14(2): 83~88.
- 方精云,沈泽昊,崔海亭. 2004. 试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容. 生物多样性, 12(1): 10~19.
- 韩存志. 2009. 香山会议第348~352次学术讨论会简述. 中国基础科学·香山红叶, 6: 30~34.
- 黄建辉,韩兴国. 1995. 森林生态系统的生物地球化学循环: 理论和方法. 植物学通报, 12: 195~223.
- 奚小环. 2008. 生态地球化学: 从调查实践到应用理论的系统工程. 地学前缘, 15(5): 1~8.
- 杨成德,龙瑞军,陈秀蓉. 2008. 土壤微生物功能群及其研究进展. 土壤通报, 39(2): 421~425.
- 杨忠芳,成杭新,张岳龙,冯海艳,陈德友,陈国光,赵更新. 2004. 进入21世纪的勘查地球化学: 对生态地球化学的展望. 地学前缘, 11(2): 600~605.
- 杨忠芳,奚小环,成杭新,周国华,陈德友,张建新,袁晓军,冯海艳,陈家玮,刘爱华,汤奇峰,余涛. 2005. 区域生态地球化学评价核心与对策. 第四纪研究, 25(3): 275~284.
- 杨忠平,卢文喜,李俊,龙玉桥. 2009. 城市生态地球化学研究进展. 环境科学与技术, 32(2): 65~71.
- 姚志刚,谢淑云,鲍征宇. 2006. 湿地生态地球化学研究进展. 环境污染与防治, 28(2): 121~124.
- 叶协锋,张友杰,鲁喜梅,魏跃伟,李琰琰,刘国顺. 2009. 土壤微生物与土壤营养关系研究进展. 土壤通报, 40(6): 237~241.
- 张建新. 2006. 地质工作的重要创新领域—生态地球化学. 国土资源导刊, 3: 130~132.
- 周焱,徐宪根,王丰,阮宏华,汪家社,方燕鸿,吴焰玉,徐自坤.

2009. 武夷山不同海拔梯度土壤微生物生物量、微生物呼吸及其商榷 (qMB, qCO₂). 生态学杂志, 28(2): 265 ~ 269.
- Aceto M, Abollino O, Conca R, Malandrino M, Mentasti E, Sarzanini C. 2003. The use of mosses as environmental metal pollution indicators. *Chemosphere*, 50(3): 333 ~ 342.
- Aldrich C, Feng D. 2000. Removal of heavy metals from wastewater effluents by biosorptive flotation. *Minerals Engineering*, 13(10 ~ 11): 1129 ~ 1138.
- Arunachalam A, Maithani K, Pandey H N, Tripathi R S. 1996. The impact of disturbance on detrital dynamics and soil microbial biomass of a pinus Kesiya forest in north-east India. *Forest Ecology and Management*, 88(3): 273 ~ 282.
- Åyräs M, Caritat P, Chekushin V A, Niskavaara H, Reimann C. 1995. Ecogeochemical investigation, Kola Peninsula: sulphur and trace element content in snow. *Water, Air and Soil Pollution*, 85: 749 ~ 754.
- Bacardit M, Camarero L. 2009. Fluxes of Al, Fe, Ti, Mn, Pb, Cd, Zn, Ni, Cu, and As in monthly bulk deposition over the Pyrenees (SW Europe): The influence of meteorology on the atmospheric component of trace element cycles and its implications for high mountain lakes. *Journal of Geophysical Research*, 114, doi:10.1029/2008JG000732.
- Bacardit M, Camarero L. 2010a. Atmospherically deposited major and trace elements in the winter snowpack along a gradient of altitude in the central Pyrenees: The seasonal record of long-range fluxes over SW Europe. *Atmospheric Environment*, 44(4): 582 ~ 595.
- Bacardit M, Camarero L. 2010b. Major and trace elements in soils in the central pyrenees: High altitude soils as a cumulative record of background atmospheric contamination over SW Europe. *Environmental Science and Pollution Research*, 17(9): 1606 ~ 1621.
- Bacardit M, Camarero L. 2010c. Modelling Pb, Zn and As transfer from terrestrial to aquatic ecosystems during the ice-free season in three Pyrenean catchments. *Science of the Total Environment*, 408(23): 5854 ~ 5861.
- Balerna A, Bernieri E, Pecci M, Polesello S, Smiraglia C, Valsecchi S. 2003. Chemical and radio-chemical composition of fresh snow samples from northern slopes of Himalayas (Cho Oyu range, Tibet). *Atmospheric Environment*, 37(12): 1573 ~ 1581.
- Barbhuiya A R, Arunachalam A, Pandey H N, Arunachalam K, Khan M L, Nath P C. 2004. Dynamics of soil microbial biomass C, N and P in disturbed and undisturbed stands of a tropical wet-evergreen forest. *European Journal of Soil Biology*, 40(3 ~ 4): 113 ~ 121.
- Baslar S, Dogan Y, Bag H, Elci A. 2003. Trace element biomonitoring by needles of pinus Brutia ten. From western Anatolia, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 12(5): 450 ~ 453.
- Battarbee R W, Thompson R, Catalan J, Grytnes J A, Birks H J B. 2002. Climate variability and ecosystem dynamics of remote alpine and arctic lakes: The molar project. *Journal of Paleolimnology*, 28(1): 1 ~ 6.
- Battarbee R W, Kernan M, Rose N. 2009. Threatened and stressed mountain lakes of Europe: Assessment and progress. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 12(2): 118 ~ 128.
- Berg B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 133: 13 ~ 22.
- Blaser P, Zimmermann S, Luster J, Shotyk W. 2000. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in Swiss forest soils. *The Science of the Total Environment*, 249: 257 ~ 280.
- Burenkov E K, Golovin A A, Morozova I A, Filatov E I. 1999. Multi-purpose geochemical mapping (1:1,000,000) as a basis for the integrated assessment of natural resources and ecological problems. *Journal of Geochemical Exploration*, 66(1 ~ 2): 159 ~ 172.
- Cao R X, Ma L Q, Chen Ming, Singh S P, Harris W G. 2003. Phosphate-induced metal immobilization in a contaminated site. *Environmental Pollution*, 122(1): 19 ~ 28.
- Carrera G, Fernández P, Grimalt J O, Ventura M, Camarero L, Catalan J, Nickus U, Thies H, Psenner R. 2002. Atmospheric deposition of organochlorine compounds to remote high mountain lakes of Europe. *Environmental Science and Technology*, 36(12): 2581 ~ 2588.
- Collins H P, Cavigelli M A. 2003. Soil microbial community characteristics along an elevation gradient in the Laguna mountains of southern California. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(8): 1027 ~ 1037.
- Daly G L, Wania F. 2005. Organic contaminants in mountains. *Environmental Science and Technology*, 39(2): 385 ~ 398.
- Davis M, Allen R, Clinton P. 2003. Carbon storage along a stand development sequence in a New Zealand Nothofagus forest. *Forest Ecology and Management*, 177: 313 ~ 321.
- Dixon R K, Solomon A M, Brown S, Houghton R A, Trexler M C, Wisniewski J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263(5144): 185 ~ 190.
- Dogan Y, Durkan N, Baslar S. 2007. Trace element pollution biomonitoring using the bark of pinus brutia (Turkish red pine) in the western Anatolian part of Turkey. *Trace Elements and Electrolytes*, 3: 146 ~ 150.
- El-Hasan T, Al-Omari H, Jiries A, Al-Nasir F. 2002. Cypress tree (Cupressus Semervirens L.) bark as an indicator for heavy metal pollution in the atmosphere of Amman city, Jordan. *Environment International*, 28(6): 513 ~ 519.
- Gerdol R, Bragazza L, Marchesini R. 2002. Element concentrations in the forest moss Hylocomium splendens: Variation associated with altitude, net primary production and soil chemistry. *Environmental Pollution*, 116: 129 ~ 135.
- Gerdol R, Bragazza L. 2006. Effects of altitude on element accumulation in alpine moss. *Chemosphere*, 64(5): 810 ~ 816.
- Giardina C P, Rhoades C C. 2001. Clear cutting and burning affect nitrogen supply, phosphorus fractions and seedling growth in soils from a Wyoming Lodgepole pine forest. *Forest Ecology and Management*, 140: 19 ~ 28.
- Giller K E, Witter E, McGrath S P. 1998. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(10/11): 1389 ~ 1414.
- González-Miqueo L, Elustondo D, Lasheras E, Bermejo R, Santamaria J. 2010. Heavy metal and nitrogen monitoring using moss and topsoil samples in a Pyrenean forest catchment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 210(1): 335 ~ 346.
- Grimalt J O, Fernandez P, Berdie L, Vilanova R M, Catalan J, Psenner R, Hofer R, Appleby P G, Rosseland B O, Lien L, Massabau J C, Battarbee R W. 2001. Selective trapping of organochlorine compounds in mountain lakes of temperate areas. *Environmental Science and Technology*, 35(13): 2690 ~ 2697.
- Grimalt J O, van Drooge B L, Ribes A, Vilanova R M, Fernandez P, Appleby P. 2004. Persistent organochlorine compounds in soils and sediments of European high altitude mountain lakes. *Chemosphere*,

- 54(10): 1549 ~ 1561.
- Hackl E, Pfeffer M, Donat C, Bachmann G, Zechmeister-Boltenstern S. 2005. Composition of the microbial communities in the mineral soil under different types of natural forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(4): 661 ~ 671.
- Hall G M J, Wiser S K, Allen R B, Beets P N, Goulding C J. 2001. Strategies to estimate national forest carbon stocks from inventory data: The 1990 New Zealand baseline. *Global Change Biology*, 7(4): 389 ~ 403.
- Hart S C, DeLuca T H, Newman G S, Mackenzie M D, Boyle S I. 2005. Post-fire vegetative dynamics as drivers of microbial community structure and function in forest soils. *Forest Ecology and Management*, 220: 166 ~ 184.
- Hörtnagl P, Pérez M T, Zeder M, Sommaruga R. 2010. The bacterial community composition of the surface microlayer in a high mountain lake. *FEMS Microbiology Ecology*, 73(3): 458 ~ 467.
- Hu Xiufang, Chen Jishuang, Guo Jiangfeng. 2006. Two phosphate- and potassium-solubilizing bacteria isolated from Tianmu mountain, Zhejiang, China. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22(9): 983 ~ 990.
- Imberger K T, Chiu C Y. 2002. Topographical and seasonal effects on soil fungal and bacterial activity in subtropical, perhumid, primary and regenerated montane forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 711 ~ 720.
- Jiménez Esquil n A E, Stromberger M E, Massman W J, Frank J M, Shepperd W D. 2007. Microbial community structure and activity in a Colorado rocky mountain forest soil scarred by slash pile burning. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(5): 1111 ~ 1120.
- Kaňa J, Kopáček J. 2006. Impact of soil sorption characteristics and bedrock composition on phosphorus concentrations in two Bohemian forest lakes. *Water, Air, and Soil Pollution*, 173(1): 243 ~ 259.
- Kang Shichang, Zhang Qianggong, Kaspari S, Qin Dahe, Cong Zhiyuan, Ren Jiawen, Mayewski P A. 2007. Spatial and seasonal variations of elemental composition in Mt. Everest (Qomolangma) snow/firn. *Atmospheric Environment*, 41: 7208 ~ 7218.
- Kim O S, Yoo J J, Lee D J, Ahn T S, Song H G. 2004. Monitoring of bacterial community in a Coniferous forest soil after a wildfire. *The Journal of Microbiology*, 42(4): 278 ~ 284.
- Köhler L, Gieger T, Leuschner C. 2006. Altitudinal change in soil and foliar nutrient concentrations and in microclimate across the tree line on the subtropical island mountain Mt. Teide (Canary Islands). *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 201(3): 202 ~ 214.
- Krashevskaya V, Maraun M, Ruess L, Scheu S. 2010. Carbon and nutrient limitation of soil microorganisms and microbial grazers in a tropical montane rain forest. *Oikos*, 119(6): 1020 ~ 1028.
- Kula I, Yildiz D, Dogan Y, Ay G, Baslar S. 2010. Trace element contents in plants growing at Mt. Akdag, Denizli. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 24(1): 1587 ~ 1591.
- Lin Changcun, Zhu Tingcheng, Liu Li, Wang Deli. 2010. Influences of major nutrient elements on Pb accumulation of two crops from a Pb-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 174(1 ~ 3): 202 ~ 208.
- Lipson D A, Schadt C W, Schmidt S K. 2002. Changes in soil microbial community structure and function in an alpine dry meadow following spring snow melt. *Microbial Ecology*, 43(3): 307 ~ 314.
- Liu Hao, Chen Liping, Ai Yingwei, Yang Xia, Yu Yanhua, Zuo Yuanbin, Fu Guoyong. 2009. Heavy metal contamination in soil alongside mountain railway in Sichuan, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152(1): 25 ~ 33.
- Loppi S, Bonini I. 2000. Lichens and mosses as biomonitors of trace elements in areas with thermal springs and fumarole activity (M. Amiata, central Italy). *Chemosphere*, 41: 1333 ~ 1336.
- Marinoni A, Polesello S, Smiraglia C, Valsecchi S. 2001. Chemical composition of freshsnow samples from the southern slope of Mt. Everest region (Khumbu-himal region, Nepal). *Atmospheric Environment*, 35(18): 3183 ~ 3190.
- Melamed R, Cao Xinde, Chen Ming, Ma L Q. 2003. Field assessment of lead immobilization in a contaminated soil after phosphate application. *The Science of the Total Environment*, 305(1 ~ 3): 117 ~ 127.
- Meyer T, Wania F. 2008. Organic contaminant amplification during snowmelt. *Water research*, 42(8 ~ 9): 1847 ~ 1865.
- Moller A, Kaiser K, Kanchanakool N, Aneksamphant C, Jirasuktaveekul W, Maglinao A, Niamskul C, Zech W. 2002. Sulfur forms in bulk soils and alkaline soil extracts of tropical mountain ecosystems in northern Thailand. *Soil Research*, 40(1): 161 ~ 175.
- Niinemets Ü, Kull K. 2003. Leaf structure vs. nutrient relationships vary with soil conditions in temperate shrubs and trees. *Acta Oecologica*, 24(4): 209 ~ 219.
- Niinemets Ü, Kull K. 2005. Co-limitation of plant primary productivity by nitrogen and phosphorus in a species-rich wooded meadow on calcareous soils. *Acta Oecologica*, 28(3): 345 ~ 356.
- Niskavaara H, Reimann C, Chekushin V, Kashulina G. 1997. Seasonal variability of total and easily leachable element contents in topsoils (0 ~ 5 cm) from eight catchments in the European Arctic (Finland, Norway and Russia). *Environmental Pollutant*, 96(2): 261 ~ 274.
- Økland R H, Steinnes E, Økland T. 1997. Element concentrations in the boreal forest moss, *Hylocomium splendens*: Variation due to segment size, branching patterns and pigmentation. *Journal of Bryology*, 19: 673 ~ 686.
- Onder S, Dursun S, Gezgin S, Demirbas A. 2007. Determination of heavy metal pollution in grass and soil of city centre green areas (Konya, Turkey). *Polish Journal of Environmental Study*, 16(1): 145 ~ 154.
- Palviainen M, Finér L, Kurka A M, Mannerkoski H, Piirainen S, Starr M. 2004. Decomposition and nutrient release from logging residues after clear-cutting of mixed boreal forest. *Plant and Soil*, 263(1): 53 ~ 67.
- Porder S, Vitousek P, Chadwick O, Chamberlain C, Hilley G. 2007. Uplift, erosion, and phosphorus limitation in terrestrial ecosystems. *Ecosystems*, 10(1): 159 ~ 171.
- Purohit K K, Mukherjee P K, Khanna P P, Saini N K, Rath M S. 2001. Heavy metal distribution and environmental status of Doon valley soils, outer Himalaya, India. *Environmental Geology*, 40(6): 716 ~ 724.
- Reimann C, Caritat P. 2005. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: Regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment*, 337: 91 ~ 107.
- Reimann C, Arnoldussen A, Boyd R, Finne T E, Nordgulen O, Volden T, Englaier P. 2006. The influence of a city on element contents of a terrestrial moss (*Hylocomium splendens*). *Science of the Total Environment*, 369(1 ~ 3): 419 ~ 432.
- Reimann C, Arnoldussen A, Englaier P, Filzmoser P, Finne T E,

- Garrett R G, Koller F, Nordgulen O. 2007a. Element concentrations and variations along a 120-km transect in southern Norway anthropogenic vs. geogenic vs. biogenic element sources and cycles. *Applied Geochemistry*, 22: 851 ~ 871.
- Reimann C, Arnoldussen A, Finne T E, Koller F, Nordgulen O, Englmaier P. 2007b. Element contents in mountain birch leaves, bark and wood under different anthropogenic and geogenic conditions. *Applied Geochemistry*, 22: 1549 ~ 1566.
- Salminen R, Chekushin V, Reimann C, Tenhola M. 1999. A new project: Ecogeochemical mapping of the eastern part of the Barents region. In Gregorauskiene V. (Ed.) *Environmental geochemical baseline mapping in Europe*, Abstracts of the 2nd Conference, Vilnius, Lithuania, September 1 ~ 4: 71 ~ 74.
- Schlesinger W H. 2005. Biogeochemistry. In Holland H D, Turekian K K (eds), *Treatise on Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 8: 702.
- Schulze E, Kelliher F M, Korner C, Lloyd J, Leuning R. 1994. Relationships among maximum stomatal conductance, ecosystem surface conductance, carbon assimilation rate, and plant nitrogen nutrition: A global ecology scaling exercise. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 25: 629 ~ 660.
- Shen Li, Wania F, Lei Ying, Teixeira C, Muir D C G, Bidleman T F. 2005. Atmospheric distribution and long-range transport behavior of organochlorine pesticides in North America. *Environmental Science and Technology*, 39(2): 409 ~ 420.
- Shpyark Y S, Parpan V I. 2004. Heavy metal pollution and forest health in the Ukrainian Carpathians. *Environmental Pollution*, 130(1): 55 ~ 63.
- Shrestha A B, Wake C P, Dibb J E, Whitlow S. 2002. Aerosol and precipitation chemistry at a remote Himalayan site in Nepal. *Aerosol Science and Technology*, 36: 441 ~ 456.
- Smidt S, Herman F. 2004. Evaluation of air pollution-related risks for Austrian mountain forests. *Environmental Pollution*, 130(1): 99 ~ 112.
- Soltes R. 1998. Correlation between altitude and heavy metal deposition in the Tatra Mts (Slovakia). *Biologia*, 53: 85 ~ 90.
- Sucharova J, Suchara I. 2004. Current multi-element distribution in forest epigeic moss in the Czech Republic — a survey of the Czech national biomonitoring programme 2000. *Chemosphere*, 57: 1389 ~ 1398.
- Turrión M, Lopez O, Lafuente F, Mulas R, Ruiperez C, Puyo A. 2007. Soil phosphorus forms as quality indicators of soils under different vegetation covers. *Science of the Total Environment*, 378: 195 ~ 198.
- Turrión M, Schneider K, Gallardo J. 2008. Soil P availability along a catena located at the Sierra de Gata mountains, western central Spain. *Forest Ecology and Management*, 255: 3254 ~ 3262.
- Turrión M, Lafuente F, Aroca M, Lopez O, Mulas R, Ruiperez C. 2010. Characterization of soil phosphorus in a fire-affected forest cambisol by chemical extractions and ³¹P-NMR spectroscopy analysis. *Science of the Total Environment*, 408(16): 3342 ~ 3348.
- UNEP/WCMC (World Conservation Monitoring Centre). 2002. *Mountains and mountain forest*. Cambridge, UK.
- Unger M, Leuschner C, Homeier J. 2010. Variability of indices of macronutrient availability in soils at different spatial scales along an elevation transect in tropical moist forests (Ne Ecuador). *Plant and Soil*, 336(1): 443 ~ 458.
- van Drooge B L, Grimalt J O. 2004. Atmospheric semivolatile organochlorine compounds in European high-mountain areas (central Pyrenees and high Tatra). *Environmental Science and Technology*, 38(13): 3525 ~ 3532.
- Veyssière A, Moutard K, Ferrari C, Van de Velde K, Barbante C, Cozzi G, Capodaglio G, Boutron C. 2001. Heavy metals in fresh snow collected at different altitudes in the Chamonix and Maurienne valleys, French Alps: Initial results. *Atmospheric Environment*, 35: 415 ~ 425.
- Ware G W, Albert L A, Bro-Rasmussen F, Crosby D G, Voogt P, Frehse H, Hutzinger O, Mayer F L, Morgan D P, Park D L, Yang R H, Bolan N S, Adriano D C, Naidu R. 2003. Role of phosphorus in (im)mobilization and bioavailability of heavy metals in the soil—plant system. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 1 ~ 44.
- Watmough S, Hutchinson T, Dillon P. 2005. Lead dynamics in the forest floor and mineral soil in south—central Ontario. *Biogeochemistry*, 71(1): 43 ~ 68.
- Wendt-Potthoff K, Koschorreck M. 2002. Functional groups and activities of bacteria in a highly acidic volcanic mountain stream and lake in Patagonia, Argentina. *Microbial Ecology*, 43(1): 92 ~ 106.
- Whitehead S J, Caporn S J M, Press M C. 1997. Effects of elevated CO₂, nitrogen and phosphorus on the growth and photosynthesis of two upland perennials: *Calluna vulgaris* and *pteridium aquilinum*. *New Phytologist*, 135(2): 201 ~ 211.
- Wu Gang, Wei Jing, Deng Hongbing, Zhao Jingzhu. 2006. Nutrient cycling in an alpine tundra ecosystem on Changbai mountain, northeast China. *Applied Soil Ecology*, 32(2): 199 ~ 209.
- Yang Ruiqiang, Yao Tandong, Xu Baiqing, Jiang Guibin, Xin Xiaodong. 2007. Accumulation features of organochlorine pesticides and heavy metals in fish from high mountain lakes and Lhasa River in the Tibetan plateau. *Environment International*, 33(2): 151 ~ 156.
- Yu Zhiguo, Zhou Qixing. 2009. Growth responses and cadmium accumulation of *Mirabilis Jalapa* l. under interaction between cadmium and phosphorus. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1 ~ 3): 38 ~ 43.
- Zechmeister H G. 1995. Correlation between altitude and heavy metal deposition in the Alps. *Environmental Pollution*, 89: 73 ~ 80.
- Zhang Mingkui, Zhang Huimin. 2010. Co-transport of dissolved organic matter and heavy metals in soils induced by excessive phosphorus applications. *Journal of Environmental Sciences*, 22(4): 598 ~ 606.

Ecogeochemistry in Mountain Region——Definition, Progress and Prospection

WU Yanhong¹⁾, BING Haijian^{2,3)}

1) Alpine Ecosystem Observation and Experiment Station of Mt. Gongga, Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, 610041;

2) State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008;

3) Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049

Abstract: Ecogeochemistry is the scientific discipline that combines ecology and geochemistry. Ecogeochemistry involves in the studies of chemical, physical, geological and biological process and their interactions which control the ecosystem and its environment evolutions. In particular, ecogeochemistry is to describe and assess the state and development direction of ecosystem based on the study of the rule of chemical matters' distribution, allocation, transportation and transformation in the ecosystem. Although the history of ecogeochemistry is relative short and scientists from western countries even seldom use the word "ecogeochemistry", great progresses in this discipline have been achieved in the past decades. Several special ecogeochemical directions, such as urban ecogeochemistry, wetland ecogeochemistry and so on, has developed on the purpose of assessment of ecosystem safety and health, based on the ecogeochemistry mapping. Mountain is the major geomorphological unit and possesses the unique ecological characteristics. The ecogeochemistry in mountain region has not been systemically launched, although a large amount of achievements have been obtained in element geochemistry, biogeochemistry and ecogeochemical assessment. For the further work in ecogeochemistry in mountain region, more theoretical research should be propelled; meanwhile impeccable method system, research system and assessment system should be established.

Key words: ecogeochemistry; biogeochemistry; chemical matters cycle; ecosystem; mountain region

中国地质学会 2011 年学术年会在北京召开

2011 年 11 月 2 日至 5 日,中国地质学会 2011 年学术年会在北京成功召开。孟宪来常务副理事长出席大会并致辞。会议以“支撑、引领——为实现地质找矿重大突破服务”为主题,旨在认真学习贯彻中央领导重要讲话精神,落实《找矿突破战略行动纲要》,展示近年来地质找矿及研究的工作成果,促进全国地质领域的学术交流,发挥地质科技在地质找矿中的支撑引领作用,为增强矿产资源保障能力、实现地质找矿重大突破服务。

开幕式后,13 位知名专家以燕山运动——一次突发的大地构造变动(张宏仁教授)、我国入地计划的新进展(董树文研究员)、亚洲风成系统地球化学示踪研究(陈骏教授)、白垩纪大洋红层与深时(Deep-Time)研究(王成善教授)、进化论十大假说及寒武纪大爆发的本质属性(舒德干教授)、5.12 汶川地震地质构造成因(王二七研究员)、古亚洲洋构造域与北亚造山区——定义、结构与演化(李锦铁研究员)、岩石高边坡稳定性评价及崩滑地质灾害机理(黄润秋教授)、矿井水害预报预测与应急救援(武强教授)、青藏高原——大陆碰撞过程与成矿作用(侯增谦研究员)、综合信息地壳稳定性区划研究初步结果(王世称教授)、新疆富铁矿成矿地质特征

及主攻类型成矿模式(董连慧高级工程师)、矿物学环境属性研究进展(鲁安怀教授)等内容做大会主题报告。

本次会议共设置 13 个分会,分别就我国深部探测与地壳结构、全国固体矿产勘查方法与技术、勘查地球化学理论与技术、地质与城市化、地质科技期刊在推动科技创新中的引领作用、地质灾害与环境安全、金矿找矿理论培训、矿山地质环境防治研究、水文地质学科发展的机遇与挑战、天山找矿、中国主要陆块聚散过程、裂变径迹年代学及其地质应用、资源及环境研究中现代矿物学的地位与作用等方面开展研讨和交流。会议共审核刊印论文摘要 233 篇,内容涵盖范围广泛,反映了我国当前地质科学的研究现状和最新成果。

中国科学院或中国工程院院士沈其韩先生、裴荣富先生、张国伟先生、翟裕生先生、杨文采先生等和来自中央及部分省(区、市)地勘、科研单位的专家,部分省级地质学会、分支机构代表等约 800 人参加了年会。学术年会以科学发展观为指导,以搭建学术平台、促进学术交流为宗旨,以面向地质科研生产、服务国家宏观建设为目标,广泛邀请海内外地质相关领域的专家学者,围绕着“支撑、引领——为实现地质找矿重大突破服务”的主题开展深入的学术交流活动。会