

生物地球化学省学说的基本问题

The Basic Problems of the Biogeochemical Theory

王金达 于君宝 刘景双 张学林

(中国科学院长春地理研究所 吉林长春 130021)

生物圈是地球发展与演化的必然产物,人和动植物在相当长的进化过程中与自然环境形成了协调统一的关系,生物与自然环境是有机联系的一体。在物质组成上有机体和其生存的环境是一种共轭关系,研究表明,活质、植物和人体的化学元素平均丰度的增减变化趋势与地壳、土壤、海水的化学元素平均丰度的增减变化趋势基本上是一致的^[1]。

生物圈的有机界与无机界的相互联系是通过元素的生物地球化学过程实现的。因此研究元素生物地球化学问题对阐明有机体的化学元素组成、生物圈化学元素的迁移过程与形式、生命与无机环境相互联系的动态生物地球化学平衡具有重要意义。

一、生物地球化学省概念与意义

在研究地球化学环境与有机体相互关系的生态地球化学问题时,维诺格拉多夫在30年代提出了“生物地球化学省”(简称生化省,不加引号)的概念。通过分析对比人、动物疾病分布区的特殊地球化学条件、化学元素富集特点、地壳化学成分差异,他给出了生化省的定义:地球上的一些地域,其化学元素含量水平与相邻地域存在明显差别,并由此引起该地域内动、植物的不同生物学反应;在极端条件下,因某些化学元素在该地域内含量过剩或不足而引起生物地球化学性地方病,使人和动物患病^[2]。其后他又在有关的论著中给出了类似的定义^[3,4,5]。这一概念包含两方面的内涵:其一,生物的地球化学环境化学组成具有显著差异;其二,化学元素在有机体的生命活动中具有非常重要的生物学作用和功能。

拥有特定气候、地貌、水文条件的地域都具有其特有的土壤类型和动植物区系,在综合自然地理条件影响下,形成特定的生物地球化学环境,某种或某些化学元素的过剩或缺乏引起的该地域内的生物学反应是最重要的,也是生化省区别于其它地域的根本特征。

应该指出,元素的绝对含量具有重要的意义,但其形态更加重要,因为动植物对化学元素的不同形态的利用程度存在很大差异,有机体化学元素含量的过剩或不足,以及相关的生物学反应与此关系极为密切。例如,石灰岩发育的土壤中的植物对钴的富集能力下降,而对钼的吸收增强。

我们认为生化省在时空上是确定的和有限的,它可以是陆地(岩石、土壤、植被),或是机体生活的一定海域、大气圈,或者它们耦合形成的一定空间。也就是说,生化省具有空间和时间的属性,空间属性决定其分布的广泛性;时间属性说明其具有发生、发展和演化的特征。生化省时间和空间的二重性,使其研究的内容、对象与范围不断扩大,在生态、环境等学科研究中具有广泛的应用前景。它是协调人地关系、改善生态环境、控制环境污染、保障生态安全的重要理论工具。

生化省概念的提出至今已有60多年,当时只是研究和解决陆地上的自然生态地球化学问题,而后经过几代学者的发展和完善,如今,不仅仅研究自然的生物地球化学省(简称自然省)问题,更注重技术生物地球化学省(简称技术省)的成因、演化机理问题的研究,这已成为污染物环境地球化学行为与生物学毒理效应、环境污染与控制、环境与人类健康、生态安全等研究领域的趋势和主流,研究的范围已扩展到水域和大气圈,如日本的水俣病、南极的臭氧层空洞等等。

二、生物地球化学省的成因与分类

生化省是对生物的正常生长发育产生障碍的生态系统。根据其成因类型、分布特征、演化过程、元素(化合物)富集特点、生物学反应等进行分类(表1)。

按成因可分为:自然的、自然—技术的、技术的。自然省是指没有人为因素的干扰影响,是地壳演化过程中地质地貌、大地构造、土壤植被、气候、水等因素综合作用自然形成的。工业革命以后,由

于对自然资源的掠夺式开发和城市化进程的加速,导致生物圈发生了深刻变化。由于某些化学元素的开采丰度比(开采量与克拉克值之比)的剧升,与元素的生物地球化学循环比较,技术因素占了主导地位,故在一定地域内形成技术省。技术省的形成与在大工业企业、交通运输干线、矿业城市、农业景观区域内形成稳定的化学元素或有毒合成物有关,在地域上可以是区域的、局部的。技术省与自然省的区别在于,技术省与人类活动有关,地质历史时期很短,但其生物学后果是不可预见的。

自然—技术生物地球化学省是自然省和技术省的过渡类型,是自然和人类共同作用的结果。如今,已很难找到纯自然的生化省,人类或多或少会对自然过程产生一定影响。因此,所谓的自然是相对的。如在金属、氟和砷含量过剩的地区,哺乳动物常出现血红素合成受阻、氧化酶形成障碍、功能蛋白质硫基形成、钙—磷交换、二氧化碳组合代谢不正常、抵抗力下降,表现出环境化学因素致癌和诱变的作用,同时常、微量化学元素的循环与人类活动表现出显著的相关关系。一般将这类地区视为自然—技术生物地球化学省。

生化省可分为显域的和隐域的。在北半球灰化土和生草灰化森林土分布区存在着一系列不同的生化省和生物地球化学性地方病。从美国边境开始经过整个欧洲—法国北部、荷兰、丹麦、波兰,穿过波罗的海国家、莫斯科附近至乌拉尔,再向东经过整个西伯利亚到杰雅河和布列河,这些显域的生化省内元素碘、钴、铜、钙含量不足,锰、铁含量过剩,地方病如甲状腺肿、钴缺乏病、骨折、贫血等频发,这与钙、钴、铜、碘及其他元素在灰化土中的形态和活性有关,土壤中它们的含量不足或有植物吸收障碍。

对南半球红壤分布区,维诺格拉多夫^[4,5,6]认为同样存在类似的生物地球化学过程,“活性铝含量的过剩可能对该区的植物产生各种各样的影响”。现在已经发现人类患有铝微量元素病^[7],并且在自然界存在高铝生化省。维诺格拉多夫指出与局域相对应的另一种与地带性无关的生化省,称之为非地带性生化省,或隐域生化省,不同元素形成的分散晕分布区是这一类型生化省的典型代表。

维诺格拉多夫按元素的富集程度将生化省分为正生化省(元素或化合物过剩)和负生化省(元素或化合物不足)类型。按形成特征可分为原生的和次生的(沉积的)。

从时间角度可将生化省分为现代的和古生的。古生生化省问题的研究有助于了解生物的起源和地壳的演化历史的特征,遗憾的是这一问题并未得到深入研究。

根据生化省内生物学反映的主体,分为微生物

反应、植物反应、动物反应和人体反应的不同类型,有时很难将它们分开,因为微生物反应、植物反应、动物反应和人体反应经常同时出现。如大骨节病区(低硒生化省)常伴有动物白肌病。根据生物反应类型——元素和化合物不同水平的富积;动植物的生物地球化学分异;生物化学和一定的形态改变,出现不同的生化性地方病、微量元素病。

表 1 生物地球化学省分类

分类特征	典型代表	范例
形成时间	现代的	陆地和海洋生化省
	古生的	不同成因类型的生物圈局部封闭地段
地域	区域的	非黑土带区域生化省
	亚区域的	富硼的生化省
	隐域的	多金属的、堆积的和其他的生化省
成因	自然的	矿床氧化带
	自然—技术的	采矿工业区
	技术的(人为的)	富氟、金属、硝酸盐、农药、放射性生化省
富集特征	正的	化学元素过剩(As, F, Se, Pb)
	负的	化学元素缺乏(I, F, Se)
形成特征	原生的	化学元素分散晕区
	次生的(沉积的)	汞—锑、硒的次生化省,汞在水系沉积物中的富积
部分有机体的反应	微生物反应	化学元素的富积,微生物的适应与变化
	植物反应	化学元素的富积,植物形状与生物化学变化
	动物反应	微量元素病,生化性地方病
	人体的反应	同上
生物反应类型	元素和化合物不同水平的富积	有机体——富积器 指示豆科
	动植物的生物地球化学分异	特殊植物的存在,稳定哺乳动物的出现
	生物化学和一定的形态改变	改变生物活性化合物的合成和酶的活性,破坏其他物质新陈代谢,改变生物量和细胞结构
	出现生化性地方病、微量元素病	动物白肌病(缺硒)、氟中毒、地甲病和其他

三、生物地球化学省的研究方法与生态评价

生化省的方法是地球化学、生物学、化学、植物学、医学研究方法的交叉综合,研究元素在生物地球化学链各个环节的迁移规律,即元素从岩石圈经土壤、土壤微生物、大气、水、植物、食物到动物和人体的迁移。同时研究生物量、有机体生存空间、能量

来源及与元素生物地球化学循环有关的生物学反应(元素富集, 新陈代谢破坏, 适应性和病理变化, 疾病)。评价化学元素生物地球化学循环是生化省研究工作的重要内容。

微生物、植物的生物地球化学活动是影响化学元素及其组合在岩石圈—水圈—大气圈系统内物质交换过程中生物迁移径流形成的关键因素, 决定生物圈的生态系统平衡与稳定。生物地球化学研究包括分析各种地图资料、区域地质、地球化学状况与特性; 动植物、景观地球化学信息; 生物学反应(植物病理, 人和动物的患病率)。

地球化学异常和技术异常以及微量元素病或地方病分布的状况能够成为确定生化省的原始资料, 但是其后必须综合研究解决生物地球化学问题。化学元素组合的含量水平与有机体的病理状况的相互关系应全面研究, 因为它们可决定防治措施的有效性与合理性。

应该指出, 确定、研究和评价生化省的方法带有比较法的特色, 对地域的分析可以是概括的, 也可以是详尽的。最常用的方法是共轭法。对土壤的研究处于中心地位, 因为土壤的化学组成是成土母质、天然水、大气沉降物、微生物和植物活动共同复杂作用的结果。通常, 地域的生物地球化学评价包括从水平和垂直方面研究化学元素及其不同形态的迁移与土壤某些组分, 包括有机质的关系。在土壤—割草植物—微生物生物量系统中化学元素的生物吸收系数具有重要的意义, 化学元素在生物地球化学食物链各个环节含量的相关关系同样具有重要意义。

因此, 为表征和评价生化省需要如下信息: 区域地质和自然地理的详细资料; 土壤—植被的综合状况资料, 景观地球化学参数, 主要技术因素参数; 生物地球化学食物链中化学元素谱(岩石, 土壤, 水, 植物, 动物和其他有机体); 生物地球化学食物链中元素生命活性的形态及其化合物的含量水平, 包括以液相迁移的形态和水迁移系数; 化学元素在大气、土壤空气和大气沉降物中含量; 有机体生物学反应的描述与分析(化学元素及不同形态的累积, 生物学破坏, 适应性, 形态变异和疾病); 生物吸收系数、富集系数和分散系数; 生化省成因资料(来源、富集过程、食物链元素分异因素); 卫生学参数和生态状况的一般评价; 生化省的图件资料(元素或化合物含量水平, 生物学反应)。

生化省是特殊的生态系统, 其生

态环境状况的评价可采用生态不良状况的分级来实现, 通过对比分析地域的环境富集因素与生物学反应, 确定生物地球化学临界值, 叶尔玛科夫^[8]将生态环境分为4级: (1) 相对良好区; (2) 生态风险区(可逆的, 有限的, 大多数情况下可以消除生态破坏影响的地区); (3) 生态危急区(在很长时期较大地域范围内生态环境处于不良状态的地区, 消除其影响需要付出很大的代价和时间); (4) 生态灾难区(生态环境状况处于严重不良状态的地区, 实际上是不可逆的破坏, 具有明显的地段性和专用性, 在此种情况下, 能体现生物地球化学临界值和生物反映关系的生态不良状况差别非常显著)。

生物地球化学临界值是不同化学元素在植物体内的含量水平或比例(如 C: N, Ca: Sr, Ca: P; 微量元素和有害化学元素超过最大允许水平或背景含量), 它是在对生物圈不同分级类型、地球化学生态学综合研究的基础上确定的。总体上, 生物地球化学临界值反映元素生物地球化学循环的受损程度和有机体的平衡状况。实际上, 它是化学元素在生物地球化学食物链的中心环节——植物体内的含量或比例范围值。

图1表示了有机体的平衡功能和病理状况与地球化学环境富集因素的关系^[9, 10, 11]。事实上, 它是生化省的一个基本定律, 就像生态学的李比希最小定律一样。由此发现生物地球化学临界值主要与化学元素迁移的自然与技术因素的相互作用有关。临界值方案可参考文献[8]。

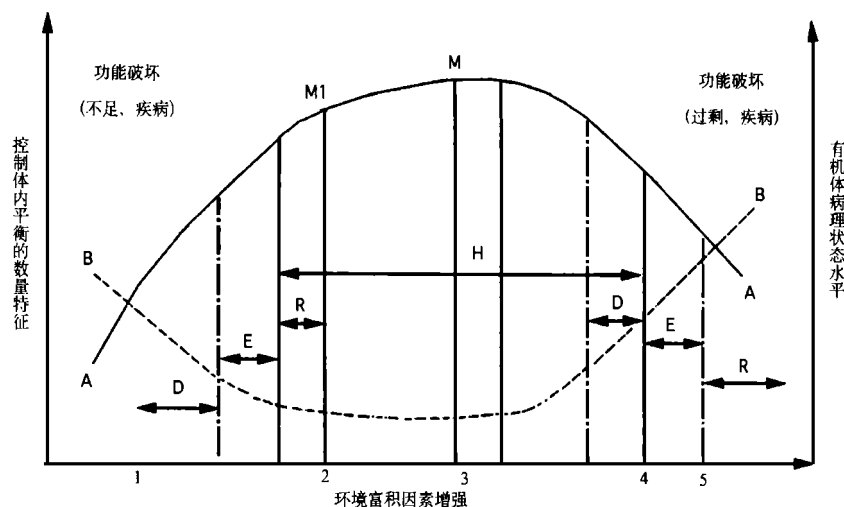


图1 有机体生理调节机能(A)和病理状况水平(B)与地球化学环境富集因素

1. 化学元素不足状态; 2. 下限阈值; 3. 正常含量范围; 4. 上限阈值; 5. 化学元素过剩状态; M——有机体对化学元素需求的潜在最佳平均含量; M1——生理最低需求的可能值; D, E, R——分别为生态灾难、危急和风险状态的化学元素或化合物的含量范围值

四、我国生物地球化学省的地理分布

生化省的学说在我国已得到了很大发展,从60年代起针对克山病开展了数次多学科的综合调查。“七五”至“九五”期间是我国地方病研究的高峰期,为生化省学说在我国的发展壮大奠定了良好的基础。

通过对比分析我国生化省、生态环境状况和行政分区的资料,王明远^[1]从化学地理的角度将我国的生化省(生物地球化学区)分为8种类型:蒸发浓缩型;矿床和矿化地层成因型;矿泉成因型;生物积累成因型;湿润山岳成因型;沼泽泥炭成因型;沙土成因型和高海拔成因型。

元素过剩的(正的)生化省主要分布在我国西北干旱、半干旱土壤盐分累积区,由于成土母质、大地构造、气候、水文等条件的影响,易形成元素过剩的生化省,动植物表现出不同的生物学反应。如内蒙古巴丹吉林、腾格里沙漠,新疆的准葛尔、塔里木盆地和西藏北部高原的富砷区,居民甚至出现砷中毒(乌脚病)。此外,正生化省经常与矿床或矿化带相伴生,如贵州的高氟生化省与富氟煤系地层有关,湘西陕南的环境高硒与富硒煤层有关,上述两区流行人和动物的氟、硒中毒。

负生化省主要分布在我国东部和东南部湿润地区,活性化学元素易从环境中流失,形成元素缺乏的生化省。如缺碘区几乎遍布我国东部的整个山区。在西北干旱区和东南部湿润区之间过渡地带的山岳丘陵区,广泛分布一条东北西南走向的、不连续的低硒带,区内流行动物白肌病和人类大骨节病、克山病。

技术省在我国的分布相当广泛,虽然技术省并没有作为明确的概念提出,但很多环境研究工作都涉及到技术省的问题。技术省多为正生化省(也有负生化省,如臭氧层空洞),主要与人类向环境排放“三废”、使环境污染物含量增加有关。城市是技术省分布的典型地区,且多是复合的技术生化省,如我国城市大气中二氧化硫、二氧化氮含量明显高于农村地区,同时从城市中心向郊区土壤中铅含量逐渐降低,直至达到背景含量^[12]。

河流、湖泊由于点、面源污染而使水体中氮、磷含量升高,甚至出现湖泊水体富营养化,导致鱼类死亡;农田的过度利用致使土地营养元素含量下降。另一方面由于大量使用农药、除草剂,使农田土壤有害物质含量升高(这是发展绿色食品基地的重要原因)、生物量减少、农产品质量下降;在矿山开采、冶炼、石油加工等工矿企业周围地区形成的金属元素或有机化合物含量升高,致使动植物受到严重危害,甚至威胁人类健康。类似的技术省几乎遍

布我国各个行政区。

总之,生化省是在自然,或技术,或自然技术综合影响下形成的特殊生态系统,对该系统的生态评价需要地球化学、化学、动物学、植物学、医学等方面的广泛合作。技术省问题的研究正随着环境污染日趋严重而逐渐引起有关学者的关注。但是,技术省的形成、演化机理及其生物学毒理效应、调控对策等研究工作并未得到应有的重视。因此,开展技术省研究对协调人地关系、改善生态环境、控制环境污染、保障生态安全等重大生态环境问题具有重要现实意义和深远的社会意义,是保护生物圈的功能价值和寻求生态环境资源可持续利用的需要。

主要参考文献

- [1] 王明远,章申.生物地球化学区和地方病探讨.中国科学, B 辑, 1985(10), 932-936
- [2] Виноградов В. В., Биогеохимические провинции и эндемии, Докл. АН СССР, 1938, Т. 18, N. 4/5, с. 283-286
- [3] Виноградов В. В., Биогеохимические провинции, Труды юбилейной сессии, посвященной столетию со дня рождения В. В. Докучаева, М.; Л.; Изд-во АН СССР, 1949, с. 59-81
- [4] Виноградов В. В., Очерки о биогеохимических провинциях, Тр. Биогеохим. Лаб. АН СССР, 1960, Т. 11, с. 3-7
- [5] Виноградов В. В., Биогеохимические провинции и их роль в органических эволюциях, Геохимия, 1963, N. 3, с. 199-213
- [6] Виноградов В. В., Биогеохимические провинции, Химизация сельского хозяйства: Научно-технический словарь-справочник, 2-ое изд., истр. и доп., М.: Наука, 1968, с. 36-37
- [7] Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Сторочкова Л. С., Микроэлементоз человека, М.: Медицина, 1991, с. 496
- [8] Брмаков В. В., Биогеохимические провинции: концепция, классификация и экологическая оценка. Основные направления геохимии к столетию со дня рождения академика А. П. Виноградова, М.; Нью-Йорк, 1995, с. 183-196
- [9] Ковальский В. В., Геохимическая среда и жизнь, М.; Нью-Йорк, 1982, с. 78
- [10] Ковальский В. В., Геохимическая экология, М.; Нью-Йорк, 1974, с. 300
- [11] Ermakov V. V., Biogeochemical regioning problems and the biogeochemical selenium provinces in former USSR. bio. Trace Elm. Res., 1992, Vol. 33, N. 33, pp 171-185
- [12] Zhang Xueling, Meng Ke, Lead content of urban soils in China, Journal of Environmental Sciences, 1994, Vol. 6, N. 3, pp 355-360

(责任编辑 王宏章)