

# 大气与植物中碘的环境地球化学

## ——综述与新的假说

郑宝山,王滨滨,朱广伟,余孝颖

(中国科学院 地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

**摘 要:**大量研究结果证实,人体摄入的碘 80%以上来自于食品,因此,碘缺乏病病区的形成应归因于植物含碘量的区域性差异。植物中的碘来自于大气和土壤,至今科学尚不能搞清在不同情况下,哪一部分碘占据主要部分。土壤中的碘与成土母岩中的碘含量基本无关,土壤碘含量主要决定于母岩风化产物对大气干湿沉降碘的吸收和保持能力。限于植物和大气中碘测定的困难,在碘的地球化学与碘缺乏病病区成因的问题上,目前仍有许多未解之谜。笔者提出,土壤中某种形态的碘可能以气态挥发并在近地大气层富集,存在植物吸收利用这一部分碘的条件地区,不会有碘缺乏病的流行。

**关键词:**碘;大气;植物;地球化学

**中图分类号:**X142 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2321(2001)02-0359-07

### 1 新假说研究背景

1991 年中国向国际社会正式承诺,2000 年实现消除碘缺乏病(Iodine Deficiency Disorders,以下简称 IDD)的目标,鉴于单纯在 IDD 病区采取食盐加碘措施的不足,改为全民食盐加碘。经过近 10 a 的努力,我国 IDD 的患病率已大大下降。全民食盐加碘功不可没。从生态学的角度看,这标志着我国从碘的自然生态环境进入了一种人为加碘的非自然生态环境。这种巨大的变革是人类进化历史上重要的一页。人类迈出这一步既是文明进步、知识积累的结果,又是这种知识尚嫌不足的体现,更确切地说是在两害相权取其轻的情况下作出的无奈的选择。

陆地与海洋的差别之一是其化学成分均一性的差别。全球海洋的化学成分基本是相同的,因此海洋生物可以得到稳定充足的碘。受陆地距海洋距离、岩性、地貌、植被、土壤、水文地质条件多种因素的影响,陆地环境中碘的分布极不均匀。从生物离开海洋进入陆地那一天起就面临着碘缺乏的问题,

但只有具有高度智慧的人类能采取有意识的加碘的措施。全民食盐加碘的弊病在于在给少数(占人口总数比例)真正贫碘的人加碘的同时还要给那些本来不缺碘的人和极少数碘摄入量过多而受害的人强制性补碘。但是尽管已对碘的地球化学进行了上百年的研究,科学工作者仍不能仅仅根据一个地区的自然状况明确判断当地居民是否缺碘,因此无法划出需要食盐加碘的区域。另一个困难则是管理上的。食盐的销售渠道是按行政区划设置,按照商品流通规律运行的,无法保证在同一销售渠道内将加碘食盐和非加碘食盐分别销售给缺碘和不缺碘的居民。全民食盐加碘在经济上额外的开支比起 IDD 的危害相对较小;对高碘型地甲肿病区来说,食盐加碘所增加的碘比起居民原来摄入的碘要少得多。在此权衡下采取全民食盐加碘的措施无疑是正确的。

人们早已认识到地方性甲状腺肿的病因不仅仅是缺碘,环境中的致甲状腺肿物质也是重要的因素。有些致甲肿物质如洋白菜、木薯中的硫氰酸盐,再如过氯酸盐、亚硝酸盐、溴、氟、钙、锂等,它们可以争夺人体摄入的碘,导致地甲肿的流行。加大碘的摄入量可以抵消它们的作用。硫尿、硫尿嘧啶、磺胺、对氨基水杨酸、氯化钴等可以抑制碘的有机化学过程;某些植物中的硫噁唑烷酮可以阻止甲状腺碘化酪氨酸偶联过程;水中含钙过高影响消化道对碘的吸收;

收稿日期:2001-01-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(49673203)

作者简介:郑宝山(1944—),男,研究员,博士生导师、环境地球化学专业。

大量吃核桃可促使甲状腺素过量从胆汁排出, 所有这些因素也会导致地甲肿的流行, 而且补碘不能对抗上述物质的致甲肿作用<sup>[1]</sup>。据台湾学者介绍, 台湾食盐加碘已进行了 50 a, 但甲状腺肿大率仍维持在 5% 左右, 难以继续下降<sup>[1]</sup>。四川省近年来的调查也证实, 尽管食盐加碘后, 某些地区人的尿碘日排泄量已达到 100  $\mu\text{g}$  的水平, 但甲状腺肿大率仍维持在较高的水平<sup>[2]</sup>。

近 20 a 来, 围绕 IDD 的环境地学问题, 我国学者开展了大量研究工作, 取得一些重要成果。但是这些研究受到罗津所著《溴与碘的地球化学》一书较大的影响。该书过多地强调了碘的水文地球化学问题, 起了有害的导向作用<sup>[2]</sup>。事实上现已证实, 在正常情况下, 人从饮水中摄入的碘只占总摄入量的 20% 左右, 80% 左右的碘来自食品和空气<sup>[3]</sup>。因此 IDD 的核心应当是植物中碘的地球化学问题, 遗憾的是, 由于分析手段和认识上的原因对此重视不够, 大量的研究放在了饮水和土壤方面。

国内外学者将地方性甲状腺肿病区分为以下 7 种类型: (1) 高纬度酸淋失型; (2) 沼泽泥炭固碘型; (3) 高山氧化淋溶型; (4) 极地冰川型; (5) 强渗流弱吸附型; (6) 元素拮抗型; (7) 高碘型。其中第 (1)、(2) 两种类型, 研究者认为是因为土壤中的有机物质腐殖酸强烈地吸附了碘, 如果碘随腐殖酸一起淋失, 就形成第一种病区; 如果碘被腐殖酸牢牢禁锢, 作物不能吸收就形成第 (2) 种病区。第 (3)、(4)、(5) 种类型, 主要由于水土流失严重、熟土减少, 土壤缺乏有机质和粘粒成分, 固碘能力不足, 再加上地质地貌气候条件的影响, 使碘流失的氢化、蒸发、渗滤作用强烈造成的。第 (6) 种是因碘与其它元素形成了难溶化合物不能为人体吸收造成的。第 (7) 种是饮用油田或富碘矿区附近含碘过高的地下水或食用高碘食品所致<sup>[4,5]</sup>。

王明远、林年丰、赵光武、杨忠跃等认为, 我国地方性甲状腺肿病区主要类型是: 高山氧化淋溶型、沙土强渗流弱吸附型、沼泽泥炭固碘型和高碘型<sup>[6]</sup>。上述研究基本停留在根据地甲病的地理分布和碘的化学性质, 给出一个解释性的假说的阶段, 并没有对这些病区内碘在岩石、土壤、饮水、植物、人体中的存在、迁移、富集与贫化规律进行定量的地球化学研究。因此尽管提出了这些成因类型, 但没有一个研究者能够根据其理论在地甲病的分布图上勾画出不同类型病区的界限和轮廓。王明远、章中等人发现

饮水碘含量与地甲病发病率间存在着双曲线、双阈值关系<sup>[6]</sup>, 于志恒等人证实了这一结果<sup>[7]</sup>。但是由于人摄入的碘主要来自于植物, 只有证明了饮水碘与植物中碘有正相关关系之后, 上述结论在理论上才能得到合理的解释。李日邦等人 (1985) 和朱发庆分别研究了我国土壤中的碘及其与 IDD 分布的关系<sup>[8,9]</sup>。他们的研究给出了我国不同类型土壤的平均含碘量, 发现其间差异极大。由于样品采自距海洋距离不等, 基岩、地貌和植被条件差别甚大的地点, 而这些因素对土壤碘含量的影响比土壤类型的影响大的多, 因此根据土类地理分布研究 IDD 分布规律困难很大。李和朱的研究也注意到植物碘含量不仅决定于土壤, 它还受到其他多种因素的控制。

作为一个医学工作者, 朱宪彝教授对我国地甲病的地理分布规律做了最精辟的描述, 将其分布规律总结为山区多于平原, 内陆多于沿海<sup>[10]</sup>。谭见安等人在《中华人民共和国环境与地方病图集》中将这一观点发展为“山区多于丘陵, 丘陵多于平原, 内陆多于沿海”<sup>[11]</sup>。但德忠和李平在 1994 年的论文中进一步将其阐述为: “深山区高, 山区高于丘陵地区, 丘陵高于平原地区, 内陆高于沿海地区, 河流上游高于下流区, 农业区高于牧业区。”<sup>[12]</sup> 事实上存在着相当多的相反分布现象。例如四面环海的台湾、山东半岛、辽东半岛, 以致渤海湾中的葫芦岛都有比较严重的 IDD 流行 (不包括所谓高碘型地甲肿)。贵州省的 IDD 病区集中在相对距海较近、海拔较低的黔东南、黔南地区。黔西、黔北地区则流行地方性氟中毒, 两者绝不在同一地点共生, 有明显的分界线。朱文郁等人和段荣祥等人对此作出了完全不同的解释。

朱文郁等人在贵州采集岩石样品 7 种 27 份, 土壤样品 25 种 52 份, 发现黔西北地区岩土样品中碘明显高于黔东南地区的样品, 并以此解释贵州 IDD 的病区分布规律<sup>[13]</sup>。但是他们未对关键性的植物性食品中的碘含量进行研究, 因为土壤碘高并不意味着植物中碘也高。另外根据如此少的非系统性标准化的岩石样品分析结果, 对几万  $\text{km}^2$  范围内基岩中碘的含量进行判断, 可信度亦嫌不足。况且即使基岩中碘含量高, 其上发育的土壤中碘含量并不

① 黄天祥, 关于台湾地方性甲状腺肿流行与防治的报告 (未刊资料)。

② 白学信, 四川 IDD 的地理分布特征 (待刊资料)。

一定高。段荣祥等发现室内燃煤会污染室内食品和饮水, 增加碘的摄入量抑制 IDD 的流行。黔西、黔北地区正好是贵州省煤的分布区<sup>[14]</sup>。但是室内燃煤不会造成岩石、土壤碘含量升高, 段荣祥的结果与朱文郁发生矛盾。段荣祥报告中的缺陷是未对黔东南和黔西北地区新鲜粮食中的碘含量进行对比研究。

IDD 是因为病区植物性食品碘含量不足造成的, 但对病区成因和划分的研究却集中在土壤和饮水上, 一些研究者认识到并希望解决这一问题, 为此在分析资料不足的情况下, 提出了一个基本的假设, 即: “一般地讲, 在一个地区内, 土壤、饮水、植物的碘含量是平行的, 它们与碘缺乏病患率有密切关系。”<sup>[10]</sup> 可惜的是, 尽管可以找出许多符合这一假设的实例, 但在理论上一直未能做出合理的解释, 而且在很多情况下, 这一假设是不能成立的。

根据上面的分析, 我们可以说, 在与人类健康关系密切的微量元素中, 碘是最早被认识的一个, 也是至今认识得最不充分的一个。

近 20 a 来, 环境样品中碘的采样和分析方法有了很大改进。许多学者对核爆炸和核电站生产过程中释放的碘同位素的环境地球化学行为进行了大量研究, 而它们是环境中碘的地球化学研究中极好的示踪剂。在以上基础上, 碘的地球化学研究取得了重大进展。40 a 前, 天才的地球化学家戈尔德·施密特根据少量数据进行理论分析和推测, 指出来自海洋的大气碘是土壤中碘的主要来源<sup>[15]</sup>。戈氏指出碘是亲海洋、亲气、亲生物的化学元素, 他所构筑的基本理论框架, 随着时间的推移, 已被大量新的研究成果所证实。

综合分析国内外关于环境中碘的研究进展, 实际上控制 IDD 病区成因与分布的核心是植物中碘的地球化学问题, 而这个问题包括两个基本的方面: (1) 大气碘含量在垂直方向、距海洋不同距离水平方向上, 在各种不同水热条件、植被状况、季风等因素影响下的变化情况; 植物碘含量与大气碘含量特别是近地层大气碘含量, 土壤以气态释放碘的能力间的关系。(2) 土壤固定碘的能力, 土壤向植物根系提供碘, 以气态向植物茎叶提供碘的能力之间的关系。

本文主要对第一个方面近年来的研究进行综述, 并在此基础上提出新的假说。

## 2 大气中的碘

大气中碘的浓度是来自海洋和陆地的碘与以干湿沉降的方式失去的碘平衡的结果。

在海洋表面微小水泡破裂过程中可以把碘和氯一起引入低层大气并被海风吹往陆地, 受这一过程的影响, 近海地区大气碘含量明显高于内陆, 但是对于这一作用的影响距离则有非常不同的看法<sup>[16]</sup>。Mason 和 Morre (1982) 注意到大气中 I/Cl 比值比海水中同一比值高 1 000 倍, 因此一定还存在着不同于前述过程的机制, 可以把碘优先引入大气<sup>[17]</sup>。由于海水中没有元素碘, Mixake 和 Tsunogai (1963) 认为, 光化学氧化可使海水中的碘化物转变为元素碘, 继而挥发进入大气<sup>[18]</sup>。Lovellock 则认为, 大气中的臭氧也可发挥同样的作用<sup>[19]</sup>。

海洋生物可把海水中的碘化物转化为甲基碘并将其释放进入大气<sup>[19~21]</sup>。甲基碘是惟一可以在自然过程中产生并被检测出来的有机碘化物, 已经在大气中检测到甲基碘的存在<sup>[22]</sup>。Rasmussen 等并发现太平洋海水中中和大气中甲基碘的浓度变化很大。他们认为除海洋生物释放甲基碘外, 陆地表面和潮间带也是大气中甲基碘的重要源区<sup>[23]</sup>。

大气中碘的存在状态相当复杂, 碘可以以游离的元素碘、甲基碘、次碘酸盐、碘酸盐的状态存在, 也可以以它们与 O<sub>3</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、CO 发生复杂的大气化学反应后的产物的状态存在, 还可以被大气中的颗粒物所吸附。海洋陆地上空碘存在状态的差异, 大气化学过程的差异, 它们对碘的干湿沉降过程的影响是一个极为复杂的过程, 至今已对其中一些过程有所了解, 但还远未了解其全貌<sup>[24~27]</sup>。

陆地土壤中碘的挥发、化石燃料的燃烧, 土壤悬浮微粒是大气中碘的另一来源<sup>[28,29]</sup>。Goldberg 估计每年经这些途径进入大气的碘还不到每年大气降水过程沉降的碘的千分之一, 因此海洋是大气碘的主要来源<sup>[30]</sup>。

不同时期不同作者有关大气中碘浓度的报道值有很大的差异。Duce 认为这种差别有很多是采样和分析方法的误差造成的<sup>[31]</sup>。Kocher (1973) 认为海洋上空大气碘浓度高于陆地<sup>[32]</sup>, 但是 Duce 等 (1973) 发现南极海岸和内陆大气碘浓度间没有明显差异, 在北极地区也有类似的现象。这一问题目前尚无定论。对于我们来说, 如果海陆大气碘浓度相

近,IDD病的发病率内地多于沿海就又少了一个基本的理论依据。

大气中碘的干湿沉降:缺乏海上降水中碘浓度的资料,沿海几 km 内降水中碘浓度高于内陆,除此之外,降水中碘平均浓度在  $1.5 \times 10^{-9} \sim 2.5 \times 10^{-9}$  之间<sup>[18,33,34]</sup>。雨水中碘化物和碘酸盐的比例在沿海和内陆有所不同<sup>[31]</sup>。湿沉降是土壤中碘的最主要来源<sup>[26]</sup>。

大气中碘的干沉降研究近年来取得很大进展。已经证实,元素碘、甲基碘和次碘酸盐的沉降速度依次降低<sup>[24]</sup>。颗粒状态碘的沉降速度决定于颗粒物的粒径、风速和扰动。植被越茂盛的地区干沉降的速度越快。Nielsen (1981)估计,每公顷每年平均干沉降碘  $9.6 \text{ g}^{[16]}$ 。在降水为 800 mm 时,每年每  $\text{hm}^2$  湿沉降碘为 16 g。因此干沉降对土壤特别是对植物内的碘含量也有不可忽视的作用。

### 3 土壤中的碘

只有极少量的碘是由成土母岩风化提供的。将成土母岩碘含量与土壤碘含量进行对比的意义不大。土壤母质对土壤碘含量的影响主要是通过它对来自大气的碘的固定能力来体现的。土壤中的碘来自大气干湿沉降,植物吸收大气碘后植物残体的腐烂,土壤母质的风化以及动物排泄物和人为活动。

Bowen(1979)在《元素环境地球化学》一书中,对土壤碘含量进行综述后指出,世界表层土壤平均碘含量约为  $5 \text{ mg/kg}^{[35]}$ 。英国由于四面环海,土地又多为植被所覆盖,132 个表层土壤平均含碘  $9.2 \text{ mg/kg}^{[36]}$ 。土壤中铁铝氧化物、粘土矿物、腐殖酸类有机物越高,碘含量越高。土壤与植物和大气之间都存在着碘的交换。植物通过根系吸收土壤中的碘,它死亡腐烂时除将自土壤中吸收的碘返还土壤,还将从大气中吸收的碘转移给土壤。大气的干湿沉降直接把碘输入土壤,土壤中的碘也可以变成元素碘直接挥发进入大气。

土壤中碘的挥发是化学和微生物两种作用过程的结果。前者向大气释放的是元素碘和碘化氢,后者释放的是甲基碘。土壤干燥的程度、酸碱度和氧化还原条件、微生物活动的强度决定着土壤中碘的挥发性。Oosterveld (1976),Reiniger (1977),Saas (1975)<sup>[37]</sup>,Prister (1977)<sup>[38]</sup>,Brauer Strebin (1982)分别使用<sup>125</sup>I,<sup>129</sup>I,<sup>131</sup>I对土壤中碘的挥发问

题进行了放射性示踪研究。干燥的、砂质的、有机质含量低的、酸性的、缺乏植被的土壤有利于碘的挥发。Fuge (1990)认为,石灰岩地区的土壤并不贫碘,但有 IDD 流行,这是因为在石灰岩这一成土母岩存在的情况下,土壤中的碘不易挥发而被植物所吸收利用<sup>[39]</sup>。

早期的研究工作认为栽培过程从土壤中移去的碘多于大气干湿沉降补充的碘,因此农用土地的碘含量逐渐降低(Chilean Iodine Educational Bureau, 1956)。Johnson 和 Butler<sup>[40]</sup>,Shacklette 和 Cuthbert<sup>[41]</sup>关于植物中碘的研究结果被广泛引用。80 年代后的研究证实,在这些早期文献中,由于分析方法的缺陷,对植物碘含量的报道值偏高。对美国、英国、法国、新西兰大批植物样品进行分析,发现碘含量一般在  $0.05 \sim 0.5 \text{ mg/kg}$ (干重)之间(Fisher 和 Carr, 1974; M. A. F. F., 1975; Piel, 1978; Sutcliffe 和 Davidson, 1979, Wenlock 等, 1982)<sup>[42]</sup>。事实上尽管 Shacklette 和 Cuthbert 在 1967 年报道植物中碘含量在  $2.8 \sim 10.0 \text{ mg/kg}$  之间,但在 1973 年的论文中已做了重大修改,对密苏里州 38 个玉米样品进行测定,平均碘含量为  $0.086 \text{ mg/kg}^{[43]}$ 。根据新的研究结果,农业生产过程不会导致土壤中碘浓度的降低。

### 4 植物中的碘

植物通过根和叶片吸收土壤和大气中的碘。颗粒状的碘直接沉降到植物的叶片上,气态碘则可通过植物的气孔而进入叶片的中间层(Hungate 等, 1964)。Chamberlain (1970)经研究认为碘自叶、茎向根部的输送可忽略不计<sup>[44]</sup>。但是 Thomas 和 Hill (1952)的研究发现有可观数量的碘可从叶片转移到根和气态部位<sup>[16]</sup>。

大气干湿沉降的碘容易因降雨、风和植物组织的死亡、枯萎而损失。气态和颗粒状态碘在草本植物内的半衰期约为 7~9 d,在木本植物内时间稍长(Miller 和 Hoffman, 1982)。

一般认为陆地植物体内碘的挥发是微不足道的。将<sup>125</sup>I加入到栽有植物的封闭容器内的土壤中,Cline 和 Klepper (1975)未能在容器内的空气和容器器壁上测出<sup>125</sup>I的存在<sup>[45]</sup>。

植物根部吸收的碘大多保存在根内,营养液中碘浓度由  $10^{-8} \text{ mol/L}$  升高到  $10^{-5} \text{ mol/L}$  过程中,

植物吸收的碘向茎叶转移的数量也逐渐增加<sup>[46]</sup>。

Brauer 和 Ballou (1975) 发现<sup>129</sup>I 与<sup>127</sup>I 的比值在植物叶片中高于同一地点的土壤, 这意味着植物叶片吸收大气中碘多于根部从土壤吸收碘。Tikhomirov 等人 (1980)<sup>[47]</sup> 则发现燕麦对加入到土壤中的<sup>125</sup>I 的“吸收系数”小于天然稳定碘, 这也表明燕麦通过茎叶吸收富集大气中的天然碘。Whitehead (1979) 注意到在同一地点自大气吸收养分的地衣含碘量比从土壤中吸收碘的地衣含碘量高, 这从侧面说明大气是植物碘的主要来源<sup>[48]</sup>。

认为植物主要通过根系从土壤吸收碘的最重要证据是 IDD 病区的存在。如果植物主要从大气吸收碘的话, 由于碘在大气中易于扩散迁移, 全球大气中碘的浓度应当差别不大, 进而植物碘含量也应相差不多。这样一来, IDD 就不应当存在了。

碘和氟都属于卤族元素, 看来它们都具备被植物叶片从大气中吸收富集的性质, 而且都有一种有趣的特征, 即植物的根系可以吸收土壤溶液中的氟和碘, 但这部分氟和碘很少向植物的茎叶输送。另一方面, 植物的茎和叶吸收富集大气中的氟和碘, 这部分氟和碘也不向根系输送。当大气氟质量浓度为  $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  时, 植物叶片中的氟可以达到  $200 \text{ mg}/\text{kg}$ , 富集系数为 20 万倍<sup>[49]</sup>。相应的全球大气碘质量浓度约为  $1\sim 2 \text{ ng}/\text{m}^3$ , 而植物中碘的平均浓度为  $0.05\sim 0.5 \text{ mg}/\text{kg}$ , 富集系数约为 50 万倍, 两个富集系数十分接近。

目前还不能对人类植物性食品(也应包括牧草, 因为它们是牲畜碘的主要来源)中碘究竟主要来自于大气还是主要经由根系吸收来自于土壤作出结论。如果最终证实主要来自大气的话, 已有的 IDD 病区成因理论将必须改写。

#### 4 有关大气与植物中碘的环境地球化学的新假说

综合分析上述研究进展, 我们对碘的地球化学循环问题产生了新的设想。传统观念认为碘在大气和植物间存在着两个循环。一个循环是碘由海洋进入大气, 大气的干湿沉降被土壤和植物所吸收。植物死亡腐烂后进入土壤, 再经风化淋滤作用经河流返回海洋。另一个循环则是植物自土壤吸收碘, 植物死亡腐烂后把碘返还土壤。在我们看来, 极有可能还存在着第三个循环过程。土壤中的碘可以挥

发, 由于碘蒸汽的比重是空气的 8 倍多, 在静风天气条件下, 土壤挥发出来的碘可在近地层空气中富集, 植物的茎叶可直接吸收富集这些碘, 植物死亡腐烂后把碘返还土壤。自土壤中挥发出的另一部分碘因空气流动和分子扩散运动而与大气中的碘混合, 进入前两个循环之中。

尽管从全球碘的循环来看, 土壤挥发出的碘还不到海洋释放大气的碘的千分之一, 但在植物生长的高度内, 这部分碘可能比海洋提供的碘更有意义。从另一个角度来看, 植物经叶片吸收的自土壤挥发的碘有可能比经根系吸收的碘更为重要。

我们看到了一种新的岩石—土壤—植物间的元素关系模式。岩石和土壤碘含量间没有相互继承的直接联系, 但成土母岩的化学成分和结构、构造对土壤保持或固定大气中碘的能力产生影响。土壤中的碘也主要不是经根系为植物吸收而是自土壤挥发后为叶片所吸收。

上述 3 个循环的假说可以圆满解决 IDD 病区的成因问题, 为 IDD 的可持续控制提供依据。这一假说的证实依赖于大气和植物中碘的精确测定, 而这正是目前碘地球化学研究最大的难点。

科学是发展的。多年来我国学者紧密围绕 IDD 病的病因和地理分布作了一些研究, 由于分析手段的局限, 研究的重点放在岩石、土壤和饮水方面, 积累了大量宝贵资料。发达国家为研究放射性碘在环境中的迁移富集规律, 对大气、植物中碘的问题做了大量工作, 可惜在这些国家 IDD 早已被控制, 高度商品化的饮食构成混乱了环境与人之间的物质联系, 因此他们的研究尽管在理论细节上有所突破, 对于控制大气和植物中碘含量的因素有所了解, 但他们难以从宏观上掌握碘的环境地球化学分异规律。

我国是世界上最大的至今尚有 IDD 流行的国家, 幅员广阔, 自然地理条件千差万别, 各种控制环境中碘分异的规律充分表现出来。我国有完整的 IDD 调查资料。利用国外研究积累, 创立适合我国国情的研究方法, 发挥我国在地理条件、IDD 分布资料方面的优势, 有可能在碘的环境地球化学方面作出世界水平的科研成果。同时在这项研究中获得的知识也将为 IDD 的彻底根除提供必要的理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 马泰. 地方性甲状腺肿病学[A]. 中国医学百科全书地方

- 病学[M]. 北京: 上海科学技术出版社, 1985. 30-31
- [2] 罗津 B R. 溴和碘的地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1977.
- [3] 黄开勋. 碘[A]. 王夔. 生命科学中的微量元素(下卷)[M]. 北京: 中国计量出版社, 1992. 217.
- [4] 赵光武, 杨中跃. 碘迁移的水文地球化学作用与地甲病的成因类型[J]. 中国地方病学杂志, 1988, 7(4): 227-229.
- [5] 林年丰. 医学环境地球化学[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991. 164-175.
- [6] 王明远, 章申, 李象志. 环境中的地方性甲状腺肿[J]. 环境科学学报, 1983, 3(4): 283-285.
- [7] 于志恒, 胡宣扬, 朱惠民, 等. 碘与甲状腺肿流行规律的调查研究[M]. 中国地方病学杂志, 1987, 6(6): 331-334.
- [8] 李日邦, 朱文郁. 我国地带性自然土壤中碘的研究[J]. 环境科学学报, 1985, 5(3): 297-300.
- [9] 朱发庆. 土壤碘的来源及其与我国地甲病分布规律的关系研究[J]. 地理科学, 1989, 9(4): 369-376.
- [10] 朱宪彝. 地方性甲状腺肿流行病学[A]. 中国医学百科全书地方病学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 29-30.
- [11] 谭见安. 中华人民共和国地方病与环境图集[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [12] 但德忠, 李平. 环境地球化学中的碘与我国的碘缺乏病[J]. 矿物岩石, 1994, 14(4): 69-75.
- [13] 朱文郁, 王五一, 谭见安, 等. 贵州地区土壤碘、人工碘与地方性甲状腺肿的关系[J]. 中国地方病学杂志, 1982, 1(1): 6-12.
- [14] 段荣祥, 黎平, 安冬, 等. 贵州生活燃煤与碘缺乏病的关系[J]. 中国地方病学杂志, 1994, 13(4): 241-242.
- [15] 施密特 M G. 地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1959.
- [16] WHITEHEAD D C. The distribution and transformations of iodine in the environment[J]. *Environment International*, 1984(10): 321-339.
- [17] MASON B, MORRE C B. *Principles of Geochemistry*[M]. 4th ed. New York, USA: John Wiley and Sons, 1982.
- [18] MIXAKE Y, TSUNOGAI S J. Evaporation of I from the ocean[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1963(68): 3989-3993.
- [19] LOVELOCK J E, MAGGS R J, WADE R J. Halogenated hydrocarbons in and over the Atlantic[J]. *Nature*, 1973(241): 194-196.
- [20] LISS P S, SLATER P G. Flux of gases across the air-sea interface[J]. *Nature*, 1973(247): 181-184.
- [21] CHAMEIDES W L, DAVIS D D. Iodine: its possible role in tropospheric photochemistry [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1980(85): 7383-7396.
- [22] GRAEDEL T E. *Chemical Compounds in the Atmosphere* [M]. New York, USA: Academic Press, 1978.
- [23] RASMUSSEN R A, KHALIL M A K, GUNAWARDENA R, et al. Atmospheric methyl iodide(CH<sub>3</sub>I)[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1982(87): 3086-3090.
- [24] ATKINS D H F, CHADWICK R C, CHAMBERLAIN A C. Deposition of radioactive methyl iodide to vegetation [J]. *Health Physiology*, 1967(13): 91-92.
- [25] MOYERS J L, DUCE R A. Gaseous and particulate iodine in the marine atmosphere [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1972(77): 5229-5238.
- [26] LUTEN J B, WOITTEZ J R W, DAS H A, et al. Determination of iodine in rain water[J]. *Journal of Radio-analytical Chemistry*, 1978(43): 175-185.
- [27] CICERONE R J. Halogens in the atmosphere[J]. *Review of Geophysics Space Physiology*, 1981(19): 123-133.
- [28] BEWERS J M, HAYSORN H H. Terrigenous dust contribution of fluoride and iodine in atmospheric precipitation[J]. *Journal de Recherches Atmosphere*, 1974(8): 689-697.
- [29] MOYERS J L, ZOLLER W H, DUCE R A. Gaseous bromine and particulate lead vanadium, and bromine in polluted atmosphere[J]. *Journal of Atmosphere Science*, 1971, 28: 95-98.
- [30] BERTINE K K, GOLDBERG E D. Trace elements in clams, mussels and shrimp[J]. *Science*, 1971(173): 233-235.
- [31] DUCE R A, ZOLLER W H, MOYERS J L. Particulate and gaseous halogens in the Antarctic atmosphere[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1973(78): 7802-7811.
- [32] KOCHER D C. On the long-term behavior of iodine-129 in the terrestrial environment [J]. *Environment International*, 1981(5): 15-31.
- [33] BOLIN B. Exchange of I between the atmosphere, land, and sea[J]. *International Journal of Air Pollution*, 1959(2): 127-131.
- [34] DEAN G A. Iodine content of some New Zealand drinking waters—contribution from sea spray to the I in rain[J]. *Journal of Science. New Zealand*, 1963(6): 208-214.
- [35] BOWEN H J M. Trace elements in biochemistry[A]. *Environmental Geochemistry of the Elements*[M]. London: Academic Press, 1979.
- [36] WHITEHEAD D C. Iodine in the United Kingdom environment; with particular reference to agriculture[J]. *Journal Applied Ecology*, 1979(16): 269-279.
- [37] SAAS A. Iodine cycle in the environment, experimental apparatus to study the iodine-129 cycle beginning with the industrial treatment of nuclear fuels, particle balance for vegetable soils[J]. *Radioprotection*, 1975(10): 253-269.
- [38] PRISTER B S, GGIGOR'YEVA T A. Behavior of iodine in a soil-plant system[J]. *Soviet Soil Science*, 1977(9): 316-323.
- [39] FUGE R. The role of volatility in the distribution of iodine in the secondary environment[J]. *Applied Geochemistry*, 1990(5): 357-360.
- [40] JOHNSON J M, BUTLER G W. Iodine content of pasture plants (I) determination and preliminary investigation of spp. and stain differences[J]. *Physiology of Plant*, 1957(10): 100-111.

- [41] SHACKLETTE H T, CUTHBERT M E. Iodine content of plant groups as influenced by variation in rock and soil type [J]. *United States Geological Society Special Paper*, 1967 (90):30-46.
- [42] WENLOCK R W, BUSS D H, MOXON R E, et al. Trace nutrients, 4. Iodine in British food [J]. *British Journal of Nutrition*, 1982(47):381-390.
- [43] 康纳 J J, 沙克立特. 美国大陆某些岩石、土壤、植物及蔬菜的地球化学背景值 [M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [44] CHAMBERLAIN A C. Interception and retention of radioactive aerosols by vegetation [J]. *Atmosphere Environment*, 1970(4):57-78.
- [45] CLINE J F, KLEPPER B. Iodine uptake patterns and water used by several corn plants [J]. *Health Physiology*, 1975 (28):801-804.
- [46] WHITEHEAD D C. Iodine in British soils [J]. *Journal of Science on Food Agriculture*, 1973(24):43-50.
- [47] TIKHOMIROV F A, MOISEEV I T, RUSINS T V, et al. Dynamics of the biological availability of radioactive iodine for plants on different soils [J]. *Agrokimiya*, 1980(11):115-120.
- [48] SMITH, FRANK A, HODGE H C. Airborne fluorides and man; Part 1 [J]. *CRC Critical Reviews in Environmental Control*, 1979 8(4):293-375.

## ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY OF IODINE IN ATMOSPHERE AND PLANT —REVIEW AND A HYPOTHESIS

ZHENG Bao-shan, WANG Bin-bin, ZHU Guang-wei, YU Xiao-ying  
(The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of  
Geochemistry, Guiyang 550002, China)

**Abstract:** Many previous studies have demonstrated that food supplies more than 80% of total iodine intake of human being. Therefore, the development of iodine deficiency disorders (IDD) is a result of various iodine content of different territorial plants. Iodine in plants is from atmosphere and soils, but it is still uncertain that which one is the main source under the various conditions. Iodine content in soils is not determined by the iodine content in the parent rocks but their weathering offspring's absorption and preservation of the iodine of the dry and wet precipitation from atmosphere. Because it is difficult in analyzing iodine in plants and atmosphere, there are lots of puzzles in the geochemistry of iodine and the causes of IDD development. A possibility of certain speciation of iodine vaporizing and accumulating at the low altitude atmosphere from the soils is proposed. No IDD occurs in the region where plants have the ability to absorb the iodine from low altitude atmosphere.

**Key words:** iodine; atmosphere; plant; geochemistry