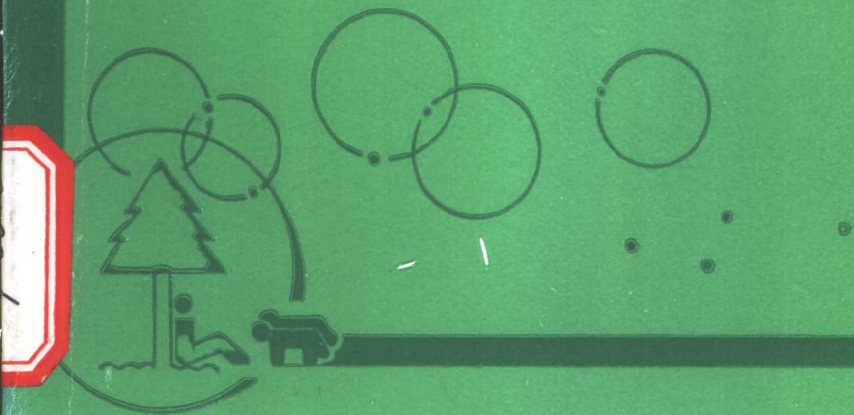


生物地球化学概论

吴香尧 编著



成都科技大学出版社

生物地球化学概论

吴香尧 编著



成都科技大学出版社

(川) 新登字015号

内 容 简 介

本书从食物链的主要环节——土壤的化学组成及可溶性元素在土壤中的迁移入手，论述了化学元素在人和植物体内的分布以及各种营养元素在人和动、植物体内引起的种种生理功能，最后阐述了特定地球化学环境中由于某种化学元素不足和过量而在人群和动、植物群落中发生地方病的类型及其研究方法。书中介绍的各种化学元素在人体各个器官中的分布；表生地球化学环境中某种营养元素不足将导致人和动、植物群落发生地方性病变，以及在地方病流行区将如何开展研究等等内容，既对地学界、农牧界和环境科学界有参考价值，对医学界也有一定可读性。至于如何补充人体健康所需营养元素的内容，对个人保健也有一定裨益。

生物地球化学概论

吴香尧 编著

责任编辑 袁顺生

成都科技大学出版社出版发行

西南冶金地质印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 3.5 插页 3

1993年5月第1版 1993年5月 第1次印刷

印数 1—1000 册 字数 79 千字

ISBN 7-5616-1959-6/P·36

定价：1.80 元

目 录

引 言	(1)
一、化学元素在土壤中的分布和迁移	(6)
(一) 我国地形特征、气候特点及土壤类型分布	(6)
(二) 土壤剖面及其形成过程	(8)
(三) 元素在土壤中的分布	(11)
(四) 元素在土壤层位间的变化	(22)
(五) 元素在土壤中的存在形式及表生迁移序列	(29)
(六) 土壤溶液的组成及可溶性元素在土壤中的迁移	(32)
二、化学元素在人和植物体内的分布	(38)
(一) 化学元素在人体中的分布	(38)
(二) 化学元素在植物体中的分布	(41)
三、化学元素的生理功能	(49)
(一) 人和动物体内化学元素的生理功能	(50)
(二) 植物体内化学元素的生理功能	(83)
(三) 微量元素肥料——补充植物的养分	(92)
四、地方病流行区的类型及其研究方法	(97)
(一) 地方病流行区的定义和类型	(97)
(二) 生物反应的表现形式	(100)
(三) 地方病流行区的研究内容及方法	(101)
(四) 编制地方病流行区图	(104)
参考文献	(106)

引 言

(一) 生物地球化学的定义

自从原苏联地球化学奠基人В·И·维尔纳德斯基于本世纪20年代创立生物地球化学学说以来,历经60多年,现已成为独立的边缘科学。它是着重研究生物参与化学元素及其同位素在生物圈中的分布、迁移和富集的作用;也就是说,它是研究发生于生物圈内有生物参与的地球化学过程。因此,生物地球化学可定义为:研究生物圈内活质及其生存环境的化学组成以及生物参与化学元素迁移和富集的地球化学过程。

所谓生物圈,是指一切生物(包括人类)赖以生存的地球表层的生物环境。有生物生存的地球表层包括大气圈、水圈以及岩石圈表部;而活质乃包括森林、草本植物、动物和微生物(细菌、真菌、霉菌、病菌等)。

(二) 生物地球化学的基本研究任务

生物地球化学的基本研究任务主要包括三个方面:

1. 研究生物体中的化学成分

生物地球化学研究的是天然生物群落的化学成分,不是只研究生物个别组织和器官的化学成分。后者是生物化学的任务。构成生物体的主要化学元素是: C、H、O、N、P、S、Cl、K、Na、Ca、Mg等,它们占人体总重量的99.95%;此外便是微量元素,它们是: B、Mn、Co、Cu、Zn、Mo、

Al、Si、Cr、V、Se、Br、I、F。这当中除C来自空气中的CO₂和O、H来自水外，其它化学元素来自土壤。

2. 研究生物与其生存介质之间的生物化学关系

生物的生长、发育和繁殖总是和它生存环境中的介质化学成分有着内在联系，生物总是适应于它所生活的介质的一定化学成分，于是形成生物沿一定地区分布或选择一定地区生长、发育和繁殖。因此，有必要研究生物与环境之间的生物化学关系，研究化学元素的生物功能以及它在生物环境中的地球化学行为。

3. 研究地方病流行区的元素分布及其生物反应

地方病流行区是指有机体对周围环境中化学元素过多或不足所产生的一定生物反应的区域。研究这个区域内由于化学元素的过多或不足引起生物新陈代谢紊乱而导致普遍罹病的现象，是地方病流行区的重要研究任务。

(三) 化学元素的生物地球化学分类

根据化学元素在生物体内的丰度、化学性质以及它所具有的生物功能和生物反应，将自然出现的92种化学元素分为如下三大类：

1. 生物必需元素

这是生物维持生命所必需的一类化学元素，该类又可分为三个亚类：

(1) 宏量营养元素

这是指那些构成生物体内有机分子的基本元素以及生物体内电解质成分和酶组分的主要元素，共计11种，它们是：C、H、N、O、P、S、Cl、K、Na、Ca、Mg，其中C、H、N、

O、P、S等5个元素构成生物体结构（有机分子）的基本元素；而K、Na、Ca、Mg、Cl是体内电解质成分和起结构作用并具酶功能的主要元素。这11种化学元素占人体总重量（70kg计，下同）的99.95%，其中C、H、O、P、S占人体总重量97.25%，而K、Na、Ca、Mg、Cl只占2.7%。人体内其它化学元素仅占0.05%。

（2） 微量营养元素

这是指量微但对生物的生长发育过程起着重要作用的具特异生物化学功能的化学元素。它们在生物体内不足和过剩均会罹病，甚至死亡。现已证明和推测，在人及动物体内具特异生化功能的必需的微量元素有17种，它们是：Fe、Cu、Zn、Cr、Co、I以及V、Mn、Mo、Se、Ni、Sn、Si、F、Ge、B、Li，这些微量营养元素主要参加生物体内各种代谢过程的酶或激素的组成。这17种化学元素中，Fe和I是人类最早认识到，它们是人体必需的；Cu、Mn、Zn、Co在1928—1932年间才陆续发现也是人类所必需的元素；尔后，在1965~1970年间又发现Cr、Se、Mo同样是人类必需的；到1970年后，又增加了F、Si、Sn、V、Ge。E.弗莱登1986年提出，除前述14种化学元素外，认为B、Li、As、Cd、Pb可能也是生物必需的微量元素，但是，对于将As、Cd、Pb列为必需微量元素有很大争议，因为依据不足。

2. 生物非必需元素

这类化学元素不仅量极微，且性情，而又不易为生物吸收或即使吸收但生物功能又不清楚，它们包括Sc、Y、Zr、Nb、Tc、Ru、Rh、Pt、Ag、Cs、Ba、REE、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Au、Po、At、Fr、Ac、Th、Pa以及情

性气体，另外还包括Rb、Sr、Ti、As、Br。

3. 有毒元素

这是一类对生物体无益而只有毒性作用的化学元素，它们是：Be、Al、Ga、In、Tl、Cd、Hg、Pb、Sb、Bi、Te、Ra、U等13种。

（四）生物地球化学的研究方向

生物地球化学的研究方向，现阶段大致有三个方面：

1. 服务于农业

（1）研究农作物营养元素在区域岩石、土壤和水体中的分布、存在形式、转化以及迁移规律，综合分析农作物对不同化学元素的需要程度，为农业区划和合理布局提供依据；

（2）综合分析土壤中农作物营养元素的丰缺程度，进行针对性施用微量元素肥料，以保证丰产；

（3）根据农作物地方病调查结果，选择对症的微量元素肥料，防治农作物地方病，改善农作物品质。

2. 服务于医学

（1）研究某一地带表生地球化学环境中某些元素不足或过剩所引起的地方病，探索其病因，确定防治方案；

（2）研究某些癌症（如食管癌、胃癌、肝癌、肺癌等）与特定环境中某些化学元素丰缺的关系，探索其病因及其防治；

（3）分析测定人体中血液或头发中某些元素的含量，判断是否产生元素代谢异常，予以诊断机体是否发生代谢障碍或某种疾病。

3. 服务于环境保护

(1) 弄清各种污染物质的来源以及它们在环境中的分布、迁移、转化和聚集规律，研究污染区域内由于有害元素进入食物链或呼吸系统而导致某种疾病（包括癌症）的高发，确定它们之间的因果关系，指出防治方案；

(2) 根据生物地球化学研究结果，对研究区环境污染现状作出正确估计和评价，并对环境污染予以预测、预报和预控。

一、化学元素在土壤中的 分布和迁移

土壤是陆地生态系统中营养元素的主要来源，植物所需化学元素是由土壤供给的。因此，若要讨论化学元素在陆地生态系统中的分布，转化和聚集，讨论农作物、草本植物及森林对化学元素的需要程度，则必须首先讨论化学元素在土壤中的分布、存在形式以及迁移规律。

(一) 我国地形特征、气候 特点及土壤类型分布

1. 我国地形特征

我国是一个多山的国家，地形总的趋势是西部高、东部低；西部多高原、丛山，东部多丘陵、平原，自西向东地形高度逐渐下降，大致构成三级阶梯：青藏高原为最高一级阶梯，平均海拔 $>4500\text{m}$ ，高原上分布着一些著名山脉（如冈底斯山脉、唐古拉山脉、念青唐古拉山脉）以及广阔平坦的高原和高山盐盆。西南、西北高原为二级阶梯，海拔 $2000-1000\text{m}$ ，其中分布着若干大中型高原和盆地（如云贵高原、黄土高原，内蒙古高原以及塔里木盆地、准葛尔盆地、四川盆地）。大兴安岭、太行山脉、巫山山脉及雪峰山脉一线以东

为东部三级阶梯，平均海拔 $<1000\text{m}$ ，以平原和低山丘陵为主（如东北平原、华北平原、两湖平原、珠江平原等）。全国山地占33%，高原占26%，丘陵占10%，平原占12%，盆地占19%。

2. 我国气候特点

我国气候具明显的季节性，冬季寒冷干燥，夏季温暖湿润。由于气候条件基本适宜，加以地形具各种特点，所以生长着各种植物类型，包括森林灌丛、草甸沼泽、草原、荒漠等，大致可以分为：南部热带雨林和季雨林，中南部为亚热带常绿阔叶林和常绿落叶阔叶林，北部暖带及温带为落叶阔叶林和针阔混交林，大兴安岭北端外寒温带为针叶林。

3. 我国土壤类型及分布

所谓土壤就是当地基岩（岩浆岩、沉积岩或变质岩）经过物理、化学风化以及当地气候、动植物等因素的共同作用下而形成的在地壳最表层的一种细粒疏松物质，是陆地表面具有肥力的疏松表层。

我国由于地形特点各异，气候季节性和分带性明显，因此，土壤类型也多种多样，包括黑钙土、栗钙土、棕钙土、黑垆土、灰化土、褐土、黄褐土、紫色土、草甸土、荒漠土、水稻土、草原土、棕壤、灰棕壤、红壤、黄红壤、黄壤、砖红壤等等。我国不同地区，各类土壤分布状况大致是：

（1）东北地区

本区广泛分布灰棕壤、栗钙土、黑钙土，少数地段分布着山地灰化土及灰化土；

(2) 华北地区

本区广泛分布灰棕荒漠土、棕钙土、黑垆土，部分地段有棕壤、褐土；

(3) 华东地区

本区广泛分布棕壤、褐土、浅色草甸土、黄褐土、红壤、黄红壤及水稻土；

(4) 中南地区

本区广泛分布黄褐土、红壤、黄壤、水稻土，部分地区分布黑色石灰石土、紫色土、砖红壤化土、砖红壤；

(5) 西南地区

本区广泛分布高山灰化土、高山草甸土、红壤、紫色土及少量砖红壤化土；

(6) 西北地区

本区广泛分布棕色荒漠土、山地灰褐土复区，灰棕荒漠土及少量山地栗钙土、山地灰化土复区；

(7) 西藏高原

本区广泛分布高山荒漠平原土、高寒荒漠土、高山草原土及少量高山草甸土。

(二) 土壤剖面及其形成过程

1. 土壤分层特征

土壤乃疏松多孔，具层次性、通透性和吸附性。土壤最独特之处在于，它的组分有机化和分层的特征。土壤因深度不同而表现出显著性质差别的个别土壤层称土层。每个土层厚度可由几厘米至几米。所有土层集合起来作为一个整体称

土壤剖面。多数土壤剖面包括三个主要层，由地表向下分别称A层、B层及C层，其中A层和B层组成真土壤，C层为形成真土壤的风化层；各层之间是渐变的（见图1-1）。当然，在自然界并非到处可见完整的土壤剖面，未成熟土壤往往缺少B层；强剥蚀作用冲刷走土壤上部A层和B层后，便裸露出C层。

土壤剖面中各层在成分和特性方面彼此都不相同，现分述如下：

（1）A层 富含有机质而矿物质遭到淋滤的层位，它又可分为三个亚层；从上而下分别为 A_0 、 A_1 、 A_2 亚层。 A_0 层称有机质层，为未成熟有机质层和枯叶层； A_1 层称矿物质与有机物的混合层，又称深色层（呈黑色、褐色），该层富含有机质（腐植质）； A_2 层称淋滤层，又称浅色层，具最大淋滤作用，一般构造松散，在有些土壤中发育，有些缺失。

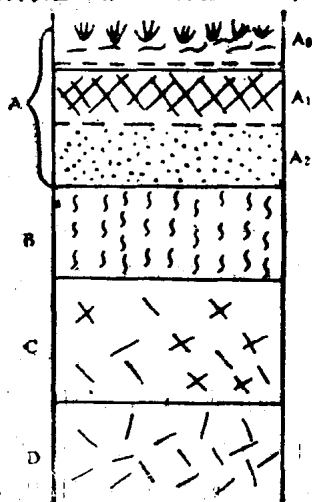


图1-1 土壤剖面示意图

(2) B层 称淋积层, 褐至桔褐色, 该层位富含粘土矿物或铁氧化物及有机物, 很多元素富集此层。一般均造致密, 成块、柱状构造, 有时有结核状构造。

(3) C层 称母质层, 为母质或母岩的风化层, 有机物含量低, 所含粘土往往比B层少, 并比B层颜色浅, 残余结构和构造保留较多。

(4) D层 母质或母岩

2. 土壤剖面形成过程

土壤形成过程十分复杂, 而植物和微生物的生命活动是这个过程的主要因素。

(1) A层的形成过程

当雨水由地壳向下渗透时, 地表上部的原始物质遭受强烈的淋滤和机械冲刷(机械搬运)及溶解, 使原始物质损失一部分组分而形成A层, 其中最易迁移的是可溶的盐类, 未凝聚的粘土及胶态的 R_2O_3 和/或 SiO_2 , 而耐风化的矿物, 正在遭受分解的岩石和已凝聚的胶体则倾向留在原处。

A_1 层的形成是由于A层上部生物活动非常强烈, 以致植物残骸的堆积和它们受细菌作用而腐烂分解, 使得A层上部(即 A_1 层)富含腐植质而呈暗色或黑色。但是, A层下部遭受淋滤和机械洗刷作用(雨水洗刷)最强烈而呈浅色, 形成所谓 A_2 层。

A_1 层和 A_2 层相对厚度取决于如下四个因素:

①有机物残骸的供应量; ②有机物残骸的分解速度; ③淋滤和溶解作用的速率; ④土壤剖面的年龄。

在潮湿气候, 发育成熟的土壤剖面中, 一般 A_1 层和 A_2 层发育完整; 干旱地区或幼年土壤中, A_2 层可能缺失。

(2) B层的形成

在潮湿和排水畅通条件下，自A层淋滤的易溶组分（包括胶态的 R_2O_3 ）和洗刷的粘土，将下降到地下水面的聚集带中重新沉淀下来，形成B层。

(3) C层的形成

它是原地岩石或被搬运的冲积物或冰川覆盖物遭受风化，其产物便是形成上覆A层积B层的原料。

3. 不同类型土壤的物质为何有差异

这是由于生成土壤的因素不同所致，因为土壤是岩石风化的产物，它的成分既依赖于母岩成分，同时还取决于环境的因素，包括气候，生物活动，地形以及成土时间等因素；其中最重要的是气候和生物作用。比如相同类型的岩石，在温带和潮湿的热带形成的土壤是不同的。

热带林区潮湿地带因高雨量带来的强烈淋滤作用，高温以及有机质几乎被微生物分解而流失，故土壤不肥沃，其常见的土壤有灰化土、灰棕壤、红壤、黄壤等，称淋余土（不含碳酸钙、富含Fe及Al）。但是，温带草原地区却发育黑钙土、栗钙土、棕壤、灰色土等，称钙层土。

(三) 元素在土壤中的分布

土壤成分既包括矿物质，又包括有机质、水和空气，但主要由有机质和矿物质两大类物质组成，但这两类物质在土壤中的含量比例变化很大。

1. 元素在土壤中的分布量

土壤中化学元素组成相当复杂，几乎包括地球中所有化

学元素（从原子序数1的H到原子序数92的u），根据它们在土壤中的分布量，这些化学元素可以分为两大类：

(1) 宏量元素

这是指在土壤中分布量大于 10^{-3} （一般为千分之几～百分之几）的化学元素，它们在土壤中总量达99%以上。这类元素包括O、Si、Al、Fe、Ca、Mg、Na、K、Ti、C等；

(2) 微量元素

凡是在土壤中分布量少于万分之几的化学元素都归入微量元素之列。

兹将化学元素在地壳和土壤中的分布量及土壤的浓集系数列于表1-1。

**表1-1 元素在地壳和土壤中分布量 (ppm)
及浓集系数**

元素	地壳中丰度 (维诺格拉多夫, 1962)	土壤中丰度 (维诺格拉多夫, 1954)	浓集系数
Li	32	30	0.94
Be	3.8	X	/
B	12	10	0.83
C	230	20000	86.96
N	19	1000	52.63
O	470000	490000	1.04
F	660	200	0.30
Na	25000	6300	0.25
Mg	18700	6000	0.32
Al	80500	71300	0.89
Si	295000	330000	1.12
P	930	800	0.86

续表1-1

S	470	850	1.81
Cl	170	100	0.59
K	25000	13600	0.54
Ca	29600	13700	0.46
Ti	4500	4600	1.02
V	90	100	1.11
Cr	83	200	2.41
Mn	1000	850	0.85
Fe	46500	38000	0.82
Co	18	8	0.44
Ni	58	40	0.69
Cu	47	20	0.43
Zn	83	50	0.60
Ga	79	x.10	/
Ge	1.4	x	/
As	1.7	5	2.94
Se	0.05	0.01	0.2
Br	2.1	5.0	2.38
Rb	150	6.0	0.04
Sr	340	300	0.88
Zr	170	300	1.76
Mo	1.1	3.0	2.73
Cd	0.13	(0.5)	3.86
Ag	0.07	(0.1)	1.43
In	0.25	10	40.0
Sn	25	x.10	/
I	0.4	5	12.5
Cs	3.7	(5)	1.35