

文章编号: 1006 - 446X (2002) 06 - 0001 - 17

# 稀土的人体健康效应

秦俊法<sup>1</sup> 陈祥友<sup>2</sup> 李增禧<sup>3</sup>

- (1. 中国科学院上海原子核研究所, 上海 201800;  
2. 金陵微量元素与健康研究所, 南京 210001;  
3. 中国广州分析测试中心, 广州 510070)

**摘 要:** 论述了稀土的人体健康效应及与疾病的关系, 包括: 人体的稀土来源, 稀土污染对人体健康的影响和稀土含量异常与人体疾病的关系。

**关键词:** 稀土; 人体健康效应

中图分类号: O 614.33

文献标识码: A

前文分别讨论了稀土对生物体的特殊生理功能及生物效应、稀土对动物的毒理学行为及人的日允许摄入量, 本文论述稀土的人体健康效应及与疾病的关系。

## 1 人体的稀土来源

自然界中的稀土通过土壤、空气和水进入植物体和动物体, 进而通过食物链进入人体。

### 1.1 中国土壤稀土元素分布特征

中国土壤中的稀土平均含量与前苏联和世界土壤平均值基本接近, 但中国土壤稀土含量主要依赖于轻稀土含量, 特别是受铈含量的影响最大, 它占稀土总量的 42% 和占轻稀土含量的 48% (表 1)。铈含量相对丰富是中国土壤稀土分布的一个显著特征。

研究表明, 各地区土壤稀土含量分布是不均匀的。我国南方土壤 (广州、海南岛和湘江谷地) 轻稀土元素显著富集, 轻重稀土比值明显高于其它地区及世界土壤, 而北疆土壤轻稀土明显低于世界土壤, 轻重稀土比值最小 (表 2)。各省市稀土背景值也存在显著差异 (表 3)。

表 1 中国土壤稀土元素含量/ $\times 10^{-6}$

元 素	中国平均值	世界平均值	前苏联平均值
La	34.7	40	27
Ce	74.8	50	53
Nd	33.0	35	25
Sm	5.63	4.5	6.4
Eu	1.11	1	0.76
Tb	0.767	0.7	0.7
Yb	2.64	3	0.8
Lu	0.445	0.4	0.7

注: 资料来源: 中科院高能所, 1994。见文献 [1]。

收稿日期: 2002 - 05 - 10

表 2 中国各地土壤稀土特征数据

地 区	含量/ $\times 10^{-6}$			
	稀土总量	轻稀土	重稀土	轻稀土/重稀土
广州, 海南岛	240	216	24	9.0
湘江谷地	197	177	20	8.8
松辽平原	172	153	19	8.0
天津地区	177	157	20	7.8
北疆	150	130	20	6.5
珠峰地区	160	143	17	8.4
中国土壤	177	157	20	7.8
世界土壤	156	137	19	7.2

注: 资料来源: 中科院高能所, 1992。见文献 [2]。

表 3 中国各省市土壤稀土背景值特征 (单位:  $10^{-6}$ )

极显著偏高		极显著偏低	
云南	236.3	青海	156.1
厦门	235.6	甘肃	156.0
湖北	223.5	大连	145.9
贵州	221.9	内蒙古	142.6
江西	211.0		
天津	207.6		
广西	202.1		

注: 资料来源: 魏复盛等, 1991, 见文献 [3]; 全国 35 个省、市 863 个样品的几何平均值为  $179.1 \times 10^{-6}$ ; 其它省、市在  $160 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$  之间。

## 1.2 中国河水稀土元素分布特征

中国河水稀土元素浓度有两大特点, 一是含量较高, 中国河水镧、铈、钕、铽、镱等平均浓度均比世界淡水平均浓度高 2 倍以上 (表 4)。二是分布不均匀, 以长江水系为例, 从各支流水系背景值分布 (表 5) 可以看出, 嘉陵江支系稀土浓度比其它支系高 1~2 倍, 仅次于河源区。赣江的稀土背景值也明显高于鄱阳湖水系其它支系 (中科院高能所, 1992)。嘉陵江和赣江所在地——四川省和江西省都是我国稀土资源大省。

河水中的稀土元素以悬浮态为主, 在长江水系, 悬浮态轻稀土占 64%~79%, 重稀土占 50%~53%。长江河源区河水稀土浓度很高, 但溶解态稀土比例最小, 都在 10% 以下。

表 4 中国河水稀土元素平均浓度/ $\mu\text{g L}^{-1}$ 

元 素	中国河水	世界淡水
La	0.29	0.1
Ce	0.55	0.2
Nd	0.40	0.2
Sm	0.066	0.06
Eu	0.013	0.006
Tb	0.009	0.003
Yb	0.022	0.01
Lu	0.004	0.003

表 5 长江水系河水稀土元素背景值/ $\mu\text{g L}^{-1}$ 

支 系	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	合计
河源区	5.6	10.5	5.1	0.93	0.17	0.14	0.37	0.066	22.876
金沙江中下游	0.45	0.80	0.51	0.11	0.021	0.014	0.025	0.006	1.936
岷江 - 沱江	0.20	0.33	0.20	0.04	0.007	0.005	0.012	0.004	0.798
嘉陵江	0.50	0.98	0.50	0.15	0.010	0.004	0.015	0.009	2.168
乌江 - 赤水	0.16	0.33	0.16	0.034	0.009	0.005	0.013	0.003	0.710
洞庭湖水系	0.05	0.13	0.40	0.009	0.005	0.004	0.007	0.003	0.608
汉水	0.19	0.38	0.20	0.041	0.01	0.009	0.016	0.003	0.849
鄱阳湖水系	0.28	0.53	0.27	0.054	0.009	0.009	0.017	0.004	1.073
长江中下游	0.18	0.35	0.20	0.039	0.011	0.008	0.021	0.003	0.812
长江	0.24	0.49	0.26	0.055	0.011	0.008	0.017	0.004	1.085

注：资料来源：中科院高能所，1992。

### 1.3 中国居民稀土膳食摄入量

1985 年，苏德昭<sup>[4]</sup>分析测定了我国 8 个省市 30 多种不同粮食、蔬菜、瓜果类食品中的稀土天然存在量，按照居民的普通膳食习惯估算了我国居民从日常食物中摄入的稀土量。估算的食谱为每人每日消耗粮食 0.5 kg（南方稻米以  $1 \mu\text{g/g}$  计，北方小麦以  $2.0 \mu\text{g/g}$  计），蔬菜类 0.5 kg（以  $0.5 \mu\text{g/g}$  计），鱼、肉、蛋、豆制品类 0.25 kg（以  $2.0 \mu\text{g/g}$  计），油、盐、酱、醋、糖、淀粉等 0.15 kg（以  $2.0 \mu\text{g/g}$  计），水果糕点及其它 0.2 kg（以  $0.5 \mu\text{g/g}$  计）、饮水 2 L（以  $0.05 \text{ mg/L}$  计）。这样，得到以稻米为主的南方人稀土摄入量约为  $1.75 \text{ mg/d}$ ，以小麦为主的北方人稀土摄入量约为  $2.25 \text{ mg/d}$ 。

1993 年，苏德昭<sup>[5]</sup>又按全国 17 省市主要食品中稀土总量作了进一步估计，得到我国膳食稀土摄入量为  $2.10 \sim 2.50 \text{ mg/d}$ （表 6）。

表 6 中国居民膳食稀土摄入量 (以氧化物计)

食品类	稀土含量/ $10^{-6}$	稀土食用量/g	稀土摄入量/ $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$
粮食类	2.0	470 ~ 500	0.94 ~ 1.00
薯类	2.0	80 ~ 100	0.16 ~ 0.20
蔬菜类	1.0	400 ~ 450	0.40 ~ 0.45
水果类	1.0	30 ~ 50	0.03 ~ 0.05
豆、豆制品	2.0	30 ~ 50	0.06 ~ 0.10
肉、蛋、禽类	0.5	100 ~ 120	0.05 ~ 0.06
鱼、水产品类	1.0	20 ~ 25	0.02 ~ 0.025
奶、乳制品类	2.0	50 ~ 70	0.10 ~ 0.14
食糖、糕点类	2.0	30 ~ 50	0.06 ~ 0.10
饮料 (茶、酒、冷饮)	0.5	100 ~ 150	0.05 ~ 0.075
食用油、调味品、淀粉	1.0	80 ~ 100	0.08 ~ 0.100
饮用水	0.1	1500 ~ 2000	0.15 ~ 0.20
			日摄入量 2.10 ~ 2.50

我国稀土资源十分丰富, 稀土生产及稀土应用也居世界前列, 矿区居民的稀土摄入量则要显著高于非矿区或非农用稀土地区。据朱为方等<sup>[6]</sup>调查, 江西赣南重稀土区、轻稀土区和对照区成人膳食稀土摄入量 (以氧化物计) 分别达 6.67、5.98、3.33 mg/d, 稀土区居民摄入量已超过日允许摄入量。

诸洪达等<sup>[7]</sup>报道, 1996 ~ 1997 年对河北、陕西、上海和湖北 4 省市各 3 个调查点的典型调查结果表明, 中国成年男子的某些稀土元素摄入量也高于最新国际估计值 (表 7)。

表 7 中国成年男子膳食稀土元素摄入量/ $\mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ 

稀土元素	中国平均估计值	最新国际估计值
La	22.6	
Ce	18.7	< 15
Sc	3.99	< 0.55
Eu	0.571	
Y	40	

## 2 稀土污染对人体健康的影响

虽然在一般情况下或在一定时期内接触稀土不会对人带来明显的危害, 但长期低剂量暴露或摄入可能会给人体健康或体内代谢产生不良后果。

## 2.1 动物实验：稀土产生蓄积毒性

朱为方等<sup>[6]</sup>分别以含 140~147 mg/kg (中剂量组) 和 5.6~6.2 mg/kg (低剂量组) 氯化稀土的饲料喂养 Wistar 大鼠, 240 天后采用单盲法检验发现, 两组大鼠海马乙酰胆碱酯酶活性较对照组显著降低。病理切片发现, 中剂量组大鼠大脑神经元胞体肿胀及噬节现象均较对照组多。这说明摄入低剂量稀土 (相当于成人日摄入量为 2.04~2.22 mg/d) 在短期内 (8 个月) 即可出现大脑的毒性反应。

申治国等<sup>[8]</sup>通过在饮水中加入不同剂量钆使小白鼠长期摄入稀土, 7 个月后测定 F<sub>1</sub> 代仔鼠脑中微量元素, 结果显示, 低浓度时 (23.25 mg/L), 仔鼠脑中钆含量明显增加; 高浓度时 (2325 mg/L), 脑中镍、铁含量显著低于对照组, 钆含量显著高于对照组。这提示稀土的长期摄入可能对脑中某些微量元素的分布及代谢产生一定影响, 进而可导致某些生理功能的改变。

刘玉等<sup>[9]</sup>采用腹腔注射 200 mg/kg <sup>147</sup>Nd (以 Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 计) 的办法研究了稀土钆在小鼠体内的分布与蓄积及对孕酮分泌的影响, 于处理后第 3、5、10、15 天分别采样测定血液、大脑、眼睛和骨骼中的钆含量, 发现钆在小鼠体内有明显的选择性蓄积: 骨骼中钆随时间而增加, 表现出高度的蓄积性; 眼睛中的钆蓄积低于骨骼, 随时间呈下降趋势; 钆也可透过血脑屏障进入脑组织。研究发现, 钆对雌性小鼠孕酮分泌有明显的抑制作用, 腹腔注射后第 5 天和第 10 天, 血清孕酮浓度分别比对照组降低 44.4% 和 35.4%。这说明稀土在体内蓄积可能对生殖系统产生毒害作用。

鉴于许多学者也发现高剂量稀土或蓄积性稀土会诱发生理性或病理性毒害效应<sup>[10]</sup>, 有人提出, 在农业生产中应用稀土时, 应考虑到通过食物链使人类从多渠道持续摄取稀土而可能产生的危害作用, 建议在农牧业生产中以尽量少用或不用稀土为宜 (刘玉, 2001)。

## 2.2 稀土对大脑功能的影响

江西赣南地区是我国离子型稀土矿床的重要分布区和稀土开发区。朱为方等<sup>[6,12]</sup>对赣南重稀土区 (A 区)、轻稀土区 (B 区) 和对照区 (C 区) 自然人群进行的调查表明, 稀土区土壤、饮水和食物中稀土含量均高于对照区 (表 8), 稀土区儿童智商均数、记忆力均较对照组明显低下 (表 9), 从 A 区儿童还在注意力和推理能力方面显著低于 C 区可以看出, 重稀土可能比轻稀土更易在大脑蓄积或毒性更大。对成人体感诱发电位检查发现, A 区居民中枢神经传导速度减慢, 一级体感皮层原发反应区神经元放电同步性差 ( $P < 0.05$ ), 两稀土区村民眼底动脉硬化者比例 (43.7%) 显著高于对照区 (15.0%), 胆固醇也显著高于对照区 ( $P < 0.01$ ), A 区人群免疫球蛋白与正常值比较显著增高。

表 8 江西赣南各调查区稀土含量比较 (以氧化稀土计)

项 目	A 区	B 区	C 区
土壤中稀土含量/ $\times 10^{-6}$	460	244	217
饮水中稀土含量/ $\mu\text{g L}^{-1}$	15.9	47.0	0.92
膳食稀土摄入量/ $\text{mg d}^{-1}$	6.67	5.98	3.33

注: 稀土摄入量根据 15 种主要日常食物计算。

表 9 稀土对儿童智能的影响

分项测验	A 区 (n=23)	B 区 (n=18)	C 区 (n=45)
穿珠	8.30 ±2.28	8.17 ±2.01	9.36 ±2.38
记颜色	5.80 ±1.29	6.11 ±1.41	7.80 ±2.67
辨认图画	6.04 ±2.09	6.36 ±2.02	7.74 ±2.99
看图联想	5.50 ±1.26	5.94 ±2.29	6.62 ±2.16
短期视觉记忆	8.91 ±3.34	7.86 ±3.31	11.50 ±4.26
摆方木	6.91 ±2.05	7.69 ±1.89	6.50 ±1.97
完成图画	5.20 ±0.76	7.14 ±2.30	5.53 ±1.97
智商均数	87.4 ±21.6	96.8 ±12.3	109.4 ±19.6

注：与 B 区比较， $P < 0.01$ 。

### 2.3 稀土对免疫功能、肝肾功能的影响

冯嘉等<sup>[13]</sup>调查了生活在江西赣南轻稀土高背景区和对照区未从事过稀土采选作业和无任何病史的当地 20~50 岁表观健康农民，按照《全国临床检验操作规程》分离血清并进行血清总蛋白 (TSP)、白蛋白 (AL)、 $\gamma$ -球蛋白 ( $\gamma$ -G)、谷丙转氨酶 (GPT)、胆固醇 (CHO)、甘油三酯 (STG)、尿素氮 (BUN) 和免疫抗原 (IgA、IgM) 检测，结果发现，轻稀土区男性人群血清中 CHO、STG、IgA 含量与对照区男性有极显著性差异，TSP、BUN 有显著性差异，而轻稀土区女性人群 TSP、AL、GPT 含量与对照区女性有极显著性差异，STG、IgA 有显著差异；稀土区女性人群 TSP、AL、GPT、STG 受影响程度比男性显著，而 CHO、IgA 则有相反趋势 (表 10)。由此可见，稀土的长期摄取必定加重人体肝、肾负担，并对人体的某些免疫功能产生一定的负面影响。

表 10 稀土对人体血液生化指标的影响

血液参数	男		女	
	轻稀土区 (n=36)	对照区 (n=24)	轻稀土区 (n=26)	对照区 (n=24)
TSP	66.96 ±8.85 *	71.50 ±4.69	68.08 ±5.95 ***	75.32 ±4.71
AL	42.19 ±3.83	43.72 ±3.20	39.67 ±3.12 ***	44.73 ±4.03
$\gamma$ -G	24.78 ±8.31	27.74 ±3.48	28.37 ±6.49	30.59 ±4.22
GPT	17.41 ±8.01	22.05 ±14.6	11.72 ±3.65 ***	20.01 ±10.1
CHO	4.15 ±0.75 ***	3.46 ±0.66	3.99 ±0.66	3.62 ±0.77
STG	0.76 ±0.47 ***	1.20 ±0.46	0.67 ±0.38 **	1.39 ±1.00
BUN	4.92 ±0.74 *	5.44 ±2.48	4.45 ±0.75	4.60 ±1.42
IgA	200 ±190 ***	499 ±364	250 ±259 *	425 ±308
IgM	100 ±93	90 ±64	180 ±142	134 ±114

注：单位：TSP、AL、 $\gamma$ -G —mg/mL；GPT —IU/mL；CHO、STG、BUN — $10^{-9}$  mol/mL；IgA、IgM —mg/L。

与相应对照区比较：\*  $P < 0.05$ ，\*\*  $P < 0.01$ ，\*\*\*  $P < 0.001$ 。

## 2.4 稀土对女工生殖功能的影响

金秉恩等<sup>[14]</sup>对湖南桃江县稀土金属冶炼厂作业女工进行的生殖功能回顾调查表明,稀土冶炼作业危及女工生殖功能。作者共调查了 148 名各生产车间女工,检出月经异常者 41 人,占 27.7%,而 98 名对照女工仅查出 12 人,占 12.2%。接触组查出月经量减少者 35 人,占 23.6%,对照组查出 9 人,占 9.2%。两组月经异常率和月经量减少率均有显著差异 ( $P < 0.01$ )。长期接触稀土对女工生育功能也有明显影响,接触组自然流产率和早产率均显著高于对照组(表 11)。赵光丽(1994)对包头选矿厂及三个稀土冶炼厂的调查还发现,稀土作业女工生育的低出生体重儿发生率有增高趋势,接触组为 5.22%,对照组为 2.84%。

表 11 稀土作业对女工生育功能的影响

项 目	接触组	对照组
孕次	217	174
分娩次数	197	168
自然流产	20 (9.22) *	6 (3.45)
早产	13 (6.60) **	2 (1.19)
难产	8 (4.06)	4 (2.38)
死胎死产	4 (2.03)	1 (0.60)

注: 括号内为百分数; 与对照组比较: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ 。

## 2.5 稀土对心脏功能的影响

对湖南桃江稀土冶炼厂的调查还表明,稀土作业对心脏功能造成一定程度的损害。接触组心电图异常率显著高于对照组,心电图异常表现以心律失常和低电压为主,心律失常又以窦性心动过缓为主。接触组心率和心脏收缩指标与对照组也有显著差异(表 12)。

表 12 稀土作业对心脏功能的影响

项 目	接触组 ( $n = 148$ )	对照组 ( $n = 98$ )	$P$
心电图异常率/ %	51.35	22.45	$< 0.01$
窦缓率/ %	16.22	6.12	$< 0.01$
低电压率/ %	18.24	9.18	$< 0.01$
心脏收缩指标	46.30	43.15	$< 0.01$
心率/次 $\text{min}^{-1}$	64.32	68.48	$< 0.01$

## 2.6 稀土对血液成分的影响

长期接触稀土可使血液中的细胞总数及分类百分比发生变化。金秉恩(1991)发现,接触组末梢血白细胞总数与分类各项百分比异常者显著高于对照组,其中嗜中性粒细胞减少、淋巴细胞增多、嗜酸性细胞增多与对照组比较均有极显著性差异。两组淋巴细胞微核率及染色体畸变发生率也有显著差异(表 13)。

表 13 稀土作业对血液成分的影响

分 类	接触组 (n = 148)	对照组 (n = 98)	P
白细胞异常率/ %	65.54	22.45	< 0.01
淋巴细胞增多率/ %	41.84	6.12	< 0.01
嗜酸性细胞增多率/ %	17.57	4.08	< 0.01
嗜中性细胞减少率/ %	45.27	1.02	< 0.01
微核率/ %	2.84	0.23	< 0.01
染色体畸变率/ %	19.35	3.33	< 0.05

## 2.7 稀土对皮肤病变的影响

经皮肤吸收的稀土一般不参与全身性代谢,但对局部皮肤产生损害。王媚媚等(1996)对包头三个稀土厂的调查表明,稀土粉尘作业可引起皮肤、头发和指甲损害,而且接触时间越长,损害越严重。作业工人的主要自觉症状是瘙痒,374名接触者中有皮肤瘙痒者168人,占44.9%,而158名对照工人中只有7人,占4.4%,两组差异非常显著。主要的皮肤损害是皮肤干燥、色素沉着、毛发脱落及指甲变形,接触组明显高于非稀土作业工人(表14)。毛囊炎、毛细血管扩张等患病率与对照组比较虽无显著差异,但5年内动态观察结果提示,这两种损害的发病率有明显的增高趋势。

表 14 稀土作业工人的皮肤损害检出率/ %

车 间	受检人数	皮肤干燥	色素沉着	毛发脱落	指甲变形
原料破碎	110	40.9 **	20.9 **	50.9 **	40.9 **
精矿提取	42	42.9 **	19.0 **	38.1 **	61.9 **
混合稀土冶炼	151	33.6 **	19.5 **	25.5 **	60.4 **
单一稀土冶炼	71	32.4 **	31.0 **	39.4 **	40.8 **
对照组	158	10.8	1.3	3.2	22.8

注:与对照组比较: \*\*  $P < 0.01$ 。

## 2.8 稀土对呼吸系统的影响

经呼吸道吸入的稀土首先沉积在上呼吸道和肺组织中,并随淋巴液运送到肺淋巴结,然后再进入各个器官。长期吸入稀土粉尘可引起肺的纤维性变,称为稀土尘肺。我国自1963年至1980年对某稀土矿6965人次矿工进行X线摄片检查,发现混合性尘肺83人,检出率为1.2%。对另一稀土矿120名工人摄片检查,发现肺门增大、肺纹理增多增粗者16人,占13.3%,诊为可疑尘肺者11人,占9.2%,一期尘肺3人,占2.5%<sup>[16]</sup>。

陈秋(1984)报道,从事稀土作业人员支气管炎、上呼吸道疾病(鼻炎、咽炎、喉炎)的发生率升高。

雷春文(1991)对521名稀土粉尘作业工人体检时发现,上呼吸道及皮肤疾患明显多于对照组。

邹世渠(1991)发现,钇稀土生产矿工人肺功能有明显改变。



## 2.9 稀土对辐射损害的附加影响

经常生活在稀土污染环境的人,除可能摄入过量的稀土外,还可能受到一定量的辐射损害。

稀土作业的放射性来源,除本底辐射外,主要来自两个方面,一是稀土元素本身存在的天然放射性核素(表 15),这些放射性核素的特点是直接衰变为稳定的同位素,辐射类型主要是  $\alpha$  射线,但能量不高( $<3$  MeV),天然丰度也比较低。二是稀土矿伴生的天然放射性核素——铀和钍,这些核素发射  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  射线,在衰变系中还有放射性氡及其子体,它们是稀土生产中的主要放射性来源。据曾新元(1988)报道,我国稀土工业区 外照射剂量均远远高于天然本底值,有些矿区甚至超过 100 倍以上(表 16)。

表 15 稀土元素中的天然放射性核素

核 素	天然丰度/ %	半衰期/年	辐射类型
$^{138}\text{La}$	0.089	$1.12 \times 10^{11}$	EC, $\beta^-$
$^{142}\text{Ce}$	11.07	$> 5 \times 10^{16}$	
$^{144}\text{Nd}$	23.87	$2.4 \times 10^{15}$	
$^{147}\text{Sm}$	15.07	$1.05 \times 10^{11}$	
$^{148}\text{Sm}$	11.27	$> 2 \times 10^{14}$	
$^{149}\text{Sm}$	13.82	$> 1 \times 10^{15}$	
$^{152}\text{Gd}$	0.20	$1.1 \times 10^{14}$	
$^{156}\text{Dy}$	0.0524	$> 1 \times 10^{18}$	
$^{176}\text{Lu}$	2.60	$2.2 \times 10^{10}$	

表 16 我国稀土工业区 外照射剂量率/ $\mu\text{R h}^{-1}$ 

场 所	测量值范围	均 值
白云铁矿	40 ~ 365	133
包头选矿厂	20 ~ 144	78
包头稀土冶炼厂	23 ~ 560	114
上海跃龙化工厂	30 ~ 5000	797
广东珠江冶炼厂	20 ~ 9025	1562
湖南桃江冶炼厂	12 ~ 2500	1000
广西稀土厂	28 ~ 10000	1671
广东阳江稀土厂	50 ~ 2000	1000
湖南稀土所	350 ~ 740	
打火石厂	100 ~ 2500	
天然本底		室内 16.1, 室外 12.2

稀土生产中 射线所致作业者的年附加剂量当量大致有三种情况：多数作业者低于 1 msv，部分作业者，如处理氟碳铈矿、独居石及磷钇矿的某些工序的作业者在 1~5 mSv；少数作业者，如处理独居石及提取铀、钍某些工序的作业者，在 5~20 mSv，极个别者高达 50 mSv<sup>[18]</sup>。

稀土作业的附加辐射剂量可能增加作业工人的稀土损害。李琳等<sup>[19]</sup>对白云矿稀土作业人员死因的回顾性调查表明，白血病的死亡数明显增加。白云矿工人的淋巴细胞染色体畸变率高于对照矿，采矿工人的染色体畸变率高于维修工，并且畸变率随工龄延长而增加。张吉华等<sup>[20]</sup>对上海跃龙化工厂的调查表明，职工恶性肿瘤和肝癌死亡率增高也有显著意义。

### 3 稀土含量异常与人体疾病的关系

不论以何种途径进入体内的稀土元素，都将在各器官组织中进行再分配，它们在不同脏器中的分布有一定的规律性。组织或头发中的稀土含量异常可部分反映人体的代谢行为和健康状况。

#### 3.1 组织或体液中的稀土含量异常

3.1.1 体内分布 人体的各类组织或器官中均已发现存在稀土元素，但不同的元素在不同部位中的分布各不相同。沈哲中（1987）测定了我国南方某城市 13 例正常人体内的 6 种稀土元素，发现镧、铈、钐、铈、铽 5 种元素在不同脏器中的分布规律基本一致，即肺中含量最高，其次是肝、肾、脾和骨，在同一脏器中，以铈含量为最高，其余依次为镧、钐、铈、铽。王耐芬等<sup>[21]</sup>测定了 13 例北京成人脏器中的 15 种稀土元素，发现肺、肝、肾中均是轻稀土含量高于重稀土；轻稀土中又以铈、镧含量为最高，其次是钐和铈；重稀土中以钐含量为最高，其次是钐、铈和铈（表 17）。诸洪达等<sup>[22]</sup>测定了 31 例正常成人（20~50 岁）主要器官组织中的 42 种元素，发现钐含量在肺中最高，肝中其次，肾中最低；钐含量在肝中最高，肌肉和骨骼其次，肺中最低；铈和镧在肺中为最高，肾中最低。

表 17 成人脏器样品中的稀土元素含量平均值（单位： $10^{-9}$ ，干重）

元 素	肺	肝	肾皮质
La	200.2	189.2	85.7
Ce	732.0	412.4	28.5
Pr	30.07	17.50	0.90
Nd	99.01	50.02	6.07
Sm	10.26	3.27	0.64
Eu	1.75	0.56	0.12
Gd	11.65	4.88	0.63
Tb	0.53	0.14	0.005
Dy	0.27	0.18	0.56
Ho	0.004	0.004	0.004
Er	2.26	0.01	0.27
Tm	0.007	0.007	0.007
Yb	3.08	0.54	0.24
Lu	0.008	0.009	0.008
Y	33.21	7.09	3.35

3.1.2 病理变化 研究发现,许多病理状态伴随组织或体液中的稀土含量异常,例如,心肌梗塞患者的心肌组织中稀土含量较正常心肌组织高,风湿性关节炎患者关节液内的稀土含量明显增高(表 18)。

Swanson (1971) 发现,正常人和白内障患者晶状体内的镧含量均随年龄增长而升高,但患者的增加更加明显(表 19)。

表 18 风湿性关节炎患者血浆和关节液中的稀土含量变化(单位:  $\mu\text{g/L}$ )

元 素	血 浆		关 节 液	
	健康者	患 者	健康者	患 者
La	4.49 $\pm$ 0.51	6.30 $\pm$ 0.86	-	11.73 $\pm$ 2.32
Ce	45.10 $\pm$ 5.00	59.60 $\pm$ 5.44	-	94.40 $\pm$ 7.41
Nd	27.98 $\pm$ 1.02	42.50 $\pm$ 6.50	-	63.75 $\pm$ 19.43
Eu	1.94 $\pm$ 0.42	3.26 $\pm$ 0.51	-	5.19 $\pm$ 1.69
Yb	2.04 $\pm$ 0.11	3.36 $\pm$ 0.62	-	5.86 $\pm$ 1.61
Lu	0.16 $\pm$ 0.06	0.28 $\pm$ 0.06	-	0.53 $\pm$ 0.19

注: 健康者关节液内未能检出稀土元素; 资料来源: 倪嘉缙, 1995。

表 19 白内障患者晶状体内的镧含量变化(单位:  $10^{-6}$ )

对 象	年龄/岁	晶状体囊和上皮	晶状体皮质	晶状体核
正常人	0~5	<9	<3	<2
	10~20	<25	<10	<2
	50~60	400	280	170
	70~85	620	410	270
白内障患者	40~55	490	400	360
	60~75	710	600	440
	80岁以上	820	600	440

Erametsa (1971) 发现,酒精中毒者脾脏内稀土含量与非酒精中毒者不同,11例患者脾脏中钬和钆的平均含量分别比后者(11例)高14.8倍和180倍,而铈含量则仅为后者的一半。

Pehresson (1983) 对8例尿毒症死者的分析显示,他们心脏组织中的镧含量显著高于正常值。还有人发现,骨恶性肿瘤组织中的铈含量比正常骨组织中高。

Esposito (1986) 发现,喉癌患者血浆及癌组织中的镧含量均发生明显变化,患者血浆中的镧比正常人平均高11倍,而癌组织内的镧则比非癌组织低61%(表 20)。

Cornagan (1991) 发现,老年性痴呆患者大脑颞皮质中铈含量显著降低( $P < 0.02$ )。

表 20 喉癌患者的镉含量变化 (单位:  $\mu\text{g/L}$  或  $10^{-6}$ )

	血 浆	组 织
正常人	5.5 $\pm$ 1.2	
炎症患者	13.8 $\pm$ 4.5	
癌症患者	66.6 $\pm$ 10.7 <sup>***</sup>	
非癌组织		91.6 $\pm$ 11.8
癌组织		57.5 $\pm$ 7.3

注: 与正常人比较: \*\*\*  $P < 0.001$ ; 与非癌组织比较:  $P < 0.001$ 。

Frustaci<sup>[34]</sup>测定了 13 例特发性扩张型心肌病 (IDCM) 患者 (A 组) 左心室心肌内膜和肌肉活检样品中的 32 种微量元素, 与年龄相近和心肌内膜功能相仿的 12 例瓣膜性心脏病和 13 例缺血性心脏病患者 (B 组) 的类似手术样品、10 例二尖瓣狭窄而心肌内膜功能正常患者 (C 组) 的乳头肌和骨骼肌手术样品, 以及 4 例正常人 (D 组) 心肌内膜活检样品相比较, 发现 IDCM 患者心肌中的镉含量显著增高 (表 21), 病因未明的 IDCM 患者镉含量平均比瓣膜性心脏病患者高 7.6 倍, 比缺血性心脏病患者高 11.4 倍, 比二尖瓣狭窄患者高 35 倍, 比正常人高 47 倍。其他元素, 特别是汞和铊含量竟比对照组 (C 组) 高 22300 倍和 12840 倍! 有人认为, 该项研究为扩张型心肌病病因研究开辟了全新的研究领域<sup>[35]</sup>。

表 21 扩张型心肌病 (IDCM) 患者心肌中的元素含量/  $\times 10^{-9}$ 

元 素	A 组	B 组		C 组	D 组	A/C
		瓣膜性	缺血性			
La	43.3	5	3.5	1.2	0.9	36
Hg	178400	30	23	8	6	22300
Sb	19260	6	6.5	1.5	1.1	12840
As	625	9.3	10.3	2.5	4	250
Ag	116	17	13	4	7	29
Zn	128000	16000	21000	9000	7500	14.2
Cr	2300	630	720	177	100	13
Au	26	7	11	2.3	3.2	11.3
Co	86.5	100	89	20	15	4.3
Rb	18700	3200	3565	3880	3200	4.8
Ba	7360	6200	5300	1500	1250	4.9

注: 分组情况见正文。

### 3.2 头发中的稀土含量异常

3.2.1 分布模式 头发中的稀土元素含量比血液高 1~3 个数量级, 除钇外, 钇及镧系所有元素均比血液高 100~1000 倍<sup>[33]</sup>。

头发稀土含量反映环境及体内稀土水平。稀土矿区工人、农民头发稀土含量显著高于非矿区

居民，稀土冶炼厂工人显著高于对照工人，选矿工人显著高于非选矿工人<sup>[16]</sup>。王淑惠等<sup>[24]</sup>对河南商丘稀土厂 10 年间做的 4 次监测均证明，从事稀土作业的稀土组头发稀土含量显著高于同厂非直接接触稀土的对照组（表 22）。

表 22 稀土作业对头发稀土含量的影响

监测时间	稀土含量/ $\times 10^{-6}$		
	对照组	稀土组	比值
1984 年 4 月	3.34 (n=28)	10.64 (n=30)	3.19 **
1986 年 5 月	0.88 (n=28)	8.35 (n=30)	9.49 **
1991 年 4 月	2.27 (n=32)	5.59 (n=44)	2.46 *
1994 年 4 月	2.11 (n=20)	6.33 (n=20)	3.00 *

注：与对照组比较：\*  $P < 0.05$ ，\*\*  $P < 0.01$ 。

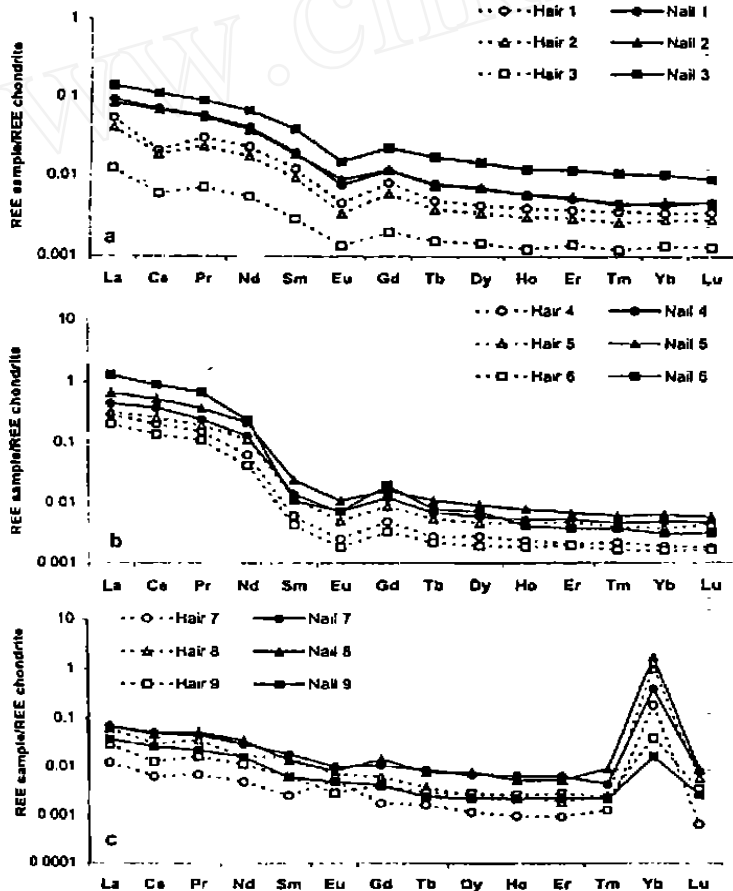


图 1 头发和指甲的归一化稀土分布模式

a. 正常人：光滑曲线； b. 吸烟者：轻稀土明显增高； c. 装齿桥者：镱的额外累积。

头发稀土含量具有一定的分布模式。Rodushkin 等<sup>[33]</sup>测定了 114 例 1~76 岁瑞典居民头发中的稀土元素含量,以球粒陨石的稀土丰度作归一,发现绝大多数人的头发稀土分布模式呈一平滑曲线(图 1a),据此可以识别或鉴定人类发生学行为的暴露状况。吸烟者因使用含电石的低廉打火机而使头发中镧、铈、镨、钕等轻稀土元素富集近 100 倍,而实际上不存在重稀土元素,并在钕和钐间形成特征性的“阶梯”(图 1b)。长期装有瓷质齿桥的患者头发中则显示有铈的额外累积(图 1c)。

3.2.2 病理变化 现已发现,许多病理状态与头发稀土元素含量异常有关(表 23)。

表 23 病理状态下的头发稀土含量变化(单位:  $10^{-6}$ )

作者(年)	疾 病	元 素	患者 (P)	对照 (C)	P/C
Moo 等 <sup>[36]</sup>	癌症	Sc	0.006	0.007	0.086
苟普仁(1984)	新生儿畸形	Sm	0.682	0.209	3.26
		La	0.798	0.178	4.48
		Sc	0.359	0.667	0.54
		Ce	0.153	0.246	0.62
Bhandari(1987)	精神发育迟滞*	Sc	31.2	9.8	3.18
		Ce	1.00	0.73	1.37
		La	1.66	1.37	1.21
		Lu	3.85	4.48	0.86
Akanle 等 <sup>[37]</sup>	抑郁症	Sc	0.31	0.25	1.24
Garg(1995)	乳腺癌*	Sc	7.5	4.5	1.67
侯小琳等 <sup>[27]</sup>	慢性支气管炎	Sc	6.82	4.82	1.41
	慢支并发症	Sc	7.09	4.82	1.47
徐刚等 <sup>[26]</sup>	肝癌	La	0.40	0.71	0.56
郭振生 <sup>[28]</sup>	白癜风	La	0.24	0.028	8.57
		Ce	0.91	0.54	1.69
乔爱香(2000)	帕金森氏症	La	0.024	0.042	0.57
		Ce	0.066	0.13	0.51
		Sc	0.0068	0.0100	0.68
陈祥友 <sup>[31]</sup>	系统性红斑狼疮	Ce			>1.20

注: \*元素含量单位为  $10^{-9}$ 。

1983 年, Moo<sup>[36]</sup>测定了美国宾夕法尼亚州 10 例未经选择的癌症病人头发中的 20 种元素,发现患者发中钪含量显著低于一般人群,癌症病人的低钪、低硒、低钴、低锌、低锰与高金、高碘组成与正常人群完全不同的头发元素谱。

1984 年, 苟普仁发现, 贵州安顺地区畸形新生儿发中钐和镧含量显著升高, 铈含量显著降低。

1987 年, Bhandari 观察到, 印度巴地阿拉地区精神发育迟滞儿童发中钷含量显著升高, 10 例患者平均比对照组高 2.2 倍。Akanle<sup>[37]</sup> 报道, 英国加的夫地区双极抑郁症患者发钷含量也显著升高。

1995 年, Garg 报道乳腺癌患者发中钷含量比正常人增加 66.7%。侯小琳观察到北京房山区慢性支气管炎患者发钷显著升高, 有并发症的患者含量更高。

1996 年, 陈祥友发现系统性红斑狼疮患者发中钷、镧含量增高。徐刚报道北京肝癌患者发镧含量显著降低。

1997 年, 陈祥友发现偏头痛患者头发钷、镧含量过高。

1998 年, 陈祥友<sup>[29]</sup> 发现癫痫患者头发钷、镧含量有时过高。郭振生<sup>[28]</sup> 观察到陕西西安白癜风患者发中镧和钷含量显著升高。

2000 年, 乔爱香发现帕金森氏症患者发中钷、镧、钷含量均显著低于对照组。

2001 年, 陈祥友<sup>[31]</sup> 发现, 在检测的 510 例系统性红斑狼疮患者中, 有 72% 的患者发钷含量显著升高, 升高幅度在 20% 以上。

此外, 章佩群 (1998) 在将内蒙古呼和浩特市土默特左旗慢性砷中毒病区少年头发元素含量与北京地区同年龄段头发相比较时发现, 前者除砷含量明显高于后者外, 稀土元素镧和钷含量也明显高于对照组 (表 24)。呼市地砷病高发区与稀土矿区相距不远, 稀土和砷暴露可能存在一定协同作用, 从而很可能成为地砷病在该地区高发的又一因素。

表 24 内蒙古慢性砷中毒地区少年头发元素含量与北京对照区的比较 (单位:  $10^{-6}$ )

元 素	男		女	
	病区 ( $n=59$ )	对照区 ( $n=19$ )	病区 ( $n=67$ )	对照区 ( $n=18$ )
As	0.51 $\pm$ 0.36	0.11 $\pm$ 0.06	0.63 $\pm$ 0.54	0.16 $\pm$ 0.09
La	0.066 $\pm$ 0.035	0.017 $\pm$ 0.005	0.066 $\pm$ 0.040	0.019 $\pm$ 0.008
Sm	0.012 $\pm$ 0.005	0.005 $\pm$ 0.004	0.012 $\pm$ 0.005	0.008 $\pm$ 0.005
Ba	4.1 $\pm$ 1.6	1.8 $\pm$ 0.9	6.2 $\pm$ 3.8	4.8 $\pm$ 2.3
Fe	55 $\pm$ 18	16 $\pm$ 3	53 $\pm$ 20	21 $\pm$ 9
Co	0.058 $\pm$ 0.034	0.012 $\pm$ 0.003	0.053 $\pm$ 0.017	0.018 $\pm$ 0.008

注: 所有元素,  $P < 0.01$ 。

## 参考文献:

- [1] 中国科学院高能物理研究所编著. 现代核分析技术及其在环境科学中的应用 [M]. 北京: 原子能出版社, 1994.
- [2] 中国科学院高能物理研究所编著. 中子活化分析在环境学、生物学和地学中的应用 [M]. 北京: 原子能出版社, 1992.
- [3] 魏复盛, 刘廷良, 滕恩江, 等. 我国土壤中稀土元素背景值特征 [J]. 环境科学, 1991, 12 (5): 78~82.
- [4] 苏德昭, 高俊全, 王淮洲. 植物性食品中的稀土含量 [J]. 中国稀土学报, 1985, 专辑: 95~98.
- [5] 苏德昭, 白良迪. 我国食品中的稀土元素及其膳食摄入量研究 [J]. 中国预防医学杂志, 1993, 27 (1): 6~10.
- [6] 朱为方, 徐素琴, 邵萍萍, 等. 赣南稀土区生物效应研究 —— 稀土日允许摄入量 [J]. 中国环境科学,

- 1997, 17 (1): 63~65.
- [7] 诸洪达, 王继先, 陈如松, 等. 中国人食品中元素浓度和膳食摄入量研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2000, 20 (6): 378~384.
- [8] 申治国, 杨维东, 刘洁生, 等. 长期低剂量喂饮钷对小鼠脑中微量元素含量的影响 [J]. 中国稀土学报, 2001, 19 (4): 370~372.
- [9] 刘玉, 陈祖义, 王元兴. 钷在小鼠体内的分布与蓄积及对孕酮分泌的影响 [J]. 中国稀土学报, 2001, 19 (5): 447~449.
- [10] 秦俊法, 陈祥友, 李增禧. 稀土的生物学效应 [J]. 广东微量元素科学, 2002, 9 (3): 1~16.
- [11] 秦俊法, 陈祥友, 李增禧. 稀土的毒理学效应 [J]. 广东微量元素科学, 2002, 9 (5): 1~10.
- [12] 朱为方, 徐素琴, 张辉, 等. 稀土区儿童智商调查研究——赣南稀土区生物效应研究 [J]. 科学通报, 1996, 41 (10): 914~916.
- [13] 冯嘉, 张辉, 朱为方, 等. 稀土高背景区稀土生物学效应研究——轻稀土区人群血液生化指标 [J]. 中国稀土学报, 2000, 18 (4): 356~359.
- [14] 金秉恩, 吴建军, 肖桂凡. 稀土冶炼作业对女工健康与生殖功能危害的调查 [J]. 劳动医学, 1991, 8 (4): 17~19.
- [15] 王媚媚, 贾珂君. 稀土粉尘作业工人皮肤损害调查分析 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1996, 14 (2): 106~107.
- [16] 陈清, 卢国埕主编. 微量元素与健康 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1989.
- [17] 王夔主编. 生命科学中的微量元素 [M]. 北京: 中国计量出版社, 1996.
- [18] 刘鸿忠. 稀土生产的放射性及其对健康影响的概述 [J]. 稀土, 1996, 17 (4): 59~63.
- [19] 李琳, 王莉丽, 汤三勤. 白云矿含钷粉尘作业工人十年死因分析 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 1986, 6 (6): 399~402.
- [20] 张吉华, 杨美琴, 陈荣富, 等. 跃龙公司职工肿瘤调查报告 [J]. 劳动医学, 1994, 11 (增刊): 76~79.
- [21] 王耐芬, 王醒方, 陈清, 等. ICP-MS法测定成人脏器样品中痕量稀土元素的研究 [J]. 环境化学, 1995, 14 (3): 215~219.
- [22] 诸洪达, 陈如松, 王继先, 等. 31例中国人主要器官组织中42种元素浓度和含量研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2001, 21 (1): 1~8.
- [23] 倪嘉缙主编. 稀土的生物无机化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [24] 王淑惠, 纪云晶, 栗建林, 等. 稀土硝酸盐生产环境和健康监护十年 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1996, 14 (6): 361~363.
- [25] 苟普仁, 赵砚卿, 赵国俊, 等. 新生儿畸形与元素关系的研究 [J]. 微量元素, 1989, 6 (2): 34~35.
- [26] 徐刚, 王孟才, 刘晶, 等. 肝癌患者血清与头发中多种元素的临床流行病学研究 [J]. 微量元素与健康研究, 1996, 13 (4): 17~18.
- [27] 侯小琳, 吴兰兰, 袁玲, 等. 人发中某些微量元素与某些呼吸系统疾病关系的研究 [J]. 核技术, 1995, 18 (2): 121~127.
- [28] 郭振生. 41例白癜风患者头发中微量元素的检测研究 [J]. 微量元素与健康研究, 1998, 15 (3): 79.
- [29] 陈祥友, 孙嘉准, 陈玉松. 癫痫食疗 [J]. 世界元素医学, 1998, (4): 24~25, 42.
- [30] 陈祥友, 孙嘉准. 偏头痛食疗 [J]. 世界元素医学, 1999, 6 (4): 1~2.
- [31] 陈祥友. 头发分析和系统性红斑狼疮的诊断 [J]. 世界元素医学, 2001, 8 (4): 32~35.
- [32] 章佩群, 卢向丽, 钱琴芳, 等. 内蒙古慢性砷中毒地区少年头发中微量元素含量研究 [J]. 核技术, 1998, 21 (6): 344~348.
- [33] Rodushkin I, Axelsson M D. Application of double focusing sector field ICP-MS for multi-elemental characterization of human hair and nails. Part . A study of the inhabitants of northern Sweden [J]. Sci Total Environ, 2000, 262: 21~



36.

- [34] Frustaci A, Magnavita N, Chimenti C, et al. Marked elevation of myocardial trace elements in idiopathic dilated cardiomyopathy compared with secondary cardiac dysfunction [J]. J Am Coll Cardiol, 1999, 33 (6): 1578 ~ 1583.
- [35] Husten L. Trace elements linked to Cardiomyopathy [J]. Lancet, 1999, 353, May 8: 1594.
- [36] Moo S P, Pillay K K S. Trace element profiles in the hair of cancer patients [J]. J Radioanal Chem, 1983, 77 (1): 141 ~ 147.
- [37] Akanle D A, Spyrou N M, Damyanova A A, et al. Investigation of elemental models in senile dementia and depressive using NAA. J Radioanal Nucl Chem, 1987, 113 (2): 405 ~ 416.

## Effects of Rare Earth on Human Health

QIN Jun-fa<sup>1</sup>, CHEN Xiang-you<sup>2</sup>, LI Zeng-xi<sup>3</sup>

(1. Shanghai Institute of Nuclear Research, The Chinese Academy of Science, Shanghai 201800, China;

2. Jinling Trace Element and Health Institute, Nanjing 210001, China;

3. Chinese National Analysis Centre of Guangzhou, Guangzhou 510070, China)

**Abstract:** A review with 37 references is given on the effects of rare earth on human health and the relations between rare earth's human health effects and diseases including resources of rare earth in human, influence of rare earth pollution on human health as well as the relations of abnormal content of rare earth in human towards human diseases.

**Key words:** rare earth; human health effects

### 《实用元素医学》征订

《实用元素医学》由中国微量元素医学学会主任委员、教授颜世铭、洪昭毅，《广东微量元素科学》杂志主编李增禧任主编，教授陈秀娜、郭维新任副主编。本书全面系统地阐述了微量元素基础知识，6种常量元素、14种人体必需微量元素的代谢、生化功能、生理作用以及与健康和疾病的关系，元素中毒的防治。本书还详尽介绍了微量元素与各系统常见病、多发病的关系，包括与疾病发生、发展的关系，在疾病诊断、鉴别诊断、预后估计、转归预测以及预防和治疗中的应用。涉及儿科、内科、妇产科、眼科、皮肤科以及职业病和地方病等多种疾病。具有新颖性、独特性、实用性。本书突出论述了微量元素与酶和激素的关系，微量元素的抗氧化作用、解毒作用、代谢调控作用、抗衰老作用，元素平衡及其调节以及碘缺乏症、锌缺乏症、铁缺乏症、儿童铅中毒、铝中毒、糖尿病、心脑血管疾病、男女不育不孕症、慢性肾功能不全、肿瘤等疾病的预防、诊断和治疗。本书第五十至五十二章列出我国正常人体组织元素含量、食品微量元素含量、中医药微量元素含量。

本书适用于临床、预防医学工作者、科研工作者、妇幼保健、计划生育科学工作者以及环境科学、化学、药学、营养与食品科学工作者。

全书共 120 万字，单卷本、精装，每册定价 92 元。需订购者请将书款及邮挂费（每册 8 元）经邮局或银行汇来。同时将订收单填好寄来。通讯地址及联系人：广州市先烈中路 100 号广州地区微量元素与健康研究会《广东微量元素科学》编辑部收（邮码：510070）。

开户银行：工商银行广州市庙前直街支行，帐号：010 - 0249 - 0032270。电话：(020) 87668123。