

# 黄土中古土壤研究的新进展

中国科学院院士 朱显谟

(中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西杨陵 712100)

教授 赵景波

(陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710054)

**摘要:** 本文介绍了作者近年来在古土壤研究方面取得的新进展, 主要内容包括以下几方面: 黄土是冷干气候条件下发育的黄色古土壤, 微弱的成壤作用和连续的风尘堆积更使其土壤剖面不清楚, 黄土所属土壤主要是灰钙土型、棕钙土型等新成土(entisol); 其中红色古土壤的粘粒土胶膜是生物作用形成的, 主要是植物根系在腐解过程中产生的, 其主要粘土矿物为蒙脱石; 黄土地层中粘土胶膜不能显示  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  发生什么移动, 不指示森林植被下淋溶性土壤的发育; 黄土地层是在沉积、成壤、成岩三种作用同时同地发生的条件下形成的, 是在地质大循环和生物小循环融合在一起的条件发育的。

**关键词:** 冷干古土壤 生物粘化理论 黄土剖面结构形成 古环境

自从黄土中的红层0被确认为红褐色古土壤<sup>[1~2]</sup>以来, 黄土地层古土壤的研究一直是第四纪研究的重要内容。古土壤的研究对揭示黄土地层形成环境变化和黄土地层的实质起到了重要推动作用, 随着近年来古土壤研究工作的大量开展, 新理论、新观点和新进展不断涌现, 现将本文作者在这方面的进展介绍如下。

## 1 对冷干条件下古土壤的认识

在本世纪60年代前后, 本文第1作者鉴别出了黄土中红色古土壤的存在<sup>[1~2]</sup>。从那之后一直到80年代中期, 人们所认识和研究的古土壤是红色或红褐色古土壤。这样的古土壤发育在温度较高、降水量较多和植被生长茂盛的条件<sup>[3~5]</sup>, 其土壤的发生层较为清楚, 土壤结构较为明显, 相对来说是不太难鉴别的土壤。然而第四纪是气候具有多样性的地质时代, 气候在时间和空间上的差异比老的地质时代都较频繁而波动明显, 而又以冷干为更突出。这一时期的古土壤当然不如温湿条件下发育的红褐色古土壤来得醒目。气候的多变性和地区差异性必然会形成多种多样的古土壤, 但在冷干条件下由于成壤作用微弱, 风尘又不断加积, 仅能形成与降尘差异不大的新成土, 无怪以往黄土未被认为是古土壤而反被认为是温湿气候下发育的古土壤的成壤母质, 从而不恰当地将降尘与成壤两个过程在时段上加以分割。

作者通过野外观察和室内鉴定得知, 第四纪冷干、温干气候条件下发育的古土壤广泛存在, 这些古土壤就是灰黄

色、棕黄色的黄土, 本文第二作者在1987年完成了冷干气候条件下发育的古土壤研究报告, 显示了黄土具土壤特性的大量证据, 并发表了第四纪冷干气候条件下发育的古土壤<sup>[6]</sup>研究论文, 以实际资料和理论的阐述确定了黄土具有冷干气候条件下发育的栗钙土、灰钙土、棕钙土的土壤特征。作者1994年研究认为, 黄土是成壤作用较轻微、土壤剖面发育不明显的黄色古土壤<sup>[7~8]</sup>, 这种黄土性土壤或新成土的形成过程应该和/红层0一样得到重视<sup>[7~8]</sup>; 黄土与红色古土壤的相间排列是不同生物气候环境下土壤剖面发生层的叠加, 只是由于各自生物气候条件差异成壤程度不同而已。

根据我们的研究, 黄土作为古土壤的表现是多方面的<sup>[9~10]</sup>, 主要表现为黄土具有土壤的宏观和微观结构特征, 具有土壤  $\text{CaCO}_3$  迁移和淀积的显示(表1), 具有作为成壤作用主要因素的生物活动的大量遗迹。黄土结构、淀积产物存在着明显的区域差异, 这是各地气候不同决定的。

确定黄土是古土壤能加深对黄土及黄土高原形成过程及其环境意义的认识, 应当说是对黄土本质认识的深化。认识到黄土是古土壤意味着黄土是在当时生物、气候环境下的稳定产物, 具有半定量指标气候环境的重要作用, 而通常的沉积物不具半定量指标环境的作用。由于黄土发育过程缓慢, 作为土壤的黄土本身表明它呈现的特点是冷干的气候和弱的成壤作用。其土壤的特征与当时的成壤过程长短无关, 即使当时经历更长的成壤过程, 在生物气候基本不变的情况下, 黄土的主要特征是比较稳定不变的。

表1 西安刘家坡第1~6层黄土的土壤结构<sup>[6]</sup>

Table 1 Texture of the loess from 1st to 6th layer in Xian

项目 \ 土层	第1层黄土	第2层黄土	第3层黄土	第4层黄土	第5层黄土	第6层黄土
土体宏观结构	团块状为主,部分为团粒状、似菱柱状	团块状和团粒状	似棱柱状和团块状	似棱柱状和团块状	上部为棱柱状,下部为团粒状	团块状和团粒状
生物结构	孔洞、排泄物发育	孔洞、排泄物发育	孔洞、胶膜发育	孔洞、胶膜发育	孔洞、排泄物发育	孔洞、排泄物发育
淀积产物	CaCO <sub>3</sub> 薄膜、斑点、结核、菌丝体发育	CaCO <sub>3</sub> 薄膜、斑点、菌丝体发育	CaCO <sub>3</sub> 结核、薄膜、菌丝体发育	CaCO <sub>3</sub> 结核、薄膜、菌丝体发育	CaCO <sub>3</sub> 薄膜、斑点、结核发育	薄膜、斑点发育

## 2 对古土壤粘土胶膜形成的认识

黄土中的红色古土壤常发育有红色、红褐色粘土胶膜,特别是在黄土高原的东南部,粘土胶膜更为发育<sup>[11-12]</sup>。关于古土壤粘土胶膜的形成,传统观点认为是淋溶淀积形成的,代表 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 迁移的酸性条件<sup>[13]</sup>。然而,用传统观点来解释古土壤中胶膜的成因存在着一些难以解决的矛盾问题,这使得我们考虑粘土胶膜会有另外的成因,研究资料也表明了这一点。

根据我们的调查和资料分析,古土壤发育时不具备粘粒移动的条件。一般认为,粘粒移动发生在钙、镁迁移的酸性土壤中,是较强淋溶土壤的特征。而黄土中的古土壤为钙、镁饱和土壤,pH 值一般在 8 以上。在这样的条件下粘粒不可能在水中呈溶胶状移动。粘粒要发生移动,它必悬浮于水中,钙镁离子的存在促使悬浮胶体(Suspensoid)的絮凝作用加强,因此不可能发生矿粒变成溶胶。能悬于水中的主要是粘土矿物,黄土中的粘土矿物主要是蒙脱石和伊利石,伊利石的亲水能力很弱,加之处于钙镁饱和的碱性条件下,不利于粘土呈流胶而移动。在 Fe<sup>3+</sup> 存在的情况下,蒙脱石和伊利石絮凝的可能性很大,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 移动的可能性很小。假如粘粒发生了移动,将会出现粘粒减少的 A 层和粘粒增加的 B 层。粒度分析显示,以 A 层到 C 层粘粒是减少的,这与淀积粘化的观点是矛盾的。假如粘粒发生了移动,它将引起铁的迁移。然而古土壤剖面中的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 变化很小,这指示铁未发生移动,更未在某层聚集。在古土壤粘化层中,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量是有所增加,这是粘化层 CaCO<sub>3</sub> 淋

滤、迁移造成的,不代表 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的聚集<sup>[14-15]</sup>。

我们的研究资料表明,黄土中红色古土壤中的粘土胶膜和某些层黄土中出现的粘土胶膜是生物作用形成的,主要是植物根系腐解反馈络合产生的,王振权等人的研究早已指出了这一事实,其整个过程尚待研究,但从植物体及根系化学组成(表 2, 3)来看,植物具有富硅与合成粘土矿物的化学成分。灰分分析结果显示(表 3),黄土区的植物含有大量硅、铁、铝、钙、钾、猛等矿质元素,其 SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值常为 30 左右。其中小麦秸秆最高,为 288.8,黄芦草根为 391.1,山杏枝叶最低,为 121.7。并且一些植物的根系含铁量常高出地面部分数倍。在富铝化的砖红壤上发育的热带雨林、橡胶林灰分中, SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值一般在 4 以上,高者达 451.1(表 2),明显大于林下土壤中 SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值,也显示了硅的富集现象。从植物根系及腐解产物的 X-射线分析得出如下认识:(1)在未分解的木质和外表皮中不含粘土矿物,但有石英和长石出现,这表明植物在生长过程中不产生粘土矿物。(2)在明显腐化的植物根中,有较多的伊利石、蒙脱石和高岭石,这表明在植物腐解过程中能够形成粘土矿物。(3)在完全腐化的植物根中,粘土矿物以蒙脱石为主,含量高达 96%(图 1)。(4)核桃树寄生菌也含有少量粘土矿物,这表明在菌类生活过程中能够产生粘土矿物。(5)黄土中古土壤根孔胶膜中含 25%左右的蒙脱石和 10%左右的伊利石以及 8%左右的高岭石。以上资料证实植物体不但具有形成粘土矿物的物质成分,也确具有合成粘土矿物的作用,并在腐化过程中产生了大量粘土矿物。从上述资料分析判断生物合成粘土矿物首先形成的是高岭石,然后逐渐向蒙脱石转化,这与一般矿物风化形成粘土矿物的顺序恰恰相反。从善于区别地

表 2 热带雨林、橡胶林下灰分中化合物含量(干重 kg/ha<sup>[16]</sup>)

Table 2 chemical composition in ash content under subtropical rain forest and rubber forest

植被	季节	灰分	BO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
热带雨林	干季	523.5	4.5	15.8	38.2	45.8	331.5	4.5	35.2	10.5	8.6
	湿季	555.0	6.0	15.8	35.2	36.8	356.2	45	42.8	11.2	5.3
	雾季	774.0	6.0	8.2	33.8	23.2	575.2	23.2	33.0	20.2	20.5
	全年	1852.2	16.5	39.8	107.2	105.8	1262.9	32.2	111.0	41.9	45.1
橡胶林	干季	144.8	8.2	13.5	33.0	14.2	15.8	12.0	8.2	-	1.1
	湿季	237.8	3.0	3.0	87.8	33.0	71.2	3.0	15.8	-	4.0
	雾季	289.5	3.0	3.0	118.5	39.0	76.5	3.8	14.2	-	4.6
	全年	672.1	14.2	19.5	239.3	86.2	163.5	18.8	38.2	-	3.3

表3 三种生态类型植物灰分化学成分(%) (基于干物质)<sup>[17]</sup>

Table 3 Chemical composition in ash content in three different habit plants

生态类型	灰分	Si	Fe	Al	Mn	K	Na	Ca	SiO <sub>2</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
酸性植物和指示植物	5.00~6.00	1.98	0.02	0.80	0.02~0.05	0.80	0.10~0.15	0.10~0.40	30.38	4.78
	(12.43)	(0.06)	(0.06)	(1.21)	0.23	(2.19)	(0.55)	(1.12)	-	-
钙质土植物和指示植物	10.00	5.67	0.02~0.05	0.01~0.05	0.00~0.003	1.00~1.50	0.05~0.10	1.00~2.00	858.02	1046.37
	(18.94)	(2.35)	(0.25)	(0.10)	(0.02)	(5.32)	(0.36)	(4.25)	4.50	40.00
盐渍土植物和指示植物	10.00~15.00	4.43	0.02~0.05	0.05~0.05	0.00~0.01	1.00~2.00	1.0~5.0	0.50~1.00	674.63	157.30
	(45.79)	(17.30)	(0.18)	(0.36)	(0.05)	(4.25)	(13.10)	(2.50)	(3.47)	82.00

注: 括号内数字为该类植物最高含量; S、P、N 未列入表中

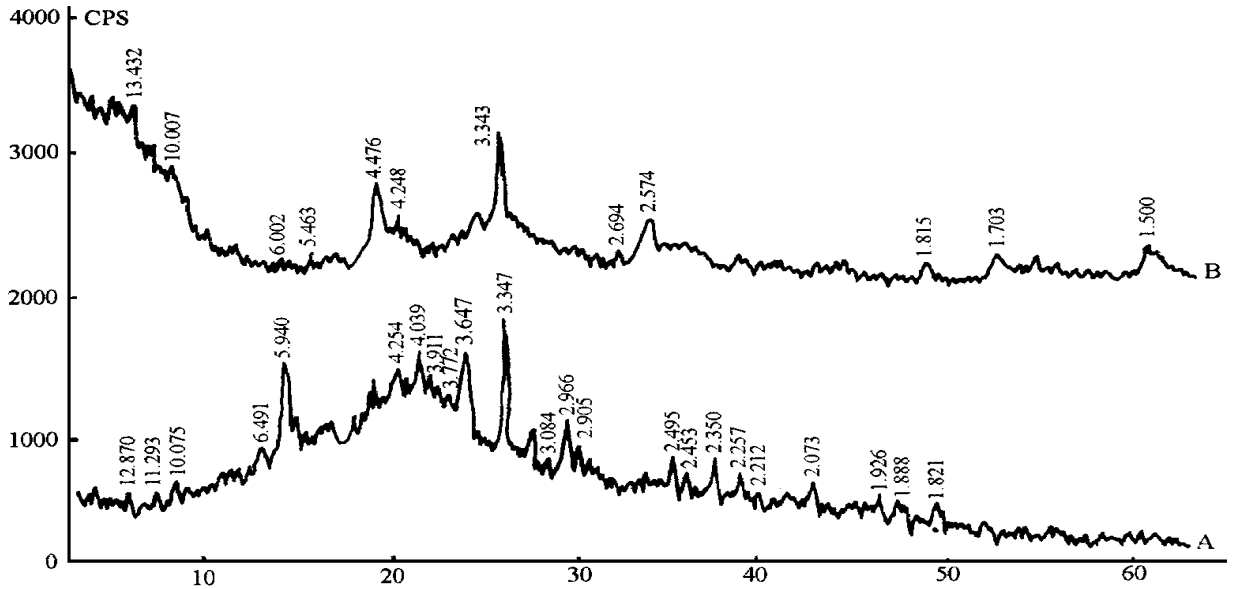


图1 矿化树根及菌类x-射线衍射曲线<sup>[18]</sup>

Fig. 1 X-ray diffraction curves of mineralized roots and fungus

A. 西安附近核桃树寄生菌衍射线; B. 沈阳矿化树根衍射线

质大循环和生物小循环的实质辩证对待矿物风化过程和成壤过程同时同地进行来看,也是完全可能与合理的。认识到粘粒胶膜的生物成因不仅丰富了土壤学的理论,解释了土壤研究中的矛盾问题,而且能够根本改变人们对自然界土壤发生和土壤类型的认识,将使人们对土壤与古土壤发生特征及土壤类型、形成环境的认识更符合客观实际。据这一新认识可以得出,黄土中红色古土壤的粘土胶膜不是淋溶淀积形成的,不代表Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的移动,也就不能作为森林土壤和相应植被的发育。这一现象也完全符合第四纪以来黄土高原地区木本植物渐向草本植物演变的事实!

### 3 对黄土地层古土壤形成过程的认识

风尘堆积在地表条件下,它一旦到达地面,就必然受到生物、气候等因素的改造,这种改造作用实际上就是成壤作用。由于这样的成壤作用发生在风尘堆积的时期,可以认为

风尘的堆积与成壤是同时同地发生的<sup>[7-8]</sup>。当然在风尘堆积后未被深埋的情况下,风尘仍然会受到成壤作用的改造。因此,虽然风尘堆积与成壤作用同时同地发生,但成壤作用持续的过程往往会更长一些。

在风尘到达地面的同时,不仅受到了成壤作用的改造,同时也受到了另一种地质作用即成岩作用的改造。可以想见,风尘的堆积作用也是与成岩作用近于同时同地发生的。而黄土的特殊形成环境又使成岩作用与成壤作用在一定深度范围内同时同地发生,也就是说,在地表2m以上成壤带的厚度范围内,成壤、成岩作用是同时同地发生的,而2m以下超出成壤带厚度的成岩作用则晚于成壤作用。换句话说,成岩作用比成壤作用持续过程更长。

由上可见,黄土地层古土壤的形成具有特殊性,它是在长期大气圈、生物圈相互作用下,沉积、成壤作用交融在一起的地质过程中发育起来的<sup>[7-8]</sup>,也就是在地质大循环与生物小循环难舍难分的条件下发育的。没有地质大循环带来的风尘堆积,也就没有黄色与红色古土壤的交替发育。然而没

有成壤作用过程中植物根系对风尘的固结、保护作用,堆积的风尘也很难保存下来,成岩作用也就不能发生。没有生物小循环的生物钙化和生物粘化,也就不存在富含次生  $\text{CaCO}_3$  及粘土胶膜的黄土地层,也不会出现蕴含大量古环境信息的黄土2红色古土壤系列。

黄土地层古土壤的形成还有一个明显的特征,这就是土壤化的多期性<sup>[9-19]</sup>,这一特性主要见于红褐古土壤中。虽然黄土地层中古土壤是在沉积、成壤、成岩三种作用同时同地发生的,但不同生物气候条件下的堆积速度、成壤强弱是存在明显差异的。对于黄色古土壤(黄土)来说,其物质组成来自冷干时期风尘的堆积,其沉积、成壤、成岩同时同地发生表现更典型。对于红褐色古土壤来说,其物质组成除来自这一较温湿时期堆积的风尘之外,还将改造一部分早期发育的黄色古土壤(黄土)作为其物质组成,所以红褐色古土壤的中、下部应当经历了两个或更多成壤阶段。红三条内部有时夹薄层黄土就是温湿期黄土受改造后残留下来的。这一现象出现部位很值得重视,有待深入研究!因此,对于红褐色古土壤来说,除具有沉积、成壤、成岩作用同时同地发生的特征之外,还具有成壤作用于晚于堆积作用和成岩作用的特征。总之,这些问题很值得深入研究,以便于更进一步地理解全球气候变化的历史规律。

## 4 结束语

尽管黄土地层古土壤研究取得了大量进展,但从黄土地层形成的实质和具有的古土壤特征来考虑,人们对黄土地层古土壤的研究还不够。以往对黄土地层研究很多,但主要是从沉积物、岩石学角度开展工作的,这使得对黄土地层的研究未达到应有的深度。

要想在古土壤研究方面取得大踏步前进,创立或吸收新理论、新观点和新方法是很重要的。由于黄土地层形成过程的复杂性和特殊性,其中包含着一些特殊的自然现象和传统理论难以解释、传统方法难以奏效的问题,这就需要我们大胆创新,敢于突破传统观念的束缚,达到认识自然规律的目的。

与其他地质时期相比,可以说第四纪是古土壤发育时期,与国外古土壤发育状况相比,我国是古土壤最发育的国

家。我国具有优越的自然地质条件,应在古土壤的研究方面走在世界前列。

## 参考文献

- [1] 朱显谟.关于黄土中红层问题讨论.中国第四纪研究,1985,1(1)
- [2] 朱显谟.我国黄土性沉积中的古土壤.中国第四纪研究,1965,4(1):7~19
- [3] 唐克丽.武功黄土沉积中古土壤微形态及发生学探讨.科学通报,1981,26(3):177~179
- [4] 赵景波.西安附近黄土中古土壤发育的植被与气候.科学通报,1984,29(7):417~419
- [5] 刘东生.黄土与环境.科学出版社,1985
- [6] 赵景波.第四纪冷干气候条件下发育的古土壤.土壤通报,1991,22(6):245~248
- [7] 朱显谟.黄土2土壤结构剖面构型的形成及其重要意义.水土保持学报,1994,2期
- [8] 朱显谟.中国土壤科学复兴之道.水土保持研究,1994,1(1):1~10
- [9] 赵景波.西北黄土区第四纪土壤与环境.陕西科学技术出版社,1994
- [10] 赵景波.黄土中的  $\text{CaCO}_3$  与环境.沉积学报,1993,11(1),136~142
- [11] 赵景波.西安刘家坡剖面第1第5层古土壤研究.地理研究,1991,10(4):51~58
- [12] 安芷生,魏兰英.淀积铁质粘粒胶膜及其成因意义.科学通报,1979,24,356~359
- [13] 曹升庚.土壤微形态及其在土壤发生、分类研究中的应用.1980,土壤专报,第37号.科学出版社
- [14] 朱显谟,程文礼.中国黄土高原古土壤中粘粒移动问题探讨.土壤学报,1991,31(4):371~375
- [15] 朱显谟,祝一志.试论黄土高原土壤与环境.土壤学报,1999,29(4)
- [16] 赵其国等.中国热带、亚热带土壤性征的形成及其分类.中国土壤,科学出版社,1983,1~23
- [17] 林厚萱等.酸性土、钙质土和盐渍土指示植物化学成分.土壤学报,1957,5(3):247~267
- [18] 朱显谟,赵景波.黄土与古土壤中粘土胶膜的形成及其意义.世界科技发展与研究,1998,第6期
- [19] 赵景波.黄土中古土壤  $\text{CaCO}_3$  淀积深度研究.科学通报,1991,36(18):1397~1400

## New Development in Paleosol Study in Loess

Member of CAS ZHU Xianmo

(Institute of Water and Soil Conservation, Academia Sinica and  
Ministry of Water Conservancy 712100)

Professor ZHAO Jinbo

(Tourist and Environmental College of Shanxi Teachers University, Xian 710054)

Abstract: New development gained by the authors in paleosol study in recent years is introduced. Main content is as follows.

Loess was yellow paleosols developed under cold arid climate, reason why soil horizons are not obvious is mainly weak soil formation and continuous dust deposition, the soil types to which loess belong are Brown soil, Sierozems and Loessial Sols. Clay film in which montmorillonite is main mineral in red paleosols was formed by living things and formed by degenerating plant roots. The clay film in loess strata can not represent movement of  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  and not indicate the development of forest vegetation and leached soils. Loess strata was formed in the process where deposition, soil formation and lithification occurred at same time and same site, and it developed in large geological cycles and small living things cycles mingled with each other.

Key words: cold and arid paleosols, theory on clay grouting of living things, formation of loess strata structure, paleoenvironment

## 作者简介



朱显谟 (ZHU Xianmo, 1915, 12~), 男, 汉族, 上海崇明人。1940 年国立中央大学农业化学系毕业。1949 年后, 历任中国科学院南京土壤研究所副研究员、研究员兼土壤地理研究室副主任, 中国科学院水土保持研究所所长、名誉所长、博士生导师, 中国科学院院士。中国土壤学会理事会顾问, 陕西土壤学会名誉理事长。主要成就是对江西土壤作了系统研究, 提出了红壤并非是现代气候的论断; 提出了治理黄土高原的 28 字方略, 受到了党和国家的高度重视; 认识到了黄土是在沉积、成壤、成岩近于同时地条件下形成的; 得出了东北有棕壤而无灰壤的新认识, 并认为灰化层不是淋溶层而是硅粉淀积层; 建议黄土区栗钙土应分为黑垆土和楼土, 由此另拟了土壤和土壤侵蚀分类系统, 发表论文 60 余篇, 出版专著 4 部。



赵景波 (ZHAO Jingbo, 1953, 10~), 男, 汉族, 山东省滕州市人。1982 年于西北大学研究生毕业, 先后获硕士、博士学位。现任陕西师范大学教授, 兼地质矿产部岩溶动力学开放实验室学术委员会委员、客座研究员、中国地质学会第四纪冰川与第四纪地质专业委员会委员。取得多项重要科研成果, 建立了  $CaCO_3$  等化学成分的淀积深度理论, 提出了黄土形成与演变的新模式, 认识到了黄土主要是通过干旱区三种不同的土壤化过程形成的, 确定了黄土分属于灰钙土、栗钙土、棕钙土等类型; 首次确定了黄土中存在的风化壳和硅质风化壳新类型, 将黄土高原的发展与侵蚀历史进行了分期, 提出了黄土高原理论上的侵蚀期。已获地质矿产部科技成果二、三等奖和霍英东教育基金会青年教师三等奖。发表论文 50 余篇, 出版专著两部。

(责任编辑: 房俊民)

### 国外新闻

## 日本近海发现微量环境激素

日本通产省工业技术院资源环境研究所最近在日本近海海域发现了微量环境激素(导致内分泌障碍化学物质))) 壬酚。

这家研究所从 1995 年开始对茨城县至宫城县的太平洋沿岸、津轻海峡西侧的日本海、积丹半岛的北海道沿岸等距离海岸数十公里至 200 公里海域的海水水质情况进行了全面调查。调查结果表明, 在被调查的所有海域内均发现有可导致动物内分泌障碍的化学物质壬酚。

不过, 近海海水中的环境激素浓度大大低于内河河水中的含量。每升海水中的壬酚含量分别为: 太平洋沿岸海域

01 093 毫微克、日本海沿岸海域 01 002 至 01 145 毫微克、北海道沿岸海域 01 011 至 01 058 毫微克。研究人员还对水深 5000 米以上的积丹半岛和日本海北部的西伯利亚海沟不同水深的水质情况进行了调查。调查发现, 在水深 1000 米左右的海水区域, 壬酚的含量最高。

壬酚主要源于塑料添加剂和洗涤剂, 天然物质中几乎不存在。研究人员认为, 日本近海海水中的环境激素含量还不至于对人的健康造成影响, 但必须引起足够的重视。(新华社供本刊稿)