

黄土地层中的 CaCO_3 与环境¹

赵景波

(西安地质学院)

提要 本文根据大量观察分析,对黄土地层中的 CaCO_3 含量、存在形式、淀积深度进行了研究,并进行了分类。结果表明,不仅 CaCO_3 含量能够反映气候变化,而且其存在形式和淀积深度同样能反映气候变化;其淀积深度很少受时间影响,比含量更能可靠地用于气候研究。

关键词 黄土地层 CaCO_3 沉积环境

作者简介 赵景波 男 38岁 副教授 第四纪地质与地貌

1 黄土地层中的 CaCO_3 来源与含量

通过对西安刘家坡、蓝田杨家崖以及兰州等地的黄土和古土壤薄片观察得知,黄土和古土壤中的 CaCO_3 有原生和次生之分,但原生的很少,主要是次生的。原生 CaCO_3 是从沙漠、戈壁区搬运来的碎屑 CaCO_3 。次生 CaCO_3 是在黄土沉积后的风化成壤过程中形成的,来自碎屑 CaCO_3 的转变、含钙矿物的风化和大气降水三个方面。尽管黄土和古土壤中次生 CaCO_3 形成时的植被、气候存在差别,但成因基本相同,绝大部分是经淋滤、淀积形成的;其不同在于黄土中 CaCO_3 淋溶弱,含量均匀;古土壤中 CaCO_3 淋溶作用强,下部 CaCO_3 富集量大。温湿期降水丰富化学风化强,矿物放出的钙多,来自雨水中的 CaCO_3 增加,所以产生的 CaCO_3 比冷干期多,但在地层中保存的 CaCO_3 则以冷干期的地层多,温湿期的地层少,这是温湿期一部分 CaCO_3 被淋先造成的。

黄土地层中 CaCO_3 含量及其变化规律已基本查清(王永焱,1982;文启忠,1981;卢演涛,1981),但过去没有区分含量的不同与气候的关系,对土壤淀积层中的 CaCO_3 含量考虑较少。为全面研究含量与气候的关系,测定土壤淀积层的 CaCO_3 含量并进行分类是非常必要的。

通过对西安刘家坡黄土和古土壤粘化层以及第1—5层古土壤下部钙板或结核层中418块样品的 CaCO_3 含量测定得知,古土壤下部的钙板或结核层中 CaCO_3 含量最高,在35%以上;黄土中居中,平均为8.8%;古土壤粘化层中最低,平均为1.5%;从早更新世到晚更新世,古土壤粘化层 CaCO_3 含量逐渐减少(表1)。

¹ 本研究得到中国科学院西安黄土与第四纪地质开放研究室资助。

表1 刘家坡剖面CaCO₃含量(%)Table 1 CaCO₃ content in Liujiapo section

层位	L ₁	S ₁	L ₂	S ₂	S ₃	L ₄	S ₄	S ₅	L ₆	S ₆	L ₇	S ₉	L ₈	S ₁₀	L ₉	S ₁₄	L ₁₀
含量	14.5	1.1	7.2	1.5	0.8	0.6	1.5	0.4	4.5	0.5	6.7	0.5	18.2	1.5	6.5	1.4	9.5
层位	S ₁₅	L ₁₁	S ₁₆	L ₁₂	L ₁₃	S ₂₀	L ₁₅	S ₂₁	L ₁₆	S ₂₃	L ₁₇	L ₁₈	S ₁₁	S ₂₁	S ₃₁	S ₄₁	S ₅₁
含量	1.3	10.3	1.4	10.6	10.5	3.7	5.0	1.1	5.2	3.0	6.2	10.7	79.0	68.2	73.4	38.0	76.6

注: L₁、S₁和S₁₁分别代表第1层黄土、第1层古土壤和第1层古土壤之下的钙板层,其余类推。

一般认为, CaCO₃含量高代表冷干气候, 含量低代表温湿气候。要弄清它们两者间的关系, 必须对CaCO₃进行分类。根据大区域内CaCO₃的观察和测定, 按CaCO₃的成因及其与气候的关系, 初步将黄土地层中的CaCO₃分为原生碎屑CaCO₃、淀积CaCO₃、同期淋溶残余CaCO₃、后期淋溶残余CaCO₃和表聚CaCO₃五种(图1), 它们与气候的关系如下。①原生碎屑CaCO₃含量多, 反映淋溶作用弱, 气候干旱。②淀积CaCO₃是淋溶后聚集形成的, 含量在5%以上, 黄土和古土壤淀积层中的CaCO₃主要是这一类。淀积CaCO₃与气候的关系相当复杂, 大致规律是: 含量较低者反映相对温湿气候, 含量较高者反映相对干旱气候, 但当CaCO₃大量聚集时(S₁₁—S₅₁)又指示较湿润的气候。淀积CaCO₃是从上部土层中淋滤下来的, 现在测出的含量并不代表采样位置处原来的含量, 而是代表采样点之一定高度土层受淋溶淀积的CaCO₃含量。③同期淋溶残余CaCO₃是在土层发育过程中受淋溶残余的部分(<5%), 其含量越少, 表示形成时的气候越温湿。古土壤粘化层中的CaCO₃主要属于这一类。④后期淋溶残余CaCO₃是受上覆土层发育时的淋滤作用影响而残留下来的(<5%)、它不反映土层发育时的气候。黄土高原东南部的黄土常受后期淋滤作用影响, 含有这类CaCO₃(图1B)。淋溶残余CaCO₃和淀积CaCO₃以5%为界, 它们的含量与气候均呈过渡关系, 与自然界实际情况相符。⑤表聚CaCO₃是在强烈蒸发过程中, CaCO₃向表层迁移产生的次生CaCO₃, 其含量特征是表层多于下层(图1D)。不论表聚CaCO₃含量高低, 均代表年平均降雨量为100mm以下的荒漠气候。

由上可见, 次生CaCO₃与气候的关系相当复杂, 含量高的层位不一定代表冷干气候, 含量低的层位也不一定代表温湿气候。特别是淀积CaCO₃, 对气候的反映远不如其它四种可靠, 其关系有待进一步研究。目前在黄土高原东南部所测CaCO₃含量比实际量要低, 因为未考虑黄土层内以结核形式存在的CaCO₃。考虑到这一点会加深对CaCO₃与气候关系的认识。

根据以上CaCO₃含量与气候的5种关系和刘家坡剖面CaCO₃测定结果, 可知刘家坡剖面CaCO₃聚集了含量在35%以上的结核、钙板层和残余CaCO₃含量在4%以下的粘土化层, 表明古土壤发育时为温湿气候; CaCO₃含量在8%左右的黄土层反映其上一定高度土层形成时的冷干气候; 由早更新世到晚更新世, 古土壤粘土层中残余CaCO₃含量不断减少, 指示气候不断向温湿发展。该剖面第4和第5层黄土, 7个样品的CaCO₃含量均不足1.2%(图1B)。经分析得知, 这两层黄土之上古土壤淀积层均出现在下伏黄土的中下部,

表明古土壤发育时淋溶作用强，不但古土壤中的 CaCO_3 被淋滤，而且下伏黄土中的 CaCO_3 也受到了淋滤。因此，第4和第5层黄土中的 CaCO_3 为后期淋溶残余类型，它们形成时的气候不是温湿，仍是冷干。

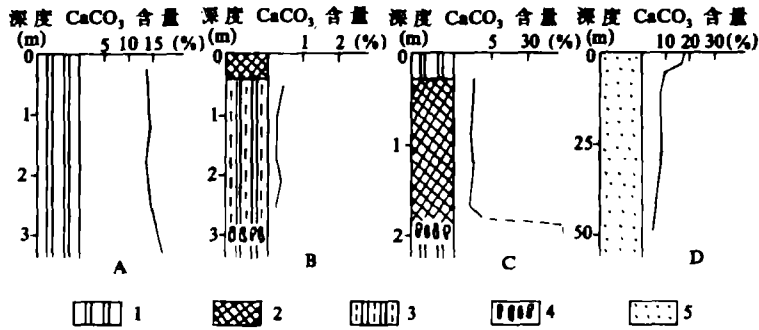


图1 不同种类 CaCO_3 在土壤剖面中的分布

Fig. 1 Distribution of different kinds of CaCO_3 in soil profile

A. 陕西洛家川第6层黄土中的淀积 CaCO_3 B. 西安刘家坡第5层黄土中的后期淋溶残余 CaCO_3 C. 西安刘家坡第8层古土壤中的同期淋溶残余 CaCO_3 (实线部分) 和大量聚集的淀积 CaCO_3 (虚线部分) D. 新疆库鲁塔克棕漠土中的表聚 CaCO_3 1. 离石黄土 2. 古土壤 3. 风化淋溶黄土 4. 石灰质结核 5. 棕漠土

2 次生 CaCO_3 存在形式

黄土地层中 CaCO_3 的存在形式主要有薄膜、斑点、假菌丝、结核、结核层和钙板层。在黄土和古土壤中， CaCO_3 存在形式有明显差别，前者中主要以薄膜、斑点和假菌丝的形式存在，后者主要以结核、结核层和钙板层的形式出现。测定结果表明， CaCO_3 存在形式与含量之间有密切关系，以非结核形式散布的黄土层中 CaCO_3 聚量少，一般在30%以下， CaCO_3 胶结黄土而成结核或钙板中 CaCO_3 聚集量高，常在30%以上。笔者通过大面积调查发现其存在形式不同反映了气候差别。结核、结核层发育的黄土地层分布在相对温湿区，以薄膜、斑点等非结核形式发育的黄土地层分布在相对冷干地区 (表2)。

表2 不同地区古土壤中 CaCO_3 的存在形式

Table 2 Existing form of CaCO_3 in the paleosols in different areas

地区	年平均温度 (°C)	年平均降水量 (mm)	CaCO_3 存在形式	备注
西安、宝鸡、洛川、 庆阳、平凉、延安	西安 13.3, 平凉 8.5, 其余在两者之间	宝鸡 701, 延安 572, 其余在两者之间	结核、结核层占优势, 结核个体大, 薄膜、斑点少量	包括区域上可对比的 第1-14层古土壤
隰县、陇西、 离石、靖边	隰县 8.5, 陇西 7.6, 其余在两者之间	隰县 475, 靖边 423, 其余在两者之间	结核、结核层为主, 含一定量的薄膜、斑点	同上
西宁、兰州、永登、 皋兰、靖远	兰州 8.9, 西宁 5.5, 其余在两者之间	西宁 371, 靖远 250, 其余在两者之间	薄膜、斑点、 假菌丝, 无结核	包括所有古土壤

由表 2 可知, 在年平均降水量 400mm 以下的西宁、兰州等地区, 土壤中 CaCO_3 以薄膜、斑点等非结核形式出现; 在年平均降水量 400mm 以上的西安、洛川等地区, 土壤中的 CaCO_3 多以结核、结核层的形式出现。结核大小和数量多少也受气候控制, 一般规律是从西北向东南, 结核由小变大, 由少到多。除古土壤淀积层含大量 CaCO_3 结核外, 在有些风化较强的黄土中也有结核出现。黄土中的结核比古土壤淀积层中的结核少而小。

表 2 中的温度和降水量是现代观测的资料, 实际上黄土中发育好的古土壤形成时的气候比现代同一地区略温湿 (唐克丽, 1981; 赵景波, 1984), 考虑到这一点, 可以得出具 CaCO_3 结核的古土壤发育时的年平均降水量大于 450mm, 不具 CaCO_3 结核的古土壤发育时的年平均降水量小于 450mm。

前已述及, 黄土和古土壤中次生 CaCO_3 成因基本相同, 所以表 2 中的 CaCO_3 存在形式对黄土层也是适用的。如果黄土层发育有 CaCO_3 结核, 它形成时的年平均降水量也大于 450mm。但对黄土层 CaCO_3 结核形成时间要作分析, 如果结核是上覆土壤的淀积产物, 仅能代表土壤发育时的气候, 只有黄土发育过程中形成的结核才能代表黄土形成时的气候。因为古土壤淀积层中的结核比黄土中的结核大得多, 所以发育时的降水量比后者多。

据 CaCO_3 结核形成条件可知, 西安、离石、庆阳及其类似气候区古土壤发育时的年平均降水量至少在 450mm 以上; 西宁、兰州、靖远及其类似气候区的古土壤发育时的年平均降水量在 450mm 以下, 这些地区黄土发育时的气候更干旱; 黄土高原东南部有些黄土层具 CaCO_3 结核, 它们发育时的年平均降水量也在 450mm 以上。

3 CaCO_3 淀积深度

尽管前人对黄土地层 CaCO_3 作了许多研究, 但从未研究过 CaCO_3 淀积深度。据笔者调查和现代土壤资料可知, CaCO_3 淀积深度主要受降水量控制。降水量多, 雨水渗入深度大, CaCO_3 淀积深度大, 反之, CaCO_3 淀积深度小。 CaCO_3 淀积深度较少受淋滤时间的影响, 假如降水丰富, 即使淋溶时间很短, 淀积深度也很大; 假如降水量少, 即使淋溶时间很长, 淀积深度仍很小, 这是由于一定的降水量产生的淋溶深度相同决定的。实际上 CaCO_3 淀积深度主要是受雨季降雨持续时间控制的, 但由于降水多的地区降雨持续时间长, 降水少的地区降雨持续时间短, 所以 CaCO_3 淀积深度随降水多少而变化。实验表明, 水的入渗也有一个时间过程, 但入渗到土壤 CaCO_3 淀积的 2—3m 深处仅需 1—2 天的时间 (图 2), 与土壤发育所需几百年以上的时间相比是完全可以忽略不计的。而且淀积层一旦形成, 就标志着成壤过程已进行了很久, 显然不用考虑淋溶时间对 CaCO_3 淀积深度的影响。因此, CaCO_3 淀积深度是在一定气候条件下处于稳定的标志。不论是动、植物还是沉积物, 只有在当时气候下处于稳定状态才能可靠反映当时气候 (Delocourt P.A., 1983), 所以 CaCO_3 淀积深度是一种较可靠的气候标志。据笔者调查和中国土壤资料, 不论现代土壤发育时间长短, 其 CaCO_3 淀积深度一般都随降水量的增加而增加 (图 3), 这也证明 CaCO_3 淀积深度很少受淋溶时间影响。

CaCO_3 淀积深度除受降水量控制外, 在一定程度上也受地形和土层结构影响。洼地雨水汇集, 淀积深度会比高地大一些。但不论是高地还是洼地, 只要地形相同, CaCO_3 淀积深度还是受降水量控制, 古土壤代表古地面, 能容易消除地形起伏对 CaCO_3 淀积深度的影

响。如有隔水层存在, CaCO_3 淀积深度也会变浅, 图 3 中的 CaCO_3 淀积深度是不同地区、不同母质上发育的土壤, 如果母质相同, CaCO_3 淀积深度更是严格受降水量制约。黄土是粒度和结构很均一的母质, 在其上发育的古土壤 CaCO_3 淀积深度更能反映当时气候条件。

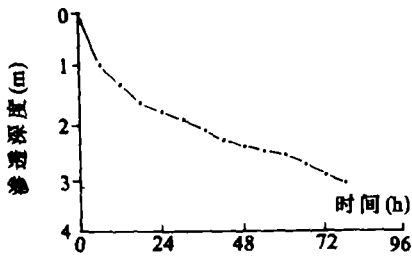


图 2 马兰黄土渗水试验曲线

Fig. 2 Experimental curve of water permeability depth vs. time, Malan loess

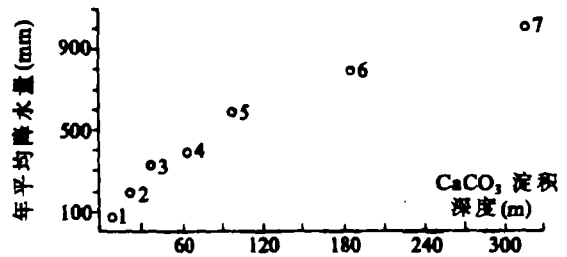


图 3 CaCO_3 淀积深度与降水量的关系

Fig. 3 Correlation between the illuvial depth of CaCO_3 and rainfall

1. 新疆灰棕漠土 2. 中国东部棕钙土 3. 栗钙土

4. 东北黑钙土 5. 山西沁原典型褐土 6. 江苏泗洪黄棕壤

7. 江苏六合黄棕壤 (参考中国土壤绘成)

黄土中 CaCO_3 不具成层性, 难以确定其淀积深度。古土壤 CaCO_3 淀积层层位稳定, 通过测量便可知其深度。表 3 中所列为有代表意义的几层古土壤 CaCO_3 淀积深度。为对比方便, 也把江苏黄棕壤 CaCO_3 淀积深度列在表中。宝鸡第 1 和 5 层古土壤 CaCO_3 淀积深度比西安略大一些, 与宝鸡现代降水量比西安多一致。江苏黄棕壤三个剖面 CaCO_3 淀积深度的明显差别也与由北而南降水量由 800mm 到 1200mm 的显著增加相符合 (李天杰等, 1979)。由表 3 可知, 不同古土壤 CaCO_3 淀积深度有明显差别, 第 1 第 5 层古土壤 CaCO_3 淀积深度显著大于第 11—15 层古土壤。前者在 5m 以上, 超过了泗洪、六合黄棕壤 CaCO_3 淀积深度, 后者小于 1m, 与现代典型褐土 CaCO_3 淀积深度基本相同。据 CaCO_3 淀积深度可知, 关中平原第 1 和 5 层古土壤发育时的年平均降水量在 800mm 以上, 第 11—15 层古土壤发育时的年平均降水量在 600mm 左右。

CaCO_3 淀积深度能为确定土壤发育是否成熟提供依据。中更新世古土壤厚度大、粘化强, 并有与此相匹配的、深度大的淀积层, 是公认的成熟古土壤。而早更新世古土壤厚度小 (表 3)、粘化弱, 被认为是发育不成熟的土壤, 也常被称为风化层。但这些薄层古土壤具有清楚的、淀积浅的 CaCO_3 结核淀积层, 表明它们发育时的降水量较小, 不具备形成厚度大、粘化强的土壤的条件。即使这些古土壤发育时经历更长的时间, 其厚度和粘化程度也不可能发生明显变化, 因此, 无需作其它方面的测试, 就可以有把握地确定早更新世薄层风化层是发育成熟的古土壤。

CaCO_3 淀积深度还能确定为确定土壤大类和风化壳提供重要依据。第 1 和 5 层古土壤不仅 CaCO_3 淀积深度大, 而且突出特点是这两层古土壤淀积层不是紧接在土壤层的底部, 而是位于土壤层底部之下一定深处的黄土中, 即在土壤层和 CaCO_3 结核层之间有一定厚度的风

化淋滤黄土相隔 (图 1B), 这是土壤发生层的不连续现象。这样的 CaCO_3 淀积层已根本不能作为土壤的组成部分, 否则会把土壤大类搞混, 原因是具 CaCO_3 淀积层的土壤为碱性土壤, 不具 CaCO_3 淀积层的土壤为酸性土壤。江苏现代黄棕壤底部之下一定深处母质中也有 CaCO_3 结核层存在 (表 3), 但却从未有人认为黄棕壤的淀积层是 CaCO_3 结核层, 因为这些人认为黄棕壤的淀积层与古土壤层之间是不连续的。据 CaCO_3 淀积深度可知, 关中平原南部第 1 和 5 层古土壤为淋溶性的酸性土壤, 这与过去在其它剖面研究确定的碱性褐色土不同 (朱显谟, 1965)。

表 3 不同土壤 CaCO_3 淀积深度Table 3 Illuvial depth of CaCO_3 for different soils

地 区	西 安							蓝 田		宝 鸡		江 苏		
	刘 家 坡							城 东		陵 塬		酒洪	六合	句容
土 壤 层	S ₁	S ₅	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅	S ₁	S ₅	S ₁	S ₅	Sh	Sh	Sh
CaCO_3 淀积深度 (m)	5.4	6.7	0.7	0.7	0.9	0.7	0.8	5.5	6.8	5.9	7.2	1.8	3.3	8.2

注: S₁ 代表第 1 层古土壤, 其余类推; Sh 代表现代亚热带黄棕壤。

生物作用主要限于地表之下 2m 深度范围内, 土壤厚度一般小于 2m。当土壤 CaCO_3 淀积深度明显大于 2m 时, 指示土壤已开始向风化壳转变。根据 CaCO_3 淀积深度, 笔者在关中平地区黄土中首次确定了五个时期的风化壳^①, 图 1B 中第 5 层古土壤和其下风化淋滤黄土构成的风化壳就是其中之一。

几点认识

应用 CaCO_3 含量研究古气候, 首先要区分不同类别的 CaCO_3 。在黄土地层中, 除后期淋溶残余 CaCO_3 外, 其它各种含量和不同形式的 CaCO_3 都能用于气候研究。

淀积 CaCO_3 含量与气候的关系较为复杂, 对气候的反映不如其它类准确可靠。不过随着淀积 CaCO_3 含量由少到多再到大量聚集, 反映气候由偏干变为更干再变为较湿润。

同期淋溶残余 CaCO_3 和原生碎屑 CaCO_3 含量越少, 反映气候越温湿。表聚 CaCO_3 指示荒漠气候, 它对气候的反映比含量具有更重要的意义。

黄土层中含少量原生碎屑 CaCO_3 和 5—30% 的次生淀积 CaCO_3 , 反映黄土沉积时气候冷干。在古土壤中不含或很少含原生碎屑 CaCO_3 , 粘化层中同期淋溶残余 CaCO_3 含量少, 淀积钙板和结核层中 CaCO_3 大量聚集, 均反映古土壤发育时气候温湿。

在黄土高原西部的干冷气候区, 黄土和古土壤中次生 CaCO_3 均以薄膜、斑点等非结核形式出现。东南部温湿区的古土壤次生 CaCO_3 主要以结核的形式出现。

CaCO_3 淀积深度基本不受淋溶时间影响, 能较可靠地指示古土壤发育时的气候。

^①赵景波, 1991 年, 黄土中风化壳的确定与研究, 第十三届国际第四纪大会交流论文。

本文经孙建中、李凤林、李照淑和阎嘉祺先生审阅，谨此一并致谢。

收稿日期：1990年2月21日

参 考 文 献

- (1) 王永森, 1982, 黄土与第四纪地质, 20-46页, 陕西人民出版社.
- (2) 卢演传, 1981, 地质科学, 2期, 122-131页.
- (3) 文启忠等, 1981, 地球化学, 4期, 381-387页.
- (4) 赵景波, 1984, 科学通报, 29卷7期, 417-419页.
- (5) 唐克丽, 1981, 科学通报, 26卷3期, 177-179页.
- (6) 中国科学院南京土壤研究所, 1980, 中国土壤, 521-535页, 科学出版社.
- (7) 刘东生等, 1985, 黄土与环境, 245-246页, 科学出版社.
- (8) 李天杰等, 1979, 土壤地理学, 176-182页, 人民教育出版社.
- (9) 朱显谟, 1965, 中国第四纪研究, 4期, 4-19页.
- (10) Delocourt P.A. and Delocourt H.R., 1983, Quaternary Research, No.19, p.265-271.

CaCO₃ and Sedimentary Environment of Loess Strata

Zhao Jingbo

(Xi'an College of Geology)

Abstract

CaCO₃ content, existing form and illuvial depth in loess strata are studied in this paper. In order to make clear the relation between CaCO₃ content and climate, the author firstly classify CaCO₃ into five types and their relation with climate are discussed as follows. (1) High fragmental CaCO₃ content indicates weak leaching and arid climate, low content indicates intense leaching and humid climate. (2) Illuvial CaCO₃ is secondary CaCO₃ that formed by leaching and illuviating, and the content of secondary CaCO₃ is higher than 5%. The illuvial CaCO₃ is not reliable for reconstructing the climate, but generally, low content represents humid climate and high content arid climate. However, dense accumulation of CaCO₃ may indicate humid climate. (3) Contemporaneous remnant CaCO₃ is the residual of leaching that occurred during the development of soil, the content of CaCO₃ is less than 5% and the less the content is, the more humid the climate. (4) Deutero-genic residual CaCO₃ (with the content less than 5%) is the remnant of leaching that took place during the development of the overlying soil, the abundance of CaCO₃ is low and can not reflect the climate of the soil strata growth. (5) Evaporated CaCO₃ was the precipitates that deposited at the top layer of soil during the intensive evaporate process, and its content represented the desert climate with a mean annual rainfall less than 100mm.

Loess and palaeosol containing thin film and stain but not concretions was developed under the climate with mean annual rainfall less than 450mm. (continued on page 54)