

文章编号: 1000-6524(2004)03-0257-04

云南元谋盆地干润变性土中次生方解石特征及形成

丁桑岚¹, 黄成敏¹, 王成善²

(1. 四川大学 环境科学与工程系, 四川 成都 610065; 2. 成都理工大学 沉积地质研究所, 四川 成都 610059)

摘要: 土壤新生体对于研究区域环境变化、营养元素释放以及次生成矿作用具有重要意义。利用化学分析、X射线衍射、偏光显微镜和扫描电子显微镜等探讨云南省元谋盆地干润变性土钙质结核中的次生方解石的特征和形成过程。结果表明, 钙质结核中次生方解石含量高, 晶形完整; 钙质结核以及次生方解石形成既取决于气候, 也与微地形有关。次生方解石的形成过程及特征反映了自全新世以来元谋盆地主要处于干热气候环境中。

关键词: 干润变性土; 钙质结核; 次生方解石; 形成过程; 干热气候; 元谋盆地

中图分类号: P578.6⁺ 1; S151

文献标识码: A

Characteristics and formation of secondary calcites in ustic vertisols of Yuanmou Basin, Yunnan Province

DING Sang_lan¹, HUANG Cheng_min¹ and WANG Cheng_shan²

(1. Department of Environmental Sciences & Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The neogenic soil body is of great significance in the study of regional environmental evolution, nutrition element release and secondary ore formation. Using such means as chemical analysis, X-ray diffraction pattern, polarizing microscopy and scanning electronic microscopy, this paper has discussed the features and formation processes of secondary calcites in calcium nodules within ustic vertisols in Yuanmou Basin, Yunnan Province. Secondary calcites dominate calcium nodules, and the crystallinity of calcites is high. Calcium nodules and secondary calcites are closely related to climate and micromorphology. The features and formation of calcites reveal that dry and hot climate has prevailed in Yuanmou Basin since Holocene.

Key words: ustic vertisols; calcium nodule; secondary calcites; formation process; dry and hot climate; Yuanmou Basin

变性土主要为形成于泥质沉积物的土壤, 富含粘粒($< 2 \mu\text{m}$)和蒙脱石等膨胀型粘土矿物, 土壤中常分布有大量的钙质结核(龚子同等, 1999)。钙质结核中的主要成分为方解石, 其既可能是来源于成土母质(如沉积物)中的原生方解石, 也可能是土壤新生体, 即为成土过程中发育的次生方解石。分辨原生方解石和次生方解石以及探讨次生方解石的特

征、形成过程与机理, 对于推断区域气候和环境演化、碳循环、土壤化学元素吸附与释放等具有重要意义(Pendell *et al.*, 1994; Amundson *et al.*, 1996; Srivastava, 2001; Srivastava *et al.*, 2002)。本文选取云南省元谋盆地干润变性土中形成的钙质结核, 研究干润变性土中次生方解石特征, 由此探讨次生方解石的形成过程与机理。

收稿日期: 2003-10-14; 修订日期: 2004-02-12

基金项目: 国家 973 项目子项目专题资助(G1998040800); 教育部振兴行动计划资助项目(008220_4127024)

作者简介: 丁桑岚(1964-), 副教授, 从事环境地学的教学与研究。

1 研究区自然环境

研究区位于滇中高原北部的元谋盆地。元谋盆地气候干热,年平均气温 21.9℃,年总积温 8 500℃以上,干湿季分明,年降雨量达 615 mm,80%~90%集中于 6~10 月的雨季,并常以暴雨、大雨形式为主。干润变性土在海拔 1 000~1 360 m 之间均有分布,在陡坡、缓地以及洼地等各种微地形部位均可发现,成土母质为早更新世元谋组中钙质胶结的杂色粘土层、亚粘土层坡积物和残积物。

元谋盆地在早更新世接受沉积,形成一套巨厚的河湖相元谋组地层。之后随云贵高原抬升,在中更新世亚热带气候下形成厚 1~2 m 的红色铁质风化壳。8 000~5 000 a BP,元谋盆地气候渐变为干热,同时伴随人为活动的加强,原生植被破坏,侵蚀加剧,红色风化壳被侵蚀,出露的元谋组沉积地层部分层段,如泥岩或页岩,在干热的气候条件下发育,形成干润变性土(黄成敏等,1999)。

由于变性土强烈的胀缩作用以及土壤养分缺乏和旱季水分匮乏,其上仅生长耐旱耐瘠的黄茅草(*Heteropogon contortus*)、独穗飘佛草(*Firnbristylis ovala*)、毛臂形草(*Brachiaria villisa*)、灰叶(*Tephrosia purpurea*)、圆叶野扁豆(*Dumasia cordifolia*)、余甘子(*Phyllanthus emblica*)等草灌丛群落。

2 材料与方法

2.1 样品采集

采集典型剖面的干润变性土样品。剖面微地形较平缓,排水较慢,地表有大量的直径 2~5 cm 钙质结核(样品号 B09)。由于变性土成土时间短,风化成土作用较弱,剖面发生层次分异不明显(见表 1)。从地表向下,土壤各层次样品号分别为 B06、B07、B08。

2.2 研究方法

样品颗粒组成采用吸管法分析, CaCO₃ 含量采用气量法测定,有机质利用重铬酸钾法测定(NSSC, 1996)。钙质结核年龄用¹⁴C 年代法测定。另选择钙质结核样品进行有机组分测试,测试前先以稀盐酸清洗样品以除去无机碳,由中国科学院南京地理与湖泊研究所采用 Wallac Quantulus1220 型低本底液体闪烁谱仪分析。钙质结核微形态特征在成都理工大学沉积地质研究所利用日本 Nikon 公司 E600 POL 偏光显微镜观察、拍摄。土壤及钙质结核矿物鉴定利用荷兰 Philips 公司生产的 X_Pert 型 X 射线衍射仪,电压为 50 kV,电流为 35 mA;次生方解石形貌和微区化学分析采用日本 JEOL 公司生产的 JSM_5900 型扫描电子显微镜(SEM)和美国 Noran 公司生产的 X 射线能谱仪完成,测试和微区探测时电压 20 kV。SEM 和 X 射线衍射分析均在四川大学分析测试中心完成。

3 结果与讨论

3.1 干润变性土及钙质结核的一般特征

变性土上因植被稀少,生物活动弱,所以土壤有机质含量低。CaCO₃ 具有表聚现象,表层土壤 CaCO₃ 含量明显高于下层土壤和母岩,钙质结核也分布于地表, CaCO₃ 含量不仅高于成土母岩,也高于表层土壤(表 1)。另外,变性土土壤的粘粒(<0.002 mm)含量高,主要继承母岩粘土性质。这类变性土脱硅富铝化作用较弱,一般为碱性,粘粒 SiO₂/Al₂O₃ 值在 2.58~3.98 之间(黄成敏等,1999)。

钙质结核(B09)有机碳年龄为 9 350±95 a BP,形成的年代不长,与其他地区的变性土中钙质结核年代相当(龚子同等,1999)。

3.2 矿物特征

已有研究表明,变性土土壤及其下伏母岩中主要粘土矿物为蒙脱石,有一定数量的伊利石和少量

表 1 样品的基本特征

Table 1 Basic characteristics of samples

样品号	采样深度/cm	发生层次	w(有机质)/g·kg ⁻¹	pH	w(CaCO ₃)/g·kg ⁻¹	颗粒组成/g·kg ⁻¹		
						2~0.05mm	0.05~0.002mm	<0.002mm
B06	0~5	(A) Bk	5.46	8.69	126.36	35	173	792
B07	5~20	(B) C	4.19	8.74	15.45	20	152	828
B08	20~90	灰色泥岩	3.73	8.40	21.19	44	135	821
B09	地表	钙质结核	4.56	9.00	233.20			

的高岭石、绿泥石、石英等(龚子同等, 1999)。

钙质结核的 X 射线衍射分析表明, 结核中主要为方解石, 有一定量的石英存在(图 1)。成土母岩样品主要矿物为石英, 未发现有方解石晶体(图 2), 说明钙质结核中方解石为土壤发育过程中形成, 属次生方解石。

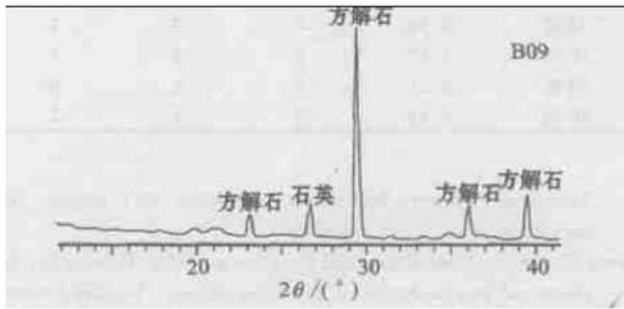


图 1 钙质结核样品的 X 射线衍射图谱
Fig. 1 XRD diagram of calcium nodules

3.3 微形态特征

经偏光显微镜下观察, 发现钙质结核中的次生方解石主要分布在孔隙中, 呈现菱形等自形或半自形, 边界清晰、完整, 表明方解石结晶程度高(图 3)。

SEM 形貌分析表明, 钙质结核中方解石晶形完整(图 4)。X 射线能谱(XED)微区分析结果表明, 晶

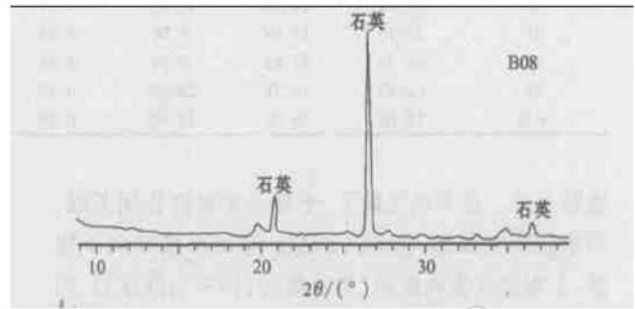


图 2 泥岩样品的 X 射线衍射图谱
Fig. 2 XRD diagram of mudstone

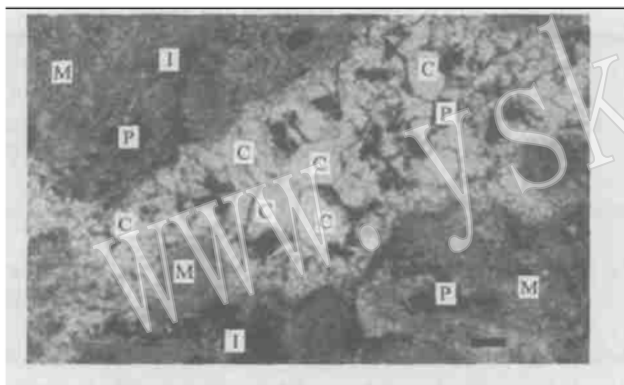


图 3 钙质结核中堆积于孔隙中晶形完好的次生方解石(单偏光, 5×5)

Fig. 3 Crystallized secondary calcites in pores of calcium nodules (single polarized, 5×5)

P—孔隙; C—方解石; M—基质; I—铁氧化物
P—pore; C—calcite; M—matrix; I—iron oxides

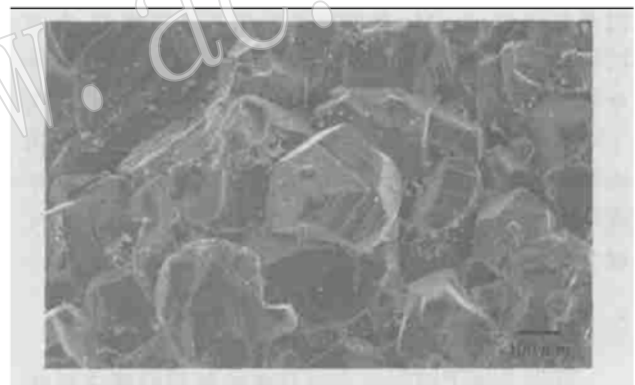


图 4 SEM 下钙质结核中次生方解石晶体
Fig. 4 Secondary calcite crystal in calcium nodules under SEM

体主要化学成分为 O、Ca、C, 含量分别为 52%、34%、12% (7 个探测点平均值), 3 元素一般占 98% 以上(质量分数)(表 2)。各探测点 O、Ca、C 平均原子比接近 3 元素在 CaCO₃ 分子中的原子比例 3: 1: 1, 说明方解石晶体中杂质很少(吴宏海等, 1999)。

4 形成过程

在干旱、半干旱地区, 成土过程中形成的次生方解石十分普遍(Pendell *et al.*, 1994; Amundson *et al.*, 1996; Srivastay *et al.*, 2002), 其主要化学反应

式为: $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 。受降水、地下水、植被以及温度、CO₂ 分压、微地貌变化等因素影响, 钙以 Ca²⁺ 或 CaCO₃ 形式溶解、移动或沉淀。钙质结核(次生方解石为主)一般集中分布在土壤中的 30~ 40 cm 以下。

研究区内钙质结核分布及形成与上述过程并不完全一致, 也不同于其他地区可能受风尘沉积母质/地下水影响, 具有多源发生特性(Connin *et al.*, 1997)。研究区的钙质结核中方解石 Ca 来源于母岩硅酸盐矿物分解以及原生碳酸盐再溶解和大气降水。化学分析结果显示, 成土母岩中存在少量分散的碳酸盐(表 1), 表明 CaCO₃ 未结晶或结晶程度不高。钙质结核和 CaCO₃ 的表聚现象与当地气候和微

表 2 方解石的微区 XED 化学成分分析

Table 2 XED chemical analyses of micro_zones in secondary calcites

探测点	$x_{wt} / \%$						原子数		
	O	Ca	C	Si	Mg	Al	O	Ca	C
H3_a	44.07	46.73	8.46	0.30	0.14	0.31	3	1	1
H3_b	57.33	27.11	15.16	0.07	0.20	0.13	4	1	1
H3_c	50.49	38.52	10.28	0.23	0.30	0.17	3	1	1
A	59.22	24.73	15.63	0.21	痕量	0.17	4	1	1
B	33.16	55.94	4.56	0.23	痕量	0.14	4	3	1
C	55.34	27.61	9.39	3.09	0.35	2.22	3	1	1
D	62.83	16.10	20.67	0.15	痕量	0.21	8	1	4
平均	52.08	34.10	12.08	0.56	0.24	0.44	3	1	1

地形有关。在干热气候下,土壤元素淋溶作用不强,而水分蒸发强烈,所以 Ca、Mg 等元素难以向下淋滤,土壤盐基饱和度高(黄成敏等,1999);降水后,由于变性土的粘土矿物主要为蒙脱石且粘粒含量高,表层土壤迅速吸水膨胀,水分下渗速度相对较慢,在地表平坦或低洼处,径流速度慢(黄成敏等,1997)。因蒸发强烈,Ca、Mg 等交换性阳离子残留地表,在表层聚集,故表层土壤 CaCO_3 含量远高于下层土壤和母质。在表土凹处更易积累 CaCO_3 ,形成方解石。在干湿季节交替环境下,方解石晶体逐渐增大,组成钙质结核。结合钙质结核年龄及其形成所需的干热环境条件,证实这一地区自全新世以来,基本以干热气候为主(Jarvis, 1993; 李旭等, 1988)。

5 结 论

元谋盆地干润变性土中存在的钙质结核主要矿物为方解石,方解石结晶程度高,杂质少。这类方解石并非继承于成土母岩或母质,而是在当地特殊的干热气候以及微地形条件下,在土壤形成过程中发育的。强烈的蒸发作用,加之干湿季节交替的环境,导致次生方解石晶体增大,结晶程度不断提高。由次生方解石的特征与形成年代,结合其形成过程和形成条件,可佐证元谋盆地自全新世以来主要受控于干热气候。

References

- Amundson R G, Chadwick O A, Kendall C, *et al.* 1996. Isotopic evidence for shifts in atmospheric circulation patterns during the late Quaternary in mid-North America[J]. *Geology*, 24: 23~ 26.
- Connin S L, Virginia R A and Chamberlain C P. 1997. Isotopic study of environmental change from disseminated carbonate in polygenetic soils [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 1710~ 1722.
- Gong Zitong, Chen Zhicheng, Lei Wenjin, *et al.* 1999. Chinese Soil Taxonomy—Theory, Methodology, Practice [M]. Beijing: Science Press, 261~ 323 (in Chinese).
- Huang Chengmin, Gong Zitong and He Yurong. 1999. Relationship between soil and landscape in Yuanmou district, Yunnan Province [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 30(6): 241~ 244 (in Chinese with English abstract).
- Huang Chengmin and He Yurong. 1997. Variation of soil water in Yuanmou dry and hot valley, Yunnan Province [J]. *Mountain Research*, 15(4): 234~ 238 (in Chinese with English abstract).
- Jarvis D I. 1993. Pollen evidence of changing Holocene Monsoon climate in Sichuan Province, China[J]. *Quaternary Research*, 39: 325~ 337.
- Li Xu and Liu Jinling. 1988. Holocene vegetational and environmental changes at Mt. Luoji, Sichuan[J]. *Acta Geographica Sinica*, 43 (1): 44~ 51 (in Chinese).
- NSSC (Nation Soil Survey Center). 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual [M]. Washington: USDA, 241.
- Pendell E G, Harden J W, Trumbore S E, *et al.* 1994. Isotopic approach to soil carbonate dynamics and implications for paleoclimatic interpretations[J]. *Quaternary Research*, 42: 60~ 71.
- Srivastava P. 2001. Paleoclimatic implications of pedogenic carbonates in Holocene soils of the Gangestic Plains, India[J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 172: 207~ 222.
- Srivastava P, Bhattacharyya T and Pal D K. 2002. Significance of the formation of calcium carbonate minerals in the pedogenesis and management of cracking clay soils (Vertisols) of India[J]. *Clay and Clay Minerals*, 50: 111~ 126.
- Wu Honghai, Wu Daqing and Peng Jinlian. 1999. Experimental study on the surface reactions of heavy metal ions with calcite[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 18(4): 301~ 308 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献
- 龚子同, 陈志诚, 雷文进, 等. 1999. 中国土壤系统分类——理论·方法·实践[M]. 北京: 科学出版社, 261~ 323.
- 黄成敏, 龚子同, 何毓蓉. 1999. 土壤与景观关系探讨——以云南省元谋样区为例 [J]. *土壤通报*, 30(6): 241~ 244.
- 黄成敏, 何毓蓉. 1997. 云南省元谋干热河谷土壤水分的动态变化 [J]. *山地研究*, 15(4): 234~ 238.
- 李旭, 刘金陵. 1988. 四川西昌螺髻山全新世植被与环境变化[J]. *地理学报*, 43(1): 45~ 51.
- 吴宏海, 吴大清, 彭金莲. 1999. 重金属离子与方解石表面反应的实验研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 18(4): 301~ 308.