第 40 卷 第 5 期
2003 年 9 月

土 壤 学 报
ACTA PEDOLOGICA SINICA

Vol 40, No 5
Sep., 2003

黄土高原 450 ka BP 前后荒漠草原大迁移的初步研究*

赵景波[1,2]

(1 陕西师范大学地理系, 西安 710062)

(2 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075)

摘 要 根据野外调查和室内鉴定、分析, 讨论了黄土高原 450 ka BP 前后的荒漠草原大迁移问题。资料表明, 在地处黄土高原南缘的陕西长安少陵塬和西安白鹿塬, 第 5 层黄土形成初期有代表荒漠草原环境的石膏发育, 指示当时黄土高原气候发生了显著的干旱化与大幅度的荒漠草原南迁, 气候带向南迁移了约 5 个纬度, 荒漠草原和更为荒凉的环境广布于黄土高原。石膏的发育还揭示, 在 450 ka BP 前后黄土高原气候发生了性质的转变, 由季风气候转变为非季风气候, 当时该区已基本不受夏季风的影响, 并处在非季风气候的环境下。

关键词 黄土高原, 石膏, 极端干旱气候, 荒漠草原大迁移, 非季风气候

中图分类号 P467, 524 61

人们对中国黄土进行了广泛研究, 认识到了它对恢复第四纪环境和进行海陆对比的重要科学意义[1~4]。通过长期研究得出, 黄土形成于相对冷干的气候条件下, 其中的红褐色古土壤发育在相对温湿的气候条件下[5,6]。并认为, 黄土层形成于冬季风占优势的气候环境中, 红褐色古土壤形成于夏季风占优势的气候环境中[7,8]。郭正堂[9]研究认为, 第 5 层古土壤发育时出现过盐碱化。黄土层发育时的降水量随地区的不同有较大的变化。在黄土高原西北部的甘肃兰州、靖远等降水少的干旱区, 现代年降水量仅有 200~ 300 mm, 在黄土发育的冷干期, 出现荒漠草原甚至更荒凉的景观是完全可能的。然而在黄土高原的中部和东南部, 现代年均降水量为 550~ 600 mm, 如果说在黄土层发育时有荒漠草原环境出现还缺乏令人信服的证据。有的资料表明, 黄土高原东南部有些黄土层发育时的植被为森林草原或更茂盛的植被[10,11]。近年来沙尘暴的活动也表明黄土高原东南部的黄土可能发育在森林草原或更茂盛的植被条件下。因此, 要证实黄土高原中部和东南部黄土层发育时有荒漠草原发育还需提供有说服力的证据。本文根据野外调查和室内鉴定资料, 探讨黄土高原东南部 450 ka BP 前后荒漠草原大幅度的向南迁移等问题。

1 西安地区石膏淀积层的野外观察

通过对西安附近黄土的调查, 我们在长安县少陵塬双竹村和杨湾村剖面, 西安市白鹿塬仁家坡剖面和蓝田横岭塬鹿家湾等剖面第 5 层黄土之下的第 5 层红褐色古土壤的上部发现了石膏的淀积(表 1)。石膏淀积层占据厚度为 0 5 m 左右, 从第 5 层红褐色古土壤顶部 0 2 m 深处就有石膏出现, 向下集中分布在 0 7 m 左右深度。在石膏最富集层位, 常呈块状出现。石膏分布于裂隙内, 以结晶粒状集合体或呈晶簇状的形式出现, 晶粒大小多为 5~ 10 mm(图 1a, 见图版)。有的晶体发育好, 个别呈雁尾双晶形态。$CaSO_4$ $2H_2O$ 在向下淋溶迁移的过程中易与红色古土壤粘土物质混在一起, 石膏晶体内含有微量红色粘土, 所以微显红色, 半透明。所发现的石膏具清楚的玻璃光泽, 看起来与石英类似, 但硬度很小, 指甲易刻出划痕, 显然不是石英的晶体颗粒。从晶粒不具菱石体来看, 它也不应当是方解石。由于黄土中碎屑颗粒均小于 0 2 mm, 显然石膏晶体是在成壤过程中形成的。从石膏淀积层在多个剖面均有出现来

* 国家自然科学基金项目(40071006)、国际地质对比计划项目(IGCP 448)、教育部重大项目(2000ZDXM 770013)和陕西师范大学重点项目资助

收稿日期: 2002- 05- 28; 收到修改稿日期: 2002- 12- 09

看,该石膏淀积层的发育具有普遍性。

表 1 长安双竹村第 5 层古土壤中的石膏样分布

Table 1 Distrbution of gypsum in 5th paleosol layer at Shuangzhu village in Chang an county

岩性柱 Lithological column	层位代号 Horizon signal	厚度 Thickness(m)	岩性特征 Lithological characteristi
	S_4	1 5	红褐色古土壤,棱柱状结构,铁质胶膜发育,粘化较强烈
	L_5	3 2	灰黄色黄土,团粒状及团块状结构,含$CaCO_3$薄膜及斑点,较疏松,大孔隙发育
	S_5	4 4	红褐色古土壤,粘化强烈,棱柱状结构,红色铁质胶膜发育好,由 3 个分层构成,上部分层含石膏

据现代发育石膏淀积层的荒漠草原土壤和荒漠土壤中 $CaSO_4$ $2H_2O$ 的迁移深度[12, 13]可知,这样的石膏淀积层不是第 5 层红色古土壤发育时形成的,而是在上覆第 5 层黄土发育时形成的。如果分布在第 5 层红色古土壤顶界之下 0 2 m 深处的石膏淀积层是该层古土壤发育时形成的,则在这种情况下石膏淀积层迁移下界不是 0 7 m,而是 0 4 m[12, 13]。由于迁移到 0 2 m 深处就发生淀积的 $CaSO_4$ $2H_2O$ 形成于降水非常少的典型荒漠条件下,所以其迁移的下界深度不可能达到 0 7 m。

2 样品的室内分析与鉴定

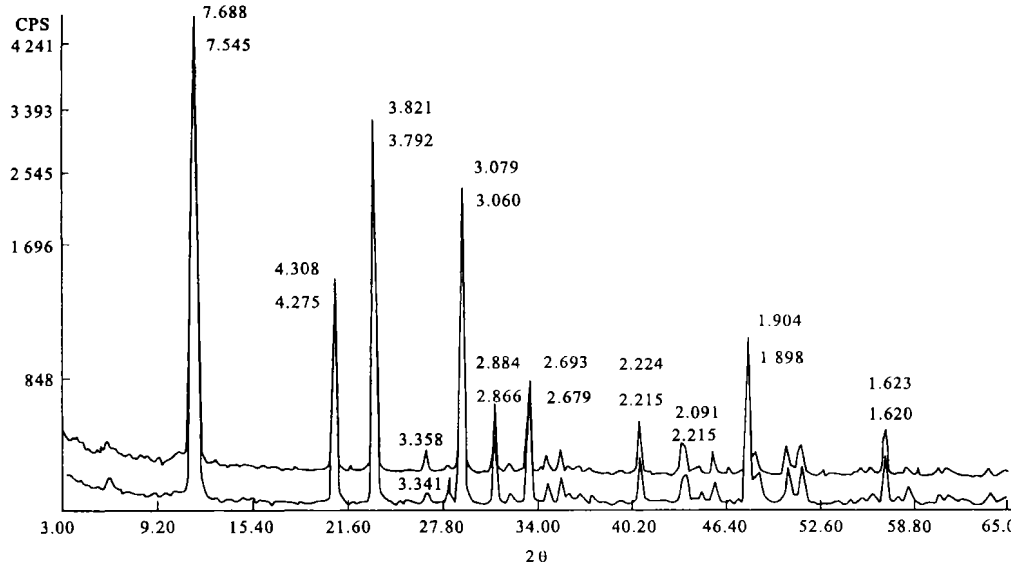
为进一步证实石膏的存在,我们对所采集的样品进行了光学显微镜和电子显微镜下的鉴定,并进行了 X-射线衍射分析和化学分析。8 张薄片的光学显微镜鉴定得知,野外认定的石膏晶体在单偏光镜下无色,在正交偏光镜下呈灰白色(图 1b, 1c,见图版),形态呈纤维状、板状,解理发育,低负突起。这些特征显示该矿物应为石膏。通过 6 块样品的扫描电子显微镜观察可知,在野外认定的石膏晶体在低倍镜下多呈纤维状集合体(图 1d,见图版),在高倍镜下有的呈厚板状(图 1e,见图版),有的呈薄板状(图 1f,见图版),这些晶体形态都是石膏的典型特征。X-射线衍射表明,所鉴定的 3 块样品显示的图谱基本相同(图 2),具有石膏图谱曲线的特征。从图谱曲线分析,3 块样品中石膏含量占 90%~ 93%,另外有 7%~ 10%的石英等矿物。

5 块样品的化学分析可知,野外采集的石膏样品中 $CaSO_4$ 含量在 70 4%~ 64 6%之间。因石膏含 20 93%的结晶水,所以 $CaSO_4$ 含量较低。

上述 4 项室内鉴定资料均显示,分布在第 5 层古土壤上部的半透明矿物为石膏。

3 石膏淀积层所指示的土壤的性质

石膏淀积层是几种特定土壤所具有的特点,它能够很好地指示土壤的性质。要用石膏淀积层判别土壤的性质,首先要区分现代不同土壤石膏淀积层的特征。西安附近第 5 层黄土厚 5 0 m 左右,据其石膏淀积层的分布、存在形态等特点可确定其代表的土壤性质。我国西北现代发育石膏淀积层的土壤有荒漠草原区的灰钙土、棕钙土和荒漠区的灰漠土、灰棕漠土、棕漠土。灰钙土石膏淀积层的特点是石膏呈 1 mm 左右的结核状,不具晶簇和粗晶粒形态,石膏含量一般低于 3%[12, 13]。棕钙土石膏淀积层的特点是部分石膏呈小结核状,部分呈块状、粗晶粒,含量低于 10%, $CaSO_4$ $2H_2O$ 迁移深度一般在 1 0~ 1 4 m 之间。灰漠土石膏淀积层的特点是常呈块状、粗晶粒和晶簇状,石膏含量低于 15%[12, 13], $CaSO_4$ $2H_2O$ 迁移深度主要在 0 5~ 1 0 m 之间。灰棕漠土石膏淀积层的特点与灰漠土类似,但石膏含量增加到 20%~ 30%, $CaSO_4$ $2H_2O$ 迁移深度减小到 0 1~ 0 4 m。棕漠土石膏淀积层的特点是常呈块状或盘状,晶



a　西安仁家坡样品; b　长安双竹村样品

图 2　石膏样品的 X-射线衍射曲线

Fig 2　Diffraction curves of gypsum samples by X-ray

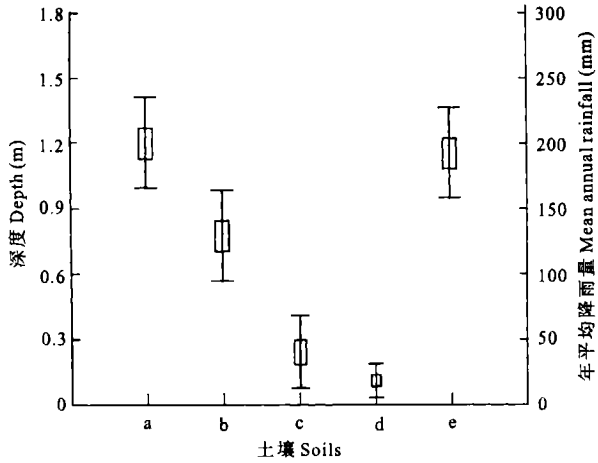
粒粗大或呈晶簇状, 石膏的含量大于 30%[12, 13], $CaSO_4$ $2H_2O$ 迁移深度小于 0 1 m。石膏淀积层中石膏含量多少、呈现形态和迁移深度差异是降水量不同造成的。降水量偏多, $CaSO_4$ $2H_2O$ 迁移深度较大, 石膏富集量少, 含量低, 多呈小结核状。降水量少, $CaSO_4$ $2H_2O$ 迁移深度较小, 石膏富集量大, 含量高, 易结晶成块状、粗晶粒和晶簇状。通过 4 次采取 20 kg 土样筛选分离石膏得知, 西安附近石膏淀积层中石膏占土体体积的 7% ~ 12%, 呈粗大晶粒和晶簇状, 表明该石膏淀积层与灰钙土的石膏淀积层不同, 而与棕钙土和灰漠土的石膏淀积层相近。西安附近第 5 层黄土的石膏淀积层分布于该层黄土底界之下 0 2~ 0 7 m 深处, 表明其迁移的最大深度大于 0 7 m。在棕钙土和发育更弱的灰漠土、灰棕漠土和棕漠土中, 只有棕钙土和灰漠土的 $CaSO_4$ $2H_2O$ 迁移深度大于 0 7 m。由此我们至少能够确定第 5 层黄土的石膏淀积层迁移深度大于灰漠土, 等于或小于棕钙土(图 3)。如将第 5 层黄土的石膏淀积层与棕钙土相比, 该淀积层来自第 5 层黄土底界之上 0 8 m 的位置。如与灰漠土相比, 第 5 层黄土的石膏淀积层来自该层黄土底界之上 0 3 m 的位置。为获得可靠认识, 我们选择棕钙土的 $CaSO_4$ $2H_2O$ 迁移深度作为第 5 层黄土 $CaSO_4$ $2H_2O$ 迁移深度对比的标准, 其值为 1 0~ 1 5 m。这表明西安附近第 5 层黄土的 $CaSO_4$ $2H_2O$ 淀积层来自该层黄土底界之上 0 8 m 的位置, 最大迁移深度为 1 5 m, 最小迁移深度为 1 0 m。灰钙土的 $CaSO_4$ $2H_2O$ 迁移深度与棕钙土基本相同, 所以 1 5 m 的 $CaSO_4$ $2H_2O$ 迁移深度几乎是含石膏的土壤中 $CaSO_4$ 的最大迁移深度。因为这一迁移深度是根据淀积层特点类比确定的, 所以不必考虑黄土发育时风尘堆积的影响。这里确定的迁移深度是保守的, 但结果是可靠的。

第 5 层黄土开始发育的年代为 460 ka BP 前后[1]。研究表明, 黄土高原每万年发育的黄土厚度多为 0 5 m 左右[1, 14]。由此初步确定第 5 层黄土的石膏形成于 450 ka BP 前后。

4　第 5 层黄土发育时的气候环境分析

恢复气候的指标很多, 但能够较严格指示气候的指标却较少。如孢粉有受破坏和搬运混合的缺陷, 植被发育气候也有一定变化幅度, 动物有迁移性, 化学成分与粒度成分等常只能定性反映气候的相对变化。然而, 石膏的形成和保存要求较为严格的气候条件, 它发育在干旱和极端干旱气候区[12, 13], 具有较严格和接近定量指示气候的作用。知道了西安附近第 5 层黄土的石膏淀积层指示的土壤类别(图 3) ,

就能更准确地恢复当时的环境。灰钙土和棕钙土是荒漠草原土壤,发育区年均降水量分别在 200~300 mm和 150~ 280 mm 之间[12, 13]。灰漠土是荒漠土壤,发育区年均降水量在 100~ 200 mm 之间[12, 13]。灰棕漠土和棕漠土是发育最弱的荒漠土壤,发育区年均降水量不足 100 mm(图 3)。由于第 5 层黄土的石膏淀积层指示当时土壤的性质与棕钙土相近或略弱,所以该层石膏淀积层代表的土壤相当于棕钙土或略弱,发育时的年均降水量约为 150~ 250 mm(图 3)。



a 棕钙土;b 灰漠土;c 灰棕漠土;d 棕漠土;e 第 5 层黄土

图 3 不同土壤石膏淀积层的分布和发育的年均降水量(据文献[14]及作者资料绘制)

Fig. 3 Distributive depth of illuvial gypsum horizon in different soils and mean annual rainfall

在我国现代黄土高原地区无棕钙土发育,而在 39 N 以北的内蒙高原和鄂尔多斯高原中西部有棕钙土发育[13]。因为冰期气候是从北向南迁移的,所以石膏淀积层在位于黄土高原南缘的西安(34 15 N)地区的发育指示当时气候带向南迁移了约 5 个纬度。棕钙土发育区降水很少,原因是这种地区很少受夏季风影响。39 N 也是现代东亚夏季风达到的最西北界[15],再向西北为非季风气候区[15]。因此,在西安附近石膏淀积层发育时期,黄土高原已基本不受夏季风影响,处在非季风气候的条件下。退一步说,即使当时发育的土壤具灰钙土性质,那时也基本上是非季风气候了。在距今 500 ka BP 前后,是亚热带气候向黄土高原大幅度北迁的时期[16],也是黄土高原 2 50 Ma BP 以来最温湿的时期[16]。而在 500 ka BP 之后的第 5 层黄土发育初期又是荒漠草原大幅度南迁的时期,表明这一时期气候振动幅度很大。这种大幅度气候振荡原因是值得查明的。

到目前为止,尚未在黄土高原中、南部的其它黄土层中发现石膏的存在,它的发育应当是极端干旱气候事件的显示,也代表了季风气候向非季风气候的转变。

5 结 论

综上所述,可得出如下认识:

1 在 450 ka BP 前后的第 5 层黄土发育初期,黄土高原出现了极端干旱的气候,气候带发生了大幅度的迁移,向南迁移了约 5 个纬度。

2 在 450 ka BP 前后,典型荒漠草原迁移到了黄土高原的东南边缘,当时黄土高原中部与西北部的环境更为荒凉。

3 在 450 ka BP 前后,黄土高原气候发生了性质的转变,从季风气候转变为非季风气候。当时该区已基本不受夏季风的影响,并已成为冷干的非季风气候区。那时黄土高原东南部年均降水量为 200 mm 左右。

4 石膏聚集明显的淀积层的发育指示,在 450 ka BP 前后,西安一带发育的土壤相当于棕钙土或发育更弱的土壤。

参考文献

1 刘东生. 第四纪环境. 北京: 科学出版社, 1985. 340~ 345

2 朱显漠, 祝一志. 论中国黄土高原土壤与环境. 土壤学报, 1992, 29(4): 351~ 357

3 An Z S, Kukla G J, Porter S C, *et al*. Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of central China during the last 130 000 years. Quaternary Research, 1991, 3: 29~ 36

4 Kukla G J, Heller F, Liu X M, *et al*. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility. Geology, 1988, 16: 811~ 814

5 赵景波. 黄土形成与演变模式. 土壤学报, 2002, 39(4): 459~ 466

6 Zhao J B. A study on illuvial depth of $CaCO_3$ of paleosol in loess in Guanzhong Plain. Chinese Science Bulletin, 1992, 37(5): 403~ 407

7 陈骏, 安芷生, 汪永进. 最近 800 ka 洛川黄土剖面中 Rb/Sr 分布和古季风变迁. 中国科学(D 辑), 1998, 28(6): 498~ 504

8 林本海, 刘荣谟. 最近800 ka 黄土高原变迁的稳定同位素证据. 科学通报, 1992, 37(18): 1 691~ 1 693

9 郭正堂, Fedoroff N. 西安和西峰黄土中盐碱化古土壤气候意义的初步探讨. 第四纪研究, 1992, 12(2): 107~ 117

10 赵景波. 黄土地层中的 $CaCO_3$ 与环境. 沉积学报, 1993, 11(1): 136~ 142

11 赵景波, 黄春长. 陕西黄土高原晚更新世环境变化. 地理科学, 1999, 19(6): 565~ 569

12 熊毅, 李庆逵. 中国土壤. 北京: 科学出版社, 1987. 137~ 162

13 李天杰, 王云, 郑应顺. 土壤地理学. 北京: 高等教育出版社, 1983. 169~ 187

14 赵景波. 西北黄土区第四纪土壤与环境. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994. 70~ 79

15 王文辉. 内蒙古气候. 北京: 气象出版社, 1990. 50~ 60

16 赵景波. 陕西黄土高原 500 ka BP 的古土壤与气候带迁移. 地理学报, 2001, 56(3): 323~ 331

A PRELIMINARY STUDY ON LARGE-SCOPE MIGRATION OF DESERT-STEPPE ABOUT 450 ka BP IN LOESS PLATEAU

Zhao Jing-bo[1,2]

(1 Department of Geography, Shaanxi Normal University, Xi an 710062, China)

(2 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi an 710075, China)

Summary

On the basis of field investigation and laboratory identification and analysis, the large-scope migration of desert-steppe in Loess Plateau about 450 ka BP was discussed. The data show that gypsum, represent desert-steppe environment developed in the early stage of the fifth loess s formation in Shaoling tableland of Chang an and Bailu tableland of Xi an on the southern edge of Loess Plateau, which shows that remarkable drying of climate and large-scope climatic migration toward south occurred in the area at that time, and climate zone migrated about five degrees in latitude, and desert-steppe and more wild environment distributed widely in Loess Plateau. The development of gypsum also shows that climate changed from monsoonal climate to non-monsoon climate in Loess Plateau, which was a change in character, and this area had been not effected by summer monsoon, and in the early stage of the fifth loess s formation, was in non-monsoon climate environment at that time.

Key words　Loess Plateau, Gypsum, Extreme arid climate, Large-scope migration of desert-steppe, Non-monsoon climate

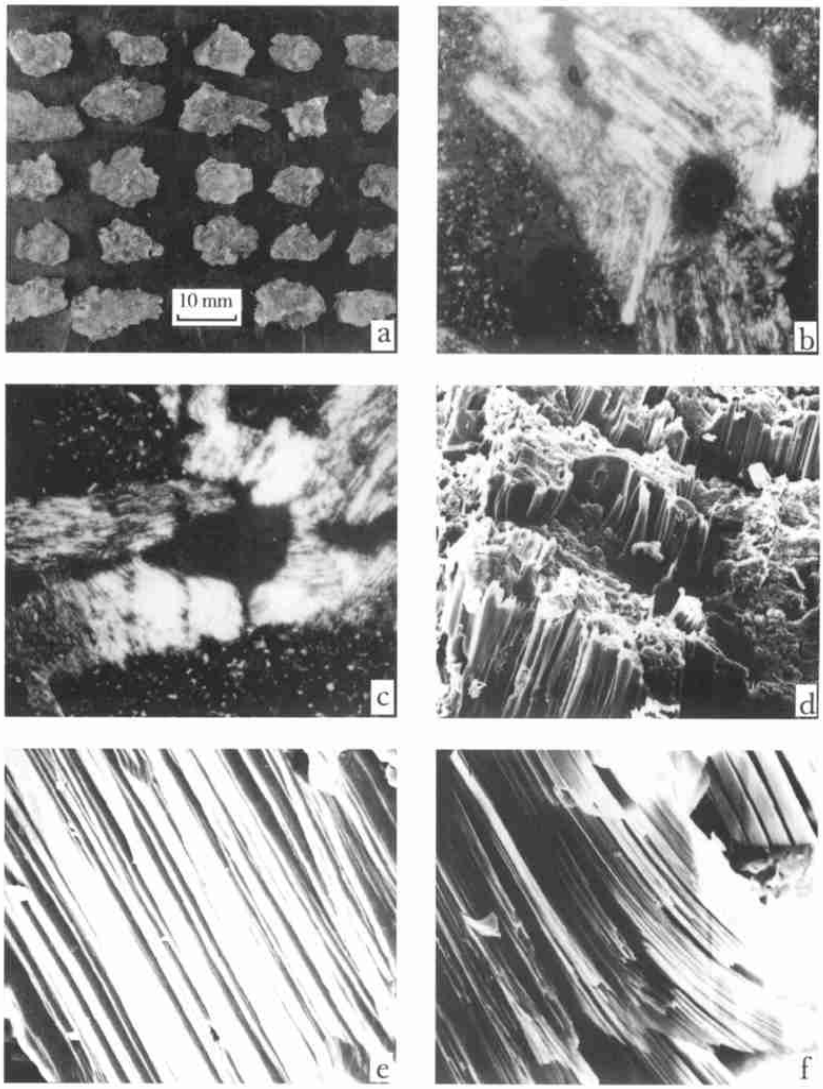


图 1 长安县双竹村第 5 层古土壤上部的宏观与微观石膏晶体

Fig.1 Macro and micro gypsum crystals in the upper of 5th paleosol in Shuangzhu village, Chang'an county

a. 宏观片状、板状石膏集合体；b.正交偏光显微镜下的纤维状石膏晶体(×50)；c. 正交偏光镜下的纤维状石膏集合体(×50)；d. 扫描电子显微镜下的纤维状石膏晶体(×300)；e. 扫描电子显微镜下的厚板状石膏晶体(×1 000)；f. 扫描电子显微镜下的薄板状石膏晶体(×5 000)