

伊犁盆地黄土分布与组成特征

宋友桂¹, 史正涛²

(1. 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, 陕西 西安 710075;

2. 云南师范大学地理科学与旅游学院, 云南 昆明 650092)

摘要: 在研究伊犁盆地黄土分布特征的基础上, 分析了伊犁黄土的粒度、矿物和地球化学组成特征。粒度分析表明伊犁黄土以粉砂为主, 含有一定的细砂, 粒径比黄土高原粗, 分选性比黄土高原黄土差。在矿物组成上以石英、长石和碳酸盐类矿物为主, 含一定量的绿泥石和云母。地球化学元素分析表明伊犁黄土以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 为主, 比黄土高原黄土富 Na_2O 和 CaO , 反映伊犁盆地黄土形成于较干冷、化学风化弱的环境。

关键词: 伊犁黄土; 分布; 粒度; 矿物; 地球化学; 组成

中图分类号: P931.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2010)02-0267-06

黄土、冰芯和海洋沉积作为全球环境变化研究的三大支柱, 一直倍受地学界的关注。近些年前人通过对黄土高原黄土多学科多方法的交叉研究, 取得了丰硕的成绩^[1-4], 极大地推动了古环境与全球变化研究。中亚地区也是世界主要黄土分布区之一, 中亚中南部塔吉克斯坦等地区的黄土沉积最近引起了国际学者的重视, 他们认为该地黄土在不少方面可与中国黄土相媲美^[5-7], 然而对中亚东北部的天山地区黄土研究涉及较少^[8-12], 初步研究发现, 天山黄土的形成演化与中亚沙漠的演化^[12-13]和亚洲内陆干旱化^[8-14]密切相连。本文根据最新资料和数据, 对天山伊犁盆地黄土的分布特征和物质组成进行了分析研究。

1 伊犁盆地自然地理概述

伊犁盆地地处 $78^{\circ}10' \sim 84^{\circ}50'E$, $42^{\circ}30' \sim 44^{\circ}35'N$ 之间, 经图上测算总面积约 $6.94 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其东部属中国新疆伊犁地区, 西部属哈萨克斯坦共和国。发源于汗腾格里主峰北坡的伊犁河(上游称特克斯河)经伊犁盆地, 流入卡普恰盖水库, 最终流入巴尔喀什湖, 其流域面积 $15.12 \times 10^4 \text{ km}^2$ (中国境内为 $5.6 \times 10^4 \text{ km}^2$)。伊犁盆地在构造上系天山造山带中所夹持的一个山间断陷盆地, 地貌轮廓为向西开敞的喇叭形, 总体地势东高西低, 呈三山夹两盆地的地貌格局。在盆地西部的康查盖

峡谷附近和扎尔肯特以南有零星沙漠分布。特殊的地貌特征为接受风尘堆积提供了有利条件。

伊犁盆地地处欧亚大陆腹地, 属大陆性中温带干旱气候。该区气候冬季为蒙古高压所控制, 主要受北支西风气流影响; 夏季受印度热低压影响, 南支西风北进控制本区, 高空一年四季盛行西风^[10], 盆地地面常年盛行山谷风, 以东风频率为最高, 而大风却多为西风或偏西风。伊犁盆地年平均气温 $2.6 \sim 10.4^{\circ}\text{C}$, 秋季温度变化与北疆相似^[15], 受地形的影响区内降水分布不均匀, 迎风坡降水多, 背风坡降水少, 年降水量随海拔高度 ($< 2200 \text{ m}$) 增高而增加, 平原地区年降水量为 $200 \sim 500 \text{ mm}$, 山区为 $500 \sim 1000 \text{ mm}$, 总空间分布趋势为东多西少。盆地内地带性土壤为灰钙土, 植被类型为荒漠草原到干草原。

2 黄土分布特征与年代

根据卫星资料、结合地形图、文献资料和中国境内实地考察, 绘制了伊犁盆地的黄土分布图(图1)。伊犁盆地黄土分布广泛, 呈条带状, 分布于伊犁河、巩乃斯河、特克斯河、喀什河、恰伦河、奇利克河等各级河流阶地上、低山丘陵区、山麓斜坡及沙漠边缘带, 厚度从数米到近百米不等。在纵向上, 黄土的分布顺谷地方向由东到西呈透镜状, 即中间厚而两侧薄。沿谷地从康查盖峡谷到新源黄土分

收稿日期: 2009-07-17 修订日期: 2009-11-08

基金项目: 国家自然科学基金(40772116, 40972230, 40871018)、国家重点基础研究规划项目(2010CB833406)和中国博士后科学基金(200231234)资助。

作者简介: 宋友桂(1974-), 男, 湖南邵阳人, 博士, 副研究员, 主要从事地貌与环境变化研究。E-mail: syg@ieecas.cn

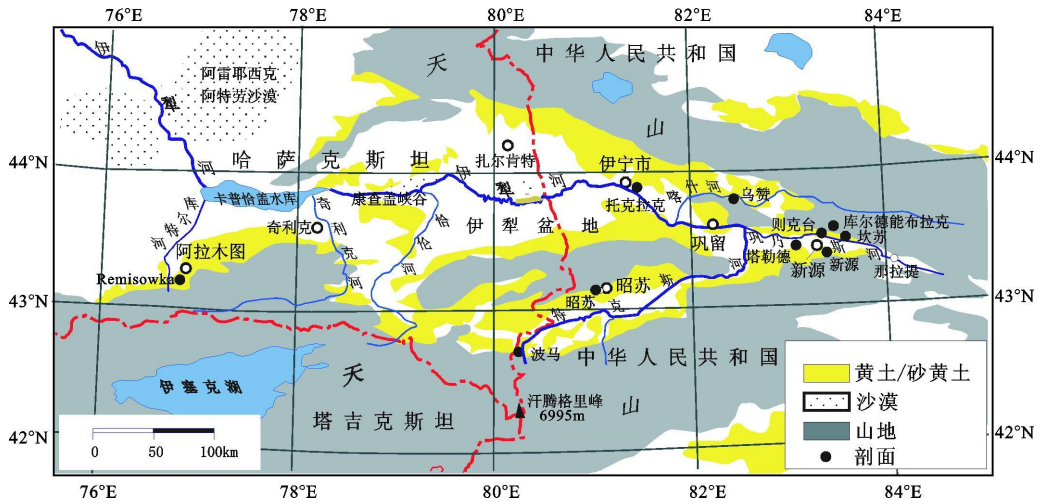


图 1 伊犁盆地黄土分布图

Fig 1 The distribution of loess in Yili Basin

布厚度逆河增厚,至新源附近达到最厚,再向上游黄土厚度减薄、消失。康查盖峡谷到扎尔肯特一带主要为砂黄土,分布于沙漠周边;伊宁市附近的黄土小于 10 m,巩留县附近小于 20 m,新源县附近可见厚度超过 60 m,则克台黄土厚度超过 80 m,塔勒德则达 96 m,坎苏一带黄土约 40 m,而那拉提附近几乎无黄土。在横向上,从平原至山地,以山前迎风坡黄土分布最集中且厚度最大,林线以上很少有黄土分布。伊犁盆地西部哈萨克斯坦的黄土厚约 20~60 m,向西在阿拉木图 Remisowka 附近的黄土达 80~100 m 厚^[11, 16]。

在昭苏盆地,黄土的分布上限 1 900~2 100 m,在伊犁谷地北侧,黄土分布上限自西向东由低变高,西部 1 200~1 600 m,东部 1 800~2 000 m,分布高度主要为 700~2 100 m,在伊犁谷地南侧天山北麓,分布上限 1 700~1 800 m,在黄土集中分布的巩乃斯谷地,主要分布在 850~1 500 m 的低山、丘陵和高阶地上。哈萨克斯坦境内天山北坡黄土分布范围为 750~2 400 m,主要集中分布于 1 000~1 300 m^[11, 16]。

对于伊犁盆地黄土的形成年代,目前还存在争论。¹⁴C 测年^[9~11]、光释光/热释光^[9~11, 17, 18]测年显示出不同的年代结果(图 2),伊犁盆地出露的黄土地层主要为末次间冰期(相当于黄土高原 S₁)以来的沉积,仅在盆地的东部有少量更老的黄土出露。由于光释光测年的局限性,对于老于 S₁ 的黄土样品,释光测年的结果不是很理想,出现年代与地层不符的现象^[9, 10]。根据新源县塔勒德黄土岩芯的

古地磁年代结果,其底部达 860 ka^[9]。据有关文献报道伊犁盆地最老黄土可达早更新世^[19]。其主要依据是在保存条件好的黄土剖面下部能观察到与黄土高原午城黄土(2.58~1.1 Ma)发育相当的古土壤结构与组成特征,并在其中发现了早更新世的哺乳动物化石三门马(*Equus Sarmeniensis*)^[19]。而中亚地区塔吉克斯坦虽然也有发育齐全的第四纪黄土^[7],但主要还是中更新世以来为主^[20]。

3 黄土组成特征

伊犁黄土多为淡黄或灰黄色,质地均匀,疏松多孔,部分层位含有细小的钙质结核颗粒。古土壤多为浅褐或灰褐色,较密实,土壤发育程度较弱,见白色斑块。部分黄土-古土壤地层中含有砾石和砂。黄土中普遍含有陆相软体动物蜗牛化石,部分层位含森林草原型动物化石^[10]。为了分析伊犁黄土的组成特征,我们在伊犁盆地不同地点采集了马兰黄土剖面样品和 64 个地表样品。粒度分析在 Malvern 公司生产的 Mastersizer 2000 激光粒度仪进行,元素分析和矿物学分析在荷兰帕纳科公司生的 X 荧光光谱仪和 X 衍射仪上进行。所有分析均在黄土与第四纪地质国家重点实验室完成。

3.1 粒度组成

粒度分析表明,天山黄土以粉砂(4~63 μm)为主(图 3a~c),变化范围 55.53%~85.47%,粘粒(<4 μm)含量为 6.88%~24.88%,砂(>63 μm)的含量一般在 10%~15%,最高达 41.61%,大多数样品含有 >100 μm 的细砂。而伊犁河谷的

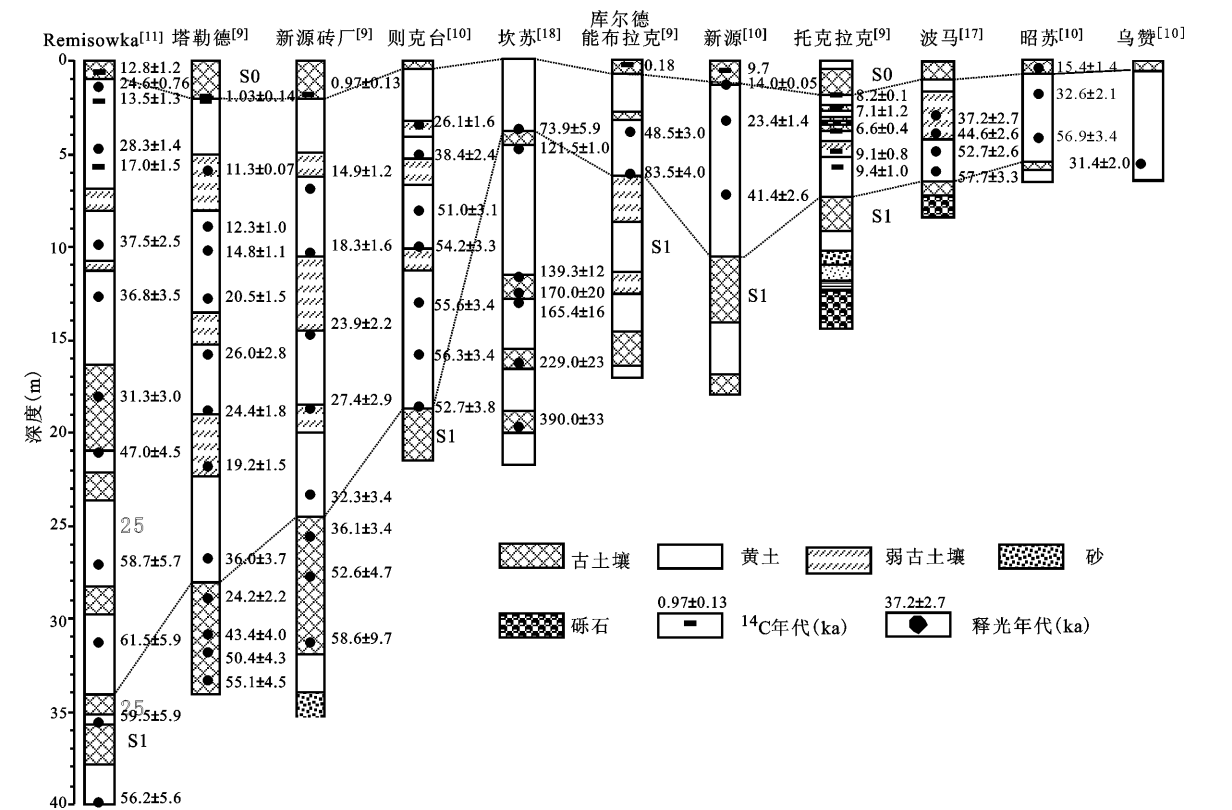


图 2 伊犁盆地黄土剖面年代与地层对比

Fig 2 Strata correlations of outcropped loess sections in Yili Basin

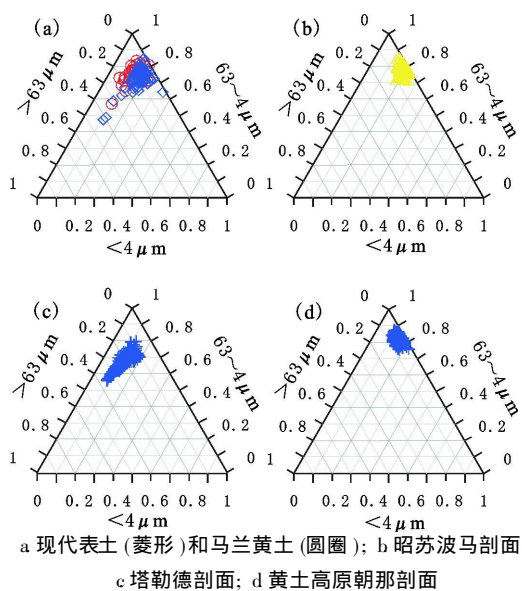


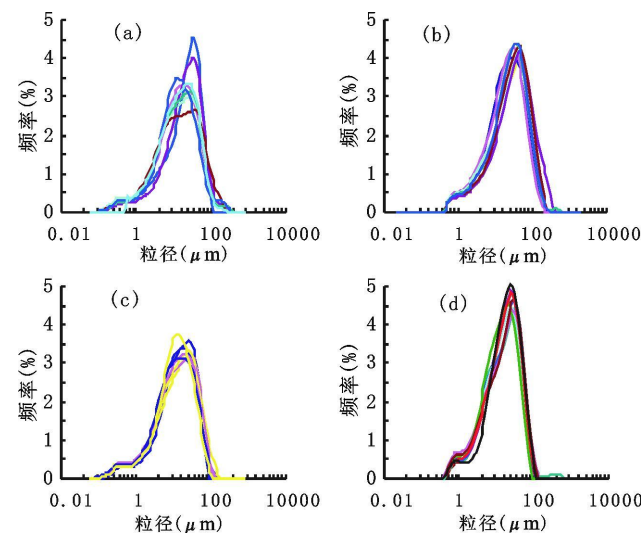
图 3 伊犁地区的黄土粒度组成以及其黄土高原对比

Fig 3 Grain-size composition triangle plots in Yili Basin and its correlation with the Chinese Loess Plateau

现代表土样(图 3a)的粒度变化范围比较大,黄土高原朝那黄土粒度(图 3d)的粉砂含量更高,在 75% ~ 90% 之间,粘粒和细砂的含量较低。由于地

貌部位不同和离源区的远近不一,伊犁不同地区黄土的粒度组成也有所差异。在纵向上沿伊犁河谷由西向东由粗变细,即越靠近源区,颗粒越粗。一方面反映形成黄土物质的风成特征,同时也证明位于上风方向的中亚荒漠是该区粉尘的主要源区。在横向上由河谷到平原到山麓,随着海拔的增高,粒度中的粘粒含量增加,砂含量减少。从图 4 可以看出现代表土(图 4a)较粗,分选性差,而低海拔的塔勒德剖面(图 4c)的粒度比高海拔的昭苏剖面要粗,反映了海拔高度对沉积分选动力的影响。波马剖面的粒度组成特征(图 4b)与黄土高原(图 4d)十分类似。

无论是天山黄土还是黄土高原黄土其粒度的分布以单众数、正偏态、有一较长的细尾为特征,第一众数十分显著(图 4)。从频率曲线上我们可以看到,昭苏剖面的第一众数值比较集中在 40~ 45 μm 之间;塔勒德剖面则为 20~ 30 μm 之间,表土样则比较分散,第二个众数均出现在 1 μm 附近。相对而言,黄土高原黄土粒度频率的分布曲线更加集中。



a 现代表土; b 波马剖面; c 塔勒德剖面; d 朝那剖面
图 4 伊犁盆地黄土与黄土高原粒度分布曲线对比

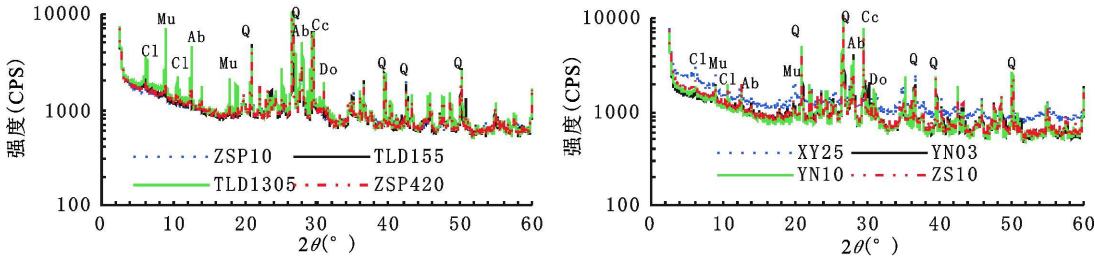
Fig 4 Correlations of grain size distribution curves between
Yili Basin and the Chinese Loess Plateau

3 2 矿物组成

对样品的 X 射线衍射分析 (图 5) 表明, 伊犁黄土中矿物的组成以石英占绝对优势, 其次为碳酸盐类 (主要为方解石)、长石 (主要为钠长石), 这三类矿物的含量可达 85%, 还有少量云母和绿泥石等。整个盆地内黄土的矿物组分变化不大。重矿物分析^[10]表明: 重矿物含量均小于 3%, 它们多呈棱角状和次棱角状, 圆形颗粒较少, 且矿物表面较为干净。而黄土高原黄土磨圆度高、矿物表面侵蚀严重^[21]。伊犁地区黄土重矿物的组合为角闪石 - 黑云母 - 帘石 - 不透明矿物。而黄土高原黄土以角闪石 - 绿帘石 - 不透明矿物类为优势^[22]。

3 3 地球化学组成

伊犁盆地黄土的地球化学成分主要由 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 等组成 (表 1)。其中 SiO_2 含量为 45.78% ~ 53.77%, Al_2O_3 含量



Q 石英; Cc 方解石; Do 白云石; Ab 钠长石; Cl 绿泥石; Mu 白云母
图 5 天山伊犁盆地黄土 X 射线衍射谱
Fig 5 X-ray diffraction spectra of loess in Yili Basin

10.49% ~ 11.99%, CaO 含量 6.85% ~ 13.40%, 其次是 Fe_2O_3 含量为 4.38% ~ 5.03%, MgO 含量 2.41% ~ 3.00%, K_2O 含量 1.89% ~ 2.43%, Na_2O 含量为 1.38% ~ 3.05%。与黄土高原黄土相比, 伊犁黄土富 Na_2O 和 CaO , 而黄土高原黄土红粘土则富 Al_2O_3 。 Na 是化学性质活泼的元素, 在暖湿气候条件下最容易产生淋溶迁移, 在相对干冷的气候条件下富集, 而 Al_2O_3 则在暖湿气候条件下富集, 因此说明伊犁黄土的形成于比较干冷的环境。化学蚀变指数 CIA 被通常用来判别源区化学风化的强度。伊犁盆地黄土的 CIA 指数在 45.71 ~ 60.76 之间, 平均值为 53.84, 表明本区的化学风化比较弱, 而黄土高原的黄土 CIA 指数一般在 60 ~ 70 之间, 风化作用较强。

4 结 论

伊犁盆地出露的黄土剖面主要形成于末次间冰期, 在山麓地带有更老的黄土存在。黄土呈带状分布于河流阶地、低山丘陵区、山麓斜坡及沙漠边缘带, 厚度从数米到近百米不等。粒度分析表明伊犁以粉砂为主, 含有一定的细砂, 粒径比黄土高原粗, 分选性比黄土高原差, 说明其相当部分来自于近源物质。在矿物上组成以石英、长石和碳酸盐类矿物为主, 含一定量的绿泥石和云母。地球化学元素分析表明伊犁黄土以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 为主, 其次为 Fe_2O_3 、 MgO 、 K_2O 和 Na_2O , 比黄土高原黄土富 Na_2O 和 CaO , 反映伊犁盆地黄土形成于较干冷的气候条件, 化学风化作用较弱。

表 1 伊犁盆地黄土的主要元素氧化物组成

Table 2 The oxide of major elements in Yili Basin

样号	ClA*	SD ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO(%)	CaO(%)	Na ₂ O(%)	K ₂ O(%)
TLD- 1135	48. 16	51. 62	11. 06	4. 54	2. 55	9. 43	2. 72	2. 28
TLD- 1305	51. 47	47. 69	11. 36	4. 83	3. 00	11. 69	2. 36	2. 33
TLD- 3270	48. 58	51. 13	10. 70	4. 87	2. 56	10. 28	2. 66	1. 94
TLD- 3300	50. 21	51. 21	11. 10	4. 48	2. 59	9. 94	2. 49	2. 19
TLD- 5735	50. 73	51. 86	10. 91	4. 38	2. 50	9. 68	2. 38	2. 16
TLD- 6095	50. 78	51. 68	11. 07	4. 46	2. 59	9. 98	2. 41	2. 19
TLD- 8200	53. 39	49. 69	11. 54	4. 72	2. 73	10. 36	2. 18	2. 32
TLD- 9425	51. 57	50. 48	11. 09	4. 67	2. 70	10. 58	2. 36	2. 06
XY- 04	45. 71	51. 13	10. 94	4. 57	2. 59	9. 43	3. 05	2. 23
XY- 12	58. 11	45. 78	10. 49	4. 65	2. 61	13. 40	1. 59	1. 89
XY- 25	55. 65	55. 45	14. 63	6. 78	2. 55	1. 41	0. 97	2. 91
XY- 33	56. 22	49. 69	10. 94	4. 68	2. 54	10. 38	1. 87	2. 06
XY- 40	54. 95	51. 22	11. 12	4. 67	2. 45	9. 80	1. 85	2. 07
XY- 48	60. 16	50. 30	10. 94	4. 51	2. 66	10. 19	1. 93	2. 10
XY- 55	53. 14	47. 59	11. 26	5. 01	2. 52	9. 87	1. 39	2. 43
YN- 03	52. 69	51. 12	10. 92	4. 42	2. 60	9. 57	2. 08	2. 23
YN- 10	55. 60	51. 7	10. 9	4. 58	2. 43	9. 58	2. 16	2. 12
YN- 16	60. 15	53. 77	10. 95	4. 47	2. 52	6. 85	1. 79	2. 34
ZS- 10	59. 77	46. 76	11. 42	4. 96	2. 72	11. 31	1. 50	2. 18
ZSP- 025	58. 20	46. 1	10. 8	5. 03	2. 41	10. 59	1. 38	2. 29
ZSP- 125	58. 83	50. 80	11. 83	4. 85	2. 75	9. 90	1. 74	2. 27
ZSP- 225	55. 31	50. 69	11. 89	4. 87	2. 83	9. 85	1. 68	2. 30
ZSP- 435	52. 18	50. 27	11. 99	5. 00	2. 97	9. 58	2. 04	2. 41
ZSP- 575	50. 66	50. 29	11. 52	4. 77	2. 75	9. 37	2. 31	2. 35
ZSP- 665	48. 16	50. 76	11. 62	4. 84	2. 70	9. 24	2. 52	2. 38

* ClA: 化学蚀变指数 $ClA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100$

参考文献:

[1] 刘东生.黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985

[2] An Z S, Kutzbach J E, Prell W L, et al Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya- Tibetan plateau since Late Miocene times[J]. Nature, 2001, **411**(6833): 62~ 66

[3] 杨东,方小敏,彭子成,等. 陇西六盘山黄土及最近 1.8Ma B. P. 以来的构造运动与气候变化[J]. 地理科学, 2006, **26**(2): 192~ 198

[4] 李胜利,黄春长,庞奖励,等. 颖河上游全新世黄土- 古土壤物质来源研究[J]. 地理科学, 2008, **28**(4): 559~ 64.

[5] Foster T, Heller F. Loess deposits from the Tajik depression (Central Asia): Magnetic properties and paleoclimate[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1994, **128**(3- 4): 501~ 512

[6] Bronger A, Winter R, Heinkele T. Pleistocene climatic history of East and Central Asia based on paleopedological indicators in loess- paleosol sequences[J]. Catena, 1998, **34**(1- 2): 1~ 17

[7] Ding Z L, Ranov V, Yang S L. All the loess record in southern Tajikistan and correlation with Chinese loess[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, **200**(3- 4): 387~ 400

[8] 方小敏,史正涛,杨胜利,等. 天山黄土和古尔班通古特沙漠发育及北疆干旱化[J]. 科学通报, 2002, **47**(7): 540~ 45.

[9] 史正涛. 新疆伊犁黄土地层形成时代及环境研究[D]. 西安: 中国科学院地球环境研究所博士后出站报告, 2005.

[10] 叶玮. 疆西风区黄土沉积特征与古气候[M]. 北京: 海洋出版社, 2001

[11] Madalett B, Frechen M, Hambach U, et al The loess sequence from Remisowka (northern boundary of the Tien Shan Mountains Kazakhstan) - Part I Luminescence dating[J]. Quaternary International, 2006, **152- 153**: 192~ 201.

[12] 吕红华,李有利,南峰,等. 天山北麓黄土发育特征及形成年代[J]. 地理科学, 2008, **28**(3): 375~ 79

[13] 史正涛,宋友桂,安芷生. 天山黄土记录的古尔班通古特沙漠形成演化[J]. 中国沙漠, 2006, **26**(5): 675~ 79

[14] 史正涛,方小敏,宋友桂,等. 天山北坡黄土记录的中更新世以来干旱化过程[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, **26**(3): 109~ 14

[15] 袁玉江,魏文寿,穆桂金. 天山山区近 40 年秋季气候变化特征与南、北疆比较[J]. 地理科学, 2004, **24**(6): 674~ 78

[16] Smalley I J, Mavlyanova N G, Rakhmatullaev K L, et al The formation of loess deposits in the Tashkent region and parts of Central Asia and problems with irrigation, hydrocollapse and soil erosion[J]. Quaternary International, 2006, **152- 153**: 59~ 69.

[17] 宋友桂,史正涛,方小敏,等. 伊犁黄土的磁学性质及其与黄土高原对比[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2010, **40**(1): 61~ 67

[18] 文启忠. 中国黄土地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1989

[19] Sun J. Source regions and formation of the Loess sediments on the high mountain regions of Northwestem China[J]. Quaternary Research 2002, **58**(3): 341– 351

[20] Dodonov A E, Shackleton N, Zhou L P, et al Quaternary loess – paleosol stratigraphy of Central Asia. Geochronology, correlation, and evolution of paleoenvironments[J]. Stratigraphy and Geological Correlation, 1999, **7**(6): 581– 593.

[21] 庞奖励, 黄春长, 查小春, 等. 郑州全新世黄土的颗粒形态特征及其环境意义 [J]. 地理科学, 2008, **28**(5): 683~ 87

[22] 贺秀斌, 雷祥义. 黄土高原全新世黄土重矿物研究及其土壤发生学意义 [J]. 地理科学, 1996, **16**(2): 159~ 63

Distribution and Com positions of Loess Sedim ents
in Y ili Basin, Central Asia

SONG Your-gui¹, SH I Zheng-tao²

(1 State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710075; 2 School of Tourism and Geography, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650092)

Abstract The loess record of Central Asia provides an important archive of regional climate and environmental change. However, in contrast to the intensively investigated loess deposits in the Chinese Loess Plateau, Central Asian loess sediments are still insufficiently known and poorly understood. Based on satellite and topography, coupling with previous literature and field investigation, the authors investigate the distribution of loess sediments in the Yili Basin, central Asia. In order to identify the physical, chemical and mineral compositions, the authors carried out grain-size, geochemical and mineralogical analyses on collected surface soil and loess samples. Grain size measurements reveal that the loess in Yili Basin is dominated by silt and have minor sand, which is coarser than that of the Chinese Loess Plateau, indicating a close source. The mineral components of loess in this region are dominated by quartz, feldspar and carbonate with minor chlorite and muscovite. Geochemistry of loess in the Yili Basin are characterized by high contents of SiO₂, Al₂O₃ and CaO, and by minor Fe₂O₃, MgO, K₂O and Na₂O. In contrast to the Chinese Loess Plateau, the loess in Yili Basin is rich Na₂O and CaO, which indicates that loess in Yili Basin originated from a relative dry-clod and weak chemical weathering environment.

Key words Loess, Yili Basin, grain-size, geochemistry, mineral composition