

高山冰缘环境中冰碛母质土壤的 发生与演化^①

刘耕年¹ 宋长青² 熊黑钢³

(1 北京大学城市与环境学系, 100871; 2 中国科学院植物研究所, 北京 100099;

3 新疆大学地理系, 乌鲁木齐 830046)

提 要 研究区位于天山乌鲁木齐河源区海拔 3000m 以上的高山冰缘环境中。末次冰期冰碛和新冰期冰碛上发育高山草甸土, 海拔 3000—3700m。小冰期冰碛上发育高山寒冻土, 海拔 3700—3800m。土壤的剖面结构、粘土矿物组成和化学成分分析均表明土壤的发生演化与冰川作用密切相关。

关键词 冰碛 土壤 粘土 冰期

研究区位于新疆天山乌鲁木齐河源区, 野外调查和采样位于海拔 3100—3800m 之间。这里古冰川地形发育。研究采样对象是末次冰期以来冰碛表土。据前人的研究成果(杨怀仁, 1965; 王靖泰, 1981; 秦大河等, 1984; 陈吉阳, 1987), 位于海拔 3000m 以上的冰碛物分属末次冰期、新冰期、小冰期和现代。工作区年均气温-2—7.5℃, 年均降水 400—430mm。其中末次冰期冰碛(3000—3300m)上的望峰道班(3100m)年均气温-2.5℃, 降水量 400mm; 新冰期冰碛(3500—3700m)上的大西沟气象站(3545m)年均气温-5.34℃, 降水量 430mm; 小冰期冰碛(3700—3800m)下侧 1 号冰川末端气象点(3695m)年均气温-6.9℃, 年均降水量 425mm; 与现代冰碛高程一致的空冰斗气象点(3805m)年均气温-7.5℃, 降水量 402mm。河源区的基岩为眼球状混合岩、条带状混合岩、石英片岩、云母片岩、闪长岩、辉长岩、辉绿岩、花岗岩等, 以及变质岩和岩浆岩。在望峰道班一带还有绿片岩出露。海拔 3100—3500m 为高山草甸, 盖度 50—70%; 海拔 3500—3700m 为稀疏的高山草甸, 盖度 30—50%; 海拔 3700—3800m 以上为高山寒漠景观, 植被盖度 1—2%或无植被。该区永久冻土的下限在 2900m(阴坡)和 3250m(阳坡)。末次冰期全盛时, 永冻土在 2100m, 比现在低 900m(金会军等, 1993; 赵林等, 1993)。

1 土壤剖面采样说明

采样对象是末次冰期以来各次冰期遗留下的冰碛垆上发育的土壤, 及现代冰川刚刚

^① 本文于1994年4月20日收到; 属国家自然科学基金、中国科学院天山冰川观测试验站基金、北京中关村测试基金资助项目。

融出的冰碛。下面由新到老分述之。

(1)现代冰碛样品(P)采自乌鲁木齐河源 1 号冰川东支刚刚融出的碎屑。深灰色松散角砾, 少量冰碛石表面有擦痕。岩性以眼球状混合岩、条带状混合岩、石英片岩为主。采样点为海拔 3800m。现代冰碛暴露于气下约数年, 基本没有发生次生变化, 可以来用作老冰碛成土变化对比的基础。

(2)小冰期冰碛在乌鲁木齐河源 1 号冰川之下有三道, 分别采三个土壤剖面。由新到老三道冰碛垅的海拔分别为 3750m, 3730m 和 3720m, 编号 L_1 , L_2 和 L_3 。形成年代为 200—400aBP。

剖面 L_1 :

- 0—5cm 浅棕色含砾亚砂土, 地表有少量植被;
- 5—10cm 浅棕色砂砾石, 次棱角。岩性: 眼球状混合岩、条带状混合岩、石英片岩、闪长岩等;
- 10—23cm 浅棕色砂砾石, 次棱角。岩性同上。

剖面 L_2 :

- 0—5cm 浅棕色含砾亚砂土, 少量植被生长;
- 5—10cm 浅棕色砂砾石, 次棱角。岩性: 眼球状混合岩、条带状混合岩、石英片岩、闪长岩等;
- 10—20cm 浅棕色砂砾石, 次棱角, 岩性同上。

剖面 L_3 :

- 0—5cm 浅棕色亚砂土, 少量植被生长;
- 5—10cm 浅棕色砂砾石, 次棱角。岩性: 眼球状混合岩、条带状混合岩、石英片岩、闪长岩等;
- 10—23cm 浅棕色砂砾石, 次棱角。岩性同上。

(3)新冰期冰碛垅在乌鲁木齐河源有 2—3 道, 两道较明显。土壤剖面采自海拔 3680m 和 3580m 两处, 编号分别为 N_1 和 N_2 。形成年代约 2800—5700aBP。采样地点位于大西沟气象站北。

剖面 N_1 :

- 0—5cm 深棕色亚砂土, 富含腐殖质, 地表草甸盖度 30—40%;
- 15—20cm 深棕色含腐殖质砂砾石, 次棱角状。岩性: 眼球状混合岩、石英片岩、闪长岩等;
- 20—30cm 棕色砂砾石层, 次棱角。岩性同上。

剖面 N_2 :

- 0—7cm 深棕色富含腐殖质亚砂土, 地表草甸盖度 30—50%;
- 15—25cm 深棕色含腐殖质砂砾石, 次棱角状, 岩性: 眼球状混合岩、石英片岩、闪长岩等;
- 25—35cm 褐色腐殖质亚砂土。系泥石流作用埋藏土。

(4)末次冰碛上的土壤剖面(G)样品采自乌鲁木齐河源望峰道班附近, 海拔 3100m。形成年代为 10 000—20 000aBP。

- 0—10cm 褐色粘土粉砂和腐殖质, 交错的根系形成毡状草皮层, 草甸盖度 50—70%;
- 10—20cm 褐色腐殖质和亚砂土, 有根物根系;
- 20—30cm 浅褐色亚砂土, 含少量砾石, 砾石次棱角状, 岩性以眼球状混合岩、石英片岩、辉绿岩、闪长岩、花岗岩为主, 少量绿片岩, 少量白色 CaCO_3 沉淀;
- 30—40cm 灰褐色砂砾石, 大量白色 CaCO_3 沉淀, 砾石次棱角状。岩性同上;

40—50cm	浅褐色砂砾石, 少量白色 CaCO_3 沉淀。岩性同上;
50—70cm	浅灰色砂砾石, 次棱角状。岩性同上;
70—80cm	浅灰色砂砾石, 次棱角状。岩性同上;
80—95cm	浅灰色砂砾石, 次棱角状。岩性同上;
95—110cm	浅灰色砂砾石, 次棱角状。岩性同上;
110—130cm	浅灰色砂砾石, 次棱角状。岩性同上。

2 粘土矿物组成和化学成分

2.1 粘土矿物组成

粘土矿物的组成和变化是土壤性质及成土作用的重要反映。各剖面中粘土矿物的组成见表 1。现代冰碛的两块样品中粘土矿物的组合较单一, 伊利石占 90—93%, 绿泥石占 7—10%。小冰期冰碛上发育的土壤剖面中粘土矿物的组成也较单一, 三个剖面 (L_1 , L_2 , L_3) 伊利石 83—98%, 绿泥石 2—17%; 由新到老各剖面中伊利石平均含量分别为 91.3%, 88.3%, 85.7%, 绿泥石 8.7%, 11.7%, 14.3%。由新到老伊利石减少, 绿泥石增加。每个剖面由顶到底, 伊利石增加, 绿泥石减少。新冰期冰碛上发育的土壤中粘土矿物的组合变得复杂。伊利石 50—64%, 蒙脱石 15—29%, 绿泥石 13—18%, 高岭石 7—10%。由新到老(N_1 , N_2)两个剖面中各种粘土矿物的平均含量分别为伊利石 54.3%, 60.3%, 蒙脱石 23.7%, 16%, 绿泥石 14.3%, 9%, 高岭石 7.7%, 8.7%。反映由新到老伊利石增加, 蒙脱石减少、绿泥石减少、高岭石增加。末次冰期冰碛上发育的土壤剖面中伊利石占 44—68%, 平均 54.7%; 绿泥石 17—39%, 平均 28%; 高岭石 9—17%, 平均 11.9%; 蒙脱石 0—11%。由新到老(P—L—N—G)各剖面表层伊利石的含量减少。蒙脱石在新冰期和末次冰期冰碛土壤中开始出现, 但其含量由新到老(N_1 , N_2 , G)减少。高岭石也是在新冰期和末次冰期冰碛土壤中开始出现, 含量由新向老增加。绿泥石含量与伊利石相反, 由新到老增加。

2.2 粘土的化学成分

用于化学全量分析的粘粒小于 0.002mm。先用 100℃ 烘干除去吸附水, 然后高温 500℃ 烘烤测量结构水(烧失量)。粘土矿物中主要元素氧化物重量百分含量见表 2。粘土氧化物含量测试结果显示出现代冰碛中 SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O 含量最高, 而 CaO 和 H_2O^+ (结构水烧失量)的含量最低。它代表了未经成土作用的冰碛中粘土的化学成分。由现代冰碛(P)到末次冰期(G), 随成土时间加长和成土作用加深, 粘土中各氧化物的含量变化明显。 SiO_2 含量由 52.08% 降到 41.96%, Al_2O_3 由 21.33% 降为 17.38%, CaO 由 1.04% 增至 8.13%, K_2O 由 5.95% 降为 3.13%, H_2O^+ (结构水烧失量)由 4.17% 增至 12.38%, FeO 的含量略有下降。

在各个土壤剖面中由顶层向下, SiO_2 增加、 Al_2O_3 增加, Fe_2O_3 减少, FeO 增加, CaO 增加, Na_2O 增加, K_2O 增加, P_2O_5 减少, H_2O^+ 减少。

粘土中氧化物 $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ 比率在 3.64—4.26, $\text{SiO}_2 / \text{R}_2\text{O}_3$ 比率 3.05—3.70, 反映

表 1 粘土矿物组成(%)
Table 1 Clay compositions of the tills

剖面编号		蒙脱石	伊利石	高岭石	绿泥石	采样深(cm)
P	1	—	93	—	7	0
	2	—	90	—	10	0
L ₁	1	—	87	—	13	0—5
	2	—	89	—	11	5—10
	3	—	98	—	2	10—23
L ₂	1	—	87	—	13	0—5
	2	—	88	—	12	5—10
	3	—	90	—	10	10—20
L ₃	1	—	83	—	17	0—5
	2	—	88	—	12	5—10
	3	—	86	—	14	10—23
N ₁	1	18	58	7	17	0—5
	2	24	55	8	13	15—20
	3	29	50	8	13	20—30
N ₂	1	16	61	10	13	0—7
	2	17	56	9	18	15—25
	3	15	64	7	14	25—35
G	1	7	64	9	20	0—10
	2	6	68	9	17	10—20
	3	7	65	11	17	20—30
	4	—	58	10	32	30—40
	5	—	44	17	39	40—50
	6	11	55	12	22	50—70
	7	4	46	13	37	70—80
	8	6	45	12	36	80—95
	9	7	48	12	33	95—110
	10	5	54	14	27	110—130

土壤处于弱化学风化作用阶段。三价铁氧化物 Fe_2O_3 与二价铁氧化物 FeO 的分子比 0.201—1.579，略显出由新(P)到老(G)比值增加，即 Fe^{2+} 向 Fe^{3+} 转化增加。

2.3 粘土矿物及其化学成分反映的化学风化过程

利用发生年代比较确定的冰碛物上发育的土壤粘土矿物组合及其氧化物成分的变化，可以很好地探讨冰退之后冰缘环境下，粘土矿物的形成变化及其化学成分的淋失和相对富集。乌鲁木齐河源现代冰碛中伊利石占绝对优势 91.5%，绿泥石 8.5%，无蒙脱石和高岭石。其组合特点是冰下冰岩界面过程的反映，冰碛物在搬运过程中强烈的机械细化伴随局部压融水(或其它液态水分)，对长石类矿物蚀变形成伊利石，角闪石和辉石等蚀变为绿泥石。虽然它们占冰碛重量的不足 4%，仍是冰下化学过程的有力证据。小

表 2 粘土的化学成分(%)

Table 2 The chemical compositions of the clays

剖面 编号		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	H ₂ O ⁺	SiO ₂ / Al ₂ O ₃
P	1	51.98	21.61	5.01	4.23	3.06	0.96	1.51	5.94	0.81	0.23	0.15	4.51	4.10
	2	52.18	21.05	4.58	4.46	3.05	1.11	1.52	5.96	0.82	0.23	0.15	4.90	4.21
L ₁	1	46.01	20.92	7.43	5.27	5.25	1.25	1.27	5.52	0.99	0.24	0.18	5.67	3.75
	2	46.34	21.03	3.84	8.61	5.08	1.41	1.39	5.69	1.04	0.20	0.16	5.20	3.75
	3	46.66	21.09	5.32	7.20	5.16	1.41	1.34	5.43	1.02	0.22	0.15	5.08	3.76
L ₂	1	47.32	21.18	6.24	5.74	4.85	1.28	1.27	4.83	0.99	0.23	0.20	5.86	3.80
	2	45.83	21.42	5.64	7.19	5.06	1.37	1.39	5.55	1.03	0.23	0.16	5.12	3.64
	3	45.93	21.37	5.82	7.14	5.09	1.35	1.39	5.55	1.03	0.22	0.15	4.96	3.66
L ₃	1	45.83	20.49	7.06	6.22	5.49	1.44	1.26	4.94	1.03	0.27	0.20	5.76	3.79
	2	45.70	20.51	7.31	5.90	5.52	1.46	1.46	5.43	1.07	0.22	0.18	5.24	3.79
	3	45.69	20.29	6.41	6.88	5.63	1.56	1.47	5.46	1.05	0.22	0.17	5.16	3.83
N ₁	1	45.64	19.86	6.35	2.68	3.45	1.69	0.91	3.63	0.73	0.43	0.19	14.45	3.90
	2	46.78	19.84	6.88	2.48	3.58	1.64	0.98	3.67	0.78	0.36	0.18	12.82	4.01
	3	46.61	20.21	8.01	2.28	3.93	1.62	0.78	3.63	0.81	0.30	0.19	11.64	3.92
N ₂	1	45.63	20.25	6.15	3.13	3.98	1.31	0.78	3.24	0.73	0.31	0.09	14.40	3.82
	2	46.68	20.26	5.85	3.21	3.85	1.26	0.92	3.44	0.73	0.29	0.08	13.42	3.93
	3	47.98	20.46	5.57	3.33	3.87	1.36	0.95	3.50	0.72	0.33	0.10	—	3.99
G	1	43.64	17.73	4.42	3.25	3.34	6.58	0.84	3.35	0.65	0.37	0.18	—	4.17
	2	42.37	18.59	6.67	1.91	3.37	5.92	0.73	3.52	0.67	0.41	0.17	15.68	3.87
	3	35.78	15.48	4.64	2.16	3.13	13.17	0.62	2.85	0.58	0.25	0.13	21.21	3.94
	4	37.19	15.31	4.98	3.31	4.34	13.60	1.03	2.70	0.68	0.21	0.12	16.54	4.14
	5	40.50	16.64	5.90	4.12	5.20	9.51	1.28	3.07	0.77	0.23	0.14	12.65	4.15
	6	48.86	20.31	6.69	2.64	3.86	1.26	0.91	3.24	0.75	0.30	0.09	11.09	4.10
	7	43.63	17.43	5.96	4.39	5.11	7.11	1.40	3.30	0.85	0.21	0.14	10.44	4.26
	8	39.84	16.12	5.77	3.81	4.96	10.57	1.32	2.85	0.76	0.21	0.14	13.65	4.21
	9	44.41	18.19	6.84	3.23	4.63	6.58	1.03	3.16	0.83	0.22	0.14	10.74	4.15
	10	43.40	18.00	6.56	3.25	4.51	7.02	1.03	3.21	0.79	0.25	0.15	11.83	4.10

冰期冰碛表土中伊利石仍占绝对优势 88.4%，但绿泥石的含量略有增加 11.6%。反映气下冰碛中有更多的暗色矿物蚀变。小冰期冰碛中仍无蒙脱石和高岭石。说明在 200—400 年的成土时间，年均气温低于-7.0℃，缺少植被的条件下，硅酸盐矿物只能蚀变为伊利石和绿泥石。新冰期冰碛表土中粘土矿物组合为伊利石 57.3%，蒙脱石 19.9%，绿泥石 11.7%，高岭石 8.2%，以蒙脱石和高岭石出现为特色。硅酸盐矿物的蚀变进一

步加深。末次冰期冰碛表土中粘土矿物组合为伊利石 54.7%，绿泥石 28.0%，高岭石 11.9%，蒙脱石 5.3%。反映出化学风化程度的进一步加深，表现在稳定的高岭石含量增加。据施雅风(1990)研究，全新世高温期中国西部增温 2.5℃，山上的增温要小些。本区自末次冰期以来一直处在冰缘环境下。因此，上述粘土变化基本反映了末次冰期以来冰缘环境中表土的粘土矿物变化特点。

粘土矿物氧化物含量变化总的特点是由新到老，SiO₂，Al₂O₃，FeO，Na₂O，K₂O 减少，Fe₂O₃，CaO，H₂O⁺增加。SiO₂ / Al₂O₃ 分子比 3.64—4.26，属弱风化壳类型。CaO 变化较明显，剖面 G 淀积层中的含量高达 13%，比原始碎屑(P)高出 13 倍。第二个变化最明显的是 H₂O⁺，剖面 G 粘化层中含量高达 21%，比原始碎屑高 5 倍。SiO₂ 和 Al₂O₃ 相比，Al₂O₃ 的淋失较明显。粘土氧化物含量的变化是粘土矿物组合变化的反映。反映出时代越老，化学蚀变越明显，表层比底层化学风化明显。但总的化学风化程度很低，只形成较原始的土壤。

3 地貌过程与成土作用

3.1 地貌过程

高山冰缘环境中冰碛土壤经受独特的地貌过程组合影响。土壤下面存在着永久冻土(金会军等，1993)。季节活动层的深由低向高海拔减薄，海拔 3100m 处季节融化深度约为 3.5 m，海拔 3 550 m 的深度为 2.3 m，海拔 3 800 m 为 2.0—2.4 m。冻融过程引起的一系列变化是季节层的主导过程，它引起土壤中粒度的分选，形成石环、石多边形、石条、季节冻胀丘、冻胀草丘等形态(熊黑钢等，1993)。发生在活动层或影响活动层的另一类冰缘地貌过程是块体运动，如融冻泥流作用、活动层蠕移、石冰川、倒石堆、石河运动等(崔之久等，1993)。据观测，倒石堆表面碎屑的平均运动速率 3.15cm / a，石冰川前进速率为 21cm / a，活动层蠕移 1.1cm / a，融冻泥流 11cm / a。另外，在具有一定坡度、土壤饱水或过饱水的地段发生土层的滑塌、泥流，流水强烈切割至永冻土上限以下引起热融沉陷，这两种活动是土壤主要破坏因素。

3.2 土壤的剖面特征

天山乌鲁木齐河源区末次冰期以来冰碛上发育的土壤有两种类型，高山草甸土和高山寒冻土。

末次冰期冰碛上发育高山草甸土，剖面结构为 As-A-AB-B-C:

剖面结构	厚度(cm)	剖面特征	粘土矿物	氧化物
As	00—10	毡状草皮层	伊利石 44—68% 绿泥石 17—39% 高岭石 9—17% 蒙脱石 0—11%	剖面 20—40cm，氧化物含量变化较大，SiO ₂ ，Al ₂ O ₃ ，Fe ₂ O ₃ ，K ₂ O 相对淋失，CaO，H ₂ O ⁺ 相对富集，10—20cm 段的硅铝比较小
A	10—20	富有机质亚砂土		
AB	20—30	砾质亚砂土，少量 CaCO ₃ 沉淀		
B	30—40	砂砾石，大量 CaCO ₃ 沉淀		
(BC)	40—50	砂砾石，少量 CaCO ₃ 沉淀		
C	50—	砂砾石		

新冰期冰碛上发育高山草甸土，剖面结构 A-AC-C:

剖面结构	厚度(cm)	剖面特征	粘土矿物	氧化物
A	0—5	富有机质亚砂土	伊利石 50—64%	土壤表层 SiO ₂ ,
AC	5—20	含有机质砂石	蒙脱石 15—29%	Al ₂ O ₃ 略有淋失,
C	20—	砂砾石	绿泥石 13—18%	H ₂ O ⁺ 相对富集,
			高岭石 15—29%	其它成分变化杂乱

小冰期冰碛上发育高山寒冻土，剖面结构 AC-C:

剖面结构	厚度(cm)	剖面特征	粘土矿物	氧化物
A	0—5	含砾亚砂土，少量有机质	伊利石 83—98%	土壤 CaO, Na ₂ O, K ₂ O
AC	5—	砂砾石	绿泥石 2—17%	略有淋失, H ₂ O, MnO,
			无蒙脱石、高岭石	P ₂ O ₅ 略有增加

3.3 土壤发生演化讨论与结论

天山海拔 3000—3700m 发育高山草甸土，成土母质为末次冰期至新冰期的冰碛物、残坡积等，形成时代大约 10 000—2000 年。此带年均气温-2—6℃，降水量 400—430mm。发育在末次冰期与新冰期冰碛上的高山草甸土的剖面结构分别为 As-A-AB-B-C 型和 A-AC-C 型(徐启刚等，1990)。土壤粘土矿物以伊利石为主，其次为绿泥石、蒙脱石和高岭石。粘土氧化物反映出元素有明显的淋失和相对富集，特别是发生了明显的水合水化作用。主要植被有蒿、苔草、蓼、龙胆、虎耳草等。海拔 3000—3500m 植被盖度 50—70%，海拔 3500—3700m 植被盖度 30—50%。海拔 3700m 以上发育高山寒冻土，成土母质为小冰期冰碛物、寒冻风化碎屑、倒石堆等，形成时代 400 年。此带年均气温低于-6℃，降水量 400—420mm。土壤剖面结构 AC-C。粘土矿物以伊利石为主，其次为绿泥石，无蒙脱石和高岭石。粘土氧化物分析反映元素的淋失和富集不明显。地表生长的主要植物有风毛菊、葶苈、虎耳草、点地梅、火绒草、金莲花，还有地衣等，盖度 1—2%。

天山乌鲁木齐河源区发育的高山草甸土和高山寒冻土的各项分析说明，发育时间和自然地理条件是形成差异的基础。现代冰碛和小冰期冰碛上土壤中伊利石占绝对优势，还有少量绿泥石、无蒙脱石和高岭石。新冰期冰碛和末次冰期冰碛土壤中出现蒙脱石和高岭石，而且末次冰期冰碛土壤中高岭石的含量比新冰期高。粘土氧化物分析亦表明，化学成分的淋失和富集在新冰期之前的冰碛土中较明显，小冰期变化不明显。但总的来说，高山土壤中化学风化作用比较弱，Al₂O₃ 和 SiO₂ 没有发生明显的淋失，硅铝比 3.64—4.26，属弱风化壳类型。土壤剖面反映土层较薄，末次冰期冰碛土 50 cm，新冰期冰碛土壤 30cm，小冰期冰碛土仅有 5—10cm 的土壤。相比之下，成土条件较好的天山中山森林(2120m)灰褐土的土壤厚 115 cm，CaCO₃ 沉积层在 72—90cm(孙继坤，1991); 甘肃马衔山(3670 m)高山草甸土剖面深 85cm(胡双熙，1994)。天山高山寒冻土与南极中国长城站区发育的极地寒冻土有许多相似之处，后者硅铝比 3.71—5.74，土壤

表 3 天山乌鲁木齐河源冰碛土壤的发育条件和成土特征

Table 3 The developing conditions and pedogenic characteristics of the soils on the moraines at the Head Area of Urumqi River

土壤类型	海拔(m)	年均温(℃)	年均降水(mm)	母质时代(aBP)	剖面结构和厚度(cm)	粘土矿物(%)	氧化物	植被	地貌过程
现代冰碛	3800—4000	-7.5—-8.7	400	现代	C	伊利石 91.5 绿泥石 8.5	原始, 未经淋失和富集	无	冻融作用 块体运动
高山寒冻土	3700—3800	-6.9—-7.5	425	小冰期冰碛 200—400	AC-C 5—10	伊利石 88.4 绿泥石 11.6	表层 CaO, Na ₂ O, K ₂ O 弱淋失, MnO, P ₂ O ₅ , H ₂ O ⁺ 弱富集	凤毛菊, 葶苈, 虎耳草, 点地梅, 金莲花和地衣, 盖度 1—2%	冻融作用 块体运动 片流冲刷
高山草甸土 1	3500—3700	-5.3—-6.9	430	新冰期冰碛 2800—5700	A-AC-C 20—30	伊利石 57.3 蒙脱石 19.9 绿泥石 11.7 高岭石 8.2	表层 SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , 弱淋失, H ₂ O ⁺ 富集, 其它变化杂乱	蒿, 蓼, 龙胆, 苔草, 火绒草, 虎耳草等, 盖度 30—50%	冻融作用 块体运动 热融作用 片流冲刷
高山草甸土 2	3000—3500	-2.5—-05.3	390	末次冰期冰碛 10 000—20 000	As-A-AB -B-C 50	伊利石 54.7 绿泥石 28.0 高岭石 11.9 蒙脱石 5.3	剖面 20—40cm, 层变化较明显, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , K ₂ O 淋失, CaO, H ₂ O ⁺ 富集	萎陵菜, 火绒草, 异燕麦, 蒿, 石竹, 毛茛, 蓼, 苔草, 紫苑等, 盖度 50—70%	冻融作用 块体运动 热融作用 片流冲刷

厚 20—40, 剖面结构 AC-C。受母质的影响, 南极中国长城站区粘土矿物主要是蒙脱石和伊利石(刘耕年, 1991)。天山乌鲁木齐河源区高山土壤的发育条件和特点列于表 3。需要说明的是海拔、土壤发育年龄呈负相关关系, 但不是绝对的。如高山草甸土 1 在局部可以出现在 3800m, 甚至更高, 而有些高山寒冻土亦可位于 3700m 以下, 这与成土母质的年龄有关, 而与海拔的关系不直接。

致谢: 野外工作得到刘潮海教授的帮助, 闫润娥教授协助完成粘土矿物分析, 粘土氧化物由北京大学地质系实验室完成, 特此致谢。

参 考 文 献

- 王靖泰, 1981. 天山乌鲁木齐河源的古冰川. 冰川冻土, 增刊: 57—63
 孙继坤, 1991. 巴尔鲁克山山地灰色森林土壤的研究. 土壤学报, 28(2): 186—195
 刘耕年, 1991. 南极乔治王岛菲尔德斯半岛土壤的化学风化作用. 南极研究, 3(1): 22—29
 杨怀仁, 1965. 乌鲁木齐河上游第四纪与冰后期的气候波动. 地理学报, 31(3): 194—211
 陈吉阳, 1987. 天山天格尔第二峰地区全新世中后期冰川变化的初步研究. 冰川冻土, 9(4): 347—354
 金会军、邱国庆、赵林等, 1993. 东天山中段乌鲁木齐河上游冻土热状况研究. 冰川冻土, 15(1): 110—114

- 赵林、邱国庆、金会军, 1993. 天山乌鲁木齐河源末次冰期以来气候变化与多年冻土的形成. 冰川冻土, **15**(1): 103—109
- 胡双熙, 1994. 祁连山东段山地土壤性质及垂直分布规律. 地理科学, **14**(1): 38—41
- 施雅风, 1990. 山地冰川与湖泊萎缩所指示的亚洲中部气候干暖变化趋势与未来的展望. 地理学报, **45**(1): 1—13
- 秦大河、冯兆东、李吉均, 1984. 天山乌鲁木齐河主玉木冰期以来的冰川变化和冰川物征及发育环境的研究. 冰川冻土, **6**(3): 51—62
- 徐启刚、黄润华, 1990. 土壤地理学教程. 北京: 高等教育出版社, 263—275
- 崔之久、熊黑钢、刘耕年, 1993. 天山乌鲁木齐河源区及拉尔敦达坂冰缘块体运动观测与研究. 地理研究, **15**(2): 199—206
- 熊黑钢、刘耕年、崔之久, 1993. 天山乌鲁木齐河源空冰斗中分选环的观测与研究. 地理研究, **12**(4): 46—53

The Pedogenic Processes and Evolution of the Soils on Moraines in Alpine Periglacial Environments

Liu Gengnian¹, Song Changqing² and Xiong Heigang³

(1 *Department of Geography, Beijing University, 100871*; 2 *Institute of Botany, Academia Sinica, 100039*; 3 *Department of Geography, Xinjiang University, 830046*)

Abstract

The research area is located at the head area of Urumqi River, above 3000 m and in alpine periglacial environment. On the moraines of the Last Glaciation and Neo-glaciation alpine meadow soils develop from 3000 to 3700 m. On the moraines of Little Ice Age alpine frost soils develop from 3700 to 3800 m. The profile patterns, clay minerals and oxides of the soils show that the pedogenesis and evolution of the soils is related to glaciations.

Key words: moraine, soil, clay, glaciation