

文章编号:1672-6561(2012)01-0055-11

中国东北第四纪冰川研究新进展: 遗迹厘定、新发现与冰期模式

孙广友^{1,2,3}, 王海霞⁴, 范宇⁵

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 吉林大学 环境与资源学院, 吉林 长春 130021; 3. 哈尔滨学院 理学院, 黑龙江 哈尔滨 150086; 4. 东北师范大学 城市与旅游科学学院, 吉林 长春 130024; 5. 吉林师范大学 旅游与地理科学学院, 吉林 四平 136000)

摘要: 东北是否发育第四纪冰川及其范围、性质与冰期问题, 始终没有定论。在对长白山及大兴安岭冰川遗迹厘定基础上, 进行了专项调查, 并采用地理信息系统(GIS)、遥感(RS)及全球定位系统(GPS)的3S技术, 采取钻探测图、孢粉、泥砾粒度与渗透性分析及¹⁴C定年等方法, 在长白山及大兴安岭发现了冰蚀谷及泥砾堆积等新的冰川遗迹, 进一步肯定了两座山地第四纪冰川的存在及其多期性。在小兴安岭首次发现冰蚀岩墙等冰川遗迹, 填补了研究空白, 证明小兴安岭也曾发育第四纪冰川。综合多种信息, 确定长白山与大兴安岭分别有4次冰期和3次间冰期, 小兴安岭至少有1次冰期。最后构建了可以与国际对比的冰期序列, 重建了区域第四纪冰川环境演化模式: 早更新世早期冷干, 中晚期偏暖湿; 中更新世早期冷湿, 中晚期暖湿; 晚更新世早期冷稍湿, 中期暖湿, 晚期冷干。

关键词: 第四纪冰川; 遗迹; 冰期模式; 环境演化; 长白山; 大兴安岭; 小兴安岭

中图分类号: P343.6 文献标志码: A

New advance on Quaternary glacier in Northeast China: remains examination, new discovery and ice epoch model

SUN Guang-you^{1,2,3}, WANG Hai-xia⁴, FAN Yu⁵

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, Jilin, China; 2. School of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130021, Jilin, China; 3. School of Sciences, Harbin University, Harbin 150086, Heilongjiang, China; 4. School of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, Jilin, China; 5. School of Tourism and Geography Science, Jilin Normal University, Siping 136000, Jilin, China)

Abstract: It is a problem whether Quaternary glacier developed in Northeast China, and the area, property and ice epoch were debatable. Based on the remains examination of Quaternary glacier in Changbai Mountains and Da Hinggan Mountains, Quaternary glaciers were investigated by the methods of the 3S technologies with geographic information science (GIS), remote sensing (RS) and global positioning system (GPS), drilling and mapping, pollen analysis, fineness and osmotic permeability analysis and ¹⁴C dating. The remains of Quaternary glacier including glacier valley and boulder clay were discovered in Changbai Mountains and Da Hinggan Mountains; therefore, Quaternary glacier and its ice epoch had been affirmed further in the regions. In Xiao Hinggan Mountains, ice erosion wall discovered for the first time showed that Quaternary glacier developed in the

收稿日期: 2011-04-11

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司大庆油田分公司项目(0650445)

作者简介: 孙广友(1939-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 研究员, 博士研究生导师, 从事地貌第四纪、自然地理学、湿地学、区域农业科学等研究。
E-mail: sun_guangyou@163.com。

region. There were four ice epochs and three interglacial epochs in Changbai Mountains and Da Hinggan Mountains, respectively, and at least one ice epoch in Xiao Hinggan Mountains. The sequence of ice epoch, which could compare with the international, had been structured in Northeast China. The environmental evolution model of Quaternary glacier was reconstructed; the climate was cold and dry in the early stage of Early Pleistocene; it was warm and wet in the middle of Early Pleistocene; it was cold and wet in the early of Middle Pleistocene; it was cold and a bit wet in the early of Late Pleistocene, warm in the middle, and cold and dry in the late.

Key words: Quaternary glacier; remain; ice epoch model; environmental evolution; Changbai Mountains; Da Hinggan Mountains; Xiao Hinggan Mountains

0 引言

中国东北为高纬度寒区,环境独特,演化复杂,许多地学基本问题尚未清晰,第四纪冰川即为其一。20 世纪 30 年代,鹿野忠雄指出长白山天池存在古冰斗^[1];50 年代至 60 年代,严钦尚等对大兴安岭北部的古冰川地貌进行了调查^[2-5];70 年代以来,许多学者(特别是孙建中等)又做了较多探索^[6-9],他们得出长白山和大兴安岭北部曾发育第四纪冰川的结论。然而施雅风等对大兴安岭存在第四纪冰川持否定意见^[10-11]。这一方面受早期研究手段所限,遗迹的认定多为定性描述,以致带来真伪的困惑;另一方面也与研究程度有关,即使是长白山,在冰川分布、期次等基本问题上也均无定论,而海拔较低的小兴安岭则一直沦为研究盲区。由此可见,东北三大山地到底有无第四纪冰川,规模如何界定,冰期如何划分,仍是悬而未决的问题。这不仅影响区域乃至全国冰川学研究的进展,而且也使东北第四纪环境的重建,尤其是对现代环境的科学认知缺乏可靠基础。

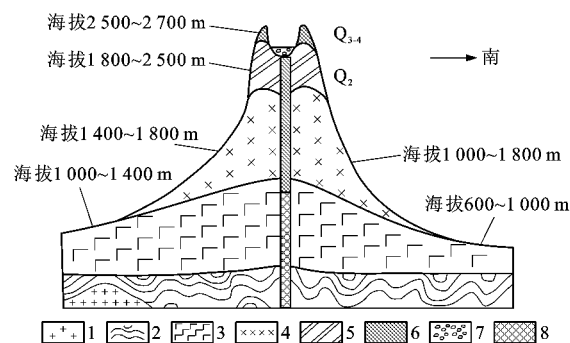
鉴于此,笔者在厘定前人冰川遗迹并综合相关成果基础上,对大、小兴安岭古冰川进行了专项调查,并采取 3S 技术、深钻采样、孢粉、泥砾粒度与渗透性分析以及¹⁴C 定年等方法,在长白山及大兴安岭先后发现了新的冰川遗迹。此外,还在小兴安岭首次发现冰蚀岩墙等冰川遗迹,填补了区域空白。综合多方面的证据,笔者认定长白山与大兴安岭曾各发育 4 次第四纪山谷冰川,小兴安岭至少有 1 次山谷冰川,构建了区域第四纪冰川环境演化模式。

1 长白山冰川遗迹、冰期与环境

长白山是东北第四纪冰川研究较早也较深入的地区,然而也只有主峰白头山周围的末次冰川遗迹得到公认。较早时代遗迹的确认、冰期划分等,尚存较多问题。

1.1 晚更新世晚期晚冰阶遗迹与冰期

白头山是环天池(海拔 2 185 m)十六峰之统称,最高峰海拔 2 749.20 m(朝鲜一侧)。刘嘉麒等对其形成进行了系统研究^[12],孙广友等编制了发育模式(图 1)^[13]。



注:1—燕山期花岗岩;2—白垩系—侏罗系砂岩—页岩;3—军舰山玄武岩((2.60±0.29)Ma);4—南坪玄武岩((2.050 5±0.050 0)Ma);5—白头山组碱性粗面岩(Q_2 , (0.550±0.024)~(0.088±0.015)Ma);6—天文峰组粗面岩—黑曜岩(Q_{3-4} , 1 200~1 700 年);7—火山碎屑及火山弹;8—火山喉管熔岩;据文献[11]。

图 1 白头山结构模式

Fig. 1 Construction model of Baitou Mountains

20 世纪 30 年代,鹿野忠雄首先确认在十六峰内壁存在 3 个冰斗^[1];60 年代刘长安等创建了白头山冰期^[5];随后,孙广友等进行了火山与古冰川地貌分析^[13],刘忠杰测量了 5 个冰斗并命名,它们高约 450 m,深约 150 m,斗底高程约 2 185 m^[14];施雅风等在肯定这些遗迹的同时,又发现了冰斗侧碛,确定雪线为海拔 2 200~2 300 m^[10];张威等应用电子自旋共振法(ESR)获得其年龄为 11 ka^[15]。可见,其应属于末次冰期晚冰阶,白头山冰期得到确认。冰斗群下接簸箕型浅谷,故当时应是动能较强的海洋性冰川。

1.2 晚更新世晚期早冰阶遗迹与冰期

多学者在白头山北坡黑风口海拔 1 850 m 处发现冰蚀槽谷和终碛垄^[10,14],后者高出谷底约 15 m,

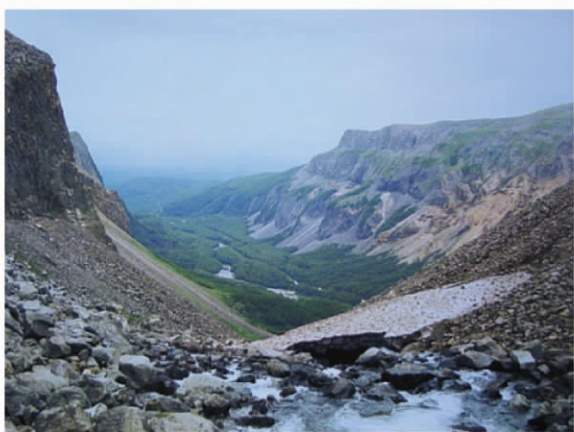
年龄为 20 ka,被称之为“口内口外模式”^[15],显然属于白头山冰期早冰阶。由此推测当时主峰所有坡面都必然堆覆冰雪、填满湖盆并通过外溢、下注保持物质平衡,确切地说,应是一种冰激凌式“冰帽溢出型山谷冰川”,世界上可能仅此一例。

1.3 晚更新世早期冰川遗迹与冰期

据刘长安等报道,此期遗迹在鸭绿江河谷二道岗以“U”型谷、终碛垄、冰碛泥砾及古冰斗等多种形态出现,海拔高度为 1 260~1 750 m,定名为二道冰期。但遗迹缺少年代数据,暂根据地貌对比确定为晚更新世早期^[5-6]。

1.4 中更新世早期冰川遗迹与冰期

此期冰川遗迹位置更低,出现在海拔 1 400~1 800 m,分为地面与埋藏两类。在二道白河源头东岸分布着典型的“U”型谷和终碛垄,厚度达 100 m^[14]。此段二道白河是相当完美的冰蚀“U”型谷(图 2)。该谷镶入白头山组粗面岩,上宽约 1 500 m,底宽约 500 m,深约 200 m。谷壁虽然出现三级寒冻风化陡坎,但宏观轮廓仍是规模巨大而典型的“U”形。经考察其并非地堑构造,而谷中的二道白河是宽仅约 5 m 的溪流,不可能塑造如此巨大的槽谷,故应是冰川自高位下注、强烈侵蚀所成^[16]。



注:位于松花江源流;近处为天池出口。

图 2 长白山二道白河“U”型谷

Fig. 2 “U” valley of Erdaobai River in Changbai Mountains

笔者所发现之埋藏冰蚀槽谷典型段见于白山林场以上 18 km 处(海拔 1 400~1 800 m)的“骆驼峰峡谷”(图 3)。谷地平直或微弯,两壁陡立,深 50~70 m,宽 100~150 m,出露具 8 个水平层理的全新世煤渣状火山灰。流水将其侵蚀成“V”型谷,陡壁因冲蚀和坍塌,宛若驼峰,当地称为“骆驼峰”峡谷,而今为旅游开发改称为锦江大峡谷。调查发现,在“V”型谷的交汇处露出广坪期玄武岩谷肩。断面恢



图 3 火山灰“V”型谷下掩埋的冰川槽谷

Fig. 3 Glacier valley covered with “V” valley formed by volcano ash

复,它是一个规模巨大的深槽“U”型谷^[13],基岩年龄为 $(0.75 \pm 0.86) \text{ Ma}$ ^[12]。

因为埋藏“U”型谷地处河源高位,当广坪期玄武岩大范围喷溢并形成台地后,细小源流不可能在其上形成大型槽谷。后期白头山期粗面岩是火山锥体的建造者,其分布限于海拔 1 800 m 以上,不能将其掩覆,可见它只能是冰川作用的结果。这种经历了火山-流水改造的冰川谷^[16],在中国乃至世界上亦属独特地貌类型。

考虑到 2 类冰蚀槽谷位于前所述遗迹的下部,相对将其定为中更新世早期大冰期的遗迹。有学者指出鸭绿江 4 级阶地上存有中更新世冰期的泥砾(布老克冰碛)^[6],但无年龄数据,权且归之。关于冰川规模,白头山和望天鹅两大主峰区可能连结成统一冰帽,驱动放射状冰川沿山谷下注。因此,其类型应为“复合冰帽山谷冰川”。

1.5 早更新世早期冰川遗迹与冰期

前人在望天鹅海拔 1 450~1 500 m 的四栋房发现厚达 3 m 的冰川泥砾层,因湿热风化而呈暗红色,砾石见有磨光面和擦痕。下伏准平原化的军舰山期玄武岩,上覆砂砾冲积层,再上为晚期玄武岩^[14]。可见层位和时代确切,名为四栋房冰期。考虑四栋房现已无存,本次重新命名为望天鹅冰期。

2 大兴安岭北部冰川遗迹与冰期

本区第四纪冰川歧义较大。严钦尚等得出肯定性结论^[2-4],施雅风等认为缺乏第四纪冰川发育的条件^[10,17-19]。笔者调查后趋于肯定的结论。

2.1 冰窖

位于河源或高位坡面的凹槽地形,有人谓冰窖^[2-4],也有认为是雪蚀洼地^[20]。笔者认为仅高位坡面上大且较深的洼槽才属于冰窖。如大兴安岭顶

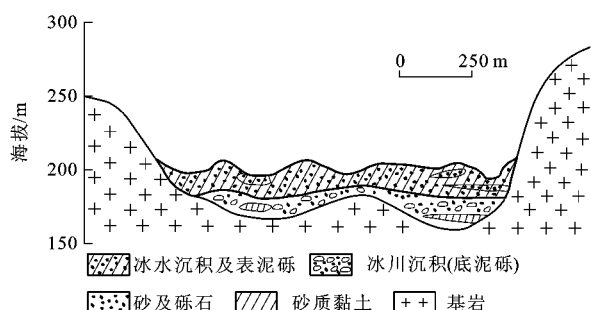
兴安站海拔 1 000~1 200 m 处,排列 3 个大型洼地,宽 600 m,高 600~800 m,深 50~100 m。下接带三角面的槽谷(延长 3~5 km)。再考虑其位置在末次冰盛期雪线之上,视为此冰期冰窖是合理的。但将海拔 600 m 的浅凹地亦定为冰窖^[2-3],则难以成立。

2.2 冰蚀丘陵

前人将岛状丘定为冰蚀岛峰^[2-4]。笔者在伊图里河车站及根河上游谷地“鹰嘴崖”,均发现有冰溜面的猪背状山脊,应是双侧冰流作用所成,尖灭于谷口汇合处,为典型冰蚀丘陵。

2.3 冰蚀谷

宽阔平直的冰蚀“U”型谷在大兴安岭北部极为普遍。本次遥感解译发现,这类宽谷贯通于河源至下游,长百余千米,无交错山嘴。坡脚平直三角面延长可达数千米,确不宜以流水过程解释。前人指出根河、雅鲁河、洮儿河等谷地都属于冰蚀谷^[2-5]。杨怀仁确定诺敏河大脑袋山谷地是一个典型冰蚀槽谷(图 4),宽与深之比(R)为 20:1;为世界山谷冰川所罕见。



注:据杨怀仁原图简绘^[3]。

图 4 诺敏河大脑袋山谷冰川沉积剖面

Fig. 4 Glacier deposition profile in Danaodai Mountain valley of Nuomin River^[2]

笔者运用钻探、遥感测绘等多种方法,在根河上游段发现了配套性冰川侵蚀-堆积遗迹。该谷宽 850 m,深 150 m, R 为 5.6。谷底沼泽率达 100%,谷中沼泽性河流宽仅 3.5 m,显然不是宽谷塑造的主要动力。左岸猪背状山脊(海拔 960 m)上有一名为“鹰嘴崖”的断崖,为石英质凝灰岩。岩面长约 25 m,高 5~15 m,保留有冰流面。崖的塔形巨石有水平扭动现象。综合这些特征,显然以冰川作用解释最宜。遥感解译得出宽谷面积系数(S)为 0.26,表明当时山谷冰川的覆盖度较大。

2.4 冰川泥砾

2.4.1 地层结构与岩性

在根河上游支谷潮查河谷地完成 8 个基岩深孔,

均见泥砾。其中在冻土生态站共布置 5 个孔,以孔深 550 cm 的 3 号孔为代表,对地层进行了解析(表 1)。

表 1 根河上游潮查河宽谷 3 号孔岩芯记录

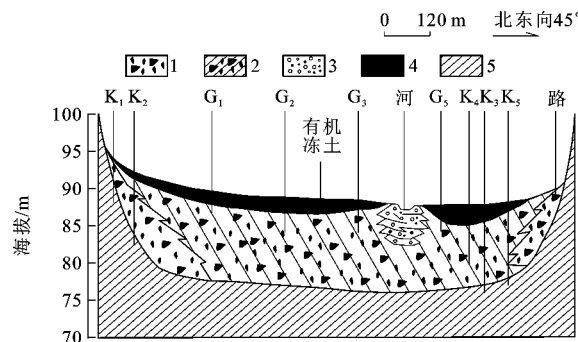
Tab. 1 Core record of No. 3 drilling in the dale of Chaocha River which was in the upper reaches of Gen River

层序	岩芯深度/cm	岩性	特征描述
	0~43	根系层	褐黑色,草根层高含水,正在发育苔草-油桦沼泽
1	43~50	泥炭层	棕褐色,疏松,高含冰
2	50~90	黏泥	锈黄色,灰黄色,高含冰
3	90~140	泥与砾石	棕黄色,砾石大小不一,大者 10 cm×20 cm,磨圆低,含冰
4	140~170	泥炭层	棕褐色,疏松,高含冰
5	170~240	泥与砾石	黏泥与砾石胶结,棕黄色,砾石磨圆低,含冰,干时异常坚韧
6	240~260	泥炭层	棕褐色,较紧实,高含冰
7	260~500	泥与砾石	黏泥与砾石胶结,棕黄色,砾石磨圆低,含冰干时异常坚韧
8	500~550	基岩岩块	灰白色,坚硬,底部为岩柱

同时,借助于 1:5 000 大比例尺测绘,编制了谷地断面图(图 5)。谷地为典型的“U”形,具有地表为泥炭、下部为泥砾、底部为基岩的三元结构。泥砾结构可排除冲洪积成因;坡麓基岩裸露,无坡积群则可排除坡积;谷底坡度横向小于 7°,纵向小于 3°,不具备泥石流启动的沟床条件。这样,最有可能的只能是冰川堆积。

2.4.2 粒度分析

对 3 号孔沉积物进行了粒度分析(表 2)。将样品中粒径大于 2.0 mm 的砾石分离并进行计算,砾石占样品总质量的 45%。岩芯中见到直径等于钻孔内径(8 cm)的块砾,可知多大或巨砾。小于 2.0 mm 粒级复杂,其中大于 0.05 mm 的粉-黏粒含



注:1—坡积角砾;2—冰川泥砾;3—冲积沙砾;4—泥炭;5—基岩(火山岩);K₁~K₅ 为钻孔编号;G₁~G₃ 为观察孔编号。

图 5 根河上游潮查河冻土定位站“U”型宽谷结构

Fig. 5 “U” dale structure in the frozen soil location of Chaocha River which was in the upper reaches of Gen River

量(质量分数)最高,为 52.94%。可见,这组沉积属于混杂堆积。综上所述,既然不存在泥石流产物的可能性,则属冰碛无疑。

2.4.3 泥砾渗透试验

选取 3、4 号孔原状泥砾样品风干称重后,经 148 h 渗透试验,透水率为零,说明该泥砾基本属于

不透水物质,符合冰川泥砾的弱或不透水特性。

2.4.4 孢粉分析

孢粉分析表明,下部泥砾层花粉明显少于中上部(表 3)。最具代表性的松孢子花粉体积分数仅为 3.0%,而全孔平均值为 10.85%,与泥炭层则相差 8 倍多,说明冰期气候使松的发育受到抑制。

表 2 潮查河宽谷 3 号孔沉积物含量分析

Tab. 2 Contents of deposition of No. 3 drilling in the dale of Chaocha River

样品深度/ cm	不同粒径(mm)的砂含量/%					不同粒径(mm)的粉砂含量/%			不同粒径(mm)的黏土含量/%			粉砂与 黏土 总含量
	2.0~ 1.0	1.00~ 0.50	0.50~ 0.25	0.25~ 0.10	0.10~ 0.05	0.05~ 0.01	0.01~ 0.005	总计	0.005~ 0.001	<0.001	总计	
50~90	0.00	2.23	5.27	10.99	7.50	18.50	8.14	26.64	3.22	44.15	47.37	70.09
90~140	22.73	12.02	9.07	8.74	5.90	19.13	2.07	21.20	1.78	18.58	20.43	41.63
150~155	0.00	0.59	4.57	10.58	8.71	35.51	3.02	38.53	4.53	32.49	37.02	75.55
165~170	0.00	1.48	3.85	8.41	6.50	26.53	3.27	39.80	6.09	43.87	49.96	89.76
170~180	23.86	9.07	10.70	10.51	6.88	16.64	3.70	20.34	4.44	14.20	18.64	38.98
220~230	0.00	2.76	5.51	11.73	9.33	28.97	4.24	33.21	1.41	36.04	37.45	70.66
230~240	18.31	7.03	6.93	8.37	6.52	10.68	7.10	17.78	2.02	33.05	35.07	52.85
330~350	19.87	22.70	17.51	6.43	2.79	13.22	2.59	15.81	2.29	12.61	14.90	30.71
370~420	12.74	18.05	17.07	12.96	6.79	10.95	4.93	15.88	2.46	14.04	16.70	32.58
420~500	16.63	16.84	14.74	11.15	6.66	9.57	8.12	17.69	3.48	12.83	16.31	33.99
500~550	14.84	9.23	9.05	8.33	5.61	4.24	10.59	14.83	4.76	33.35	38.11	52.94

表 3 根河宽谷 3 号孔沉积物孢子花粉分析

Tab. 3 Spore and pollen analysis on the deposition of No. 3 drilling in the dale of Gen River

编号	深度/cm	岩性描述	代表性植物花粉体积分数/%				
			草本	木本	松属	云杉+冷杉	桦属
1~4	0~34	根系层,苔草草丘,丘上有油桦	68.88	30.88	5.31	0.00	9.58
5~18	43~260	泥炭层,黄褐色,疏松,有小夹层	86.69	37.62	24.23	0.42	5.71
19~22	260~500	泥砾层,棕黄色,黏土与砾石胶结	51.50	12.66	3.00	0.16	6.02

2.4.5 年龄测定

底部泥砾层虽无年龄数据,但已获得其上复泥炭层的¹⁴C 年龄为 4 700 年,而下伏泥砾又不具备剥蚀环境,不应有地层缺失。说明泥砾堆积后,直到全新世大暖期沼泽才得到发育。由此可间接推定该泥砾层属于末次盛冰期所沉积。

2.5 冰水堆积

2.5.1 早期冰水沉积

据大庆 7901 号等孔揭露,第三系粉砂岩之上有灰白色砂砾层,埋深为 72~80 m,以席状体展布于平原西部,岩矿、孢粉等分析都证明其属于下更新统冰水沉积,并以白土山组编入东北区域地层表^[21-23],古地磁年龄为 1.87~2.48 Ma^[24]。笔者分析这组沉积来自大兴安岭东坡的多条顺向河,应与大脑袋山下泥砾层同时异相,指示山地冰期环境。

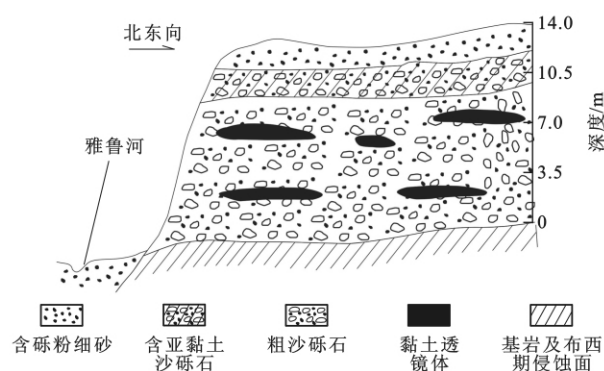
2.5.2 晚期冰水沉积

另一类沉积也曾被称为白土山组的灰白色砂砾层,出现在山麓谷口,构成高约 20 m 的台地(图 6),属于中更新世大冰期的冰水沉积^[2]。但有学者以结构上为流水相,孢粉中出现蒿-菊-藜来质疑冰期的存在^[19]。冰水与正常流水沉积在相结构上并无本质区别^[25],而蒿-菊-藜组合代表冷干气候,公认为冰期环境的植被标志^[26-29]。可见,将该地层归于新冰水沉积是合理的。其年龄为(0.81±0.04)~(0.85±0.13) Ma^[24],为中新世早期。

2.6 冰期序列与环境

2.6.1 冰期序列与环境演变

综合构造运动、地貌演化、生物地层学及测年数据等成果,将冰期环境归纳为表 4。第四纪初兴安面升至海拔近 1 000 m,松嫩平原出现蒿-菊-藜冰缘



注:据文献[24]绘制。

图 6 雅鲁河西白土山组冰水沉积剖面

Fig. 6 Ice-water deposition profile of the Xibaitushan Formation in Yalu River

草原,年均温较现今低 6.9°C ^[30-31],那么山地北部降温普遍为 $11.7^{\circ}\text{C}\sim 14.7^{\circ}\text{C}$,为冰川发育提供了条件。早更新世中后期地壳相对稳定,气候温凉一半湿润,为间冰期环境。中更新世初再次出现荒漠草原,气候再转干冷,气温降幅 $5.5^{\circ}\text{C}\sim 10.5^{\circ}\text{C}$ ^[30-31],为发育更强的山地冰川创造了条件,与世界大冰期环境变化基本吻合。中更新世后期温和半湿润,为间冰期特征。晚更新世早期山地抬升与气候转冷耦合,又有冰川流行。之后又迎来温凉半湿润的间冰期气候。晚更新世晚期山前平原的“冰滑构造”^[32-34],猛犸象-披毛犀动物群及冰缘植被都表征干冷环境,山地出现末次冰期。

2.6.2 纬度降温效应与雪线

施雅风研究确定白头山末次冰盛期雪线为海拔

2 200~2 300 m 是一项重要成果,但若以此推定中国东部海拔低于此值者皆无末次盛冰期冰川,则可能导致误判^[27]。因为大兴安岭整体海拔为 600~1 000 m,其北部根河纬度($>50^{\circ}\text{N}$)已较白头山(34°N)高 8° ,至伊勒呼里山则高 11° 。借鉴西部平衡线与纬度的转换系数(每纬度对应 152.4 m)^[27],计算结果表明,根河附近同期的雪线高度应为 935.8 m,至伊勒呼里山则应更低。而大兴安岭北部区有约 10% 的面积在海拔 935.8 m 以上,大于 1 000 m 主轴形成连续岭脊,海拔 1 500 m 左右的山峰 15 座,其中白蛤蚧山与奥克里堆山等均有现代苔原^[35-36]。奥克里堆山顶的越年雪斑直至 20 世纪 80 年代末才同白头山顶的雪斑同期消失。这样,本区发育末次冰川不仅不违背雪线格局,反而得到其支持。雪线以上的空间高度可达 600 m 左右,发育冰川是有条件的。基于同理,施雅风的末次盛冰期雪线高度图中^[27],关于东北地区的雪线高度走向便值得商榷。2 500 m 线平行于纬度横切松嫩平原与大兴安岭,2 000 m 线纵穿三江平原与小兴安岭,均有悖于地形-气候机制,以致读后必然产生东北地区除长白山主峰区外皆无末次盛冰期冰川的错觉。

3 小兴安岭冰川遗迹、冰期与环境

3.1 冰蚀槽谷及遗迹组合

3.1.1 冰碛与冰擦痕

小兴安岭主峰平顶山海拔 1 420 m,主谷长 15 km,平直较陡,谷口宽 2.5 km,向上游收窄,坡度约 20° 。

表 4 大兴安岭—松嫩平原西部第四纪环境综合模式

Tab. 4 Synthesized model of Quaternary environment of Da Hinggan Mountains-Western Songnen Plain

时代	构造运动及环境效应	平原植被及环境	平原气候环境及低于现今气温值	冰期及地层
晚更新世	Qp ₃ ³ 山地缓慢抬升,平原缓慢沉降并补偿沉积	蒿-藜禾草荒漠(冰缘草原),猛犸象	干冷, $-5.5^{\circ}\text{C}\sim 8.2^{\circ}\text{C}$,预示山地冰川流行	根河冰期,泥砾层,顾乡屯组上部黄土
	Qp ₃ ² 山地缓慢抬升,平原缓慢沉降	暗针叶林,松桦林及草原	温凉半湿润, -5.5°C	间冰期,顾乡屯组中部河流砂砾层
	Qp ₃ ¹ 山地抬升,平原沉降	蒿-藜荒漠,冰缘草原	干冷, -6.9°C ,预示山地冰川流行	洮尔河冰期,顾乡屯组下部砾石层
中更新世	Qp ₂ ³ 松嫩第 2 次大湖及沉积山地缓慢抬升,松嫩外流水系形成	阔叶疏林,草原	温和半湿润,高于现今气温	间冰期,平台组顶部有红色风化壳
	Qp ₂ ² 山地抬升,布西面抬高松嫩第 2 次大湖 ^[28]	暗针叶林,阔叶疏林,草甸草原	温冷半湿润,与现今气温相近	间冰期河湖沉积
	Qp ₂ ¹ 山地稳定,山麓布西面接受新白土山冰水沉积	南部干草原,北部荒漠,冰缘草原	干冷,预示山地冰川流行	雅鲁河冰期,新白土山冰水层
早更新世	Qp ₁ ³ 山地稳定,布西面形成大湖沉积	阔叶疏林草原	温和半湿,较现今气温高	间冰期,白土山组风化壳
	Qp ₁ ² 缓慢抬升松嫩第 1 次大湖 ^[28-29]	桦林草原	温凉半干旱,接近现今气温	间冰期,冲积层
	Qp ₁ ¹ 山地抬升,冰川流行平原沉降老白土山冰水沉积	蒿-藜荒漠冰缘草原	冷干, -6.9°C ,预示山地冰川流行	诺敏河冰期,泥砾,白土山组冰水砂砾

注:地层据文献[22];植被与气候据文献[30-33]。

从海拔 700 m 向上,谷的中央出现混杂岩块组成的高脊,高 3~5 m,独立于两侧谷坡,西侧有宽仅 1.5 m 的溪流。高脊中常见数立方米的巨石,棱角鲜明(图 7),说明该脊状物既不可能是小溪搬运而来,也不是残坡积或泥石流所成。原地寒冻风化应是有“根”(基岩)的碎屑物,而该脊状堆积皆由岩块组成,故不应属于原地寒冻风化生成物。那么,该脊状物应是中碛堤。

在海拔 750 m 处,谷的东侧壁呈现花岗岩质岩墙,一直绵延到海拔 1 300 m 处。在海拔 800 m 处的岩墙巨石上发现冰擦痕(图 7),它们由数条平行的浅凹槽组成。花岗岩质地均匀,排除了差别风化所成的可能。擦痕呈逆坡向,也排除了泥石流形成的可能性。笔者认为只有冰川在前进中受阻而发生上拱,所携岩石与岩壁反复摩擦,才能形成这种逆坡向凹槽状擦痕。那么,这道岩墙自然属于冰蚀岩墙。岩墙与中碛堤向上则为植被固定的石海(图 7)。

3.1.2 冰蚀岩墙

在 1 005~1 168 m 高度,笔者发现脊部岩墙水平解理十分规整,岩脚平整干净,宛若人砌(图 7);若为风化岩墙,墙脚必堆块砾。笔者认为这是山谷

冰川所为并出现特有的“清根现象”:近山顶冰川谷较窄而冰碛物较少。冰体满谷下注,下、侧蚀动力强大。冰川消退,便留下根部干净的岩墙。平顶山海拔 1 300 m 以上为兴安落叶松-岳桦林-偃松及草甸群落,属于亚苔原环境。受高度所限,无晚更新世冰川活动。因此,冰蚀岩墙只能是中更新世大冰期的产物。

3.2 冰川发育环境

三江平原是小兴安岭的相关沉积区,据沉积物信息建立了第四纪环境变化模式,借以推定后者的环境变化(表 5)。

平均海拔小于 80 m 的三江平原进入第四纪后,于早、中更新世早期及晚更新世早、晚期出现 4 次冷干或冷偏湿气候,期间重复出现有机物含量甚低的灰白色砂砾层,明确显示冰水沉积特征,应是物源区小兴安岭发生冰缘或冰川的证据。

小兴安岭最高峰平顶山海拔 1 420 m,较白头山纬度高 5°,按前述方法计算,晚更新世的雪线高度为 1 438 m,高出峰顶 9 m,故应是冰缘环境。中更新世早期气候干寒,伴随全球性大冰期的到来,雪线大幅度降低,小兴安岭主峰区发育冰川应无问题。

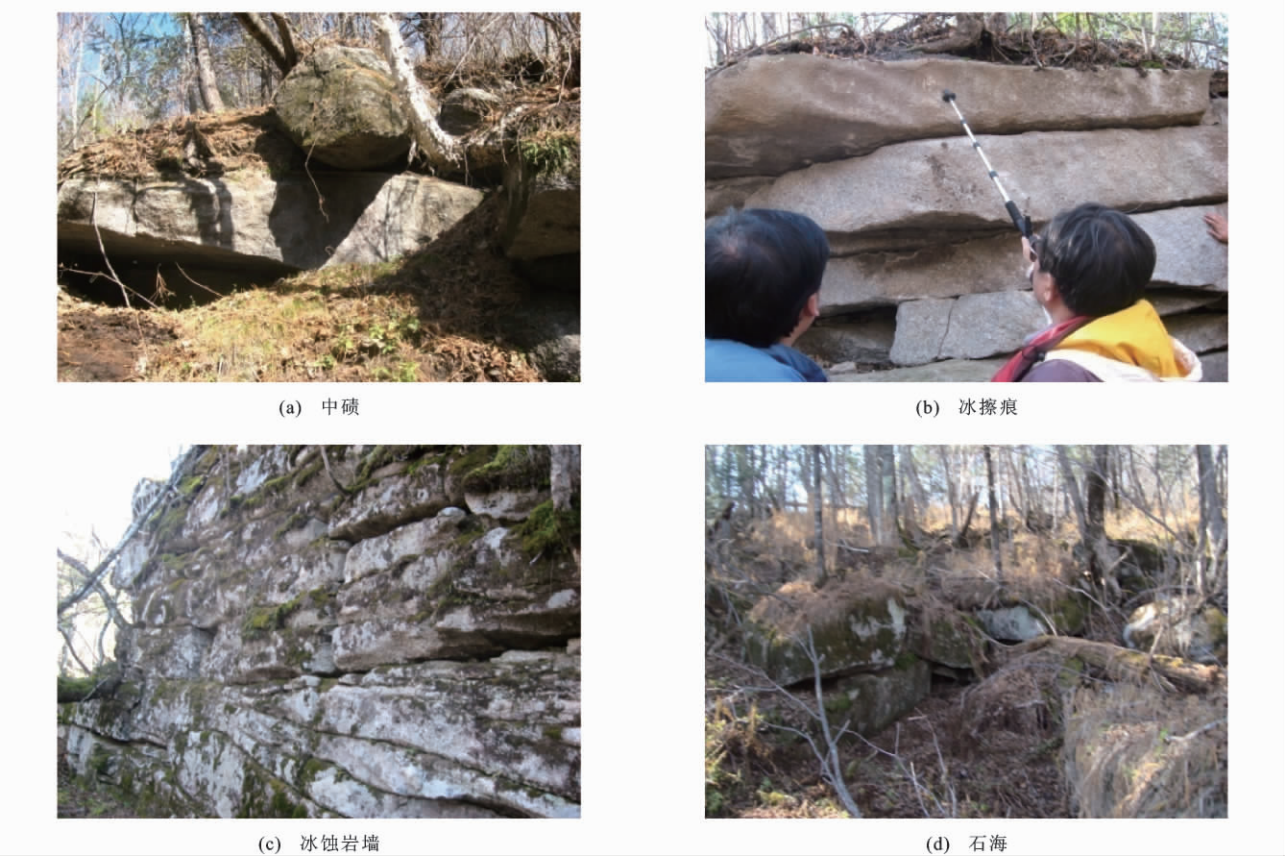


图 7 小兴安岭主峰平顶山冰川谷若干遗迹

Fig. 7 Glacial remains of Pingding Mountain which was the main peak of Xiao Hinggan Mountains

表 5 三江平原第四纪环境变化综合分析

Tab. 5 Synthesized analysis of the Quaternary environment change in Sanjiang Plain

时代	地层	重矿物及黏土矿物组合	微量元素	植被	气候	地壳运动
晚更新世	Qp ₃ ³	角闪石、绿帘石、石榴石、锆英石组成的非稳定矿物,伊利石组合	Cu、V、Ba、Sr、Ti、Mn、Ca 富集,Co、Ni 失散	近冰缘性灌丛松桦混交林	冷干	继续沉降,末期回升
	Qp ₃ ²			松榛灌丛	暖湿	继续沉降
	Qp ₃ ¹			松杉暗针叶林	冷稍湿	明显沉降
中更新世	Qp ₂ ²	角闪石、绿帘石等非稳定矿物,蒙脱石-伊利石组合	V、Ba、Sr、Ti 富集,Cu、Ni、Co、Mn、Ca 失散	针阔混交林的松桦(含云杉)森林草原	暖湿(温带)	前期沉降,末期小量回升
	Qp ₂ ¹				冷偏湿预示山地冰川	明显沉降
早更新世	Qp ₁ ²	角闪石、绿帘石等非稳定矿物,高岭石-蒙脱石组合	Cu、V、Ba、Sr、Ti、Mn、Ca 富集,Co、Ni 失散	针阔混交林松桦(含云杉)森林草原	暖湿(温带)	前期沉降后期缓慢沉降,沉降末期火山喷发
	Qp ₁ ¹				冷干,预示山地冰川	

注:据文献[36-40];矿物分析由赵谷华等完成。

4 冰期划分与环境演变模式

环境差异影响冰期组合:长白山海拔高,降水丰富,发育了 4 次冰期;大兴安岭北部纬度高,湿润,发育 4 次冰期。小兴安岭高度较低,虽较湿润,只确认 1 次冰期(表 6)。大兴安岭南段目前虽有遗迹报道^[41],但未见古环境分析。

5 结 语

在前人研究基础上,笔者在大、小兴安岭及长白山分别获得冰川遗迹的重要发现,填补了小兴安岭的空白,证明三个山地都发育了第四纪冰川。

(1)在冰川模式上,三大山地显示出地区差异:长白山主峰区在晚冰盛期曾发育有“冰帽溢出型山

谷冰川”,大冰期为“复合冰帽溢出型山谷冰川”。大兴安岭主要发育宽体山谷冰川及冰帽冰川。小兴安岭则仅在主峰发育山谷冰川。

(2)在冰川期次上,长白山和大兴安岭在更新世有 4 次冰期和 3 次间冰期;小兴安岭初步肯定在中更新世 1 次冰期。它们的更早冰期尚无资料。本文冰期序列与国际具有可比性。

(3)在环境恢复上,依据地层、矿物、孢粉分析等手段,初步构建了第四纪冰川古植被与环境演化模式。但许多问题有待深入探讨,如大兴安岭北段兴安和布西两期夷平面对第四纪冰川形态的控制、全新世新冰期发育及其对现代多年冻土的影响。大兴安岭南段第四纪冰川遗迹尚需进行综合研究。小兴安岭第四纪冰川研究仅为开端,有待进一步探索。

表 6 东北地区第四纪冰期及其与国际对比

Tab. 6 Quaternary glacier periods in Northeast China and the comparison with international

时代		大兴安岭 ^①		小兴安岭 ^②		长白山 ^③		国际对比
		冰期或间冰期	生成物	冰期或间冰期	生成物	冰期或间冰期	生成物	冰期或间冰期
晚更新世	Qp ₃ ³	根河冰期	根河冰蚀 U 型谷泥砾	冰缘期	平顶山石海	白头山冰期	白头山顶冰斗群、冰碛	玉木冰期
	Qp ₃ ²	间冰期	冲洪积物	间冰缘期	冲洪积物	间冰期	冲洪积物	间冰期
	Qp ₃ ¹	淖尔河冰期	高阶地泥砾	冰缘期	平顶山坡面石河	鸭绿江冰期	二道岗冰蚀槽谷、冰碛	里斯冰期
中更新世	Qp ₂ ²	间冰期	冲积层	间冰期	冲洪积物	间冰期	流水堆积	间冰期
	Qp ₁ ²	雅鲁河冰期	龙江白土山冰水砂砾层	平顶山冰期	平顶山冰蚀槽谷 冰碛	锦江冰期	河源冰蚀槽谷冰碛	民德冰期
早更新世	Qp ₁ ²	间冰期	冰水砂砾层风化石			间冰碛	河谷冲积层	间冰期
	Qp ₁ ¹	诺敏河冰期	大脑袋山槽谷泥砾及下白土山组砂砾层			望天鹅冰期	望天鹅冰碛	群智冰期
	更早							多脑拜冰期

注:①依严钦尚等分别在 4 个河谷首先发现冰川遗迹定名^[2-4];②依孙广友等在平顶山发现冰川遗迹定名;③依刘长安等创用白头山冰期,依孙建中创建二道岗冰期改称为鸭绿江冰期,依孙广友首先发现锦江冰蚀谷定名为锦江冰期;依刘长安等创建四栋房冰碛改称为望天鹅冰期^[5-6];大兴安岭生成物地层部分据文献^[21-24]。

谨以此文纪念恩师著名地貌学家丁锡祉教授(1916~2008)。¹⁴C 年龄由中国科学院地质与地球物理研究所放射性实验室测定;孢子花粉由吉林大学张淑芹教授分析;粒度分析由中国科学院东北地理与农业生态研究所测试中心完成。高润红讲师,于少鹏、姚允龙、闫修民博士研究生以及林琳硕士研究生等参加了部分考察,谨此一并致谢。

参考文献:

References:

- [1] 鹿野忠雄. 朝鲜东北部山地的冰河地形[J]. 地理学评论, 1937, 13: 1126-1145.
TADAO Kano. North Korea's northeast mountain glacier landform[J]. Geography Comment, 1937, 13: 1126-1145. (in Chinese)
- [2] 严钦尚. 大兴安岭附近的冰川地形[J]. 地质学报, 1952, 32(1): 1-15.
YAN Qin-shang. The glacier landform in Da Hinggan Mountains[J]. Journal of Geology, 1952, 32(1): 1-15. (in Chinese)
- [3] 杨怀仁. 诺敏河流域的冰川地形[J]. 南京大学学报, 1955(1): 95-120.
YANG Huai-ren. The glacier landform in the Nuomin River Basin[J]. Journal of Nanjing University, 1955(1): 95-120. (in Chinese)
- [4] 俞建章, 谢宇平, 刘 翰. 大兴安岭的第四纪冰川[C]//中国第四纪冰川遗迹调查组. 中国第四纪冰川遗迹研究文集. 北京: 科学出版社, 1964: 85-100.
YU Jian-zhang, XIE Yu-ping, LIU Han. Quaternary glacial of Da Hinggan Mountains[C]//The Study Group of Quaternary Glacial Relic in China. The Symposium on Quaternary Glacial Relic. Beijing: Science Press, 1964: 85-100. (in Chinese)
- [5] 刘长安, 傅景惠, 聂景春. 白头山一带第四纪冰川遗迹[R]. 长春: 吉林省地质局, 1963.
LIU Chang-an, FU Jing-hui, NIE Jing-chun. Quaternary glacial relic around Baitou Mountains[R]. Changchun: Geology Bureau of Jilin Province, 1963. (in Chinese)
- [6] 孙建中. 吉林省第四纪冰期的划分[J]. 地质学报, 1982, 56(2): 174-186.
SUN Jian-zhong. The Quaternary glacial period division of Jilin Province[J]. Acta Geologica Sinica, 1982, 56(2): 174-186. (in Chinese)
- [7] 孙建中, 王淑英, 王雨灼, 等. 东北末次冰期的古环境[J]. 中国第四纪研究, 1985, 6(1): 82-89.
SUN Jian-zhong, WANG Shu-ying, WANG Yu-zhuo et al. The paleoenvironment of the Last Glaciation of Northeast China[J]. Chinese Quaternary Research, 1985, 6(1): 82-89. (in Chinese)
- [8] 裘善文. 长白山古冰川、冰缘地貌的研究[J]. 第四纪研究, 1990, 10(2): 137-145.
QIU Shan-wen. A study on the Paleo-glacial and periglacial landforms in Changbai Mountains[J]. Quaternary Sciences, 1990, 10(2): 137-145. (in Chinese)
- [9] 肖荣寰, 胡俭彬. 东北地貌的区域分异[C]//中国地理学会地貌与第四纪专业委员会. 地貌及第四纪研究进展. 北京: 科学出版社, 1991: 267.
XIAO Rong-huan, HU Jian-bin. The region differentiation of landforms in Northeast China[C]//Committees of Landform and Quaternary of Chinese Geographical Society. The Development of Geomorphology and Quaternary Research. Beijing: Science Press, 1991: 267. (in Chinese)
- [10] 施雅风, 崔之久, 李吉均, 等. 中国东部第四纪冰川与环境问题[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
SHI Ya-feng, CUI Zhi-jiu, LI Ji-jun, et al. The questions of Quaternary glacial and environment in East China[M]. Beijing: Science Press, 1989. (in Chinese)
- [11] 李吉均. 中国第四纪冰川研究的展望[C]//中国地理学会冰川冻土分会, 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 第四届全国冰川冻土学术会议论文选集. 北京: 科学出版社, 1990: 9-14.
LI Ji-jun. The outlook on the Quaternary glacial research of China[C]//Committees of Glacial Frozen Soil of Chinese Geographical Society, Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology of Chinese Academy of Sciences. The Symposium for the 4th Glacial and Frozen Soil Conference. Beijing: Science Press, 1990: 9-14. (in Chinese)
- [12] 刘嘉麒, 王松山. 长白山火山与天池的形成时代[J]. 科学通报, 1982, 27(21): 1312-1315.
LIU Jia-qi, WANG Song-shan. The formation age of the Changbai Mountains volcano and Tianchi Lake[J]. Chinese Science Bulletin, 1982, 27(21): 1312-1315. (in Chinese)
- [13] 孙广友, 富德义, 宋海远, 等. 长白山火山期、玄武岩建造及火山地貌的形成[C]//宋海远. 长白山火山研究. 延边: 延边大学出版社, 1990: 12-27.
SUN Guang-you, FU De-yi, SONG Hai-yuan, et al. The study on volcano epoch and basalt and volcano landform[C]//SONG Hai-yuan. The Study on Volcano of Changbai Mountains. Yanbian: Yanbian University Press, 1990: 12-27. (in Chinese)
- [14] 刘忠杰. 白头山地区地貌特征及其营力作用[C]//宋海远. 长白山火山研究. 延边: 延边大学出版社, 1990: 104-119.
LIU Zhong-jie. Landform and effect of the Baitou Mountains[C]//SONG Hai-yuan. The Study on Volcano of Changbai Mountains. Yanbian: Yanbian University Press, 1990: 104-119. (in Chinese)
- [15] 张 威, 牛云博, 闫 玲, 等. 吉林长白山地晚更新世冰川作用[J]. 科学通报, 2008, 53(15): 1825-1834.
ZHANG Wei, NIU Yun-bo, YAN Ling, et al. The Late Pleistocene glacier in the Changbai Mountains of Jilin Province[J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(15): 1825-1834. (in Chinese)
- [16] 孙广友. 鸭绿江上游河谷地貌结构与发育史的初步探讨[C]//宋海远. 长白山火山研究. 延边: 延边大学出版社, 1990: 94-95.
SUN Guang-you. A preliminary research on the landform con-

- struction and evolution of the valley upstream of Yalujiang River[C]//SONG Hai-yuan. The Study on Volcano of Changbai Mountains. Yanbian: Yanbian University Press, 1990:94-95. (in Chinese)
- [17] 周廷儒. 中国第四纪古地理环境的分异[J]. 地理科学, 1983, 3(3):191-206.
- ZHOU Ting-ru. Environment differentiation of the Quaternary geographical in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 1983, 3(3):191-206. (in Chinese)
- [18] 施雅风, 崔之久, 李吉均, 等. 中国冰川与环境[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- SHI Ya-feng, CUI Zhi-jiu, LI Ji-jun, et al. The glacial and environment in China[M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese)
- [19] 裘善文, 李风华. 东北“白土山冰期”沉积物成因与时代的研究[J]. 冰川冻土, 1985, 7(3):195-203.
- QIU Shan-wen, LI Feng-hua. A research on the formation and age of sediments of Baitushan Ice Age in Northeast China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1985, 7(3):195-203. (in Chinese)
- [20] 丁锡祉, 裘善文, 孙广友. 大兴安岭北部的冰缘现象[C]//中国地质学会第四纪冰川与第四纪地质专业委员会. 第四纪冰川与第四纪研究(3). 北京: 地质出版社, 1987:184-189.
- DING Xi-zhi, QIU Shan-wen, SUN Guang-you. The periglacial phenomenon in North Da Hinggan Mountains[C]//Committee of Quaternary Glacial and Geology of Geological Society of China. Quaternary Glacial and Geology (3). Beijing: Geology Publishing House, 1987:184-189. (in Chinese)
- [21] 缪振椽, 高振操, 初本君. 对白土山探底第四系的新认识[C]//中国第四纪研究会. 第三届全国第四纪学术会议论文集. 北京: 科学出版社, 1982:251-252.
- MIAO Zhen-chuan, GAO Zhen-cai, CHU Ben-jun. A new knowledge on Quaternary layers in Baitu Mountain[C]//Committee of Quaternary Glacial and Geology of Geological Society of China. The Symposium of the 3rd National Quaternary Conference. Beijing: Science Press, 1982:251-252. (in Chinese)
- [22] 吉林省区域地层表编写组. 东北区域地层表: 吉林省分册[M]. 北京: 地质出版社, 1978.
- The Group for Region Stratum of Jilin Province. Regional stratum table in Northeast China; Jilin volume[M]. Beijing: Geology Publishing House, 1978. (in Chinese)
- [23] 全国地层委员会. 中国的新生界[M]. 北京: 科学出版社, 1963.
- National Commission on Stratum. Cenozoic of China[M]. Beijing: Science Press, 1963. (in Chinese)
- [24] 缪振椽, 初本君, 高振操. 黑龙江省第四纪地层测年[J]. 地质论评, 1984, 30(4):357-364.
- MIAO Zhen-chuan, CHU Ben-jun, GAO Zhen-cai. The Quaternary stratum age of Heilongjiang Province[J]. Geological Review, 1984, 30(4):357-364. (in Chinese)
- [25] 列兹尼科夫 A II. 沉积岩相与建造[M]. 王述训译. 北京: 科学出版社, 1961.
- LIZINIKOV A II. Phase and construction of deposit rock [M]. Translated by WANG Shu-xun. Beijing: Science Press, 1961. (in Chinese)
- [26] 李文漪. 中国第四纪植被与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- LI Wen-yi. Quaternary vegetation and environment in China [M]. Beijing: Science Press, 1998. (in Chinese)
- [27] 施雅风. 中国冰川与环境: 现在、过去和将来[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- SHI Ya-feng. The glaciers and environment in China: present, past and future[M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese)
- [28] 斯米尔诺夫 A M. 东北平原地形与水文网的发育[J]. 中国第四纪研究, 1958, 1(2):159-162.
- SMINOV A M. The development of topography and hydrological networks of the Northeast Plain[J]. Chinese Quaternary Research, 1958, 1(2):159-162. (in Chinese)
- [29] 孙广友. 松辽平原中部第四纪地壳运动与平原发育——兼论松辽分水岭的形成[C]//东北平原第四纪自然环境形成与演化基金课题组. 东北平原第四纪自然环境形成与演化. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 1990:44-50.
- SUN Guang-you. Quaternary crustal movement and plain development in the middle of Songliao Plain—discussing the formation of Songliao watershed[C]//The Group of Quaternary Foundation and Natural Environment Evolution in Northeast Plain of China. Quaternary Foundation and Natural Environment Evolution in Northeast Plain of China. Harbin: Harbin Cartographic Press, 1990:44-50. (in Chinese)
- [30] 夏玉梅, 汪佩芳. 松嫩平原晚第三纪—更新世孢粉组合及古植被与古气候的研究[J]. 地理学报, 1987, 42(2):165-178.
- XIA Yu-mei, WANG Pei-fang. The paleobotany and paleoclimate in the Songnen Plain: a study on the Late Tertiary-Pleistocene spore pollen assemblages[J]. Acta Geographica Sinica, 1987, 42(2):165-178. (in Chinese)
- [31] 王曼华. 我国东北平原晚更新世晚期植物群与古气候指标初探[J]. 冰川冻土, 1987, 9(3):229-238.
- WANG Man-hua. Preliminary study of palaeovegetation and palaeoclimatic index in the later period of the Late Pleistocene in Northeast Plain of China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1987, 9(3):229-238. (in Chinese)
- [32] 孙建中, 张镇洪. 松辽第四纪[M]. 香港: 中国评论学术出版社, 2007.
- SUN Jian-zhong, ZHANG Zhen-hong. Quaternary of Songliao [M]. Hong Kong: Chinese Academic Commentary Press, 2007. (in Chinese)
- [33] 姜 鹏. 松嫩平原晚更新世猛犸象-披毛犀动物群与环境的初探[C]//东北平原第四纪自然环境形成与演化基金课题组. 东北平原第四纪自然环境形成与演化. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 1990:24-29.
- JIANG Peng. Study on the mammoth-woolly rhinoceros animal group and environment in the Late Pleistocene of the Songnen Plain[C]//The Group of Quaternary Foundation and Natural Environment Evolution in Northeast Plain of China.

- Quaternary Foundation and Natural Environment Evolution in Northeast Plain of China. Harbin: Harbin Cartographic Press, 1990: 24-29. (in Chinese)
- [34] 裴文中. 哈尔滨黄山及内蒙扎赉诺尔附近“冰滑”作用的初步研究[J]. 科学记录, 1957, 1(1): 5.
PEI Wen-zhong. The preliminary research on the “ice slip” in the Huangshan of Harbin and Zhalainuoer of Inner Mongolia [J]. Science Report, 1957, 1(1): 5. (in Chinese)
- [35] 邹春静, 徐文铎. 中国东北植被生态学研究中的焦点问题[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1711-1721.
ZOU Chun-jing, XU Wen-duo. Key problems in ecological research on vegetations in Northeast China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(10): 1711-1721. (in Chinese)
- [36] 观 微. 大兴安岭首次发现砾质偃松苔原[N]. 科学时报, 2009-09-15(4).
GUAN Wei. First discovered pinus pumila growelly tundra in Da Hinggan Mountains[N]. Science Times, 2009-09-15(4). (in Chinese)
- [37] 孙广友. 初论三江平原第四纪地壳运动[J]. 地理科学, 1983, 3(4): 353-360.
SUN Guang-you. A limited study for the earth crust movement of Quaternary in Sanjiang Plain[J]. Scientia Geographica Sinica, 1983, 3(4): 353-360. (in Chinese)
- [38] 孙广友. 三江平原地貌结构形成演化与合理开发的初步研究[C]//孙广友. 地理系统探微. 长春: 吉林科学技术出版社, 2008: 25-34.
SUN Guang-you. The preliminary research on the landform formation and evolution and reasonable development of Sanjiang Plain[C]//SUN Guang-you. The Small Seeing for Geography System. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 2008: 25-34. (in Chinese)
- [39] 夏玉梅, 汪佩芳. 三江平原新第三纪—更新世孢粉组合与古气候的探讨[C]//中国地质学会第四纪冰川与第四纪地质专业委员会. 第四纪冰川与第四纪地质论文集. 北京: 地质出版社, 1987: 151-168.
XIA Yu-mei, WANG Pei-fang. The pollen construction and paleoclimate of Late Pleistocene-Quaternary in Sanjiang Plain [C]//Committee of Quaternary Glacial and Geology of Geological Society of China. The Symposium on Quaternary Glacial and Geology. Beijing: Geology Publishing House, 1987: 151-168. (in Chinese)
- [40] 曾建平. 三江平原第四系划分及下限问题[J]. 中国第四纪研究, 1985, 6(1): 90-98.
ZENG Jian-ping. The lower limit of Quaternary in Sanjiang Plain[J]. Chinese Quaternary Research, 1985, 6(1): 90-98. (in Chinese)
- [41] 孙洪艳, 田明中, 武法东, 等. 大兴安岭南段克什克腾第四纪冰川遗迹的发现及其意义[J]. 地质学报, 2005, 79(4): 576.
SUN Hong-yan, TIAN Ming-zhong, WU Fa-dong, et al. The discovery of Quaternary glacial remains in Keshiketeng of Da Hinggan Mountains and its significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(4): 576. (in Chinese)

《成都理工大学学报(自然科学版)》征订启事

《成都理工大学学报(自然科学版)》创办于 1960 年,原名《成都地质学院学报》(1960~1993 年)、《成都理工学院学报》(1994~2002 年)。现今为双月刊,国内外公开发刊。本刊为中文核心期刊,并且被多种中外科技文摘期刊和数据库收录。

本刊主要栏目有:地质与矿产;油气地质与工程;水文与工程地质;核科学与工程;环境科学与工程;材料科学与工程;计算机科学与技术;地球探测与信息技术;数学与应用数学;化学与应用化学等。

欢迎广大作者踊跃投稿。

发行方式:邮局发行,全国各地邮局(所)均可办理订购(邮发代码:62-24)

编辑部地址:四川省成都市二仙桥东三路 1 号成都理工大学学报(自然科学版)编辑部

邮政编码:610059 电话号码:028-84078973 传真:028-84076298

E-mail: xuebaoz@cdut. edu. cn