

长江黄河源区多年冻土变化及其生态环境效应

杨建平, 赓建, 陈仁升, 沈永平

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 应用江河源区五站 1980- 1998 年 0 cm、5 cm、10 cm、15 cm、20 cm、40 cm 浅层地温资料、钻孔深层地温资料以及勘探资料, 详细分析了两大源区的冻土变化, 结果表明: 近 20 年来, 受气候变暖影响, 江河源区多年冻土总体上保存条件不利, 区域上呈退化趋势。岛状多年冻土和季节冻土区年均地温升高约 0.3~ 0.7 °C, 大片连续多年冻土区升幅较小, 为 0.1~ 0.4 °C。多年冻土上限以 2~ 10 cm/a 的速度加深。在黄河源多年冻土的边缘地带, 垂向上形成不衔接冻土和融化夹层, 多年冻土分布下界上升 50~ 70 m。冻土退化已对江河源寒区经济和生态环境产生了一系列重要影响。但是, 冻土退缩及其对环境的影响还存在很大的不确定性。

关键词: 长江黄河源区; 多年冻土; 生态环境效应

中图分类号: P931. 8, X171. 1

文献标识码: A

多年冻土指地表下一定深度内地温持续两年以上处于 0 °C 以下的土层(土壤、土和岩石)^[1], 是地质历史和气候变迁背景下受区域地理环境、地质构造、岩性、水文和地被特征等因素共同影响下通过地气间物质和能量交换而发育的客观地质实体, 有着独特的自身演变规律, 对环境变化极为敏感^[2]。多年冻土的发育与完好保存是高原独特自然环境赖以维持生态平衡的物质基础, 多年冻土对外界强迫的敏感性决定了高原生态环境的脆弱性。因此多年冻土的状态及其变化对青藏高原生态环境演变的走势具有决定作用。

目前, 长江黄河源区存在严重的生态环境问题, 湿地干化, 草场明显退化, 土地沙漠化范围扩大等, 这些环境要素的变化是多年冻土在外强迫下水热失衡再叠加人类活动的结果。在自然状态下, 源区多年冻土和其他生态环境要素呈现出缓慢的变化过程, 对外界轻微扰动具有一定的自身负荷能力。然而由于人类社会对经济发展的更高追求, 经济活动强度的逐渐加大, 源区生态环境不堪重负, 日渐趋向恶化。由此可见, 多年冻土变化是其余变化的前提,

了解近几十年来多年冻土变化状况及其生态环境效应对认识源区生态环境变化的自然、人为原因谁主谁次具有重要意义。

在气候变化背景下, 多年冻土变化状况一直受到中外科学家的格外关注。高原尺度的冻土变化研究已累见不鲜^[3- 5], 区域尺度的研究也比比皆是^[6- 10], 然而, 这些研究主要讨论气候变化对冻土的影响、冻土对气候变化的响应、以及未来气候变化情景下冻土变化状况模拟等, 对冻土变化与生态环境关系的专门研究不多, 对江河源区冻土变化及其生态环境效应的专门研究就更少, 因此, 本文在前人研究的基础上, 从区域尺度上探讨江河源区多年冻土变化状况及其对源区高寒生态环境的影响。

1 研究区域多年冻土分布

图 1 为长江黄河源区在中国青藏高原的具体位置及其冻土分布。长江源区以聂恰曲与通天河汇合口为界, 源区面积 $12.24 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[11], 平均海拔在 4 100 m 以上, 高亢的地势使源区气候极为寒冷, 年

收稿日期(Received date): 2003- 11- 20; 改回日期(Accepted): 2004- 03- 29。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(40301010)与中国科学院知识创新重大项目(KZCX1- 10- 06)资助。[Foundation item: NSFC, No. 40301010 and The Project of Knowledge Innovation of CAS, NO. KZCX1- 10- 06]

作者简介(Biography): 杨建平(1973-), 女, 在读博士生, 山西方山人, 主要从事寒区水文与环境, 以及气候变化的研究工作。E-mail: jianping@ns.lzb.ac.cn

平均气温只有 $-1.5\sim -5.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,即使是夏季,平均气温也不会超过 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降水量从东南向西变化于 $400\sim 200\text{ mm}$ 之间。这种高寒干旱的气候为源区多年冻土的形成和发育创造了有利的气候条件。在昆仑山以南、唐古拉山以北、巴颜喀拉山以西、乌兰多拉山、祖尔肯乌拉山以东的广袤长江源区,除局部有大河融区和构造地热融区外,多年冻土基本呈大片连续分布(见图 1)。黄河源区位于青藏高原东部,地势较低,海拔一般 $3\,500\sim 4\,200\text{ m}$,但在源区周边

兀立着布尔汗布达山、阿尼玛卿山和巴颜喀拉山海拔 $5\,000\text{ m}$ 以上的山峰,在这些高山区为片状多年冻土区,而在黄河谷地,沿河两岸为季节冻土区(图 1)。长江黄河源区多年冻土分布主要受海拔的控制,同时又服从于纬度地带性,多年冻土下界高程随纬度减少而升高,如在长江源区,多年冻土分布下界高程由昆仑山北坡的海拔 $4\,150\sim 4\,250\text{ m}$ 增至南坡海拔 $4\,450\sim 4\,560\text{ m}$,到唐古拉山南坡上升至 $4\,600\sim 4\,900\text{ m}$ 。

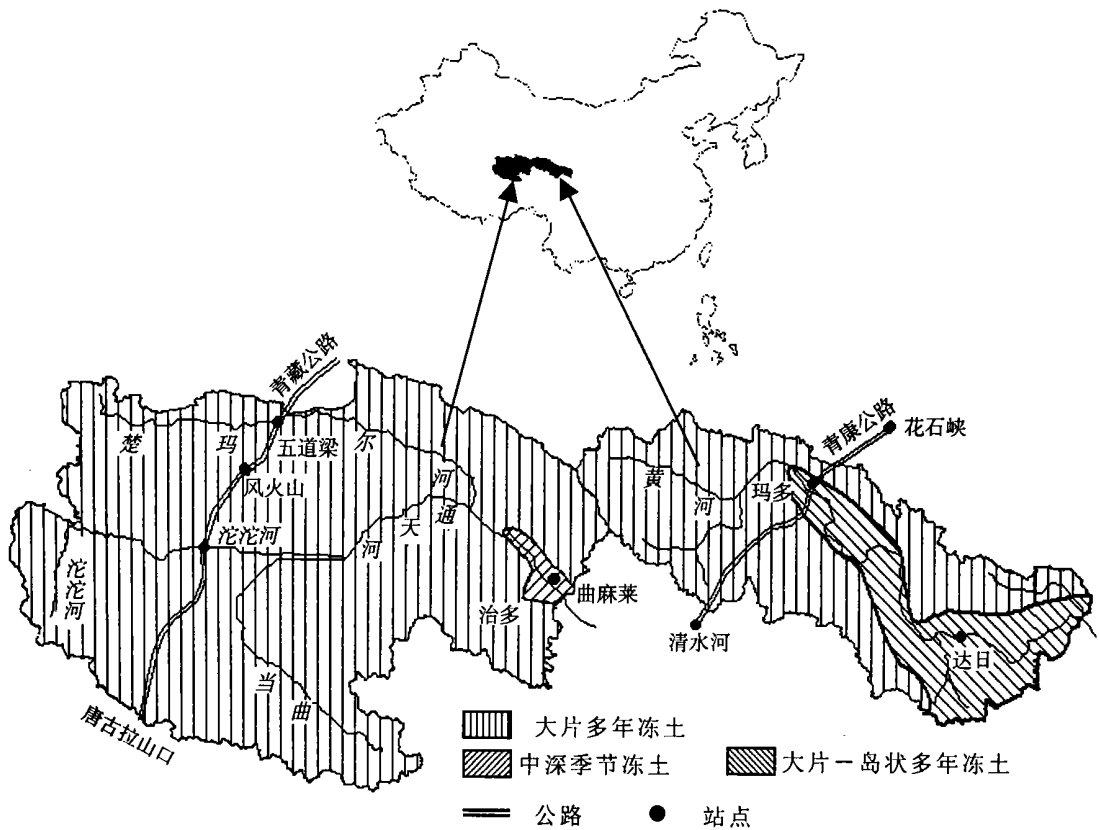


图 1 长江黄河源区的区域位置及其冻土分布与站点

Fig. 1 Diagram showing geographical location, the distribution of frozen ground, and stations in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers in China

2 资料与方法

资料是深入开展江河源区生态环境变化研究的限制性因素,由于高原缺氧气候以及其他恶劣条件,截至目前源区连续进行观测的站点仍很稀少,只有五道梁、沱沱河、曲麻莱、玛多、达日五站具有较长序列的浅层地温和冻土深度观测资料,为了弥补观测站点少和资料序列短的缺陷,钻孔就成为研究冻土

变化的理想手段,钻孔资料虽然不连续,但同一地点不同时期的资料足以说明多年冻土随时间的变化程度。在江河源区,站点与钻孔多沿青藏公路和青康公路一定范围内布设,这主要是生产实践的需要,虽然站点分布相对集中在一定程度上影响区域尺度的研究结果,但在目前的条件下这些资料的运用仍对了解大尺度冻土变化具有现实意义。在文中我们使用了上述五站 1980–1998 年 0 cm 、 5 cm 、 10 cm 、 15 cm 、 20 cm 、 40 cm 浅层地温日观测资料,由于这些站

点多接近河流融区,对反映多年冻土尤其是深层多年冻土变化具有一定的局限性,为此我们选用了昆仑山口、风火山等的钻孔资料。断续钻孔资料和连续观测资料的结合使我们全面的了解江河源区多年冻土变化的状况。

3 多年冻土变化

近 40 多年来,长江、黄河源区年平均气温分别上升约 0.8℃和 0.7℃,为高原异常变暖区。与全球、全国以及整个高原冬季升温为主不同,江河源区四季均在增暖,其中,长江源区主要是春、夏和秋季增暖,冬季增幅相对较小;黄河源区秋、冬季增暖最为显著,春、夏季次之^[12]。在气候显著变暖背景下,监测结果表明,江河源区多年冻土正在广泛退缩,这可由下面的年均地温升高、活动层加深、冻土不衔接化等证实。

3.1 浅层地温变化

20 世纪 80 年代至 90 年代,长江源东南部岛状多年冻土区 0~40 cm 浅层地温升高了约 0.3~

0.7℃,其中,地表层升幅最大,随着深度的加深升幅在减小。在垂直剖面上,地表以下 5 cm 和 40 cm 深度存在温度跃变,5 cm 深度地温比地表温度平均高 1.0℃,40 cm 深度地温平均高于 20 cm 深度地温 0.7℃,而 10~20 cm 深度间地温变化非常小(图 2)。近 20 年,黄河源北部季节冻土区地温升高了约 0.4~0.6℃,在垂直剖面上,地表以下 5 cm 深度也存在温度跃变,该处地温平均高于地表温度 0.8℃,10~40 cm 深度间地温变化较小,为 0.1~0.2℃(图 3)。然而,同期河源南部季节冻土区 0~10 cm 深度间地温却有所下降,下降幅度为 0.1~0.2℃,15~20 cm 深度地温几乎保持不变,40 cm 深度地温又上升了 0.3℃。同样,在垂直剖面上,地表以下 5 cm 和 40 cm 深度亦存在温度跃变,跃变幅度分别为 0.8℃和 0.6℃(图略)。在江河源大范围冻土区地温显著升高的情况下,黄河源南部达日一带地温有所下降或保持不变,这可能与该地区茂密的灌丛植被所起的降温作用有关。受源区北部气温升幅大于南部的影响,浅层地温也具有同样的变化规律,北部地温升高幅度大于南部(图略)。

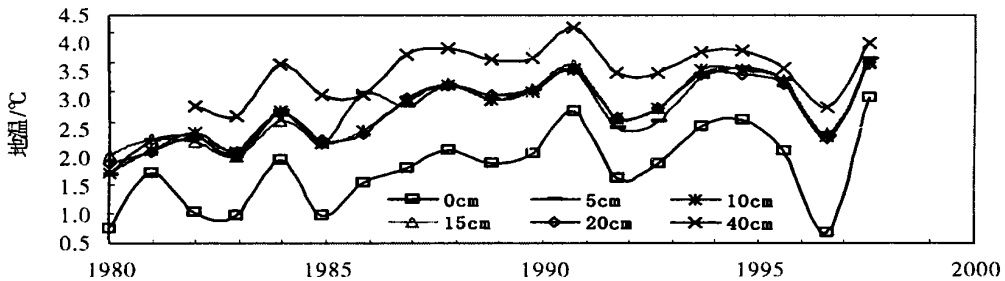


图 2 以曲麻莱站为代表的岛状多年冻土浅层地温变化

Fig. 2 Changes of thin-layer ground temperature in predominantly continuous and island permafrost area represented by Qumalai Station

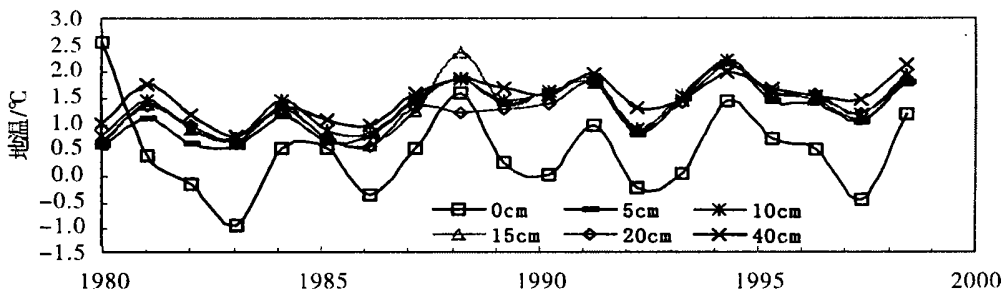


图 3 黄河源北部中深季节冻土浅层地温变化

Fig. 3 Changes of thin-layer ground temperature in mid-thick seasonally frozen ground area of the northern source region of the Yellow River

3.2 深层地温变化

过去 20 年来, 在长江源大片连续多年冻土区, 地温已明显升高。青藏公路沿线昆仑山口的一个钻孔 6~ 15m 深度地温上升了 0.2~ 0.4℃(图 4)。该孔海拔 4 700 m, 2.5 m 以上为冲积砾石层, 土壤含水量为 12%~ 18%, 其下为湖相沉积, 含水量 30%~ 45%, 夏季融化深度为 1.3~ 1.4 m, 年均地温为 -2.6~-2.5℃。冻土厚度变化于 80~ 100 m。楚玛尔河高平原 CK2956 钻孔 5~ 10 m 地温上升了约 0.3~ 0.4℃, 12~ 14 m 地温已上升了 0.1~ 0.3℃。15 m 以下, 主要是厚层地下冰, 地温相当稳定^[17]。风火山 1 号孔 15~ 20 m 地温上升了 0.2~ 0.3℃, 25~ 35 m 地温上升了 0.1~ 0.2℃(图 5)。

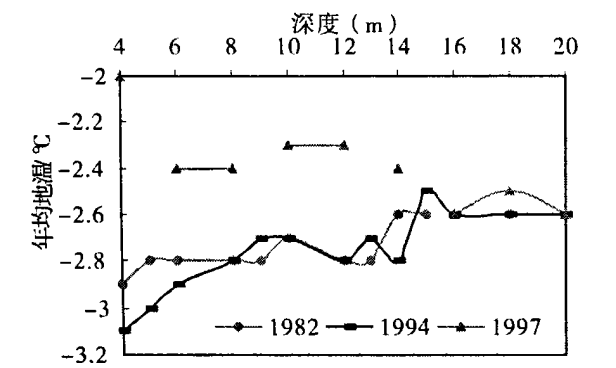


图 4 长江源区昆仑山口观测钻孔各深度年均地温变化
Fig. 4 Annual ground temperature in Borehole of Kunlun Pass observation site in the source region of the Yangtze River

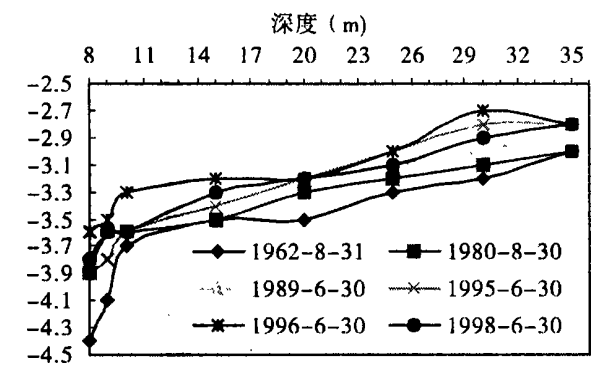


图 5 长江源区风火山 1 号孔各深度地温变化
Fig. 5 Ground temperature in Borehole No. 1 at Mt. Fenghoushan in the source region of the Yangtze River

3.3 活动层加深

江河源区气候变暖已导致季节冻结层变浅, 融化层加深, 多年冻土上限下降。自 20 世纪 80 年代

以来, 长江源多年冻土上限已加深约 0.2~ 1.0 m, 平均每年以 2~ 10 cm 的速度下降^[13](表 1)。1997~ 1998 年中日合作研究青藏高原多年冻土活动层水-热变化期间也发现, 多年冻土最大融化深度总是比最大冻结深度要深^[14], 这进一步表明多年冻土活动层在加深。

表 1 长江源多年冻土区活动层深度变化
Table 1 Changes in depth of active layer in permafrost area of the source region of the Yangtze River

位置	活动层变化		时间
	m	cm/a	
昆仑山	0~ 0.8	8.0	1980~ 1990
楚玛尔河	0~ 1.0	10.0	1980~ 1990
五道梁	0.5~ 0.8	5.0~ 8.0	1980~ 1990
风火山	0.2~ 0.5	2.0~ 5.0	1980~ 1990
唐古拉山垭口	0.3~ 0.4	3.0~ 4.0	1980~ 1990

3.4 不衔接冻土和融化夹层

不衔接冻土和融化夹层主要分布于黄河源区。青康公路(214 国道)沿线的阿尼玛卿山、花石峡、玛多县城和清水河融化夹层广泛分布^[15], 据大量勘探资料统计, 多年冻土层顶板埋深为 4~ 7 m, 而季节冻结深度为 2~ 3 m, 融化夹层厚 1~ 4 m。显示不稳定型多年冻土在垂直方向的不衔接现象正在迅速蔓延。

3.5 多年冻土分布下界升高

根据 20 世纪 70、90 年代的对比测图, 在江河源区多年冻土分布边缘, 零星冻土分布界限已普遍升高, 升高幅度为 50~ 70 m(表 2), 多年冻土面积亦相应减少。

表 2 江河源区多年冻土下界变化幅度(m)
Table 2 Alteration of the lower limits in meter of permafrost distribution in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers

山名	昆仑山	步青山	年保则则山	阿尼玛卿山
具体位置	西大滩	玛多	西门错北	西南坡
目前下界	4 350	4 270	4 140	4 250
1970 年代下界	4 300	4 220	4 070	4 180
升高值	50	50	70	70

综合上面的分析可知, 在江河源区多年冻土分布边缘或者不同冻土类型接壤的地区, 地温升高明

显, 岛状多年冻土区和季节冻土区地温升高了约 $0.3 \sim 0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。大片连续多年冻土区地温升高幅度相对较小, 为 $0.1 \sim 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。长江源区深居青藏高原腹地, 地势高峻, 气候严寒, 近几十年, 尽管气候变暖导致多年冻土发生退化, 但与位于青藏高原大片连续多年冻土东部边缘的黄河源区以及高原其余边缘冻土区相比, 其变化程度要小的多。黄河源区是大片连续多年冻土与季节冻土的交汇地, 气候变暖导致不衔接冻土、融化夹层广布, 玛多附近 214 国道沿线多年冻土退缩了 15 km。总之, 江河源区甚至整个青藏高原的多年冻土, 总体上保存条件不利, 区域上呈退化趋势。

4 冻土退化的连锁生态环境效应

多年冻土的发育和完好保存是寒区生态环境保持平衡的基础, 近几十年来, 江河源区冻土退化使源区本身脆弱的生态环境失衡, 引起一系列不良连锁反应, 对寒区牧业经济产生了重要的负面影响, 下面我们从生态环境的角度, 综合分析多年冻土退化的连锁环境效应。

多年冻土作为广泛分布的弱透水层, 对源区高寒植被的活动层水分和养分保持起着关键作用。多年冻土层的存在能有效阻止地表水和土壤水分的下渗迁移, 使植被根系层维持较高水分, 使活动层淋溶或淋滤的多种营养成分在此聚集, 并维持土壤的低温条件而易于有机质积累^[16], 因此, 在江河源区冻土发育的低洼盆地和山间谷地是高寒草甸、高寒沼泽草甸植被最为发育的地区。然而, 在近 40 年来, 由于源区气温持续变暖(升高约 $0.7 \sim 0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$), 多年冻土明显退化, 活动层中原有的水热平衡被打破, 热量失衡引起地温升高, 季节融化深度加深, 致使多年冻土上限逐渐下降, 而多年冻土上限的下降使得冻土活动层中水分向下迁移, 近地表层土壤水分含量明显降低, 地表变干^[10]。同时, 土壤温度升高使土壤有机质分解加快, 有效养分含量增加, 植物营养改善, 养分循环加强, 植物生长期延长, 土壤根系生长空间增大^[17]。冻土退化引起植物生境发生上述变化, 一些不适应这种较为干燥生境的湿生植物就迅速消失, 而另一些旱生植物开始入侵, 从而发生了一个植物群落为另一个植物群落所代替的演替过程。据野外调查研究^[10, 18], 冻土退化引起植物群落由

沼泽化草甸逐渐向草原化草甸转化, 原来适应低温高湿的优良牧草禾本科和莎草科植物在现存群落中的数量减少, 而杂草类植物, 如雪白萎陵菜、棘豆、毛茛等种属的数量在增多。植物群落的这种变化有助于物种多样性增加, 但植被覆盖度在降低, 草场不耐践踏, 产草量也明显减少。由此可见, 即使没有人类活动的扰动, 多年冻土退化在一定程度上已引起草场的变化, 但在自然状态下这种变化是缓慢的, 需要相当长时间才会发生质的变化。

草原植被在正常的环境中虽然也有多种鼠类分布, 但通常不会导致数量大发生, 在多年冻土退化引起草场变化的基础上, 超载过牧加剧了草场的进一步退化, 草场退化使土壤坚实度降低和杂草类植物大量入侵, 为害鼠提供了丰富的食物和适宜的栖息环境。在江河源区主要的害鼠为高原鼠兔(*Ochotona curzoninae*)和高原鼯鼠(*Myospalax baileyi*)。高原鼠兔多栖息于高寒草甸类和高寒草原类草地, 牧草较矮, 植被稀疏, 视野开阔的地区^[19], 而高原鼯鼠明显选择土壤硬度小, 杂草类生物量较高的地方栖息^[20]。据高原鼯鼠和高原鼠兔食性研究表明^[19, 21], 高原鼠兔主要取食禾本科优良牧草, 只有在特别饥饿而又无其他草类时才偶尔取食杂类草, 而高原鼯鼠以杂草类植物为主要食物。这些害鼠不仅大量啃食植物绿色部分, 减少生物量, 同时也危害植物根系, 尤其对靠根蘖繁殖的禾本科优良牧草危害显著, 更为重要的是大量鼠类的挖掘改变了土壤的表层结构, 深层钙积土被抛到地面, 这些浮土不仅抑制植物生长, 而且极易被风吹起或雨水冲散, 造成植物覆盖度大幅度下降, 草场重度退化, 形成“黑土型”退化草地, 加剧沙漠化进程。

沙漠化发展对江河源区多年冻土产生显著影响。沙层对多年冻土的影响具有双重性, 地温的观测资料表明^[22], 厚沙层长期覆盖区的地温高于无沙区, 而薄沙层覆盖区的地温反而低于无沙区, 如沱沱河北岸青藏公路两侧的沙区, 详细的勘探资料揭示, 在沙丘下均无多年冻土, 而沙丘间的洼地仍发育着多年冻土^[23]。沙漠化刚开始时, 以薄层沙覆盖为主, 地温比未沙漠化时有所降低, 但是, 随着沙漠化的不断扩展, 覆盖沙层增厚和沙丘增加导致沙漠化区地温升高, 冻土退化, 又进一步造成地表变干, 植物群落演替, 草场退化并加速沙漠化进程, 从而形成源区生态环境的恶性循环(图 6)。

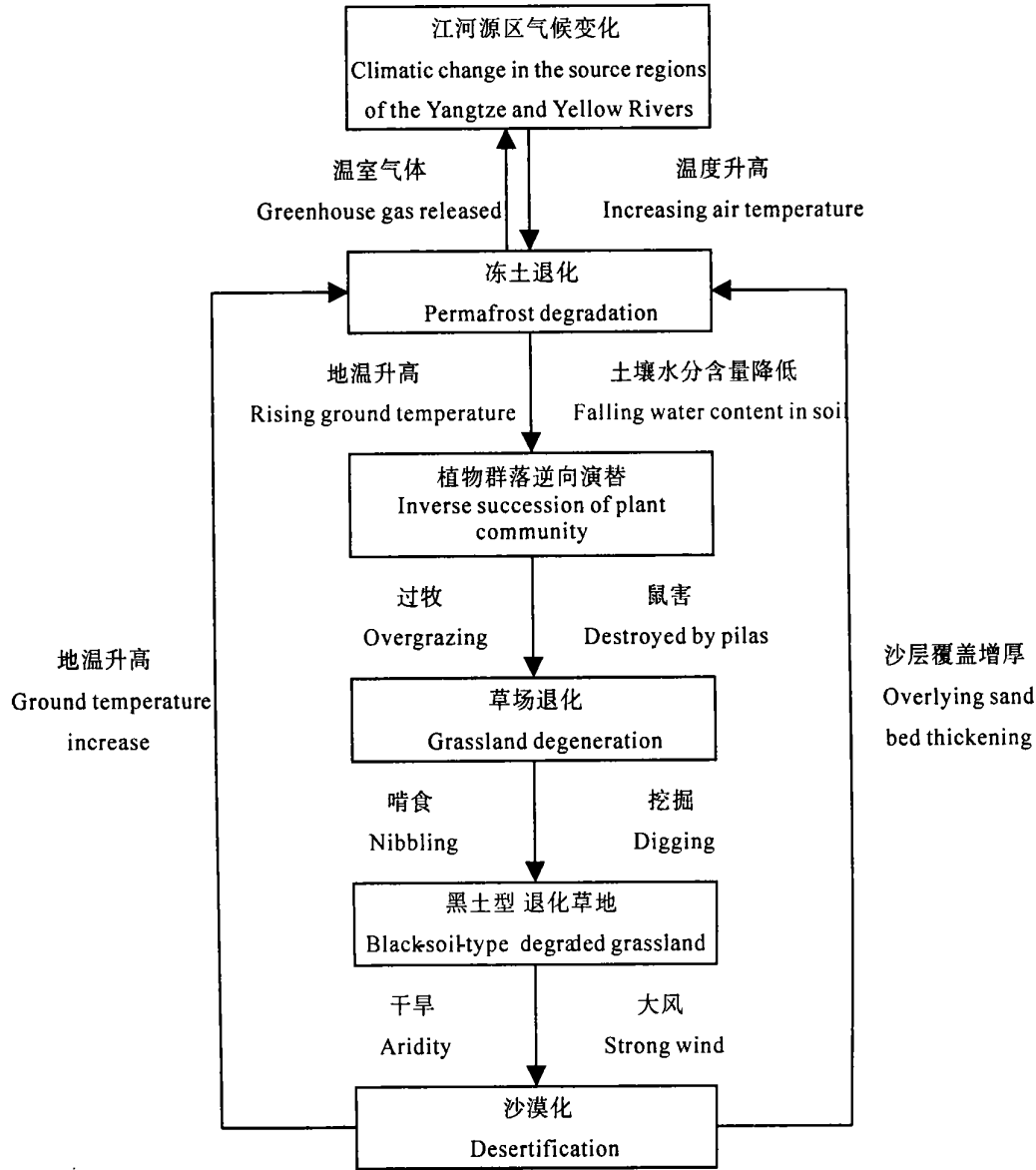


图6 江河源区多年冻土退化的生态环境连锁效应

Fig. 6 Eco-environmental chain effect generated by permafrost degradation in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers

作为对气候变化极为敏感的指示器之一的多年冻土,其退化是寒区生态环境变化的根本原因,超强度的人类活动叠加在自然变化之上诱发了鼠害和沙漠化的进一步发展,鼠害、沙漠化扩展加速了冻土退化和草场的重度退化,从而使寒区生态环境走向恶化。多年冻土的退化已严重威胁到寒区工程建筑的稳定性,这方面的研究颇多,本文就不再赘述。

5 结论

20 世纪 80 年代以来,江河源区气候变暖导致

多年冻土总体上保存条件不利,区域上呈退化趋势。冻土退化已经引起了一系列环境问题:植被生境改变,发生逆向演替,草场退化,载畜量下降,鼠害严重,沙漠化加速发展,这些问题的解决迫切需要重新考虑保护冻土原则和适宜气候变化条件下的环境保护原则。多年冻土退缩的一个重要结果是对江河源区水资源以及对区域经济的可持续发展、生态平衡和环境造成影响,需加强这一方面的研究。由于气候变化、多年冻土和寒区环境之间存在复杂、动态的相互作用,在不断完善已有的监测网络的基础上,需要建立其余监测站点,加大监测密度,以便科学定量

的监测、模拟、验证和预测这些过程 and 变化趋势。

参考文献(References):

- [1] Washburn. Geocryology—A survey of periglacial processes and environments. New York: John and Wiley Sons Press, 1979. 496
- [2] Cheng Guodong, Zhao Lin. The problems associated with permafrost in the development of the Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Quaternary Sciences*, 2000, **20**(6): 521~ 531. [程国栋, 赵林. 青藏高原开发中的冻土问题[J]. 第四纪研究, 2000, **20**(6): 521~ 531.]
- [3] Wang Shaoling, Zhao Xiufeng, Guo Dongxin, *et al.* Response of permafrost to climate change in the Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1996, **18**(Sup): 157~ 165. [王绍令, 赵秀锋, 郭东信, 等. 青藏高原冻土对气候变化的响应[J]. 冰川冻土, 1996, **18**(增刊): 157~ 165.]
- [4] Wang Shaoling. Study of permafrost degradation in the Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Advance in Earth Sciences*, 1997, **12**(2): 164~ 167. [王绍令. 青藏高原冻土退化的研究[J]. 地球科学进展, 1997, **12**(2): 164~ 167.]
- [5] Li Xin, Cheng Guodong. Response model of permafrost in high altitude on Global Change[J]. *Science in China (Series D)*, 1999, **29**(2): 185~ 192. [李新, 程国栋. 高海拔多年冻土对全球变化的响应模型[J]. 中国科学(D 辑), 1999, **29**(2): 185~ 192.]
- [6] Wang Shaoling, Luo Xianrui, Guo Pengfei. The distributive characteristics of frozen ground in the east of Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1991, **13**(2): 131~ 140. [王绍令, 罗祥瑞, 郭鹏飞. 青藏高原东部冻土分布特征[J]. 冰川冻土, 1991, **13**(2): 131~ 140.]
- [7] Zhu Linnan, Wu Ziwan, Liu Yongzhi. Permafrost degeneration in the east of Tibetan Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1995, **17**(2): 120~ 124. [朱林楠, 吴紫汪, 刘永智. 青藏高原东部的冻土退化[J]. 冰川冻土, 1995, **17**(2): 120~ 124.]
- [8] Zhu Linnan, Wu Ziwan, Zang Enmu, *et al.* Difference of permafrost degeneration in the east of the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1996, **18**(2): 104~ 110. [朱林楠, 吴紫汪, 臧恩穆, 等. 青藏高原东部冻土退化的差异性初探[J]. 冰川冻土, 1996, **18**(2): 104~ 110.]
- [9] Wei Chunling, Wu Shengzhi, Li Dongqing, *et al.* Relationship between climate changes and permafrost degradation at Huashixia Valley, China[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 1999, **35**(1): 206~ 210. [魏春玲, 武生智, 李东庆, 等. 花石峡气候变化与多年冻土退化的关系预测[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1999, **35**(1): 206~ 210.]
- [10] Wang Shaoling, Zhao Xiufeng. Environmental change in patchy permafrost zone in the south section of the Qinghai-Xizang highway[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1997, **19**(3): 231~ 239. [王绍令, 赵秀锋. 青藏公路南段岛状冻土区内冻土环境变化[J]. 冰川冻土, 1997, **19**(3): 231~ 239.]
- [11] Ding Yongjian, Yang Jianping, Liu Shiyin, *et al.* Eco-environment range in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2003, **13**(2): 172~ 180
- [12] Yang Jianping, Ding Yongjian, Shen Yongping, *et al.* Climatic features of eco-environment change in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers in recent 40 years[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, **26**(1): 7~ 16. [杨建平, 丁永建, 沈永平, 等. 近 40 年来江河源区生态环境变化的气候特征分析[J]. 冰川冻土, 2004, **26**(1): 7~ 16.]
- [13] Tong Changjiang, Wu Qinghai. The effect of climate warming on the Qinghai-Tibet highway[J]. *Cold Regions Science and Technology*, 1996, **24**, 101~ 106.
- [14] Ding Yongjian, Ye Bosheng, Liu Shiyin, *et al.* Macro-scale monitoring study of permafrost hydrology in Tibetan Plateau[J]. *Bulletin of Sciences*, 2000, **45**(2): 208~ 214. [丁永建, 叶伯生, 刘时银, 等. 青藏高原大尺度冻土水文监测研究[J]. 科学通报, 2000, **45**(2): 208~ 214.]
- [15] Wang Shaoling, Lin Qing, Zhao Lin. Permafrost along the Qinghai Highway (National Highway No. 214)[J]. *Arid Land Geography*, 1999, **22**(2): 42~ 49. [王绍令, 林清, 赵林. 青康公路(国道 214 线)沿线的多年冻土[J]. 干旱区地理, 1999, **22**(2): 42~ 49.]
- [16] Wang Genxu, Shen Yongping, Cheng Guodong. Eco-environmental changes and causal analysis in the source regions of the Yellow River[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, **22**(3): 200~ 205. [王根绪, 沈永平, 程国栋. 黄河源区生态环境变化与成因分析[J]. 冰川冻土, 2000, **22**(3): 200~ 205.]
- [17] Jin Huijun, Li Shuxun, Wang Shaoling, *et al.* Impacts of climatic change on permafrost and cold regions environments in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, **55**(2): 161~ 173. [金会军, 李述训, 王绍令, 等. 气候变化对中国多年冻土和寒区环境的影响[J]. 地理学报, 2000, **55**(2): 161~ 173.]
- [18] Yuan Jiuyi, Yan Shuiyu, Zhao Xiufeng, *et al.* The relation between permafrost degradation and Kobresia Meadow change on the southern piedmont of the Tanggula Range[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1997, **19**(1): 47~ 51. [袁九毅, 闫水玉, 赵秀锋, 等. 唐古拉山南麓多年冻土退化与嵩草草甸变化的关系[J]. 冰川冻土, 1997, **19**(1): 47~ 51.]
- [19] Wang Weijuan, Xie Bingjun. Species, distribution and counter-measure suggestion of dominantly destroyed by Pikas in the grassland of Qinghai Province[J]. *Qinghai Grassland Culture*, 1999, **8**(1): 50~ 52. [王薇娟, 谢秉君. 青海省草地优势害鼠种类、分布及防治建议[J]. 青海草业, 1999, **8**(1): 50~ 52.]
- [20] Wang Quanye, Zhou Wenyang, Wei Wanhong, *et al.* Digging action of Plateau Zokor and relation between it and soil hardness[J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2000, **20**(4): 277~ 283. [王权业, 周文扬, 魏万红, 等. 高原鼯鼠的挖掘行为及其与土壤硬度的关系[J]. 兽类学报, 2000, **20**(4): 277~ 283.]
- [21] Wang Quanye, Zhang Yanming, Wei Wanhong, *et al.* Food habit of the Plateau Zokor[J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2000, **20**(3): 193~ 199. [王权业, 张堰铭, 魏万红, 等. 高原鼯鼠食性研究[J]. 兽类学报, 2000, **20**(3): 193~ 199.]
- [22] Wang Shaoling, Xie Yingqin. Study on ground temperature in sandy regions of Tibetan Plateau[J]. *Journal of Desert Research*, 2002, **22**(1): 33~ 39. [王绍令, 谢应钦. 青藏高原沙区地温

- 研究[J]. 中国沙漠, 2002, 22(1): 33~ 39.]
- [23] Qiu Guoqing. Characteristics and formation conditions of talik and permafrost in Tuotuohe Basin of Tibetan Plateau[A]. In: China Geography Association, Proceedings on Glaciological and Frozen

- Ground Symposium[C]. Beijing, Science Press: 1982, 19~ 26.
- [邱国庆. 青藏高原沱沱河盆地融区和多年冻土的特征及形成条件[A]. 见: 中国地理学会冰川冻土学术会议论文选集[C]. 北京: 科学出版社, 1982. 19~ 26.]

Permafrost Change and Its Effect on Eco-environment in the Source Regions of the Yangtze and Yellow Rivers

YANG Jianping, DING Yongjian, CHEN Rensheng, SHEN Yongping

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: Based on 0cm, 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, and 40cm thin-layer ground temperature data of five stations, thick-layer ground temperature data by borehole, and survey data in the period of 1980 to 1998, changes in permafrost were analyzed in details in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers. The results show that permafrost has disadvantage conservation conditions as a whole and has degradation trend in area affected by climate warming in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers in recent 20 years. Annual mean ground temperature increases about 0.3~ 0.7℃ in island permafrost and seasonal frozen ground areas, and about 0.1~ 0.4℃ in predominantly continuous permafrost area. The permafrost table has deepened by about 2~ 10cm/a. Uncoincidently frozen ground and residual thawed layers in the vertical profile have been forming in the permafrost fringe of the source region of the Yellow River. The lower limit of permafrost distribution rose about 50~ 70m. Degradation in permafrost has effected significantly on cold economy and eco-environment in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers. But there is great uncertainty for permafrost degeneration and its effect on eco-environment in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers.

Key words: the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers, Permafrost, Eco-environment effect