

# 黄河源区域生态环境演变与对策建议

王 莺,李耀辉,孙旭映

(中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,  
中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室,甘肃 兰州 730020)

**摘 要:**黄河源区是三江源自然保护区的重要组成部分,在全球气候变暖和日趋频繁的人类活动的共同影响下,黄河源区的生态结构受到严重干扰。通过对黄河源区域生态与自然环境演变特征研究进展的概括总结,从生态系统和物理环境2个方面归纳了黄河源区主要的生态环境问题:(1)植被、冻土和湿地生态系统不断退化;(2)气候暖干化、径流变化、土壤侵蚀、土壤沙漠化、土壤碳流失、鼠害和人为影响加剧。根据面临的生态环境问题提出了区域生态与自然环境保护的相应对策和建议:形成完善的生态补偿机制;加强生态环境保护立法;建立统一的监督管理机构;建立有效的执法队伍;划分功能区;发展生态旅游;强化全社会的环保意识。

**关键词:**黄河源;生态环境;对策

**文章编号:**1006-7639(2013)-03-0550-08 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-03-0550

**中图分类号:**X16

**文献标识码:**A

## 引 言

黄河是我国的第二大河流,干流全长5 464 km,其流域主要位于我国中纬度地区的干旱半干旱地带,属于资源型缺水流域,是我国西北和华北地区最重要的供水水源。黄河以其占全国2%的水资源,灌溉着全国15%的耕地,滋养着全国12%的人口,承载了全国8%的废污水。因此黄河水资源的变化趋势直接关系到区域生态环境和社会经济建设的健康有序发展,其战略地位日趋重要。由于黄河流域近35%的水量来源于青藏高原东北部青海省境内唐乃亥以上的黄河源区,所以该地区的水资源变化会直接导致全流域的生态水文和社会经济发生变化<sup>[1-2]</sup>。近年来,随着全球气候变暖和日趋频繁的人类经济活动的共同影响,黄河源区的生态结构受到严重干扰,生态系统功能退化,而该地区严酷的自然环境和较低自我恢复能力又加剧了这一现象的发展,并已对黄河中下游乃至亚洲东部一些地方生态系统的安全构成威胁<sup>[3-4]</sup>。本文通过对黄河源区域生态与自然环境演变特征研究进展的概括总结,从生态系统和物理环境2个方面归纳了黄河源区主

要的生态环境问题和环境保护中面临的障碍,提出了区域生态与自然环境保护的相应对策和建议。

## 1 研究区域概况

### 1.1 自然环境

黄河源区是三江源自然保护区的重要组成部分。根据水文学界定,黄河源区位于青藏高原东北部的黄河干流唐乃亥以上流域,控制流域面积12.2万km<sup>2</sup>,占黄河流域面积75.2万km<sup>2</sup>的16.2%;多年平均径流量200亿m<sup>3</sup>,占黄河流域多年平均径流量580亿m<sup>3</sup>的34.5%,是黄河流域重要的产流区<sup>[2]</sup>。

发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓的黄河源头区海拔4 200~4 600 m,地形总体上西高东低、南高北低,属于高原湖泊沼泽地貌,主要有缓坡丘陵、丘间草滩和湿地,其间分布众多的湖泊和冰川<sup>[5-10]</sup>。该地区主要属于典型的青藏高原大陆性气候区,具有干湿2季分明、无4季区分的气候特征,寒冷、年温差小、日夜温差大、空气稀薄、日照时间长且辐射强烈。黄河源区年辐射总量约6 200 MJ/m<sup>2</sup>,年日照

收稿日期:2013-04-28;改回日期:2013-06-05

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2013CB430200, 2013CB430206)、国家重大科学研究计划(2012CB955903)、中国清洁发展机制基金项目“面向适应的气候灾害风险评估与管理机制研究”及博士科研启动项目(KYS2012BSKY02)共同资助

作者简介:王莺(1984-),女,汉族,甘肃兰州人,助理研究员,主要从事气候变化对农业生态的影响研究。E-mail: wangyn924@gmail.com

时数约 2 800 h,多年平均蒸发量约为 250 mm<sup>[11]</sup>。该地区多年平均年降水量为 250 ~ 800 mm 之间,受季风影响,降水的年内分配不均,呈现冬干春旱,夏秋降水集中的特点,且年际变化大。

黄河源头河谷开阔,冰川广布。河源区内支流众多,流域面积 > 1 000 km<sup>2</sup> 的有 26 条。该区域湖泊众多,水面面积在 1 km<sup>2</sup> 以上的湖泊有 46 个。源区冰川储量 191.95 亿 m<sup>3</sup>,年融水量 6.02 亿 m<sup>3</sup>,是流域的天然固体水库。黄河源自吉迈至玛曲段是流域的主要产流区域,同时产流强度也最大。对于输沙量和输沙强度来说,自上游到下游都呈增大趋势,例如吉迈至玛曲段的多年平均年输沙模数为 84.7 t/km<sup>2</sup>,但到了玛曲至唐乃亥段,多年平均年输沙模数达到了 243 t/km<sup>2</sup>。

黄河源区成土环境复杂,北部地区主要以栗钙土、棕钙土、灰棕漠土为主,南部主要以高山草甸土、高山灌丛草甸土、高山草原草甸土、高山荒漠草原土为主。由于自然因素的影响,该地区土壤土层薄,质地较粗,处于发育阶段,微生物活动少,化学作用较弱,土壤密度小,物理属性较好,潜在养分高,但速效养分不足,缺少氮元素和磷元素,富含钾元素。

黄河源区位于青藏高原植被地带,是一个年轻的衍生区系,高山特化和寒旱化适应现象特别突出,以多年生草本为主,缺少木本种类<sup>[12]</sup>。包含常绿阔叶林、灌丛、草原、草甸与沼泽、高山稀疏植被 5 个植被类型和 18 个植被亚类。按照资源类别又可分为饲用、药用、观赏、纤维类、油料、食用、芳香油和固沙保土等类。该地区的资源植物主要集中分布在禾本科、菊科、豆科和十字花科<sup>[13]</sup>。植物种群内部组成较单一,多为单优势结构。由于恶劣的自然环境,这里的植被生态十分脆弱。黄河源内的湿地和湖泊又是鸟类、鱼类以及高原野生动物的主要栖息地。若黄河源区的生态系统受到破坏就很难恢复,物种将遭受严重威胁,遗传物种资源会缩小甚至消失。

综上所述,黄河源区深居青藏高原腹地,地势高亢,空气稀薄,自然环境恶劣。在这种自然条件下形成的生态系统十分脆弱,一旦遭到破坏将很难得到修复。

## 1.2 社会环境

黄河源区地处我国西北部的黄河流域范围内,涉及青海、四川和甘肃 3 省的 6 个州、18 个县。该地区地广人稀,人口总计 44 万,密度为 3.4 人/km<sup>2</sup>。在自然条件和历史原因的双重作用下,该地区社会发展缓慢,经济结构单一。其产业结构是以畜牧业为主导,粮食生产为辅,畜牧业占国民生产总

值的 75% ~ 85%<sup>[14]</sup>。区内交通、通讯极为不便,经济文化落后。在这种社会环境下,人们为了满足最基本的生理和生活需要,不惜在黄河源区生态系统十分脆弱、当地生活条件十分恶劣的情况下,做出一系列破坏生态环境的行为,例如为了提高生活水平而大量饲养牲畜,为了减少兽害或获得野生动物的肉和皮毛而进行大量捕杀,这些行为使黄河源区的生态问题进一步加重。

## 2 生态与环境演变

### 2.1 生态系统演变

#### 2.1.1 植被退化

1970 年代以前,黄河源区的生态环境保持的比较好,从 1980 年代开始,由于人类活动加剧,黄河源区生态环境出现破坏现象<sup>[15-16]</sup>。主要表现为水体转变为滩地,湿地转变为草地。近 40 a 来,植被区域退化速度由 1970 年代的 3.9% 增加到 1990 年代的 7.6%。近 20 a 来黄河源区的扎陵湖、鄂陵湖周边及其东北部地区、巴颜喀拉山北麓的多曲源头地区植被退化严重<sup>[17]</sup>。1987 年以来长江黄河源区植被地上净初级生产力年际波动明显,在 15 a 的时间进程中按 9.506 g/a 的倾向率下降,且这种下降趋势与时间序列成显著相关<sup>[18]</sup>。徐浩杰等<sup>[19]</sup>通过对长时间序列的 NDVI 的研究发现黄河源区高海拔地形陡峭区植被呈显著退化趋势,植被退化面积随坡度的增加先增加后减小,随海拔升高先减小后增加再减小,且北坡大于南坡。中国科学院寒区旱区环境与工程研究所的科研人员通过对多年遥感影像的分析认为黄河源区植被在时间和空间上都呈现退化趋势,1982 ~ 1990 年的植被退化主要发生在黄河源区鄂陵湖以东区域;1991 ~ 2000 年植被退化范围进一步扩大到源区北部兴海、共和地区以及若尔盖草原;2000 ~ 2008 年植被退化范围扩大到黄河上游主要水源涵养区的玛曲草原,但源区北部的兴海和共和地区却出现植被增加的趋势<sup>[20]</sup>。

草地是黄河源区最重要的覆被类型,其生态系统变化比较显著,在 1970 年代中后期至 1990 年代和 1990 年代初至 2004 年均表现为高、中覆盖草地面积减少,低覆盖草地面积增加<sup>[21-22]</sup>。迄今为止,黄河源区退化草地约有 357.13 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,占草地总面积的 1/3,其中严重退化草地面积约占退化草地总面积的 26.79%<sup>[23]</sup>,严重威胁到当地的生态环境、生物多样性保护和畜牧业经济的发展<sup>[24]</sup>。徐剑波等<sup>[25]</sup>用 GIS 技术对黄河源头玛多县的研究发现,1994 ~ 2001 年间玛多草地植被退化非常严重,重度

退化面积达 13.6 万  $\text{hm}^2$ , 2009 年草地退化空间特征显示在气候变化较为敏感区域、河道两侧、鼠害严重以及靠近居民点等区域草地退化较为严重。高寒草地是黄河源区高寒生态系统中最重要天然草原植被<sup>[26]</sup>。徐松鹤等<sup>[27]</sup>的研究表明, 黄河源区高寒草地退化明显影响植物群落物种间的联结性和关联程度; 随着草地退化程度的加剧, 群落中主要优势物种的总体种间联结性将由显著负相关过渡到无关联, 具有相同生活型和水分生态类型的物种则由互生转化为竞争关系; 而以毒杂草为优势的重度退化高寒草地“黑土滩”是一种不稳定的次生植被。不同退化程度下草地群落的优势植物存在明显差异, 当草地发生退化时, 植物群落的盖度、高度、草地质量指数、优良牧草比例以及多样性指数都开始下降<sup>[28-32]</sup>。例如紫花针茅 *Stipa purpurea* 和早熟禾 *Poa annua* 是黄河源头高寒草原的优势种, 随着草地的退化, 其生长势减弱, 物候期推迟, 群落优势植物逐步演替为以菊科、豆科等杂类草植物为优势种的群落<sup>[33]</sup>。

### 2.1.2 冻土和湿地生态系统不断退化

黄河源区地处青藏高原东部的季节冻土到片状连续多年冻土的过渡区, 属于冻结水环境, 相比高原腹地, 源区多年冻土具有温度更高、厚度更薄的特点。源区实测多年冻土年均地温最低为  $-1.81\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 冻土最厚 74 m, 均位于巴颜喀拉山北坡的查拉坪; 巴颜喀拉山北坡海拔每升高 100 m, 年均地温减少  $0.47\sim 0.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 冻土厚度增加 16~25 m; 纬度向北增加  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 年均地温减少  $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 冻土厚度增加 20~30 m<sup>[34]</sup>。但受全球气温升高的影响, 多年冻土出现表层融化、冻土上下界变化、同一地点钻探资料冻土层的消失等<sup>[35]</sup>。自 1960~1990 年代气候转暖后, 冻土由极稳定带向稳定带转化、稳定带向亚稳定带转化、亚稳定带向不稳定带转化, 且总体上多年冻土在向季节冻土退化<sup>[36]</sup>。已观测到青藏公路沿线十几 m 厚的多年冻土减薄或消失<sup>[37]</sup>。1970 年代, 黄河沿、玛多县城等玛多盆地是多年冻土, 但到了 1990 年代复位钻探表明多年冻土大部分已消融, 冻土分布界限也分别向西和向北扩移<sup>[38]</sup>。2010 年复位钻探表明野牛沟/野马滩等地埋藏冻土岛已退化殆尽。根据 1970 和 1990 年代的测图对比, 在江河源区多年冻土分布边缘, 零星冻土分布下界的海拔已普遍升高, 升高幅度在 50~70 m 之间, 多年冻土面积也相应减少, 冻土上限以  $2\sim 10\text{ cm/a}$  的速度融化<sup>[39]</sup>。有研究指出, 源区高寒植被生长与冻土埋深及其影响的浅层土壤含水率有关, 区域地下水位下

降及生态地质环境的恶化与多年冻土层消融导致其隔水作用减弱或消失有关<sup>[40-42]</sup>。多年冻土退化后, 土壤含水量减少, 导致植被物种更替、“黑土滩”等退化现象出现。袁九毅等<sup>[43]</sup>发现唐古拉山南麓的高草草甸对冻土退化过程表现出强烈的响应。

黄河源区的湿地自 1990 年以来也总体呈现退化趋势, 即河流、湖泊、沼泽湿地面积萎缩、数量减少, 且开始向滩涂转化。2004 年与 1990 年相比, 沼泽、湖泊的面积均减少了约 10%, 而河流面积减少幅度最高, 达到 22% 以上, 河源沼泽湿地面积萎缩了近 200  $\text{km}^2$ , 湖泊减少了 49 个。潘竟虎等<sup>[44]</sup>通过分析 1986 年的 TM 和 2000 年的 ETM+ 卫星遥感资料得到黄河源区沼泽湿地破碎度高的结论, 也就是说其湿地分布相对分散, 这种分布格局使得黄河源区沼泽湿地对环境变化更加敏感和脆弱; 从景观格局的空间变化上来看, 1986~2000 年, 黄河源的沼泽和水域都表现出斑块数增加, 破碎度和分维数提高, 优势度降低的态势, 说明本区域湿地景观空间结构趋于复杂, 景观异质性在增加, 人类活动对湿地的干扰严重。

## 2.2 物理环境演变

### 2.2.1 气候变化

黄河源区自 1959 年有器测气象记录以来, 区域气温是随年代进程而增加的, 年升温速率为  $0.021\text{ }^{\circ}\text{C/a}$ <sup>[45-46]</sup>。自建站以来到 2001 年, 源区东北部兴海、同德及南部久治、达日地区的升幅较大, 兴海和久治站温度升幅  $>1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 而西部的玛多地区升幅最小, 1950 年代以来年平均温度基本没有升高<sup>[47]</sup>。从时间上来看, 1990 年代后期是黄河源区升温幅度最大的时期。1991~2001 年温度平均值比 1991 年以前各站 30 多 a 平均值上升了  $0.49\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从季节尺度上来说, 冬、春、夏、秋季的气候倾向率分别为  $0.53\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.10\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、和  $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 增幅以冬季最为明显, 而显著性水平则以夏季最高, 这与王楠等<sup>[48]</sup>对青藏高原气温变化趋势的研究结果基本一致。从月时间尺度来说, 黄河源区升温幅度年内最大是 5、6 月和 9~11 月, 而年内温度最高的 7、8 月其升温幅度并不大。进入 21 世纪以来, 黄河源头处于 52 a 以来最暖的阶段, 年平均最高气温、年平均气温均在此阶段创历史最高纪录。

黄河源区 1960 年代和 1980 年代降水量丰富, 1950 年代、1970 年代和 1990 年代降水量较少, 在 2002 年后又偏多<sup>[49-51]</sup>。1990 年代, 源区东部降水量丰富的久治和斑玛多年平均年降水量比 1950~1980 年代平均值低 80~100 mm, 其中久治站减少

幅度最大,同比减少了20%,1992~2001年,玛多站降水的线性下降趋势达到了每年8.5 mm。源区西部降水量递减不明显,玛多站1990年代多年平均年降水量比1950~1980年代平均值高4.2%<sup>[52]</sup>。从玛多、大武、达日和久治4站来看,1959~2005年的平均降水量为533.3 mm,47 a来降水量略有下降,下降倾向率为0.0031 mm/a<sup>[53]</sup>。总的来说,1959~2005年的降水变化趋势与时间进程表现出不显著的相关性( $P>0.1$ ),说明黄河源区47 a来的降水具有一定的稳定性,基本属于正常波动。

1960~1990年代中期,日照时数变化幅度很小,略微呈下降趋势;1960年代蒸发量最大,1970~1980年代蒸发量呈减少趋势,进入1990年代,随着气温的升高等原因,蒸发量有所增加<sup>[54]</sup>。黄河源区风速自1969年后逐步减弱,平均速率约为每10 a减弱0.13 m/s,这可能是季风减弱的一个指标<sup>[50,55-56]</sup>。相对湿度在1990年前变化趋势不明显,之后有减弱的趋势。比湿存在明显的增加趋势,每10 a约增加0.05 g/kg。

根据高原杰博士利用中科院大气所的气候数值进行计算的结果,今后20~30 a间黄河源区的气温将会升高,降水也将有所增加,但是根据黄河上游径流的小波分析结果外推以及全球模式的数值预测结果,黄河上游降水可能增加,但气温升高明显,表明其蒸发量将持续增大。

从以上分析可以看出,近50 a及其今后的20~30 a,黄河源区总体呈现气候暖干化的变化趋势,这和西北地区的气候变化趋势是一致的<sup>[57]</sup>。这种变化趋势已经对区域内的生态环境产生了深刻的影响,是黄河源区生态环境变化的重要驱动因子。

### 2.2.2 径流变化

从整体来看,黄河源区主要的产流区位于吉迈以下的达日、久治、玛曲以及川西北的若尔盖高原,其丰枯变化直接影响中下游水资源的变化。通过模比系数 $K_t$ 值分析,黄河源区径流在1960年代和1980年代偏丰,1970年代和1990年代偏枯。1990年以前源区径流的平均值约为 $220.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,之后径流量锐减,平均值只有 $170.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[50,58]</sup>。以唐乃亥水文站数据为例,平均流量枯水年比例明显高于丰水年,40多 a来总体上呈现低—高一低的变化趋势<sup>[47]</sup>。据玛曲县水文站资料,1970年代黄河在玛曲县境内的平均流量为 $472.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ,自1980年代中后期以来,黄河上游径流量以每10 a 9.8  $\text{m}^3/\text{s}$ 的速度减少,到1990年代下降为 $393.3 \text{ m}^3/\text{s}$ ,其中1996年出现历史最低值,为 $303 \text{ m}^3/\text{s}$ ,2003年

以来,黄河在玛曲县境内平均流量仅 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ <sup>[59-65]</sup>。兰州水文站年径流量的数据显示,1961~1968年黄河年平均年径流量为378.11亿 $\text{m}^3$ ,1968~1986年减为326.35亿 $\text{m}^3$ ,1987~2001年再减为260.00亿 $\text{m}^3$ <sup>[66]</sup>。

谢昌卫<sup>[67]</sup>等用互谱分析的方法发现径流量变化与降水量变化之间有较好的同步性。降水的另一个表征指标是降水强度,当降水强度小,地表直接径流出现的时间就增加,形成地表直接径流的比例减少,降水会更多的人渗入土壤中去,这样会对径流的产生造成不利影响。经统计分析发现,与1980年代相比,黄河源区中等强度和强降水的天数在1990年代有较大幅度的减少,这与径流量的变化是一致的。这说明降水强度也是影响径流量的原因<sup>[68]</sup>。对于温度来说,黄河源区径流量变化与年平均气温变化之间没有显著的相关性<sup>[6]</sup>。因此温度变化不是研究区径流量变化的主要原因。而相对湿度的降低和大气增暖可能导致蒸发增加,这也会使径流减少,此外,源区冻土退化可能会影响土壤的季节蓄水和减少地表径流<sup>[47,69]</sup>。

### 2.2.3 土壤侵蚀

黄河源区在全球气候变化和人为活动增强等因素的影响下,湿地日益萎缩、植被退化,使得土壤侵蚀加剧,土地严重退化与沙化,生态环境受到威胁。源区土壤具有典型的高原土壤特点,有明显的垂直带谱,易受侵蚀而造成水土流失。根据水利部水土保持监测中心的数据,至2002年,黄河源头冻融侵蚀面积为 $70\,988 \text{ km}^2$ ,占黄河源头区总面积的53.94%,其中以轻微为主,占冻融侵蚀总面积的80.12%;水蚀和风蚀导致侵蚀面积为 $31\,492.12 \text{ km}^2$ ,占黄河源头区总面积的23.93%,水土流失总面积中,水蚀占65.17%,以轻微为主,风蚀占34.83%,总体强度较高<sup>[70]</sup>。强度、极强度和剧烈水土流失的分布主要集中在共和、贵南、玛多3个县。根据土壤侵蚀类型的相对一致性,可以将源区分为4个土壤侵蚀类型区:西部、中部冻融侵蚀区,东北部水蚀、风蚀区,东部水蚀区和东南部风蚀、水蚀区。

### 2.2.4 土壤沙漠化

黄河源区主要分布有大面积的变质砂岩、板岩,在大温差、低气温条件下,岩石物理风化作用剧烈,砂岩和板岩易破碎成岩屑,并进一步分解为不同粒级的砂物质,为沙漠化提供丰富的沙源。以1990年为基准,从1990到2000年的10 a间源区沙漠化土地扩展的面积为 $1\,607.69 \text{ km}^2$ ,其中 $772.37 \text{ km}^2$ 的区域由原非沙漠化区域扩展而来,而其余 $835.32$

km<sup>2</sup>的区域是由原沙漠化土地得到不同程度的加剧。根据2000年黄河源区沙漠化遥感监测结果<sup>[71]</sup>,黄河源区沙漠化土地面积达3 519.97 km<sup>2</sup>,占黄河源区土地总面积的9.36%,其中轻度沙漠化土地面积最大,占黄河源区沙漠化土地的45.82%;中度沙漠化土地次之,占沙漠化土地的26.20%;重度沙漠化土地与极重度沙漠化土地面积较接近,分别占沙漠化土地的13.80%和14.18%。黄河源区沙漠化土地分布集中,主要分布在鄂陵湖以东地区,鄂陵湖西端也有小面积分布。从地貌单元上来说,沙漠化土地主要集中在玛多宽盆地南缘与黑河宽谷盆地北缘之间,沿西北—东南走向的低山丘陵展布,分布于河谷、湖滨、古河道及山麓洪积扇等地形面上,呈斑块状、片状和带状分布。从行政区划上来说,源区沙漠化土地主要集中在玛多县,其面积占源区总的沙漠化面积的85.07%。

沙漠化的形成与发展是多因素共同作用的结果<sup>[72]</sup>。在气候暖干化趋势的影响下,源区湖泊和沼泽湿地萎缩或干涸、冻土退化以及区域地下水位下降,它们会引起生态环境屏障——土壤植被层的消失,导致下垫面风蚀和水蚀荒漠化加剧;人类活动及鼠类对源区荒漠化变化起着推波助澜的作用,例如长期超载过牧造成草场植物群落结构破坏,使土壤稳定性降低,而鼠类在活动过程中也会破坏植被,造成大面积裸地土丘,加速了植被退化和土地沙漠化<sup>[73]</sup>。

#### 2.2.5 土壤碳流失

以前的研究表明,青藏高原高寒草甸生态系统土壤碳库储存量较高<sup>[74-77]</sup>,但是在自然扰动和人为干扰下,土壤碳储量呈现明显的退化态势<sup>[78-80]</sup>。周华坤等<sup>[30]</sup>的研究发现,随着高寒草原退化到中度退化阶段,虽然植被覆盖度下降不显著,但水土流失渐趋严重,有机质含量减少明显。曾永年<sup>[81]</sup>等的研究表明,1990~2000年的10 a间,黄河源区沙漠化导致土壤有机碳流失量达 $4.11 \times 10^6$  t,每年从土壤中流失的有机碳平均为 $0.41 \times 10^6$  t。

#### 2.2.6 鼠害影响

黄河源区有50%以上的黑土型退化草地由鼠害所致。主要危害的鼠类有高原鼠兔 *Ochotona curzoninae*、高原鼯鼠 *Myospalax baileyi*、布氏田鼠 *Microtus brandti* 和达乌尔鼠兔 *O. daurica* 等<sup>[82]</sup>。根据2000年鼠害调查结果,黄河源区玛多县鼠害面积达到9 463.16 km<sup>2</sup>,占总面积的44.55%。根据果洛州1997年的普查资料,自1987~1997年,全州鼠害面积的增长率达到43.8%,1997年全州鼠害面积占可

利用草场面积的43.4%<sup>[83-84]</sup>。

#### 2.2.7 人为影响

人为活动是维持土地生态系统稳定和促使土地系统演替的调控因子。很多牧民为了经济利益,所养的牲畜数量远大于草场承载能力,一般情况下超载量为60%~80%<sup>[66]</sup>。无序开采金矿也是造成土地退化的重要原因。1970~1990年代黄河源头布青山南侧开阔冲洪积扇上遍布有数万淘金大军挖掘的沙坑,造成高寒草甸草场的破坏,改变了地表径流路径,土地完全丧失对植物的再生能力。另外,大量中藏药材的挖掘也会对生态系统造成严重破坏。随着源区基础建设力度的加大,城镇化建设的速度越来越快,由于大家对环境问题的重视度不够,所以在发展过程中也会带来生态恶化的问题。

### 3 生态环境保护的对策与建议

#### 3.1 形成完善的生态补偿机制

黄河源区生态环境的恢复和改善对黄河中下游生态环境及生态安全具有重要意义。所以受益者应该对黄河源区生态环境的保护做出生态补偿。这种做法是对源区环境保护和建设的有力保障和长效之路。2005年国务院批准《青海三江源自然保护区生态保护与建设总体规划》,启动了三江源自然保护区的生态保护和建设工作。但是由于地域辽阔,经济落后,源区缺少管理和执法所必须的设备。另外,根据谁受益、谁补偿原则,应该从中下游流域提取专项补偿资金。而补偿标准的确定又是一个国际化难题,至今还没有统一的补偿标准。在流域生态补偿理论与实践应加强生态补偿标准的研究,增强市场补偿在流域生态补偿中的应用程度,完善流域生态补偿的法律机制以及资金管理机制,创新补偿模式,充盈补偿资金。源区的特殊性决定了源区的生态环境保护不仅是当地政府和群众的责任,也是中下游地区和全国的责任。因此不能片面的要求当地通过缩小牧业生产规模来保护草原生态,而是要选择适应于当地乃至对全国有益的对策和措施。比如可以建立“三江源生态保护基金”,将源区的生态保护变成一项国际性、自觉和广泛的社会行为,使源区生态保护得到国家和黄河中下游各省市的稳定支持,补偿源区因保护生态环境造成的经济发展损失。

#### 3.2 加强生态环境保护立法

在生态环境立法上,目前人们大多是以传统的人类中心主义为立法理念。在这种立法理念的指导下,人类以牺牲生态利益为前提换取经济的高速发

展,导致环境问题大量出现,污染与破坏严重,造成生态失衡。这对于生态本身就十分脆弱的黄河源地区来说,更是雪上加霜。

源区生态环境保护立法必须立足于当地的环境和经济社会发展条件,合理制定地方生态环境保护法律法规,确保生态资源利用的安全性、公平性和高效性。必须遵循统一性和特殊性相结合原则、以可持续发展为导向的原则和立法程序上的民主参与原则。黄河源生态环境作为公共产品,为政府干预提供了空间。而对政府行为进行规范的最佳选择就是通过立法进行规范。我们要建立适宜于源区的生态环境保护法,通过增强生态环境保护和建设中的国家意志性以及管理力度,实现生态环境状况的改善。但仅仅依靠国家的力量还是不够的,还必须将社会组织、民间团体、民众等民间力量纳入到三江源生态环境保护的视野中来,因此在立法过程中还要确立促进型立法模式。

### 3.3 建立统一的监督管理机构

黄河源地区内各级政府对源区的生态环境都有保护职能,而各级环保、农牧、水利和林业等机构都承担源区保护和建设的具体工作,但是地方主管机关没有对源区各级政府及所属行政机关有统一协调和监督管理权,也缺乏实际的管理力量。缺乏部门间的合作和协商,这对于源区的全面管理和综合管理是不利的。因此需要建立统一的监督管理机构,加强部门间的合作。

### 3.4 建立有效的执法队伍

黄河源区环境条件差,生活水平普遍较低,这制约了环境保护执法队伍的建设。源区执法队伍普遍存在人员文化水平低和科学技术水平低的问题,他们环境保护意识淡薄,法制观念不强,在这种情况下很难完成对源区的执法和管理工作。因此要制定优惠政策吸引和培养人才。

### 3.5 划分功能区

根据任继周院士的建议,可以将黄河源区划分为4个功能区,实行分区管理。第一个区是自然保护核心区,不做任何干预;第二个区是自然保护过渡区,建立狩猎牧场,可以适当收获野生动物产品,以野生动物调控为杠杆,调节动植物种群的稳定发展;第三个区是生态生产区,功能是接纳移民,建立藏族生产生活新模式,严守生态生产力的准则和科学的牧场管理系统;第四个区是毗邻的常规居民区,主要功能是本地区的社会支撑点。各功能区分区管理,建立本区的组织管理与运转系统。同时可以发展系统耦合,增强源区的经济实力和科技力量。

### 3.6 发展生态旅游

黄河源地区是多民族聚居地,民族文化特色突出,宗教和文化交汇,而高寒草原地区更是独具特色。因此,只要源区的旅游设施改善、宣传促销得利,将会带动旅游市场的蓬勃发展,增加本地区农牧民收入。

### 3.7 强化全社会的环保意识

要加大对环境保护的宣传力度,提高全社会保护环境的参与度,从而使公众对源区生态环境的保护成为一种自觉行为。由于自古以来的生态文化和自然资源利用中的乡土知识在传统的生态保护中发挥着积极的作用,同时源区的原住民又有民族问题和宗教问题,因此在生态环境保护过程中不仅要政府的监督和管理,还需要人民的合作和支持。

## 4 结论与讨论

黄河源区是中华民族的淡水资源库,也是高寒生物自然种质基因资源库。通过对黄河源区域生态与自然环境演变特征研究进展的概括总结,从生态系统和物理环境2个方面归纳了黄河源区主要的生态环境问题,并提出了对策建议。

(1)黄河源区生态系统演变主要表现在植被、冻土和湿地生态系统不断退化上。

(2)黄河源区物理环境演变主要表现在气候变化、径流变化、土壤侵蚀、土壤沙漠化、土壤碳流失、鼠害和人为影响7个方面。

(3)应该形成完善的生态补偿机制;加强生态环境保护立法;建立统一的监督管理机构;建立有效的执法队伍;划分功能区;发展生态旅游;强化全社会的环保意识。

黄河源区的可持续发展不仅要考虑以前的气候和环境的变化以及现在的状态,还必须考虑未来几十年、上百年的气候和水文变化。要做到可持续发展,就必须把黄河上游地区的气候、水文、生态环境和可持续发展等问题作为一个重要的系统科学问题来研究。

### 参考文献:

- [1] 牛云峰,裴亮. 黄河上游唐乃亥流域径流统计特征分析及气候影响[J]. 水资源与水工程学报,2009,20(5):144-146,149.
- [2] 卢寿德,霍福兰,孔令贵. 黄河源区水沙特性及来源分析[J]. 甘肃水利水电技术,2008,44(3):174-176.
- [3] 吴万贞. 三江源地区生态环境问题探讨[J]. 安徽农业科学,2010,38(35):20286-20288.
- [4] 徐新良,刘纪元,邵全琴,等. 30年来青海三江源生态系统格局和空间结构动态变化[J]. 地理研究,2008,27(4):829-838.

- [5] 潘启民,张如胜,李中有. 黄河流域分区水资源及其分布特征分析[J]. 人民黄河,2008,30(8):54-55.
- [6] 黄荣辉,韦志刚,李锁锁,等. 黄河上游和源区气候、水文的年代际变化及其对华北水资源的影响[J]. 气候与环境研究,2006,11(3):245-258.
- [7] 董晓辉,姚治君,陈传友. 黄河源区径流变化及其对降水的响应[J]. 资源科学,2007,29(3):67-73.
- [8] 张建云,王国庆,贺瑞敏,等. 黄河中游水文变化趋势及其对气候变化的响应[J]. 水科学进展,2009,20(2):153-158.
- [9] Yang S, Jung H, Li C. Two unique weathering regimes in the Changjiang and Huanghe drainage basins: geochemical evidence from river sediments[J]. Sedimentary Geology, 2004,164(2):19-34.
- [10] Ye Q, Yao T, Chen F, et al. Response of glacier and lake co variations to climate change in Mopang Yumco Basin on Tibetan Plateau during 1974-2003[J]. Journal of China University of Geosciences, 2008,19(2):135-145.
- [11] 白路遥,荣艳淑. 气候变化对长江、黄河源区水资源的影响[J]. 水资源保护,2012,28(1):46-50,70.
- [12] 吴玉虎. 黄河源头地区植物的区系特征[J]. 西北植物学报,1995,15(1):82-89.
- [13] 司剑华,胡文忠,盛海彦,等. 黄河源区植物组成及其资源分析[J]. 中国农学通报,2005,21(7):370-373.
- [14] 黄河中上游管理局. 黄河源区生态问题及其防治对策[EB/OL]. (2007-01-06) [2013-06-04]. <http://www.hhsb.gov.cn/News/9206>.
- [15] 潘竟虎,刘菊玲. 黄河源区土地利用与景观格局变化[J]. 水土保持通报,2005,25(1):29-32.
- [16] 王根绪,丁永健,王建,等. 近15年来长江黄河源区的土地覆被变化[J]. 地理学报,2004,59(2):163-173.
- [17] 杨建平,丁永建,陈仁升. 长江黄河源区高寒植被变化的 NDVI 记录[J]. 地理学报,2005,60(3):467-478.
- [18] 李英年,赵新全,周华坤,等. 长江黄河源区气候变化及植被生产力特征[J]. 山地学报,2008,26(6):678-683.
- [19] 徐浩杰,杨太保,曾彪. 黄河源区植被生长季 NDVI 时空特征及其对气候变化的响应[J]. 生态环境学报,2012,21(7):1205-1210.
- [20] 康悦,李振朝,田辉,等. 黄河源区植被变化趋势及其对气候变化的响应过程研究[J]. 气候与环境研究,2011,16(4):505-512.
- [21] 徐新良,刘纪元,邵全琴,等. 30年来青海三江源生态系统格局和空间结构动态变化[J]. 地理研究,2008,27(4):829-839.
- [22] 张镒鲤,刘林山,摆万奇,等. 黄河源区草地退化空间特征[J]. 地理学报,2006,61(1):3-14.
- [23] 贺有龙,周华坤,赵新全,等. 青藏高原高寒草地的退化及其恢复[J]. 草业与畜牧,2008,(11):1-9.
- [24] 赵新全,曹广民,李英年,等. 高寒草甸生态系统与全球变化[M]. 北京:科学出版社,2009,309-335.
- [25] 徐剑波,宋立生,赵之重,等. 近15a来黄河源地区玛多县草地植被退化的遥感动态监测[J]. 干旱区地理,2012,35(4):615-622.
- [26] 吴玉虎. 黄河源区天然草场的植被类型及其特点[J]. 中国草地,2004,26(2):70-75.
- [27] 徐松鹤,尚占环,马玉寿,等. 黄河源区退化高寒草地植物种间联结性分析[J]. 西北植物学报,2008,28(6):1222-1227.
- [28] 李媛媛,董世魁,李小艳,等. 围栏封育对黄河源区退化高寒草地植被组成及生物量的影响[J]. 草地学报,2012,20(2):275-279,286.
- [29] 何桂芳,史惠兰. 黄河源区三种植物群落特征比较[J]. 青海大学学报(自然科学版),2011,29(4):14-17.
- [30] 周华坤,赵新全,温军,等. 黄河源区高寒草原的植被退化与土壤退化特征[J]. 草业科学,2012,21(5):1-11.
- [31] 王向宏,戚登臣. 黄河源区玛曲县草原退化研究初报[J]. 甘肃林业科技,2008,33(3):9-11,39.
- [32] 星学军. 黄河源区高寒草甸不同退化阶段草地特征研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(22):10578-10580.
- [33] 马世震,彭敏,陈桂琛,等. 黄河源头高寒草原植被退化特征分析[J]. 草业科学,2004,21(10):19-23.
- [34] 罗栋梁,金会军,林琳,等. 黄河源区多年冻土温度及厚度研究进展[J]. 地理科学,2012,32(7):898-904.
- [35] 郝振纯,张晓鹏,张磊磊,等. 气候变暖下黄河源区冻土变化的数值模拟[J]. 黑龙江水专学报,2009,36(3):100-104.
- [36] 赵云云,赵其华. 黄河源头多年冻土退化原因及其变化趋势[J]. 人民黄河,2009,31(6):10-12.
- [37] 吴青柏,童长江. 冻土变化与青藏公路的稳定性问题[J]. 冰川冻土,1995,17(4):350-354.
- [38] 金会军,王绍令,吕兰芝,等. 黄河源区冻土特征及退化趋势[J]. 冰川冻土,2010,32(1):10-17.
- [39] 杨建平,丁永建,陈仁升,等. 长江黄河源区多年冻土变化及其生态环境效应[J]. 山地学报,2004,22(3):278-285.
- [40] 梁四海,万力,李志明,等. 黄河源区冻土对植被的影响[J]. 冰川冻土,2007,29(1):45-52.
- [41] 张森琦,石维栋,朱桦,等. 黄河源区生态环境恶化的地址原因及发展演化趋势[J]. 西北地质,2004,37(1):101-106.
- [42] 张森琦,李原,王永贵,等. 黄河源区区域地下水位下降及其生态环境地质问题[J]. 水文地质工程地质,2009(6):109-114.
- [43] 袁九毅,闫水玉,赵秀锋. 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.
- [44] 潘竟虎,王建,王建华. 长江、黄河源区高寒湿地动态变化研究[J]. 湿地科学,2007,5(4):298-304.
- [45] 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.
- [46] 沈永平,王根绪,吴青杨,等. 长江-黄河源区未来气候情景下的生态环境变化[J]. 冰川冻土,2002,24(3):308-314.
- [47] 谢昌卫,丁永建,刘时银. 近50年来长江-黄河源区气候及水文环境变化趋势分析[J]. 生态环境,2004,13(4):520-523.
- [48] 王楠,李栋梁,张杰. 青藏高原气温变化的研究进展[J]. 干旱气象,2010,28(3):265-269.
- [49] 许叶新. 黄河源区水文要素变化对生态环境的影响[J]. 水力发电,2003,29(9):13-16.
- [50] 周德刚,黄荣辉. 黄河源区水文收支对近代气候变化的响应[J]. 科学通报,2012,57(15):1345-1352.
- [51] 王遂缠,李栋梁,王谦谦. 青藏高原东北侧夏季降水的气候特征分析[J]. 干旱气象,2005,23(2):13-18.
- [52] 汪青春,周陆生,张海玲,等. 长江黄河源地气候变化诊断分析[J]. 青海环境,1998(2):73-77.
- [53] 李英年,赵新全,周华坤,等. 长江黄河源区气候变化及植被生

- 产力特征[J]. 山地学报, 2008, 26(6): 678-683.
- [54] 徐宗学, 和宛琳. 近40年黄河源区气候要素分布特征及变化趋势分析[J]. 高原气象, 2006, 25(5): 906-913.
- [55] Jiang Y, Luo Y, Zhao Z C, et al. Response of runoff in the headwater region of the Yellow River to climate change and its sensibility analysis[J]. J Geogr Sci, 2010, 20: 848-860.
- [56] 齐冬梅, 李跃清. 高原季风研究主要进展及其科学意义[J]. 干旱气象, 2007, 25(4): 74-79.
- [57] 张强, 张存杰, 白虎志, 等. 西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响[J]. 干旱气象, 2010, 28(1): 1-7.
- [58] 蓝永超, 康尔泗, 马全杰, 等. 龙羊峡水库入库径流变化特征及趋势预测[J]. 冰川冻土, 1999, 21(3): 281-285.
- [59] 霍峰. 关于黄河首曲(玛曲县)生态环境保护形势与对策[J]. 甘肃环境研究与监测, 2001, 14(4): 256-257.
- [60] 刘振恒, 杨俊明, 杨志才, 等. 甘肃玛曲高寒草原生态环境退化现状与治理对策[J]. 青海草业, 2002, 11(4): 35-38.
- [61] 钱鞠, 王根绪, 马金珠. 黄河上游玛曲县生态环境问题与综合治理对策[J]. 生态学杂志, 2002, 21(3): 69-72.
- [62] 丁永建, 杨建平, 刘时银, 等. 长江黄河源区生态环境范围的探讨[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 519-526.
- [63] 张娟, 杜得彦. 玛曲县水资源可持续利用与生态环境保护对策研究[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2005, 17(4): 11-12.
- [64] 王辉, 任继周, 袁宏波. 黄河源区天然草地沙化机理分析研究[J]. 草业学报, 2006, 15(6): 19-25.
- [65] 李国军, 李晓媛, 王振国, 等. 黄河上游水源补给区气候变化及对水资源的影响[J]. 干旱气象, 2007, 25(2): 67-89.
- [66] 丁茂兰. 黄河源区土地退化与生态环境恢复重建[J]. 甘肃水利水电技术, 2011, 47(7): 48-49, 52.
- [67] 谢昌卫, 丁永建, 韩海东, 等. 黄河源区径流波动变化对气候要素的响应特征[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(4): 7-11.
- [68] 黄荣辉, 周德刚. 气候变化对黄河径流以及源区生态和冻土环境的影响[J]. 自然杂志, 2012, 34(1): 1-9.
- [69] 周德刚, 黄荣辉. 黄河源区径流减少的原因探讨[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(3): 302-309.
- [70] 严慕绥, 许峰, 张卫, 等. 黄河源区土壤侵蚀现状分析[J]. 水土保持通报, 2004, 24(6): 75-78.
- [71] 曾永年, 冯兆丰. 黄河源区土地沙漠化时空变化遥感分析[J]. 地理学报, 2007, 62(5): 529-536.
- [72] 李祥余, 李帅, 何清. 沙漠化问题研究综述[J]. 干旱气象, 2005, 23(4): 73-82.
- [73] 陈英玉, 王永贵, 周向阳. 黄河源区荒漠化现状及其驱动力研究[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2008, 26(4): 71-76, 80.
- [74] Wang G, Qian J, Cheng G, et al. Soil organic carbon pool of grassland soils on the Qinghai-Tibetan Plateau and its global implication[J]. The Science of Total Environment, 2002, 291: 207-217.
- [75] 王绍强, 周成虎, 李克让, 等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 533-544.
- [76] 李克让, 王少强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳储量[J]. 中国科学, 2003, 33(1): 72-80.
- [77] 曾永年, 冯兆东, 曹广超, 等. 黄河源区高寒草地土壤有机碳储量及分布特征[J]. 地理学报, 2004, 59(4): 497-504.
- [78] 郑度. 青藏高原形成演化及其环境、资源效应[J]. 中国科学院院刊, 2001(6): 441-443.
- [79] 刘允芬, 欧阳华, 曹广民, 等. 青藏高原东部生态系统土壤碳排放[J]. 自然资源学报, 2001, 16(2): 152-160.
- [80] Wang W, Wang Q, Wang C, et al. The effect of land management on carbon and nitrogen status in Plateaus and soils of alpine meadows on the Tibetan Plateau[J]. Land Degradation & Development, 2005, 16: 405-415.
- [81] 曾永年, 冯兆东. 黄河源区土地沙漠化及其对土壤碳库的影响研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(2): 208-211.
- [82] 王加亭, 负旭江, 苏红田, 等. “三江源”地区退化草原的鼠害监测技术[J]. 草业科学, 2008, 25(8): 110-112.
- [83] 周立志, 李迪强, 王秀磊, 等. 三江源自然保护区鼠害类型、现状和防治策略[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2002, 26(2): 87-96.
- [84] 孙飞达, 龙瑞军, 蒋文兰, 等. 三江源区不同鼠洞密度下高寒草甸植物群落生物量和土壤容重特性研究[J]. 草业学报, 2008, 17(5): 111-116.

## Eco - environment Changes and Countermeasures in the Yellow River Source Region

WANG Ying, LI Yaohui, SUN Xuying

(Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** Yellow River Source region is an important component of the three - river source nature reserve, the ecological environment has been disturbed severely in the Yellow River source under the background of global warming and human activity. By reviewing the research advancements about the regional ecological and natural environment evolution characteristics, the main ecological environment problems in Yellow River source were summarized from two aspects, including the degeneration of vegetation, permafrost and wetland ecosystem, the increasing effect of climate warming and drying, runoff changing, soil erosion, soil desertification, soil organic carbon losing, rodent damage and human impact. And the corresponding countermeasures were put forward: Setting up perfect ecological compensation system, strengthening the legislation of ecological environment conservation, establishing unified supervision and management organization, establishing the high quality law enforcement staff, dividing the function district rationally, developing ecological tourism, reinforcing the consciousness of environment protection.

**Key words:** Yellow River source; ecological environment; countermeasures