

冀北山区生态恢复下生态输水现状分析 ——基于东北沟流域的实证

吕明权¹, 王晓龙², 张 怀³

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学

水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 河北省承德市 水土保持科学研究所, 河北 承德 067000)

摘 要:冀北山区作为京津的水源区对于保障下游的水资源安全发挥着重要作用。以京津水源区东北沟流域为例, 基于土地利用调查数据、降雨数据和参与式农户调查获得流域生态环境变化和生态输水的现状, 对近年来冀北山区生态环境变化以及这种变化对下游输水的影响进行了研究。结果表明: 东北沟流域生态建设已取得了一定的成就, 经过二十余年的自然封禁, 林地占了流域面积的一半以上, 近年来发生土壤侵蚀的频率和强度都明显减少了, 这方面的变化是有利于为下游生态输水; 但降雨量减少, 可利用的水资源减少, 森林面积增加, 植被对降雨和径流的拦截, 下游输水能力下降。加之, 水源区的居民生态保护意识不强, 没有认识到所处区域的重要地位。大量的化肥投入诱发的面源污染不利于该区域为下游的生态输水, 而为上游提供生态补偿可协调上下游的利益冲突。

关键词:生态恢复; 生态输水; 冀北山区; 东北沟流域

中图分类号: X171; S277.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)01-0060-05

Transporting Clean Water to Downstream under Ecological Rehabilitation Background in Northern Mountainous Area of Hebei Province

LÜ Ming-quan¹, WANG Xiao-long², ZHANG Huai³

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi

712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation of Chengde City, Chengde, Hebei 067000, China)

Abstract: The northern mountainous area of Hebei Province as the water source of Beijing and Tianjin plays a vital role in ensuring the safety of downstream water. The focus of the study is on changes in eco-environment in the northern mountainous area of Hebei Province and effects of the change on transporting clean water to downstream. The data comprise land use in 1990 and 2009, precipitation from 1980 to 2009 and household survey in Dongbeigou Watershed where many environmental preservation projects were implemented. The results indicated that there was a huge progress in environmental construction with more than 50% land covered by forest; as the increase of vegetation cover, the intensity and frequency of soil erosion went down. By contrast, the available water resources declined due to the decrease of precipitation. The eco-water consumed by forest increased because of vegetation rehabilitation. In addition, the inhabitants in water source have not strong environmental protection sense and don't realize the important position of water source. Non-point source pollution induced by high input of amount of chemical fertilizer is harmful to transporting water to downstream. Setting up the ecological compensation scheme is a good way to coordinate the conflicts between water source area and downstream.

Key words: ecological rehabilitation; transporting clean water to downstream; northern mountainous area of Hebei Province; Dongbeigou Watershed

收稿日期: 2011-08-02

修回日期: 2011-11-02

资助项目: 水利部公益项目“冀北山区生态输水小流域治理模式与关键技术”(200901051); “十二五”国家科技支撑计划“农田水土保持工程与耕作关键技术”(2011BAD31B01)

作者简介: 吕明权(1987—), 男, 四川省富顺县人, 硕士研究生, 主要研究方向: 土地资源利用与管理。E-mail: mqlv2009@126.com

冀北山区是滦河潘家口水库和潮河密云水库的主要集水区和水源地,约占两库上游流域面积的78.6%和38.7%,担负着为京津地区输水的重要职责。该区域也是京津地区生态屏障,山高坡陡、降水集中且多暴雨,是典型的生态环境脆弱区。近年来在该区域实施了一系列的生态治理工程,包括三北防护林工程,京津风沙源治理工程,退耕还林工程等。这些生态工程实施之后,区域土壤侵蚀明显减弱^[1],生态服务价值明显增加^[2-3],植被覆盖率提高^[4-5],但近年来京津水源区下游径流减少,入库水量锐减^[6-7],很多研究都认为该区域近年来实施的以封育保护和植树种草为主要手段的植被建设和以农田水利和坡沟工程为主的工程建设消耗了大量水资源是下游水资源短缺的部分原因^[6,8]。

农户作为农村地区最主要的经济活动主体与最基本的决策单位,其生计策略往往直接或间接与当地生态环境相关,存在相互作用以及反馈机制^[9]。基于以上认识,本文选择位于冀北山区的东北沟流域作为研究区域,利用参与式调查来充分获取当地农户对该流域的生态环境变化感知,认识当地环境变化的过程及这种变化与下游输水的关系,期望对今后继续实施和开展生态治理工程提供决策依据和理论指导。

1 研究区概况

东北沟小流域位于平泉县西部,隶属王土坊乡,属燕山山脉中低区,地理坐标为118°33′09″—118°37′09″E,41°03′07″—41°06′19″N,包括东沟和北沟两条沟组成,流域总面积为19.4 km²。流域内最高山峰海拔1 179 m,最低处海拔593 m,属于流入潘家口水库的滦河水系。该流域为暖温带大陆性季风气候,年平均气温7.1℃,无霜期135 d,多年平均降雨量为540.8 mm,约80%集中在6—9月。土壤类型有褐土、棕壤、石质土、新积土、粗骨土和黄绵土。流域内共有人口1 100人,劳动力690人。流域内一年一季的种植方式,无灌溉设施,属于雨养农业区,种植结构单一,玉米在种植农作物中占90%以上。2003—2006年累积退耕96 hm²,现有耕地面积有102.5 hm²。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

本文采用的数据主要包括快鸟影像(成像时间2009年),1990年的土地利用图来自当时承德市水土保持研究所对东北沟流域进行水土保持治理时的土地现状调查。气象数据主要包括1980—2009年的降雨数据,由平泉县气象站提供。农户对生态环境感知

的数据来自课题组于2010年7—8月对流域农户进行的调查,调查125户农户,得到有效调查120份。

2.2 研究方法

参与式调查是于20世纪80年代初发展起来并迅速推广运用的农村社会调查研究方法,被称为来自农户、与农户一起并依靠农户学习了解农村生活和环境的一种方法和途径。在国外应用较为广泛,Buijs^[10]调查荷兰两个冲积平原上当地居民对于河流恢复后可能的影响进行了认知响应调查;Zainab^[11]应用该方法研究了坦桑尼亚North Pare和West Usambara山区农户使用改进型水土保持措施的行为;M. H. Hoang^[12]就中国黄土高原小流域的土地利用规划进行了研究。20世纪90年代被引入中国后,此方法已在一些领域广泛使用,如自然资源管理^[13-14]、流域治理与流域规划^[15]、政策分析^[16-17]等方面都有成功应用,并取得良好效果。

调查中根据一定的采访主题和提前拟订的采访提纲,但在采访过程中不局限于单一的主题,而是围绕主题向受访者进行开放式提问,由受访者介绍对事件的看法、愿望和态度从中获取信息。调查由客观性的调查表和开放性的调查问卷组成,本研究的调查由以下四部分内容组成:(1)农户的基本社会经济特征,包括性别、文化程度、职业、家庭人口等;(2)农户的生产经营情况,包括家庭的土地利用结构和变化、种植业投入产出、养殖业和工副业的发展等;(3)农户对生态环境和相关的生态治理工程的认知和态度;(4)农户的生态输水的行为和对生态输水认识和态度。

3 结果分析

3.1 农户的基本特征

所调查的120户农户的社会经济特征如表1所示,调查对象中男性82人,占68.3%,女性38人,占31.7%。流域居民的文化程度均不高,以小学为主,小学及以下的占了54.2%,高中及以上的文化程度的比例只占到8.3%。受访者年龄以大于40岁为主,年龄在40~50岁占了44.2%,大于50岁的占38.3%,小于40岁的只占17.5%。受调查者的家庭规模以4~6口人居多,占63.3%。由于流域的耕地面积不大,退耕规模也较小,大部分受访者人均退耕面积小于0.067 hm²,退耕地面积大于0.133 hm²的占16.6%。流域农民的耕地除了承包地外还有以前自己开垦的土地,其中生产条件不好的退耕,生产条件较好的延续原有的用途,人均耕地面积均不大,在调查的农户中,人均播种面积大于0.093 hm²的有46户,占38.3%,小于0.053 hm²占了30%。调查

农户中人均粮食占用量是 424 kg。流域居民收入构成中农业所占的比例均不大,只有 16.7%的农户农业收入占总收入的一半,超过一半的农户农业收入占不到总收入的 20%。

表 1 调查农户的基本特征

特征	类别	频数	百分比/%
性别	男	82	68.3
	女	38	31.7
文化程度	小学及以下	65	54.2
	初中	45	37.5
	高中及以上	10	8.3
	<40	21	17.5
年龄/岁	40~50	53	44.2
	>50	46	38.3
	<4	42	35
家庭人口/人	4~6	76	63.3
	>6	2	1.7
	<0.067	65	54.2
人均退耕面积/hm ²	0.067~0.133	35	29.2
	>0.133	20	16.6
人均播种面积/hm ²	<0.053	36	30
	0.053~0.093	38	31.7
	>0.093	46	38.3
	<400	64	53.3
人均粮食占有量/kg	400~800	37	30.8
	>800	19	15.9
农业收入占总收入比例/%	<20	75	62.5
	20~50	25	20.8
	>50	20	16.7

3.2 生态环境的变化

3.2.1 农户对土壤侵蚀的感知 调查中发现,东北沟流域的土壤侵蚀面积已明显减少。东北沟流域是以褐土为主,土层薄,结构松散,腐殖质含量很低,且该区域 70%的降雨集中在 6—9 月,这些自然条件使土壤侵蚀较易发生,在 20 世纪 90 年代以前该流域是土壤侵蚀高发区。从调查中得知,10 a 前每逢大雨之后河道里就会堆积约 1 m 深左右的沙,而近几年这种情况几乎没有发生,且河道已被植被覆盖。分两个时段来调查农民耕地的土壤侵蚀情况发现(表 2),有 68%的调查对象的耕地近几年来无土壤侵蚀发生,有 32%的调查对象的耕地存在着土壤侵蚀,且发生土壤侵蚀的耕地面积所占的比例都小于 20%。而约 10 a 前即退耕还林实施以前,有 91%的被调查者的耕地发生过土壤侵蚀,有 53%的被调查者 20%以上的耕地都发生过土壤侵蚀。虽然近几年土壤侵蚀状况有所改善,但是该区域耕地的土层薄,有 26%的调查者耕地的土层平均厚度在 30 cm 以下,34%的人的耕地

的平均厚度在 30~40 cm,40%的耕地土层平均厚度在 40 cm 以上。

土壤侵蚀发生面积的减少主要是因为退耕还林工程把容易发生土壤侵蚀的坡耕地植树变为林地,减少耕地面积,且封山禁牧政策减少了牲畜对植被的破坏,也没有人为干扰使以前容易发生土壤流失的土层结构扰动较小,从而减小了土壤侵蚀发生的概率。

表 2 调查对象对土壤侵蚀的认知

调查内容	调查选项	近 5 年情况/%	退耕以前/%
你家耕地是否发生土壤侵蚀	有	32	91
	无	68	9%
发生土壤侵蚀与耕地的面积比	<20%	32	40
	20%~40%	0	36
	>40%	0	17

3.2.2 土地利用与覆被变化 东北沟流域近年来的生态工程使该流域的植被覆盖和土地利用都发生了明显的变化。从调查中得知,受访者对环境变化最直观的感受是森林面积的增加。大部分调查对象认为封山禁牧政策是使植被覆盖增加最为直接的原因,该流域封山禁牧的时间是 1989 年,经过 20 余年的自然封禁使植被免受人为干扰和牲畜的破坏,这为植被的恢复提供了良好的条件。以分辨率较高的快鸟影像为基础,结合野外调查及与当地农户的访谈,得到 2009 年流域的土地利用图(附图 2),其中林地面积占到流域面积的 55.82%,在退耕之后,耕地面积只占流域面积的 7.04%,难利用土地面积占到了流域面积的 13.64%,这些难利用的土地主要是风化岩地,土层薄,这也是水土地流失的主要策源地。在流域现状土地利用图和 1990 年土地利用现状调查的基础上,结合受访者回忆关于流域土地利用变化的主要事件得到 1990 年流域的土地利用图(附图 2),当时林地面积只占 38.55%。

植被增加、生态恢复使流域的生物多样性明显增加。最明显的变化是野生动物增加,该流域常见的有野鸡、野兔、獾、黄鼠狼等。植被的恢复为野生动物繁殖提供栖息地。受访者均认为野生动物对他们最大的危害就是破坏庄稼,但这从另一个侧面说明流域的生态环境正在变好。

3.2.3 水资源的现状 在调查中,缺水是村民普遍反映的一个环境问题。该流域所处的平泉县境内有属滦河、辽河两大水系的瀑河、老哈河、青龙河、老牛河、大凌河 5 条河流,没有任何客水入境,全靠降水补给。近几年来,缺水现象表现得尤为明显,据该流域的村民所讲,大概 10 a 前沟里常年都会有径流,但近 5 a 来,沟里几乎没有产流。东北沟流域村民的生活

用水均来自地下水,调查中发现因为地下水位下降,有近 70% 的受访者生活用水的水源地发生过变更。究竟是什么原因使村民感到以前并不缺水变为现在大部分受访者认为缺水呢? 89% 的调查对象认为降雨量偏少和气候变化是导致缺水的主要原因。从气象观测数据来看(图 1),该地区多年平均降雨量为 556 mm,但该区域降雨波动明显,2005 年降雨量达 645.7 mm,2006 年降雨量只有 340 mm。对各年的降雨数据 5 a 滑动求平均可看出降雨量有减小的趋势,但是不显著。降水分布的不均也是造成水资源缺乏的原因之一,1 a 中 70% 的降雨主要集中在汛期即 6—9 月。

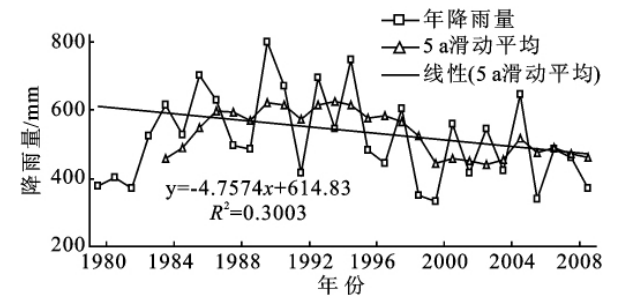


图 1 1980—2009 年降雨量及变化趋势

除降雨量偏少外,88% 的农户认为该流域近几年常年不产生径流与流域内森林面积的增加、植被恢复有关,这和森林具有涵养水源的认识有一定的差别。随着植被覆盖率的提高,其拦截降雨、蒸腾作用加强,这些过程消耗了较多水资源。但随着下垫面的变化,大部分降雨都被拦截之后下渗,减少了降雨和径流对土壤的冲刷,土壤侵蚀也可随之减少。

冀北山区是京津的水源区,生态环境以前较为脆弱,是国家投资的生态治理工程的重点区域。在中国,造林是所有生态治理项目的核心,认为是最有效的治理环境退化模式^[18]。但是很多科学研究表明,森林的水文效需要重新认识,Calder^[18-19]指出中国的很多造林项目是以牺牲水资源的代价来换取侵蚀减少。Bosch/Hewlett 做了关于森林与其径流关系的大量研究,发现从 94 条实验流域总结出结果没有一条流域的产流量会随着森林覆盖率的增加而增加。早在 20 世纪 80 年代初期,黄秉维针对当时有些人过分夸大森林的作用,强调不要过分夸大森林的作用,引起了较强烈的反响。陈军锋等^[20]的研究结果表明,当土地由无植被覆盖转变为有林地全部覆盖时径流深减小,蒸发量增加。

Sun^[21]研究表明在平均气候条件下目前中国的造林活动使径流减少 50~150 mm/a,在中国北方因为大面积的造林活动产水量减少问题较为严重。从因森林面积增加造成产水量减少可以看出,北京、天津的水源区冀北山区和周围地区相比其产水量减少

明显,减水率为 100~150 mm/a,因此为北京、天津供水的密云水库、潘家口水库来水量减少也就可以得到合理解释。因此对该区域实施以生态输水为目标的流域治理就显得尤为必要,使冀北山区在生态不发生退化的情况下,能向下游输送更多的径流。

3.3 生态输水意愿分析

冀北山区是京津的水源重要涵养区,该区域农户是生产和土地决策的基本单位,农户的生产方式和行为会对下游的水质有重要影响。首先了解东北沟流域居民是否知道他们所处的区域是下游潘家口水库的水源涵养区,但在预调查中有相当一部分人不清楚,所以改变了提问的方式,改为流域的降雨最终汇入的河流,河流的水最终汇入的水库。有 37.5% 的被访问者知道东北沟小流域的降雨流入瀑河,由表 3 看出,有 15.3% 的人知道瀑河的水汇入滦河,仅有 11.1% 的人知道滦河的水引入潘家口水库。也从某种程度上说明了超过 85% 的居民不知道他们所生活的区域属于水源涵养区。其次,位于京津水源涵养区的居民对为下游输水的态度也是本调查所关心的问题,调查结果显示,有 21.4% 的人表示明确的反对,主要原因是本流域水资源的缺乏,有 73.6% 的人表示愿意,但其中大部分的人是被动愿意,他们认为降雨时上游的水流往下游,水资源没办法存储。

表 3 调查对象对水源区的认识

调查内容	认知选项	调查结果/%
你们流域的降雨汇入哪条河流	不知道	47.2
	瀑河	37.5
	滦河	15.3
该条河流的水最终流入哪个水库	不知道	88.9
	潘家口水库	11.1
位于京津水源涵养区上游,	愿意	73.6
你对为下游输水的态度	反对	21.4

位于京津水源区的居民在农业生产和生活中引起的面源污染会直接影响到入库的水质,东北沟流域居民在农业生产中投入的化肥和农药易引起面源污染,研究该区域农户减少化肥施用的意愿及因此造成的损失接受补偿的意愿,可以间接反映水源区农户的输水意愿。对当地居民农业生产中施用农药、化肥对水体影响的认识调查,结果显示有 30.3% 的受访者认为施用化肥不会对水体造成危害,有 59.7% 的人认为化肥对水体有不良影响。可以看出,当地居民对化肥引起环境污染的认识还不够深刻。因为东北沟小流域养殖业的减少,农家肥已全部被化肥所代替,且受访者均认为为了不使产量减少,化肥施用量正有增加的趋势,去年该流域在粮食生产中化肥 N 肥的施用折纯量达 448.5 kg/hm²,是河北省 N 肥推荐使

用量的 2.4 倍,P 肥的使用量更是推荐使用量的 4.4 倍。受访者被问到用农家肥代替化肥对产量的影响时,有 16.6%的人认为这会带来产量的增加,28.2%的人认为产量变化不大,39.6%的人认为这会导致产量减少 30%,21%的人认为产量会减半。被调查者均认为农家肥的获取来源是个问题,封山禁牧后养殖业规模迅速减小,农家肥的生产减少。其次,施用农家肥比施用化肥耗用更多的劳动量,大部分受访者认

为农业生产中施用农家肥除了造成粮食产量减少的直接损失,还会因为投入更多的劳动时间造成的间接损失。为了下游能有清洁的水源而减少化肥施用造成的损失不应该由上游农民全部承担,间接调查了每个农户根据自己耕地条件的不同因不施化肥造成减产的多少来衡量受偿意愿,有 35%的调查者认为应该补偿 200~250 元,与产量减小的价值的认知相比补偿趋于偏小,详见表 4。

表 4 禁用化肥后的受偿意愿

认知问题	认知选项	调查结果/%
为了保护下游水源安全,在农业生产中禁止使用化肥,用无污染的有机肥代替化肥,会对您的粮食产量造成多大影响	变化不大	18
	减产 30%	27
	减产 50%	39
	减产 50%以上	16
	50~100 元	6
因少施化肥造成的损失进行补偿,0.067 hm ² 土地应补偿多少	100~200 元	32
	200~250 元	35
	>250 元	27

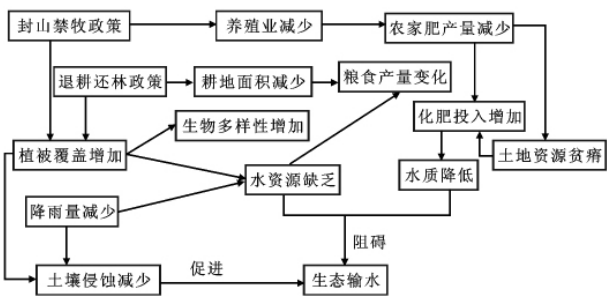


图 2 生态环境变化与生态输水关系

4 结 论

通过对生态项目实施区东北沟流域农户访谈获得农户对生态环境变化的认识,这些正发生的环境变化也深刻影响着为下游输水(图 2)。东北沟流域生态建设已取得了一定的成就,经过二十余年的自然封禁,为植被恢复提供了良好的条件,随着植被覆盖率增加,森林面积占了流域面积的一半以上。近年来土壤侵蚀发生的频率和强度都明显减少,减小下游河道水库泥沙淤积,这方面的变化有利于为下游生态输水;近年来降雨量减少,使水源区的可供利用水资源减少,另一方面森林面积增加,植被恢复对降雨和径流的拦截,使京津水源区的产水量明显减少,为下游输水显得力不从心。加之,位于水源区的居民生态保护意识不强,没有认识到所处区域的重要地位,在农业种植中大量的化肥投入来提高粮食产量诱发的面源污染也是不利于该区域为下游的生态输水。作为经济欠发达的上游,靠自身的力量难以长期承担水源保护的重担,甚至为大局不得不牺牲发展的权利,客观上需要国家和下游发达地区的支持和反哺,否

则,流域和谐发展将是无源之水。
致谢:野外调查得到了承德市水保所和平泉县水利局的大力支持,谨致谢忱!

参考文献:

[1] 贺然,王棒,朱国平,等.密云水库北京集水区土壤侵蚀预测[J].农业环境科学学报,2007,26(增刊):579-582.

[2] 姚清亮,陆贵巧,杜剑,等.关于承德市退耕还林工程生态效益评价研究[J].河北农业大学学报,2009,32(6):57-61.

[3] 郑江坤,余新晓,贾国栋,等.密云水库集水区基于LUCC的生态服务价值动态演变[J].农业工程学报,2010,26(9):315-320.

[4] 石莎,邹学勇,张春来,等.京津风沙源治理工程区植被恢复效果调查[J].中国水土保持科学,2009,7(2):86-92.

[5] 滑永春,彭道黎,陈鹏飞.基于MODISNDVI的京津风沙源工程治理区荒漠化动态监测[J].西北林学院学报,2010,25(6):210-215.

[6] 冯平,李建柱,徐仙.潘家口水库入库水资源变化趋势及影响因素[J].地理研究,2008,27(1):213-220.

[7] 李子君,李秀彬.水利水保措施对潮河流域年径流量的影响:基于经验统计模型的评估[J].地理学报,2008,63(9):958-968.

[8] 孙宁,李秀彬,冉圣洪,等.潮河上游降水—径流关系演变及人类活动的影响分析[J].地理科学进展,2007,26(5):41-47.

[9] 徐建英,柳文华,常静.基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略[J].生态学报,2010,30(22):6126-6134.

(下转第 69 页)

3 结论

(1)降水量从西北向东南递增。不同的降雨强度在各年代分布不均:1950s—1960s小雨和中雨降水日数增多,1970s小雨降水日数略有减少,进入1980s后,小雨降水日数明显增多,进入1990s,各站小雨降水日数均有所减少,而2000年后,除宝鸡、天水 and 西安站小雨降水日数减少外,其余站点均略有增加;1960s—1990s中雨的降水日数和近60a大雨的降水日数均基本保持不变,进入2000年后,中雨的降水日数略有减少;暴雨在各个年代出现日数极少,而大暴雨这种极端降水在各站近60a里出现日数最少,其中天水站在近60a里未出现过。

(2)各年代际降水日数呈现波动变化,1950s—1960s上升,1970s后下降,进入1980s后又上升,并且达到近60a最大,1990s后降低,2000年后,除天水、宝鸡和西安站降水日数减少外,其余站点降水日数均略有增加。总降水量与降水日数变化并不完全一致。1950s—1960s,总降水量减少,但1960s降水日数比1950s明显增多。2000年后天水、宝鸡和西安站降水日数减少,但是降水量却增加。

(3)近60a降水量趋于减少。1950s—1970s降水量减少,1980s后增加,并且达到近60a最大降水量,而进入1990s后,降水量又开始减少,2000年后降水量略有增加。1950s,1960s和1980s降水量均高于

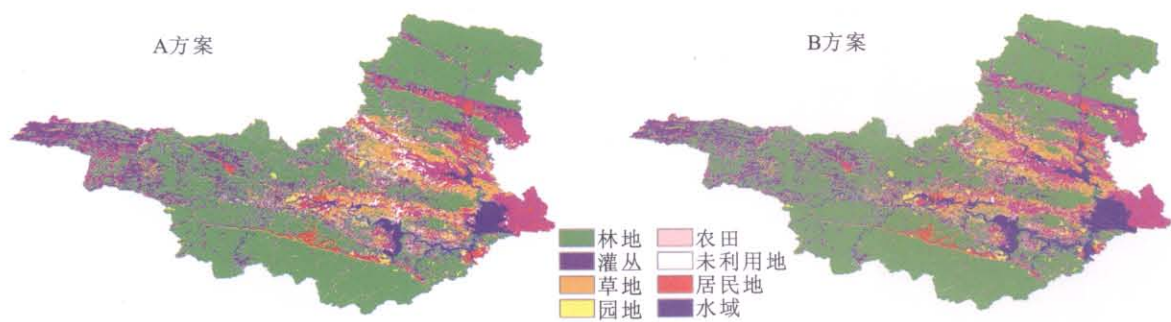
多年平均降水量,1970s、1990s以及2000年后的降水量均低于多年平均降水量。

(4)关中—天水经济区降水量变化特征大致可分为三个阶段。大部分站点降水量1968年或1975年以前高于多年平均降水量,1968—1990年或1975—1990年期间,降水量围绕多年平均降水量震荡,1990年后,降水量普遍低于多年平均值。

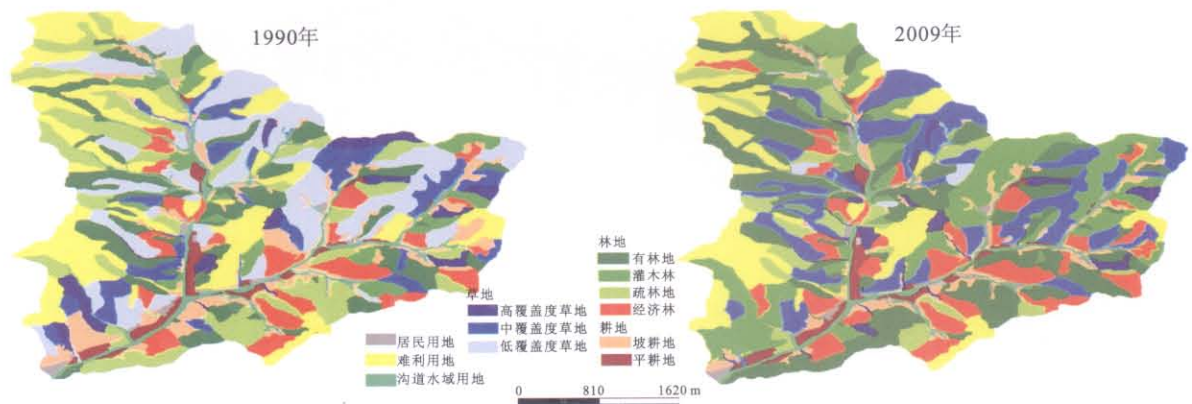
参考文献:

- [1] 秦大河,陈振林,罗勇,等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展,2007,3(2):63-73.
- [2] 中国气象局. 中国气候与环境演变[M]. 北京:气象出版社,2006.
- [3] 陈少勇,郭江勇,郭忠祥,等. 中国西北干旱半干旱区平均气温的时空变化规律分析[J]. 干旱区地理,2009,32(3):364-371.
- [4] 李宗省,何元庆,辛惠娟,等. 我国横断山区1960—2008年气温和降水时空变化特征[J]. 地理学报,2010,65(5):563-579.
- [5] IPCC. Climate change 2007: the physical scientific basis. Contribution of working group I to the forth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press,2007.
- [6] 蔡运龙. 全球气候变化下中国农业的脆弱性与适应对策[J]. 地理学报,1996,51(3):202-211.
- [7] Buijs A E. Public support for river restoration: A mixed-method study into local residents' support for and framing of river management and ecological restoration in the Dutch floodplains[J]. Journal of Environmental Management,2009,90: 2680-2689.
- [8] Zainab Mbagal-Semgalawe, Henk Folmer. Household adoption behavior of improved soil conservation: the case of the North Pare and West Usambara Mountains of Tanzania[J]. Land Use Policy,2000,17:321-336.
- [9] Hoang M H, Fagerstrom I, Mesing Z M, et al. A participatory approach for integrated conservation planning in a small catchment in Loess Plateau, China Part I Approach and Methods[J]. Catena,2003,54:255-269.
- [10] 甄霖,谢高地,杨丽,等. 基于参与式社区评估法的泾河流域景观管理问题分析[J]. 中国人口·资源与环境,2007,17(3):129-133.
- [11] 张志,朱清科,朱金兆,等. 参与式农村评估(PRA)在流域景观格局研究中的应用:以晋西黄土区吉县蔡家川为例[J]. 中国水土保持科学,2005,3(1):25-31.
- [12] 熊晓波,梁剑辉,董仁才,等. 参与式方法在小流域治理中的应用[J]. 中国水土保持科学,2009,7(3):108-113.
- [13] 徐建英,陈利顶,吕一河,等. 基于参与性调查的退耕还林政策可持续性评价[J]. 生态学报,2006,26(11):3789-3795.
- [14] 于一尊,王克林,陈洪松,等. 基于参与性调查的农户对环境移民政策及重建预案的认知与响应:西南喀斯特移民迁出区研究[J]. 生态学报,2006,26(11):3789-3795.
- [15] Calder I R. Forests and water-ensuring forest benefits outweigh water costs[J]. Forest Ecology and Management,2007,251:110-120.
- [16] Calder I R. Forests and water: closing the gap between public and science perceptions[J]. Water Science and Technology, 2004,49(7):39-53.
- [17] 陈军锋,李秀彬. 森林植被变化对流域水文影响的争论[J]. 自然资源学报,2001,16(5):474-450.
- [18] Sun Ge, Zhou Guoyi, Zhang Zhiqiang, et al. Potential water yield reduction due to forestation across China [J]. Journal of Hydrology,2006,328:548-558.

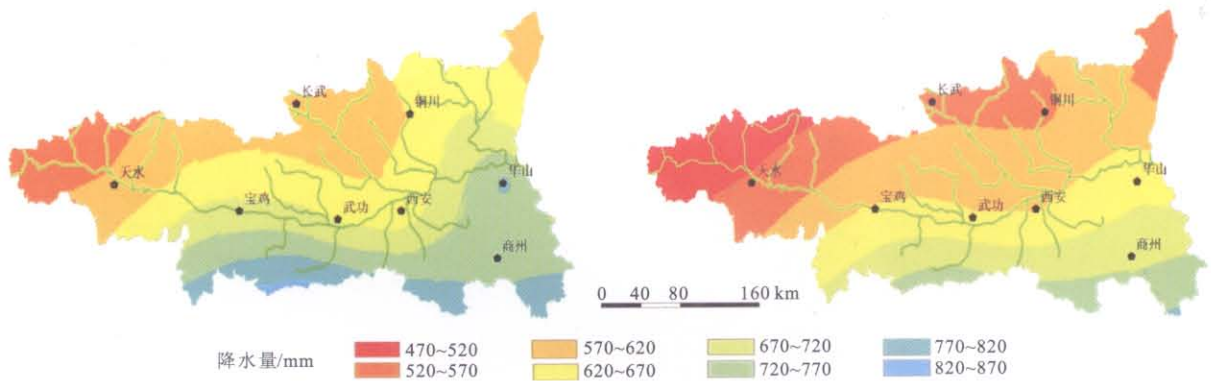
(上接第64页)



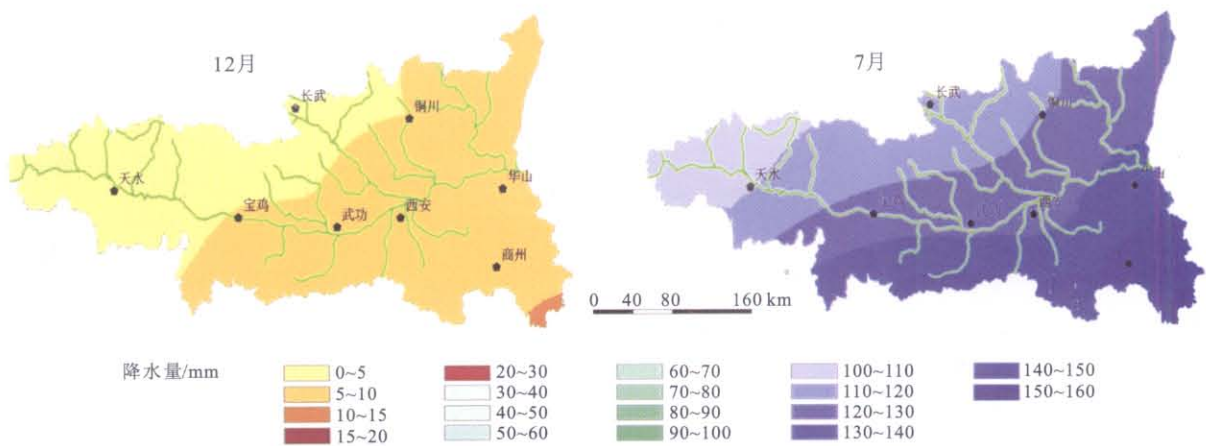
附图1 丹江口库区2020年土地利用预测图



附图2 1990年和2009年冀北山区东北沟流域土地利用状况



附图3 关中—天水经济区降水量年代际变化分布



附图4 关中—天水经济区降水量多年平均年内分布