

引用格式:郑景云,文彦君,方修琦.过去2000年黄河中下游气候与土地覆被变化的若干特征[J].资源科学,2020,42(1):3-19.
[Zheng J Y, Wen Y J, Fang X Q. Changes of climate and land cover in the middle and lower reaches of the Yellow River over the past 2000 years[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 3-19.] DOI: 10.18402/resci.2020.01.01

过去2000年黄河中下游气候与土地覆被变化的若干特征

郑景云^{1,4},文彦君^{2,3},方修琦³

(1.中国科学院地理科学与资源研究所,中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室,北京100101;2.宝鸡文理学院地理与环境学院,宝鸡721013;3.北京师范大学地理科学学部地理学院,北京100875;4.中国科学院大学,北京100049)

摘要:根据近40年在黄河中下游地区气候、灾害、植被与土地利用变化历史等方面的研究成果,综合分析了过去2000年黄河中下游地区温度、干湿、极端旱涝等的变化特征,以及历史农耕发展对土地覆被的改变和垦殖率变化的总体趋势;并从长期变化视角简要讨论了这些变化与黄河下游地区泥沙淤积、决口改道的宏观关系。主要结论有:过去2000年黄河中下游地区温度与干湿呈显著多尺度周期波动,且中游和下游地区的干湿变化并不完全同步;极端旱涝发生频率存在阶段性差异。至公元初前后,黄河中下游地区就已被开发为一个垦殖范围与今相近的农业区,其自然植被分布极为有限,且其后的农耕垦殖强度虽有大幅波动,但总体呈增加趋势。上述因素变化相互交织影响了黄河中、下游水沙输送平衡、河道淤积和河床稳定,是引发历史上黄河下游多次重现“筑堤—淤积—悬河—决口改道”循环过程的重要因素。这些认识可为进一步科学理解黄河中下游地区的环境变化规律及其与下游地区河流安澜的关系提供历史背景依据。

关键词:黄河中下游;过去2000年;气候变化;极端旱涝;土地覆被;农耕垦殖

DOI: 10.18402/resci.2020.01.01

1 引言

黄河是中华民族母亲河,干流河长约5687 km,流域集水面积约为 $81.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中游从内蒙古托克托河口镇至河南省郑州桃花峪共1206 km,流经黄土高原,落差890 m;下游流经地势平缓的华北平原,从桃花峪至山东省利津县河口共786 km,落差仅95 m^[1](图1)。受季风气候影响,黄河中下游地区降水年际变率大,自古以来旱涝灾害频繁。中游地区黄土土质疏松、汛期多暴雨,极易发生土壤侵蚀,是中国主要生态环境脆弱区之一^[2-4]。黄土高原地区的强烈自然侵蚀过程和人类活动影响相互交织,通过黄河向下游输送大量泥沙,特别是其中的托克托至龙门区间干流河段和泾、渭、洛、汾4条支流的输沙量,约占黄河泥沙总量的90%,且含大量

粒径超过0.05 mm的粗砂,是造成下游河道淤积的主要原因^[5,6],使得黄河下游河道素以多沙、善淤、善决、善徙著称,对河道治理和区域发展形成极大威胁^[7-10]。

虽然今黄河下游的流域面积仅 $2.27 \times 10^4 \text{ km}^2$,但历史上黄河下游河道常南北游荡于淮河和海河之间,因此黄淮海平原的绝大部分区域在历史时期都曾是中国黄河流域的组成部分(图1)^[10-15]。由于黄河下游河道水势平缓、宽浅散乱,导致泥沙大量堆积,因而自古以来决口改道频繁,在平原地区形成了多期冲积扇。而为规避其不利影响,自战国起,就在主河道两岸不断修建堤防,约束下游漫流^[15]。由于长期筑堤束水使下游河道河槽出现泥沙淤积,堤内河道不断抬高,形成临河河道滩面高于两岸背河地面

收稿日期:2019-12-12 修订日期:2019-12-23

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(XDA19040101);国家自然科学基金项目(41671036;41831174)。

作者简介:郑景云,福建莆田人,研究员,主要从事气候变化研究。E-mail: zhengjy@igsnr.ac.cn

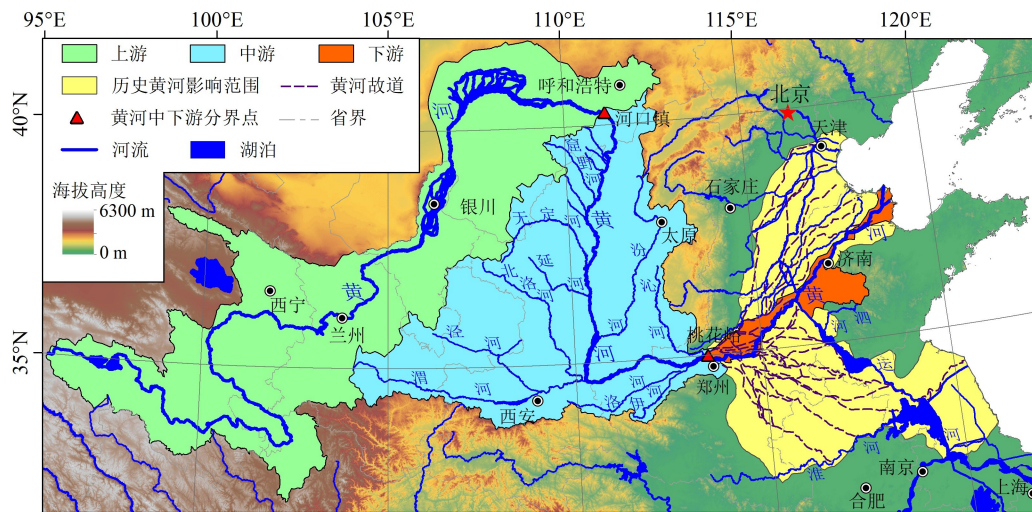


图1 黄河流域的地理范围及已查明的下游古河道示意图^[1]

Figure 1 Scope of the Yellow River Basin and paleo-channels of the Yellow River in the lower reaches^[1]

的地上河(也称“悬河”);加之汛期水情复杂多变,水沙输送不平衡,因而一旦遭遇大洪水造成决口泛滥,轻者影响河道周边区域,重者威胁整个黄淮海平原^[8,13]。因此,黄河流域是一个以河道为纽带有机联系的自然—人类复合系统,其下游的水患问题,看似是下游河道问题,但本质却是整个中下游流域的环境变化和生态安全问题,涉及人与自然环境变化相互作用和不同区域间资源利用的相互协调等各个方面,其中气候(特别是旱涝)和地表覆被变化,因与资源利用、土壤侵蚀、水沙输送平衡等密切相关,被认为是影响该问题的重要因素^[16]。

尽管黄河流域是中华文明的发祥地和历史时期的长期政治、文化、经济中心^[17-20],但其社会经济发展(尤其是自汉代以来的2000多年间)却一直受环境变化和生态安全问题,特别是旱涝灾害、黄土高原的水土流失及下游水患等问题的严重影响^[4, 21-26]。因此,自古至今对这些问题的史实记载和研究著述不胜枚举。特别是近年又对历史时期黄河中下游地区的气候与环境变化等问题开展了大量研究,并取得了大量新成果。本文拟以这些研究成果为基础,进一步对这一地区过去2000年气候与土地覆被变化特征进行分析,以期为系统认识黄河中下游地区的环境变化规律提供历史背景。主要方法是:首先通过文献检索,查阅其中近40年发表、出版的与气候和土地覆被变化密切相关的研究论文和专著,并从中遴选被学界常引的经典文献及对同一问题研

究有新结果或新认识的文献,这些文献均以历史时期的气候、灾害、植被与土地利用变化史实重建及分析为主要内容,且将黄河中下游地区或其中部分地点作为一个主要研究区,共计100余篇(部)。然后采用文献综述方法,对不同时段、不同区域、不同来源的研究结果进行对比和整合,梳理总结过去2000年黄河中下游地区气候(特别是旱涝气候变化)与土地覆被等变化的主要特征。这对进一步开展黄河流域人与自然环境变化相互作用和不同区域间资源利用的相互协调研究,进而科学理解黄河流域的环境变化和生态安全问题、促进流域的生态保护治理和社会经济的高质量发展具有重要意义。

2 过去2000年黄河中下游气候变化的主要特征

2.1 冷暖与干湿变化

已有研究表明,不论是20世纪的增暖趋势及其间的年代际波动^[27],还是过去2000年百年尺度的冷暖阶段变化^[28,29],黄河中下游地区的温度变化(图2a)都与中国大多数地区(图2b)具有极高的一致性^[30]。其中:公元1—200年、550—750年、950—1300年及20世纪气候相对温暖,其他时段则相对寒冷^[31,32]。从百年和年代尺度的冷暖波动幅度看,温暖时段与寒冷时段的全国平均温度变幅为0.5~1.0℃,其中黄河中下游地区的变幅更大一些,达1.0℃以上。特别是其中的冬半年温度,最暖时段与最冷时段之间可差1.5℃,大致相当于平原地区

2020年1月

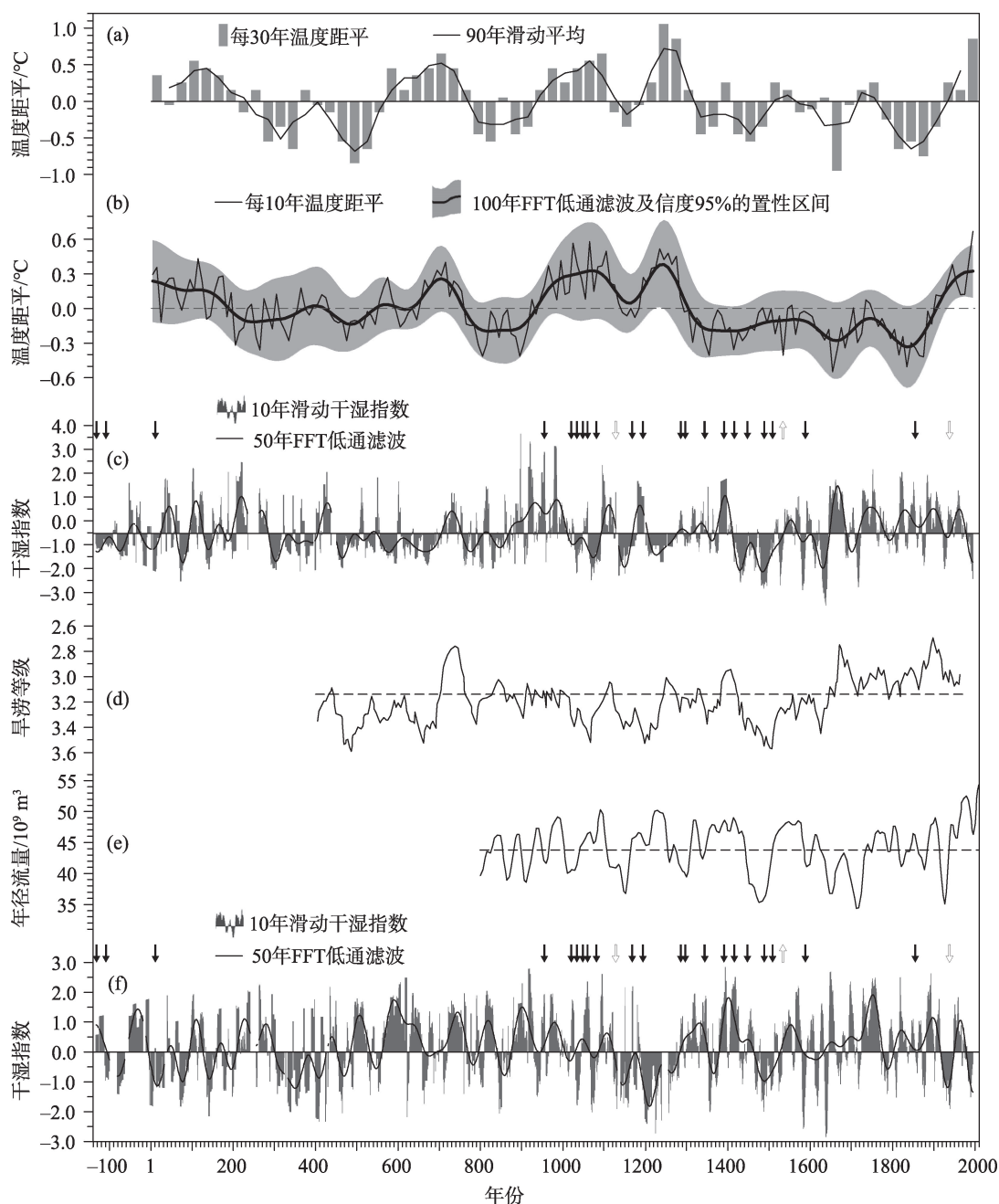


图2 过去2000年黄河中下游气候变化序列及改道事件发生年份(箭头)

(a)黄河与长江中下游地区冬半年温度^[31]; (b)全国年均温度^[32]; (c)黄河中上游地区干湿指数; (d)西安年旱涝等级序列的50年滑动平均^[33]; (e)黄河中游年径流量的31年低通滤波^[34]; (f)黄河下游地区干湿指数。(c)和(f)的上方箭头指公元前2世纪中期以来主要改道事件及其发生年(其中1个空心朝上箭头指发生在上游地区的改道,2个空心箭头指下游人为决口造成的改道)

Figure 2 The series of climate change in the middle and lower reaches of the Yellow River and the years (marked as arrows) with river avulsion for the past 2000 years. (a) The winter temperature anomaly (in 30 a resolution) in the middle and lower reaches of the Yellow River and the Yangtze River (bold line: 90-year running mean)^[31]. (b) The annual temperature anomaly in China (thin line: 10 a resolution; bold line: the 100-year FFT low-pass filters; gray shading: the 95% confidence intervals)^[32]. (c) The dry-wet index for the middle reaches (bold line: the 50-year FFT low-pass filters). (d) The 50-year running mean of drought/flood grade in Xi'an area^[33]. (e) The 31-year low-pass filter of tree-ring based annual runoff reconstruction over the middle reaches^[34]. (f) Same as plate (c), but for the lower reaches. Down arrows in plates (c) and (f): river avulsion in the lower reaches, in which 2 white marks indicated that induced by human activities; up arrows: river avulsion in the upper reaches

的气候带南北移动幅度2个纬度左右;且其间还存在显著的年代至多年代尺度波动^[30]。

不过已有研究却显示,黄河中下游地区的降水变化至少存在多雨中心分别偏西(即以黄河中游地区为中心)、偏东(即以黄河下游地区为中心)和中下游地区均多雨或少雨等3种主要空间型^[35],因而使得过去2000年黄河中游和下游地区的干湿变化不一定同步。其中在黄河中游地区的关中地区,据历史文献记录重建的公元380—1983年西安旱涝等级序列显示^[33]:其旱涝发生频率为平均约3年一早、5~6年一涝,12.6年发生一次大旱、15年出现一次大涝。黄土高原过去400年以上树轮记录的多个地点降水与干旱指数序列也证明该地区降水具有类似的年际尺度周期变化^[36-40]。而在黄河下游的华北平原,公元1470—1979年的旱涝记录也显示,平均约3年发生一次受旱范围达10%以上的干旱,12.3年出现一次受旱范围超过30%的大旱;平均2.5年出现一次局地雨涝,12.7年发生一次受涝范围超过30%的大涝^[41]。

图2(c-f)给出迄今长逾千年的黄河中下游地区干湿(包括旱涝等级、径流量)变化序列。其中黄河中上游地区(图2c)干湿指数序列根据利用历史文献记录确定的12个站(包括大同、太原、长治、临汾、洛阳、延安、西安、凤翔、天水、兰州、平凉、银川)旱涝等级集成重建;其原始旱涝等级记录起自公元前137年,止于公元2000年^[42]。但由于受原始记载遗漏、失传与记异不记常、厚今薄古及战乱等多个因素影响,各站旱涝等级数据在15世纪之前有显著缺值,且时间越早,缺值越多。因而本文采用笔者先前构建的相对值方法,以10年为滑动步长重建区域干湿指数,同时利用多项式模拟记录数量变化趋势,剔除记载数量前后不一对重建结果的影响,以保持不同时段间的数据均一性^[43],故序列长度为公元前133年—公元1995年,序列均值为-0.52,表明这一地区气候总体偏干,与其大多数站位于半干旱区的气候特征一致。对比该序列的50年低通滤波结果和公元380—1983年的西安旱涝等级序列50滑动平均(图2d)曲线显示:二者变化过程在绝大多数时段高度一致,且二者所揭示的多年代尺度波动高低值也与利用树轮重建的公元800—2010年黄河中游径流量31年低通滤波序列(图2e)基本对应,仅

20世纪的升降趋势不同;其中图2c、2d均显示20世纪气候在波动中趋向转干;但图2e却显示20世纪黄河中游径流量在波动中趋向增加,不过这与观测结果相悖;因为受中游地区农业、工业、城市建设用水及三门峡水库库区水面蒸发的影响,黄河中游径流量在1969—2010年间显著减少^[34]。黄河下游地区(图2f)干湿指数序列的资料来源于黄淮海平原的14个站(包括河间、石家庄、邢台、安阳、开封、许昌、南阳、信阳、德州、济南、益都、兖州、莱州、徐州),重建方法与中上游地区(图2c)一致。其序列长度亦为公元前133年—公元1995年,序列均值接近于零,这与其主要位于半湿润区的气候特征吻合。

对过去2000年黄河中上游(图2c)和下游(图2f)地区的干湿指数序列功率谱分析表明:在年代际以上尺度,黄河中上游地区干湿存在准25年、70~80年和准100年等多个尺度的周期波动,下游地区干湿也存在21~22年、70~80年和准400年等多个尺度周期。对比其所揭示的2个地区过去2000年干湿变化过程显示:二者的年代际至多年代尺度波动过程在大多数时段具有极高同步性,特别是二者的50年低通滤波曲线的峰、谷在绝大多数时段基本一致,且均证实1638年前后的10余年(史称“崇祯大旱”或“明末大旱”)为过去2000年中干旱程度最严重的年代^[44];20世纪50—60年代黄河中上游、下游地区均相对偏湿;70年代由湿转干,至80—90年代均相对偏干。

不过对比也发现:在百年以上尺度,黄河中上游和下游地区的干湿也存在数个变化特征不一致的时段:一是约在公元500—830年间,黄河中上游地区气候总体偏干,而下游的黄淮海地区则总体偏湿。二是公元880—1000年间,黄河中上游地区气候在总体偏湿的同时,年代尺度变率加大;而下游地区气候虽也总体偏湿,但却无年代变率加大特征。三是公元1570—1690年间,黄河中上游地区气候在其前期(约1570—1645年)随多年代波动急剧转干,然后又急剧转湿;但下游地区其间则呈频繁的年代际大幅波动。此外,黄河下游地区较中上游地区具有更为显著的准400年波动。这些中、下游地区间的干湿变化差异可能与主控中国北方降水异常模态的大气环流特征及气候系统长期变化有关,但目前对此尚缺乏研究。

2020年1月

2.2 极端旱涝事件

黄河流域的旱涝记载史不绝书。依据历史旱涝记载评定的各地旱涝等级,参照“各站1951年以后旱、涝事件发生概率 $\leq 10\%$ ”标准重建的黄河中下游地区极端旱涝事件年表(图3)显示:在公元前100年—公元2000年间,有238年发生过极端大旱(占总年数的11.3%),196年发生过极端雨涝(占总年数的9.3%)。统计表明:其中的公元451—500年、551—600年、751—800年和1601—1650年极端干旱发生频率达20%以上,而101—150年、601—650年和1851—1900年极端大涝的发生频率达20%以上(图3)^[45]。特别是其大范围干旱还具有多年连发特征。研究表明:过去千年中国长江以北所发生的持续时间达3年或3年以上、范围达4省或4省以上的15次重大连旱事件,均主要发生在黄河中下游地区(表1)^[46,47]。此外,公元1927—1930年的极端连旱事件,虽然仅陕西、甘肃发生重旱,但其受旱范围也几乎遍及黄河中上游,并波及黄河下游地区^[48,49]。这些极端干旱年份轻者导致农业歉收、影响民生,重者甚至可触发社会动荡、生灵涂炭^[44,50]。

对比极端雨涝发生年与《黄河流域水旱灾害》^[22]整编的史载黄河流域大范围特大洪灾和洪灾年发现:在公元前1世纪—公元1949年间的71个特大洪灾和洪灾年中,有42年(占59%)与极端雨涝年一致(图3)。这主要是因为与极端干旱相比,极端雨涝年份的各地主雨区并不一定同时发生暴雨,且发生在下游平原地区的极端雨涝,也大部分不流入干流、影响水情,引发干流出现洪水泛滥灾害。但中游地区的高强度暴雨却是引发黄河中下游地区洪灾的主要因素。已有研究显示,黄河流域的暴雨主要发生在6个地区(表2);其中4个在黄河中游流域,它们不但可导致区域性洪灾,而且也是形成下游地区洪水的主要影响因素,其中尤以三花区间的环洛阳周边山地暴雨区对下游洪水的影响最大。特别是当出现2个或2个以上暴雨区导致的洪峰相互遭遇时,往往会致下游地区出现大洪灾。

对史载黄河流域的22个特大洪灾年^[22]统计分析显示:除1904年源于黄河上游暴雨(暴雨区在青海东部、兰州一带和河套地区,估算兰州站最大洪峰流量达8500 m³/s,造成兰州至包头干流多地洪水

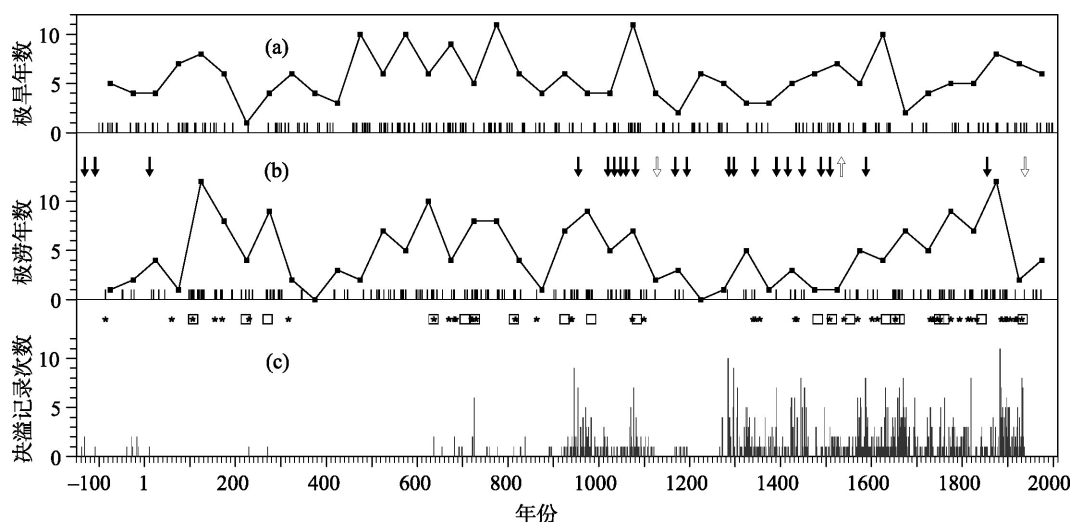


图3 过去2000年黄河中下游的极端旱涝事件(引自文献[45],据新查阅资料补充修订)与下游干流决溢事件变化 (a)每50年的极端干旱发生年数(点粗线)及具体发生年份(下方短竖线);(b)每50年的极端雨涝发生年数(点粗线)及具体发生年份(下方短竖线),其上方箭头意义同图2用于对比;(c)历史文献记载的大范围特大(方块)/大(小花)洪灾发生年^[22]和下游河段决溢次数(下方竖线)^[51]

Figure 3 Changes of the occurrences of extreme droughts and floods in the middle-lower reaches of the Yellow River and the events of dyke breaching and over-flowing. (a) The frequency (dot-bold line) per 50 year and the years (vertical line in the bottom) for extreme drought. (b) Same as (a), but for extreme flood. Arrows in the top are the same as Figure 2. (c) The frequency for the events of dyke breaching and over-flowing (vertical line)^[51], and the years with very large (marked as white square) and large (black flower) scale devastating flood events recorded in the historical documents^[22]

表1 公元960年来中国长江以北地区发生的大范围持续性重旱事件^[46,47]Table 1 Severe and prolonged droughts occurred in the north of the Yangtze River since A.D.960^[46,47]

持续年份	受旱省份(市、区)	重旱省份(市、区)
989—991	河北、山西、陕西、山东、河南	河南
1073—1075	河北、山西、陕西、山东、河南	山东、河北、陕西
1209—1211	河北、山西、陕西、山东、河南	山东、河北
1370—1372	北京、河北、山西、陕西、山东、河南	山东、河北
1440—1442	河北、山西、陕西、宁夏、山东、河南	山西、陕西
1483—1485	北京、河北、山西、陕西、甘肃、山东、河南	山西、陕西、甘肃
1527—1529	北京、河北、山西、陕西、甘肃、山东、河南	全区
1585—1590	北京、天津、河北、山西、陕西、甘肃、青海、山东、河南	河北、山西、河南
1616—1618	北京、河北、山西、陕西、甘肃、山东、河南	河北、山东
1637—1643	北京、天津、河北、山西、陕西、甘肃、宁夏、山东、河南	河南、河北、山西、陕西、山东
1689—1692	北京、天津、河北、山西、陕西、甘肃、宁夏、山东、河南	山西、陕西
1721—1723	北京、河北、山西、陕西、甘肃、山东、河南	河北、山东、河南
1784—1786	河北、山西、陕西、甘肃、山东、河南	山东、河南
1856—1858	北京、河北、山西、陕西、山东、河南	河北
1876—1878	北京、天津、河北、山西、陕西、甘肃、宁夏、山东、河南	山西、河南

表2 历史时期黄河流域的主要暴雨区及引发的洪涝灾害简要特征^[8,22,52]

Table 2 Characteristics of the main rainstorm areas and its resultant floods in the Yellow River Basin during historical times

区间及简称	主要暴雨区	降雨特征	区域性洪灾分布区	发生区域性特大洪灾*重现期	对下游干流洪水的影响程度
黄河上游	积石山及周边高山地区	暴雨频次低、历时短,兼有强连雨	洮河中下游、湟水谷地,兰州—银川干流河段	190年	影响小
河口—龙门(河龙)	陕北、晋北高原	局地性暴雨,强度大但多历时短、范围小	陕北、晋北河川谷地	76年	重要影响
汾河、涑水河(汾涑)	太行山、吕梁山区	同上	太原、临汾、运城盆地	140年	重要影响
龙门—三门峡(龙三)	渭河、泾河、北洛河、秦岭山地	夏季多大暴雨;秋季多连强降雨、历时长	渭河盆地	108年	重要影响
三门峡—花园口(三花)	环洛阳周边山地	多大暴雨,且历时长	洛阳周边及洛河、沁河流域	102年	重大影响
大汶河	鲁东山地	多大暴雨,但历时短	东平湖泄洪区	50年	影响不大

注:*历史特大洪灾根据灾情描述确定,主要标准是:①河大溢,平地水深丈余,舟行树梢;②河、川皆溢,淹(漂)民舍1000家以上;③溺死人员1000人以上。

泛滥)外,其余21次均源于中游地区。其中三花区间8次,分别发生于公元前184年及公元107、223、271、1084、1482、1632、1761年。12次源于2个暴雨区引发的洪水遭遇,包括三花和龙三区间同发5次(公元637、705、727、925、983年),河龙和龙三区间同发4次(公元813、1749、1843、1933年),三花区间和汾河流域同发2次(公元1513、1553年),龙三区域和汾河流域同发1次(公元1652年)。还有1次(公元1662年)为三花、龙三区间及汾河流域3个暴雨区洪水的同时遭遇,因此形成了黄河中下游地区特大洪水;估算该年陕县站最大洪峰流量至少达到25000 m³/s(最高估算值达58600 m³/s),超过有实测

记录的最大洪峰流量13.6%,造成黄河中游地区大量房屋、城垣、桥梁倒塌,下游多地出现严重决溢和洪水大范围泛滥,大量人口流离失所^[8,53,54]。又如其中的1843年,其暴雨中心位于皇甫川、窟野河和泾河、北洛河上游地区,导致河龙和龙三区间洪水遭遇。尽管暴雨过程与洪峰历时较短,但仍使黄河潼关至小浪底段的洪水位达千年一遇水平。据调查估算,该年三门峡的最大洪峰流量高达36000 m³/s;洪水从中牟决口,造成河南省至少40州县受灾,12000多个村庄被淹。由于暴雨区位于黄土高原粗砂多沙区,因此估算该次洪水的泥沙输运量达约75亿t(约为20世纪中后期常年输沙量4倍),造成下游

2020年1月

河道严重淤积,被认为是1855年黄河改道的重要原因^[8,55]。

不过从历史记载看,雨涝的影响并不全是负面的。特别是对黄河中游山地而言,多雨成涝虽可形成山洪、毁田稼,但也会给农业生产带来更多水资源,故黄土高原的许多州县历史上均有“大涝大稔、小涝小稔”之谚。如1662年太原以南大水,徐沟县“三河并发,水深丈余,四门壅塞”,但秋收却是“大有年”;1737年“泽州大水,涧水暴发,平地水深丈余,漂没田舍;交城夏大雨,平地水深尺余”,但“山西全省二麦丰收,秋禾也稔”,诸如此类历史记载甚多^[22]。这说明极端雨涝除致灾外,对农业生产也具有显著正面作用。

3 过去2000年黄河中下游土地覆被变化

3.1 早期农耕对自然覆被的改变

由于经上万年人类活动对黄河中下游地区地表覆被的不断干扰,特别是西汉以来的大规模垦殖,其自然植被今已基本荡然无存,因而目前对黄河中下游地表原生植被特征的认识尚存在争议。不过已有研究表明,在人类大规模开垦前的全新世中期(约距今6000年前后),黄河中下游大部分地区气候虽也与今类似,属暖温带半干旱、半湿润区,但当时中游(黄土高原)地区年均气温却较今高2℃左右,降水多100~200 mm,因而其显域生境的主要植被类型是草地和灌丛,且在基岩山地和河谷地带曾发育有大量森林,但未形成大范围的地带性森林植被^[14,56-59]。此后的《诗经》中,也有大量关于草原和灌丛植被的记载,表明在人类大规模垦殖之前,黄土高原原面上的原始自然植被是稀树灌丛草原^[10,60]。当时下游平原地区的亚热带北界东段大致位于今黄河一线,因而华北平原的地带性自然植被是北亚热带、暖温带针阔混交林^[61]。不过在当时暖湿气候条件下,华北平原的广大区域被大陆泽—宁晋泊、白洋淀—文安洼和七里海—黄庄洼三大相对集中的湖泊洼地群所占据^[62];因此也存在大量水生和湿生植被^[10,61],森林植被只分布在台地、河流阶地以及周边山地地区,其间腹地则主要为湖泊—沼泽—泛滥平原,间有扇间洼地群和扇缘洼地带,故其腹地平原也未形成地带性森林景观^[63]。

不过,黄河中下游地区作为中国北方旱作农业

(以粟、黍等作物为主)起源与发展的重心区,人类对土地的垦殖在距今11500—9000年前就已开始,并于距今9000—7000年前得到确立^[64,65]。特别是在距今7000—4000年前的“刀耕火种、农具简陋、撒种于地、收后抛荒”的原始“游耕”阶段^[66],游耕垦殖不仅破坏了原始植被,也对土壤发育造成了扰动。只是由于当时人口数量和开发规模有限,其对植被破坏主要集中在河谷平原和台原地区^[67]。但此后随着人口增加,这一地区的农耕得到了迅速发展,使得黄河中下游地区自然植被覆盖率自距今5000年前起就出现逐渐下降趋势,其范围也从黄土高原东南部、太行山南部及华北平原西南部不断向外扩展^[68,69];至周代,黄河中游地区就已成为当时中国农业最发达的地区。特别是自战国时期起,随着铁器的出现和使用,人类改造自然的能力显著增强,被垦土地也扩展至高地、低洼地。据《商君书》记述的理想土地利用结构推算,至战国时,聚落点附近的自然植被至少有70%已被人类所破坏,仅远离居民点的地区(特别是广大山地)仍保持天然状态。及至秦和西汉时期,特别是经西汉时期的大规模垦殖,至西汉后期,黄河中下游地区已被开发为一个较为成熟的农业区,其自然植被景观(特别是地势相对平坦的区域)已极为有限。

3.2 过去2000年的垦殖强度变化

集成多家历史土地利用变化研究结果显示,经秦和西汉时期,特别是西汉时期的大规模垦殖,公元初黄河中下游地区的农耕垦殖范围就与现代基本相近^[70]。其后至15世纪后期,这一地区的农耕垦殖强度虽受朝代更替、经济兴衰、社会治乱和气候变化(特别是冷暖和干湿的多元代至百年尺度波动可造成农耕范围的盈缩及黄土高原北部的农耕比重变化)等共同影响呈大幅波动,但总体也呈逐渐增强趋势,及至15世纪以后则在短暂波动中大幅增加。其中:西汉平帝元始二年(公元2年),全国人口约6000万^[71]、垦田约5.72亿亩^[72,73],黄河中下游地区适宜农耕的广大平原地区已基本得到开垦^[74]。由于当时这一地区的人口占全国的68%~80%^[75,76],也是全国单产水平最高的区域,据此估算其占全国耕地比例也大致与此相当或略低一些。其中中游地区的黄土高原人口密度达23人/km²(图4a),河谷平原更是高达54人/km²,丘陵沟壑区也超过11人/km²;

分别达20世纪上半叶的39%、45%和31%；丘陵沟壑区的人口占比也达35%左右(图4a)^[60]。位于渭河上游的甘肃庄浪高山湖泊(35°15'51"—35°15'55"N, 106°18'28"—106°18'28"E, 海拔高度2430 m)沉积物中的孢粉记录(图4b)显示, 西汉前期(约公元前200—公元前100年前后)木本花粉比例较其前期减

少了15%~20%^[77], 表明这一大规模高强度的垦殖已显著改变了中游地区的自然植被景观。两汉之交的战乱, 虽造成黄河中下游地区人口大量减少, 不过因战乱时间较短, 社会很快得以稳定, 农耕得以恢复, 故与西汉相比, 东汉鼎盛时期(公元100年前后)黄河中下游的农耕垦殖强度变化不大。

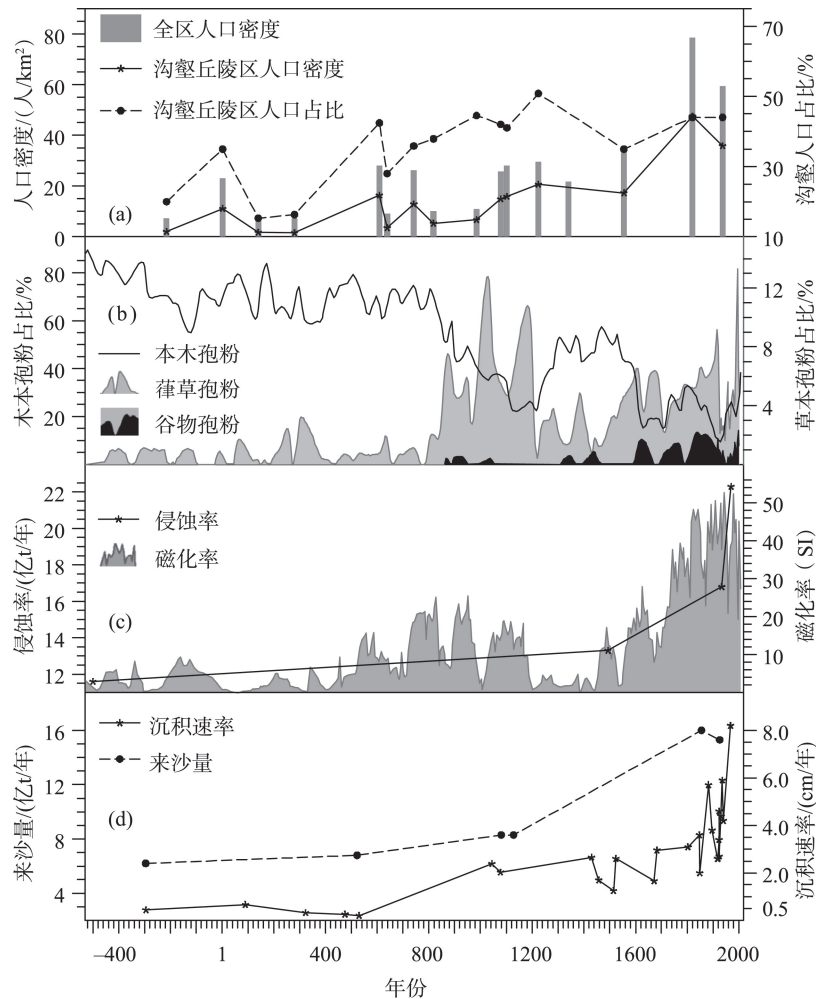


图4 过去2500年黄河中游地区垦殖强度及土壤侵蚀与下游河道来沙及沉积速率变化

(a)黄土高原地区及其中丘陵沟壑区的人口密度与丘陵沟壑区人口占整个黄土高原人口的百分比^[60]。(b)渭河上游高山湖泊沉积物中的孢粉记录(木本孢粉比例下降指示垦殖对自然植被的影响增强, 蕨草及谷物孢粉比例增加指示垦殖强度加大)^[77]。

(c)黄土高原不同时期的侵蚀率^[7,15]与渭河上游高山湖泊的沉积物磁化率(高值指示侵蚀强度大)^[78]。

(d)黄河下游河段不同时期的年均来沙量^[79]及河道沉积速率^[80]

Figure 4 Changes of reclamation intensity, soil erosion in the middle reaches, and sediment load and sedimentation rates in the lower reaches of the Yellow River for the past 2500 years. (a) Population density of the whole Loess Plateau (gray bar), as well as population density (star-solid line) and population percentage of its mid-hill gully region (dot-dash line)^[60]. (b) Pollen records in alpine lake sediments in the Upper Reaches of the Weihe River, in which the decreasing of tree pollen (solid line) indicates great impact of reclamation on natural vegetation, and the increasing Humulus-type (gray shading) and Cereal-type pollen (black shading) indicate large reclamation intensity^[77]. (c) Erosion rates (star-solid line) of the Loess Plateau^[7,15] and magnetic susceptibility (gray shading) of the alpine lake sediments (high values indicate great erosion intensity) in the Upper Reaches of the Weihe River^[78] in different periods. (d) The mean of annual sediment load^[79] and sedimentation rates^[80] in the Lower Reaches of the Yellow River in different periods

2020年1月

但在东汉后期、三国、两晋、南北朝(公元140—589年)期间,受政权长期割据和战乱影响,黄河流域人口大量外迁、种植业严重萎缩,垦殖率出现了显著下降。据估计,当时全国耕地约3.85亿亩左右,其中以黄河流域为中心的北方地区也仅占多半^[73],说明当时黄河中下游地区的耕地数量较之汉代的鼎盛时期减少了约50%。其中,中游的黄土高原逐渐被北方游牧民族所占据,人口密度显著下降(图4a),主要土地利用方式也由农业转为牧业或半农半牧,农耕区也南退至黄土高原东南部及其他平原河谷地带^[60];因此,黄土高原上的自然植被也得到一定程度恢复(图4b)^[77]。

隋、唐时期是中国又一个大一统时代,特别是唐代国力强盛、经济繁荣,各业均得以稳定发展。至天宝年间(公元742—755年)全国共计耕地6.42亿亩,其中半数以上在淮河以北地区^[73];黄河中下游地区农耕格局又回至与西汉相似程度。仅今陕甘宁黄土高原及山西北部为突厥、党项、吐谷浑等游牧民族所聚居,以牧为主或半农半牧,不过其沟壑区人口密度及其占全区总人口比例却较汉代略高一些(图4a);且其东南部河谷平原、河套平原、宁夏平原等地也主要从事农耕^[4,60];因而其垦殖强度可能较汉代更高。但其后从“安史之乱”至“五代十国”(公元907—961年)间的社会动荡,又使得大量垦田荒芜。其中黄河中下游的关中、河南、河北以及黄土高原丘陵沟壑区等,人口和耕地减少尤甚^[60,76,81],这使得其垦殖率又出现大幅度的阶段性下降。不过渭河上游高山湖泊的孢粉和磁化率(图4b, 4c)记录显示,当时黄土高原的自然植被却在继续退化,土壤侵蚀仍在增加;这可能与这一地区气候阶段性转冷、转干(图2a, 2c)导致的植被退化有关。

北宋(公元960—1127年)时期,黄河中下游农耕再度得到恢复和发展。其中北宋时期农耕区向西、北扩张到固原、延安、雁门关一线,仅北宋军队就有约40万人在北洛河、泾河、渭河上中游地区及无定河、窟野河沿岸地带进行屯垦,最多时面积达10万顷(约今876万亩)^[4,82]。当时黄土高原地区的盆地和塬面等平坦地区的耕地已近饱和,坡地也开始受到规模开垦^[21]。与此相对应,渭河上游高山湖泊沉积物中的木本孢粉比例持续减少,藨草孢粉浓度显著增加,并出现谷物孢粉(图4b)^[77,78]。据估算,

北宋元丰年间(公元1080年前后),黄河流域的耕地占全国耕地的30.2%,平均垦殖率为21%^[83]。其中黄河中下游的黄淮海、关中等平原地区的垦殖率大多达40%以上,仅山、陕黄土高原地区的垦殖率小于20%^[84,85]。但受两宋之交战乱影响,淮河以北大部分耕地荒芜、农耕遭受重创;至公元1162年(金大定二年),黄河中下游大部分地区垦殖率减至20%以下,黄河中游的山西和陕西垦殖率分别降低至10%和5%以下。战事之后,农耕又得以较快恢复;公元1215年(金贞祐三年)前后,黄河下游的今京津冀地区和山东垦殖率回升到25%以上,黄河中游的山西和陕西垦殖率分别回升到15%和10%以上^[86]。但此后的连年战乱又使农耕再度大幅萎缩,至元朝初期的1290年前后,黄河下游地区的腹里地区(今京津冀、山西)及河南行省(淮河流域)的垦殖率又分别降至16.6%和13.1%,陕西行省的垦殖率甚至降至2%^[87]。特别是元代,黄河中游几乎大部改为牧区,下游也有大量耕地改作牧用;这也使得黄河中游地区的自然植被再度得到了一定程度的恢复(图4b)。

不过自明朝以后,黄河中下游地区农耕又得到快速恢复和发展。尽管其间也不乏因社会动荡、战乱等造成大量耕地的间歇性抛荒,以及因气候变化、土地沙化等自然因素导致的今农牧交错带地区垦耕盈缩,但在总体上一一直呈加速增长趋势。据估计:1583年河南省80%的县(州)垦殖率超过了36.7%^[88]。黄土丘陵区的坡地也已被大部开垦,呈现出耕地“错列在万山之中,冈阜相连”^[4]、“即山之悬崖峭壁,无尺寸不耕”之饱和景象^[89]。其中从明初至15世纪中叶,长城沿线的陕北、晋北等黄土高原北部地区,被大量辟为军队垦屯田,范围直逼黄土区的北部边缘地带,仅陕北地区军垦地面积最多时就达54000顷(约今500万亩),晋北部分区域垦殖率甚至达到15%以上^[4,90,91];不过明后期气候恶化和土地沙化,导致北方边境大量军屯废弃,农耕区出现了一定程度的南退。

明清之交的战乱,使至清顺治十八年(1661年)时,黄河下游地区垦殖率超过50%的区域降至16%左右^[92]。但其后农耕却得到迅速恢复,黄河中下游地区耕地面积显著增加^[93,94];至18世纪,黄河下游地区耕地开垦已基本达到饱和状态^[95,96],垦殖率超过

50%的区域占1/3^[92];黄河中游不仅关中、汾河谷地和洛阳地区以及其他河谷地区的平地被开垦殆尽,而且连坡度很陡的丘陵沟壑区也多被开垦。至乾隆时,山西省便已“实无遗弃未尽可以开垦地土”^[89];连以前人烟稀少的深山、高山区也逐渐被开垦^[89];鄂尔多斯南部垦区也因封禁解除向长城以北大幅扩展^[90,97]。及至1850年前后,黄河中下游的黄淮海地区、山西及陕西的大部分地区、甘肃东部等的垦殖率均超过30%^[94],其中下游地区土地垦殖率超过50%的面积比例增加到36.44%,局地最高者超过70%^[92]。至清末,黄土高原绝大部分可垦之地均已被开发,陕北、晋北黄土高原地区耕地垦殖率也达到20%以上^[94],陕北榆林地区新垦耕地中沙地占近60%^[90,97]。至20世纪,虽然其前半叶的社会动荡使得黄河中下游地区的农耕发展出现停滞,但之后则又出现快速增长。其中中游黄土高原地区的耕地面积在1949—1985年增加了5900万亩,特别是黄土丘陵沟壑区新增耕地4000万亩以上^[4],使得黄土高原在20世纪80年代前后的平均垦殖率达到27%,局地高者达40%~70%^[4];黄河下游的山东、河南两省垦殖率更是均达50%以上^[98]。尽管此后因大规模生态恢复建设与城镇化和工业发展等,使得这一地区耕地有所减少,但这一地区仍是全国范围内垦殖率最高的地区之一。

对比过去2500年黄河中游地区垦殖强度及土壤侵蚀与下游河道来沙及沉积速率变化(图4)可以看出:随着中游地区垦殖强度的不断增强和加速(图4a, 4b),黄土高原的侵蚀率(图4c)与下游河段的年均来沙量及河道沉积速率也呈现出不断增加和加速特征。特别是自唐朝以来,黄土高原的人为侵蚀不断增强,及至明清时期更是呈现不断加速趋势;这使得下游河道的来沙量不断加大^[99],从而也加大了下游河道的沉积速率^[15]。其中在公元500年之前,黄河下游河道的沉积速率为0.5~1 cm/年;但至公元1000年前后就增至2 cm/年以上;此后至公元1800年前后,平均每年沉积2~3 cm;及至19世纪起,又呈显著加速趋势;至20世纪,更是平均每年沉积4 cm以上(图4d)^[80]。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文根据近40年在黄河中下游地区的气候、灾

害、植被与土地利用变化历史等方面的研究成果,综合分析了过去2000年这一地区的气候与土地覆被变化的主要特征。结论有:

(1)在过去2000年,黄河中下游地区公元1—200年、550—750年、950—1300年及20世纪气候相对温暖,其他时段则相对寒冷;干湿变化存在显著的年际波动及21~25年、70~80年、准100年和准400年等多个尺度周期,但中游和下游地区的干湿变化并不完全同步。极端旱涝发生频率存在阶段性差异,公元551—600年、751—800年、1051—1100年、1601—1650年极端干旱与公元101—150年、601—650年、1851—1900年极端大涝发生频率均达20%以上;极端干旱具有多年连发特征,半数以上(59%)的流域性特大、大洪灾与极端雨涝年一致。

(2)黄河中下游地区在人类大规模垦殖前,黄土高原主要植被类型是草地和灌丛,仅基岩山地和河谷地带曾发育有大量森林;华北平原虽主要为暖温带、北亚热带针阔混交林,但腹地主要被湖泊—沼泽—泛滥平原所覆盖。至公元初,黄河中下游地区就已被开发为一个垦殖范围与今相近的农业区,其自然植被(特别是地势相对平坦的区域)分布极为有限;其后至15世纪后期,其农耕垦殖强度虽呈大幅波动特征,但总体呈逐渐增强趋势;至15世纪以后则在短暂波动中大幅增加。

4.2 讨论

上述结论可为进一步科学理解黄河中、下游地区的环境变化规律,特别是中游地区气候及人类活动变化与下游地区河流安澜的关系提供历史背景依据。因为已有许多研究表明:在历史时期,冷暖与干湿变化是影响黄土高原地区(特别是其北部地区)农、牧业发展与交替及自然植被变化的重要因素^[100,101];这二者再加上暴雨等极端雨涝事件,又是影响土壤侵蚀强度和向黄河干流输沙的主要因素。从现有研究看,黄土高原地区在距今6000年—3000年之前以自然侵蚀为主的阶段,其土壤年均侵蚀量约10.75亿t^[3],而至1919—1949年的年均侵蚀量约16.8亿t,1950—1980年更是达20亿t以上(图4c)^[15]。由于整个过去2000年,不论是中上游地区的干湿、还是整个中下游地区的极端雨涝除存在多尺度波动外未出现显著变化趋势,因而可大致推断,中游地区的垦殖强度增强是导致其向下游输沙

2020年1月

量(图4d)总体呈加速增长趋势的主要影响因素。

由于黄河中游输沙增加影响了下游水沙输、送平衡,进而会导致下游河道泥沙淤积量增加、淤积速率加快^[102];因而当泥沙长期淤积至一定程度时,就会显著影响河床稳定。在河床不稳定时,一旦遭遇气候变率加大或暴雨洪水及其发生频率增加,就易形成溃决、泛滥;当溃决、泛滥积累至难以回复时,就会导致河流改道。因此,可以大致推断,这一地区的气候与土地覆被变化相互交织,是造成黄河下游自战国筑堤起,每隔一定时段就会出现改道的重要因素,从而使其下游河段不断重现“筑堤—淤积—悬河—决口改道”循环过程。

从历史记述及已有研究结果看,自战国中期(公元前4世纪前后)至西汉末之前,黄河下游在今郑州以下,主要经今河南滑县、浚县、濮阳、内黄、清丰,流向今华北平原北部,在沧州黄骅附近入渤海(史称“北流”的“西汉故道”,图5)^[23]。但这一河道在相对稳定470年左右之后,至公元前2世纪后期—公元初,就不断出现溃决和数次改道(图3b, 3c),并最终于公元11年在今濮阳西南出现严重溃决,泛滥东流。及至公元69年“王景治河”后,才使其稳定

在史称“东流”的“东汉故道”(与今行河流向基本一致,但位置偏北)上(图5)。东汉故道又相对稳定历经东汉、魏、晋、南北朝、隋、唐,至唐中后期开始出现决溢;此后至公元10世纪前期决溢不断增多(图3c),终于在五代末至北宋(公元10世纪后期至11世纪)年间,在中上游气候总体转湿且年代际干湿变率加大(图2c)及人类垦殖强度显著增加(图4a, 4b)和下游河道严重淤积^[10]的背景下,引发了频繁决溢与多次改道(图3b, 3c);且分别在1048年和1060年决口改道形成“北流”和“东流”2股主要河道(图5)。但这一时期,每次改道的行河时段长者不过数十年、短者仅十数年,因而始终未稳定^[103]。这些河道与自晚全新世初至西汉期间的多条河道的行河方位相似,均位于东汉故道以北,因而总体称为“北流”。这些“北流”河道摆动与泛滥在今黄河河道以北的平原地带形成了面积巨大的“滑县冲积扇”,并在渤海湾西岸形成了老黄河三角洲(图5)。

公元1128年,南宋为阻金兵南下在今河南滑县人为决堤,使黄河流向东南,其后数十年间,迁徙无定。稍定后分数股河道(主股经滑县南、郟城、巨野、嘉祥、金乡一带汇泗水入淮)夺淮入海;1194年

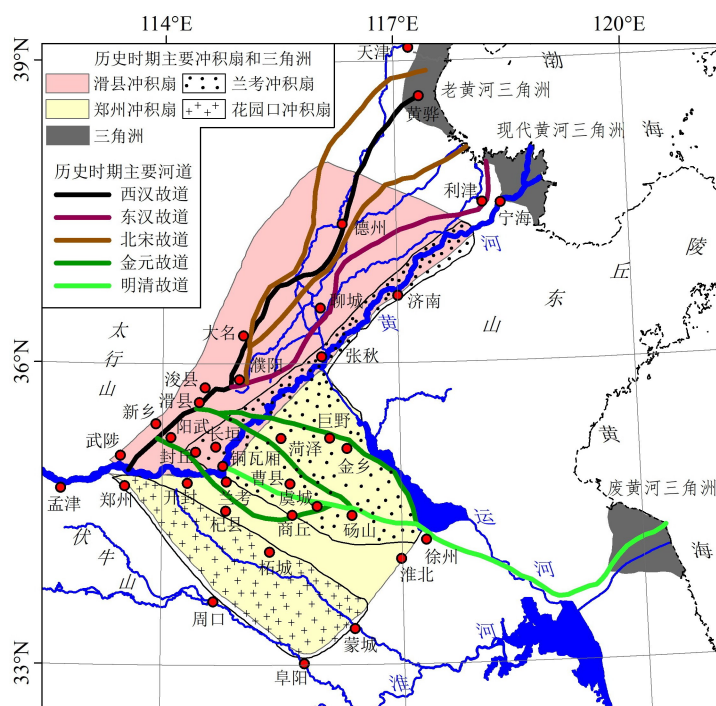


图5 历史时期黄河下游地区形成的冲积扇范围、三角洲和公元前4世纪至今的主要古河道示意图^[15,104,105]

Figure 5 Schematic map of the alluvial fans and deltas formed in the lower reaches of the Yellow River during different periods in the historical time and the main paleo-channels since 400BC ^[15,104,105]

又在阳武溃决改道,经封丘、长垣、砀山至徐州入泗夺淮入海;其间黄河在郑州以下南流时,主流不断互换,史称“金元故道”(图5)。直到明嘉靖二十五年(1546年)“南岸故道尽塞”,“全河尽出徐、邳,多人淮泗”。至明隆庆六年(1572年)“南岸续筑旧堤,绝南射之路”,至此大河归槽,由开封、兰阳、归德、虞城、徐州、邳县入淮至海;这一河道历经明清两代,维持了280余年,直至1855年铜瓦厢改道,史称“明清故道”(图5)。

在1128—1855年的700余年中,黄河下游河道虽多次更改,但最终均夺淮从苏北入黄海,因此史称“南流”。在此期间,河道摆动于豫东北至鲁西南之间,形成“郑州冲积扇”,并在黄海西岸形成了面积巨大的三角洲,现称“废黄河三角洲”(图5)。对比而言,“南流”河道因流经较“北流”和“东流”更为湿润的区域,故其在下游汇入的水量也较“北流”与“东流”更多,因而史载其溃决、泛滥也较其前更为频繁(图3c)^[51,106]。特别是17世纪后期—19世纪前期,黄河中、下游地区气候均相对偏湿(图2c,2f),加之河床长期淤积、不断抬高,“南流”河道终于在19世纪前期出现频繁决溢(图3c),尤其是在1843年特大洪水造成的大量泥沙下泄、淤积,以及1851、1852、1853、1855年等持续多次极端雨涝冲击下(图3b),最终于1855年在河南兰考的铜瓦厢出现大堤严重溃决,向东泛滥。因当时清政府无暇、无力治河,故自由泛滥达20余年,形成“兰考冲积扇”(图5)。其中主要流路在长垣一分为三:一股经曹县从赵王河向东注入运河(后淤),另两股经东明县南北至张秋穿运河后复合为一股,夺大清河入渤海,但其北股后又很快被淤,因而仅南股成为主流。清光绪三年(1877年)以后,铜瓦厢以下逐渐建成堤防,至此黄河改道经长垣、濮阳、范县、台前夺大清河由利津入渤海,形成了今河道和现代三角洲(图5),至今不过150年;且其间还曾因人为原因于1938年在郑州花园口扒开南大堤,改道南流、泛滥9年,形成“花园口冲积扇”(图5),至1947年花园口南大堤复堵后才复回。不过由于河流的泥沙淤积不仅与来沙有关,也与流路的长短及河道的比降等密切相关。而从黄河下游“北流”“东流”“南流”三个主要行河方向的留路长短及河道比降对比看,较之“北流”和“南流”,“东流”河道的流路最短、比降最大,

因而其安全性也应最高,故其在有史以来所记载的行河时段也最长^[22,107,108]。

此外,还需指出的是:水沙的输、送平衡和泥沙淤积不只受上述因素影响,且河道变化也不只受气候与水沙输送平衡影响,还与地形、地貌、水文等自然因素及社会经济状况和治河方略、举措等许多因素有密切关联,且其间的相互关系极为复杂;这些问题需今后进一步深入研究。

参考文献(References):

- [1] 蒋秀华, 吕文星, 高源, 等. 黄河的历史变迁和面积河长特征数据的沿革[J]. 人民黄河, 2019, 41(1): 10–13. [Jiang X H, Lu W X, Gao Y, et al. Evolution of the history change and the characteristic data of area and length of the Yellow River[J]. Yellow River, 2019, 41(1): 10–13.]
- [2] 陈永宗. 黄土高原的水土流失及其治理[J]. 水土保持通报, 1981, (1): 20–27. [Chen Y Z. Soil erosion in the Loess Plateau and its control[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1981, (1): 20–27.]
- [3] 景可, 陈永宗. 黄土高原侵蚀环境与侵蚀速率的初步研究[J]. 地理研究, 1983, 2(2): 1–11. [Jing K, Chen Y Z. Preliminary study of the erosion environment and rates on the Loess Plateau[J]. Geographical Research, 1983, 2(2): 1–11.]
- [4] 孟庆枚. 黄土高原水土保持[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996. [Meng Q M. Soil and Water Conservation on the Loess Plateau[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 1996.]
- [5] 钱宁, 万兆惠, 钱颖. 黄河的高含沙水流问题[J]. 科学通报, 1979, 30(8): 368–371. [Qian N, Wan Z H, Qian Y Y. The flow with heavy sediment concentration in the Yellow River Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 1979, 30(8): 368–371.]
- [6] 许炯心. 黄河上中游产水产沙系统与下游河道沉积系统的耦合关系[J]. 地理学报, 1997, 52(5): 39–47. [Xu J X. A study on the coupling relation between the water and sediment yield sub-system and river channel deposition sub-system: An example from the Yellow River[J]. Acta Geographica Sinica, 1997, 52(5): 39–47.]
- [7] 叶青超. 黄河下游演变与黄土高原侵蚀的关系[A]. 中国水利学会泥沙专业委员会. 第二次河流泥沙国际学术研讨会会议论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1983. [Ye Q C. The Relationship between the Evolution of the Lower Reaches of the Yellow River and the Erosion of the Loess Plateau[A]. Silt Specialized Committee of the Chinese Hydraulic Engineering Society. Proceedings of the Second International Symposium on River Sediment[C]. Beijing: Science Press, 1983.]
- [8] 胡明思, 骆承政. 中国历史大洪水[M]. 北京: 中国书店, 1989. [Hu M S, Luo C Z. Great Flood in Chinese History[M]. Beijing: China Bookstore Press, 1989.]

2020年1月

- [9] 张宗祜. 九曲黄河万里沙: 黄河与黄土高原(修订版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009. [Zhang Z H. The Yellow River and the Loess Plateau (Revised)[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.]
- [10] 邹逸麟, 王守春, 张修桂. 中国历史自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 2013. [Zou Y L, Wang S C, Zhang X G. Physical Geography in China's History[M]. Beijing: Science Press, 2013.]
- [11] 钮仲勋, 杨国顺, 李元芳, 等. 历史时期黄河下游河道变迁图[M]. 北京: 测绘出版社, 1994. [Niu Z X, Yang G S, Li Y F, et al. Map of Course Shifts of the Lower Yellow River in Historical Period[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 1994.]
- [12] 邹逸麟. 黄淮海平原历史地理[M]. 合肥: 安徽教育出版社, 1997. [Zou Y L. Historical Geography of Huang-Huai-Hai Plain [M]. Hefei: Anhui Education Press, 1997.]
- [13] 黄河水利委员会《黄河水利史述要》编写组. 黄河水利史述要[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003. [Yellow River Commission of Water Conservancy Compilation Group(YRCC). The Summary History of Yellow River Water Conservancy[M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2003.]
- [14] 张兰生, 方修琦. 中国古地理: 中国自然环境的形成[M]. 北京: 科学出版社, 2012. [Zhang L S, Fang X Q. Paleogeography of China: The Formation of China's Natural Environment[M]. Beijing: Science Press, 2012.]
- [15] 刘国纬. 黄河下游治理的地质基础[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(10): 1511-1523. [Liu G W. On the geo-basis of river regulation in the lower reaches of the Yellow River[J]. Science China: Earth Science, 2011, 41(10): 1511-1523.]
- [16] 叶青超. 黄河流域环境演变与水沙运行规律研究[M]. 济南: 山东科技出版社, 1994. [Ye Q C. The Environmental Evolution and Runoff and Sediment Regimes in the Yellow River Basin[M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1994.]
- [17] 严文明. 龙山文化和龙山时代[J]. 文物, 1981, (6): 41-48. [Yan W M. Longshan culture and Longshan times[J]. Cultural Relics, 1981, (6): 41-48.]
- [18] 吴文祥, 刘东生. 4000 a BP前后降温事件与中华文明的诞生[J]. 第四纪研究, 2001, 21(5): 443-451. [Wu W X, Liu D S. 4000 a BP event and its implications for the origin of ancient Chinese civilization[J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 443-451.]
- [19] 袁行霈, 严文明. 中华文明史[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006. [Yuan X P, Yan W M. The History of Chinese Civilization[M]. Beijing: Peking University Press, 2006.]
- [20] 邹逸麟. 历史时期黄河流域的环境变迁与城市兴衰[J]. 江汉论坛, 2006, (5): 98-105. [Zou Y L. Environmental change and urban vicissitudes in the Yellow River Basin during historical period[J]. Jiangnan Tribune, 2006, (5): 98-105.]
- [21] 吴祥定, 钮仲勋, 王守春. 历史时期黄河流域环境变迁与水沙变化[M]. 北京: 气象出版社, 1994. [Wu X D, Niu Z X, Wang S C. Environmental Change and the Runoff and Sediment Regimes in Yellow River Basin during Historical Period[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1994.]
- [22] 马秀峰. 黄河流域水旱灾害[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996. [Ma X F. Floods and Droughts in the Yellow River Basin[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 1996.]
- [23] 朱士光. 黄土高原地区环境变迁及其治理[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1999. [Zhu S G. Environmental Change and Ecological Management in the Loess Plateau[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 1999.]
- [24] 刘昌明. 对黄河流域生态保护和高质量发展的几点认识[J]. 人民黄河, 2019, 41(10): 158-158. [Liu C M. Some views on ecological protection and high quality development in the Yellow River Basin[J]. Yellow River, 2019, 41(10): 158-158.]
- [25] Mostern R. Sediment and state in imperial China: The Yellow River watershed as an earth system and a world system[J]. Nature and Culture, 2016, 11(2): 121-147.
- [26] Michael J S, Qin Z, Ren X L, et al. The collapse of the North Song Dynasty and the AD 1048-1128 Yellow River floods: Geoarchaeological evidence from northern Henan Province, China[J]. The Holocene, 2018, 28(11): 1759-1770.
- [27] 《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第三次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2015. [Committee for the Preparation of the Third National Assessment Report on Climate Change. The Third National Assessment Report on Climate Change [M]. Beijing: Science Press, 2015.]
- [28] 葛全胜. 中国历朝气候变化[M]. 北京: 科学出版社, 2011. [Ge Q S. Climate Change in Chinese Dynasties[M]. Beijing: Science Press, 2011.]
- [29] 葛全胜, 郑景云, 郝志新, 等. 过去2000年中国气候变化的若干重要特征[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(6): 934-942. [Ge Q S, Zheng J Y, Hao Z X, et al. General characteristics of climate changes during the past 2000 years in China[J]. Science China: Earth Science, 2012, 42(6): 934-942.]
- [30] 郑景云, 刘洋, 吴茂炜, 等. 中国中世纪气候异常期温度的多尺度变化特征及区域差异[J]. 地理学报, 2019, 74(7): 1281-1291. [Zheng J Y, Liu Y, Wu M W, et al. Evidences and regional differences on multi-scales in Medieval Climate Anomaly over China [J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(7): 1281-1291.]
- [31] Ge Q S, Zheng J Y, Fang X Q, et al. Winter half-year temperature reconstruction for the middle and lower reaches of the Yellow River and Yangtze River, China, during the past 2000 years[J]. The Holocene, 2003, 13(6): 933-940.
- [32] Ge Q S, Liu H L, Ma X, et al. Characteristics of temperature change in China over the last 2000 years and spatial patterns of dryness/wetness during cold and warm periods[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2017, 34(8): 941-951.
- [33] 李兆元, 李莉, 全小伟. 西安地区(380-1983年)旱涝气候变化[J]. 地理研究, 1988, 7(4): 64-69. [Li Z Y, Li L, Quan X W. Climatic changes of drought-wet in Xian region of China during the last 1604 years[J]. Geographical Research, 1988, 7(4): 64-69.]
- [34] Li J B, Xie S P, Cook E R, et al. Deciphering human contributions

- to Yellow River flow reductions and downstream drying using centuries-long tree ring records[J]. *Geophysical Research Letters*, 2019, 46. doi: 10.1029/2018GL081090.
- [35] 郭恒, 张庆云. 北方雨季中国东部降水异常模态的环流特征及成因分析[J]. *大气科学*, 2016, 40(5): 946-964. [Guo H, Zhang Q Y. The dominant modes of precipitation anomalies over Eastern China during the Northern China rainy season and the possible causes[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2016, 40(5): 946-964.]
- [36] Liu Y, Sun J Y, Yang Y K, et al. Tree-ring-derived precipitation records from Inner Mongolia, China, since AD 1627[J]. *Tree-Ring Research*, 2007, 63(1): 3-15.
- [37] Fang K Y, Gou X T, Chen F H, et al. Tree-ring based drought reconstruction for the Guiqing Mountain (China): Linkages to the Indian and Pacific Oceans[J]. *International Journal of Climatology*, 2010, 30(8): 1137-1145.
- [38] Fang K Y, Gou X H, Chen F H, et al. Precipitation variability during the past 400 years in the Xiaolong Mountain (central China) inferred from tree rings[J]. *Climate Dynamics*, 2012, 39(7-8): 1697-1707.
- [39] Fang K Y, Guo Z T, Chen D L, et al. Drought variation of western Chinese Loess Plateau since 1568 and its linkages with droughts in western North America[J]. *Climate Dynamics*, 2017, 49(11-12): 3839-3850.
- [40] Zhang Y, Tian Q H, Guillet S, et al. 500-yr. precipitation variability in Southern Taihang Mountains, China, and its linkages to ENSO and PDO[J]. *Climatic Change*, 2017, 144: 419-432.
- [41] 李克让. 华北平原旱涝气候[M]. 北京: 科学出版社, 1990. [Li K R. *Droughts and Floods in the North China Plain*[M]. Beijing: Science Press, 1990.]
- [42] 张丕远. 中国历史气候变化[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1996. [Zhang P Y. *Climate Change in China during Historical Times*[M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1996.]
- [43] Zheng J Y, Wang W C, Ge Q S, et al. Precipitation variability and extreme events in eastern China during the past 1500 years[J]. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 2006, 17(3): 579-592.
- [44] Zheng J Y, Xiao L B, Fang X Q, et al. How climate change impacted the collapse of the Ming Dynasty[J]. *Climatic Change*, 2014, 127(2): 169-182.
- [45] 郝志新, 郑景云, 葛全胜. 过去 2000 年中国东部地区的极端旱涝事件变化[J]. *气候与环境研究*, 2010, 15(4): 388-394. [Hao Z X, Zheng J Y, Ge Q S. Variations of extreme drought/flood events over eastern China during the past 2000 years[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2010, 15(4): 388-394.]
- [46] 张德二. 中国三千年气象记录总集[M]. 南京: 江苏教育出版社, 2004. [Zhang D E. *A Compendium of Chinese Meteorological Records of the Last 3000 Years*[M]. Nanjing: Jiangsu Education Publishing House, 2004.]
- [47] 张德二. 中国历史气候记录揭示的千年干湿变化和重大干旱事件[J]. *科技导报*, 2004, (8): 47-49. [Zhang D E. Variation of dry-wet climate and severe drought events as revealed in the climate records of China over the past 1000 years[J]. *Science and Technology Review*, 2004, (8): 47-49.]
- [48] Liang E Y, Liu X H, Yuan Y J, et al. The 1920s drought recorded by tree rings and historical documents in the Semi-Arid and Arid areas of Northern China[J]. *Climatic Change*, 2006, 79(3-4): 403-432.
- [49] 曾早早, 方修琦, 叶瑜, 等. 中国近 300 年来 3 次大旱灾的灾情及原因比较[J]. *灾害学*, 2009, 24(2): 116-122. [Zeng Z Z, Fang X Q, Ye Y, et al. Comparison of disaster situation and causes of three extreme droughts in China over the past 300 years[J]. *Journal of Catastrophology*, 2009, 24(2): 116-122.]
- [50] Xiao L B, Fang X Q, Zheng J Y, et al. Famine, migration and war: Comparison of climate change impacts and social responses in North China between the late Ming and late Qing Dynasties[J]. *The Holocene*, 2015, 25(6): 900-910.
- [51] Wang Y J, Su Y J. Influence of solar activity on breaching, overflowing and course-shifting events of the lower Yellow River in the late Holocene[J]. *The Holocene*, 2013, 23(5): 656-666.
- [52] 高治定, 李文家, 李海荣, 等. 黄河流域暴雨洪水与环境变化影响研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002. [Gao Z D, Li W J, Li H R, et al. *The Study on Storm Flood and Its Influences on the Environment Change*[M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2002.]
- [53] 王涌泉. 1662 年中国大洪水的研究及估算[J]. *南京师大学报: 自然科学版*, 1981, 1(2): 9-22. [Wang Y Q. Study and estimate on the Yellow River flood in 1662[J]. *Journal of Nanjing Normal University(Natural Science Edition)*, 1981, 1(2): 9-22.]
- [54] 王国安, 刘红珍, 李保国, 等. 对黄河 1662 年洪水及特大洪水分型的再认识[J]. *人民黄河*, 2015, 37(6): 1-8. [Wang G A, Liu H Z, Li B G, et al. Further understanding on Yellow River flood in 1662 and classification of extreme floods[J]. *Yellow River*, 2015, 37(6): 1-8.]
- [55] 王涌泉, 侯琴. 黄河 1841-1843 年连年大水与地震[J]. *气象与减灾研究*, 2008, 31(3): 57-62. [Wang Y Q, Hou Q. Successive spates and earthquakes in Yellow River region during 1841-1843 [J]. *Meteorology and Disaster Reduction Research*, 2008, 31(3): 57-62.]
- [56] 刘东生, 郭正堂, 吴乃琴, 等. 史前黄土高原的自然植被景观: 森林还是草原? [J]. *地球学报*, 1994, (3-4): 226-234. [Liu D S, Guo Z T, Wu N Q, et al. Prehistoric vegetation on the Loess Plateau: Steppe or forest?[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 1994, (3-4): 226-234.]
- [57] 郭正堂, 刘东生, 安芷生. 渭南黄土沉积中十五万年来的古土壤及其形成时的古环境[J]. *第四纪研究*, 1994, (3): 256-269. [Guo Z T, Liu D S, An Z S. Paleosols of the last 0.15 Ma in the Weinan loess section and their paleoclimatic significance[J]. *Quaternary Sciences*, 1994, (3): 256-269.]
- [58] 李小强, 安芷生, 周杰, 等. 全新世黄土高原原区植被特征[J]. *海*

2020年1月

- 洋地质与第四纪地质, 2003, 23(3): 109-114. [Li X Q, An Z S, Zhou J, et al. Characteristics of vegetation in the Loess Plateau area since Holocene[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2003, 23(3): 109-114.]
- [59] 吕厚远, 刘东生, 郭正堂. 黄土高原地质、历史时期古植被研究状况[J]. 科学通报, 2003, 48(1): 2-7. [Lv H Y, Liu D S, Guo Z T. Natural vegetation of geological and historical periods in Loess Plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(1): 2-7.]
- [60] 王守春. 黄河流域环境演变与水沙运行规律研究文集(第五集): 历史时期黄土高原植被与人文要素变化研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1993. [Wang S C. A Collection of Research Papers on Environmental Evolution and Runoff & Sediment Regimes in the Yellow River Basin: Study on Changes of Vegetation and Humanities Elements in the Loess Plateau during Historical Period[M]. Beijing: China Ocean Press, 1993.]
- [61] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期鼎盛阶段的气候与环境[J]. 中国科学(B辑), 1993, 23(8): 865-873. [Shi Y F, Kong Z C, Wang S M, et al. Climate and environment in the heyday of the Holocene warm period in China[J]. Science in China(Series B), 1993, 23(8): 865-873.]
- [62] 沈吉. 末次盛冰期以来中国湖泊时空演变及驱动机制研究综述: 来自湖泊沉积的证据[J]. 科学通报, 2012, 57(34): 3228-3242. [Shen J. Spatiotemporal variations of Chinese lakes and their driving mechanisms since the Last Glacial Maximum: A review and synthesis of lacustrine sediment archives[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(34): 3228-3242.]
- [63] Li M Y, Zhang S R, Xu Q H, et al. Spatial patterns of vegetation and climate in the North China Plain during the Last Glacial Maximum and Holocene Climatic Optimum[J]. Science China: Earth Sciences, 2019, 62: 1279-1287.
- [64] 任式楠. 中国史前农业的发生与发展[J]. 学术探索, 2005, (6): 110-123. [Ren S N. The occurrence and development of the prehistoric agriculture in China[J]. Academic Exploration, 2005, (6): 110-123.]
- [65] 张居中, 陈昌富, 杨玉璋. 中国农业起源与早期发展的思考[J]. 中国国家博物馆馆刊, 2014, (1): 6-16. [Zhang J Z, Chen C F, Yang Y Z. Origins and early development of agriculture in China [J]. Journal of National Museum of China, 2014, (1): 6-16.]
- [66] 彭世奖. 从中国农业发展史看未来的农业与环境[J]. 中国农史, 2000, 19(3): 86-90. [Peng S J. Looking at the future agriculture and environment from the history of Chinese agricultural development[J]. Agricultural History of China, 2000, 19(3): 86-90.]
- [67] 郭正堂, 侯甬坚. 黄土高原全新世以来自然环境变化概况[R]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所第十届(2010年度)学术年会论文集(下), 2011. [Guo Z T, Hou Y J. An Overview of the Natural Environment Changes in the Loess Plateau since the Holocene[R]. Beijing: Proceedings of the 10th (2010) Annual Meeting of Institute of Geology and Geophysics, 2011.]
- [68] Ren G Y, Beug H J. Mapping Holocene pollen data and vegetation of China[J]. Quaternary Science Reviews, 2002, 21(12-13): 1395-1422.
- [69] Ren G Y. Changes in forest cover in China during the Holocene[J]. Vegetation History & Archaeobotany, 2007, 16(2-3): 119-126.
- [70] 中国科学院地理研究所经济地理室. 中国农业地理总论[M]. 北京: 科学出版社, 1980. [Department of Economic Geography of Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences. General Introduction of Agricultural Geography in China[M]. Beijing: Science Press, 1980.]
- [71] 葛剑雄. 中国人口史(第一卷): 导论、先秦至南北朝时期[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2002. [Ge J X. History of Chinese Population(Volume 1): Introduction, from Pre-Qin to Southern and Northern Dynasties[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2002.]
- [72] 何炳棣. 中国古今土地数字的考释和评价[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 1988. [He B D. The Interpretation and Evaluation of Historical Land Figures in China[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 1988.]
- [73] 卜风贤. 传统农业时代乡村粮食安全水平估测[J]. 中国农史, 2007, 26(4): 19-30. [Bu F X. Assessment on the level of food security in traditional agriculture period of China[J]. Agricultural History of China, 2007, 26(4): 19-30.]
- [74] 卜风贤. 西汉时期西北地区农业开发的自然灾害背景[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(10): 83-86. [Bu F X. Natural disaster background of agriculture development in northwest China during the Xi-han Dynasty[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(10): 83-86.]
- [75] 宁可. 汉代农业生产漫谈[N]. 光明日报, 1979-04-10(04). [Ning K. Discussion on Agricultural Production during the Han Dynasty [N]. Guangming Daily, 1979-04-10(04).]
- [76] 韩茂莉. 中国历史农业地理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2012. [Han M L. Historical Agricultural Geography of China[M]. Beijing: Peking University Press, 2012.]
- [77] Zhang K, Zhao Y, Zhou A F, et al. Late Holocene vegetation dynamic and human activities reconstructed from lake records in western Loess Plateau, China[J]. Quaternary International, 2010, 227(1): 38-45.
- [78] Zhang C, Zhao C, Zhou A F, et al. Late Holocene lacustrine environmental and ecological changes caused by anthropogenic activities in the Chinese Loess Plateau[J]. Quaternary Science Reviews, 2019, 203: 266-277.
- [79] Shi C X, Zhang L, Xu J Q. Sediment load and storage in the lower Yellow River during the late Holocene[J]. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, 2010, 92(3): 297-309.
- [80] Xu J X. Sedimentation rates in the lower Yellow River over the past 2300 years as influenced by human activities and climate change[J]. Hydrological Processes, 2003, 17(16): 3359-3371.
- [81] Dong G H, Yang Y, Zhao Y, et al. Human settlement and human-environment interactions during the historical period in Zhuanglang County, western Loess Plateau, China[J]. Quaternary International, 2012, 281: 78-83.
- [82] 韩茂莉. 北宋时期黄土高原的土地开垦与黄河下游河患[J]. 人

- 民黄河, 1990, 11(1): 67-70. [Han M L. Cultivation of land in the Loess Plateau and aggradation of the lower Yellow River in the Northern Song Dynasty[J]. *Yellow River*, 1990, 11(1): 67-70.]
- [83] 韩茂莉. 宋代农业地理[M]. 太原: 山西古籍出版社, 1993. [Han M L. *Agricultural Geography in the Song Dynasty*[M]. Taiyuan: Shanxi Ancient Books Publishing House, 1993.]
- [84] 何凡能, 李士成, 张学珍. 北宋中期耕地面积及其空间分布格局重建[J]. *地理学报*, 2011, 66(11): 1531-1539. [He F N, Li S C Zhang X Z. The reconstruction of cropland area and its spatial distribution pattern in the Mid-Northern Song Dynasty[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(11): 1531-1539.]
- [85] 何凡能, 李美娇, 刘浩龙. 北宋路域耕地面积重建及时空特征分析[J]. *地理学报*, 2016, 71(11): 1967-1978. [He F N, Li M J, Liu H L. Reconstruction of cropland area at Lu scale and its spatial-temporal characteristics in the Northern Song Dynasty[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(11): 1967-1978.]
- [86] Li M J, He F N, Li S C, et al. Reconstruction of the cropland cover changes in eastern China between the 10th century and 13th century using historical documents[J]. *Scientific Reports*, 2018, DOI: 10.1038/s41598-018-31807-6.
- [87] 李美娇, 何凡能, 杨帆, 等. 元代前期省域耕地面积重建[J]. *地理学报*, 2018, 73(5): 832-842. [Li M J, He F N, Yang F, et al. Reconstruction of cropland area at the provincial level in the early Yuan Dynasty[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 832-842.]
- [88] 傅辉. 明以来河南土地利用变化与人文机制研究[D]. 上海: 复旦大学, 2008. [Fu H. *Study on Land Use Change and Anthropogenic Mechanism in Henan Province, 1368-1953*[D]. Shanghai: Fudan University, 2008.]
- [89] 吴晓军. 论西北地区生态环境的历史变迁[J]. *甘肃社会科学*, 1999, (4): 67-73. [Wu X J. On the historical changes of environment and ecology in northwest China[J]. *Gansu Social Sciences*, 1999, (4): 67-73.]
- [90] 侯甬坚. 鄂尔多斯高原自然背景和明清时期的土地利用[J]. *中国历史地理论丛*, 2007, 22(4): 28-39. [Hou Y J. The natural environment of the Ordos plateau and the land use during the Ming and Qing Dynasties[J]. *Journal of Chinese Historical Geography*, 2007, 22(4): 28-39.]
- [91] 舒时光, 邓辉, 吴承忠. 明后期延绥镇长城沿线屯垦的时空分布特征[J]. *地理研究*, 2016, 35(4): 790-802. [Shu S G, Deng H, Wu C Z. The temporal and spatial distribution of settlements in the area along the Great Wall in Yansui Town during the late Ming Dynasty[J]. *Geographical Research*, 2016, 35(4): 790-802.]
- [92] Wei X Q, Ye Y, Zhang Q, et al. Reconstruction of cropland change in North China Plain Area over the past 300 years[J]. *Global and Planetary Change*, 2019, 176: 60-70.
- [93] 葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 等. 过去300年中国部分省区耕地资源数量变化及驱动因素分析[J]. *自然科学进展*, 2003, 13(8): 825-832. [Ge Q S, Dai J H, He F N, et al. Analysis on quantity changes and driving factors of cultivated land resources in some provinces and regions in China in the past 300 years[J]. *Progress in Natural Science*, 2003, 13(8): 825-832.]
- [94] Li S C, He F N, Zhang X Z. A spatially explicit reconstruction of cropland cover in China from 1661 to 1996[J]. *Regional Environmental Change*, 2016, 16(2): 417-428.
- [95] 葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 等. 过去300年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究[J]. *中国科学: 地球科学*, 2008, 38(2): 197-210. [Ge Q S, Dai J H, He F N, et al. Land use/cover change and carbon cycle in China over the past 300 years[J]. *Science China: Earth Science*, 2008, 38(2): 197-210.]
- [96] 何凡能, 李士成, 张学珍, 等. 中国传统农区过去300年耕地重建结果的对比分析[J]. *地理学报*, 2012, 67(9): 1190-1200. [He F N, Li S C, Zhang X Z, et al. Comparisons of reconstructed cropland area from multiple datasets for the traditional cultivated region of China in the last 300 years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(9): 1190-1200.]
- [97] 吴承忠, 邓辉, 舒时光. 清代陕蒙交界地区土地开垦过程研究[J]. *地理研究*, 2014, 33(8): 1579-1592. [Wu C Z, Deng H, Shu S G. The study on the land development process in the border area between Shaanxi and Inner Mongolia[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(8): 1579-1592.]
- [98] 魏学琼. 过去300年华北地区耕地变化重建研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2016. [Wei X Q. *Reconstruction of Cropland Change in the North China over the Past 300 Years*[D]. Beijing: Beijing Normal University, 2016.]
- [99] Mostern R. Loess is more: The spatial and ecological history of erosion on China's northwest frontier[J]. *Journal of the Economic and Social History of the Orient*, 2019, 62: 560-598.
- [100] Zheng J Y, Zhang P Y, Tian Y Y. Shift of farming-pastoral belt in northern China over the last 2000 years[J]. *Proceedings of SPIE*, 2003, 4890: 973-980.
- [101] 邹逸麟. 明清时期北部农牧过渡带的推移和气候寒暖变化[J]. *复旦学报(社会科学版)*, 1995, (1): 25-33. [Zou Y L. The shift of the transition zone between agriculture and animal husbandry and climatic change in North China during the Ming and Qing Dynasties[J]. *Fudan Journal(Social Sciences Edition)*, 1995, (1): 25-33.]
- [102] 许炯心, 孙季. 黄河下游2300年以来沉积速率的变化[J]. *地理学报*, 2003, 58(2): 247-254. [Xu J X, Sun J. Sedimentation rate change in the lower Yellow River in the past 2300 years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 247-254.]
- [103] Zhang L. Changing with the Yellow River: An environmental history of Hebei, 1048-1128[J]. *Harvard Journal of Asiatic Studies*, 2009, 69(1): 1-36.
- [104] 任美镔, 曾昭璇, 崔功豪, 等. 中国的三大三角洲[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994. [Ren M E, Zeng Z X, Cui G H, et al. *The Three River Deltas in China*[M]. Beijing: Higher Education Press, 1994.]
- [105] 薛春汀, 周永青, 王桂玲. 古黄河三角洲若干问题的思考[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2003, 23(3): 23-29. [Xue C T, Zhou Y Q, Wang G L. Reviews of the Yellow River Delta superlobes since 700 BC[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2003, 23(3):

- 23–29.]
- [106] Zhang X P, Fang X Q. Temporal and spatial variation of catastrophic river floodings in the lower Yellow River from AD 960 to 1938[J]. *The Holocene*, 2017, 27(1): 1359–1369.
- [107] Wang Y J, Su Y J. The geo-pattern of course shifts of the lower Yellow River[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2011, 21(6): 1019–1036.
- [108] Chen Y Z. Flood dynamics of the lower Yellow River over the last 3000 years: Characteristics and implications for geoarchaeology [J]. *Quaternary International*, 2019, 521: 147–157.

Changes of climate and land cover in the middle and lower reaches of the Yellow River over the past 2000 years

ZHENG Jingyun^{1,4}, WEN Yanjun^{2,3}, FANG Xiuqi³

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. School of Geography and Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, China; 3. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on the research on the changes of climate, disasters, vegetation, and land use in the past 40 years, this study made a comprehensive assessment of the characteristics of changes of temperature, dry/wet conditions, and extreme droughts and floods, and the general trend of land cover caused by the agricultural land use, in the middle and lower reaches of the Yellow River over the past two millennia. We also discussed the general relationships between the above changes and the sedimentation, breaches, and avulsions in the lower Yellow River from a historical perspective. The main conclusions are as follows. (1) During the past two millennia, multi-scale periodic fluctuations of temperature and dry/wet conditions were significant in the middle and lower reaches of the Yellow River, but the dry/wet changes in the middle and the lower reaches were not completely synchronized. Frequencies of extreme droughts and floods varied in different time periods. (2) As early as in the late Western Han Dynasty, the middle and lower reaches of the Yellow River had already been developed into an agricultural area with a spatial range similar to today's, where, especially on relative flat terrains, only limited natural vegetation remained. Since then, the intensity of reclamation showed an increasing trend in general, although it fluctuated greatly over time. (3) The changes of climate and land cover had influenced the water-sediment balance, channel sedimentation, and riverbed stability in the middle and lower reaches of the Yellow River, and driven, as an important trigger, the repeated diking-sedimentation-suspended river-burst and avulsion cycle in the lower Yellow River during the historical period. These understandings can provide historical backgrounds for further revealing the characteristics of environmental change in the middle and lower reaches of the Yellow River and their impacts on the security of the lower Yellow River region.

Key words: middle and lower reaches of the Yellow River; past 2000 years; climate change; extreme drought/flood events; land cover; cropland reclamation