

全新世以来黄土高原侵蚀环境研究述评^{*}

靳建辉^{1,3}, 康相武²

(1. 福建师范大学 地理科学学院, 福州 350007;

2. 中国科学技术信息研究所 战略研究中心, 北京 100038;

3. 湿润亚热带生态 地理过程省部共建教育部重点实验室, 福州 350007)

摘要: 全新世以来黄土高原的侵蚀问题, 历来是国内外学者研究的热门。黄土高原的环境演变和水土流失问题也是黄土高原研究的难点和重点。本研究从全新世以来黄土高原植被变化、降水量变化和土壤侵蚀量变化等几个方面, 简要回顾了国内学者在上述领域的研究成果, 针对领域内的成就和问题提出了粗浅看法和建议。文章认为, 全新世以来黄土高原总体植被景观以草原为主; 降水量也有显著变化, 总体呈现东南高, 西北低的态势, 400 mm 等降水量线大致沿东南—西北方向移动; 土壤侵蚀强度也有阶段性变化, 全新世早中期主要受自然因素影响, 晚期受自然因素和人为因素双重影响。

关键词: 全新世; 植被; 降水量; 孢粉; 磁化率; 黄土高原

中图分类号: K903

文献标识码: A

文章编号: 1673-7105 (2009) 04-0030-08

The Evolutionary Process of Erosive Environment since the Holocene on the Loess Plateau

JIN Jian-hui^{1,3}, KANG Xiang-wu²

(1. School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, 350007, Fuzhou, China;

2. Research Center for Strategic Science and Technology Issues, Institution of Scientific and Technical Information of China, 100038, Beijing, China;

3. Key Laboratory of Humid Subtropical Eco-geographical Process, Ministry of Education, 350007, Fuzhou, China)

Abstract: The erosive environment is one of popular questions in soil erosion research since Holocene on the Loess Plateau. By now scientists have done massive fruitful work on the subject, which considered the water and soil conservation in the Yellow River basin. From the aspects of vegetation, precipitation and soil erosion, this article reviews main research results of the erosive environment on the Plateau during geological periods, with some preliminary points of view and suggestions proposed. The authors consider that grasslands are major vegetation in the landscape of the Plateau since Holocene. During the period, the rainfall in the area had changed significantly, reflecting in the phenomenon that the 400 mm rainfall line was ever moving along in an approximately southeast-northwest direction. Periodic changes in the intensity of soil erosion were observed, and it should be particularly pointed out that during the early and mid Holocene, the erosion was mainly controlled by natural elements, while since late Holocene human activity played a more and more important role.

Key word: the Loess Plateau; vegetation; precipitation; spore-powder; susceptibility; Holocene

黄土高原的土壤侵蚀问题, 历来是黄土高原研究的重中之重。研究清楚全新世以来黄土高原的侵蚀问题, 可以为黄土高原水土流失治理和生态建设起到指导作用。在长时间尺度上, 影响黄土高原侵蚀环境的主要作用有构造运动和气候变化。构造运动是内动力, 气候变化是影响黄土高原侵蚀环境的主要外

^{*}收稿日期: 2009-01-06

基金项目: 国家科技部“十一五”科技支撑计划重点项目“黄河健康修复关键技术研究”(2006BAB06B07)

作者简介: 靳建辉 (1981—), 男, 山西晋城人, 硕士, 助教, 研究方向为干旱区资源与环境演变, (电话) 13075810219, (Email) jinjianhui1981@163.com.

动力。全新世以来的黄土高原侵蚀环境受大的构造运动影响有限,主要受植被、降水量、气温和土壤侵蚀量等外部因素的影响。黄土高原是典型的生态脆弱区,抵抗人为和自然因素破坏的能力较差。本研究对国内有关全新世以来黄土高原植被、降水量和土壤侵蚀量等方面研究进行综合比较分析,拟阐明土壤侵蚀的时空变化规律,为有效修复黄土高原日益恶化的生态环境,在中西部组织开展大规模的生态建设工程提供基础理论支持。

1 全新世以来黄土高原植被变化状况研究

研究表明,全新世时期黄土高原的侵蚀环境与植被有紧密关系。植被覆盖度可以影响地表径流的侵蚀能力,可以改变或阻碍径流的运动速度,植被是抵抗侵蚀的因素,决定土壤的可蚀性程度。称之为“可蚀性因素”。在气候适宜期,黄土高原植被覆盖度较好,以松、桦等木本和蒿等草本为主,土壤侵蚀强度减弱;气候冷干期,植被覆盖较差,以松、冷杉等木本和蒿等草本为主,土壤侵蚀强度增强。

地质历史时期的黄土高原是否有过森林或茂密的林草植被一直是学术界争论的焦点。一般来说,国内学者主要通过历史文献记录和孢粉分析的方法来研究全新世以来黄土高原植被变化状况。

1.1 历史文献记录的黄土高原古植被变化状况

关于历史时期黄土高原植被演变状况,众多学者做了大量工作。著名生物学家和古农学家辛树帜先生摘引大量史料,说明了关中平原、渭北平原及晋西黄土丘陵山地在西周与北魏时乔木、灌木、攀援藤本植物生长十分茂密的状况^[1]。历史地理学家史念海认为,黄土高原在历史上曾经是广布森林,只是随着人为因素的影响加大,森林面积在不断减少。比如引用《诗·召南》和《秦风》中关于终南山和渭河下游的记载并结合前人的论述,推断距今 3 500~5 000 年间,气候较今更为湿润,终南山以北的黄土高原在当时更适宜森林的生长和发育^[2-3]。朱士光在论述中,根据史籍、地方志和诗文,认为距今几百年前的甘肃黄土高原,曾经是一个森林草原广布,自然环境优越的地方,森林是本区环境中起决定作用的因素^[1]。

根据《诗经》、《史记》、《山海经》、《水经注》和部分正史、地方志等文献资料,桑广书得出了历史时期黄土高原植被变化状况:西周以前及西周战国时期,植被保持着天然状态,自东南向西北分别由落叶阔叶林、疏林灌丛草原、温带典型草原和温带荒漠化草原构成;秦汉时期,黄土高原天然植被仍占较大比重,人类活动尚没有改变黄土高原的植被面貌;唐宋时期,关中平原、汾涑流域已无天然森林,黄土丘陵、山地植被也遭到破坏,黄土高原北部沙漠开始扩张,自然环境处在恶化之中;明清时期,黄土高原历史植被遭到毁灭性破坏。并根据历史文献,对全新世以来黄土高原植被变化情况作了较为详细的分析。研究表明全新世以来黄土高原森林发育良好,森林是黄土高原的地带性植被,唐宋以后黄土高原受人为加速侵蚀因素影响较为严重,天然森林植被明显减少^[4-5]。

诸多学者长期坚持黄土高原的历史环境变迁研究,他们应用历史地理学的研究方法对历史时期黄土高原的植被变化作了大量的研究^[1,6],其后也有不少学者^[4-5]根据历史文献、方志等资料并结合自然地理学和第四纪地质学的研究方法对前人的研究进行了修正。总体来看,均认为森林是黄土高原全新世以来的地带性植被,只是随着人类活动的影响加剧,使其逐步消失。

1.2 孢粉记录的黄土高原古植被状况

研究黄土高原古植被的方法有间接方法和直接方法。间接的方法有根据动物化石、土壤和沉积物性质等推断的方法;直接的方法有孢粉分析、植物大化石和碳同位素等。碳同位素法尚不成熟,植物大化石的保存条件较为困难,因此孢粉分析是目前学者们常用的一种恢复古植被的方法。孢粉是孢子和花粉的简称。孢子是孢子植物(苔藓、蕨类)的繁殖器官,花粉是种子植物的繁殖器官,孢粉属于微体化石,具有数量多,宜保存,在地层中分布均匀等特点,有利于科研工作者研究地质历史时期的植被景观变化情况。

陕西渭南黄土剖面的研究结论表明:整个全新世以草原为主要植被,短期内有阔叶树生长,认为黄土高原塬面上的草原植被是原生的。除了某些相对短暂的水分适合乔木生长的时期之外,未曾发育过稳定的森林^[7]。陕西耀县地区儒家堡剖面的孢粉研究,得到了全新世以来黄土高原塬区的植被特征,认

为近 12 000 a BP以来黄土高原南缘塬区植被主要经历了干草原—湿润草原—干草原—湿润草原—草原 5 个阶段, 植被均以草原植被为主, 并未出现过森林植被发育阶段^[8].

上述结果是较多学者的观点, 共同点就是认为全新世以来的黄土高原主要是以草原植被为主, 某些短暂时段内有疏林生长.

秦安大地湾孢粉记录证明, 全新世早、中、晚期分别经历了针叶林植被—针阔混交林—水生植物和阔叶树, 但仅仅反映了局部的沟谷生景^[9]. 甘肃小陇山林区剖面的分析结果也表明, 自全新世中期以来, 古植被经历了 3 个阶段: 7.5 ka BP~5 ka BP为栎类为主的落叶阔叶林; 5 ka BP~2.5 ka BP为栎类为主的针阔混交林; 2.5 ka BP至今, 早期为栎林和针阔混交林, 晚期为栎林占优势的针阔混交林^[10].

在古植被变化研究中, 也有不少异议.

在对延安地区全新世黄土孢粉的研究中, 贺秀斌等选取杨家畔、万花和高桥 3 个剖面得出以下结论: 全新世早期 (10 000 a BP~7 500 a BP) 为气候较干冷的寒温带夏绿阔叶林; 全新世中期 (7 500 a BP~4 500 a BP) 为具有亚热带成分的针阔混交林和暖温带夏绿阔叶林; 全新世晚期为暖温带针阔混交林^[11]. 唐克丽等利用孢粉分析法和土壤发生学原理对陕西关中杨陵、陕北洛川塬和安塞丘陵区王家沟剖面进行研究, 提出如下看法: 一般对于黄土沉积物内以冷干型蒿属为主的草原植被孢粉不存在疑问, 但是对于古土壤层内以大量草本植物占优势情况下, 又出现少量木本孢粉, 甚至带有亚热带成分的情况下, 仍以孢粉成分的数量进行判断, 对这一点还有待商榷^[12]. 可见, 对已有孢粉谱或孢粉组合的数据分析方法不同, 也会出现不同观点.

上述研究可以看出, 学者观点主要有 3 种: 第一种观点认为地质历史时期的黄土高原存在过茂密的森林植被^[2, 5, 13-15], 在气候适宜期还出现众多亚热带植被物种^[7, 16]; 第二种观点认为黄土高原从来没有发育过大面积的森林, 只有干草原和湿润草原或森林草原景观的交互演替过程^[7, 17]. 另外, 张林源等学者认为, 黄土高原作为一个巨大的地貌单元, 内部植被景观是有差异的, 沟谷、塬面、基岩山地等的植被状况不尽相同^[16, 18-19].

从研究区域看, 上述研究主要集中在关中平原、洛川塬、董志塬、汾河谷地、长城沿线等区域, 其余地区研究薄弱. 从研究的时间看, 主要为在特定研究地段截取特定时间断面的研究, 缺乏在大范围内对黄土高原侵蚀环境演变作长时段、短周期、高分辨的研究.

从方法上看, 尽管孢粉分析法是常用的、较完善的一种恢复古植被的方法, 但是这种方法还有若干的不确定性, 利用孢粉数据恢复植被景观的一些理论还有待于研究. 比如, 不同植物的产粉率是不同的. 如何通过划分孢粉百分比来确定植被类型有待讨论; 所有植物的花粉绝大部分落在母体植株的附近地区, 但是有些花粉可以传播到几千米甚至几百千米之外, 所以地层中包含的花粉组合所反映的原始植物的基本面貌就有误差; 另外, 孢粉的保存条件不同, 不同种类的花粉, 其大小、形状和外壁结构不同, 耐压、耐碱、抗高温性能也不尽相同. 上述若干问题都影响孢粉数据的解释.

综合上述观点, 研究认为黄土高原的古植被状况呈现非地带性特点, 沟谷和塬面的植被类型有着明显的差异. 由于巨厚的塬面有其特有的岩土学特点, 目前的气候状况及全新世适宜期相对湿润的气候条件都不足以支持在塬面上生长大面积的森林植被, 即使在气候条件较好的关中盆地, 在全新世最适宜期也只有短暂的疏林生长. 基岩山地是适合森林分布的区域.

2 全新世以来黄土高原降水量变化状况

黄土高原是以水力侵蚀为主的地区, 长期以来降水过程总是伴随着侵蚀产沙过程. 黄土高原的土壤侵蚀与降水、植被、地形、岩土性质等一系列影响因素有关, 降水是黄土高原侵蚀环境的基本控制因素之一. 其中降水对侵蚀强度举足轻重, 被称之为“侵蚀性因素”.

对黄土高原古降水量变化的研究, 一般研究范围控制在有历史记录以来的两三千年. 史前古降水量变化的研究主要通过某些替代性指标进行反演. 其中, 磁化率值是恢复古环境的一个重要代用指标. 上世纪 80 年代, 刘秀铭, 刘东生和 Heller首先研究了黄土地层磁化率的气候意义^[20]. 之后, 吕厚远, 韩

家懋等许多学者对黄土高原不同剖面作了深入细致的磁化率研究工作^[21-27]，并证明在黄土高原地区，干冷气候期形成的黄土磁化率值低，温暖湿润气候期形成的古土壤磁化率值高。孙东怀、吕厚远等对黄土磁化率和气候变化之间的关系进行了研究，利用两者之间的关系，在一定误差范围内把磁化率转化成古降水量、古年均温^[21-22]。同时朱照宇利用粒径、径流量等指标估算古降水量变化^[28]。

2.1 估算古降水量变化的主要方法

在对洛川黄土剖面约 13 万年来的磁化率进行古气候因子估算时，吕厚远等同时用了直线回归、双曲线回归、指数回归、对数回归、生长函数回归、曲线回归、多项式回归等 7 种回归方法，分别对土壤磁化率值与年均降水量进行回归检验，从中选取一种回归离差最小，相关系数最大的 4 次多项式回归方法进行回归^[21]，回归方程如下：

$$Y = - 22.706 + 11.554X - 6.7166 \times 10^{-2} X^2 + 1.8684 \times 10^{-4} X^3 - 1.9264 \times 10^{-7} X^4$$

式中 Y 为年降水量， X 为磁化率值，复相关系数 $R^2 = 0.675 > R_{0.01(61)} = 0.325$ ， F (检验) = 126.8 > $F_{0.01(4,58)} = 3.71$ 。利用上述回归方程和误差范围，对洛川坡头黄土剖面约 13 万年以来的 120 个样品的磁化率值进行计算，得出相应的古降水的平均值。

孙东怀等选取黄土高原 32 个剖面^[22]，分别组成 3 条线：榆林—渭南、环县—西安，兰州—西安。所用的转换方程为：

$$P = - 415.593 + 215.778 \ln (S) \quad (R^2 = 0.8765)$$

式中 P 为平均年降水量， S 为野外实测磁化率。

朱照宇等^[28]根据黄土高原中—南部河湖系列及阶地系列实测数据和综合分析，并根据实测年龄和前人数据，确定了全新世以来各级河流阶地以及侵蚀面的年代间隔，并测定了 11 000 年以来不同时期的平均年降水量 (表 1)。所用的经验公式为：

$$A = - 8.0969Q^2 + 85.998Q + 383.53$$
$$Q = - 7.35 + 306.6M_a$$

其中 A 为年降水量， Q 为断面径流量， M_a 为各级阶地的砂粒粒度中值。

表 1 黄土高原全新世以来平均水土侵蚀强度计算
Table 1 The average soil erosion intensity on the Loess Plateau since Holocene

起始年代距今 /a	现代 0	150	300	500	700	2 000	4 000	7 000	11 000
阶地及河漫滩	河床	低漫滩	高漫滩	一级阶地上部	一级阶地下部	二级阶地上部	二级阶地中部	二级阶地下部	三级阶地上部
分选系数 S_o	2.73	2.24	2.44	5.29	2.85	1.57	1.91	4.80	3.87
粒度中值 M_a/mm	0.06	0.02	0.03	0.01	0.06	0.37	0.05	0.01	0.01
断面输沙量 $T/万 t/a$	9 643	91 133	6 581	21 900	10 939	5 189	6 716	19 699	15 521
断面径流量 $Q/m^3/a$	3.69	2.29	3.07	0.01	9.80	106.00	6.44	0.01	0.01
年降水量 $A/mm/a$	575.8	538	571	384	449	<300	602	384	384
流域输沙量 $S/亿 t/a$	16.00	15.15	10.92	36.34	18.15	8.61	11.14	32.69	25.75
全国人口 /亿人	5.00	2.60	1.08	0.53	0.49	0.07	0.52	0.42	0.39
朝代	现代	清 (后)	清 (初)	明 (中)	南宋	三国	西汉 (末)	夏龙山	仰韶
公元年	-	1800	1650	1450	1250	243	0	前 2050	前 5050

上述前 2 种方法都是用大量的实测数据建立的相关性较好的磁化率与降水量之间的转换方程。适用于黄土高原及其周围地区的风成沉积物，对其他地区和类型的沉积物不一定适用。相对而言，多项式回归转换方程更适应于不同地区，较之对数回归函数，多项式方程在非线性回归分析中占有重要地位，根据数学上级数展开的原理，任何曲线、曲面、超曲面的问题，在一定范围内都能用多项式任意逼近。

2.2 全新世以来黄土高原降水量变化情况研究

对于黄土磁化率和气候变化之间的关系，有众多学者利用两者之间的关系，在一定误差范围内把磁

化率转化成古降水量。主要代表性研究有：吕厚远等通过测量现代不同环境下土壤磁化率的分布特征，用统计学的方法研究土壤磁化率随气候条件变化的变化规律，特别是黄土高原及其周边地区的磁化率与降水量的对立关系，结果表明：全新世年均降水量在 600 ~ 700 mm 之间变化，最大年均降水量在 701 ± 74 mm 左右^[21]。孙东怀等利用黄土高原 32 个剖面的磁化率数据计算得出了全新世气候适宜期降水量的等值线图，估算了全新世长温期前的末次冰盛期的 250 mm 降水量线的大致位置^[22]。

另外，朱照宇等根据黄土高原中—南部河湖系列及阶地系列实测数据和综合分析，并根据实测年龄和前人数据，测定了 11 000 年以来不同时期的平均年降水量^[28]。桑广书，史念海，朱士光等通过史籍、考古文献和孢粉分析相结合的方法，对黄土高原历史时期降水量变化作有关论述^[4-6, 13]。

通过上述研究可以看出，在黄土高原地区，土壤磁化率与温度、降水量为正相关，这种关系在其他地方不一定适用。不同气候带，不同环境下发育的地层样品的磁化率大小遵循着不同的变化规律。用统计学上的相关和回归分析可以作为估算古环境气候参数的方法之一，有着较好的应用前景。不过，磁化率的影响因素除了气候，还可能还有其他因素，因此在选取剖面时还应尽量选取较为水平的黄土—古土壤序列。

3 全新世以来黄土高原土壤侵蚀量研究

对黄土高原土壤侵蚀问题，学术界存在较大争议^[29-30]。近几十年来该领域的研究也有较快发展^[28-40]。关于历史时期黄土高原的侵蚀量变化情况，史念海通过翻阅大量史籍文献对历史时期黄土高原的河流流量变化做了定性分析^[35]。桑广书结合考古、孢粉分析等先进技术，对历史时期黄土高原的土壤侵蚀量作了初步判断和定性分析^[41]。

桑广书通过史籍、文献并结合考古、孢粉分析等技术把 6 ka BP 以来分成 5 个时段，分别对黄土高原的侵蚀环境做了研究^[4, 41]。

根据相关沉积原理^[31]及中游流域产沙输移比为 1 的事实，从黄河不同时期冲积扇的规模阐述黄土高原的土壤侵蚀量。其中考虑到华北平原地区第四纪以来的堆积物 90% 来自黄河，冲积扇区河道淤积量为下游淤积量的 80%。

经过实测了约 11 000 年以来黄土高原中部洛河各个阶地沉积层中相应的数据^[28]，通过回归方程计算了黄土高原全新世各个时期的沟谷断面平均古水土侵蚀强度（表 1）。

通过古植被变化、古降水量和土壤侵蚀量的变化研究看出，气候较为干冷的全新世早期和晚期，植被以冷干的蒿属、藜属干草原植被为主，降水量较少，侵蚀输沙量较大；气候暖湿的全新世中期，植被以针阔混交林和湿润草原为主，个别地区以含有亚热带成分树种的针阔混交林和湿润草原为主，降水量较多，侵蚀输沙量较少。

土壤侵蚀量的测定方法很多，如何精确测定黄土高原土壤侵蚀量，不少学者有过尝试^[28, 31, 33-34]，但精确度还不够，不确定性还较大。在研究黄土高原土壤侵蚀规律的过程中，首先要解决的问题是时间序列的建立。目前实际应用的容重模式、磁化率模式和粒度模式，无论哪一种模式都面临黄土定年技术发展的问题，缺少足够的精确年代控制点。随着现代研究手段的不断强化，应用现代研究手段，定性研究和定量研究相结合，掌握黄土高原侵蚀环境大尺度、长时期、高分辨率的演变规律，应成为今后研究深化和发展的方向。

4 总结与讨论

科学家对黄土高原全新世以来侵蚀环境的研究已取得不少成绩，结合以上研究成果认为：

1) 全新世以来黄土高原总体植被景观以草原为主，并出现干草原和湿润草原的更替过程。在基岩山地和沟谷地貌区以针阔混交林和夏绿阔叶林为主，并随降水量和气温的变化在大尺度上出现植物物种的变化，甚至有亚热带物种的出现^[9-12]。

2) 全新世以来黄土高原降水量也有显著变化，总体呈东南高，西北低的态势^[12, 14, 17, 20-21]。400 mm 降水量线是半干旱和半湿润区的分界线，也是农耕区和牧业区的分界线，以北适合畜牧业，以南适合农

业耕种。黄土高原 400 mm 降水量线全新世早期大致分布在天水—庄浪—盐池—神木一线，全新世中期大致分布在兰州—环县—定边一线，全新世晚期大致分布在神木—靖边—固原一线。400 mm 降水量线全新世晚期较之全新世早期整体向西北偏移^[22]。

3) 全新世以来黄土高原土壤侵蚀强度也有阶段性变化。全新世早期主要受自然因素影响，土壤侵蚀强烈；全新世中后期土壤侵蚀较为缓和，期间有侵蚀强度的波动；从很多学者的研究和历史文献的记载^[1-6]可以看出，全新世晚期和现代主要受人为因素影响，土壤侵蚀比较强烈，水土流失严重。

参考文献 (References):

- [1] Zhu Shi-guang Studies on the Loess Plateau of Chinese historical geography [J]. *Geographical Research*, 1984, 3 (2): 82-92 [朱士光. 简论我国黄土高原历史地理研究工作 [J]. 地理研究, 1984, 3 (2): 82-92]
- [2] Shi Nian-hai Changes of forest in historical period [J]. *Journal of Chinese Historical Geography*, 1988, (1): 1-17. [史念海. 历史时期森林变迁的研究 [J]. 中国历史地理论丛, 1988, (1): 1-17.]
- [3] Shi Nian-hai The evolution of Loess Plateau in Historical period [J]. *Journal of Chinese Historical Geography*, 1987, (2): 3-54. [史念海. 历史时期黄土高原沟壑的演变 [J]. 中国历史地理论丛, 1987, (2): 3-54]
- [4] Sang Guang-shu The Evolutionary Process of the Landform and Soil Erosion during Historical Period in Loess Plateau [D]. Doctoral thesis of Shanxi Normal University, 2003. [桑广书. 黄土高原历史时期地貌与土壤侵蚀演变研究 [D]. 陕西师范大学博士论文, 2003.]
- [5] Sang Guang-shu Vegetation variation of Loess Plateau during human history [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19 (4): 54-58. [桑广书. 黄土高原历史时期植被变化 [J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19 (4): 54-58.]
- [6] Shi Nian-hai Studies on the improvement of gully and water on the Loess Plateau [J]. *Journal of Chinese Historical Geography*, 1985, (1): 341-375. [史念海. 论黄土高原的治沟与治水 [J]. 中国历史地理论丛, 1985, (1): 341-375.]
- [7] Sun Xiang-jun The vegetation of southern margin of the Loess Plateau since 10 million years: the pollen record of Shaanxi Weinan loess section [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 43 (13): 1222-1224. [孙湘君. 黄土高原南缘 10 万年以来的植被——陕西渭南黄土剖面的花粉记录 [J]. 科学通报, 1995, 43 (13): 1222-1224.]
- [8] Li Xiao-qiang, An Zhi-sheng Characteristic of vegetation in the loess plateau area since Holocene [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2003, 23 (3): 109-114. [李小强, 安芷生. 全新世黄土高原塬区植被特征 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23 (3): 109-114.]
- [9] Xia Dun-sheng, Ma Yu-zhen High resolution record of vegetation and climate variations in Longxi Loess Plateau during Holocene [J]. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 1998, 34 (1): 119-127. [夏敦胜, 马玉真. 秦安大地湾高分辨率全新世植被演变与气候变迁初步研究 [J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 1998, 34 (1): 119-127.]
- [10] Ju Tian-zheng, Chen Xue-ling Research of vegetation succession on the Xiaolingshan mountains since middle Holocene [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1998, 18 (2): 292-299. [巨天珍, 陈学林. 甘肃小陇山林区全新世中期以来古植被演替的研究 [J]. 西北植物学报, 1998, 18 (2): 292-299.]
- [11] He Xiu-bin, Liang Yim-in Analysis of loess pollen and vegetation changes of Yan an in Holocene [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, 7 (2): 124-127. [贺秀斌, 梁一民. 延安地区全新世黄土孢粉分析及其植被变化 [J]. 水土保持研究, 2000, 7 (2): 124-127.]
- [12] Tang Ke-li, He Xiu-bin Discussion of the ancient soil and climate evolution of succession of Loess Plateau in Holocene [J]. *Quaternary Sciences*, 2004, 24 (2): 129-140. [唐克丽, 贺秀斌. 黄土高原全新世黄土 - 古土壤演替及气候演变的再讨论 [J]. 第四纪研究, 2004, 24 (2): 129-140.]
- [13] Zhu Shi-guang A number of questions on < Studies of changes in natural conditions in Gansu province Loess Plateau in historical period > [J]. *Journal of Lanzhou University: Social Sciences*, 1987, (1): 123-126. [朱士光. 《历史时期甘肃黄土高原自然条件变化的若干问题》中需要辨明的几个问题 [J]. 兰州大学学报: 社会科学版, 1987, (1): 123-126.]
- [14] Li Bing-cheng, Sun Jian-zhong Vegetation and climate environment during Holocene in Xi an region of Loess Plateau, China [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2005, 25 (3): 125-132. [李秉成, 孙建中. 黄土高原西安地区全新世的植被与气候环境 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25 (3): 125-132.]

- [15] Zhao Jing-bo, Zhu Xian-mo Evolution and erosion history of Loess Plateau [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1999, 5 (2): 58-63 [赵景波, 朱显谟. 黄土高原的演变与侵蚀历史 [J]. 水土保持学报, 1999, 5 (2): 58-63]
- [16] Zhang Lin-yuan Opinions on grass planting in the Loess Plateau [J]. *Journal of Lanzhou University: Social Sciences*, 1983, (4): 24-25. [张林源. 黄土高原种草种树之管见 [J]. 兰州大学学报: 社会科学版, 1983, (4): 24-25.]
- [17] Tang Ling-yu, Li Chun-hai Vegetation history of the western loess plateau during the last 40 ka based on pollen record [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2007, 46 (1): 45-61. [唐领余, 李春海. 黄土高原西部 4 万多年来植被与环境变化的孢粉记录 [J]. 古生物学报, 2007, 46 (1): 45-61.]
- [18] Tang Sao-qing, Wu Guang-he Studies of changes in natural conditions in Gansu province Loess Plateau in historical period [J]. *Journal of Lanzhou University: Social Sciences*, 1984, (1): 27-32 [唐少卿, 伍光和. 历史时期甘肃黄土高原自然条件变化的若干问题 [J]. 兰州大学学报: 社会科学版, 1984, (1): 27-32]
- [19] Lv Hou-yuan, Liu Dong-sheng Research of ancient vegetation of the Loess Plateau in historical period [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 23 (3): 2-7. [吕厚远, 刘东生. 黄土高原地质、历史时期的古植被研究状况 [J]. 科学通报, 2003, 23 (3): 2-7.]
- [20] Liu Xiu-ming, Liu Dong-sheng, Heller F, *et al* Study on magnetic susceptibility of loess and quaternary climate in China [J]. *Chinese Journal of Geology*, 1992, (S1): 279-285. [刘秀铭, 刘东生, Heller F, 等. 中国黄土磁化率与第四纪古气候研究 [J]. 地质科学, 1992, (增刊): 279-285.]
- [21] Lv Hou-yuan, Han Jia-mao Analysis of China's modern soil magnetic susceptibility and its paleoclimatic significance [J]. *Science in China ser. B*, 1994, 24 (12): 1290-1297. [吕厚远, 韩家懋. 中国现代土壤磁化率分析及其古气候意义 [J]. 中国科学 (B 辑), 1994, 24 (12): 1290-1297.]
- [22] Sun Dong-huai, Zhou Jie Preliminary reconstruction of annual rainfall in loess plateau and loess desert transitional regions in suitable climatic period of Holocene [J]. *Journal of Desert Research*, 1995, 15 (4): 339-344 [孙东怀, 周杰. 全新世气候适宜期黄土高原及黄土-沙漠过渡区年降水量的初步恢复 [J]. 中国沙漠, 1995, 15 (4): 339-344.]
- [23] Torii M, Fukuma K Initial magnetic susceptibility of the Chinese loess paleosols: a review [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1999, 19 (3): 83-96 [鸟居雅之, 福田浩司. 黄土-古土壤磁化率述评 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19 (3): 83-96]
- [24] Qiang Xiao-ke, An Zhi-sheng Paleoclimatic implication of frequency-dependent magnetic susceptibility of red clay sequences in the Jiaxian profile of northern China [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2003, 23 (3): 91-96 [强小科, 安芷生. 佳县红粘土堆积序列频率磁化率的古气候意义 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23 (3): 91-96]
- [25] Kuang Juan, Zhang Cheng-wei Studies on Loess-paleosol susceptibility factors [J]. *Gansu Science and Technology*, 2007, 23 (8): 103-104 [匡娟, 张成君. 黄土-古土壤磁化率影响因素论述 [J]. 甘肃科技, 2007, 23 (8): 103-104.]
- [26] Wang Xi-sheng, Yang Zhen-yu The environmental magnetic results and their paleoclimatic significance of the southeast margin of the Loess Plateau loess-paleosol sequence [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51 (13): 1574-1582 [王喜生, 杨振宇. 黄土高原东南缘黄土-古土壤序列的环境磁学结果及其古气候意义 [J]. 科学通报, 2006, 51 (13): 1574-1582]
- [27] Li Bing-cheng Paleoclimate character of susceptibility of loess during the Holocene in Xi'an Shenhuyuan [J]. *Journal of Northwest University: Natural Science*, 2007, 37 (5): 798-803 [李秉成. 西安神禾塬全新世黄土磁化率反映的古气候特征 [J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2007, 37 (5): 798-803.]
- [28] Zhu Zhao-yu, Zhou Hou-yun A preliminary quantitative analysis of soil erosion intensity on Loess Plateau since the Holocene [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17 (1): 81-84 [朱照宇, 周厚云. 黄土高原全新世以来土壤侵蚀强度的定量分析初探 [J]. 水土保持学报, 2003, 17 (1): 81-84.]
- [29] Liu Dong-sheng *Chinese Loess Accumulation* [M]. Beijing: Science Press, 1965: 1-56 [刘东生. 中国的黄土堆积 [M]. 北京: 科学出版社, 1965: 1-56]
- [30] Zhang Zhong-hu The basic law of soil erosion in Loess Plateau [J]. *Quaternary Sciences*, 1993, (1): 34-40 [张宗祜. 黄土高原土壤侵蚀基本规律 [J]. 第四纪研究, 1993, (1): 34-40]
- [31] Jing Ke, Chen Yong-zhong Preliminary study on erosion rate and erosion environment in the Loess Plateau [J]. *Geographical Research*, 1983, 2 (2): 1-11. [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.]

- 1983, 2 (2): 1-11.]
- [32] Yuan Bao-yin, Ba Ter Loess Plateau gully development and climate change [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1987, 42 (4): 328-336 [袁宝印, 巴特尔. 黄土区沟谷发育与气候变化的关系 (以洛川黄土塬区为例) [J]. 地理学报, 1987, 42 (4): 328-336]
- [33] Deng Cheng-long, Yuan Bao-yin Processes of Gully Erosion and Accumulation in the Central Loess Plateau of China Since the Last Interglacial [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56 (1): 92-98 [邓成龙, 袁宝印. 末次间冰期以来黄河中游黄土高原沟谷侵蚀堆积过程初探 [J]. 地理学报, 2001, 56 (1): 92-98]
- [34] Du Juan, Zhao Jing-bo Erosion amount of Bahe River Valley in Xi'an region [J]. *Journal of Desert Research*, 2003, 23 (4): 398-402 [杜鹃, 赵景波. 西安地区灞河河谷土壤侵蚀量研究 [J]. 中国沙漠, 2003, 23 (4): 398-402]
- [35] Shi Nian-hai The flux changing of primary rivers in Loess Plateau [J]. *Collections of Essays on Chinese Historical Geography*, 1992, (2): 1-36 [史念海. 黄土高原主要河流流量的变迁 [J]. 中国历史地理论丛, 1992, (2): 1-36]
- [36] Xin Zhong-bao, Xu Jiong-xin, Ma Yuan-xu Spatio-temporal variation of erosive precipitation in Loess Plateau during past 50 years [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29 (1): 100-106 [信忠保, 许炯心, 马元旭. 近 50 年黄土高原侵蚀性降水的时空变化特征 [J]. 地理科学, 2009, 29 (1): 100-106]
- [37] Li Bing-cheng, Wen Jin-mei Re-discussion on the palaeoclimate environment of susceptibility of loess section since 10 ka BP in Xi'an Yubaotou [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2009, 23 (6): 60-65 [李秉成, 温金梅. 一万年以来西安鱼包头黄土剖面磁化率的古气候环境再讨论 [J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23 (6): 60-65]
- [38] Zhou Bin, Shen Cheng-de, Zheng Hong-bo, et al Carbon isotope record of the changing of vegetation in the centre of Loess Plateau since the Last Quaternary [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54 (9): 1262-1268 [周斌, 沈承德, 郑洪波, 等. 黄土高原中部晚第四纪以来植被演化的元素碳同位素记录 [J]. 科学通报, 2009, 54 (9): 1262-1268]
- [39] Jia Yao-feng, Huang Chun-chang, Pang Jiang-li, et al Chronology of the Holocene loess-paleosol section and its deposition and pedogenesis on the south of Chinese Loess Plateau [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2008, 18 (4): 425-440
- [40] Li Bing-cheng, Wang Yan-juan Discussion on the vegetation and climate in Guanzhong Fuping area in recent 10 ka BP [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2009, 22 (5): 113-117 [李秉成, 王艳娟. 关中富平地区近一万年植被和气候的讨论 [J]. 干旱区资源与环境, 2009, 22 (5): 113-117]
- [41] Sang Guang-shu Progress on the research of historical landform and soil erosion evolution in Loess Plateau [J]. *Journal of Zhejiang Normal University: Natural Sciences*, 2004, 27 (4): 398-402 [桑广书. 黄土高原历史地貌与土壤侵蚀演变研究进展 [J]. 浙江师范大学学报: 自然科学版, 2004, 27 (4): 398-402]

福建师范大学地理科学学院 2009 年获 8 项国家自然科学基金项目

2009 年福建师范大学地理科学学院在承担高层次科研项目上取得突破, 获得国家自然科学基金委员会地球科学部、生命科学部和工程与材料科学部资助项目 8 项, 其中面上项目 4 项, 青年科学基金项目 4 项, 总计金额 222 万元。