

黄河中游地区流域产沙中的地貌临界现象

卢金发¹, 黄秀华²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100010; 2. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘 要:地貌现象的演化常常存在着由量变到质变的临界条件。地貌临界是地貌学研究的重要理论问题之一。本文利用黄河中游地区近 60 个水文测站资料,探讨了流域产沙量随降雨、植被和流域面积变化过程中的地貌临界现象。结果表明,流域产沙量与年降雨量之间关系遵循 Langbein-Schumm 曲线,最大产沙量大致出现在年降雨量 400 mm 左右的半干旱草原区,即无定河以北的皇甫川、孤山川、佳芦河流域。同时,由沙黄土、砒砂岩流域向基岩山地流域过渡,流域产沙量峰值趋于减小,而峰值出现所需要的降雨量渐趋增大,显示出不同自然地理地带和地域最大产沙区位置和产沙强度的不同。流域产沙量与植被之间呈现为相当好的非线性负相关关系。流域产沙量随植被变化存在着二个临界值,一是当流域植被覆盖度等于 30% 时,另一是当植被覆盖度等于 70% 时。这一现象以往只是在试验小区或试验流域见到,本研究表明,类似的现象在天然河流流域也存在。受流域上下游不同生物气候及下垫面特性的控制,流域产沙量随流域面积的增大呈现出复杂多样的变化,可以是增加,也可以是减少。然而,对于大多数复合流域来说,随着流域面积的增大,流域产沙量一开始趋于增加,当流域面积接近 1 000 km² 左右时,流域产沙量达到最大,而当流域超过 1 000 km² 以后,流域产沙量反而趋于减少,呈现出明显的地貌临界现象。

关键词:黄河中游; 泥沙产生; 地貌临界

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

地貌现象的演化常常存在着由量变到质变的临界条件。所谓地貌临界条件,是指当这一临界条件被超过时,地貌现象将出现急剧的质的变化。地貌临界现象存在于地貌学的各个方面。早在 1957 年, Leopold L. B. 和 Wolman M. G. 就建立了冲积河流河型转化的临界条件^[1]。以后, Langbein W. B. 和 Schumm S. A. 又确定了流域产沙量随降雨量变化的临界条件,即著名的 Langbein-Schumm 曲线^[2]。地貌临界概念的正式提出是在 1973 年^[3]。1975 年 Patton P. C. 和 Schumm S. A. 提出了相同流域面积条件下沟壑发育的临界河谷坡度概念^[4]。

地貌临界为地貌过程与形态的突变现象提供了

科学的解释,同时为地貌过程与形态的调整提供了理论依据。因而,地貌临界的研究近几十年来一直是地貌学研究的重要理论问题之一。

黄河中游地区的流域产沙,一直是国内外广泛关注的重要科学问题之一。近几十年来,围绕着流域泥沙的来源、数量及其空间分布等等,开展了大量研究工作,并取得了一系列研究成果^[5-10]。然而,有关流域产沙过程中地貌临界现象的研究至今报道很少。本文在对黄河中游地区近 60 个水文测站实测资料分析的基础上,通过流域产沙量与流域环境之间定量关系的建立,试图在这一方面作一探讨。

收稿日期(Received date):2003-04-18; 改回日期(Accepted):2003-10-23。

基金项目(Foundation item):国家自然科学基金资助项目(编号 40171013),国家自然科学基金委员会和水利部联合资助重大项目(编号 59890200),中国科学院地理科学与资源研究所创新项目(编号 CXIOG-A02-01)[This manuscript is based on the results from three projects, in which two are both funded by National Natural Science Foundation of China and one by Innovation Fund of Institute for Geographical Sciences and Natural Resources, CAS(Grant No. 40171013, No. 59890200 and No. CXIOG-A02-01)]

作者简介(Biography):卢金发(1944-),男,研究员,长期从事流域侵蚀产沙及其所引起土地退化和荒漠化研究与制图,曾主编黄土高原 1:50 万侵蚀图,参与主编黄土高原资源与环境遥感系列图,发表论文 40 余篇,合作专著 4 本。[Prof. Lu Jinfa, male, born in Shanghai, 1944. Major research field: soil erosion and sediment yield of river basin and induced desertification and land degradation. The chief editor of the *Map of Soil Erosion in the Loess Plateau* (1:500 000) and Co-chief-editor of *Map Series of Natural Resources and Environment in the Loess Plateau*. Totally more than 40 papers and 4 copies of books have been published. E-mail: lujf@igsrr.ac.cn & lujf@mx.cei.gov.cn]

1 资料的获取与研究方法

本研究的降雨和泥沙资料主要是来自黄河流域水文年鉴。资料系列自建站时起,至少有连续 10 年以上记录。其中,流域多年平均产沙量采用各流域或流域区间多年平均输沙模数值表示。降雨特征资料采用流域平均值。对于拥有 2 个或 2 个以上雨量站的流域,其流域平均降雨特征值则采用流域内全部雨量站的数学平均值表示。

为了获取流域环境特性数据,首先将流域划分为不同基本土地单元,运用遥感方法和地图量计方法,结合野外实地调查,采集各图斑岩性、植被、地貌形态等环境特性数据;进而,按各基本土地单元的图斑面积,加权平均得到全流域的环境特性数据^[11]。

其中,图斑的植被覆盖度等级主要是采用假彩色合成 TM 卫星影像,依据红色调与裸露基岩色调的比例关系及沟谷纹理的清晰程度,通过目视解译确定的,并根据植被对侵蚀影响的已有研究成果及遥感目视解译的可能性,划分为五个等级:1. 高覆被的,覆盖度 $>70\%$;2. 较高覆被的,覆盖度为 $50\% \sim 70\%$;3. 中覆被的,覆盖度在 $30\% \sim 50\%$ 间;4. 低覆被的, $10\% \sim 30\%$;5. 裸露的,覆盖度 $<10\%$ 。

为了科学合理地建立流域产沙量与环境特性之间的定量关系,利用上述数据库和卫星影像,依据流域的地理位置及黄土物质在流域中所占面积比例,结合流域的植被和地貌发育特点,将近 60 个研究流域划分为 7 种不同自然地理类型流域:半干旱低覆被沙黄土、砒砂岩丘陵沟壑流域,半干旱较低覆被沙黄土、黄土丘陵沟壑流域,半干旱、半湿润黄土丘陵沟壑+基岩山地流域,薄层黄土流域,黄土源流域,半湿润基岩山地+黄土丘陵沟壑流域及半湿润基岩山地流域。鉴于皇甫川、孤山川、佳芦河、无定河等流域位于半干旱与干旱区,荒漠草原向半干旱草原过渡地带,气候干旱,多暴雨和大风,植被稀疏,地面物质以沙黄土和砒砂岩为主,风、水两相侵蚀都十分强烈,是黄河中游地区高产沙集中区,因而单独分出一类。

2 流域产沙量与年降雨量关系

早在 1958 年,Langbein W. B 和 Schumm S. A. 利用美国中西部流域资料指出了流域产沙量随流域

降雨变化的临界现象,即著名的 Langbein-Schumm 曲线^[2],认为由于有较多的径流搬运泥沙,随着降雨的增加流域产沙量将迅速增加;然而,随着降雨的增加,植被也变得更为稠密,因而当有效降雨量增大到 300 mm 以后,由于植被的影响产沙量反而减少。以后,Douglas (1967 年)^[12]和 Wilson(1969)^[13]根据更广泛的资料指出,产沙量与径流或降雨量的关系应该是双峰曲线,当径流达到 40~50 mm 或降雨量达到 750 mm 时,产沙量达到峰值,而径流达到 $>1\,000$ mm 或降雨量达到 1 750 mm 时,产沙量达到另一峰值,并利用 Fournier 的降雨季节性变差系数 $P2/P$ 解释了双峰形成的机理。认为前一峰值代表比较干旱的气候,而后一峰值代表具有明显季节性干旱的季风气候,由于二者都具有较大的 $P2/P$ 值,因而导致较大的流域产沙量。

近年来,一些国家和地区的资料表明,流域产沙量与降雨之间呈现为正相关关系,在降雨量较大的情况下流域产沙量并无减少的迹象。Walling 曾将全球流域产沙量与降雨资料点绘在一起,两者之间并无明显的关系。因而,认为在研究产沙量与降雨关系时必须考虑岩性,植被,土地利用等因素对产沙-降雨关系的控制作用^[14]。

图 1 是黄河中游地区流域产沙量与年降雨量的关系。鉴于黄河中游地区南北横跨干旱荒漠草原、半干旱草原和半湿润森林草原区,与美国中西部地区十分相似,其产沙量与降雨关系基本上遵循 Langbein-Schumm 定律,流域产沙量随降雨的增加而增加,当降雨量达到近 400 mm 时,产沙量达到最大;而当降雨量超过 400 mm 以后,产沙量逐渐减少。最大产沙量主要出现在皇甫川、孤山川、佳芦河一带,即鄂尔多斯荒漠草原向黄土高原半干旱草原的过渡地带。

与 Langbein-Schumm 研究不同的是,在黄河中游地区,不同自然地理类型流域产沙量与降雨之间关系有所不同,最大产沙量峰值及其所出现的降雨量不同。由图 1 可见,随着流域类型由沙黄土、砒砂岩流域,经黄土流域,向黄土+基岩流域和基岩+黄土流域,基岩山地流域过渡,流域产沙量峰值趋于减小,出现峰值的降雨量趋于增大。由于缺乏降雨量 <500 mm 地区的流域资料,基岩山地流域和基岩山地+黄土流域的曲线不完整,但是由曲线的变化趋势可以推测,其产沙量峰值肯定小于其他类型流域。

图 1 的科学意义在于,它清楚地指出黄河中游地区强烈产沙区域,既不是干旱地区,也不是在降雨充沛的湿润和半湿润地区,而是半干旱草原区,不仅给出了黄河中游地区流域产沙最强烈地区,即无定河以北的皇甫川、孤山川、佳芦河流域;同时,还指出了不同自然地理地带和地域的强烈产沙区,如晋西地区的湫水河、清凉寺沟等流域,从而为流域水土流失治理提供可靠的科学依据。

正如 Schumm 和 Langbein 所指出的,流域产沙量随降雨变化临界现象的出现,是降雨和植被共同作用的结果。张信宝对黄土高原地区的研究认为,植被覆盖与黄土厚度之间呈反相关关系,黄土厚度越大,植被覆盖越差;反之,黄土厚度越小,植被覆盖越好,并探讨了其形成机理^[15]。因此,在黄河中游地区,不同类型流域由于地面物质组成不同,不仅其抵御侵蚀的能力不同,同时其植被覆盖的临界状况也不同,因而其产沙量峰值及其所需要的降雨量不同。从沙黄土、砒砂岩流域,经黄土流域,黄土+基岩流域和基岩+黄土流域,向基岩山地流域过渡,其地表抗侵蚀能力增强,植被覆盖增加,因而流域产沙量随降雨变化的峰值必然减小,而形成峰值所需的降雨量增加。此外,如前所述,流域地貌发育程度对流域产沙强度起着重要的影响作用。所以,图 1 所示流域产沙量随降雨的变化规律,是由降雨、地面物质、植被和地貌共同作用的结果。

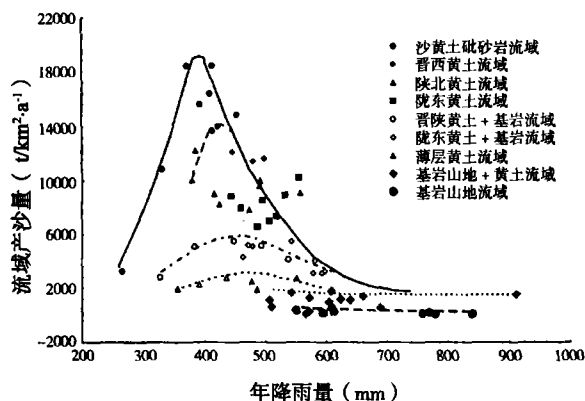


图 1 黄河中游地区流域产沙量与年降雨量的关系

Fig. 1 Relation between sediment yield and annual average rainfall in the Middle Yellow River Basin

3 流域产沙量与植被

植被作为地面的重要覆盖物,通过拦截雨滴,涵

养水源和根系固土等作用,对流域泥沙产生起着十分重要的影响。尽管国内外学者曾从不同角度研究了植被因子对流域侵蚀和产沙的影响,然而,遗憾的是,迄今为止,除了试验小区的研究之外,有关自然状态下流域产沙量与植被覆盖之间定量关系的研究不多。

图 2 是黄河中游地区流域产沙量与植被覆盖之间关系。由图 2 可见,虽然图中的点子来自黄河中游地区不同自然地理类型流域,但是流域产沙量与流域植被覆盖度之间仍然遵循着相当好的负指数关系。其间,随植被覆盖的变化,流域产沙量的变化存在着明显的临界现象,即当流域植被覆盖度 $> 70\%$ 时,植被覆盖度对流域产沙量的影响不大,而一旦流域植被覆盖度 $< 70\%$,随着植被覆盖度的减少,流域产沙量明显增加;当流域植被覆盖度 $< 30\%$ 时,随着植被覆盖度的减少,流域产沙量的增加迅速加剧。

与图 1 相类似,不同自然地理类型流域在图 2 中所占据的位置也是不相同的,其分布特征与图 1 十分一致,从上而下,从左而右,依次为半干旱沙黄土、砒砂岩流域,半干旱较低覆被沙黄土、黄土丘陵沟壑流域,半干旱、半湿润黄土丘陵沟壑+基岩山地流域及基岩山地+黄土丘陵沟壑流域。半湿润基岩山地流域位于曲线的最右端。同样地,即使是相同类型流域,由于受流域地面物质、地貌形态及地貌发育程度等影响,不同流域在图中上下分布的位置也各不相同。例如,同样的黄土丘陵沟壑流域,晋西、陕北流域多位于曲线的上方,而陇东流域则偏在曲线的下方,因为前者地面物质以沙黄土和黄土为主,现代沟壑侵蚀强烈,而后者地面物质以黄土和粘黄土为主,流域上游分布有大范围黄土塬地和原生黄土斜梁地形,现代沟壑侵蚀较弱。类似地,陇东黄土丘陵+基岩山地流域及葫芦河上游现代沟壑较弱的薄层黄土丘陵流域,在图 2 中的位置都偏下,而晋西、陕北流域的位置都偏上。

众所周知,由于受岩性、地貌和气候地带性和地域性分异的控制,位于不同自然地带和地域流域的植被覆盖特征各不相同。黄土流域的植被覆盖较差,而基岩山地流域的植被覆盖较好,从基岩山地流域向黄土流域过渡,随着流域内黄土分布范围的增加,流域植被覆盖趋于减少。因此,本文的研究结果以实际资料揭示了流域岩性-地貌-植被-侵蚀产沙之间的这一相互影响和制约关系。

以往,有关流域产沙量与植被覆盖之间关系的

研究多是在试验小区或试验流域内进行的。试验小区或试验流域研究,通常首先假设流域的岩性、地形等条件不变,再观察流域产沙量随植被覆盖的变化。然而,事实上,这种理想的情况在自然界是不存在的。图2是建立在大量实测资料基础上的,应该说是自然界真实情况的反映。因此,由图2可以证明,流域产沙量与植被覆盖之间的非线性关系在天然河流域也是存在的,从而为流域产沙量与植被覆盖之间关系的研究提供了可靠的科学依据。

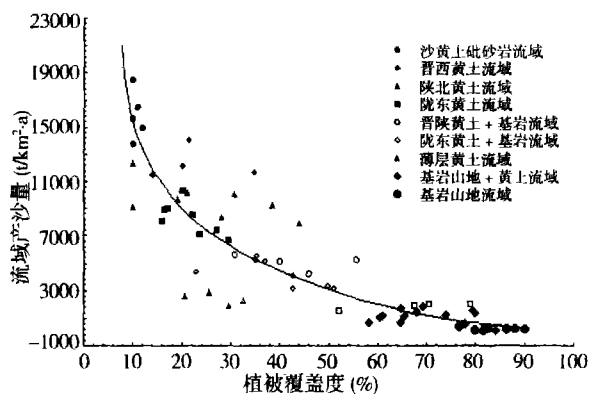


图2 黄河中游不同类型流域产沙量与植被覆盖度的关系

Fig. 2 Relation between sediment yield and vegetation cover for different types of river basins in the Middle Yellow River

4 流域产沙量随流域面积的变化

传统的观点认为,由于大流域的坡度比较和缓,易侵蚀地层的分布范围相对流域面积而言较小,上游侵蚀下来的泥沙在流域内沉积的机会较大,因而随着流域面积的增大,流域产沙量趋于减少^[16]。然而,近年来,这一传统观点受到了挑战。Church对加拿大东部河流的研究揭示,随着流域面积的增大,流域产沙量一开始可以是增加的,当流域面积增大到一定程度以后,流域产沙量才呈现为减少的趋势^[17]。Dedkov(1992)对俄罗斯河流的研究则表明,流域产沙量与流域尺度之间可以呈反比关系,也可以呈正比关系,主要取决于流域侵蚀是以河道侵蚀为主,还是以坡面侵蚀为主^[18]。由此可见,流域泥沙和能量通量随流域尺度的变化规律并非是单一的,而是复杂多样的。因此,Walling指出,原先由特定环境研究所得的结果是否反映全球的普遍规律,值得怀疑。为了探讨这一问题,需要对世界各地不同环境的流域产沙量资料进行更深入的分析^[19]。为此,国际水文科学协会大陆侵蚀委员会于1995年

专门召开了尺度对流域泥沙和水质影响的学术讨论会^[20]。

图3是黄河中游地区部分流域产沙量随流域面积的变化。由图3可见,受流域上下游不同生物气候及下垫面特性的控制,流域产沙量随流域面积的增大呈现出复杂多样的变化,可以是增加,也可以是减少。在流域降雨、地貌、岩性和植被比较均一的情况下,流域产沙量随流域面积的变化仍遵循传统的规律,即随流域面积的增大流域产沙量将趋于减少。然而,当流域由多雨区向少雨区过渡,由风沙区、土石或基岩山地为主向以黄土丘陵沟壑为主转化,流域植被由覆盖茂密向稀疏状况转化,流域产沙量随流域面积的增大将趋于增加,如王道恒塔至神木的窟野河流域,韩家峁经赵家窑至丁家沟的无定河流域以及安口经袁家庵至泾川、三关口和崆峒峡经平凉至泾川的泾河上游流域等等;反之,流域产沙量随流域面积的增大将趋于减少,如吴旗和志丹经刘家河至交口河的北洛河流域。

不同地貌发育阶段对流域产沙量与流域面积的关系也起着重要的影响。即使在岩性和植被基本均一的黄土地区,处于不同发育阶段的黄土地貌类型,由于其侵蚀切割程度的差异,对流域产沙量与流域面积的关系起着重要的影响。例如青阳岔以上的大理河和小理河流域,由于流域内分布着相当范围的黄土塬地和覆沙黄土平梁地形,现代沟谷侵蚀切割较弱,加之黄土覆盖不厚,沟谷大多已经切入下伏紫红色砂岩,流域产沙量较小,而青阳岔以下的大理河流域主要由黄土梁峁丘陵沟壑及黄土峁状丘陵沟壑组成,现代沟谷侵蚀切割强烈,流域产沙量较大,因而自上游到下游,从青阳岔、李家河至绥德,随着流域面积的增大流域产沙量反而增加。类似的现象在将台至秦安的葫芦河流域,安塞至延安的延河流域也可见到。

概括起来,可以将流域产沙量随流域面积的变化归结为以下几种模式:1)流域产沙量随流域面积的增大而减少:流域降雨、地貌、岩性和植被比较均一的流域,以及由低覆被黄土丘陵沟壑→中、高覆被土石山地或基岩山地流域。2)流域产沙量随流域面积的增大而增加:低覆被干旱风沙地貌→低覆被黄土丘陵沟壑流域,中、高覆被土石山地或基岩山地→低覆被黄土高原或丘陵沟壑流域,低覆被黄土丘陵宽谷(地)→低覆被黄土丘陵沟壑流域。

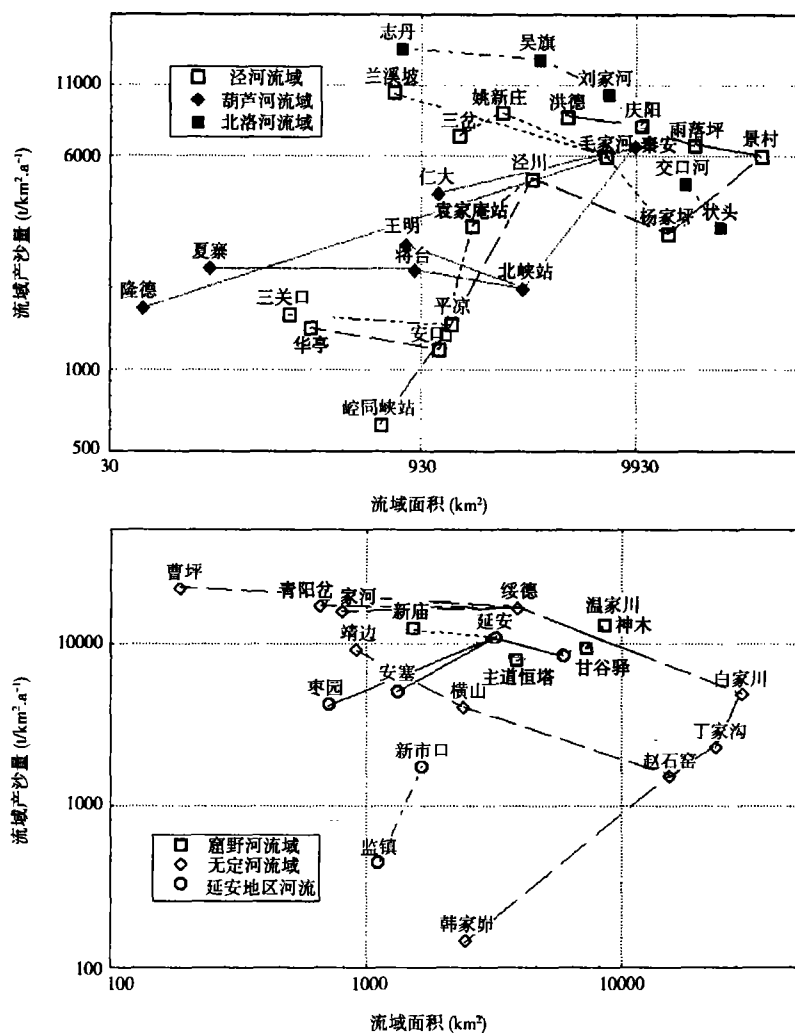


图3 黄河中游地区部分流域产沙量随流域面积的变化

Fig. 2 Variation of sediment yield with basin area for parts in the Middle Yellow River

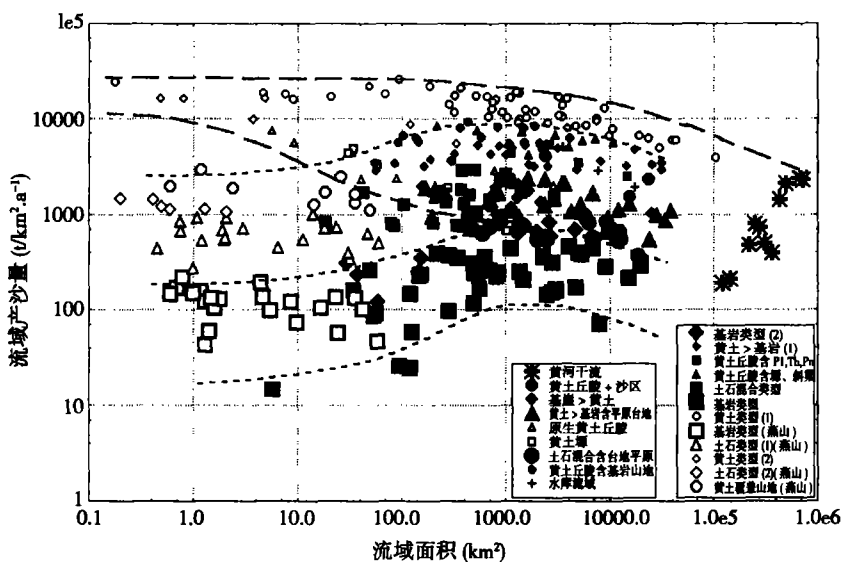


图4 黄河中游不同类型流域产沙量与流域面积的关系

Fig. 4 Relation between sediment yield and drainage area for different types of river basins in the Middle Yellow River

如果将黄河中游及其周边地区数百个不同类型流域产沙量与流域面积点绘在一起,可以得到图 4。由图 4 可以清楚地看到,黄河中游地区流域产沙量随流域面积变化的总趋势,既不是传统所认为的反比关系,也不是 Church 和 Slaymaker(1989)指出的正比关系,而是与图 3 相类似,受流域不同部分不同生物气候与地貌特性组合的制约,随着流域面积的增大,流域产沙量可以是增加,也可能减少,呈现为复合的变化关系。对于流域生物气候与地貌特性基本均一的流域,例如黄土流域,随着流域面积的增大,流域产沙量变化的总趋势仍是逐渐减少;然而,对于大多数复合流域来说,随着流域面积的增大,流域产沙量一开始趋于增加;当流域面积接近 1 000 km² 左右时,流域产沙量达到最大,而当流域超过 1 000 km² 以后,流域产沙量反而趋于减少,呈现出明显的地貌临界现象。

参考文献(References):

- [1] Leopold L. B. and Wolman M. G. River channel patter: braided, meandering and straight[J]. *U. S. Geol. Survey, Prof.* 1957, Paper No. 282 - B; 39~85.
- [2] Langbein, W. B. & Schumm, S. A. , Yield of sediment in relation to mean annual precipitation[J]. *Transaction, American Geophysical Union*, 1958, **39**: 1078~1084.
- [3] Schumm, S. A. Geomorphic thresholds and complex responses of drainage system[A]. In: *Fluvial Geomorphology*. Ed. By Morisawa M. *Proc. For 4th Annual Geomorphology Symposia* [C]. 1973, 299~310.
- [4] Patton P. C. and Schumm, S. A. , Gully erosion, North Colorado: a threshold phenomenon[J]. *Geology*, 1975, vol. 3: 88~90.
- [5] Gong Shiyang, Xiong Guishu. The origin and transport of sediment of the Yellow River[A]. In: *Proceedings of 1st International Conference on River Sediment* [C]. Beijing: Guanghai Press, 1981, A3-1-10. [龚时暘,熊贵枢. 黄河泥沙的来源和输移[A]. 见: 第一次河流泥沙国际学术讨论会论文集[C]. 北京: 光华出版社, 1980.]
- [6] Qian ning, Wang Keqin and Yan Linde *et al.* The source of coarse sediment in the Middle Reaches of the Yellow River and its effect on the siltation of the Lower Yellow River[A]. In: *Proceedings of 1st International Conference on River Sediment* [C]. Beijing: Guanghai Press, 1981, A3-1-10. [钱宁,等. 黄河中游粗泥沙来源区对黄河下游冲淤的影响[A]. 见: 第一次河流泥沙国际学术讨论会论文集[C]. 北京: 光华出版社, 1980.]
- [7] Chen Yongzong, Jing Ke and Cai Qiangguo. Recent Erosion and Its Management in the Loess Plateau[M]. Beijing: Science Press, 1988, 157~169. [陈永宗,景可,蔡强国. 黄土高原现代侵蚀与治理[M]. 北京: 科学出版社, 1988, 157~169.]
- [8] Tang Keli. Soil erosion and variation of runoff and sediment discharge in the Yellow River[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1993. [唐克丽. 黄河流域的侵蚀与径流泥沙变化[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.]
- [9] Zhao Wenlin . Sediment of the Yellow River[M]. Zhengzhou: Huanghe Water Conservancy Press, 1996. [赵文林. 黄河泥沙[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996.]
- [10] Chen Qiwei. Management of the Yellow River and development and utilization of water resource[M]. Zhengzhou: Huanghe Water Conservancy Press, 1998. [陈霁巍. 黄河治理与水资源开发利用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.]
- [11] Lu Jinfa. Survey and mapping of soil erosion types and intensity in the Loess Plateau Region[A]. In: Wang Nailin, Lu Jinfa et al (ed): *Survey and Series Mapping of Natural Resources and Environment in the Loess Plateau Region by Using Remote Sensing* [C]. Beijing: Seismological Press, 1992, 68~109. [卢金发. 黄土高原地区侵蚀强度与侵蚀类型遥感调查与制图[A]. 见: 黄土高原地区资源与环境遥感调查和系列制图研究[C]. 北京: 地震出版社, 1992.]
- [12] Douglas, I. Man, vegetation and sediment yield of river[J]. *Nature*, 1967, **215**: 925~928.
- [13] Wilson, L. Les relations entre les processus geomorphologiques et la climat modern comme method de paleoclimatologie[J]. *Revue de Geographie Physique et de Dynamique*, ser. 1969, 2, 11: 304~314.
- [14] Hadley, R. F. *et al.* Recent development in erosion and sediment yield studies. Unesco Paris. 1985.
- [15] Zhang Xinbao and An Zhisheng. Relationship between forest and thickness of loess in the Loess Plateau Region[J]. *Bulletin for Water and Soil Conservation*. 1994, **14**(6), 1~4. [张信宝, 安芷生. 黄土高原地区森林与黄土厚度的关系[J]. 水土保持通报, 1994, **14**(6), 1~4.]
- [16] S. A. Schumm. The fluvial system. *John Wiley & Sons, Inc.* 1977.
- [17] M. Church & O. Slaymaker. Disequilibrium of Holocene sediment yield in glacial British Columbia. *Nature*. 1989, **337**: 452~454.
- [18] A. P. Dedkov & V. I. Moszherin. Erosion and sediment yield in mountain region of the world[A]. In: *Erosion, Debris Flow and Environment in Mountain Regions* [C]. (ed. by D. E. Walling, T. R. Davies & B. Hasholt) (Proc. Chengdu Symp., July 1992), 29~36, IAHS Publ. No. 209.
- [19] D. E. Walling & B. W. Webb. Erosion and sediment yield: a global overview[A]. In: *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives* [C]. (ed. by D. E. Walling & B. W. Webb) (Proc. Exeter Symp., July 1996), 3~19, IAHS Publ. No. 236.
- [20] W. R. Osterkamp. Effects of scale on interpretation and management of sediment and water quality. *IAHS Publication*, No. 1995, 226.

Thresholds in Variation of Sediment Yield in the Middle Yellow River Basin

LU Jinfa¹, HUANG Xiuhua²

(1 *Institute of Geographical Sciences & Natural Resources, CAS, 100101 Beijing*

2 *Institute for Remote Sensing Application, CAS, 100101 Beijing*)

Abstract: Thresholds are commonly observed when a dramatic change takes place in geomorphic development. Since 1970's geomorphic thresholds have become one of important academic themes in geomorphology and attracted wide attention from various aspects. Nearly 60 river basins with areas ranging from 500 to 2 500 km² were chosen for an investigation on geomorphic thresholds in variation of sediment yield with basin characteristics in the Middle Yellow River. It was shown that variation of sediment yield with annual average rainfall follows Langbein-Schumm law in the Middle Yellow River. The peak sediment yield occurs in semi-arid steppe zone where annual average rainfall reaches about 400 mm, but a decrease of peak sediment yield and an increase of rainfall threshold were observed due to joint effect of rainfall, surface material, vegetation coverage and basin morphology when it transits from the basins of sandy loess and heavily weathered siltstone and mudstone to those of hard rock. A non-linear negative relationship exists between sediment yield and vegetation coverage. Two thresholds can be observed as sediment yield changes with vegetation coverage. Sediment yield increases markedly once vegetation coverage decreases across 70%, and a dramatic increase of sediment yield can be seen when vegetation coverage of 30% is crossed. It is interesting that this phenomenon could be seen before only in experimental plots and watershed, but this paper suggests that similar relations exist in natural river basins. Both downstream decrease and increase of specific sediment yield were observed in main tributary basins of the Middle Yellow River. More detailed analysis indicates that bio-climatic and morphologic features are the primary factors that exert most important control on the relationship between specific sediment yield and basin area. Landform type in different stages of evolution is another important factor affecting the relationship. When assembling together sediment yield data from various environments more complicated variation of sediment yield will occur. Specific sediment yield tends to decrease as basin area increases in the basins with homogenous bio-climatic and morphologic characteristics. However, specific sediment yield will increase in the compound basins as basin area increases and reach the peak when basin area approaches 1 000 km². Then sediment yield tends to decrease after this threshold is over.

Key words: geomorphic thresholds, sediment yield, the Middle Yellow River