

海河流域产沙模数尺度效应的空间分异

闫云霞¹,王随继¹,颜 明¹,贺 莉¹,程东升²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院水循环与地表过程重点实验室,北京 100101;

2. 中国水利水电科学研究院,北京 100038)

摘 要:基于流域完整性、地形的相似性,将整个海河流域分为9个分区,分析了各分区产沙模数的尺度效应。结果表明,在双对数坐标系上,产沙模数与流域面积的关系呈现出3种类型:①线性负相关,即产沙模数随流域面积的增大而减小;②无显著相关,即产沙模数随流域面积的增大基本保持不变;③线性正相关,即产沙模数随流域面积的增大而增大。从地形、分区的位置以及土地利用状况方面对所有分区产沙模数的尺度效应进行分析,并对1000 km²标准面积下产沙模数进行校正。基于校正后的数据,利用ArcGIS的Kriging空间插值法,绘制了校正后的产沙模数图。校正结果显示,流域侵蚀模数的空间分布总体表现为自西向东逐渐减小的趋势,这与流域地形的总体变化趋势是一致的。流域西部以山地为主,因而侵蚀强度大,产沙模数高;东部以平原为主,是泥沙的淤积区域,因而产沙模数低。最后,对图中产沙模数的高值区域,从气候、植被和侵蚀作用力3个方面进行了成因分析。

关 键 词:产沙模数;尺度效应;空间变化;海河流域

doi: 10.11820/dlkxjz.2014.01.007

中图分类号:S157

文献标识码:A

1 引言

海河流域是全国水土流失最严重地区之一,20世纪90年代末,海河流域水土流失面积为10.6万km²,占全流域面积的1/3^①。各河流多年平均输沙量总计约1.8亿t,其中永定河年输沙量达8070万t,年输沙模数为1786 t/km²,仅次于黄河(中华人民共和国水利部,2007)。大量流失的土壤泥沙严重淤积了下游河床和水库。相对于20世纪80年代初期,到2005年,海河各水系中下游河床普遍淤高近1 m,行洪能力显著降低。太行山区59座大中型水库到1993年已淤积近12亿m³,占兴利库容的36%,影响了水库正常运行。同时,水土流失携带的大量有机物、重金属、化肥、农药等残留物质进入江河湖库,污染水质,是引起水体面源污染的重要原因^②,加重了海河流域本已严峻的缺水危机。因此,海河流域水土流失的治理,既关系着该流域生态系统恢复,同时也影响到流域内人民的生产生活。

产沙模数图的编制是进行水土流失治理的一

个重要依据。传统的产沙模数图忽略了由于面积不等对产沙模数的影响,但已有的研究表明,产沙模数(Y_s)与流域面积(A)之间存在着函数关系(Church et al, 1989, 1999; Walling, 1983; Xu et al, 2005; Yan et al, 2007; 綦俊谕等, 2011)。传统上认为, Y_s 、 A 为负相关关系,Chorley等(1984)对此从地形、降雨、坡面和沟道的连通性方面进行了解释。

Dedkov等(1992, 2004)则认为,这种负相关关系主要出现在受人类活动影响大的流域,由于人类开垦的影响,侵蚀主要发生在坡面,随着流域面积的增大、坡度的减缓,泥沙转而以沉积为主。Dedkov等同时指出, Y_s - A 间的正相关关系主要出现在人类活动微弱的区域,由于其植被覆盖良好,坡面侵蚀弱,侵蚀主要发生在河道。Church等(1989)对加拿大河流的分区研究,也部分验证了上述分析的合理性。Birkinshaw等(2006)指出,如果侵蚀全部发生在坡面,则 Y_s - A 呈负相关或无相关关系。Xu等(2005, 2007)、Church等(1999)对黄河流域及加拿大河流的研究表明, Y_s - A 之间存在着更为复杂的非

收稿日期:2013-10; 修订日期:2013-12。

基金项目:国家自然科学基金项目(40701018, 51279213)。

作者简介:闫云霞(1975-),女,山西浮山人,博士,助理研究员,主要从事河流地貌研究,E-mail: yanyx@igsnrr.ac.cn。

① 全国第二次水土流失遥感调查成果。

② 《科学考察简报第七期》“北方土石山区考察组完成海河流域面上考察”,http://www.mwr.gov.cn/ztpd/tszt/sbkktz/jb/200509/t20050921_15019.html。

线性相关,并从地表物质覆盖、河流的发展历史等方面给出了解释。

从前人的研究来看, Y_s-A 的关系没有一个普遍适用的规律,随着研究尺度、研究流域或区域的形成历史、下垫面地质构造、土壤性质、土地利用/土地覆被的不同,会得出不同的结论。因此,有必要针对不同流域研究 Y_s-A 的关系,并基于不同的 Y_s-A 关系,对产沙模数进行校正,进而插值绘制校正后消除尺度影响的产沙模数图。

2 研究区域及数据来源

2.1 研究区概况

海河流域面积31.82万 km^2 ,是华北地区流入渤海诸河的总称。其中最大的为海河水系(26.36万 km^2)及滦河水系(5.45万 km^2)。流域内山区面积约占总面积的54%,平原占46%。流域被太行山和燕山山脉呈弧形环绕,环抱洪积平原,山区和平原间缺少丘陵过渡(王中根等, 2011)。本研究区域包括滦河、蓟运河、潮白河、北运河、永定河、大清河、子牙河和漳卫河。据第六次全国森林资源清查(1999-2003年)结果,海河流域在全国七大流域中森林覆盖率最低,仅为11.4%。流域内水土流失广泛分布,山区约70%遭受水土流失,其中流域西部的黄土丘陵是泥沙的主要来源。

海河流域属大陆季风型气候区,年均降水量为548 mm,其中汛期降水量占全年的75%~85%。降水量年际变化大。多年平均径流量264亿 m^3 ,径流深83 mm,多年平均输沙量1.82亿 t/yr (中华人民共和国水利部, 2007)。

2005年海河流域人口1.32亿,占全国的10%;国内生产总值占全国的14%;粮食总产量占全国的12%。流域平均人口密度为371人/ km^2 ,为全国平均密度的3.47倍。

由于海河流域为扇形流域,从北部的滦河到南部的漳卫河下垫面差异显著,因而首先基于子流域的完整性,将整个研究区分为滦河、潮白河、永定河、大清河、子牙河、滏阳河和漳卫河7个分区。这些河流的共性是由上游的黄土区或者土石山区逐渐过渡到下游的冲积平原区。其中:①潮白河上游的潮河、白河下垫面差异显著,其中白河上游以

草场为主,而潮河上游则处于风沙—黄土过渡区,产沙模数差异显著,为此将潮白河进一步划分为白河、潮河和潮白河中下游3个分区。②大清河子流域中,由于白洋淀对河流比降的影响,使得漕河、瀑河与其他区域的产沙模数差异显著,因而将大清河进一步划分为漕河瀑河和大清河主体两个分区。③子牙河的支流滹沱河与漳卫河下垫面组成相似,因而将其合并为一个分区——滹沱河、漳河分区。这样,整个海河流域可划分为9个分区,各分区的名称及位置如图1。

2.2 数据来源

文中使用的水沙数据来自《中华人民共和国水文年鉴》中的“海河流域水文资料”^③。本文利用了1919-1970年间水文站的实测数据,主要研究自然条件下侵蚀产沙的尺度效应问题。

文中剔除了少量无代表性的站点,剔除原则是:①时间序列不足4年的站点;②受水利工程(如水库)影响较大的站点;③位于风沙区,由于数量过

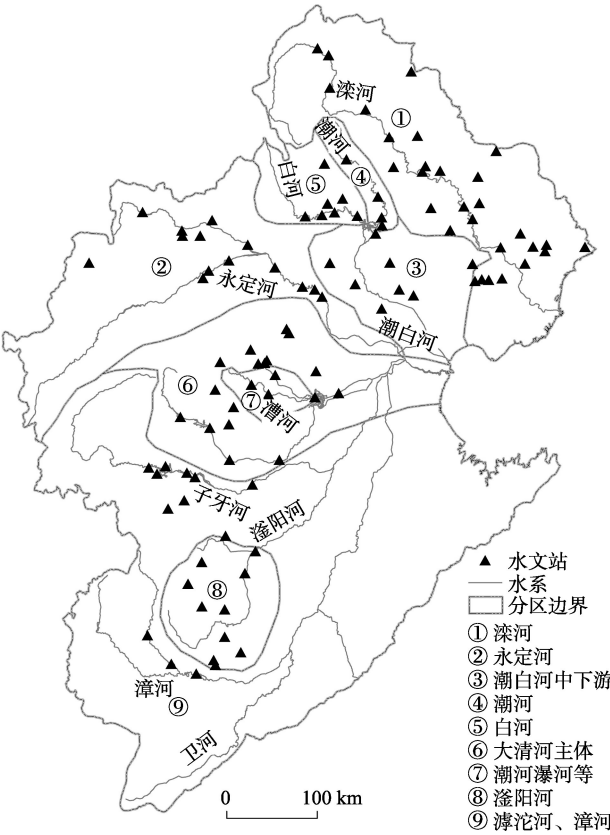


图1 海河流域分区及站点分布图
Fig. 1 Distribution of sub-regions and hydro-stations in the Haihe River Basin

③ 海河流域水文特征资料: 1841-1970, 河北省水利局1972年刊印。

少无法开展规律性研究的站点;④大支流下游、泥沙以沉积为主的站点,由于不能反映控制区域的侵蚀状况而剔除;⑤微地形差异的站点。基于上述原则,共剔除18个站点,选取了104个站点进行研究(图1)。

3 产沙模数的尺度效应

首先,根据各分区相关数据,建立 Y_s - A 间的幂函数拟合方程(表1,图2)。

$$Y_s=k_s\cdot A^b \tag{1}$$

式中: Y_s 的单位为 $t/(km^2\cdot yr)$; k_s 为系数; A 的单位为 km^2 ; b 为尺度指数。

拟合方程的决定系数(R^2)、 F 检验结果,及系数 k_s 和 b 的置信区间如表1。当 $R^2<0.1$ 时,说明对应分区产沙模数随着流域面积的变化基本保持不变,对应的 F 检验结果置信水平 $Sig. F$ 也都大于0.05,即相关不显著。当 $R^2>0.4$ 时,产沙模数与流域面积间呈正/负相关,对应分区的 F 检验基本都在0.05的水平上显著,通过了 F 检验。

(1) 滦河

滦河流域(表1,图2a)位于华北平原东北部,全长888 km,流域面积44750 km^2 ,其中山区占98%,平原占2%。滦河上游位于内蒙古高原南缘坝上地区,海拔高,地势平坦,多草原和沼泽,河道宽浅,因而上游站点产沙模数低,但由于站点少,无法进行尺度效应的进一步分析。滦河中下游为冀东山地,海拔300~1000 m,主要由中、低山和丘陵河谷构成。山区山高坡陡,地面破碎,沟壑密度2~4.3 km/km^2 ,坡地坡度15°以上的面积占58%。区域降水量少且集中,坡洪积物质和黄土、沙土的抗蚀能力差

(孙玉兰等,2003)。侵蚀主要来自毁林开荒、陡坡开垦以及过度放牧,坡耕地是侵蚀的主要来源,同时沟道侵蚀也很强烈(宋秀清,1993;杨晓勇等,1993)。由于坡面和沟道的侵蚀都很强烈,因而产沙模数随流域面积的增大基本保持不变。

(2) 永定河

永定河流域(表1,图2b)面积47016 km^2 ,其中山区面积约96%。永定河发源于黄土丘陵沟壑区,逐渐过渡到土石山区。官厅水库以上的区域以山区为主,分别占整个永定河流域山区面积的96%和整个流域面积的92%(程大珍等,2001)。无论是上游的黄土丘陵沟壑区,还是中游的土石山区,其森林覆盖率都很低。如位于上游黄土丘陵沟壑区的大同市林地面积约占15%;位于中游土石山区的张家口地区林地面积约占14.8%。土地利用以耕地和未利用土地为主,其中未利用地多陡坡地(张士锋等,2013)。耕地和未利用土地是侵蚀的主要来源,约占大同市域面积的87%,张家口地区面积的65%(刘玉等,2007;段瑞娟等,2005)。由于站点主要分区在上中游,以山区为主,无论是耕地还是未利用土地都遭受强烈侵蚀,因而 Y_s 随 A 的增大基本保持不变。

(3) 潮白河

潮白河流域的上游被划分为白河流域和潮河流域(表1,图2c)。

白河流域地处内蒙古高原向冀北山地过渡区,流域上游以草场为主,随着流域面积的增大,地面破碎度增大、坡耕地增加(杨晓勇等,1993;王丽艳等,2005),侵蚀增强,因而产沙模数随流域面积的增大而增大。

潮河流域以山地为主,河源区处于风沙—水蚀

表1 海河流域各分区产沙模数的尺度效应统计表

Tab.1 Regional scale relations for sediment yield in different sub-regions of the Haihe River Basin

分区名称	ID	拟合公式	R^2	F	$Sig.F$	b	b 的置信区间	k_s	k_s 的置信区间	N	关系
滦河	1	$Y_s = 332.4 A^{0.037}$	0.01	0.088	0.770	0.037	0.145	332.4	268.3	26	无
永定河	2	$Y_s = 1734.3 A^{-0.067}$	0.06	0.713	0.418	-0.067	0.108	1734.3	1250.4	14	无
潮白河中下游	3	$Y_s = 3113.1 A^{-0.432}$	0.74	16.681	0.006	-0.432	0.153	3113.1	2338.4	8	负
潮河	4	$Y_s = 39734 A^{-0.551}$	0.76	9.496	0.054	-0.551	0.293	39734	55748.6	5	负
白河	5	$Y_s = 3.4 A^{0.5222}$	0.72	12.564	0.016	0.522	0.217	3.4	5.7	7	正
大清河主体	6	$Y_s = 126989 A^{-0.694}$	0.41	7.637	0.018	-0.694	0.342	126989	266749.4	13	负
大清河瀑河、漕河等	7	$Y_s = 61177 A^{-1.048}$	0.60	8.840	0.025	-1.048	0.508	61177	140316.5	8	负
滏阳河	8	$Y_s = 1817.8 A^{-0.465}$	0.41	6.373	0.033	-0.465	0.254	1817.8	2425.4	11	负
滹沱河、漳河	9	$Y_s = 505.9 A^{0.072}$	0.05	0.541	0.479	0.072	0.134	505.9	415.4	12	无

注: N 为站点数。

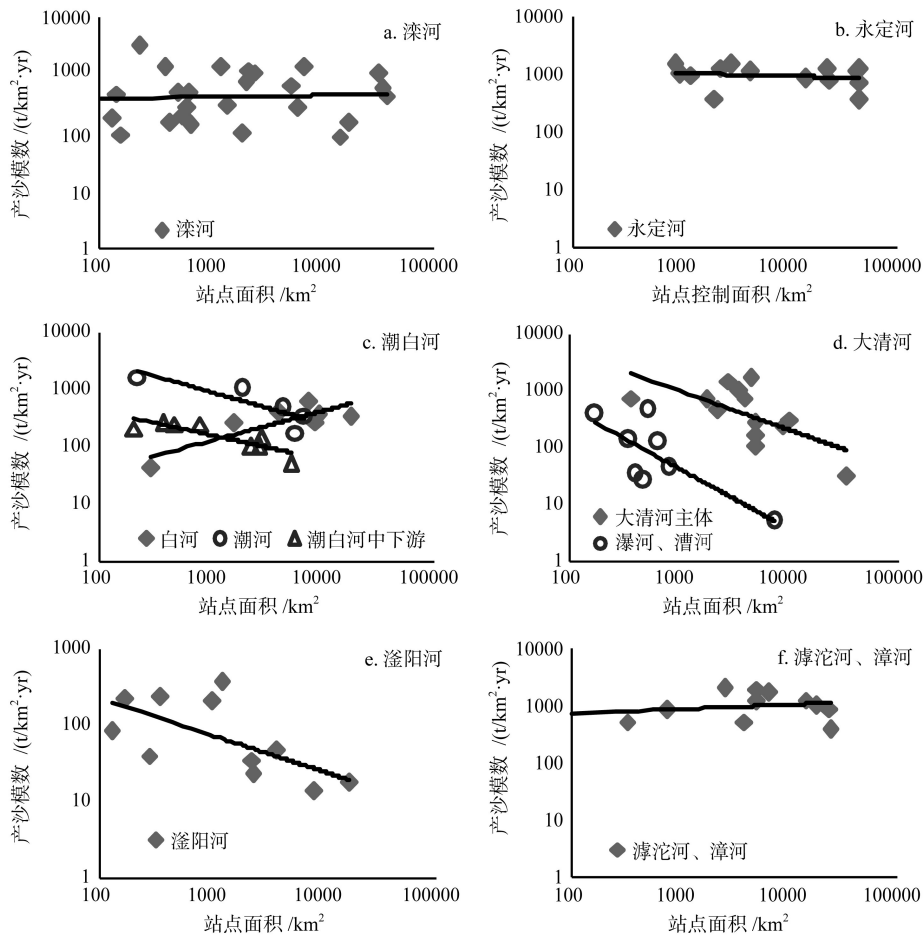


图2 海河流域各分区产沙模数与尺度效应的关系

Fig.2 Relationships between Y_s and A for all sub-regions of the Haihe River Basin

交错带,河谷阶地黄土覆盖,为强侵蚀区域(李子君等, 2008);随着流域面积的增加,坡度减缓,泥沙淤积增强,因而 Y_s 随 A 的增大而减少。

潮白河中下游在苏庄以下进入平原,河床比降小,河谷开阔。主要支流蓟运河发源于燕山山脉,由上游的低山、丘陵区逐渐过渡到平原区。由于侵蚀主要来源于坡耕地(王丽艳等, 2005),因而 Y_s 随 A 的增大而减少。

(4) 大清河和滏阳河

大清河(表1,图2d)和滏阳河(表1,图2e)的地貌形态类似,从太行山土石山区过渡到华北冲积平原,地势西高东低。其中大清河山区占43%,平原占57%;滏阳河山区和平原面积约各占50%。上游发源于太行山土石山区,植被覆盖率低,山地坡度陡,侵蚀强烈,是侵蚀的主要来源,随着流域面积的增加,坡度减缓,泥沙淤落,因而产沙模数随流域面积的增大而减小。

相对大清河主体区而言,大清河的瀑河、漕河

分区(表1,图2d)的河流短小,下游受白洋淀影响,地势低平,泥沙以淤积为主。山区海拔低,坡度相对平缓,平原面积大,因而其产沙模数随流域面积增加亦呈减小趋势,但相同面积下,产沙模数要比大清河主体区域低。

(5) 滹沱河、漳河

滹沱河、漳河(表1,图2f)站点分布区地貌类型相似,研究区站点主要集中在分区中上游,主要由中低山和丘陵构成。研究区域西高东低,上游发源于黄土高原和山西高原东缘的太行山区,为山地地形高原,山地海拔大都在1500 m以上,以山地和丘陵为主,约占80%。区内除少数地方基岩裸露以外,普遍覆盖着厚50~100 cm的残积土和10~30 m厚的黄土,黄土分布区沟壑纵横,地面破碎,加之黄土抗蚀性能极差,成为河流泥沙的主要来源(张建国等, 1991)。随着流域面积增大,海拔逐渐降低,虽然黄土覆盖面积减少,但土石山区坡度陡,地表破碎,坡耕地占耕地比例大,侵蚀强度高,因而侵蚀强度基

本保持不变。

总体而言,海河流域的 Y_s - A 关系在双对数坐标下可分为3类:①无显著相关关系;②负相关;③正相关。其中第一类包括3个分区:滦河、永定河和滹沱河、漳河,共4个子流域;第二类包括5个分区:潮河、潮白河中下游、大清河(含瀑河、漕河)和滏阳河,共3个子流域;第三类只有一个分区:白河。

第一类与第二类的差别主要是由流域形状及其分布引起。这两类尺度效应对应的分区中上游主要为黄土区或土石山区,向下游逐渐过渡到冲积平原区,其差别为:第一类分区上游区域所占面积大,中下游延伸到冲积平原,但形状狭长;而第二类分区中下游覆盖了大面积的冲积平原区域。因而,相对第一类分区,第二类分区中水流输移的泥沙有更多机会沉积。致使第一类产沙模数随流域面积增大基本不变;而第二类产沙模数则随流域面积的增大而减小。第三类则主要是由于特殊的地理位置及下垫面覆盖物质的差异引起,即由草原区向黄土区过渡,导致产沙模数沿程增大。

4 尺度效应校正及产沙模数图编制

4.1 尺度效应校正

首先,基于海河流域不同分区产沙模数的尺度效应(表1),将所有站点的产沙模数校正到标准面积下。校正方法:先对 Y_s 和 A 作对数转换,然后进行线性拟合(图3)。

假设拟合方程为 $Y=AX+B$,对某一个站点数据 (x_1, y_1) ,其校正后的计算方程为 $Y'=AX'+B'$,则 $B'=y_1-Ax_1$,站点方程转换为: $Y'=AX'+y_1-Ax_1$,由于 $X'=\log A$;

$Y'=\log Y_s$,实际的产沙模数 $Y_s=10^{(A\log A+y_1-Ax_1)}$ 。

由于所有站点中,控制面积小于100 km²的站点占站点总数的1.8%,控制面积大于10000 km²的站点占站点总数的18.5%,约80%的站点控制面积都位于100~10000 km²之间,为避免误差过大,选取1000 km²作为校正的标准面积,对所有站点进行校正。对于无相关关系的分区,不进行尺度校正。

4.2 产沙模数图编制

使用Kriging空间插值方法(Church et al, 1989; Yan et al, 2007)编制标准面积下的产沙模数图(图4a)。为比较分析,同时编制了未进行尺度校正的产沙模数图(图4b)。

从图4可以看出,无论是校正前还是校正后,产沙模数的空间分布总体都呈现自西向东逐渐减小的趋势。产沙模数的这种变化趋势与流域地形的变化是一致的,流域的西部为山区,侵蚀强度高,东部为平原区,主要为泥沙的沉积区域。

经校正的产沙模数图有一个产沙高值带,产沙模数大于1000 t/(km²·yr),自北向南穿越永定河上游的洋河、桑干河、大清河上游,以及子牙河上游的滹沱河。该高值带处于半湿润区到半干旱区的转换地带,年降水量400~500 mm,为农牧交错带,该高值带的形成符合Langbein-Schumm关系中高值点的形成特征。Langbein等(1958)绘制了产沙模数与降雨量的关系曲线,表现为产沙模数随降雨量的增大呈先增大后减小的变化特征,其高值点对应半干旱半湿润区域,因为其降雨强度大,同时植被对地表物质的保护能力弱。同时该区还是风沙、黄土过渡区,区域大部分被黄土覆盖,北部小部分地区风沙分布广泛,地表物质极易遭受侵蚀,与黄土高原高强度侵蚀中心的形成条件类似(Yan et al, 2007),这是该侵蚀高值区形成的另一个因素。

另一个产沙高值区为滦河上游,该区域同样为半湿润、半干旱区域,年降水量500 mm左右,同样处于风力与水力侵蚀交互作用的地区,区域内山高坡陡,沟壑密度大,同时坡积洪积物和黄土、沙土抗蚀能力差,且降水集中,强度大,因而产沙模数高(孙玉兰等, 2003)。

与校正前的产沙模数图比较:一方面,校正后的重点侵蚀区域更加突出;另一方面,产沙模数在250~500 t/km²·yr间的区域显著增大,0~250 t/km²·yr间的区域显著减小。校正前后产沙模数空间分布上的差异也进一步说明了对产沙模数进行尺度

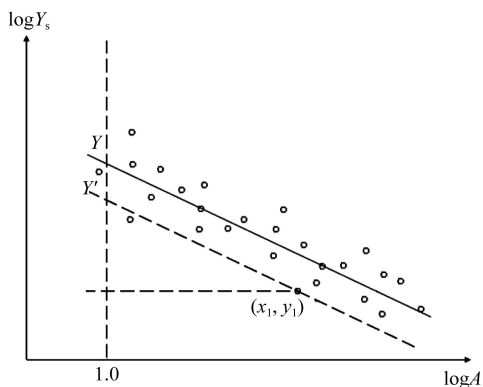


图3 尺度校正过程演示图

Fig.3 Illustration of the correction process

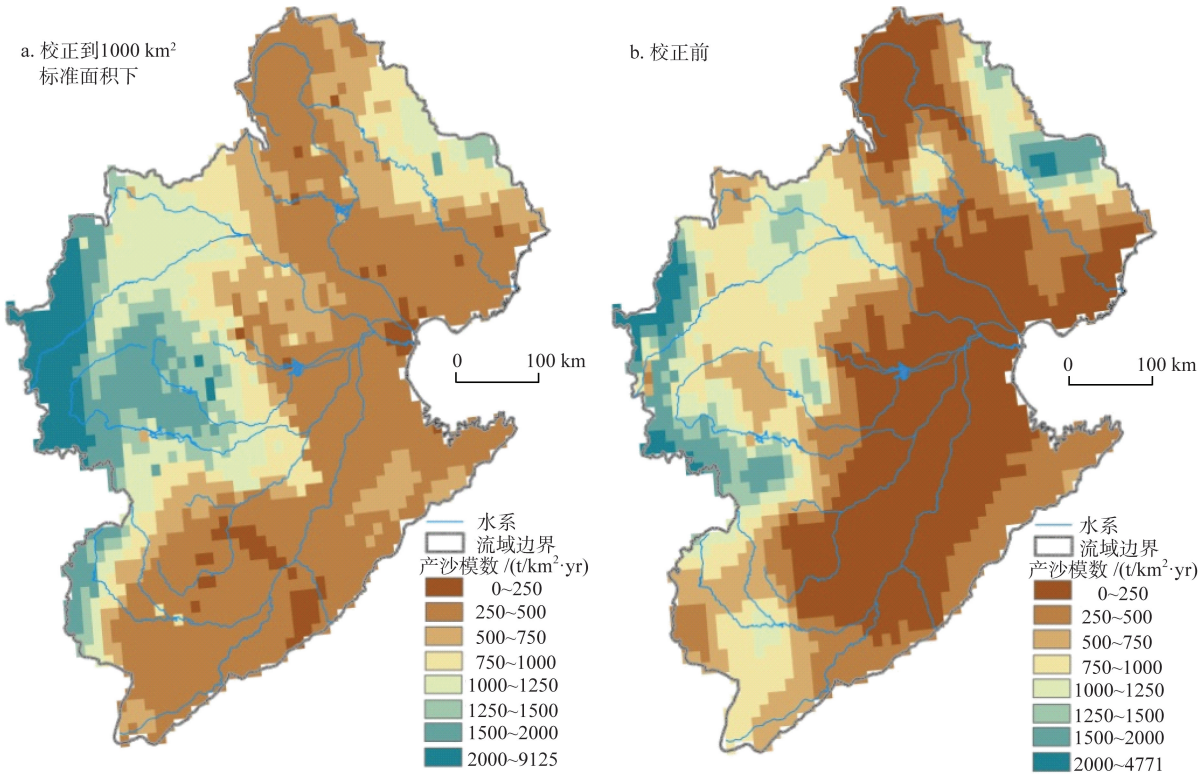


图4 海河流域产沙模数图
Fig.4 Sediment yield map of the Haihe River Basin

矫正的必要性,即消除尺度影响是进行产沙模数图编制的必要环节。

5 结论

本文基于流域完整性、下垫面一致等条件,将整个海河流域划分为9个分区,分析了不同分区产沙模数的尺度效应。总体而言,海河流域产沙模数的尺度效应表现为3种形式:①产沙模数随流域面积的增大基本保持不变,如滦河、永定河、滹沱河和漳河分区;主要是因为这些分区以山区为主体,植被覆盖率低,坡面侵蚀强烈,泥沙淤积有限。②产沙模数随流域面积的增大而减小,如潮河、潮白河中下游、大清河以及滏阳河分区;主要是因为这些分区上游为山区,是泥沙的主要来源区,下游为平原区,致使大量泥沙淤积。③产沙模数随流域面积的增大而增大,如潮白河上游的白河分区。究其原因,一方面是由于分区地处上游,以侵蚀作用为主;另一方面,该区处于内蒙古高原向冀北山区的过渡区,随着流域面积的增大,地面破碎度增加,坡耕地增多,侵蚀作用增强。

为减小误差,选择1000 km²作为校正的标准面积,基于不同分区的尺度效应,对产沙模数进行了标准面积下的校正,并使用ArcGIS的3D Analysis模块的Kriging空间插值法,编制了消除尺度效应后的产沙模数图。结果显示:流域产沙模数总体表现为从西到东逐渐减小的趋势,这种变化趋势与流域地形变化趋势是一致的。西部以山地为主,因而侵蚀强度高;东部以平原为主,是泥沙的淤积区域。图中有一个产沙高值带,位于流域西部的永定河、大清河、滏阳河上游,另一个产沙高值区域,位于滦河中游。其产沙强度与所处区域的气候、降水条件、植被覆盖以及侵蚀作用力等方面因素有关。

参考文献(References)

程大珍, 陈民, 史世平, 等. 2001. 永定河上游人类活动对降雨径流关系的影响. 水利水电工程设计, 20(2): 19-21.
[Cheng D Z, Chen M, Shi S P, et al. 2001. The influence of human activities on rainfall-runoff relation in upper part of the Yongdinghe River Basin. Design of Water Resources & Hydroelectric Engineering, 20(2): 19-21.]
段瑞娟, 郝晋珉, 王静. 2009. 土地利用结构与生态系统服务功能价值变化研究: 以山西省大同市为例. 资源开发与

- 市场, 25(10): 1074-1076. [Duan R J, Hao J M, Wang J. 2009. Study on the structure and the function value of ecosystem services change: taking Datong City in Shanxi Province as an example. *Resource Development & Market*, 25(10): 1074-1076.]
- 李子君, 凌峰. 2008. 潮河流域水土流失治理成效及存在问题. *水土保持通报*, 28(3): 189-192. [Li Z J, Ling F. 2008. Effects and existing problems of soil and water loss control in the Chaohe River Basin. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 28(3): 189-192.]
- 刘玉, 张笑归, 刘树庆. 2007. 张家口地区土地资源利用现状及农业可持续发展对策研究. *中国农学通报*, 23(4): 360-364. [Liu Y, Zhang X G, Liu S Q. 2007. Study on situation of land resources utilization and sustainable agricultural development in the Region of Zhangjiakou. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 23(4): 360-364.]
- 蔡俊谕, 蔡强国, 蔡乐, 等. 2011. 岔巴沟、大理河与无定河水保持减水减沙作用的尺度效应. *地理科学进展*, 30(1): 95-102 [Qi J Y, Cai Q G, Cai L, et al. 2011. Scale effect of runoff and sediment reduction effects of soil and water conservation measures in Chabagou, Dalihe and Wudinghe Basins. *Progress in Geography*, 30(1): 95-102.]
- 宋秀清. 1993. 滦河流域水土流失及其防治对策. *水土保持通报*, 13(1): 60-63. [Song X Q. 1993. Soil and water loss and its control measures in Luanhe River Watershed. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 13(1): 60-63.]
- 孙玉兰, 胡燕. 2003. 滦河潘家口水库上游重点治理区水土流失及其防治对策. *海河水利*, (4): 41-42, 66. [Sun Y L, Hu Y. 2003. Soil erosion in key administration areas in upper reach of Luan River Panjiakou Reservoir and its control countermeasures. *Haihe Water Resources*, (4): 41-42, 66.]
- 王丽艳, 吕昌河, 姚治君, 等. 2005. 潮白河上游土地利用的时空变化特征与驱动力分析. *地理科学进展*, 24(5): 88-96. [Wang L Y, Lu C H, Yao Z J, et al. 2005. A Spatio-temporal analysis of land use change and its driving forces in the upper reaches of the Chaobai River, North China. *Progress in Geography*, 24(5): 88-96.]
- 王中根, 朱新军, 李蔚, 等. 2011. 海河流域地表水与地下水耦合模拟. *地理科学进展*, 30(11): 1345-1353. [Wang Z G, Zhu X J, Li W, et al. 2011. A coupled surface-water/groundwater model for Haihe River Basin. *Progress in Geography*, 30(11): 1345-1353.]
- 杨晓勇, 马至尊. 1993. 海河流域土石山区治理途径及效益. *中国水土保持*, (6): 3-6. [Yang X Y, Ma Z Z. 1993. Ways for the harnessment of earthy and rocky mountainous area in the Haihe River Basin and their benefits. *Chinese Soil and Water Conservation*, (6): 3-6.]
- 张建国, 李友仁, 赵惠君. 1991. 山西省海河流域土壤侵蚀的基本规律. *水土保持通报*, 11(5): 17-25. [Zhang J G, Li Y R, Zhao H J. 1991. The basic laws of soil erosion in Haihe Watershed in Shanxi Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 11(5): 17-25.]
- 张士锋, 王翠翠, 孟秀敬, 等. 2013. 永定河北京段蒸散发研究. *地理科学进展*, 32(4): 580-586. [Zhang S F, Wang C C, Feng X J. 2013. Evaporation study in Beijing section of the Yongding river. *Progress in Geography*, 32(4): 580-586.]
- 张砚琴. 2006. 大同市土地退化现状与动态变化研究. *环境科学与管理*, 31(3): 36-38. [Zhang Y Q. 2006. Present situation of soil degradation and study of trend change in Datong City. *Environmental Science and Management*, 31(3): 36-38.]
- 中华人民共和国水利部. 2007. 中国河流泥沙公报. 北京: 中国水利水电出版社. [Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. *Chinese river sediment bulletin*. 2007. Beijing, China: Water Power Press.]
- Birkinshaw S J, Bathurst J C. 2006. Model study of the relationship between sediment yield and river basin area. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31(6): 750-761.
- Chorley R J, Schumm S A, Sugden D E. 1984. *Geomorphology*. London: Methuen.
- Church M, Ham D, Hassan M A, et al. 1999. Fluvial clastic sediment yield in Canada: scale analysis. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 36(1): 1267-1280.
- Church M, Slaymaker O. 1989. Disequilibrium of Holocene sediment yield in glaciated British Columbia. *Nature*, 337: 452-454.
- Dedkov A P, Moszherin V T. 1992. *Erosion and sediment yield in mountain areas of the world*. Wallingford, UK: IAHS Press.
- Dedkov A P. 2004. The relationship between sediment yield and drainage basin area//Golosov V, Belyaev V, Walling D E. *Sediment transfer through the fluvial system*. Wallingford, UK: IAHS Press.
- Langbein L B, Schumm S A. 1958. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Transactions, American Geophysical Union*, 39(6): 1076-1084.
- Walling D E. 1983. The sediment delivery problem. *Journal of Hydrology*, 65: 209-237.
- Xu J X, Yan Y X. 2005. Scale effects on specific sediment yield in the Yellow River Basin and geomorphological explanations. *Journal of Hydrology*, 307(1-4): 219-232.
- Yan Y X, Xu J X. 2007. A study of scale effect on specific sediment yield in the Loess Plateau, China. *Science in China: Earth Science*, 50(1): 102-112.

Spatial patterns of scale effect of specific sediment yield in Haihe River Basin

YAN Yunxia¹, WANG Suiji¹, YAN Ming¹, HE Li¹, CHENG Dongsheng²

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Building specific sediment yield map is important for planning of soil and water conservation. While the traditional method to build a specific sediment yield map usually ignored the scale effect on specific sediment yield, namely, the influence of drainage area on specific sediment yield, many researches have proved there is a functional relation between specific sediment yield and drainage area. Therefore, the scale effect should be considered when building specific sediment yield. In this paper, the scale effect of specific sediment yield is studied in the Haihe River Basin. Following the principles of integrity of river basin and the similarity of topography, the Haihe River Basin is divided into 9 sub-regions. The scale effects of all sub-regionson specific sediment yield could be classified into three regional trends: (1) a flat trend; (2) a decreasing trend; (3) an increasing trend. Scale effect for each sub-region is explained based on location, topology, geomorphology, and land use forms. Sub-regions with flat trends are mainly located in the areas of mountainous upper reaches and limited flood plains of lower reaches. Soil erosion is severe in mountainous area, and sediment has little chance to silt down on flood plains. Sub-regions with decreasing trends are mainly located in the areas of limited mountainous upper reaches and large flood plains of lower reaches, where sediment transported from mountains have more chance to silt down. There is only one sub-region with increasing trend, located in the upper reaches of the Baihe River Basin and extended from grassland with slightly soil erosion to the loess covered area with severe soil erosion. Equations are used to offset the influence of drainage area on specific sediment yield, and specific sediment yields of all hydro-stations are all calculated under a standard area. Kriging interpolation is used to create specific sediment yield maps on standard area of 1000 km² using equation of each sub-region. The pattern of specific sediment yield map shows strong soil erosion in the west and low erosion in the east, consistent with topographic distributions of the Haihe River Basin, with mountains in the west dominated by erosion and plains in the east dominated by deposition. There are two high specific sediment yield areas. One is located in the upper reaches of the Yongdinghe River Basin, Daqinghe River Basin, and Fuyanghe River Basin, with underlying surfacecovered by loess. The other one is located in the middle reaches of the Luanhe River Basin, expanding from loess to earth-rocky mountainous area. Those high value areas are the key areas for planning soil and water conservation.

Key words: specific sediment yield; scale effect; spatial variation; Haihe River Basin