

黄河流域降雨侵蚀力对全球变化的响应

张光辉^{1,2}

(1. 北京林业大学水土保持与荒漠化教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘 要: 分析土壤侵蚀力对全球变化的响应, 有助于国家和区域未来水土保持宏观战略的决策。本文利用 Had-CM3 模型, 在 A2 和 B2 情景下系统研究了未来不同时期 (2020 年、2050 年和 2080 年) 黄河流域降雨侵蚀力的潜在变化。结果表明在全球气候变化条件下, 黄河流域的降雨侵蚀力有显著的增加; 增加的幅度随着 GCM 情景和研究时期的不同而不同, 从南向北逐渐增大; A2 情景下, 黄河流域的降雨侵蚀力分别增加 11.5% (2020 年)、24.8% (2050 年) 和 40.6% (2080 年), B2 情景下的相应变化分别为 20.9%、12.5% 和 20.8%; 加强中、长期土地利用规划、植被建设和水土保持是应对全球变化的基本方略。

关键词: 土壤侵蚀; 降雨侵蚀力; 气候变化; GCM 模型

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

温室气体增加引起的全球气候变化可通过不同途径影响土壤侵蚀^[1], CO₂ 浓度、温度、降水、湿度的变化, 会影响到植被生长、植被残茬分解、土壤微生物活动、蒸散发、地表结皮的形成和发育等诸多过程, 进而影响到土壤侵蚀^[2]。全球变化条件下土地利用和种植结构的调整, 也会影响到土壤侵蚀^[3,4]。

降水的任何变化, 不管是次降水量、降雨强度、降水频率, 还是降水在年内的季节分布, 都会引起降雨侵蚀力的变化。Sauerborn 等人 (1999) 的研究表明, 在全球变化条件下德国 Rhine—Westphalia 北部地区的降雨侵蚀力会显著增加^[5]。以 Renard 和 Freimund 建立的降雨侵蚀力和 Fournier 指数间的关系为基础, Nearing (2001) 分析了 21 世纪美国降雨侵蚀力的潜在变化, 结果发现绝大部分地区都有不同程度的变化^[2]。

黄河是我国第二大河流, 集水面积 752 443 km², 因流经不同的气候带和地貌单元, 全流域自然条件变化很大 (表 1)。受地形地貌、降水、土壤、植被、土地利用及人类社会活动的影响, 全区

土壤侵蚀十分严重, 特别是中游的黄土高原地区, 侵蚀模数达 5 000~ 10 000 t/km²^[6,7], 大量泥沙的不断下泻和沉积, 导致花园口以东河床每年以 8~ 10 cm 的速度升高^[8], 降低了河槽泻洪能力, 洪峰流量仅 8 000 m³/s, 而水位为历史最高的黄河“98”大洪水, 则是典型的例证。因此, 分析全球变化情况下黄河流域降水侵蚀力的潜在变化, 对制定中、长期水土保持宏观战略、强化流域管理具有重要的实践意义。

2 研究方法

众所周知, 降雨侵蚀力 (R) 与最大 30 min 雨强和降雨总能量密切相关^[9], 然而, 目前的 GCM (General Circulation Model) 模型无法对降雨强度进行模拟, 因此, 不同学者建立了降雨侵蚀力与月降水量或年降水量间的相关关系, 进而分析全球气候变化对降雨侵蚀力的定量影响^[2,5,10]。本文对参考文献^[11]中黄土高原 164 个站点 32 年 (1955~ 1986) 多年平均年降水量和降雨侵蚀力资料进行

收稿日期 (Received date): 2005- 12- 11; 改回日期 (Accepted): 2005- 04- 20。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金重点项目 (40235056)、教育部重点实验室基金 [National Natural Science Foundation of China, No. 40235056]

作者简介 (Biography): 张光辉 (1969-), 男, 甘肃静宁人, 博士, 现为北京师范大学地理与遥感学院副教授, 主要从事土壤侵蚀研究工作, 发表论文 40 余篇。[Zhang Guanghui (1969-), male, main research soil erosion]

了统计分析^[11], 建立了降雨侵蚀力与年降水量间的关系(图1)

$$R = 2.3218P^{1.3643} \quad r = 0.78 \quad (1)$$

式中 R 为降雨侵蚀力 (MJ mm/ha/year), P 为年降水量 (mm)。

表1 黄河流域降水、径流及泥沙*

Table 1 Precipitation, runoff and sediment of Yellow River basin					
No.	区域	面积 (km^2)	降水量 (mm)	径流量 (mm)	泥沙 (108t)
I	河源—贵德	133, 775	424. 2	171. 35	0. 254
II	贵德—兰州	88, 776	403. 5	144. 23	0. 595
III	兰州—头道拐	163, 415	292. 3	1. 75	0. 602
IV	头道拐—龙门	111, 595	447. 0	52. 02	8. 161
V	龙门—花园口	232, 475	527. 3	80. 55	2. 658
VI	花园口—利津	22, 407	649. 9	49. 07	1. 778
总计	黄河流域	752, 443	436. 0	82. 02	10. 492

* 降水和径流为 1961 到 1990 的平均值; 泥沙为 1951 年到 1985 的平均值。

在众多 GCM 模型中, 由英国 Hadley 气候中心研发的 HadCM2 和 HadCM3 是全球使用最为广泛的 GCM 模型。HadCM3 是在 HadCM2 的基础上发展起来的第三代模型, 它假定在研究期内温室气体年增长率为 1%, 同时还考虑了硫的漂浮物、CH₄、N₂O、CFC11 等的变化。其模拟结果以 2. 5° (纬度)、3. 75° (经度) 的网格形式输出。未来气候的变化受社会经济发展状况的影响, 为了规范未

来社会经济的发展情况, IPCC 提出了 A1、A2、B1、B2 四种不同的未来社会经济情景^[12], 其中以 A2 和 B2 两种情景使用较为广泛。A2 情景描述了未来社会的多元化发展, 强调地区文化的差异、强调家庭价值和传统观念, 人口增长快、经济发展缓慢; B2 情景则强调局部地区经济、社会和环境的发展, 世界趋于多元化、经济总体发展较慢, 但强调局部地区的技术革新和技术进步。

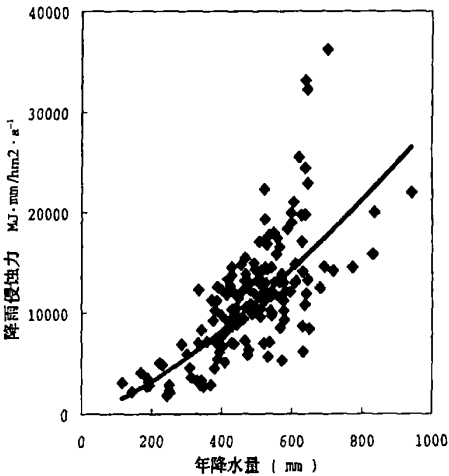


图1 黄河流域年降水量与降雨侵蚀力间关系图

Fig. 1 Relationship between annual precipitation and rainfall erosivity in Yellow River basin

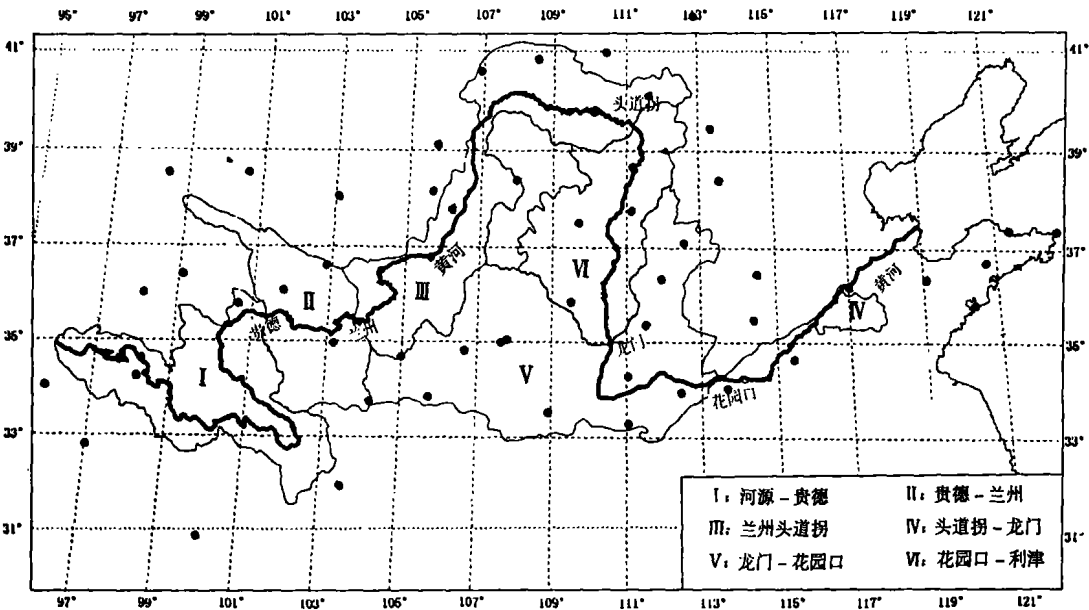


图2 黄河流域6大区域、气象站及水文站

Fig. 2 Yellow River map showing six regions, climate stations and hydrological stations

根据黄河流域的产流和侵蚀特征, 本文将黄河流域划分为 6 个区域 (表 1, 图 2), 逐区分析全球变化对降雨侵蚀力的潜在影响。收集并计算黄河流域 56 个站点 30 a (1961~ 1990) 平均年降水量, 从 IPCC^[12] 数据中心下载英国 HadCM3 GCM 模型 A2 和 B2 情景下的月降雨量, 以 GCM 模型 1961~ 1990 年年降水量的平均值为基础, 比较该值与 2006~ 2035 年 (2020 年)、2036~ 2065 (2050 年) 及 2066~ 2095 年年降水量平均值的差异, 计算 GCM 各个删格 (GRID) 不同时期年降水量的变化比例, 将这些变化比例以 DELTA 方法^[13, 14]就近附加到黄河流域各气象站, 计算年降水量, 再利用 (1) 式计算各个站点的降雨侵蚀力, 用 Kriging^[15] 方法将计算结果进行内插, 分析全球气候变化条件下黄河流域降雨侵蚀力潜在变化的地带性规律。

3 结果

图 3—8 给出了 HadCM3 模型 A2 和 B2 情景下黄河流域降雨侵蚀力的潜在变化。从图中可以清楚地看到, 降雨量侵蚀力的变化幅度随着 GCM 情景和研究时期的不同而不同。A2 情景的模拟结果表明, 21 世纪黄河流域的降雨侵蚀力将持续增加 (图 3、4、5)。与现在相比, 2020 年、2050 年和 2080 年黄河流域的降雨侵蚀力将分别增加 11.5%、24.8% 和 40.6%。B2 情景的模拟结果表明, 未来黄河流域的降雨侵蚀力存在显著的增加趋势 (图 6、7、8), 但 2050 年黄河西南地区的降雨侵蚀力有小面积的减小 (图 7), 就黄河流域而言, 2020 年、2050 年和 2080 年的降雨侵蚀力分别比现在增加 20.9%、12.5% 和 20.8%。

全球气候变化情况下, 黄河流域降雨侵蚀力增大的幅度从南向北逐渐增大, 最小的增加幅度在黄河流域的东南部, 即黄河下游山东、河南一带, 而最大的增幅位于黄河西北或北部地区, 即内蒙和宁夏一带。这一现象可能由黄河流域降水量的地带分布规律造成的, 黄河流域的降水量从东南向西北逐渐减小, 西北干旱地区降水量很小, 仅为东南地区的 1/4 左右, 降水量的微小增加都显得十分明显。

全球变化条件下, 黄河流域不同区域的降雨侵蚀力变化幅度差异很大 (表 2)。A2 情景下, 河源—贵德地区 2020 年、2050 年和 2080 年的降雨侵蚀力分别比现在增加 3.0%、14.6% 和 21.7%, 而

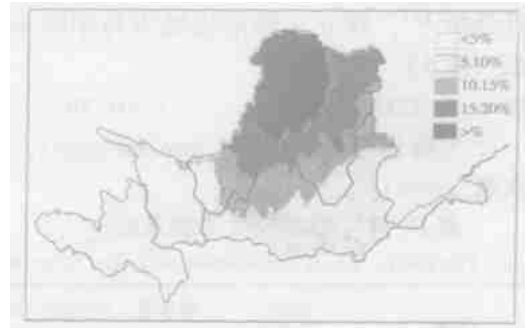


图 3 A2 情景下降雨侵蚀力的潜在变化 (2020)
Fig. 3 Potential change in rainfall erosivity under A2 scenario (2020)

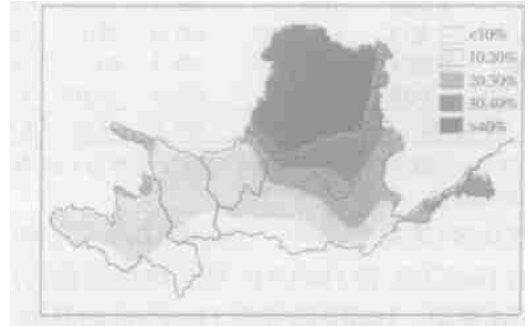


图 4 A2 情景下降雨侵蚀力的潜在变化 (2050)
Fig. 4 Potential change in rainfall erosivity under A2 scenario (2050)

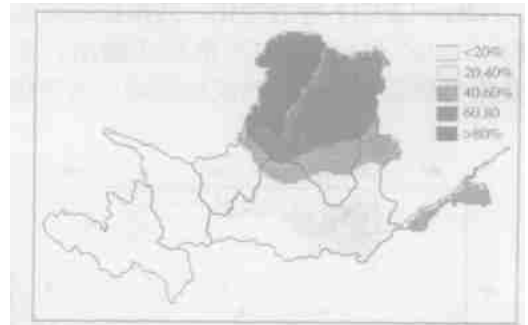


图 5 B2 情景下降雨侵蚀力的潜在变化 (2080)
Fig. 5 Potential change in rainfall erosivity under B2 scenario (2080)

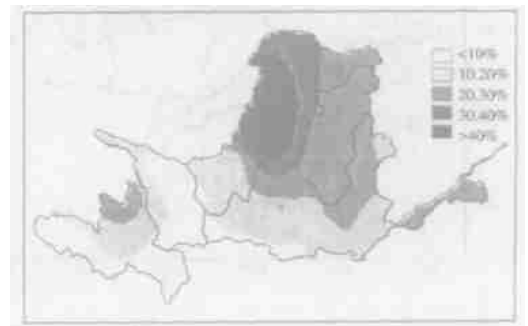


图 6 B2 情景下降雨侵蚀力的潜在变化 (2020)
Fig. 6 Potential change in rainfall erosivity under B2 scenario (2020)

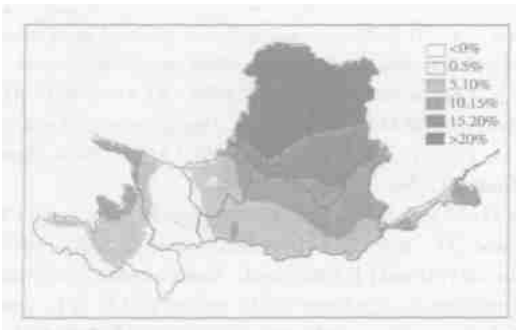


图 7 A2 情景下降雨侵蚀力的潜在变化 (2050)
Fig. 7 Potential change in rainfall erosivity under B2 scenario (2050)

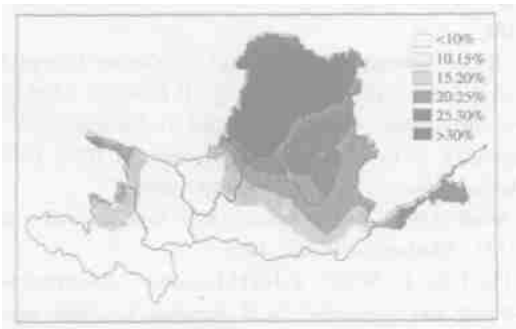


图 8 A2 情景下降雨侵蚀力的潜在变化 (2080)
Fig. 8 Potential change in rainfall erosivity under B2 scenario (2080)

B2 情景下的相应变化为 11.5%、5.5%、12.9%。贵德—兰州地区, 到 2020 年、2050 年和 2080 年 A2 情景下的降雨侵蚀力比目前增加 3.5%、18.7%、25.3%, B2 情景下分别增加 12.9%、5.1% 和 16.6%。到 2020 年、2050 年和 2080 年, 兰州—头道拐地区的降雨侵蚀力分别比现在增加 18.0%、21.3%、42.1% (A2 情景) 和 19.6%、13.2%、17.2% (B2 情景)。头道拐—龙门区间的降雨侵蚀力增加幅度很大, A2 情景下 2020 年、2050 年、2080 年的降雨侵蚀力分别比现在增加 12.3%、39.8%、58.7%, B2 情景下的相应增加量为 26.2%、18.2%、29.4%。龙门—花园口地区, 2020 年、2050 年、2080 年的降雨侵蚀力分别比现在增加 7.6%、21.3%、32.3% (A2 情景) 和 20.4%、13.3%、21.3% (B2 情景)。花园口—利津地区, A2 情景下 2020 年、2050 年、2080 年的降雨侵蚀力分别增加 5.8%、29.2% 和 49.3%, B2 情景下的增加幅度分别为 19.4%、7.5%、23.8%。

就 90 a (2006~2995 年) 的平均水平而言, A2 情景下以头道拐—龙门地区的降雨侵蚀力增

加幅度最大, 依此是花园口—利津、兰州—头道拐、龙门—花园口、贵德—兰州、河源—贵德。B2 情景下的模拟结果也具有类似的变化规律。

在黄河流域的 6 大区域里, 头道拐—龙门区间降雨侵蚀力的增加幅度最大, 这一结果对于黄河流域的水土保持宏观战略的决策具有重要意义。众所周知, 头道拐—龙门区间降水分布极不均匀, 经常有持续的干旱, 也常有集中的暴雨, 两岸众多支流深切黄土高原, 形成千沟万壑, 加之土质疏松、植被稀少, 土壤侵蚀极为严重, 是黄河下游泥沙的主要来源地。该地区降雨侵蚀力的增大, 势必加剧该区的土壤侵蚀, 增加该区水土流失治理的难度, 在制定中、长期水土保持战略时, 应充分考虑全球变化条件下土壤侵蚀加剧的潜在威胁。

表 2 不同情景下黄河流域各区域的降雨侵蚀力

区域	Rainfall erosivity of each region under different scenarios						
	1961~1990	A2			B2		
		2020	2050	2080	2020	2050	2080
I	8 925.2	9 193.3	10 229.5	10 859.7	9 947.7	9 416.8	10 078.0
II	8 336.4	8 625.2	9 891.6	10 447.4	9 410.9	8 764.9	9 723.8
III	5 369.8	6 333.7	6 515.1	7 631.5	6 420.2	6 078.4	6 294.4
IV	9 586.0	10 763.0	13 403.6	15 210.3	12 096.7	11 331.2	12 399.7
V	12 009.6	12 926.0	14 568.6	15 882.7	14 454.2	13 605.6	14 562.0
VI	15 973.2	16 905.8	20 632.0	23 854.6	19 079.1	17 171.8	19 771.6

4 结论

有效治理水土流失、减少入黄泥沙, 是黄河流域防洪、水资源利用、生态环境建设、流域管理的关键所在。工业化导致的全球气候变化将引起降水的变化, 进而引起降雨侵蚀力的变化, 使土壤侵蚀发生相应的变化。研究水文水资源、土壤侵蚀对全球气候变化的响应是目前国际上的前沿课题, 起步比较晚, 分析全球变化条件下黄河流域降雨侵蚀力的潜在变化, 对于制定国家或流域水土保持宏观战略具有重要的实践意义。

本文在建立黄河流域多年平均降雨量与降雨侵蚀力关系的基础上, 从 HadCM3 GCM 模型 A2 和 B2 情景出发, 系统分析了黄河流域 21 世纪不同时期降雨侵蚀力的潜在变化。结果表明在全球气候变化条件下, 黄河流域的降雨侵蚀力具有明显的增加趋势, 增加的幅度随着 GCM 情景、研究时期和区域的不同而不同, 整体趋势是增大的幅度从南向北逐渐增加。2020 年、2050 年、2080 年黄河流域的降雨侵蚀力分别增加 11.5%、24.8%、40.6% (A2 情景) 和 20.9%、12.5%、20.8% (B2 情景)。

景)。不同区域间降雨侵蚀力的增大幅度差异显著,以头道拐—龙门区间最为剧烈。

降雨侵蚀力的增加将加剧土壤侵蚀,本文的研究结果表明,在未来很长时间内,黄河流域的土壤侵蚀有加剧的潜在威胁,如何积极应对这一潜在威胁、有效地控制水土流失,仍是黄河流域一项长期而艰巨的任务。

参考文献 (References):

- [1] Williams J, M A Nearing, A Nicks, *et al.* Using soil erosion models for global change studies [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1996, **51** (5): 381~ 385
- [2] Nearing A M. Potential changes in rainfall erosivity in the U. S. with climate change during 21st century [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, **56** (3): 229~ 232
- [3] Rosenzweig C and D Hillel. Climate change and the global harvest. Potential impacts of the greenhouse effect on agriculture [M]. Oxford University Press, Inc. New York, 1998.
- [4] Favis-Mortlock D T and A J T Guerra. The implications of general circulation model estimates of rainfall for future erosion: a case study from Brazil [J]. *Catena*, 1999, **37**: 329~ 354
- [5] Sauerborn P, A Klein, J Botschek, and A Skowronek. Future rainfall erosivity derived from large-scale climate models – methods and scenarios for a humid region [J]. *Geoderma*, 1999, **93**: 269~ 276
- [6] Fu B J and H Gulink. Land evaluation in area of severe erosion: the loess plateau of China [J]. *Land Degradation and Rehabilitation*, 1994, **5** (1): 261~ 270
- [7] Tang K L, K L Zhang, and A L Lei. Critical slope gradient for compulsory abandonment of farmland on the hilly Loess Plateau [J]. *Chinese Scientific Bulletin*, 1998, **43** (5): 409~ 412
- [8] Wischmeier W H and D D Smith. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning [M]. USDA Agricultural Handbook, No. 537: 58, 1978.
- [9] Shi H and M A Shao. Soil and water loss from the Loess Plateau in China [J]. *Journal of Arid Environments*, 2000, **45**: 920
- [10] Renard K G and J R Freidmund. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE [J]. *Journal of Hydrology*, 1994, **157**: 287~ 306
- [11] [Wang Wanzhong, Jiao Juying. The rainfall erodes to lose the sand with yellow River in Loess Plateau [M]. Beijing: Science Press, 1996, 132~ 134] [王万忠, 焦菊英. 黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙 [M]. 北京: 科学出版社, 1996. 132~ 134]
- [12] IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [A]. In: Houghton JT, Y Ding, D J Griggs, M Noguer, P J van der Linden, and D Xiaosu, (Ed.), Contribution of Working group I to the Third assessment report of IPCC [R], Cambridge University Press, Cambridge. 2001.
- [13] Arnell N W. Global warming, river flows and water Resources [M]. Chichester, Wiley. 1996.
- [14] Hay L E, I L Wilby, and G H Leavesley. A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States [J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2000, **36** (2): 387~ 397
- [15] Oliver M A and R Webster. Kriging: method of interpolation for Geographical Information Systems [J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1990, **4** (4): 313~ 332

Response of Rainfall Erosivity to Climate Change in Yellow River Basin

ZHANG Guanghui

(1. *Soil and Water Conservation and Combating Desertification, Key Laboratory of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China*; 2. *School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: Rainfall erosivity can be expected to change in correspondence to changes in climate. It is helpful for national and regional decision of soil and water conservation strategy to analyse the response of soil erosion to global climate change. This study was conducted to assess the potential effects of climate change on rainfall erosivity in Yellow River basin under HadCM3 A2 and B2 scenarios for the periods of 2020, 2050, and 2080. The results showed a notable increase in rainfall erosivity for both scenario A2 and B2 across Yellow River basin except for a small area of decrease in southwestern for scenario B2 at 2050. The range of erosivity increase varied from scenario to scenario, and varied from period to period. The general trend of the range of changes in erosivity increased from south to north. The increases in rainfall erosivity of Yellow River basin were 11. 5%, 24. 8%, and 40. 6% for scenario A2 and 20. 9%, 12. 5%, and 20. 8% for scenario B2 by the year of 2020, 2050, and 2080 respectively. For six sub-regions of Yellow River basin, the changes in rainfall erosivity varied from 3. 0 to 58. 7% for scenario A2 and varied from 5. 1 to 29. 4% for scenario B2. More efforts should be made for land use planning, vegetation management, and soil conservation in the coming century.

Key words: Soil erosion, rainfall erosivity, climate change, GCM model