

Application of GeoWEPP Model in Gully Head Landfill Engineering

Luying Yang^{1*}, Aidi Huo^{2#}, Tongfang Li²

¹School of Water Resources and Hydropower, Xi'an University of Technology, Xi'an Shaanxi

²School of Water and Environmental, Chang'an University, Xi'an Shaanxi

Email: 1402104650@qq.com, #huoaidi@163.com

Received: Feb. 19th, 2020; accepted: Mar. 12th, 2020; published: Mar. 19th, 2020

Abstract

Loess Plateau provides a broad growing environment for crops and forms a political, cultural and economic center based on the plateau. However, due to the loose soil, fragile ecology and uneven distribution of rainfall, soil erosion is serious. Gully Consolidation and Highland Protection is the key work in the construction of ecological civilization in Loess Plateau. Using the method of simulating the Gully Consolidation and Highland Protection engineering scene, with the support of remote sensing and GIS, the terrain conditions are changed and the hydrological model of the change of the erosion amount before and after the gully head landfill is used for hydrological simulation. In this paper, Yangjiagou of Dongzhi town in Qingyang city of Gansu province was chosen as the research area. The spatial analysis function of ArcGIS was used to process DEM and soil type data, and GeoWEPP model was used to simulate soil erosion, the variation of runoff and sediment yield in gully head landfill before and after landfill was analyzed. Results show that gully head landfill has a certain effect on soil erosion control and provides an effective verification method for the feasibility of soil erosion control scheme in the Loess Plateau.

Keywords

Loess Gully Region, Land Erosion, GeoWEPP Model, Gully Consolidation and Highland Protection

GeoWEPP模型在沟头填埋工程中的应用

杨璐莹^{1*}, 霍艾迪^{2#}, 李同方²

¹西安理工大学水利水电学院, 陕西 西安

²长安大学水利与环境学院, 陕西 西安

Email: 1402104650@qq.com, #huoaidi@163.com

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 杨璐莹, 霍艾迪, 李同方. GeoWEPP 模型在沟头填埋工程中的应用[J]. 水土保持, 2020, 8(1): 1-9.

DOI: 10.12677/ojswc.2020.81001

收稿日期：2020年2月19日；录用日期：2020年3月12日；发布日期：2020年3月19日

摘要

黄土高塬塬面为农作物提供了广阔的生长环境，也形成了以塬面为依托的政治、文化、经济中心。但由于土壤疏松、生态脆弱，降雨时空分布不均，致使水土流失严重。“固沟保塬”是黄土高塬生态文明建设的重点工作。采用模拟“固沟保塬”工程情景的方法，在遥感和地理信息系统的支持下，改变地形条件，利用分布式水文模型对沟头填埋前后侵蚀量的变化进行水文模拟。本文将甘肃省庆阳市董志镇的杨家沟作为研究区，利用ArcGIS空间分析功能处理DEM、土壤类型等数据，再用GeoWEPP模型模拟土壤侵蚀，对比分析在沟头填埋前后黄土高原沟壑区径流量和产沙量的变化。结果表明：沟头填埋对于治理水土流失有一定的效果，为黄土沟壑区土壤侵蚀治理方案的可行性提供有效的验证手段。

关键词

黄土沟壑区，土壤侵蚀，GeoWEPP模型，沟头填埋

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黄土高原位于我国的西北地区，黄土塬是黄土高原主要的农业用地。土壤侵蚀致使水土流失是目前全世界关注的最大的环境问题之一，尤其是当下正在进行生态修复的中国[1]。据统计，我国的水土侵蚀面积高达 5.36 亿亩，占国土总面积的 37.4%，每年土壤侵蚀总量约 90~110 亿吨，同时以大概 1 万 km² 的速度逐年递增[2]。因此关注黄土高原的生态问题、对水土流失采取有效措施刻不容缓。

GeoWEPP (the Geo-Spatial Interface for the Water Erosion Prediction Project Model)模型不仅可以反映流域内的空间尺度变化，还能模拟计算任意一个流域区域的径流量、泥沙量[3]，这对研究水土资源变化具有重要意义，同时也对土壤侵蚀治理结果的预测提供了帮助。

本文通过对庆阳市西峰区董志镇杨家沟小流域分析，查找相关的资料收集研究地区地形地貌、土地土壤，气象等资料。运用 ArcGIS 将土壤类型和土地利用数据转换成 ASCII 输入 GeoWEPP 模型；利用 GeoWEPP 中 CLIGEN 将气候数据进行处理；应用 ArcGIS 提取等高线，设置原始及沟头填埋后两种模拟情景，输入 GeoWEPP 模型分别运行，模拟出该区域的径流量和泥沙流失量，得出出沟头填埋后对研究区域径流和泥沙的影响。

2. 研究区域概况

董志塬地属陇东黄土塬区的西南部，E: 106°14'~108°42'，N: 34°50'~37°19'，南北相跨 89 km，东西相间 46 km，海拔大约为 881~1540 m。该地区水土流失较为严重，董志塬地区植被覆盖率小于 25%，多为以人工造林为主的森林草原带，其生态系统脆弱。据统计，董志塬地区水土流失约 2765.4 km²，约占地区总面积的 98.73%，年产沙量 0.17 亿 t，年径流量 0.77 亿 m³。杨家沟小流域主要位于甘肃省庆阳市西峰区董志镇的西北部，经度为 107°41'49"~107°41'27"，纬度为 35°35'26"~35°35'46"，海拔为 1130~1361 m，

整体流域从北向南, 南北大约长 7.47 km, 流域面积大约 2.15 km²。杨家沟地区多年平均降雨量 530 mm, 多年平均径流量 481198.56 m³, 泥沙流失量 9.756 t。杨家沟具体位置如图 1。



Figure 1. Specific location of Yangjiagou
图 1. 杨家沟具体位置

3. 研究方法

3.1. GeoWEPP 模型

GeoWEPP 是将 WEPP 与 GIS 结合, 通过 GeoWEPP 模型界面加载地理信息, 进入系统后可以访问地形图、土地利用图、土壤图、沟道信息、植被覆盖率等空间数据库, 根据现有气象数据库模拟预测年限气候输入数字化数据, 预测年径流量及产沙量, 便于评价流域保护方法的可行性。GeoWEPP 主要是以水文学、水动力学、随机气象生成等众多学科为理论基础开发的分析土壤侵蚀的物理过程的模型, 汲取了分布式水文模型侵蚀过程空间变异性和连续模拟分析的优点, 能够近似模拟下垫面条件, 从空间和时间的变化上反映土壤侵蚀过程中径流、产沙、输沙、沉积的动态变化过程[4]。目前开发的最新版本 (ArcGIS10.X) 只适用于小于 40 公顷的流域, 而且每个坡面只有一个土地利用图和土壤类型。图 2 为 GeoWEPP 模型流域版示意图。

WEPP 模型流域版是以坡面版为基础, 将流域划分成坡面漫流元素 (Overland Flow Element) 即 OFE, 进行模拟运行。不同的 OFE 元素代表着不同的土壤条件和作物管理方式。将土壤侵蚀过程分解为剥离、搬运、沉积[5], 在坡面与沟道中主要发生剥离; 在沟道中主要是发生搬运; 沉积可以发生在流域的任何地方[6]。研究流域面积应小于 40 公顷, 由沟道、坡面、拦蓄设施三部分组成, 流域出口处一般有泥沙沉积, 要求坡面小于 10 个, 坡长小于 100 cm。土壤侵蚀后泥沙从坡面向沟道搬运, 最后通过沟道从流域出口流出。

GeoWEPP 模型流域版的泥沙运动方程:

$$\frac{dG}{dx} = dL + dF \quad (1)$$

其中: x ——某点沿坡向下的距离(m); G ——输沙量(kg·s⁻¹·m⁻¹); L ——从相邻坡面流入的泥沙量(kg·s⁻¹·m⁻¹); F ——水流对沟道的侵蚀量或水流中泥沙的沉积量(kg·s⁻¹·m⁻¹)。当沟道土壤临界剪力小于平均水流剪力, 并且沟道泥沙流失量大于水流输沙量时, 以搬运为主; 当沟道泥沙流失量小于水流输沙量时, 以沉积为主。

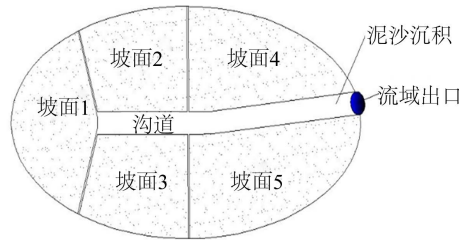


Figure 2. Geowepp model watershed schematic
图 2. GeoWEPP 模型流域版示意图

3.2. 沟头填埋情景设计

应用 ArcGIS 的 ArcToolBox 提取杨家沟区域坡度和等高线。坡度是影响水土流失的一个重要数据。根据《土地利用现状调查技术规程》规定，坡度属于 6°~15°的范围可能发生中度水土流失，必须采取植树造林，修建梯田等措施，坡度属于 15°~25°可能发生重度水土流失，必须加强防治，坡度大于 25°要退耕还林等[7] [8] [9] [10] [11] [12]。据此将杨家沟土地坡度分为五部分，从深绿色到深红色坡度逐渐增大，沟道两侧侵蚀量达到最大可达 55.45°，杨家沟土地需要采取相关固沟保塬措施。图 3 是杨家坡坡度图。

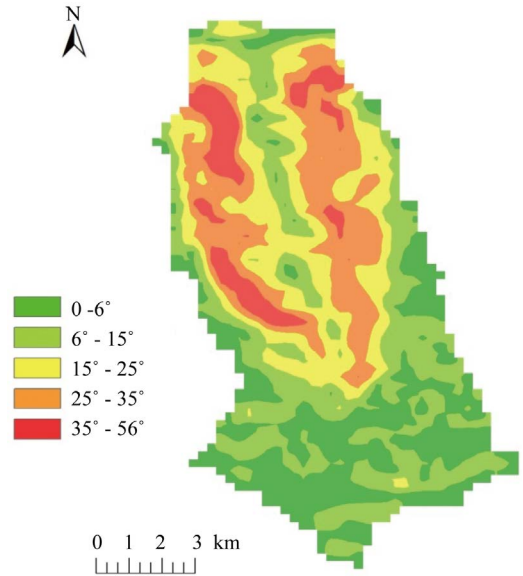


Figure 3. Slope of Yangjiagou
图 3. 杨家沟坡度

图 4 是杨家沟等高线图，以 10 m 为等高间距。由图可得杨家沟整体走向北低南高，流水走向为由南向北，西东两侧等高线密集处相比中间部分更陡，有明显的沟头，南部更加平缓。最高处为 1360 m，最低处为 1170 m。沟道从北向南逐渐升高，沟道最宽可达 330 m。

3.3. 沟头填埋的方法

沟头填埋是指将黄土高原地区的沟壑部分进行人为的大型机械填埋工作，将沟壑填埋成自然坡形或阶梯形。根据规范 GB 51018-2014《水土保持工程设计规范》建设规范要求，设计对其进行沟头填埋，运用十年一遇的降雨对其防御功能进行模拟。根据前文得到的杨家沟坡度、等高线信息，主要将坡度 6°~15°的中度水土流失区域进行土地平整设计，15°~35°区域进行沟头填埋。具体设计为选取沟道总长 60 m，

15 m 溯源沟头填埋, 45 m 从等高线 1335 m 到 1356 m 采用坡度 0.46:1 修整。运用 ArcGIS 处理等高线, 以 3 m 作为等高线间距, 提取研究区域内等高线信息。从 1335 m 开始, 按照沟头填埋设计方法, 对等高线进行编辑。将原本被侵蚀的坡道进行削坡处理, 均改为均匀变化的坡度 0.26:1, 应用 ArcGIS 将等高线重新编辑设计, 高程差为 3 m, 以 11.5 m 作为相邻等高线水平距离, 使其地貌发生改变。沟道选择稳定性强、过流量大的梯形断面。进行沟头填埋后, 应对坡面夯实, 增强沟道冲刷能力。

沟头处理前等高线如图 5(a)所示, 沟头处理后等高线如图 5(b)所示。



Figure 4. Contour line of Yangjiagou
图 4. 杨家沟等高线

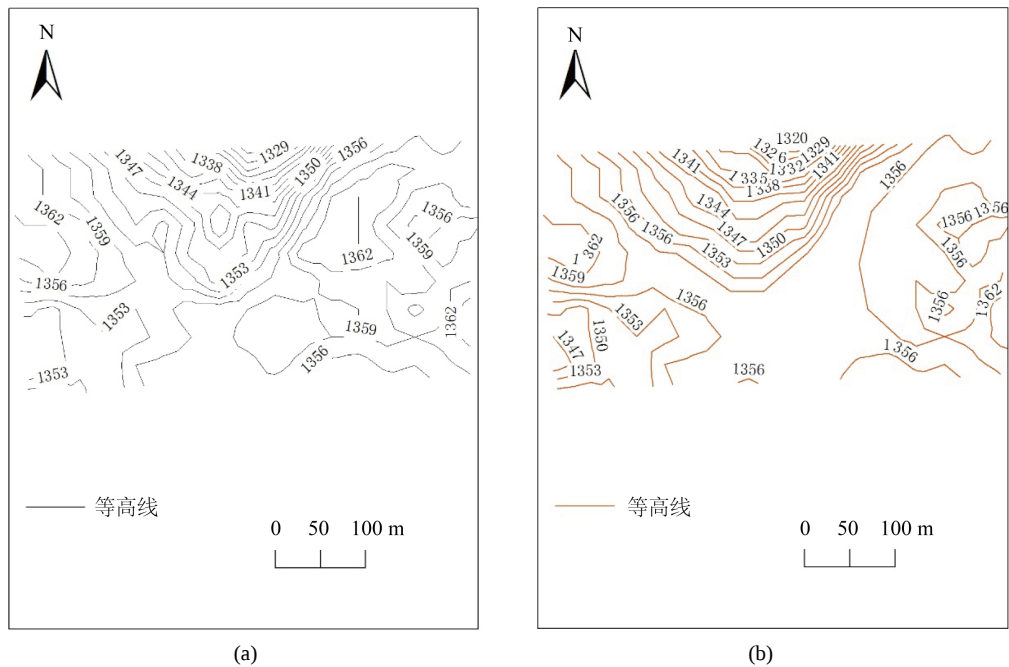


Figure 5. Contour before and after gully head treatment. (a) Contour line before ditch head treatment; (b) Contour line after ditch head treatment

图 5. 沟头处理前后等高线。(a) 沟头处理前等高线; (b) 沟头处理后等高线

3.4. GeoWEPP 初始模拟

在运行 GeoWEPP 模型前，需要将杨家沟流域的 30 m 分辨率的 DEM 转换为 ASCII 格式。基于流域 DEM 生成的流域沟道主要使用了两个参数：关键源区域(Critical Source Area, CSA)，生成流域沟道网路所需要的最小源区域，一般默认为 5 公顷；最小源沟道长度(Minimum Source Channel Length, MSCL)，一阶沟道与另外一个沟道汇合需要流经的最短距离，默认值为 100 m，如果不满足这两个参数条件，则不会出现再流域通道中。

运用上述方式模拟沟头填埋过程，运行结果显示杨家沟流域共形成了 3 个坡面、2 条沟道，界定土壤允许侵蚀值为 0.01 t/(ha·yr)，得到原始土壤侵蚀量分布图 6。将土地侵蚀量按颜色由浅到深划分，侵蚀量为 1~2 t/km² 是土壤侵蚀量较轻的部分，由浅红色代表，侵蚀量大于 3~4 t/km² 是土壤侵蚀量较重的部分，由深红色代表。模拟结果为子汇流域面积为 0.89 km²，年径流量为 570882 m³，土壤侵蚀量为 11.4 t，其中沟头处侵蚀量最重，侵蚀强度达到 12.809 t/(km²·yr)，两侧相对较轻，东侧侵蚀量较西侧侵蚀量更轻。

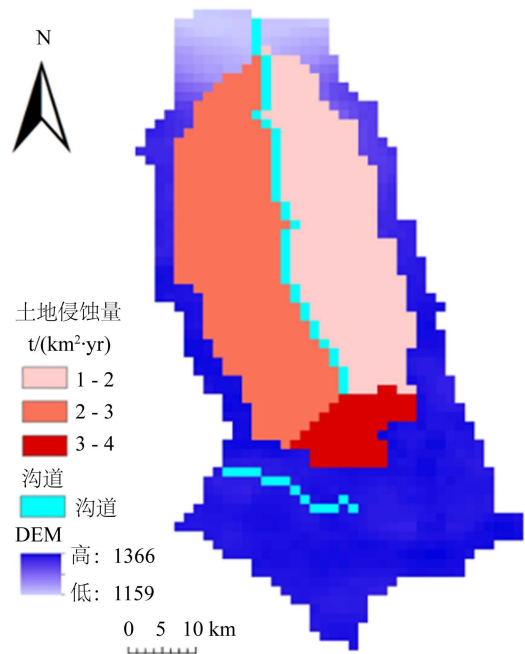


Figure 6. Original soil erosion distribution graph
图 6. 原始土壤侵蚀量分布图

3.5. 误差分析

由于模型中数据种类繁多、结构复杂，为了使模拟结果更贴切真实数据，要对模型进行校正与误差分析。可将流域多年的年径流量和产沙量与模拟结果对比判断其可靠性。据研究表明，如果模拟值与实测多年平均值的相对误差 R_e 的绝对值不高于 15%，则模拟的数值相对可靠性较好；如果相对误差大于 15%，则模拟的数值偏差较大[13]。

$$R_e = \frac{S_i - Q_i}{Q_i} \times 100\% \tag{2}$$

其中： R_e ——相对误差； S_i ——模型模拟值； Q_i ——实测多年平均值。相对误差 R_e ——反应出实测数

值与模拟数值间的差异程度。当 R_e 大于 0 时，则模拟数据比实测数据大；当 R_e 小于 0 时，则模拟数据比实测数据小；当 R_e 接近 0 时，则模拟值与实测值越接近。

根据杨家沟流域数据显示其多年的年径流量为 481198.56 m^3 ，平均产沙量为 9.756 t。将实际数据与模拟数据进行对比，见表 1。对比结果表明模拟数据均偏高，其中年径流量模拟值比实际值高了 89683.44 m^3 ，误差达到 18.6%，超过了可靠值；年产沙量模拟值比实测值高了 1.644 t，误差达到 16.85%，因此也超过了可靠值误差标准。所以此模型无论是年径流量还是年产沙量精确程度还不够。

Table 1. Comparison of measured and simulated values

表 1. 实测值与模拟值对比

名称	年径流量(m^3)	年产沙量(t)
实测值	481198.56	9.756
模拟值	570882	11.4
误差	89683.44 (18.6%)	1.644 (16.85%)

由于实测数据量较少，本文数据还不够精确。第一，本研究模型中主要采用的 DEM、土壤类型和土地利用为 30 m 分辨率，精度还不够；第二，植被覆盖、气候情况不能够完全按照实际自然情况，获取较为真实的数据有一定的困难；第三，模型参数大多数采取模型中自带数据，土壤饱和和导水率、细沟侵蚀参数、细沟侵蚀参数和土壤临界剪切力等都未进行校准。由于这些原因导致最终数据精确度还不够，精度还有待提高，都是本文的不足。

4. 结果与分析

控制杨家沟流域的土壤类型及土地利用不变，将沟头填埋的数据利用 ArcGIS 转换 ASCII 格式便于模型读取，再将这些数据及 DEM 进行模拟分析。进行沟头填埋处理后，提取了 153 个坡面、74 条沟道信息，模拟子汇流面积 0.82 km^2 ，界定土壤侵蚀阈值为 0.01 $\text{t}/(\text{ha}\cdot\text{yr})$ ，其土壤侵蚀分布如图 7。

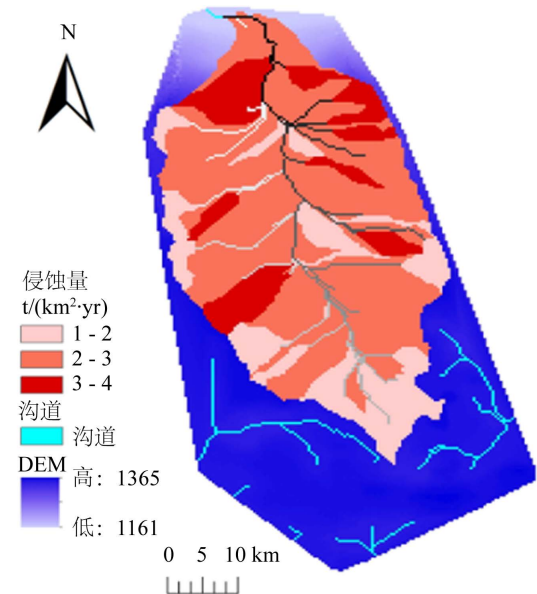


Figure 7. Soil erosion after gully consolidation graph
图 7. 沟头填埋后土壤侵蚀量分布图

采取沟头填埋后,切断了沟头对塬面的进一步侵蚀,阻挡了切沟对塬面的扰动和诱导塬面边缘坍塌、滑坡和边缘裂缝等地质灾害的发育,有效的减少了塬面积的缩减;沟头处侵蚀量明显降低,图中原深红色区域变为浅红色,但两侧又有局部土壤侵蚀出现红色,说明又生产了新的沟头、沟道,但原主要侵蚀源头已得到改善。查看模拟结果可得年径流量降为 495952 m^3 ,产沙量降低至 7.3 t 。又由于模型自带参数未进行校准,为了提高模拟结果的准确性,对其进行分析时只与模拟的原始土壤侵蚀量对比。其年径流量减少了 13.13% ,产沙量相对减少 37.61% 。对比进行沟头填埋前后,从整体上来看,年径流量和产沙量均有降低。总的来说采取沟头填埋对固沟保塬有了一定的作用。分析产生这样结果可能的原因是:采取沟头填埋措施后水流的路径发生了变化,由图 7 可知,填埋后水流路径变短变多,使得水流冲刷能力降低,只能形成更小径流。另一方面由于模拟情况是次降雨,降雨时间短,形成的径流量较少,不足以产生足够大的侵蚀量。

5. 结论

1) 根据模拟结果进行对比可得,杨家沟地区产沙量减少了 37.61% ,说明沟头填埋有效的阻止了黄土塬的进一步侵蚀,减少了侵蚀地面积。沟头填埋后年径流量也减少了 13.13% ,径流量相对减少了,地表下渗的径流相对增加了,减少的水对地下水进行了补充,对干旱的缓解提供了新思路。总体来说减轻了杨家沟地区的水土流失问题。

2) 沟头填埋后在沟头处依然会有新的较浅的沟头产生,因此需要对其进行长期的修整,对其进行长期的治理,必要时采取相应的引流措施。

本研究运用了 GeoWEPP 模型,进行了模拟分析沟头填埋前后杨家沟流域的变化,分析出其年径流量与产沙量均有所下降,因此采用 GeoWEPP 模型模拟对工程措施的可行性提供了可靠的验证手段。

致 谢

感谢冉红同学给以基础数据支持。

项目基金

大学生创新创业训练计划项目(项目编号: s201910710237)。

参考文献

- [1] 何福红. 基于“3S”技术的沟蚀研究方法构建与应用——以长江上游长山岭地区为例[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2006.
- [2] 彭舜磊, 赵迎春. 为什么我国森林覆盖率逐年提高而水土流失和荒漠化却日益严重[J]. 生态环境保护, 2002(2): 27-28.
- [3] 周琪龙. 黄土沟壑区土壤侵蚀与浅层滑坡相关关系研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [4] Gelder, B., Sklenar, T., James, D., Herzmman, D., Cruse, R., Gesch, K. and Laflen, J. (2018) The Daily Erosion Project-Daily Estimates of Water Runoff, Soil Detachment, and Erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, **43**, 1105-1117. <https://doi.org/10.1002/esp.4286>
- [5] 张洪江. 水土侵蚀原理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [6] 王建勋, 郑粉莉, 江忠善, 张勋昌. 基于 WEPP 的黄土丘陵区不同坡长条件下坡面土壤侵蚀预测[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 151-156.
- [7] 张禾裕, 叶艳妹, 谭勇, 刘华平. 我国土地调查标准化建设进程及展望[J]. 上海国土资源, 2018, 39(2): 4-7.
- [8] Huo, A., Huang, Z., Cheng, Y. and Van Liew, M.W. (2020) Comparison of Two Different Approaches for Sensitivity Analysis in Heihe River Basin (China). *Water Supply*, **20**, 319-327. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.159>
- [9] Huo, A., Peng, J., Chen, X., Lin, D., Wang, G. and Cheng, Y. (2016) Groundwater Storage and Depletion Trends in the

-
- Loess Areas of China. *Environmental Earth Sciences*, **75**, 1167. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5951-4>
- [10] Huo, A., Wang, X., Liang, Y., Jiang, C. and Zheng, X. (2019) Integrated Numerical Model for Irrigated Area Water Resources Management. *Journal of Water and Climate Change*, jwc2019042. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.042>
- [11] Huo, A., Zhang, H., Li, Z., Hua, L. and Ming, H. (2012) A Sampled Method of Classification of Susceptibility Evaluation Unit for Geological Hazards Based on GIS. *Applied Mathematics & Information Sciences*, **6**, 19S-23S.
- [12] Huo, A., Liang, Y., Peng, J., Cheng, Y. and Jiang, C. (2020) Spatial Characteristics of the Rainfall Induced Landslides in the Chinese Loess Plateau. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, **2020**, 1-16. <https://doi.org/10.1080/10807039.2020.1728517>
- [13] 苏仲仁. 黄土高原沟壑区小流域水土流失的特点、治理措施及防护体系[J]. 人民黄河, 1990(2): 59-63.