

黄土高原降雨侵蚀力时空分布

殷水清, 谢云

(北京师范大学 地理学与遥感科学学院 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 降雨侵蚀力时空分布规律定量研究是进行土壤侵蚀预报的基础。利用 231 个气象站多年平均年雨量资料估算了黄土高原地区多年平均降雨侵蚀力, 并绘制了等值线图。利用 17 个气象站日雨量和日雨强资料估算了半月降雨侵蚀力及其年内分配特征。全区降雨侵蚀力变化于 $327 \sim 4\,416 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 之间, 等值线图显示降雨侵蚀力的空间分布与年降水量的空间分布规律十分相似, 大致从东南向西北递减。半月降雨侵蚀力占年侵蚀力的累积频率表, 为估算土壤侵蚀方程中土壤可蚀性因子和植被覆盖—管理因子提供了基础。侵蚀力年内分配集中度指标反映出黄土高原 R 值年内分配集中度很高, 且多集中在 6—9 月, 集中度最大的达 96.4%, 最小的也有 66.9%。

关键词: 降雨侵蚀力; 黄土高原; 空间分布; 季节分配

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)04-0029-05

中图分类号: S157.1

Spatial Variations and Seasonal Distributions of Rainfall Erosivity on Loess Plateau

YIN Shu-qing, XIE Yun

(Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China,

Department of Resource and Environmental Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Information on erosive rainfall is key to predicting soil erosion. Average annual rainfall data from 231 weather stations were used to determine the spatial distribution of erosive rainfall. Daily rainfall and maximum 10-min intensity data from 17 weather stations were used to determine the seasonal distribution of erosive rainfall. Results showed that the erosivity of rainfall decreases from the southeast to the northwest of the Loess Plateau study region, with annual rainfall showing a similar pattern. From the 231 weather stations, the highest R value was more than $4\,000 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$, while the lowest was $327 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$. The percentage table of rainfall erosivity for a half month period was used to calculate soil erodibility and vegetation coverage factors. The seasonal distribution of erosive rainfall is very limited in the Loess Plateau. Of the 17 weather stations, the percentage of the sum of continual six-month erosive rainfall to annual erosive rainfall was from 66.9% to 96.4%.

Keywords: rainfall erosivity; Loess Plateau; spatial variations; seasonal distributions

黄土高原是世界上水土流失最严重的地区之一, 内蒙古河口镇至龙门区间的 $7.00 \times 10^4 \text{ km}^2$ 范围内, 平均土壤侵蚀模数达 $10\,000 \text{ t} / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 严重的高达 $30\,000 \sim 50\,000 \text{ t} / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[1]。侵蚀不仅导致土地资源的丧失和退化, 而且成为河流泥沙淤积的主要原因。黄河泥沙约有 90% 来自黄土高原^[2]。为此建国以来我国政府十分重视对黄土高原的水土流失治理, 并投入了大量资金进行水土保持, 而且将是一项长期进行的工作。如何进行科学治理, 保证有限的资金发挥最大的效益, 取决于对水土流失规律的定量认识。通用土壤流失方程 USLE^[3] 以及后来的修订版

RUSLE^[4] 是进行土壤侵蚀预报, 评价水土保持效益的技术工具。其中降雨侵蚀力是方程中一个最基础的因子, 它是指降雨引起土壤侵蚀的潜在能力。它与其它侵蚀因子如土壤、地形、地表覆盖以及水土保持措施等因子共同作用, 决定了一个地区的实际土壤流失量。

根据降雨侵蚀力的空间分布特征绘制降雨侵蚀力等值线图, 可以为没有降雨资料的地区插值估算侵蚀力提供依据; 而降雨侵蚀力的年内分配可以为计算季节或多年平均土壤可蚀性因子 (K) 和季节或多年平均地表覆盖—管理因子 (C) 提供重要参考。因此

收稿日期: 2004-06-25

资助项目: 国家自然科学基金 (40171059); 国家自然科学基金重点基金 (40235056)

作者简介: 殷水清 (1980—), 女 (汉族), 湖南省宁乡人, 硕士。主要从事降雨侵蚀力与水土保持、气候变化及其影响评价研究。电话 (010) 62207391, E-mail: yinlanyi8@163.com。

研究黄土高原降雨侵蚀力的空间分布和年内分配,是进行该地区土壤流失量预报的基础。

20 世纪 80 年代以来,不少学者对黄土高原降雨侵蚀力进行了广泛的研究^[5-10]。王万忠等^[10]利用黄土高原及邻近地区 164 个水文、气象站雨量资料,估算降雨侵蚀力 R 值,分析黄土高原 R 值的月及年内分布特征,绘制黄土高原及邻近地区年降雨侵蚀力等值线图。然而,由于地表植被覆盖在 1 个月内可能变化很大,以月为时段反映降雨侵蚀力的年内分配存在一定不足^[4],同时考虑到黄土高原降雨具有强度大、阵性大、局地强的特点,如能采用更为详细的降雨资料,即时间步长小,尽可能代表强度和阵性大的特点;空间间隔小,尽可能反映局地性强的特点,则无疑会提高降雨侵蚀力的精度。由于降雨过程资料的限制,需要使用常规降雨资料估算年降雨侵蚀力。伍育鹏等^[11]选择分布在我国 6 个主要气候带 10 个气象站的雨量资料,比较了国内外一些有代表性的简易算法,发现只用雨量估算年降雨侵蚀力,不仅简便,而且偏差较小,是一种可行的估算方法。因此,本文利用 1961—1990 年 231 个气象站多年平均年雨量资料,计算黄土高原多年平均年降雨侵蚀力,分析其空间变化特征,并绘制降雨侵蚀力等值线图;利用 1965—1979 年 17 个气象站日雨量和日雨强资料估算半月降雨侵蚀力,分析侵蚀力的年内分配特征,并编制半月时段 EI (Erosion Index) 值占年平均 EI 值的累积频率表,为进行该地区土壤流失预报和水土保持措施评价提供基础资料和背景。

1 资料和方法

不同学者由于研究目的和内容不同,对黄土高原范围的界定有差异^[2,12-14],如中国科学院黄土高原综合科学考察队定义的黄土高原地区包括黄土高原及其北部毗邻地区^[2]。考虑到长城以北地区以风蚀为主,降雨侵蚀力只表征由降雨引起的土壤侵蚀,因此本文所称黄土高原指东起太行山西坡,西至乌鞘岭和日月山东坡,南达秦岭北坡,北至于长城,大约位于北纬 34° — 40° ,东经 102° — 114° ,总面积约 $3.80 \times 10^5 \text{ km}^2$,占据山西、陕西、宁夏、甘肃等省、自治区的大部或一部分,平均海拔 1 200~1 600 m^[13]。收集黄土高原 231 个气象站 1961—1990 年多年平均年雨量,利用年雨量公式估算多年平均年降雨侵蚀力^[15]:

$$R = \alpha P^{\beta} \quad (1)$$

式中: R ——为多年平均的年降雨侵蚀力 ($\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a}$); P ——为多年平均的年雨量 (mm); α , β ——皆为系数。

章文波等^[16]利用全国 66 个气象站资料回归得到系数 α 为 0.066 8, β 为 1.626 6, 决定系数为 0.828。绘制降雨侵蚀力等值线图时,须进行站点之间的数值内插,插值方法采用空间自协方差最佳插值的 Krige 方法。1987 年王广德等^[17]撰文介绍了 Krige 空间内插方法在地理学中的应用,章文波等^[18]在绘制全国降雨侵蚀力图时采用的是 Krige 方法进行空间内插。收集黄土高原 17 个气象站 1965—1979 年日雨量及日 10 min 最大雨强资料,运用谢云等^[19]推算的用日雨量和日雨强计算半月侵蚀力的简易方法来估算各代表站点半月时段的 R 值。

$$R_{\text{半月}} = 0.184 \sum_{i=1}^n (P_d I_{d10})_i \quad (2)$$

式中: $R_{\text{半月}}$ ——半月降雨侵蚀力 ($\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{hm}^2 \cdot \text{h}$), 它是指每个月的前 15 d 作为 1 个半月时段,剩下的不管多少天都作为另一个半月时段; P_d —— $\geq 12 \text{ mm}$ 的日雨量 (mm); I_{d10} ——对应日最大 10 min 雨强 (mm / h), $i = 1, \dots, n$ 表示半月内有 $nd \geq 12 \text{ mm}$ 的降雨事件。

该半月侵蚀力模型的决定系数为 0.973。利用各半月时段的 R 值,可累加求出各代表站多年平均半月 R 值,并进一步计算出半月时段 R 值占年平均 R 值的累积频率。按照皮尔逊相关系数 (Pearson Correlation), 用离差平方和法 (Ward linkage), 对多年平均半月时段 R 值年内累积分布作聚类分析。离差平方和法是由 Ward 提出来的,根据方差分析原理,要求各类内样品之间的离差平方和应较小,类与类之间的离差平方和应较大。同时,降雨侵蚀力年内分配集中程度可用降雨侵蚀力年内分配集中度,即连续 6 个最大半月时段 R 值与年均 R 值的百分比反映。

2 结果与分析

2.1 降雨侵蚀力空间分布

在黄土高原选用的 231 个站点中,多年平均年降雨侵蚀力最高的达到 $4\,000 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 以上,最大值在陕西秦岭和华山,分别达到 $4\,416 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 和 $4\,105 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$; 甘肃省景泰县估算的 R 值最小,只有 $327 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。以各个站点计算的 R 值为基础进行空间插值。图 1 显示了黄土高原多年平均年降雨侵蚀力的空间分布状况。其空间分布特征与年降水量的分布规律十分相似, R 值分布大致从东南向西北递减。其中 R 值大于 $3\,000 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 的地区范围很小,主要分布在山西省五台县、陕西省南部的局部地区; R 值大于 $2\,000 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 的地区主要分布在黄

土高原的东、南部边缘,不足高原总面积的 1/5 左右; R 值小于 $1\ 000\ \text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 的地区主要分布在高原的西北部,所占面积也很小,大约为高原总面积的 1/10。另外, R 值有 2 个较大的高值中心,一个在陕西省黄陵县、宜君县附近,另一个在山西省交口县、隰县附近。与王万忠等^[10]得到的等值线相比较,等值线的大致分布趋势相似。由于本文用于绘制等值线的站点较密,故等值线分布较密;但由于选用的估算侵蚀力的指标不同,本文等值线图缺少榆林和延安 2 个高值中心。王万忠等估算榆林站和延安站的多年平均 R 值分别为 $1\ 487.3\ \text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 和 $1\ 476.5\ \text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$, 本文估算值分别为 $1\ 141.9\ \text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 和 $1\ 975.8\ \text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$, 两站的实测值分别为 $1\ 157\ \text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ 和 $1\ 350.6\ \text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$ ^[10]。

降雨侵蚀力表达了降雨因素对土壤侵蚀的潜在作用,但降雨侵蚀力的空间分布与实际土壤流失的状

况并不完全一致。从全球宏观角度看,在年雨量 $400\sim 500\ \text{mm}$ 的地区,由于降雨的侵蚀力较强,且植被覆盖状况又达不到保护地面免遭侵蚀的程度,土壤侵蚀最严重。黄土高原综合科学考察队^[2]根据黄土高原各县年雨量和输沙模数进行统计分析得出,在年雨量大约为 $400\sim 500\ \text{mm}$ 时,输沙模数最大,也就是土壤侵蚀最严重。黄土高原土壤侵蚀严重和最严重的地区大致呈东北西南走向的条带,斜穿黄土高原中部,其走向,大体与年雨量等值线的走向一致,并且主要分布在年雨量 $400\sim 500\ \text{mm}$ 的地区。年雨量大于 $500\ \text{mm}$ 的东南部,以及年雨量少于 $400\ \text{mm}$ 的西部,土壤侵蚀强度都小于上述中部地区。

某一地区的多年平均年降雨侵蚀力可以直接从 R 值等值线图中读取或通过线性内插求得。同时,表 1 给出了黄土高原不同年雨量下对应的多年平均降雨侵蚀力值。只要知道某一地区的年雨量,就可以通过查表或者插值大致估计当地的年降雨侵蚀力。

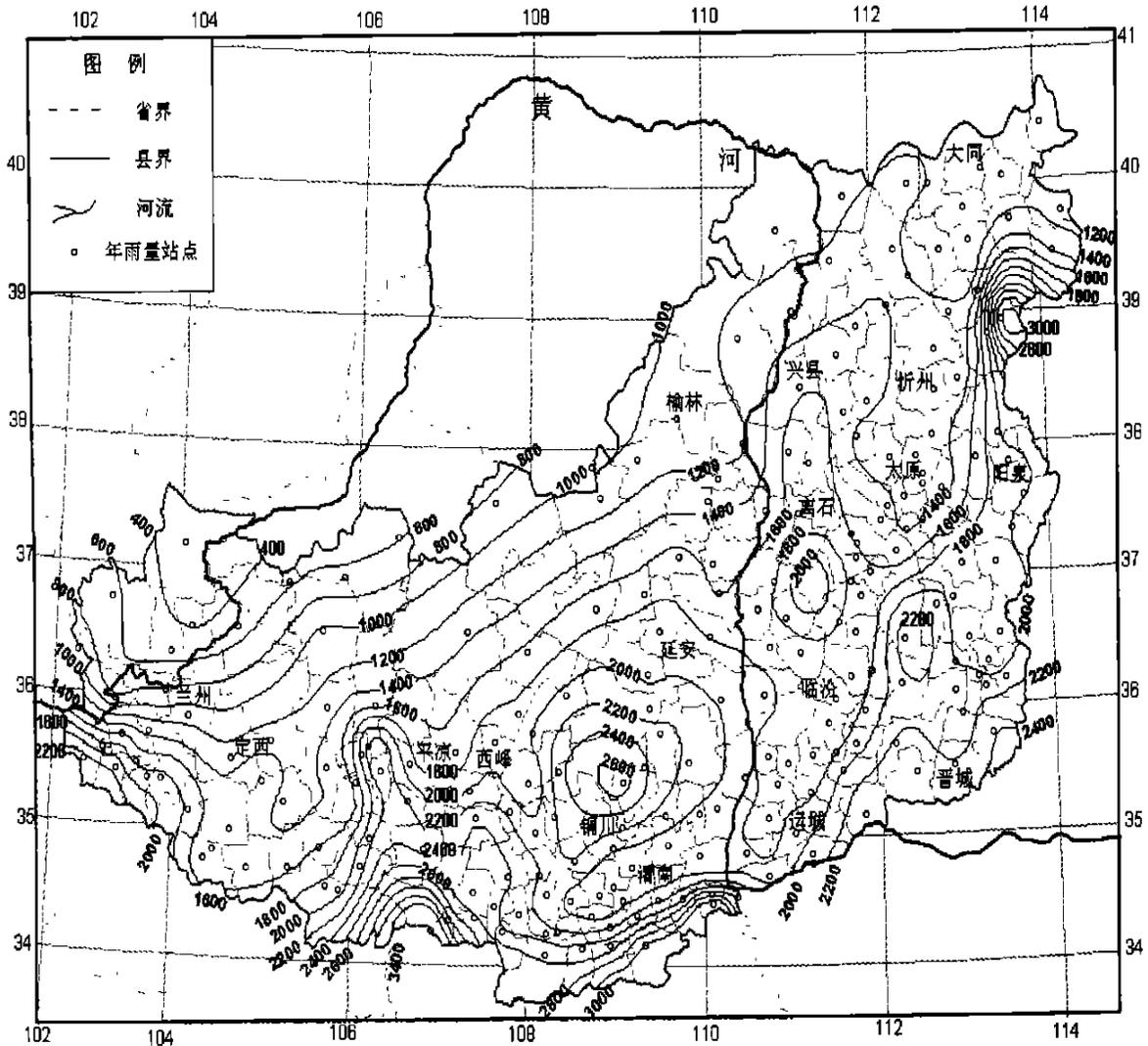


图 1 黄土高原多年平均年降雨侵蚀力等值线图 $[\text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})]$

表 1 黄土高原年雨量与多年平均年降雨侵蚀力的关系

P/mm	$R/(mJ \cdot mm^{-1} \cdot km^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1})$	P/mm	$R/(mJ \cdot mm^{-1} \cdot km^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1})$	P/mm	$R/(mJ \cdot mm^{-1} \cdot km^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1})$	P/mm	$R/(mJ \cdot mm^{-1} \cdot km^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1})$
140	20 685.6	360	96 129.8	580	208 818.2	800	352 324.3
160	25 703.8	380	104 966.9	600	220 656.8	820	366 763.5
180	31 131.7	400	114 100.4	620	232 745.2	840	381 425.0
200	36 951.5	420	123 524.7	640	245 080.5	860	396 306.9
220	43 148.1	440	133 234.5	660	257 659.8	880	411 407.3
240	49 708.2	460	143 224.8	680	270 480.2	900	426 724.3
260	56 620.3	480	153 491.2	700	283 539.1	920	442 256.0
280	63 873.9	500	164 029.2	720	296 833.9	940	458 000.8
300	71 459.8	520	174 834.7	740	310 362.2	960	473 956.9
320	79 369.5	540	185 903.8	760	324 121.5	980	490 122.7
340	87 595.2	560	197 232.8	780	338 109.6	1 000	506 496.5

2.2 降雨侵蚀力年内分配

在 USLE 和 RUSLE 中, 为计算季节或多年平均土壤可蚀性因子 (K) 和季节或多年平均地表覆盖—管理因子 (C), 需计算降雨侵蚀力的年内分配值。

$$K_w = 0.1317 \sum (EI_i) K_i \quad (3)$$

式中: K_w —— 是用 EI 加权平均得到的年平均土壤可蚀性值 ($t \cdot hm^2 \cdot h/hm^2 \cdot MJ \cdot mm$); 0.1317 —— 美制单位转换为国际制单位的转换系数; K_i —— 第 i 时段的土壤可蚀性值 ($t \cdot hm^2 \cdot h/hm^2 \cdot MJ \cdot mm$); EI_i —— 第 i 时段的 EI 值占全年 EI 值的百分比, 可以通过半月时段 EI 值占年平均 EI 值的累积频率表 (表 2) 查到。时段的划分与不同地区生长季或干湿季的起始时间及长短有关, 具体参见文献^[4] 或文献^[20]。

$$C = (R_1 EI_1 + R_2 EI_2 + \dots + R_n EI_n) / EI_t \quad (4)$$

式中: C —— 年平均值或一个作物生长周期的平均值, 无量纲; R_i —— 第 i 个时段的土壤流失比率; EI_i —— 第 i 时段的 EI 值占全年 EI 值的百分比; n —— 时段数; EI_t —— 所有时段 EI 百分比之和。关于时段的选取, USLE 和 RUSLE 是不同的。在第 1—2 版 USLE 中, 是将一个作物生长周期划分为几个农作期, 并假设在每个农作期内, 作物覆盖和管理对土壤侵蚀的影响基本一致。其中第 1 版是按照时间跨度划分了 5 个农作期, 第 2 版则依据植物冠层覆盖度划分了 6 个农作期。RUSLE 则不再划分农作期, 而是以半月为步长, 将全年分为 24 个时段。如果在 1 个半月时段内进行了一次生产活动, 则必须把所在的半月再细分为 2 段计算 R 和 EI 百分比。表 2 为半月时段 EI 值占年平均 EI 值的累积频率, t_1-t_{24} 分别表示 1 a 中的第 1~24 个半月, 第 $i+1$ 列 (从表中的第 2 列开始数) 的百分比值减去第 i 列的百分比值即为 EI_i 值, 如果要把半月时段再细分,

可以通过线性插值求得。如果所求的是年平均 C 值, 则 EI_i 为 1。

降雨侵蚀力年内分配的集中程度可用降雨侵蚀力年内分配集中度反映。表 2 显示, 黄土高原多年平均 R 值年内分配集中度很高。所选的 17 个站点, R 值年内分配集中度平均值为 88.6%。集中度最大的是陕西榆林站, 达 96.4%, 即 R 值年内分配非常集中; 最小的是陕西西安站, 也有 66.9%, 即年内分配集中度相对比较均匀。各半月时段降雨侵蚀力占年降雨侵蚀力累积频率的聚类结果参见表 2。图 2 给出了各类 3 个代表站点的累积频率图, 可以看出, 站点之间的总体差异比较小, 年降雨侵蚀力集中分布在 6—9 月。这与黄土高原汛期雨量的分配十分类似。黄土高原由于受季风气候的影响, 雨量的年内分配很不均匀。各地多年平均汛期雨量 (多数在 6—9 月), 均超过多年平均年雨量的 50%, 大部分地区在 65% 以上, 有的竟高达 94%, 形成明显的干湿季^[2]。比较起来, 西安站 (第 3 类) 的累积频率曲线比较平缓; 太原站 (第 1 类) 累积曲线比较明显的上升开始于 6 月下半个月 (第 12 个半月), 结束于 8 月下半个月 (第 16 个半月); 而兰州站 (第 2 类) 累积曲线比较明显的上升开始于 7 月上半个月 (第 13 个半月), 结束于 9 月上半个月 (第 17 个半月)。

3 结 论

降雨是引起黄土高原土壤侵蚀的主要动力因子。利用黄土高原 231 个测站 30 a 平均雨量资料估算 R 值, 范围在 327~4 416 $MJ \cdot mm / (hm^2 \cdot h \cdot a)$ 之间。分析 R 值的空间分布特征, 发现黄土高原 R 值的空间分布具有从东南到西北递减的趋势, 这与降雨量的空间分布特征相似。但是由于土壤侵蚀还受植被、土

壤、土地利用和水土保持等多种因素的影响,故侵蚀力的空间分布与实际土壤流失的状况并不完全一致。降雨侵蚀力的年内分配与植被覆盖季节变化的配合状况对土壤侵蚀有重大影响,利用黄土高原17个气象站1965—1979年日雨量及日10 min最大雨强资料得出半月侵蚀力占年侵蚀力的累积频率表,为土壤侵蚀方程中 K 因子和 C 因子的计算提供依据。侵蚀力年内分配集中度指标反映,黄土高原多年平均 R 值年内分配集中度很高,且多集中在6—9月。

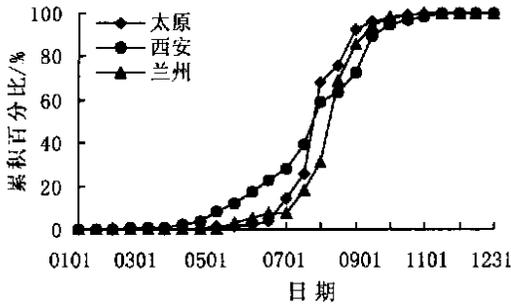


图2 代表站点半月 R 值占年平均 R 值的累积频率图

[参 考 文 献]

- [1] 中华人民共和国水利部. 全国水土流失公告[M]. 2002. 16.
- [2] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990, 1(19): 80—83.
- [3] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [M]. U. S. Dep. Agric., Agric. Handb. 1978. No. 537. 5—6
- [4] Renard K G, Foster G R, Weesies G A et al. Predicting Soil Erosion By Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [M]. U. S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 703. 1997, 87(165): 19—64.
- [5] 贾志军. 晋西黄土丘陵沟壑区降雨侵蚀力指标 R 值的确定[J]. 中国水土保持, 1987(6): 18—20.
- [6] 王万忠. 黄土地区降雨侵蚀力 R 指标的研究[J]. 中国水土保持, 1987(12): 34—40.
- [7] 江忠善, 贾志伟, 等. 降雨特性与水土流失关系的研究[A]. 西北水土保持研究所集刊, 1990(12): 1—3.
- [8] 贾西安, 等. 黄河中游地区降雨侵蚀力 R 值的初步研究计算[J]. 水土保持试验研究成果汇编第三集, 西峰水土保持站, 1992. 73—77.
- [9] 杨开宝, 等. 陕北黄土丘陵沟壑区降雨侵蚀力指标的研究[J]. 黄土丘陵水土保持与农业综合发展研究, 西安地图出版社, 1993. 108—118.
- [10] 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. 122—136.
- [11] 伍育鹏, 谢云. 国内外降雨侵蚀力简易计算方法的比较[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 31—34.
- [12] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理·总论[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 249.
- [13] 陈永宗, 景可, 等. 黄土高原现代侵蚀与治理[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [14] 国家教委委员会中国综合自然区划协作组. 中国自然区域及开发整治[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 163.
- [15] Yu, B, Rosewell C J. A robust estimator of the R -factor for the universal soil loss equation [J]. Transactions of the ASAE, 1996, 39(2): 559—561.
- [16] 付金生, 章文波. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 35—41.
- [17] 王广德, 过常龄. “Krig”空间内插方法在地理学中的应用[J]. 地理学报, 1987, 42(4): 366—374.
- [18] 章文波, 谢云. 中国降雨侵蚀力空间变化特征[J]. 山地学报, 2003, 21(1): 33—40.
- [19] 谢云, 章文波. 用日雨量和雨强计算降雨侵蚀力[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 53—56.
- [20] 刘宝元, 谢云, 等. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001. 81—88.

(上接第67页)

(2) 构建机修工程量、工作量综合计量的物理量——“土方加权运输量——土工量”(A), 建立了兼顾前述4个目标的优化设计简化数学模型, 可方便计算出该类型区不同坡度的优化设计方案; 再者A值是计算推土机推运土方费用的规一化计费标准, 比传统的按面积、按土方量和按土方量结合分段运距的计费方法简便、准确、适用。

(3) 提出了机修工程量、需台班数、埂坎修筑量、需人工数的计算式, 测定了梯田机修的效率参数, 一个台班的机修工作量相当于人修42个工日, 每 1hm^2 人修埂坎用工约150~225个工日, 机修比人修节约

费用21.3%。我国黄土高原面积广袤, 现有耕地面积 $1.30 \times 10^7\text{hm}^2$ 多, 需要进行坡改梯的面积超过了 $2.67 \times 10^6\text{hm}^2$, 推广机修梯田优化技术, 可以产生巨大的经济效益。

[参 考 文 献]

- [1] 牟朝相. 水平梯田工程设计[S]. 甘肃省水利厅水土保持局, 1992. 43—53.
- [2] 周孚明. 山地梯田埂坎设计探讨[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 281—282.
- [3] 牟朝相. 梯田田面高程设计的二元回归分析[J]. 中国水土保持, 1983. 44—48.