

# 用小时降雨资料估算降雨侵蚀力的方法

殷水清, 谢 云, 王春刚

(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: 降雨侵蚀力是进行土壤流失量预报的基本因子,  $EI_{30}$  是迄今得到广泛应用的定量指标, 但它的计算需要降雨过程资料, 使其推广应用受到很大限制。用自动气象观测提供的高精度等间隔降雨资料, 代替降雨过程资料, 是估算降雨侵蚀力指标的首选。国际上对此已有研究, 发现有很大的地区差异性。为此, 本文在水蚀严重的中国东部季风区选择 5 个代表站点, 共 456 次降雨过程资料, 建立了用 60 min 等间隔雨量资料估算次降雨侵蚀力的计算方法。研究结果表明: 直接用 60 min 等间隔资料计算的降雨侵蚀力指标值, 与用降雨过程资料计算的结果相比, 降雨动能  $E$  差异较小, 主要差异体现在最大 30 min 雨强  $I_{30}$  上, 由此导致降雨侵蚀力指标  $EI_{30}$  的差异也十分明显。利用自动气象观测小时雨量资料计算降雨侵蚀力指标值, 通过公式  $(EI_{30})_{bp} = 1.730 (EI_{30})_{60}$  转换, 可以较精确地估算全国降雨侵蚀力, 与用日、月和年降雨量资料的估算值相比, 能够提高土壤侵蚀预报精度。

关键词: 降雨过程资料; 小时降雨资料; 次降雨动能; 最大 30 min 雨强; 降雨侵蚀力指标  
文章编号: 1000-0585(2007)03-0541-07

降雨侵蚀力是进行土壤流失量预报的基本定量因子。Wischmeier 等<sup>[1, 2]</sup>研究发现降雨总动能  $E$  与最大 30 min 雨强  $I_{30}$  的乘积与土壤侵蚀量的相关关系最好, 于是确定  $EI_{30}$  作为降雨侵蚀力的指标 (以下简称  $EI_{30}$ )。由于它反映了雨滴击溅以及地表径流对土壤侵蚀的综合效应而得到比较广泛的应用, 如美国通用土壤流失方程 USLE<sup>[3]</sup> 和 RUSLE<sup>[4]</sup>、基于过程的土壤侵蚀与生产力模型 EPIC<sup>[5]</sup> 等, 都采用了该指标。我国学者也对该指标在中国不同地区的适应性进行了许多研究。黄炎和等<sup>[6]</sup>、周伏建等<sup>[7]</sup>、吴素业<sup>[8]</sup> 发现福建、安徽大别山区  $EI_{60}$  指标与土壤侵蚀的关系更好; 张宪奎等<sup>[9]</sup>、杨子生<sup>[10]</sup> 发现黑龙江、云南东北山区  $E_{60} I_{30}$  指标更好; 而赵富海等<sup>[11]</sup>、王万忠<sup>[12]</sup> 的研究表明, 张家口地区、西北黄土高原地区  $EI_{10}$  指标最好; 贾志军等<sup>[13]</sup>、江忠善等<sup>[14]</sup> 也提出黄土高原地区宜采用  $EI_{10}$ 。而王万忠等<sup>[15]</sup> 对全国不同地区的研究结果表明, 这些指标跟  $EI_{30}$  相比, 与土壤侵蚀的相关程度差别并非很大, 并兼顾了我国绝大多数地区的降雨特性, 因此建议采用  $EI_{30}$  作为计算中国降雨侵蚀力的指标。

$EI_{30}$  的计算需要降雨过程资料, 它是指雨量站利用自记雨量计连续记录降雨发生的时刻及累积降雨量, 然后根据降雨强度相等的原则, 将一次降雨断开为时间长度不一, 降雨强度相等的时段, 分别摘录各时段的历时和降雨量, 各个时段的雨强, 成为断点雨强。由于降雨过程资料较难获得, 断点雨强的获得也较繁琐, 从而限制了  $EI_{30}$  指标的推广应用。于是人们研究了一系列简易算法, 用年、月和日降雨量等气象常规观测资料估算  $EI_{30}$

收稿日期: 2006-06-15; 修订日期: 2006-10-22

基金项目: 国家重点基础研究发展计划课题 (2007CB407203); 国家自然科学基金 (40671111)

作者简介: 殷水清(1980-), 女, 湖南宁乡人, 博士生。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。

值<sup>[16~30]</sup>。从理论上说,降雨特性如历时、雨强分布等与土壤侵蚀的关系十分密切,使用简易算法计算  $EI_{30}$  时,所用的降雨资料对降雨特性描述得越详细,计算精度就越高。因此时段越短,精度越高的等间隔降雨资料成为代替降雨过程资料估算  $EI_{30}$  指标的首选资料。

Weiss<sup>[31]</sup> 利用概率方法推算了用降雨过程资料与等间隔资料计算  $I_{30}$  的转换系数。Istok 等<sup>[32]</sup> 在美国西部俄勒冈州 Elkin Road 流域选择了三个站点,利用 15 min 等间隔资料整编出 60 min 等间隔资料,建立了用该两类资料估算  $EI_{30}$  值之间的回归关系。1997 年 RUSLE<sup>[4]</sup> 在绘制美国西部地区降雨侵蚀力等值线图时,为了利用站点分布更加密集、资料序列更长的 60 min 等间隔资料,也使用了类似的方法,建立  $(EI_{30})_{15}$  与  $(EI_{30})_{60}$  之间的回归关系,据此,将 1082 个站点的  $(EI_{30})_{60}$  值换算为  $(EI_{30})_{15}$  值。其中,  $(EI_{30})_{15}$  和  $(EI_{30})_{60}$  分别表示用 15 min 和 60 min 等间隔资料计算的降雨侵蚀力指标。然后,假定两类资料计算的 E 值相等,利用 Weiss<sup>[31]</sup> 推算的  $(I_{30})_{15}$  与  $(I_{30})_{bp}$  的转换系数 1.0667,建立关系  $(EI_{30})_{bp} = 1.0667(EI_{30})_{15}$ ,从而将  $(EI_{30})_{60}$  值换算为  $(EI_{30})_{bp}$  值。基于同样的目的,俄勒冈州立大学在给美国环保署关于降雨侵蚀力空间分布的报告<sup>[33]</sup> 中,也建立了  $(EI_{30})_{15}$  与  $(EI_{30})_{bp}$  的转换方程,假定 E 相等,  $(I_{30})_{15}$  与  $(I_{30})_{bp}$  的转换系数为 1.034。Williams 等<sup>[34]</sup> 在分析美国东南部乔治亚州蒂夫顿某实验站等间隔资料时间精度和雨量精度对  $EI_{30}$  值计算的影响时指出,用两类资料计算的  $EI_{30}$  值之间存在线性相关,但不同气候区之间的相关系数可能存在差异。并且,在利用等间隔资料代替降雨过程资料估算  $EI_{30}$  的以往研究中,只是简单地假定两类资料计算的 E 值相等,很少将 E 和  $I_{30}$  分开来讨论。

随着自动气象观测的迅速普及,高精度等间隔雨量资料会被普遍使用,必须建立用等间隔雨量资料估算  $EI_{30}$  值的方法。国际上虽然已有此类研究,但是由于降雨成因不同导致降水特性的差异,不同地区建立的回归关系可能会有差异。我国目前尚没有利用小时等间隔资料计算  $EI_{30}$  值的研究。本文拟利用降雨过程资料及由其整理出来的资料,探讨能否用小时自动气象观测资料估算  $EI_{30}$  值,并且将 E 和  $I_{30}$  在利用 60 min 等间隔资料估算  $EI_{30}$  过程中的作用分开来讨论。这样既可更好地利用自动气象观测资料,也可提高  $EI_{30}$  值的计算精度,进而提高土壤流失量的预报精度。

## 1 资料和方法

在水蚀严重的中国东部季风区选择黑龙江宾县、北京密云、陕西团山沟、安徽岳西、福建安溪 5 个水土保持实验站,收集次降雨过程资料,共 456 次降雨(表 1)。这些水土保持实验站使用虹吸式自记雨量计,在自记纸上绘制累积降雨曲线,将整个降雨过程自动记录下来。根据累积降雨曲线的斜率变化划分出断点,将一次降雨过程分为若干连续的不

表 1 降雨过程资料站点情况

Tab. 1 Measured rain gauge recording data for 5 stations

站名	所在省(市)	纬度	经度	高度(m)	多年平均 降雨量(mm)	资料年限 (yr)	降雨次数
宾县	黑龙江	45°47'	127°27'	192.5	568.7	1985~1989	66
密云	北京	40°22'	116°52'	73.1	653.9	1993~1998	162
团山沟	陕西	37°36'	110°03'	896.0	431.1	1961~1969	146
岳西	安徽	30°52'	116°22'	431.0	1479.6	1984~1991	48
安溪	福建	25°04'	118°09'	89.4	1587.5	1999~2000	34

同时间间隔的时段, 每一时段内的雨强一致, 各时段间雨强不同, 形成次降雨过程资料。

将次降雨过程资料整理成 60 min 等间隔降雨资料。分别利用两类资料, 通过公式 (1)<sup>[35]</sup>, 计算降雨侵蚀力指标值。

$$EI_{30} = E I_{30} = \sum_{r=1}^k 0.29 [1 - 0.72 \exp(-0.05 i_r)] (\Delta V_r) (I_{30}) \quad (1)$$

式中,  $E$  表示次降雨总动能 ( $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ )。将一次降雨分成  $r=1, \dots, k$  个时段,  $i_r$  表示第  $r$  时段的平均雨强 ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $\Delta V_r$  表示第  $r$  时段的降雨量 ( $\text{mm}$ )。对于降雨过程资料, 时段划分的标准是时段内雨强没有变化, 而相邻时段的雨强不同; 对于 60 min 等间隔资料, 从次降雨过程开始算起, 每 60 min 作为一个时段。 $I_{30}$  表示最大 30 min 雨强 ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )。对于 60 min 等间隔资料, 不能得到真正的最大 30 min 雨强, 则假定:

$$I_{30} = P_{60} / 1.0 \text{hr} \quad (2)$$

式中,  $P_{60}$  表示 60 min 等间隔资料中提取的最大 60 min 雨量。

为了能够利用小时资料计算降雨侵蚀力, 需要建立 60 min 等间隔资料与过程资料计算降雨侵蚀力指标值的回归关系:

$$(E)_{bp} = c_1 [(E)_{60}] \quad (3)$$

$$(I_{30})_{bp} = c_2 [(I_{30})_{60}] \quad (4)$$

$$(EI_{30})_{bp} = c_3 [(EI_{30})_{60}] \quad (5)$$

式中,  $(E)_{bp}$ 、 $(I_{30})_{bp}$  和  $(EI_{30})_{bp}$  分别表示用降雨过程资料计算得到的降雨动能、最大 30 min 雨强和降雨侵蚀力指标值;  $(E)_{60}$ 、 $(I_{30})_{60}$  和  $(EI_{30})_{60}$  分别表示用 60 min 等间隔资料计算的相应值;  $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  为回归系数, 也即将等间隔资料估算的  $EI_{30}$  值转化为降雨过程资料计算的  $EI_{30}$  值的转换系数。从理论上讲, 当次降雨动能、峰值雨强趋于 0 时, 无论用何种资料计算,  $EI_{30}$  的值都应趋于 0, 因此上述方程都应该为通过原点的线性方程。

## 2 结果分析

直接用 60 min 等间隔资料计算的  $EI_{30}$  值与用降雨过程资料计算的  $EI_{30}$  相比, 差异较大 (图 1a), 5 个站平均相对误差系数为 45.7%。但是两类资料计算的  $EI_{30}$  值呈很好的线性关系 (图 1b), 我们可以通过建立两者之间的关系, 得到一个转换系数, 从而提高用等间隔资料计算降雨侵蚀力的精度。

统计检验结果表明<sup>[36]</sup>, 两类资料计算的降雨动能、最大 30 min 雨强和降雨侵蚀力指标值之间的关系均可表示为通过原点的线性方程, 方程的决定系数  $R^2$  反映了用等间隔资料代替过程资料估算降雨侵蚀力指标的效果 (表 2)。显然, 降雨动能的拟合关系最好, 5 个站方程的决定系数都为 0.99。其次为降雨侵蚀力指标  $EI_{30}$ , 5 个站方程的决定系数都在 0.83 以上, 平均为 0.93。最大 30 min 雨强  $I_{30}$  的拟合效果偏差, 决定系数变化于 0.77~0.97, 平均为 0.90。但总体表明, 可以用 60 min 等间隔资料来估算降雨侵蚀力。

用 60 min 等间隔资料计算  $E$  的转换系数变化于 1.080~1.124, 平均为 1.105; 计算  $I_{30}$  的转换系数变化于 1.627~1.731, 平均为 1.668; 计算  $EI_{30}$  的转换系数变化于 1.568~1.814, 平均为 1.730 (表 2)。从转换系数可以发现,  $EI_{30}$  与  $I_{30}$  的系数比较接近, 而  $E$  的系数接近于 1, 从而可知, 两类资料计算  $EI_{30}$  值的差异主要由  $I_{30}$  引起。比较 5 个站  $I_{30}$  的转换系数, 发现陕西团山沟最高, 为 1.731。分析原因, 可能主要跟这个地区高强度、短历时的降雨特征有关。不同站点之间降雨动能、最大 30 min 雨强和降雨侵蚀力的方程回

归系数变化不大, 变异系数分别为 1.59%, 2.08%, 5.62% (表 2), 但进一步用  $k$  条回归直线重合性检验方法<sup>[36]</sup> 检验显示, 5 个站点的回归直线在  $\alpha=0.05$  水平上存在显著差异, 因此不能将 5 个站点的样本合在一起回归。所以, 在确定转换系数时, 应根据当地的气候特征选择合适的转换系数。

将各个站用 60 min 等间隔资料计算的  $EI_{30}$  值乘以相应的转换系数调整后, 与用降雨过程资料计算的  $EI_{30}$  值相比, 差异明显减小 (图 1b), 5 个站平均相对误差系数由原来的 45.7% 降为 19%。

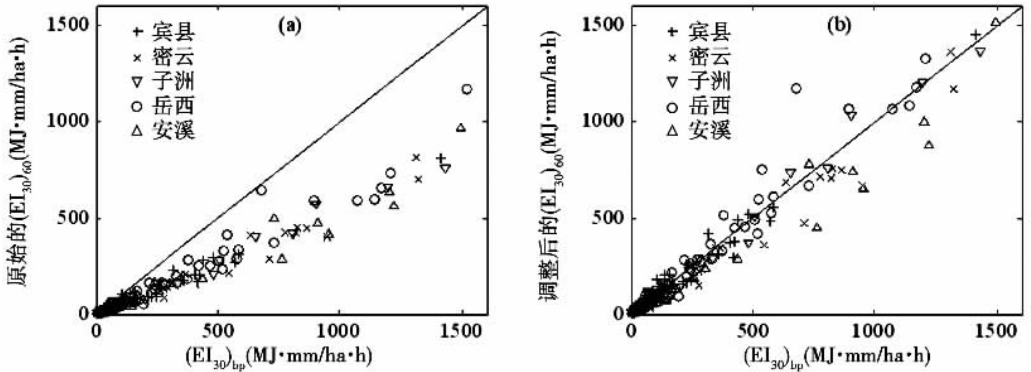


图 1  $(EI_{30})_{60}$  与  $(EI_{30})_{bp}$  的关系, 以及利用转换系数调整前后的对比 (a 调整前; b 调整后)

Fig. 1 Values for  $(EI_{30})_{60}$  calculated using 60 min interval rainfall data vs.  $(EI_{30})_{bp}$  values calculated from breakpoint rainfall data. Figure 1a shows the raw values of  $(EI_{30})_{60}$  and Figure 1b shows the values after application of the conversion factors from Table 2.

表 2 各站点用过程资料与 60 min 等间隔资料计算降雨侵蚀力指标的回归关系

Tab. 2 Regression for values of  $E$ ,  $I_{30}$  and  $EI_{30}$  based on breakpoint data and 60min interval data

气象站	$E$		$I_{30}$		$EI_{30}$	
	$c_1$	$R^2$	$c_2$	$R^2$	$c_3$	$R^2$
黑龙江宾县	1.107	0.99	1.658	0.94	1.789	0.97
北京密云	1.124	0.99	1.653	0.97	1.668	0.98
陕西团山沟	1.091	0.99	1.731	0.97	1.811	0.99
安徽岳西	1.123	0.99	1.627	0.77	1.814	0.88
福建安溪	1.080	0.99	1.673	0.85	1.568	0.83
平均	1.105	0.99	1.668	0.90	1.730	0.93
变异系数 (%)	1.59	0.01	2.08	0.09	5.62	0.09

Williams<sup>[34]</sup>的研究结果表明, 当雨量观测精度为 0.25mm 时, 用 60 min 等间隔资料估算  $E$  值的系数为 1.130, 与本文得到的系数 1.105 非常接近 (表 3)。RUSLE<sup>[4]</sup> 和俄勒冈州立大学的报告<sup>[33]</sup> 中, 都假定由过程资料和 15 min 等间隔资料计算的  $E$  值相等, 即转换系数为 1 (表 3); 本文得到过程资料与 60 min 等间隔资料的转换系数为 1.105, 也接近于 1, 但经检验, 在 95% 置信度上与 1 有显著差异。

Weiss<sup>[31]</sup>用 15 min 等间隔资料估算  $I_{30}$  时, 得到的转换系数为 1.0667, 1997 年 RUSLE<sup>[3]</sup> 在计算美国西部地区降雨侵蚀力时引用了这一系数 (表 3)。俄勒冈州立大学的报告<sup>[33]</sup> 中用 23 个站建立的转换系数平均为 1.034 (表 3), 并经检验在 95% 置信度上与

Weiss<sup>[31]</sup>的 1.0667 有显著差异。Williams<sup>[34]</sup>的研究得到, 当雨量记录精度为 0.25mm 时, 用 60 min 等间隔资料估算  $I_{30}$  的转换系数为 1.843 (表 3), 本研究得到的系数为 1.668, 二者略有差异, 可能与降雨特性有关, 不同地区得到的转换系数会存在差异。

Istok 等<sup>[32]</sup>在美国西部, 回归得到  $(EI_{30})_{60}$  与  $(EI_{30})_{15}$  的转换系数变化于 1.193~1.378 之间, 平均为 1.289 (表 3)。他进一步推论:  $(EI_{30})_{60}$  与  $(EI_{30})_{bp}$  的转换系数会大于这个值。实际上, 对于同一个地区, 如果雨量记录精度一致, 随着所用资料时间精度的提高 (即等间隔时段缩小, 如从 60 min 到 15 min 到过程资料),  $(EI_{30})_n$  的计算值会增大<sup>[34]</sup>。RUSLE<sup>[4]</sup>

计算美国西部地区降雨侵蚀力时, 通过 15 min 与 60 min 等间隔资料计算  $EI_{30}$  值的回归, 得到的回归系数在不同气候区之间变化于 1.08~3.16 之间。代入 Weiss<sup>[31]</sup>的研究结果, 得到 60 min 等间隔资料与过程资料的转换系数变化于 1.152~3.371 之间, 我们的研究结果在此范围内 (表 3)。Williams 等<sup>[34]</sup>得到  $(EI_{30})_{60}$  与  $(EI_{30})_{bp}$  的转换系数为 1.837, 本文为 1.730 (表 3), 地区之间的差异, 可能由降雨特性不同造成。

### 3 结论与讨论

为了更好地利用我国自动气象观测资料, 提高降雨侵蚀力指标  $EI_{30}$  的计算精度, 本文选择中国东部季风区 5 个水土保持站的降雨过程资料, 探讨了利用 60 min 等间隔资料估算降雨侵蚀力指标的方法。得到了用 60 min 等间隔雨量资料计算次降雨动能  $E$ 、最大 30min 雨强  $I_{30}$  和降雨侵蚀力  $EI_{30}$  的计算公式:

$$(E)_{bp} = 1.105(E)_{60} \quad (6)$$

$$(I_{30})_{bp} = 1.668(I_{30})_{60} \quad (7)$$

$$(EI_{30})_{bp} = 1.730(EI_{30})_{60} \quad (8)$$

直接用 60min 等间隔资料计算的降雨侵蚀力指标值, 与用过程资料计算的结果相比, 降雨动能差异较小, 主要差异体现在最大 30 min 雨强  $I_{30}$ , 由此导致降雨侵蚀力指标  $EI_{30}$  的差异也十分明显。通过以上公式, 便可以利用自动气象观测的小时雨量资料估算全国降雨侵蚀力, 与用日、月和年降雨量资料的估算值相比, 能够提高土壤侵蚀预报精度。

与他人研究结果的比较, 本研究方程中的转换系数存在一定差异, 可能与不同地区降雨特征不同有关。应选择时间序列更长、数量更多、分布更广泛的站点做进一步的研究。

#### 参考文献:

- [1] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transactions, American Geophysical Union, 1958, 39: 285~291.
- [2] Wischmeier W H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Science Society Proceedings, 1959,

表 3 用过程资料与等间隔资料计算降雨侵蚀力指标的研究结果比较

Tab. 3 Comparison of results about conversion factors of  $E$ ,  $I_{30}$  and  $EI_{30}$  with others

	$E$	$I_{30}$	$EI_{30}$
Weiss <sup>[31]</sup>		1.0667**	
Istok <sup>[32]</sup>			1.193~1.378***
Williams <sup>[34]</sup>	1.130	1.843	1.837
RUSLE <sup>[4]</sup>	1*	1.0667**	1.152~3.371
俄勒冈州立大学 <sup>[33]</sup>	1*	1.034**	
本文	1.105	1.668	1.730

注: \* 为  $(E)_{15}$  与  $(E)_{bp}$  的转换系数; \*\* 为  $(I_{30})_{15}$  与  $(I_{30})_{bp}$  的转换系数; \*\*\* 为  $(EI_{30})_{60}$  与  $(EI_{30})_{15}$  的转换系数。

- 23(3):246~249.
- [ 3 ] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. U. S. Dep. Agric., Agric. Handb., No. 537, 1978.
- [ 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). U. S. Dep. Agric., Agric. Handb. 703, 1997.
- [ 5 ] Sharpley A N, Williams J R. EPIC—Erosion/Productivity Impact Calculator. U. S. Department of Agriculture Technical Bulletin, No. 1768, 1990.
- [ 6 ] 黄炎和, 卢程隆, 郑添发, 等. 闽东南降雨侵蚀力指标 R 值的研究. 水土保持学报, 1992, 6(4): 1~5.
- [ 7 ] 周伏建, 陈明华, 等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值. 水土保持学报, 1995, 9(1): 13~18.
- [ 8 ] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力简易算法与时空分布规律研究. 中国水土保持, 1994, 4: 12~13.
- [ 9 ] 张宪奎, 许谨海, 卢秀琴, 等. 黑龙江省土壤流失方程的研究. 水土保持通报, 1992, 12(4): 1~9.
- [ 10 ] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究. 水土保持通报, 1999, 19(1): 1~9.
- [ 11 ] 赵富海, 赵宏夫. 编制张家口市降雨侵蚀力 R 值图的研究. 见: 永定河上游张家口市水土流失规律与土地改良利用. 北京: 环境科学出版社, 1995. 16~22.
- [ 12 ] 王万忠. 黄土地区降雨侵蚀力 R 指标的研究. 中国水土保持, 1987, (12): 34~40.
- [ 13 ] 贾志军, 王小平, 李俊义. 晋西黄土丘陵沟壑区降雨侵蚀力指标 R 值的确定. 中国水土保持, 1987, (6): 18~20.
- [ 14 ] 江忠善, 李秀英. 黄土高原土壤流失方程中降雨侵蚀力和地形因子的研究. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1988, 7: 40~45.
- [ 15 ] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1~20.
- [ 16 ] Arnoldus H M J. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. FAO Soil Bulletin, 1977, 34: 39~51.
- [ 17 ] Richardson C W, Foster G R, Wright D A. Estimation of erosion index from daily rainfall amount. Transactions of the ASAE, 1983, 26(1): 153~156.
- [ 18 ] Lo A, El-Swaify S A, Dangler E W, *et al.* Effectiveness of  $EI_{30}$  as an erosivity index in Hawaii soil erosion and conservation. Soil Conservation Society of America, Ankeny. 1985. 384~392.
- [ 19 ] Ferro V, Giordano G, Iovino M. Isoerosivity and erosion risk map for Sicily. Hydrol. Sci. J., 1991, 36(6): 549~564.
- [ 20 ] Renard K G, Freimund J R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the Revised USLE. Journal of Hydrology, 1994, 157: 287~306.
- [ 21 ] Yu B, Rosewell C J. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales. Australian Journal of Soil Research, 1996, 34: 139~152.
- [ 22 ] Yu B, Rosewell C J. A robust estimator of the R-factor for the universal soil loss equation. Transactions of the ASAE, 1996, 39(2): 559~561.
- [ 23 ] Yu B. Rainfall erosivity and its estimation for Australia's tropics. Australian Journal of Soil Research, 1998, 36(1): 143~165.
- [ 24 ] 孙保平, 等. USLE 在西吉县黄土丘陵沟壑区的应用. 西北水土保持研究所集刊, 1990(12): 50~103.
- [ 25 ] 刘秉正. 渭北地区 R 的计算与分布. 西北林学院学报, 1993, (2): 21~29.
- [ 26 ] 马志尊. 应用卫星影像估算通用土壤流失方程各因子值方法的探讨. 中国水土保持, 1989, (3): 24~27.
- [ 27 ] 谢云, 章文波, 刘宝元. 用日雨量和雨强计算降雨侵蚀力. 水土保持通报, 2001, 21(6): 53~56.
- [ 28 ] 章文波, 谢云, 刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究. 地理科学, 2002, 22(6): 706~711.
- [ 29 ] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力. 资源科学, 2003, 25(1): 35~41.
- [ 30 ] 章文波, 谢云, 刘宝元. 用雨量和雨强计算次降雨侵蚀力. 地理研究, 2002, 21(3): 384~390.
- [ 31 ] Weiss L L. Ratio of true to fixed-interval maximum rainfall. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 1964, 90(1): 77~82.
- [ 32 ] Istok J D, McCool D K. Effect of rainfall measurement interval on EI calculation. Transactions of the ASAE, 1986, 29(3): 730~734.
- [ 33 ] Christopher Daly, George H Taylor. Development of New Spatial Grids of R-factor and 10-yr  $EI_{30}$  for the Conterminous United States. The U. S. Environmental Protection Agency (EPA), Las Vegas; NV. 2002.

- [34] Williams R G, Sheridan J M. Effect of measurement time and depth resolution on EI calculation. Transactions of the ASAE, 1991, 34(2): 402~405.
- [35] Brown L C, G R Foster. Storm erosivity using idealized intensity distribution. Transactions of the ASAE, 1987, 30: 379~386.
- [36] 袁志发, 周静芋. 试验设计与分析. 北京: 高等教育出版社, 2000. 165~171.

## Calculation of rainfall erosivity by using hourly rainfall data

YIN Shui-qing, XIE Yun, WANG Chun-gang

(Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China,  
School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Rainfall erosivity shows the potential ability of the soil loss caused by rainfall and it is a very important factor for predicting soil loss from agricultural hillslopes.  $EI_{30}$  is a widely used index for quantifying rainfall erosivity. The 'E' portion of this value represents the rainfall energy, and the ' $I_{30}$ ' portion represents the maximum, contiguous 30-minute rainfall intensity during the storm. Normally,  $EI_{30}$  values are calculated from breakpoint rainfall information taken from continuous recording rain gauge charts, however, in many places in China the detailed chart-recorded rain gauge data relative to storm intensities are not readily available. Obviously, the more detail of the rainfall data was used, the more accurate of EI values were given. In order to take advantage of hourly rainfall data in automatic meteorological observation stations and improve the precision of EI values. A total of 456 storm events in 5 soil conservation stations over eastern China were used to determine if EI values could be calculated by using hourly rainfall data (60-min interval data). Results indicated that the values of  $EI_{30}$  based on the 60 min interval data were less than those calculated from breakpoint data. The average conversion factors (ratio of values calculated from the breakpoint data to those from 60 min interval data) for the five stations are 1.105 for the estimation of E values, 1.668 for  $I_{30}$  values, and 1.730 for  $EI_{30}$  values. The differences between two kinds of EI values based on breakpoint data and hourly rainfall data are mainly caused by maximum 30-min rainfall intensity. Hourly rainfall data can be used to accurately determine the rainfall erosion index values by using this function:  $(EI_{30})_{bp} = 1.730(EI_{30})_{60}$ . The result could be used to improve the estimation of rainfall erosivity indices, and hence prediction of soil erosion in China.

**Key words:** breakpoint data; hourly rainfall data; rainfall event energy; maximum 30-min rainfall intensity; rainfall erosivity index