

气候变迁情境下土壤冲蚀可能变化^{*}

江介伦¹, 邱宏彬²

(1. 屏东科技大学 水土保持系, 台湾 屏东 912; 2. 成功大学 水利及海洋工程学系, 台湾 台南 701)

摘 要: 降雨是导致土壤冲蚀的主要原因, 而通用土壤流失公式 (USLE) 为目前世界上应用最广泛的土壤流失模式, 式中之降雨冲蚀指数直接反映了降雨对土壤侵蚀的程度, 为评估土壤侵蚀状况的重要因子之一。研究以基隆、新竹、嘉义、高雄、宜兰、花莲、台东等雨量测站资料之历年雨量记录建立各月之降雨冲蚀指数, 所采用之记录为 1975–2000 年之降雨资料, 并建立月降雨冲蚀指数及月降雨量关系式。由于气候变迁导致的降雨变化将影响土壤冲蚀之估算, 而不同时间之雨量资料所推估的降雨冲蚀指数精度不同, 又必须配合气候变迁模拟之时间尺度, 故本研究以月雨量及月降雨冲蚀指数为基础探讨之。采用 IPCC 公告之 B2 情境下的大气环流模型 (GCMs) 模拟基隆、新竹、嘉义、高雄、宜兰、花莲、台东等测站未来降尺度月雨量变化, 推估基隆、新竹、嘉义、高雄、宜兰、花莲、台东等测站未来短期、中期、长期之月降雨冲蚀指数, 以供推估土壤流失量, 可以发现各模型之平均值未来土壤冲蚀量在 B2 情境约 –80% ~ +60%。

关键词: 大气环流模型; 通用土壤流失公式; 降雨

中图分类号: S157.1; P467

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0229-06

Soil Erosion Variation Under Climate Change Scenarios

CHIANG Jie-lun¹, CHIU Hung-pin²

(1. Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan 912, China; 2. Department of Hydraulic & Ocean Engineering, National Chengkung University, Pingtung, Taiwan 701, China)

Abstract: Rainfall is the main factor resulting in soil erosion. USLE is the most commonly used formula to estimate soil erosion in the world. The rainfall erosion index is one of the most important factors which directly reacts the degree of soil erosion. The rainfall records (from 1975 to 2000) of Keelung, Hsinchu, Chiayi, Kaohsiung, Ilan, Hualien and Taitung released by Central Weather Bureau were used in this study to establish the relationship between the monthly rainfall erosion index and monthly rainfall amount. Because the precision of rainfall erosion index estimated by the rainfall data from different timescales is different, and moreover the timescale of GCMs has to be considered. In this study, we use GCMs of the downscaling monthly rainfall data simulated by GCMs under B2 scenario issued by IPCC to estimate the short-term, medium-term and long-term monthly rainfall erosion index in the future of Keelung, Hsinchu, Chiayi, Kaohsiung, Ilan, Hualien and Taitung released by Central Weather Bureau, and to estimate soil loss variation. The results show that the soil erosion ranges of average variation from different models are –80% ~ +60% in B2 scenario.

Key words: general circulation model (GCM); universal soil loss equation (USLE); rainfall

台湾地质脆弱, 高山地势陡峭, 加上降雨多集中于 5–10 月, 每当降雨时, 会对土壤表面造成冲蚀, 形成灾害。目前台湾土壤流失量之计算是采用土壤通用流失公式 (USLE 公式), 其中降雨冲蚀指数 (R 值) 与降雨息息相关, 因此黄俊德^[1]、卢光辉^[2] 和卢

昭尧^[3] 等人曾先后绘制台湾地区年等降雨冲蚀指数图, 以提供查询台湾各地之年降雨冲蚀指数, 然而各地区各月之月降雨冲蚀指数并不能以年降雨冲蚀指数来表示, 加上近几年来气候出现异常之变化, 影响了降雨之分布及强度。

^{*} 收稿日期: 2009-08-16

作者简介: 江介伦 (1972–), 男, 博士, 助理教授, 台湾嘉义人, 主要研究方向为遥测水文及多尺度时空信息分析。E-mail: jlchiang@mail.npust.edu.tw

由于降雨冲蚀指数与降雨息息相关,而降雨又为影响土壤冲蚀之主要原因之一,因此气候变迁的降雨变化也将对土壤冲蚀产生冲击。为了能够真实反映各地区各月之月降雨冲蚀指数,本研究将以过去之降雨资料,推算出各地区各月之月降雨量与月降雨冲蚀指数之关系式,并利用 IPCC 提供之数据以仿真气候变迁之月雨量数据分析未来月降雨冲蚀指数之变化。

1 土壤冲蚀学科发展回顾

1.1 通用土壤流失公式(USLE)

通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation; USLE)是由 W. H. Wischmeier 及 D. D. Smith 所制定^[4]。他们收集并分析全美 21 州 36 个地方,超过 7 500 个标准试区年(Standard plot-year)及 500 个集水区年(watershed-year)的数据,重新评估影响土壤流失量的因子,而发展成为现今广为世界各国使用的通用土壤流失公式如式(1)。

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

式中: A ——每公顷之年平均土壤流失量($\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); R ——年平均降雨冲蚀指数 $[(10^6 \text{ J} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$; K ——土壤冲蚀性指数 $[(\text{t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})/(10^6 \text{ J} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{a})]$; L ——坡长因子; S ——坡度因子; C ——作物管理因子; P ——水土保持处理因子。

降雨冲蚀指数的大小代表了降雨及径流对土壤可能造成冲蚀程度的高低。W. H. Wischmeier 及 D. D. Smith^[5]经由现场实测的土壤流失资料发现,土壤流失量与降雨总动能和该场降雨最大 30 min 降雨强度之乘积成正相关。据此,该乘积被命名为降雨冲蚀指数,且该指数是可以累加的。因此,单场降雨的降雨冲蚀指数为该场降雨的降雨总动能与该场降雨最大 30 min 降雨强度之乘积。同理,月降雨冲蚀指数即为该月份内各场降雨之降雨冲蚀指数的累积;而年降雨冲蚀指数即为该年内各场降雨之降雨冲蚀指数的累积,亦即:

$$(EI)_{M/Y} = \sum_{i=1}^m (E \cdot I_{30})_i \quad (2)$$

式中: $(EI)_M$ ——月降雨冲蚀指数; $(EI)_Y$ ——年降雨冲蚀指数; E ——每公顷之单位降雨量之降雨动能($10^6 \text{ J}/\text{hm}^2 \cdot \text{mm}$); I_{30} ——最大 30 min 降雨强度(mm/h)。

每公顷单位降雨量之降雨动能公式乃是 W. H. Wischmeier 及 D. D. Smith 根据 Laws 和 Parsons 于 1943 年对自然降雨雨滴粒径实测之数据推

导而成,该降雨动能公式如式(3)。

$$\begin{aligned} E &= 0.119 + 0.0873 \log 10I \quad I < 76 \text{ mm/h} \\ E &= 0.283 \quad I \geq 76 \text{ mm/h} \end{aligned} \quad (3)$$

W. H. Wischmeier 及 D. D. Smith 的降雨动能公式反映出自然降雨之雨滴粒径在当降雨强度超过 76 mm/h 后不随降雨强度增强而增加的现象,因此当降雨强度超过 76 mm/h 后,降雨动能为一常数。

1.2 降雨冲蚀指数之相关研究

台湾年等降雨冲蚀指数图之绘制,最早是由黄俊德绘制完成。黄俊德利用非线性回归方程式表示各地区年降雨冲蚀指数与年降雨量之关系式,推估台湾之年降雨冲蚀指数,陆续完成台湾西南部降雨冲蚀指数之研究^[6]、台湾中部降雨冲蚀指数之研究^[7]、日月潭降雨冲蚀指数之研究^[8]、台湾北部降雨冲蚀指数之研究^[9]和台湾降雨冲蚀指数之研究^[1],最后再以差距测定分类法(Distance measures for the classification of observed paint patterns)将全台湾之雨量站给予归类于 8 处测候所中(基隆、新竹、台中、日月潭、高雄、恒春、花莲与台东)。

为了有效规范山坡地之开发以切实做好水土保持,卢光辉^[2]针对影响土壤冲蚀诸多因子中,与雨水冲蚀关系最密切的因子“降雨冲蚀指数”进行修订,利用 1977–1994 年全省各测站收集的降雨纪录,添加至用于评估降雨冲蚀指数的数据库内,以较长统计年数修订降雨冲蚀指数,并绘制成台湾年等降雨冲蚀指数图。

卢昭尧等人^[3]针对通用土壤流失公式中之降雨冲蚀指数(R)做探讨,历经 6 a 先后于中部台中、南投地区及北部阳明山、台北市、东半部基隆、宜兰、花莲、台东等地区及西半部新竹、嘉义地区实测天然雨滴粒径分布,修正 USLE 降雨动能公式,并依据历年有效降雨纪录,计算其年降雨冲蚀指数及月分布。同时,参考吴嘉俊等人^[10]推导之屏东老埤地区降雨动能公式,配合高雄气象站之历年有效降雨纪录,计算其 R 值。此外,依据台湾地区之地形、地势高低与降雨特性,将全台划分 10 个降雨分区,推求 R 值与年降雨量关系式,修订台湾地区之年等降雨冲蚀指数图。

1.3 降尺度方法之相关研究

过去数十年中,经由海洋大气现象了解气候之研究已做了很多^[11-12],而了解这些现象有助于改善长期气候之预报。这些预测是基于耦合大气环流模式(Coupled ocean-atmosphere general circulation models, OAGCMS)或统计方法,如正准相关性分析法(Canonical correlation analysis, CCA),利用各

测站的气象数据进行 CCA, 而由结果进行分类。Wood 等人^[13] 利用海平面温度当作基准仿真与预测未来月至年的状况, 认为海平面温度能有效地用来评估模式的预测能力。

Wilby 等人^[14] 于美国 Colorado 的集水区, 比较统计与动力降尺度方法, 利用 NCEP/NCAR 之输出数据应用于地面之水文模式并比较其流量, 其结果强调需要对于气候模式之输出数据进行误差修正, 并证实统计降尺度需要较少的计算量且统计与动力降尺度能产生相似结果的观点, 因此后续的研究可以采用统计方法进行降尺度分析。

谢明升^[15] 使用 ECHAM 4.5 季节性气候预报数据进行降尺度。降尺度模式的建立乃利用线性回归法与遗传规划法, 以平均绝对误差作为选取降尺度方法的依据, 经过比较两种方法后, 对于温度的降尺度采用线性回归法较有效率, 对于雨量的降尺度则需分月运用遗传规划法分别建立各月之数学函数式较为理想。

唐亦宣^[16] 透过降尺度 (downscaling) 过程推求能代表小尺度区域特性的气候变迁信息。根据模式验证结果以各月平均雨量显示, 支撑向量机降尺度法有较好之模拟结果, 而对于未来模拟情况则 3 种方法趋势不尽相同, 目前 GCMs 对于未来气候变化情境下降雨预测存在高度不确定性, 此 3 种降尺度模式是进行降雨时空模拟, 分析小尺度下未来降雨变化可能情境的一种较为简单、经济的方法, 可作为以后评估水资源冲击之参考。

1.4 气候变迁之相关研究

McGuffie^[17] 以 5 种不同 GCMs 模式仿真温室气体浓度增加时, 发现全球大部分地区的降雨强度将增加, 指出人为因素可能会助长气候变迁的程度。A. M. Nearing^[18] 利用 1961–1980 年气象数据配合 ukmo hadley3 模式预测分析 1960–2099 年气候情境, 探讨未来气候变化可能会影响到中国各地土壤侵蚀和水资源变动情形, 该模式仿真结果指出未来 30 年间, 中国东部、中部, 将面临一个炎热和干燥的气候, 而东北部和东南部可利用的水资源, 将降低为 20%。同时, 在黄河、长江流域及中国东北等水土流失量高之地区, 未来降雨冲蚀预计将会大幅增加。杨智翔^[19] 以 CLIGEN 气候生成模式配合气象数据, 合成产生出与降雨相关之参数, 用以输入评估土壤冲蚀之模式, 研究针对台湾北部地区土壤冲蚀有效降雨事件, 利用 CLIGEN 模式进行仿真, 结果显示在降雨量、降雨月分布及降雨事件机率上模拟结果良好, 但在降雨冲蚀指数部分, 有偏低之现象。

推究结果, 乃因台湾地区属海岛型季风气候, 常受随台风而来之高强度暴雨影响, 因此造成此一误差现象之发生。江介伦等人^[20] 利用 IPCC 公告之 GCMs 模拟气候变迁资料, 配合台湾地区降雨量与降雨冲蚀指数关系式, 分析气候变迁对降雨冲蚀指数之影响及不同模式间之变异范围, 修订气候变迁条件下台湾地区之降雨冲蚀指数, 并于 2008 年利用台湾地区月降雨量与月降雨冲蚀指数之关系式, 分析气候变迁对降雨冲蚀指数之影响及不同模式间之变异范围, 修订气候变迁条件下台湾地区之降雨冲蚀指数^[21]。

2 材料与方法

研究探讨气候变迁下降雨冲蚀指数之变化乃以未来之月雨量与降雨指数之关系模式为主, 藉由台大全球气候变迁研究中心将 GCM 仿真资料统计降尺后之雨量资料, 估计未来短、中、长期之月雨量, 再透过月雨量及降雨冲蚀指数关系模式, 即可推估未来各时期之降雨冲蚀指数, 其中各项详述如下。

2.1 气候变迁情境模式

本研究引用全球气候变迁研究中心将大气环流模式透过降尺过程设定气候预设情境, SRES 预设情境属于温室气体排放情境, 亦即预测未来可能之经济、人口、工业与环境的发展趋势, 提出可能温室气体排放的趋势, 依据 IPCC 第三次报告, 目前依照 SRES 排放情境所模拟出来的情境以 A2 与 B2 情节为主。

SRES-A2 是描述一个非常多变异性组成的世界。主要主题在于各国自力更生, 与维持地方发展, 而全球人口不断地增加。经济成长主要为区域性成长, 而每人经济成长率及技术的改进较其它情节破碎且缓慢。

SRES-B2 主要是描述地方性经济、社会与环境永续性的结果。全球人口持续增加, 却比 A2 情节慢。经济发展中等, 而科技的改变比 B1, A1 较缓且更多相异性。而情节主要也以社会平等与环境的保护为目标, 且发展为区域性发展。综合言之, A2 与 B2 两种情境不同之处, A2 是对于未来较悲观的情境, 而 B2 则是对未来较乐观的情境。本研究是以 B2 情境作一分析说明。

2.2 短中长期之气候变迁

根据 IPCC 所提供之资料, 其 Base-line 是以 1961–1990 数据为现况数据, 以 2010–2039 年仿真数据进行平均, 代表 2020s 年气候变迁平均趋势, 可做为短期气候变迁预设情境之预测; 2040–2069 年数据进行平均, 代表 2050s 年气候变迁平均趋势。

可作为中期气候变迁预设情境之预测; 2070– 2099 年数据进行平均, 代表 2080s 年气候变迁平均趋势, 可作为长期气候变迁预设情境之预测, 所有结果与现在气候状态下之 Baseline 模拟结果作比较, 以了解气候变迁对水土资源之冲击。对于未来各时期的雨量估计如式(4)所示:

$$P_{m,n} = P_{m,o} \times Q_{m,n} \quad (4)$$

式中: $P_{m,n}$ ——未来 n 时期第 m 年之降雨量平均值; $P_{m,o}$ ——基期第 m 年降雨量观测平均值; $Q_{m,n}$ ——未来 n 时期第 m 年之降雨情境(雨量比值), 乃是未来可能雨量与基期雨量之比值。降雨比值乃是未来可能雨量与基期雨量之比值, 大于 1 表示雨量为增加, 小于 1 则为减少。

2.3 月降雨冲蚀指数之推估

选用嘉义、新竹、花莲、宜兰、高雄、基隆和台东等 7 个测站之降雨资料(1975– 2000 年), 根据单场降雨之定义找出各单场降雨之起迄时间, 以计算各单场降雨之最大 30 min 降雨强度, 再根据 W. H. Wischmeier 及 D. D. Smith 所推导之降雨动能公式, 以求得总动能, 之后将各单场降雨之最大 30 min 降雨强度和总动能相乘即得降雨冲蚀指数, 而将各月内所发生的单场降雨之冲蚀指数累加起来即为各月之降雨冲蚀指数。

2.4 回归关系式之建立

利用嘉义、新竹、花莲、宜兰、高雄、基隆和台东等 7 个测站所得到之月降雨量和月降雨冲蚀指数, 利用乘幂式之回归方程式来表示, 即:

$$y = ax^b \quad (7)$$

式中: y ——本研究中之月降雨冲蚀指数; x ——本研究中之月降雨量; a 和 b 为参数。

3 结果与讨论

3.1 月降雨量与月降雨冲蚀指数之关系

根据本研所得之回归结果, 嘉义测站 1– 12 月回归关系式之判定系数为 0.567 5~ 0.930 4; 新竹、花莲、宜兰、高雄、基隆、台东测站分别为 0.568 8~ 0.913 1, 0.361 7~ 0.555 0, 0.470 6~ 0.897 0, 0.462 7~ 0.871 4, 0.461 7~ 0.842 2, 0.217 1~ 0.763 3, 可看出花莲站之相关性偏低。

3.2 气候变迁对土壤流失量之冲击

探讨 B2 情境下, 5 种模式平均值之 1– 12 月未来短、中、长 3 期之月降雨冲蚀指数之变异程度, 如表 1 所示。假设未来 USLE 公式中, K (土壤冲蚀性指数)、 L (坡长因子)、 S (坡度因子)、 C (作物管理因子)、 P (水土保持处理因子)等因子维持不变, 则月

降雨冲蚀指数之变异程度即为土壤流失量之变异程度。模拟结果各站虽不尽相同但略有台湾西部嘉义、新竹、花莲、高雄等测站有类似结果, 东部花莲、宜兰和台东等 3 站结果类似, 因此以下仅分别以嘉义与台东测站数据列于表 1, 详加探讨台湾东部与西部之异同。

(1) 西部– 嘉义测站于 1– 4 月之土壤流失量有递减之趋势, 短、中、长 3 期下降之范围为 20%~ 80%; 5– 7 月之土壤流失量无明显之变化趋势; 8 月之土壤流失量有增加之趋势, 短、中、长 3 期上升之范围为 0~ 10%; 9– 10 月之土壤流失量于未来短、中 2 期有递减之趋势, 下降之范围为 0~ 20%, 但于未来长期则有增加之趋势, 上升之范围为 0~ 15%; 11 月与 1– 4 月之变化情形一样, 土壤流失量有递减之趋势, 短、中、长 3 期下降之范围为 0~ 20%; 12 月与 9– 10 月之变化情形一样, 土壤流失量于未来短、中 2 期有递减之趋势, 下降之范围为 0~ 40%, 但于未来长期则有增加之趋势, 上升之范围为 0~ 10%。

(2) 东部– 台东测站于 1– 3 月之土壤流失量有递减之趋势, 短、中、长 3 期下降之范围为 0~ 50%; 4 月之土壤流失量于未来短、中 2 期有递减之趋势, 下降之范围为 0~ 20%, 但于未来长期则有增加之趋势, 上升之范围为 0~ 20%; 5 月之土壤流失量有增加之趋势, 短、中、长 3 期上升之范围为 0~ 50%; 6 月之土壤流失量无明显之趋势; 7 月之土壤流失量有增加之趋势, 短、中、长 3 期上升之范围为 0~ 10%; 8 月之土壤流失量于未来短期有增加之趋势, 上升之范围为 0~ 10% 之间, 但于未来中、长 2 期则无明显之差异。9 月之土壤流失量于未来短期有递减之趋势, 下降之范围为 0~ 10% 之间, 但于未来中、长 2 期则有增加之趋势, 上升之范围为 0~ 10% 之间; 10 月之土壤流失量于未来短、中 2 期有递减之趋势, 下降之范围为 0~ 10% 之间, 但于未来长期则有增加之趋势, 上升之范围为 0~ 20%; 11– 12 月之土壤流失量有递减之趋势, 短、中、长 3 期下降之范围为 0~ 30% 之间。

由上述可知, 西部 1– 4 月之土壤流失量, 大致皆有递减之趋势。5– 8 月之土壤流失量, 较无明显之差异, 但东部则有增加之趋势。9– 12 月多呈现递减之趋势, 而东部等测站则呈现小幅上升之趋势。由于花莲、宜兰、台东皆为台湾东半部之测站, 而根据结果发现气候变迁可能导致未来台湾东半部地区之土壤流失量会有增加之情形, 而对于台湾西半部地区则是于干季时有递减之趋势。

表 1 情境模拟降雨冲蚀指数变异程度

%

月份	嘉义测站						台东测站					
	短期											
	CCCM A	CCSRNIES	EH 4	GFDL	HAD3	Avearage	CCCM A	CCSRNIES	EH 4	GFDL	HAD3	Avearage
1 月	- 6. 49	- 31.05	- 39. 10	- 20. 88	- 67. 39	- 32. 98	19. 95	- 5. 87	- 38. 17	0. 76	- 41. 62	- 12. 99
2 月	15. 53	- 21.96	12. 92	- 9. 95	- 8. 75	- 2. 44	39. 99	- 2. 76	- 25. 50	- 14. 68	- 0. 99	- 0. 79
3 月	- 17. 21	- 8. 71	- 29. 59	- 35. 24	- 48. 89	- 27. 93	6. 71	1. 07	- 35. 92	- 16. 93	- 20. 22	- 13. 06
4 月	0. 90	- 21.59	- 16. 37	- 20. 47	- 28. 07	- 17. 12	16. 55	- 35. 55	- 23. 55	- 9. 78	- 11. 84	- 12. 83
5 月	- 13. 96	22.81	- 19. 81	3. 72	- 11. 81	- 3. 81	1. 79	73. 31	- 42. 39	5. 83	- 1. 77	7. 35
6 月	- 11. 74	5. 35	- 20. 66	- 6. 93	3. 92	- 6. 01	- 7. 39	7. 38	- 30. 15	- 3. 52	6. 85	- 5. 36
7 月	3. 30	- 1. 70	- 14. 05	10. 07	16. 41	2. 80	10. 58	- 0. 53	- 22. 64	17. 35	19. 29	4. 81
8 月	20. 11	- 4. 51	15. 79	- 9. 55	44. 74	13. 32	44. 72	- 4. 03	17. 97	- 8. 99	37. 48	17. 43
9 月	- 6. 66	- 11.81	- 25. 06	- 13. 30	- 4. 05	- 12. 17	2. 87	4. 75	- 35. 41	- 9. 25	5. 26	- 6. 36
10 月	- 22. 15	3. 73	- 11. 90	0. 00	- 46. 38	- 15. 34	- 7. 41	4. 32	- 33. 00	1. 39	- 29. 63	- 12. 87
11 月	- 19. 30	- 7. 15	- 6. 50	- 24. 65	- 41. 94	- 19. 91	- 8. 74	3. 80	- 33. 21	- 34. 79	- 41. 93	- 22. 97
12 月	- 40. 25	18. 67	- 4. 15	- 9. 02	- 8. 16	- 8. 58	- 41. 81	56. 41	- 39. 95	1. 81	- 13. 47	- 7. 40

月份	中期											
	CCCM A	CCSRNIES	EH 4	GFDL	HAD3	Avearage	CCCM A	CCSRNIES	EH 4	GFDL	HAD3	Avearage
	CCCM A	CCSRNIES	EH 4	GFDL	HAD3	Avearage	CCCM A	CCSRNIES	EH 4	GFDL	HAD3	Avearage
1 月	- 86. 21	- 62. 14	- 91. 23	- 28. 54	- 60. 75	- 65. 77	- 37. 92	- 21. 76	- 65. 69	14. 01	- 22. 88	- 26. 85
2 月	- 48. 19	- 4. 64	- 52. 79	- 5. 56	- 61. 42	- 34. 52	- 35. 26	23. 20	- 68. 87	- 19. 02	- 51. 24	- 30. 24
3 月	- 69. 44	- 14. 98	- 53. 12	- 35. 89	- 46. 70	- 44. 03	- 46. 19	7. 93	- 57. 07	- 24. 72	- 4. 63	- 24. 94
4 月	- 51. 72	- 7. 22	- 31. 89	- 33. 10	- 21. 27	- 29. 04	- 42. 46	0. 26	- 36. 97	- 21. 69	6. 92	- 18. 79
5 月	- 14. 46	28. 83	- 32. 74	- 16. 26	- 13. 96	- 9. 72	9. 94	111. 90	- 53. 96	- 8. 34	18. 61	15. 63
6 月	32. 01	1. 25	- 30. 34	- 15. 73	13. 89	0. 21	42. 91	3. 68	- 37. 50	- 12. 61	23. 47	3. 99
7 月	- 9. 53	- 0. 61	- 6. 41	13. 05	7. 23	0. 74	0. 00	0. 75	- 12. 53	20. 05	14. 23	4. 50
8 月	- 1. 41	10. 21	- 6. 51	2. 84	14. 96	4. 02	17. 37	14. 04	- 10. 39	9. 54	14. 79	9. 07
9 月	- 17. 00	11. 19	- 18. 31	- 52. 15	10. 05	- 13. 24	- 4. 71	23. 80	- 27. 43	- 24. 97	13. 88	- 3. 89
10 月	- 24. 52	2. 72	- 31. 25	- 6. 92	- 14. 77	- 14. 95	- 8. 35	9. 97	- 46. 01	3. 76	- 6. 86	- 9. 50
11 月	- 25. 99	- 5. 43	- 21. 91	- 17. 02	- 14. 17	- 16. 90	- 6. 75	- 1. 20	- 54. 29	- 28. 81	- 6. 92	- 19. 59
12 月	- 79. 58	13. 42	- 22. 07	- 34. 45	- 38. 40	- 32. 22	- 74. 82	40. 47	- 49. 77	- 25. 12	- 39. 23	- 29. 70

月份	长期											
	CCCM A	CCSRNIES	EH 4	GFDL	HAD3	Avearage	CCCM A	CCSRNIES	EH 4	GFDL	HAD3	Avearage
	CCCM A	CCSRNIES	EH 4	GFDL	HAD3	Avearage	CCCM A	CCSRNIES	EH 4	GFDL	HAD3	Avearage
1 月	- 97. 58	- 18. 88	- 84. 82	- 79. 82	- 92. 88	- 74. 80	- 57. 25	8. 96	- 43. 51	- 27. 29	- 58. 50	- 35. 52
2 月	- 76. 97	- 31. 85	- 36. 02	- 59. 74	- 77. 16	- 56. 35	- 58. 84	- 2. 17	- 46. 99	- 42. 10	- 62. 33	- 42. 49
3 月	- 67. 64	- 33. 60	- 63. 87	- 32. 28	- 80. 96	- 55. 67	- 35. 92	- 3. 71	- 61. 96	- 16. 55	- 48. 57	- 33. 34
4 月	- 56. 17	20. 55	- 32. 80	- 38. 83	- 28. 22	- 27. 09	- 28. 21	52. 42	- 34. 84	- 29. 55	18. 89	- 4. 26
5 月	- 42. 90	66. 18	- 41. 66	- 7. 09	10. 79	- 2. 94	- 32. 01	214. 03	- 53. 14	15. 40	87. 09	46. 27
6 月	- 24. 22	13. 23	- 27. 44	- 19. 22	7. 74	- 9. 98	- 5. 58	20. 46	- 36. 45	- 15. 89	14. 35	- 4. 62
7 月	5. 50	- 1. 70	- 1. 34	3. 05	- 1. 46	0. 81	19. 62	0. 64	- 5. 64	11. 44	8. 12	6. 84
8 月	15. 46	- 5. 43	- 16. 11	- 5. 28	44. 20	6. 57	45. 70	- 5. 03	- 20. 01	- 3. 17	40. 04	11. 51
9 月	- 26. 74	48. 90	- 17. 87	- 23. 50	- 13. 30	- 6. 50	- 8. 89	49. 49	- 32. 08	- 9. 62	0. 12	- 0. 19
10 月	3. 73	- 9. 70	- 7. 33	5. 32	- 12. 86	- 4. 17	33. 68	5. 16	- 22. 24	7. 56	- 2. 76	4. 28
11 月	0. 07	- 17. 32	- 35. 90	- 17. 62	- 28. 72	- 19. 90	50. 36	- 5. 08	- 70. 10	- 33. 06	- 23. 68	- 16. 31
12 月	- 64. 89	7. 87	- 30. 10	- 12. 03	- 9. 88	- 21. 81	- 72. 33	25. 30	- 56. 34	0. 36	- 11. 09	- 22. 82

4 结论

以嘉义、新竹、花莲、宜兰、高雄、基隆、台东等测站降雨资料,推求月降雨量与月降雨冲蚀指数之回归关系式,并配合 IPCC 第三次公告之 B2 情境,推求嘉义、新竹、花莲、宜兰、高雄、基隆、台东等测站之未来短、中、长 3 期之降雨资料和降雨冲蚀指数,以推估土壤流失量。由本研究所建立之回归关系式发现,各测站大部分之月降雨量和月降雨冲蚀指数呈高度之相关关系,未来可利用这 7 个测站各月之回归式去推求邻近自记雨量站之月降雨冲蚀指数,以推求未来之土壤流失量。而从这 7 个测站之降雨冲蚀变异程度发现,气候变迁可能导致未来台湾东半部地区之土壤流失量会有增加之情形,而对于台湾西半部地区则是于干季时有递减之趋势。

参考文献:

- [1] 黄俊德. 台湾降雨冲蚀指数之研究[J]. 中华水土保持学报, 1979, 10(1): 127-144.
- [2] 卢光辉. 降雨冲蚀指数之修订[J]. 中华水土保持学报, 1999, 30(2): 87-94.
- [3] 卢昭尧, 苏志强, 吴艺昀. 台湾地区年等降雨冲蚀指数图之修订[J]. 中华水土保持学报, 2005, 36(2): 159-172.
- [4] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning[J]. US Department of Agriculture, Agriculture Handbook, 1978, 537: 1-57.
- [5] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions of the American Geophysical Union, 1958, 39: 285-291.
- [6] 黄俊德. 台湾西南部降雨冲蚀指数之研究[J]. 中华水土保持学报, 1976, 7(2): 90-99.
- [7] 黄俊德. 台湾中部降雨冲蚀指数之研究[J]. 中华水土保持学报, 1977, 8(1): 1-11.
- [8] 黄俊德. 台湾降雨冲蚀指数之研究(三) 一日月潭之降雨冲蚀指数[J]. 中华水土保持学报, 1977, 8(2): 78-84.
- [9] 黄俊德. 台湾降雨冲蚀指数之研究(四) 一台湾北部之降雨冲蚀指数[J]. 中华水土保持学报, 1978, 9(1): 67-73.
- [10] 吴嘉俊, 王阿碧. 屏东老埤地区雨滴粒径与降雨动能之研究[J]. 中华水土保持学报, 1996, 27(2): 151-165.
- [11] Schulze R E. Impacts of global climate change in a hydrologically vulnerable regional: challenges to south African hydrologists[J]. Progress in Physical Geography, 1997, 21(1): 113-116.
- [12] Compagnucci R H, Vargas W M. Inter-annual Variability of the Cuyo Ivers' Streamflow in the Argentinean Andean Mountains and ENSO Events[J]. International Journal of Climatology, 1998, 18: 1593-1609.
- [13] Wood A W, Maurer E P, Kumar A, et al. Long-range experiment hydrological forecasting for the eastern U. S. [J]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107: 4429-4470.
- [14] Wilby R L, Hay L E, Gutowski W J, et al. Hydrological responses to dynamically and statistically downscaled climate model output [J]. Geophysical Research Letter, 2000, 27: 1199-1202.
- [15] 谢明升. 应用遗传规划法进行气候预报降尺度分析于季节性河川流量预报[D]. 台湾 台北: 台湾大学, 2005.
- [16] 唐亦宣. 石门水库集水区日降雨统计降尺度之研究[D]. 台湾 台南: 成功大学, 2008.
- [17] McGuffie K, Henderson-sellers A, Kothavala N, et al. Assessing simulations of daily temperature and precipitation variability with global climate models for present and enhanced greenhouse climates[J]. International Journal of Climatology, 1999, 19(1): 1-26.
- [18] Nearing A M. Potential changes in rainfall erosivity in the U.S. with climate change during the 21st century[J]. J. Soil and Water Conserv., 2001, 56(3): 229-232.
- [19] 杨智翔. 应用 CLIGEN 气候生成模式仿真台湾北部地区有效降雨事件及其验证[J]. 台湾 台北: 台湾大学, 2006.
- [20] 江介伦, 黄国祯, 谢东达, 等. 气候变迁下台湾年降雨冲蚀指数之修订[C]//2007“屏东科技大学”暨“北京科技大学”学术交流研讨会论文集. 2007: 1-5.
- [21] 江介伦, 谢东达, 邱宏彬. 由气候变迁情境及月降雨资料推估降雨冲蚀指数[C]//第十七届水利工程研讨会论文集. 2008. L5- 1- L5- 10.