

# EPIC模型及其应用

范 兰<sup>1,2</sup>, 吕昌河<sup>1</sup>, 陈 朝<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:**作物生长模型是定量评估作物生产潜力的重要工具。EPIC模型自1985年发表后,以其强大的功能在全球范围内得到了广泛应用。本文简述了EPIC模型的主要结构和功能,介绍了运行该模型所需的数据及数据库的构建方法,总结了EPIC模型的主要应用领域以及在中国包括作物生产潜力评估、水分和气候变化对产量影响、养分循环和损失、土壤碳储量变化、土壤侵蚀预测等方面的应用情况,最后提出了EPIC模型使用时的注意事项和研究展望。

**关 键 词:**EPIC模型;模型参数;模型应用

## 1 引言

作物模型,又称作物生长模拟模型,是指能定量和动态描述作物生长发育、产量形成过程及其对环境反应的数学模型或计算机模型<sup>[1]</sup>。它能够详细地定量描述作物基本的生理生态过程,能较为精确地描述光、温、水等要素对作物生长发育的影响,比一般的公式精确性高<sup>[2]</sup>。作物模拟模型具有较强的机理性、系统性和通用性,是持续农业和精准农业研究的科学工具<sup>[3]</sup>。目前世界上影响较大的作物模型有WOFOST、EPIC、DSSAT和APSIM等<sup>[4]</sup>。

EPIC(Environmental Policy-Integrated Climate)是一个定量评价“气候-土壤-作物-管理”系统的综合动力学模型,是20世纪80年代初期由美国德克萨斯农工大学黑土地研究中心和美国农业部草地、土壤和水分研究所共同研究开发的,其目标是开发一个适用于美国多种土壤、气候和作物类型的模型,用于评估管理策略变化对土壤侵蚀和土地生产力的影响<sup>[5]</sup>。最初的EPIC版本称为侵蚀-生产力影响计算器(Erosion-Productivity Impact Calculator)<sup>[6]</sup>,并于1985年首次应用于美国135个区域的土壤侵蚀影响评估<sup>[7]</sup>。之后EPIC逐步完善,在增加了与水质和大气CO<sub>2</sub>变化有关的模拟功能后,于1996年更名为环境政策综合气候模型<sup>[8]</sup>。EPIC模型发表后,在世界范围内得到了广泛的试验验证与应用,已成

为世界上较有影响力的水土资源管理和作物生产力评价模型之一<sup>[9]</sup>。本文首先介绍了EPIC模型的主要结构、功能和需要的数据,然后综述了其主要的应用领域及其在中国的应用,最后提出了应用时应注意的问题。

## 2 EPIC模型的基本结构、功能和需要的数据

EPIC是一个单点模型,所定义的最大田间尺度是250英亩,假设整个田间区域的气候、土壤、地形、作物轮作和田间管理措施是均一的<sup>[10]</sup>。模型中包含了350多个数学方程,以日为时间步长模拟一季甚至上百年农田水土资源和作物生产力的动态变化<sup>[11-13]</sup>。EPIC模型的初期版本由9个模块组成(图1),即气候模块、水文模块、土壤侵蚀模块、养分循环模块、土壤温度模块、作物生长模块、耕作模块、经济效益模块和作物环境控制模块<sup>[14-15]</sup>。1991年,基于GLEAMS方法,该模型增加了农药和杀虫剂模块<sup>[6]</sup>,1995年又根据CENTURY模型方法<sup>[17]</sup>,改进和加强了C循环模块<sup>[16]</sup>。

作物生长模块、水文模块、土壤温度模块、土壤侵蚀模块和养分循环模块是EPIC模型的5个核心模块。①作物生长模块根据不同的作物参数,模拟单作、间作或轮作作物的生长发育过程和产量。②

收稿日期:2012-01; 修订日期:2012-03。

基金项目:973国家重点基础研究发展计划项目(2012CB955304);国家自然科学基金项目(41071063)。

作者简介:范兰(1985-),女,博士生,研究方向为土地利用/土地覆被变化、粮食产量与食物安全。E-mail: fanl.09b@igsnrr.ac.cn

通讯作者:吕昌河(1962-),男,研究员,主要研究土地资源与土地利用、退化土地恢复、农业系统分析等。

E-mail: luch@igsnrr.ac.cn

水文模块模拟地表径流、入渗、壤中流、潜流和冰雪融水补给等。③土壤温度模块根据气象因素、土壤含水量、土壤容重、地表覆被状况计算逐层土壤温度的日值,其计算的土壤温度被N循环模块用于模拟N素的矿化、硝化和气化过程,被作物生长模块用于估算温度胁迫。④土壤侵蚀模块根据降水、径流、灌溉、作物生长状况和农田管理因子,模拟土壤侵蚀量。土壤侵蚀通过改变土壤的性状,如表层厚度、质地、肥力和水分状况等影响作物生长。⑤气象模块主要用于管理如降水、温度、太阳辐射、风速和相对湿度等气象要素数据,当日值数据缺失时,模型根据输入的月值数据自动生成日值数据。⑥耕作模块用于输入和管理农田管理参数,如播种和收获日期、耕作、灌溉、施肥等,模拟耕作措施对土壤水分、养分循环和土壤侵蚀的影响。

EPIC模型的作物生长模块,是一个基于作物生理生态过程的机理模型,它根据各种作物特定的生长参数和田间管理参数对不同作物的生长状况进行模拟,包括生物量、蒸散和水分利用、养分吸收、环境胁迫、叶面积动态、干物质分配和作物产量等。生物量日增量分2步模拟:①计算潜在生长量;②计算实际生长量。潜在生长量根据 Monteith 方法<sup>[18]</sup>计算,为作物光能利用率和截获的有效辐射量的函数。当作物生长过程中出现环境胁迫(如温度、水分、养分、通气性等)时,潜在生长率下降,模型根据胁迫因子的强度估算其影响程度,得到实际生长量(图2)。根据作物的生长阶段,模型将新增生物量的一部分分配给根,其余部分分配给地上部分(即地上生物量)。最后,模型将累计的地上生物量,通过收获指数计算经济产量和秸秆产量。

EPIC模型需要的数据包括气候、土壤剖面理化性状、作物生长参数、农作与田间管理和农机具参数数据等(表1)。模型可利用日值数据和月值数据进行模拟,日值数据即实际观测的逐日气候要素数据,通过转换器 CWAnalyzer 将.TXT 格式文件转换为

模型认可的.DLY 格式后,即可进行实时模拟。月值数据需要利用模型附带的 WXPARM 和 WX-GEN 软件,生成逐日气候要素文件后再进行模拟计算,或直接将逐月气候要素统计参数输入模型计算。

土壤剖面理化性状数据需要分层提供,可根据资料情况和土壤剖面差异,按2-5层提供各层的土壤数据。土壤参数的确定可以参考研究区的土壤图、《土种志》、土肥站实测资料和实地调研数据等。确定出研究区有代表性的土壤类型后,根据经纬度、质地将各土壤类型进行分类和命名,再通过修改不同土壤类型各土层的参数,建立研究区主要土壤的数据库。

作物生长参数数据库提供了能模拟田间作物

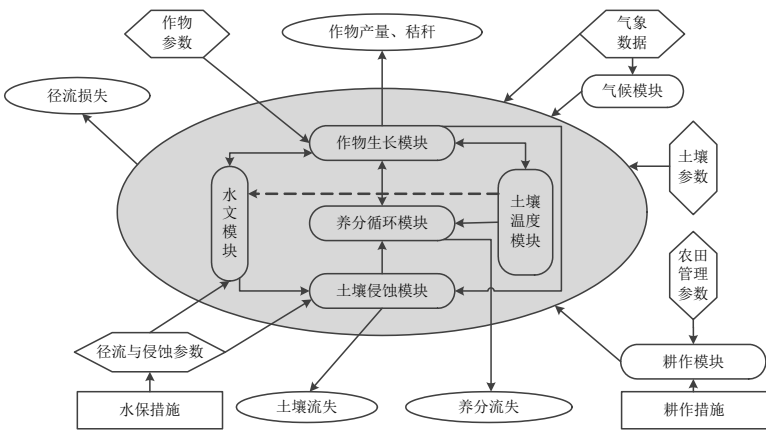


图1 EPIC模型的基本结构与物理模块

Fig.1 Main modules and its relationship of EPIC model

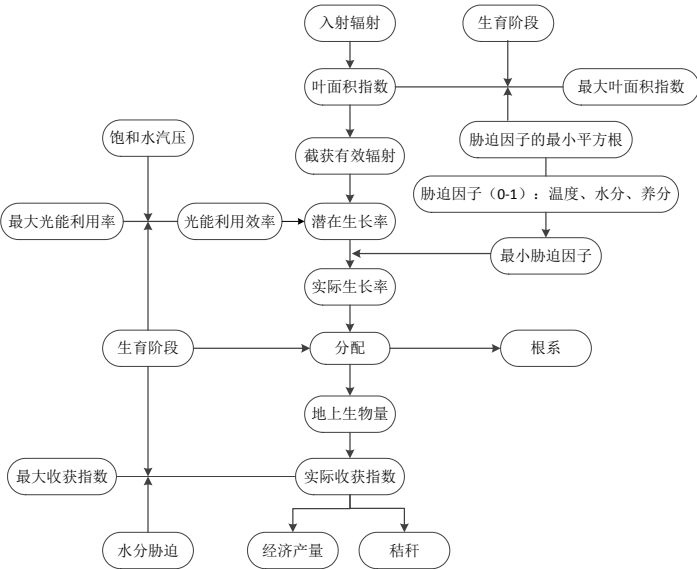


图2 EPIC作物生长模块的组成要素与联系

Fig.2 Main components and the relationship of EPIC crop module

表1 EPIC 模型需要的数据参数表

Tab. 1 Parameters and required data of EPIC model	
数据类型	参数
气候数据	逐日气候观测数据:太阳辐射强度或日照时数、最高和最低气温、降水量、相对湿度和风速;逐月气候数据:月温度最高值、月温度最低值、最高和最低温度标准差、月降水量、月降水日数、月降水量标准差、最大0.5 h降水量、雨天后出现雨天的概率、雨天后出现晴天的概率、太阳辐射和相对湿度
土壤剖面理化性状数据	各土层厚度、质地、石砾含量、容重、反射率、田间持水量、凋萎系数、pH 值、有机碳含量、CaCO <sub>3</sub> 含量、阳离子交换量、饱和导水率
作物参数	播种量、光能比率(光能利用率)、光能比率下降率、叶面积指数(LAI)下降时的生育阶段、LAI 增长曲线参数、出苗时根重、成熟时根重、播种到出苗所需有效积温、出苗到成熟所需有效积温、LAI 下降因子、最小收获指数、最大收获指数、最大 LAI、最大株高、最大根深、最大气孔导度、最低温度、最适温度、通气状况因子、病虫害害对产量影响因子、收获时籽粒含水量、含 P 量和含 N 量等
田间管理数据	农作日期、农作/耕作方式、机械、作物标识码、多年生作物成熟所需年数、放牧天数、成熟所需积温、水压力因子、种植密度、年最大氮肥施用量、操作时间比率、肥料标识码、施肥量、施肥深度、灌溉量、灌溉效率、农药的标识码、农药施用量、害虫控制因子
农作措施和农机具参数	措施名称、种类、动力单位、作业宽度、作业速度、留田残茬比重、机械效率、作业后地表粗糙度、耕作深度、垄高、垄间距、沟深、沟间距、作业代码、杀虫剂使用效率、耕作或收获时减少的作物密度、灌溉类型、作业导致的土壤压实率、放牧强度、放牧导致作物的减产量等

和牧草、豆科作物、树木和灌木等一年生和多年生植物的基本参数,但在实际应用时,需要参考文献资料和实验数据,根据当地具体的作物和生长环境进行修订。田间管理数据即农业活动是按时间顺序记录的,包括种类、数量和使用的工具等,可根据研究区的具体情况逐一设定。模型提供了描述农作措施和农机具特征的 30 个参数选项,对其作业特征和效果进行描述。作物的农作措施在不同的研究区差别比较大,因而应根据不同的研究目的,对参数进行逐一设置。

3 EPIC 模型的应用

20 世纪 80 年代,EPIC 模型不仅在美国而且在全球多个地区如非洲<sup>[19]</sup>、巴西<sup>[20]</sup>、法国<sup>[21]</sup>、德国<sup>[22]</sup>、意大利<sup>[23]</sup>等得到了广泛的应用。21 世纪初,EPIC 模型引入中国,目前已在多个领域得到推广应用<sup>[11,24]</sup>。

3.1 EPIC 模型的应用领域

EPIC 是一个综合模型,可以用于作物产量评估、水土流失评价、气候变化影响评价、农田水肥管理等<sup>[24-26]</sup>。

作物产量估算。作物产量估算是 EPIC 模型最主要的应用之一。利用 EPIC 模型,可模拟作物的潜在产量<sup>[27-28]</sup>、水分和养分胁迫产量<sup>[29-30]</sup>,探讨产量与水肥之间的关系<sup>[31]</sup>,评估半干旱条件下水分胁迫对作物如玉米产量的影响<sup>[32]</sup>。利用 ArcGIS 软件和

EPIC 的站点模拟结果,可对区域作物产量进行分析评估,如 Priya 等对印度玉米、小麦和水稻产量进行了分析评估<sup>[33]</sup>,Wu 等估算了全球主产区水稻、小麦、玉米和大豆产量<sup>[34]</sup>,Liu 对全球小麦、水稻和玉米的水分生产力和产量进行了模拟分析<sup>[35]</sup>。

评估灌溉和水分对产量的影响,优化灌溉方案。EPIC 模型能够估算灌溉效率、土壤水分动态和水分利用效率,尤其是在水资源紧张地区,可借助 EPIC 模型对节水灌溉进行设计和布局<sup>[36-38]</sup>,如可利用 EPIC 的模拟结果,评估灌溉效率<sup>[39]</sup>,分析灌溉对产量的影响,进而寻求最佳的灌溉方式<sup>[21]</sup>,为作物灌溉管理提供长期的和季前的决策指导<sup>[40]</sup>,辅助设计和安排灌溉日程<sup>[41]</sup>。通过模拟作物产量和土壤水分动态变化<sup>[42]</sup>,分析产量和水分利用率关系<sup>[43]</sup>,寻求与降水状况相适应的、利于土壤水分可持续利用的施肥水平和轮作方式<sup>[44]</sup>,探讨农田水资源利用和管理策略<sup>[45]</sup>,估算土壤逐层含水量,结合土壤温度分析土壤干旱化问题<sup>[46]</sup>。

评估气候变化对作物产量的影响。全球气候变化及其效应是目前国内外学者广泛关注的热点问题之一。针对气候变化的主要因素,即 CO<sub>2</sub> 浓度、温度和降水的变化,可利用 EPIC 模型分析这些要素变化对作物产量的影响,如模拟分析不同 CO<sub>2</sub> 浓度对作物生物量、蒸散和产量的影响<sup>[47-49]</sup>,分析温度和降水变化对作物产量的影响<sup>[25, 50-52]</sup>,评估气候变暖条件下防护林的庇护对旱地玉米产量的影



响<sup>[53]</sup>,分析厄尔尼诺现象对产量的影响等<sup>[54]</sup>。将IPCC大气环流模型的预测结果和EPIC模型相结合,可在区域甚至全球尺度上评估未来气候变化对作物产量影响,如评估气候变化对小麦和玉米<sup>[55-56]</sup>、大豆和苜蓿<sup>[57]</sup>、玉米-小麦-水稻轮作系统<sup>[33]</sup>等作物产量的影响。

评估养分利用和养分损失。EPIC模型可模拟土壤中N、P、K等营养要素的动态变化,如模拟不同农业生态类型区水渗透和N淋失的关系<sup>[58]</sup>,模拟玉米产量和N吸收以及养分的动态变化情况<sup>[59]</sup>,估算不同土层中无机N和地上生物量的动态变化<sup>[60]</sup>,表面径流及其造成的N淋失<sup>[61]</sup>。有学者应用该模型估算不同轮作或间作条件下的养分利用情况,如估算玉米连作、玉米-大豆轮作和苜蓿轮作下土壤中N的损失情况<sup>[62]</sup>,分析农田在传统耕作方式和免耕下土壤N的动态变化<sup>[63]</sup>。还有学者利用EPIC模型分析多种养分元素的循环和损失情况,如估算美国中央大平原区有机P和总N的变化,验证EPIC估算作物生长所需的N素和P素最低值的精度<sup>[64]</sup>,模拟热带半干旱气候区玉米和豇豆间作N、P的吸收情况<sup>[65]</sup>和巴西东北部半干旱地区作物生长、产量和营养物质(N、P、K)的吸收和分配情况<sup>[66]</sup>。模拟不同施肥措施和施肥量对产量的影响,如估算不同气候和施肥措施下土豆产量的变化<sup>[67]</sup>,估算小麦和玉米的养分流失与产量之间相互关系<sup>[68]</sup>,模拟不同肥力水平下冬小麦连作的产量效应<sup>[69]</sup>,分析不同施肥水平下小麦和玉米轮作(春玉米-春玉米-冬小麦-冬小麦-冬小麦-冬小麦)的产量变化<sup>[70]</sup>。

评估土壤碳储量的变化。EPIC模型能模拟土壤有机碳与有机质含量、碳平衡和土壤碳固存量,如Wang等用EPIC估算了美国威斯康星州阿林顿农业研究站的玉米产量和0.2 m土层1958年、1984年和1990年土壤有机碳含量的动态变化<sup>[71]</sup>。利用EPIC模型,可分析不同耕作方式对土壤碳的影响,如计算中国黄淮海平原传统耕作和免耕方式下小麦连作和小麦-玉米轮作中的土壤碳固存<sup>[72]</sup>;Billen等利用EPIC模拟分析了德国西南部少免耕方式与传统耕作对土壤活性有机碳的影响,发现免耕使活性有机碳年均增加0.341 mg/ha<sup>[22]</sup>;Norbert等在德国西部的巴登州选取了13个典型样点,用EPIC估算了不同耕作方式对土壤有机质含量的影响<sup>[22]</sup>。

预测水土流失。模拟水蚀和风蚀是EPIC模型的主要功能<sup>[73]</sup>。EPIC模型提供了4种预测水蚀的

公式<sup>[74]</sup>,用于分析不同耕作方式下土壤侵蚀与养分流失和作物产量的关系,如评估免耕条件与传统耕作方式下的土壤侵蚀状况<sup>[75]</sup>,不同作物轮作方式下坡地作物产量和土壤侵蚀的关系<sup>[76]</sup>,分析降水、径流和侵蚀的关系及其对农业生产力的影响<sup>[77]</sup>。利用风速和风向数据以及作物生长和农田管理数据估算土壤风蚀量,如Wang等用EPIC模型估算了内蒙古武川县的风蚀,探讨了作物茎秆、轮作与风蚀的关系,指出保留收获后的茎秆到第二年耕作前,可使风蚀减少60%<sup>[78-79]</sup>。

综合研究。作为一个决策支持工具,EPIC模型在农田管理策略、减轻农业风险、经济政策和环境评价等方面,也得到了实际应用。EPIC可用于农田管理方式的评价<sup>[80]</sup>,如Bernardos等用EPIC模型综合估算不同历史时期阿根廷拉潘帕省农田中小麦、玉米和向日葵产量、土壤水分、N和P等养分元素的生态过程,并对生态措施进行综合评估<sup>[81]</sup>。有些学者利用EPIC模型进行干旱风险评价<sup>[82]</sup>、土地荒漠化评价<sup>[83]</sup>、N淋失及其所造成的面源污染评价<sup>[84]</sup>、轮作系统评价<sup>[85]</sup>和土地脆弱化评价<sup>[86]</sup>等。EPIC与多目标模型MOPM相结合,分析政策对农业生产的影响<sup>[87]</sup>。EPIC可作为农业系统投入-产出参数估算的基本工具,通过MPLG技术构建的区域土地利用综合模型,分析评估政策和发展目标对区域水土流失、粮食生产、就业和农民收入的影响<sup>[31]</sup>。

### 3.2 EPIC模型在中国的应用

EPIC模型在中国的初次应用是2001年Wang等对内蒙古武川县风蚀的模拟分析<sup>[78]</sup>,该研究发现,与将茎秆用于薪柴或牲畜饲料相比,保留收获后农田里的作物茎秆到第二年耕作能将风蚀减少60%。随后EPIC模型在中国得到了较广泛的推广应用,涉及的主要领域有作物产量估算、灌溉和水分对产量影响评估、气候变化对作物产量的影响分析、养分循环和养分损失的评估、土壤碳储量的变化评估和水土流失的预测等。

在国家尺度上,中国学者曾借助EPIC模型模拟分析了1990年全国耕地中C和N的生物地球化学循环以及土壤有机碳储量的年变化<sup>[88]</sup>;有学者结合EPIC模型和ArcGIS软件分析了全国冬小麦的产量和水分利用率空间差异,指出灌溉条件下冬小麦在中国各省的平均水分利用率比旱作高56%<sup>[43]</sup>;还有学者利用EPIC模型估算了1998-2002年中国主要作物的耗水量,指出中国耕地种植作物的年均

总耗水量为  $8.39 \times 10^{11} \text{ m}^3$ , 且耗水量的空间分布与播种面积和产量相关, 最高值位于华北平原<sup>[89]</sup>。以上研究因为尺度比较大, 覆盖面积广, 受数据的限制, 模型中的大部分参数都是基于 EPIC 的原始参数, 没有参照实验数据进行详细的校正。

在区域尺度, EPIC 模型的应用主要集中在黄土高原、华北和东北部地区, 其中黄土高原地区应用最多, 其次是华北平原地区。在黄土高原地区, 一些学者对模型的适用性进行了评估, 在此基础上, 主要开展了旱塬地冬小麦水分生产潜力和土壤水分中、长期变化动态的定量模拟分析<sup>[37]</sup>, 黄土高原丘陵区柠条林地水分生产力和 9 m 土层土壤有效含水量长期动态的模拟<sup>[38]</sup>, 黄土高原半湿润区(长武)、半干旱区(固原)和半干旱偏旱区(海原)20~30 年内, 苜蓿草地水分生产潜力和 10 m 土层土壤有效含水量的变化及其相互关系研究<sup>[36]</sup>等。还有学者模拟了黄土高原地区冬小麦、春玉米和苜蓿等的产量和土壤含水量<sup>[42]</sup>, 黄土高原长武旱原地 1957-2001 年不同肥力水平下连作冬小麦田产量效应<sup>[69]</sup>, 黄土高原旱塬地 1957-1998 年不同施肥水平下小麦玉米轮作的产量变化和土壤水分效应<sup>[70]</sup>, 黄土高原半干旱区固原 1960-2000 年不同肥力水平下连作春玉米和春小麦产量变化和深层土壤水分效应<sup>[44]</sup>等。以上研究证明, EPIC 模型在中国黄土高原有很好的适用性, 尤其是能较准确的模拟土壤水分的动态变化。

EPIC 模型在中国华北平原的研究多以模型验证和产量模拟为主, 集中于对冬小麦产量的模拟分析。如余福水等基于栾城生态实验站的实验观测数据, 通过验证后指出, EPIC 模型能够很好地模拟冬小麦的长势和产量<sup>[73]</sup>。吴锦等以河北衡水冬小麦试验区为研究区, 使用全局敏感性分析方法分析了 EPIC 模型在冬小麦产量模拟中的敏感参数<sup>[24]</sup>。春亮等用 EPIC 模型对北京顺义地区的春播紫花苜蓿生长中的地上部生物量的累积和刈割进行了模拟<sup>[90]</sup>。Thomson 等分析了气候变化 A2 和 B2 情景下, 黄淮海平原传统耕作和免耕方式下小麦连作和小麦-玉米轮作系统, 作物产量和农田土壤的碳固存的变化<sup>[72]</sup>。刘明等将 EPIC 模型进行空间栅格化, 模拟了黄淮海平原冬小麦雨养条件下的生长过程, 分析了水分胁迫的时空分异<sup>[91]</sup>。

EPIC 模型在东北地区的应用主要是产量估算, 如有学者利用 EPIC 模型分析了未来不同气候

情景下,  $\text{CO}_2$  浓度增加与不变时, 中国东北部地区油菜、玉米、土豆和冬小麦的潜在产量<sup>[92]</sup>。王志强等利用北方(东北、华北、西北和新疆)80 个典型站点的气候数据, 模拟了春小麦和冬小麦 1961-2005 年期间的产量波动, 指出东北区旱作春小麦的产量呈波动式下降, 生长季辐射是产量波动变化主因, 水分胁迫对于旱半干旱区旱作小麦的影响也较大<sup>[25]</sup>。

## 4 EPIC 模型的局限性及其应用展望

EPIC 是一个独特的作物生产力和水土流失综合应用分析模型, 它能同时模拟作物产量、水土流失和养分损失等, 估算田间管理和水土保持措施的影响, 还可用于气候变化影响评价和农业优化布局。在研究尺度上, EPIC 模型以均一的小区域为基础, 但也可结合 GIS 技术, 将模型的应用范围扩展到不同区域尺度。在耕作制度上, EPIC 模型除能模拟单一作物外, 还可以模拟作物轮作和间作, 包括一年生作物间作和轮作, 一年生作物与多年生作物的间作和轮作。

EPIC 模型因其强大的功能在全球范围内得到广泛应用, 但因模型复杂、参数繁多, 加上模型结构的缺陷、参数的可变性和测量数据的错误等<sup>[50]</sup>, 模拟结果存在不确定性。模型包括作物生理和环境部分, 涉及作物栽培学、植物生理学、土壤物理学、微气象学等多个领域, 因此, 在应用时需要相关的知识有所了解。EPIC 模型参数具有显著的区域性, 在其研发地美国适用性好, 应用到其它国家和地区时, 必须根据实验和文献数据, 对模型参数进行校验和修订。EPIC 模型的作物生长模拟对作物性状如生育期长度、有效积温、叶面积指数、收获指数、光能利用率等参数敏感, 而这些参数因品种和环境条件的影响存在较大的区域差异, 因此, 在模型应用时, 需要根据研究区的实验数据, 对这些参数进行修订。

EPIC 模型要求的数据较多, 因此保证数据精度是取得良好模拟结果的关键, 建议在条件允许时, 气候数据尽量使用日值。EPIC 模型对剧烈变化的气候因子敏感度低, 在短期内(一般 1-2 天)气候因子出现剧烈变化时, 模型高估作物产量。如极端气候现象引发不寻常的高温或者低温, 会影响到与产量有关的作物发育过程(如授粉或小穗花的发育等), 而 EPIC 模型的低敏感性会导致产量被过高

模拟。

总结目前的最新发展趋势,本文认为 EPIC 模型未来的发展中有下列几个问题需要关注:

(1) 提高模型对极端气候事件的敏感性。在全球变化的大背景下,极端气候事件(如生育期的干旱、高温和强降雨等)频发,需要改进模型加强其对气象数据的敏感性,以适应气候变化下极端事件增多的现状。

(2) 改进参数说明以适应不同背景的使用者。EPIC 模型的参数约 2000 多个,涉及多个领域且专业跨度大。建议适当改进模型的界面设计,提高模型中参数说明的详尽性和易懂性,尤其需要增加模型中参数类型的区分和说明,如区分出在模型界面上和数据库中修改的参数,以及各参数的影响范围、参数之间的相互关系等内容。

(3) 加强 EPIC 模型在中国的本地化研究。虽然 EPIC 模型在中国土地生产力与水土流失评价、气候变化对水土质量和粮食生产的影响等方面已得到了较好的应用,但模型的本地化还有待加强,即需要通过具体的实验数据对模型进行校验和改进。同时,应加强校验后模型参数的交流与共享,使 EPIC 模型在中国更多区域得到应用。

## 参考文献

- [1] 熊伟. 气候变化对中国粮食生产影响的模拟研究. 北京: 气象出版社, 2009.
- [2] 李军, 王立祥, 邵明安, 等. 黄土高原地区小麦生产潜力模拟研究. 自然资源学报, 2001, 16(2): 161-165.
- [3] 王亚莉, 贺立源. 作物生长模拟模型研究和应用综述. 华中农业大学学报, 2005, 24(5): 529-535.
- [4] 林忠辉, 莫兴国, 项月琴. 作物生长模型研究综述. 作物学报, 2003, 29(5): 750-758.
- [5] Williams J R, Dyke P T, Fuchs W W, et al. EPIC: Erosion Productivity Impact Calculator: Users Manual//Sharpley A N, Williams J R. (Eds.). EPIC: Erosion Productivity Impact Calculator, Model Documentation, USDA-ARS Tech. Bull. No. 1768, USDA-ARS Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Temple, TX, 1990: 127.
- [6] Williams J R, Jones C A, Dyke P T. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. Transactions of the Asae, 1984, 27(1): 129-144.
- [7] Putman J, Williams J R, Sawyer D. Using the erosion-productivity impact calculator (EPIC) model to estimate the impact of soil-erosion for the 1985 RCA Appraisal. Journal of Soil and Water Conservation, 1988, 43(4): 321-326.
- [8] Mitchell G, Griggs R H, Benson V, et al. EPIC user's guide version 5300: The EPIC model environmental policy integrated climate (formerly erosion productivity impact calculator), 1996.
- [9] 李军, 邵明安, 张兴昌, 等. EPIC 模型中作物生长与产量形成的数学模拟. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(B11): 25-30.
- [10] Gerik T, Harman W, Williams J R, et al. User's Guide for CroPMan (Crop Production and Management Model) VERSION 4.0, 2006.
- [11] 李军, 邵明安, 张兴昌. 黄土高原地区 EPIC 模型数据库组建. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(8): 21-26.
- [12] 李军, 邵明安, 张兴昌. EPIC 模型中农田水分运移与利用的数学模拟. 干旱地区农业研究, 2004, 22(2): 72-75.
- [13] 李军, 邵明安, 张兴昌. EPIC 模型中土壤氮磷运转和作物营养的数学模拟. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(2): 166-173.
- [14] Williams J R. The erosion-productivity impact calculator (EPIC) model: A case-history. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, 1990, 329(1255): 421-428.
- [15] Williams J R, 黄宝林. EPIC 模型的物理组成. 水土保持科技情报, 1992(4): 48-52.
- [16] Williams J R, Arnold J G. History of Model Development at Temple, Texas. Blackland Research Center, Texas, A&M University, 2006.
- [17] Parton W J, Scurlock J, Ojima D S, et al. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. Global Biogeochemical Cycles, 1993, 7(4): 785-809.
- [18] Monteith J L. Resistance of a partially wet canopy: Whose equation fails? Boundary Layer Meteorology, 1977, 12(3): 379-383.
- [19] Srivastava A K, Gaiser T. Simulating biomass accumulation and yield of yam (*Dioscorea alata*) in the Upper Ouémé Basin (Benin Republic)- I. Compilation of physiological parameters and calibration at the field scale. Field Crops Research, 2010, 116(1-2): 23-29.
- [20] Gaiser T, de Barros I, Sereke F, et al. Validation and reliability of the EPIC model to simulate maize production in small-holder farming systems in tropical sub-humid West Africa and semi-arid Brazil. Agriculture Ecosystems and Environment, 2010, 135(4): 318-327.
- [21] Van Der Velde M, Wriedt G, Bouraoui F. Estimating irrigation use and effects on maize yield during the 2003 heatwave in France. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2010, 1(2): 141-147.
- [22] Billen N, Roeder C, Gaiser T, et al. Carbon sequestration in soils of SW-Germany as affected by agricultural management-Calibration of the EPIC model for regional simulations. Ecological Modelling, 2009, 220(1): 71-80.



- [23] Rinaldi M, De Luca D. Application of EPIC model to assess climate change impact on sorghum in southern Italy. *Italian Journal of Agronomy*, 2012, 7(1): 74-85.
- [24] 吴锦, 余福水, 陈仲新, 等. 基于EPIC模型的冬小麦生长模拟参数全局敏感性分析. *农业工程学报*, 2009, 25(7): 136-142.
- [25] 王志强, 方伟华, 何飞, 等. 中国北方气候变化对小麦产量的影响: 基于EPIC模型的模拟研究. *自然灾害学报*, 2008, 17(1): 109-114.
- [26] Izaurrealde R C, Rosenberg N J, Brown R A, et al. Integrated assessment of Hadley Center (HadCM2) climate-change impacts on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States - Part II. Regional agricultural production in 2030 and 2095. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003, 117 (1-2): 97-122.
- [27] Steiner J L, Williams J R, Jones O R. Evaluation of the EPIC simulation model using a dryland wheat-sorghum-fallow crop rotation. *Agronomy*, 1987, 79(4): 732-738.
- [28] Easterling W E, Chen X, Hays C, et al. Improving the validation of model-simulated crop yield response to climate change: An application to the EPIC model. *Climate Research*, 1996, 6(3): 263-273.
- [29] 王宗明, 梁银丽. 应用EPIC模型计算黄土塬区作物生产潜力的初步尝试. *自然资源学报*, 2002, 17(4): 481-487.
- [30] Cabelguenne M, Debaeke P, Bouniols A. EPICphase, a version of the EPIC model simulating the effects of water and nitrogen stress on biomass and yield, taking account of developmental stages: Validation on maize, sunflower, sorghum, soybean and winter wheat. *Agricultural Systems*, 1999, 30(3): 237-249.
- [31] Lu C H, Van Ittersum M K, Rabbinge R. An exploration of strategic land use options for the Loess Plateau in northern China. *Agricultural Systems*, 2004, 79(2): 145-170.
- [32] Cavero J, Farre I, Debaeke P, et al. Simulation of maize yield under water stress with the EPICphase and CROPWAT models. *Agronomy Journal*, 2000, 92(4): 679-690.
- [33] Priya S, Shibasaki R. National spatial crop yield simulation using GIS-based crop production model. *Ecological Modelling*, 2001, 136(2-3): 113-129.
- [34] Wu W, Shibasaki R, Yang P, et al. Global-scale modelling of future changes in sown areas of major crops. *Ecological Modelling*, 2007, 27(12): 2137-2154.
- [35] Liu J. A GIS-based tool for modelling large-scale crop-water relations. *Environmental Modelling & Software*, 2009, 69(2): 115-133.
- [36] 李军, 陈兵, 李小芳, 等. 黄土高原不同类型旱区苜蓿草地水分生产潜力与土壤干燥化效应模拟. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2418-2425.
- [37] 李军, 邵明安, 张兴昌. 黄土高原旱地冬小麦水分生产潜力与土壤水分动态的模拟研究. *自然资源学报*, 2004, 19(6): 738-746.
- [38] 李小芳, 李军, 王学春, 等. 半干旱黄土丘陵区柠条林水分生产力和土壤干燥化效应模拟研究. *干旱地区农业研究*, 2007(3): 113-119.
- [39] Guerra L C, Hoogenboom G, Hook J E, et al. Evaluation of on-farm irrigation applications using the simulation model EPIC. *Irrigation Science*, 2005, 23(4): 171-181.
- [40] Ko J, Piccinni G, Steglich E. Using EPIC model to manage irrigated cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 2009, 96(5): 799-808.
- [41] Santos A M, Cabelguenne M, Santos F L, et al. EPIC-PHASE: A Model to explore Irrigation Strategies. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2000, 50 (1): 95-106.
- [42] Wang X C, Li J. Evaluation of crop yield and soil water estimates using the EPIC model for the Loess Plateau of China. *Mathematical and Computer Modelling*, 2009, 124 (1): 24-32.
- [43] Liu J. Modelling the role of irrigation in winter wheat yield, crop water productivity, and production in China. *Irrigation Science*, 2007, 26(1): 21-33.
- [44] 胡伟, 李军, 孙剑, 等. 黄土高原半干旱区春小麦和春玉米产量动态与土壤干燥化效应模拟研究. *水土保持研究*, 2009, 16(1): 149-161.
- [45] Liu J, Zehnder A, Yang H. Drops for crops: Modeling crop water productivity on a global scale. *Global Nest Journal*, 2008, 10(3): 295-300.
- [46] Costantini E, Castelli F, L ABATE G. Using the EPIC model to estimate soil moisture and temperature regimes and to assess the desertification risk. *Sustainable Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Regions*, 2002, 2: 361-364.
- [47] Easterling W E, Norman J R, McKenney M S, et al. Preparing the erosion productivity impact calculator (EPIC) model to simulate crop response to climate change and the direct effects of CO<sub>2</sub>. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1992, 59(1-2): 17-34.
- [48] Thomson A M, Brown R A, Ghan S J, et al. Elevation dependence of winter wheat production in Eastern Washington State with climate change: A methodological study. *Climatic Change*, 2002, 54(1-2): 141-164.
- [49] 宗雪梅. 利用侵蚀生产力影响计算者(EPIC)模型模拟作物对气候变化和CO<sub>2</sub>直接影响的反应. *河南气象*, 1995 (2): 27-28.
- [50] Niu X Z, Easterling W, Hays C J, et al. Reliability and input-data induced uncertainty of the EPIC model to estimate climate change impact on sorghum yields in the US Great Plains. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2009, 129(1-3): 268-276.

- [51] Riha S J, Wilks D S, Simoens P. Impact of temperature and precipitation variability on crop model predictions. *Climatic Change*, 1996, 32(3): 293-311.
- [52] Tan G X, Shibasaki R. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration. *Ecological Modelling*, 2003, 168(3): 357-370.
- [53] Easterling W E, Hays C J, Easterling M M, et al. Modeling the effect of shelterbelts on maize productivity under climate change: An application of the EPIC model. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1997, 220(1): 71-80.
- [54] Izaurrealde R C, Rosenberg N J, Brown R A, et al. Modeled effects of moderate and strong 'Los Niños' on crop productivity in North America. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1999, 94(3-4): 259-268.
- [55] Mearns L O, Mavromatis T, Tsvetsinskaya E, et al. Comparative responses of EPIC and CERES crop models to high and low spatial resolution climate change scenarios. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 1999, 104 (D6): 6623-6646.
- [56] Brown R A, Rosenberg N J. Climate change impacts on the potential productivity of corn and winter wheat in their primary United States growing regions. *Climatic Change*, 1999, 41(1): 73-107.
- [57] Izaurrealde R C, Rosenberg N J, Brown R A, et al. Integrated assessment of Hadley Center (HadCM2) climate-change impacts on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States - Part II. Regional agricultural production in 2030 and 2095. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003, 117 (1-2): 97-122.
- [58] Benson V W, Potter K N, 吴永麟. EPIC中氮淋溶对蒸发蒸腾和土壤持水量计算的影响. *水土保持科技情报*, 1995(3): 24-26.
- [59] Warner G S, Stake J D, Guillard K, et al. Evaluation of EPIC for a shallow new England soil maize yield and nitrogen uptake. *Transactions of the Asae*, 1997, 40(3): 585-593.
- [60] Cavero J, Plant R E, Shennan C, et al. Application of EPIC model to nitrogen cycling in irrigated processing tomatoes under different management systems. *Agricultural Systems*, 1998, 56(4): 391-414.
- [61] Chung S W, Gassman P W, Kramer L A, et al. Validation of EPIC for two watersheds in southwest Iowa. *Journal of Environmental Quality*, 1999, 28(3): 971-979.
- [62] Chung S W, Gassman P W, Huggins D R, et al. EPIC tile flow and nitrate loss predictions for three Minnesota cropping systems. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30 (3): 822-830.
- [63] Rao M N, Waits D A, Neilsen M L. A GIS-based modeling approach for implementation of sustainable farm management practices. *Environmental Modeling and Software*, 2000, 15(8): 745-753.
- [64] Jones C A, Cole C V, Sharpley A N. Simulation of nitrogen and phosphorus fertility in the EPIC model// El-Swaify S A, et al. (Ed.) *Soil Erosion and Conservation*, Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa, 1985: 307-315.
- [65] De Barros I, Gaiser T, Romheld V. Validation of the EPIC model for nitrogen and phosphorus uptake by intercropped maize and cowpea on Alumi Haplic Acrisol. *Developments in Plant and Soil Sciences*, 2001, 92: 948-949.
- [66] De Barros I, Williams J R, Thomas Gaiser. Modeling soil nutrient limitations to crop production in semiarid NE of Brazil with a modified EPIC version: II: Field test of the model. *Ecological Modelling*, 2005, 178(3): 441-456.
- [67] Meza F J, Wilks D S. Use of seasonal forecasts of sea surface temperature anomalies for potato fertilization management. Theoretical study considering EPIC model results at Valdivia, Chile. *Agricultural Systems*, 2004, 116 (3): 137-158.
- [68] Wang X, Harmel R D, Williams J R, et al. Evaluation of epic for assessing crop yield, runoff, sediment and nutrient losses from watersheds with poultry litter fertilization. *Transactions of the ASABE*, 2006, 49(1): 47-59.
- [69] 王学春, 李军, 郝明德. 施肥水平对长武旱塬地冬小麦产量影响的模拟. *农业工程学报*, 2008, 24(8): 45-50.
- [70] 王学春, 李军, 樊廷录. 黄土旱塬不同施肥水平下小麦玉米轮作的产量与土壤水分效应模拟研究. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(2): 225-242.
- [71] Wang X, He X, Williams J R, et al. Sensitivity and uncertainty analyses of crop yields and soil organic carbon simulated with EPIC. *Transactions of the Asae*, 2005, 48(3): 1041-1054.
- [72] Thomson A M, Izaurrealde R C, Rosenberg N J, et al. Climate change impacts on agriculture and soil carbon sequestration potential in the Huang-Hai Plain of China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, 47(4): 1665-1674.
- [73] 余福水. EPIC模型应用于黄淮海平原冬小麦估产的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [74] Martin S M, Nearing M A, Bruce R R. An evaluation of the EPIC model for soybeans grown in Southern Piedmont. *Transactions of the Asae*, 1993, 36(5): 1327-1331.
- [75] Gaiser T, Stahr K, Billen N, et al. Modeling carbon sequestration under zero tillage at the regional scale. I. The effect of soil erosion. *Ecological Modelling*, 2008, 218 (1-2): 110-120.
- [76] Lu C H, van Ittersum M K, Rabbinge R. Quantitative assessment of resource-use efficient cropping systems: A case study for Ansai in the Loess Plateau of China. *Euro-*



- pean Journal of Agronomy, 2003, 19(2): 311-326.
- [77] Chimire S K, Sbabel M S. Evaluation of erosion productivity impact calculator (EPIC) model for middle mountain region of NEPAL. *International Journal of Sediment Research*, 2004, 19(2): 106-122.
- [78] Wang E D, Harman W L, Williams J R, et al. Simulated effects of crop rotations and residue management on wind erosion in Wuchuan, west-central Inner Mongolia, China. *Journal of Environmental Quality*, 2002, 31(4): 1240-1247.
- [79] 王尔大, Harman W, 郑大玮, 等. 旱作农区轮作和留茬处理方式对风蚀的影响: 应用EPIC模型进行模拟和分析的武川案例. *中国农业科学*, 2002, 35(11): 1330-1336.
- [80] Williams J R, Izaurralde R C. The APEX model. Blackland Research Center, Texas, A&M University, 2005.
- [81] Bernardos J N, Viglizzo E F, Jouvet V, et al. The use of EPIC model to study the agroecological change during 93 years of farming transformation in the Argentine pampas. *Agricultural Systems*, 2001, 220(1): 71-80.
- [82] Costantini E A C, Bocci M, Abate G L, et al. Mapping the State and Risk of Desertification in Italy by means of Remote Sensing, Soil GIS and the EPIC Model. *Methodology Validation on the Island of Sardinia, Italy*. Experimental Institute for Soil Study and Conservation, Firenze, Italy, 2005.
- [83] Costantini E A C, Castelli F, Abate G L. Use of the EPIC model to estimate soil moisture and temperature regimes for desertification in Italy. *Advances in GeoEcology 36: Sustainable Use and Management of Soils, Arid and Semiarid regions*, 2005: 251-263.
- [84] Rejesus R M, Hornbaker R H. Economic and environmental evaluation of alternative pollution-reducing nitrogen management practices in central Illinois. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1999, 44(1): 81-97.
- [85] 王学春, 李军, 任晶晶. 长武旱塬不同麦玉轮作系统产量效应模拟研究. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(3): 71-78.
- [86] Secchi S, Gassman P W, Williams J R, et al. Corn-Based Ethanol Production and Environmental Quality: A Case of Iowa and the Conservation Reserve Program. *Environmental Management*, 2009, 44(4): 732-744.
- [87] Semaan J, Flichman G, Scardigno A, et al. Analysis of nitrate pollution control policies in the irrigated agriculture of Apulia Region (Southern Italy): A bio-economic modelling approach. *Agricultural Systems*, 2007, 94(2): 357-367.
- [88] Li C S, Zhuang Y H, Frolking S, et al. Modeling soil organic carbon change in croplands of China. *Ecological Applications*, 2003, 13(2): 327-336.
- [89] Liu J G. Consumptive water use in cropland and its partitioning: A high-resolution assessment. *Science In China Series E-Technological Sciences*, 2009, 52(11): 3309-3314.
- [90] 春亮, 杨桂霞, 辛晓平, 等. 利用EPIC模型模拟北京春播紫花苜蓿的当年生长. *华北农学报*, 2007, 22(B8): 163-166.
- [91] 刘明, 武建军, 吕爱锋, 等. 黄淮海平原雨养条件下冬小麦水分胁迫分析. *地理科学进展*, 2010, 29(4): 427-432.
- [92] Chavas D R, Izaurralde R C, Thomson A M, et al. Long-term climate change impacts on agricultural productivity in eastern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 95(1): 203-215.

## A Review of EPIC Model and Its Applications

FAN Lan<sup>1,2</sup>, LU Changhe<sup>1</sup>, CHEN Zhao<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Crop growth model is a useful tool for quantitative evaluation of crop production potentials. Since its study was first published in 1985, EPIC model has been widely used in the world because of its powerful functionality. In this paper, the main structure, function and data requirements were firstly summarized, and then the model applications in the world and China were reviewed. In China, since the first application in 2001, the EPIC model was used to evaluate crop yield potentials, quantify effects of irrigation and climate change on crop production, estimate nutrient losses and soil carbon storage, and predict soil losses. Finally, a brief discussion and suggestions were given on the model use.

**Key words:** EPIC model; parameter; model application

本文引用格式:

范兰, 吕昌河, 陈朝. EPIC模型及其应用. *地理科学进展*, 2012, 31(5): 584-592.