

气候变化对湖南省 农业水旱灾害的影响研究方法探讨

邓运员¹, 郑文武^{1, 2}, 刘沛林¹

(1. 衡阳师范学院资源环境与旅游管理系, 中国 湖南 衡阳 421008;

2. 中南大学信息物理工程学院, 中国 湖南 长沙 410083)

【摘要】随着全球气候变化的不断加剧, 区域气温、降水、辐射等都发生了重大变化, 其对农业发展也具有重要影响, 研究气候变化对湖南农业水旱灾害的影响及适应性对策有利于减小灾害性天气及气候系统对湖南省农业的影响, 适时找出适合湖南区域特点的应对措施, 并进一步完善当前全球气候变化对农作物生长研究的不足。基于英国哈德莱气候中心的区域气候模式PRECIS 系统的区域尺度气候情景模拟结果, 借助于GIS 技术运用EPIC 和SWAT 模型分别模拟未来不同气候情景下湖南水稻产量和水资源的变化, 通过对过去50 年气候变化及其对水稻模拟产量的影响研究, 可以总结湖南省应对气候变化引发的水旱灾害的策略和方法, 并进一步提出未来气候变化情景下的适应性对策, 可以为政府和相关决策部门应对未来水旱灾害的适应性对策提供参考依据。

【关键词】研究方法; EPIC; SWAT; PRECIS

【中图分类号】P467

【文献标识码】A

湖南省位于长江中游以南、南岭以北, 大部分地区属中亚热带湿润季风气候, 湘南、湘北分别兼有亚热带季风气候与亚热带季风气候过渡的特征。由于地形、气候、植被、土壤等各种因素的影响, 其降雨的时空分布极不均匀, 历年水旱灾害频繁。春夏之交, 降雨集中, 易因暴雨引起山洪暴发等; 盛夏以后又为副热带高压所控制, 天气久晴、少雨、气温高、南风大、蒸发强, 不能满足农作物生长需求, 易形成旱灾, 特别是衡(阳)邵(阳)一带, 素有“干旱走廊”之称。在洞庭湖区, 由于它是一个承纳湘、资、沅、澧四水和吞吐长江的洪道型湖泊, 并且属亚热带季风气候, 因此该地区水灾频繁。由于泥沙淤积和围湖垦殖, 湖盆日小, 湖床日高, 调蓄功能日渐削弱, 水灾呈上升趋势。湖南作为我国的产粮大省, 分布有多个重要的商品粮基地, 频繁的水旱灾害已经严重影响了农业生产, 威胁到经济和社会的可持续发展。

1 全球气候变化背景

气候变化是当今全球共同面临的重大课题, 关系到国民经济和社会发展的方方面面, 关系到生态与环境保护、能源与水资源、食物安全和人类健康, 关系到人类社会的可持续发展, 已经受到各国政府的关心和重视。而全球变暖已是世人关注的一个

收稿时间: 2010 - 04 - 15; **修回时间:** 2010 - 10 - 05

基金项目: 国家社会科学基金项目(编号: 08BJY073)、湖南省自然科学基金项目(编号: 07JJ3084)、湖南省人文地理重点学科建设资助项目和湖南省“资源环境管理与区域可持续发展”创新团队建设项目联合资助。

作者简介: 邓运员(1973—), 男, 湖南祁阳人, 副教授。主要研究方向为全球变化的区域响应。E-mail: dyydy@163.com。

焦点，由全球变暖引发的水旱灾害也越来越频繁、越来越严重；由于区域气候是水旱灾害的主要致灾因子，因此构建湖南省过去50年的气候变化序列，对认识区域水旱灾害的发生规律有着重要意义。

1.1 中国各地区的气温变化

对于中国温度的变化，王绍武等曾分10个区得出中国近百年来气候变化的趋势与全球气候变化的总趋势基本一致[1]：气温上升了0.4—0.5℃，略低于全球平均的0.6℃；龚道溢和王绍武的研究表明，20世纪最后20年，东亚是全球变暖速率最高的地区，中国气温回升迅猛，且1990年代也是近50年以来最暖的10年^[1-2]。气候极值或气候极端事件对社会经济和生态环境影响最大，翟盘茂、任福民对我国最高、最低温度变化的研究指出：1951—1990年期间我国平均最高、最低温度变化线形趋势表现出非常明显的不对称性^[3-4]；平均最高温度在黄河以北和东经95度以西地区以增温为主，其他地方以降温为主；平均最低温度则在全国表现出一致的增温趋势，增温幅度北方较大，南方较小。

1.2 中国各地区降水变化

对于降水量变化，丁一汇等发现，北方大部、西北东部、东北地区降水量明显减少，而南方和西南地区明显增加，近年来呈南涝北旱分布^[5]。而且，无论是年降水还是季节降水，我国西北部相对变率要高于其他地区。翟盘茂指出，中国西部降水量增长趋势明显，其中以西北为最，而西南一些地区有减少趋势^[4]。东北中部、长江中下游和东南沿海降水增多，华北大部、东北东部降水减少。在降水的极值变化方面，翟盘茂指出新疆是增多趋势最显著的地区，而且年降水量趋于极端偏多的范围越来越大，而东部的华北地区年降水量呈明显下降趋势，年降水量极端偏多的范围显著缩小。

1.3 中国各地区辐射变化

对于中国太阳辐射资料的分析研究，查良松和李晓文等人分析了中国1957—1992、1960—1990年间地面总辐射、自接辐射和散射辐射的年平均距平和季节变化特征^[6-7]。这些研究的共同结论是，中国大部分地区的太阳总辐射和自接辐射呈减少趋势，并推测大气中悬浮粒子浓度的增加可能是造成这种趋势的主要原因之一。

这些气候背景将很可能加大未来中国农业水旱灾害的风险和粮食安全的不确定性，因此，农业生产如何适应气候的这些变化，将对减轻农业水旱灾害风险具有重要意义，因而进行这方面的区域响应研究很有必要，本文以湖南省为例，提出研究的思路 and 初步设想，以求教于各位同仁。

2 水旱灾害对湖南省农业的影响

湖南省是一个农业大省，农业水旱灾害严重，处于全国3条易灾带的中部带，是江南自然致灾强度最严重的省份。以旱灾为例，据统计，1950—2002年因旱灾累计减产粮食406.29×108kg，平均每年受旱面积70.1×104hm²，成灾面积32.4×104hm²。平均每年投入抗旱经费达1.37亿元，严重干旱的1978年抗旱经费达2.14亿元。2003年大旱期全省农村实际饮水困难人口已增至500.78×104人，持续时间长达30—45天之久^[8]。因此，研究湖南水旱灾害的规律，提出今后应对水旱灾害的适应性对策有着重要的社会价值和现实意义。

受全球气候变化的影响，未来湖南气候变化的趋势将进一步加强，总结该地区应对气候变化引发的水旱灾害的策略和方法，提出未来气候变化情景下的适应性对策，为政府和相关决策部门战略性地应对未来水旱灾害的适应性对策提供参考依据，可减轻灾害性天气及气候系统对湖南省农业的影响程度。另一方面，全球气候变化对区域农作物生长研究存在不少的不足，目前对温度和降水变化的研究较多，而对辐射、日照等与农作物生长有关的其他气象要素的变化情况讨论较少，因此很有必要加强这方面的研究，进一步对研究区的主要气象要素的变化进行分析。我们以湖南省为例，通过揭示湖南省过去50年气候变化的客观

规律，同时建立过去半个世纪的气候变化序列，可为此方面研究的完善尽微薄之力。

3 数理模型与技术路线的选择

我们拟运用系统动力学的方法，将气候模型、作物生长模型、流域水资源模型进行整合，建立区域气候变化对水旱灾害影响的情景模拟，从人类过去应对水旱灾害的方法中，找出未来在气候变化情景下应对水旱灾害的适应性对策；揭示气候变化对水旱灾害的影响机制，解决人类如何去应对和适应由于气候变化导致的水旱灾害问题。

3.1 几个模型的适用性

3.1.1 农作物生长模型EPIC。湖南省农业水旱灾害的主要承灾体是水稻，因此对于水稻在气候变化条件下生长状况的模拟和适应性研究有典型的代表意义。而EPIC (Erosion- Productivity Impact Calculator) 土壤侵蚀和生产力影响估算模型是美国农业部研制的水土资源管理和作物生产力评价动力学模型^[9-10]。EPIC 模型适用于具有天气、土壤、地形、作物轮作和管理系统参数同质的区域，可以进行以天为步长的几百甚至几千年的长期模拟，可以定量评价农田的侵蚀状况和生产力状况。EPIC 作物生长模型是通过植物对能量的截取来模拟主要大田作物的生物量和产量。它对生物量的模拟包括作物的物候发育、潜在生物生长量、叶面积指数、株高、根重、根深、收获指数、养分吸收等环节。而作物生长过程中必然会受到其生长环境的限制，该模型从生物量的制约、根系生长的制约、作物产量的制约及越冬期地上生物量的影响几个方面进行模拟。

EPIC 农作物生长模型的应用研究主要在美国、法国、南美和亚洲的一些国家，集中在预测均质土地内农作物粮食产量的准确性上。通过模型模拟过去的农作物产量，结果与统计的实测数据进行比对，来修订模型的参数，以期调整该模型预测的准确性。实证表明：多数结果是对于单年的模拟准确性不稳定，对于长期趋势的模拟比较准确。EPIC 模型输出的一个重要的结果就是预测农作物产量，而输入的因子主要就是气候因子，因此气候变化对农作物产量的影响研究就非常重要，主要包括CO₂ 浓度、水汽压、气温和降水等气候因子的变化对粮食产量变化的情景模拟。1997 年WilliamE. Easterling^[11]对该模型进行了订正后，模拟了在防风林对气候变化的调整和影响下旱作玉米的产量。1997 年RobertA. Brown 模拟了美国中部在气候因子和CO₂ 浓度的增加或减少下，作物产量波动的敏感性^[12]。2000 年，R. A. Brown 利用该模型模拟了在气候变化的情景下美国中部农作物和牧草的产量^[13]。2001 年SatyaPriya 结合GIS 技术，对印度进行了大尺度上的模拟作物产量的变化^[14]。R. César Izaurralde 基于英国哈德来气候中心发展的一般环流模式HADCM2 给出的气候模拟数据，预测了2030 和2095 年区域农业玉米、小麦等大田作物的粮食产量^[15]。根据政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 基于一般环流模式 (GCM) 模型所提出的未来几种气候变化的情景模拟结果，近来的很多研究都聚集于在IPCC 提出的情景下，利用EPIC 模型对各种大田农作物进行产量的情景模拟。2003 年Guoxin Tan 结合GIS 技术在全球尺度上，基于IPCC 给定的气候数据，对主要的大田作物产量进行了间隔为10 年的预测，结果显示，全球的变暖将会使大多数国家的粮食产量减产^[16]。2004PengYANG 将GIS 技术和EPIC 模型相结合，模拟了中国华北地区1980 年代玉米和小麦产量，结果表明模拟产量与实际产量相差很小，模拟精度较高^[17]。2005 年Allison M. 利用该模型对中国黄海平原冬小麦进行了研究，基于IPCC 给定的未来气候变化的A2 和B2 情景为输入条件，预测出未来50—100 年内该区域的冬小麦产量将会有所增加^[18]。因此，运用美国农业部研发的EPIC 农作物生长模型，基于气象资料和土壤资料采用GIS 技术对过去50 年湖南的水稻产量进行模拟，并将湖南过去50 年的气候变化序列与EPIC 水稻产量的模拟结果进行对比分析，揭示气候变化对水稻产量的影响规律具有很好的可行性。

3.1.2 流域尺度水资源循环模型SWAT。SWAT 模型是美国农业部下属的农业研究局 (ARS) 开发的大、中尺度的长时段流域环境模拟模型，它建立在非城区水资源模拟模型SWRRB (Simulator for WaterResources in Rural Basins) 的基础上并结合美国农业研究局的其它几个模型，如EPIC 模型、“化学物质、径流以及侵蚀农业管理系统模型” (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems, CREAMS) 以及“地下水负荷效应农业管理系统模型” (The Groundwater Loading Effects of Agricultural Management System, GLEAMS) 等，具有很强的水文物理机制，适用于具有不同的土壤类型、不同的土地利用方式和管理条件下的复杂大流域，并能在资料缺乏的地区建模，在加拿大和北美以及我国的部分流域已经有很好的应用。它偏

重于水文模拟，运行步长以日为单位，主要模拟不同土地利用和多种农业管理措施对流域的水、泥沙、化学物质的长期影响，能预测100 年以内某个流域的总径流量、泥沙流失量和营养负荷等^[19-20]。因此，用SWAT 模型可以对湖南的径流、蒸散发等进行模拟，并结合SWAT 模型的水量平衡模块，得到湖南水资源在各个流域单元上的时空分布，进而找到水资源时空分布对水稻产量的影响机制。

3.1.3 区域气候动力学模式PRECIS。对于未来气候情景的模拟，通常的全球气候模式的空间分辨率为300km 左右，由于空间分辨率低，在区域尺度研究上有诸多限制。高精度、区域尺度上的气候情景，对于评价气候变化的影响、自然及社会系统的脆弱性、人类适应性有着重要的意义，可以为区域尺度上的水资源评价、自然灾害风险评价、农作物生长模型参数化等领域的研究提供数据基础。为更详尽地考虑影响气候的区域性因素，我们拟采用英国哈德莱气候中心的区域气候模式PRECIS 系统，利用美国国家环境预测中心（National Centers for Environmental Prediction, NCEP）的再分析资料、一般环流模型如英国哈德来气候中心发展的一般环流模式HADCM3 等模拟出的低空间分辨率气候情景为边界条件，并结合高分辨率地形等区域数据，如1：25 万DEM数据、1：100 万土壤数据等，模拟湖南5km 尺度上的气候变化情景。

3.2 技术路线

通过对前述三个模型的评述，我们可以构建如下研究路线图。①基于对湖南省及其周边地区过去50 年气象站点资料的分析（日气温、日降水、日辐射、日照时间等因素），可以揭示湖南过去50 年气候变化的客观规律，同时建立过去半个世纪的气候变化序列。②利用已有的土壤类型数据、土地利用数据、地形数据等运用GIS、RS 技术进行处理，生成满足模型运行的基础数据。如基于1：100 万土壤数据的理化属性产生EPIC 模型的输入数据；利用1：25 万的DEM在ArcGIS 中提取河网并进行流域划分从而将水文数据准确定位，辅助SWAT 模型进行调参；基于多年期Landsat TM影像进行土地利用分类和产生过去若干年份湖南省的NDVI （植被指数）。③运用EPIC 农作物生长模型，基于气象资料和土壤资料对过去50 年湖南水稻产量进行模拟，结合湖南过去50 年的气候变化序列，将EPIC 模型模拟的水稻产量与实际产量进行对比分析，揭示气候变化对水稻产量的影响规律。④基于PRECIS 系统的区域尺度气候情景模拟结果，运用EPIC 模型进行未来气候模拟，并综合运用SWAT 模型，找到区域气候变化对水旱灾害影响的动力学机制。⑤通过对过去50 年湖南应对气候变化引发的水旱灾害的策略和方法的总结，结合湖南气候变化对水旱灾害影响的动力学机制，建立湖南减灾范式，建设性地提出未来气候变化情景下的适应性对策，为政府和相关决策部门对研究区战略性的应对未来水旱灾害的适应性对策提供参考依据。详细的技术路线如图1。

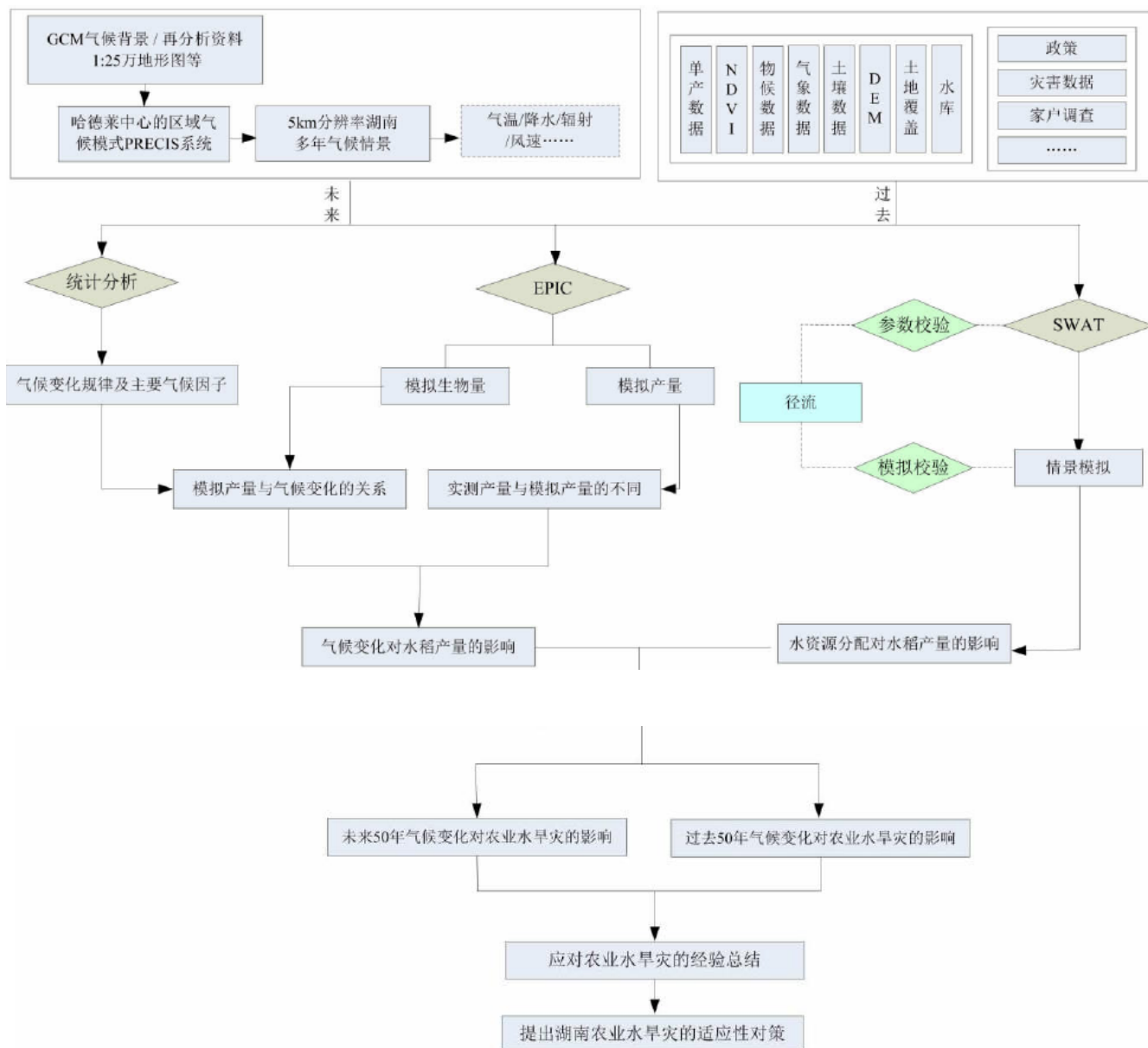


图 1 技术路线分解图

Fig.1 The technological route of the program

4 讨论与展望

基于英国哈德莱气候中心的区域气候模式PRECIS 系统的区域尺度气候情景模拟结果，借助于GIS 技术运用EPIC 和SWAT 模型分别模拟未来不同气候情景下湖南水稻产量和水资源的变化，通过对过去50 年气候变化及其对水稻模拟产量的影响研究，可以总结出湖南应对气候变化引发的水旱灾害的策略和方法，提出未来气候变化情景下的适应性对策，这是本研究的目标所在，可在如下几个方向开展研究。

4.1 几个可能的研究方向

4.1.1 从区域水旱灾害的角度，建立过去50 年区域气候变化序列。以灾害性天气为目标，基于湖南省及其周边地区过去50

年气象站点资料的分析（日气温、日降水、日辐射、日照时间等因素），揭示湖南过去50 年气候变化的客观规律，同时建立过去半个世纪的气候变化序列；

4.1.2 运用EPIC 农作物生长模型，基于气象资料和土壤资料通过对过去50 年湖南水稻产量进行模拟，揭示气候变化对水稻模拟产量的影响规律，从中总结过去人类应对灾害的对策与教训；

4.1.3 基于IPCC 提出的未来气候变化情景，模拟未来A2、B2 情景下区域水旱灾害的情景。基于英国哈德莱气候中心的区域气候模式（RCM）PRECIS 系统，利用NCEP 的再分析资料、一般环流模型（GCM）模拟出的低空间分辨率气候情景为边界条件，结合高分辨率地形等湖南区域数据，模拟湖南未来50 年内5km 尺度上的气候变化情景；

4.1.4 基于区域尺度气候情景模拟结果，运用EPIC模型模拟未来不同气候情景及灾害性气候情境，以及在未来气候情境下湖南水稻产量的变化。

4.2 几个关键问题的讨论

根据目前的研究现状，在如下几个方面还需要寻求突破：

4.2.1 区域气候变化对水旱灾害影响的动力学机制。从致灾因子的角度，引入动力学模型，系统分析区域气候变化对水旱灾害的影响，筛选影响水旱灾害的主要气象因子和气象派生指标，并从过去人类应对水旱灾害的策略和教训上，总结适于湖南的综合减灾适应性对策；

4.2.2 未来区域气候变化对水旱灾害的情景模拟。基于PRECIS 系统，结合高精度的湖南地形高程模型，解决GCM对未来气候情景输出结果空间分辨率低的问题；

4.2.3 区域气候模型、水文模型和农作物生长模型的耦合。运用气候模型、作物生长模型、流域水资源模型，基于IPCC 提出的未来气候变化的情景，模拟在A2、B2 情景下区域水旱灾害的情景。

4.2.4 区域气候模式PRECIS 所采用Hadley 中心的资料（CRU 资料）不是全球的，未包括近年来强烈增暖的北极地区。这就需要引进其它气候模式的数据，比如NASA 的资料是全球性的；那么，数据的适用性问题是否存在？如何解决？

参考文献：

- [1] 王绍武，龚道溢. 近百年来的ENSO 事件及其强度[J]. 气象，1999，25(1)：9 - 13.
- [2] 王绍武，叶瑾琳，龚道溢. 近百年中国气温序列的建立[J]. 应用气象学报，1998，9（4）：392 - 401.
- [3] 翟盘茂，任福民. 中国近四十年来最高最低温度变化[J]. 气象学报，1997，55（4）：418 - 429.
- [4] Zhai Panmao, Sun Anjian, Ren Fumin, Liu Xiaonin, Gao Bo and Zhang Qiang. Change of climate extremes in China [J]. Climatic Change, 1999(42): 203 - 218.
- [5] Ding Yihui, Sun Ying, Inter-decadal variability of the temperature and precipitation patterns in the East-Asian monsoon region[C]. International Symposium on Climate Change, 2003.

-
- [6] 查良松. 我国地面太阳辐射量的时空变化研究[J]. 地理科学, 1996, 16(3): 232 - 237.
- [7] 李晓文, 李维亮, 周秀骥. 中国近30 年太阳辐射状况研究[J]. 应用气象学报, 1998, 9(1): 24 - 31.
- [8] 尹树斌, 巢礼义, 冯发林. 湖南省农业干旱灾害特征与水资源高效利用模式[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2005, 28(4): 80 -84.
- [9] V. P. Singh. Computer Models of Watershed Hydrology [M]. Water Resources Publications, 1995: 909 - 1 000.
- [10] Philip W. G., J. R. Williams. Historical development and applications of the EPIC and APEX Models[M]. Working Paper 05-W, 2005: 397.
- [11] William E. Easterling. Modeling the Effect of Shelterbelts on Maize Productivity Under Climate Change: An Application of the EPIC model[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1997, 61(2- 3): 163 - 176.
- [12] Robert A. Brown. Sensitivity of crop yield and water use to change in a range of climatic factors and CO₂ concentrations: a simulation study applying EPIC to the central USA [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1997, 83(3- 4): 171 - 203.
- [13] R.A. Brown. Potential production and environmental effects of switch grass and traditional crops under current and greenhousealtered climate in the central United States[J]. Agriculture Eco-Systems & Environment, Ecological Modelling, 2000, 78(1): 31 -47.
- [14] Satya Priya. National spatial crop yield simulation using GISbased crop production model[J]. Cological Modelling, 2001, 136(2- 3): 113 - 129.
- [15] R. César Izaurralde. Integrated assessment of Hadley Center (HadCM2) climate-change impacts on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2003, 117(1- 2): 97 - 122 .
- [16] Guoxin Tan. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration[J]. 2003, 75(4): 409 - 416.
- [17] Yang, P., Tan, G.X., Shibasaki, R.. Using spatial EPIC model to simulate corn and wheat productivity: the case of the North China[C]// Proceedings of the 24th Asian Conference on Remote Sensing. Busan, Korea, 2003.
- [18] Allison M. Climate change impacts on agriculture and soil carbon sequestration potential in the Huang-Hai Plain of China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2006, 114(2- 4): 195 - 209.
- [19] Rosenberg. NJ, Epstein DL, Wang D, et al. Possible Impacts of Global Warming on the Hydrology of the Ogallala Aquifer Region[J]. Journal of Climate, 1999, 42: 677 - 692.
- [20] 陈军锋, 陈秀万. SWAT 模型的水量平衡及其在梭磨河流域的应用[J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2004, 40(2):

265 – 270.