

# 基于 GIS 的黄土丘陵沟壑区作物生产潜力模拟研究

李忠武<sup>1</sup>, 蔡强国<sup>1</sup>, Scott Mitchell<sup>2</sup>, 唐政洪<sup>1</sup>, Ferko Csillag<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 加拿大多伦多大学地理系)

**摘要:**从 YIELD 模型的来源、输入文件及基本参数、模型中作物生产力计算各个子模型以及计算流程 4 个方面作了简单的叙述,以黄土丘陵沟壑区典型小流域晋西狼窝沟为例,在地理信息系统(GIS)技术支持下,应用 YIELD 模型对该流域的作物生产潜力进行了模拟,并从作物类型、地类、耕作措施及气候条件 4 个方面对影响该流域作物产量的因素进行分析。结果表明,该模型对不同作物的模拟产量在总体上与实测产量基本相符合,表明模型可以应用于黄土丘陵沟壑区的作物产量模拟之中;对于不同地类来说,坝地的土壤水分和肥力条件明显高于梯田和坡耕地,因而坝地的模拟产量也高于梯田和坡地,但三者之间的差距没有实测产量显著;耕作措施是提高作物生产力的有效途径,对地膜覆盖、梯田以及施肥等耕作措施的模拟产量表明,这 3 种耕作措施均能有效的提高作物生产力,其产量提高率均平均在 85% 以上,其中以施肥对作物的增产作用最大,增产率高达 95%,这与实测产量资料基本一致;气候条件是影响作物生产的直接因素,模拟结果表明模型对降水量和温度等气候条件十分敏感,不同年份降水量和温度的差异将直接导致作物生产力的显著不同。对 YIELD 模型的模拟结果分析表明,该模型可以有效地应用于黄土丘陵沟壑区的作物生产潜力研究。

**关键词:** YIELD 模型;黄土丘陵沟壑区;作物生产力

## A GIS-based Simulation of Crop Potential Productivity in Hilly Loess Region

LI Zhong-Wu<sup>1</sup>, CAI Qiang-Guo<sup>1</sup>, Scott Mitchell<sup>2</sup>, TANG Zheng-Hong<sup>1</sup>, Ferko Csillag<sup>2</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Department of Geography, Toronto University of Canadian). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(3): 311~317.

**Abstract:** We select the Langwogou catchment in hilly Loess region as the study area, and use a crop productivity model to investigate the spatial variability of crop productivity. Firstly, the YIELD model, including origin of the model, input files and basic parameters, sub-model of calculating crop productivity and flow chart, is briefly described. Secondly, crop potential productivity of the catchment was modeled by integrating Geographic Information System with the YIELD model, and the effects of the type of crop, land type, cultivation practice and climatic condition on crop productivity of the catchment were analyzed.

The results showed that the simulated yield is in agreement with observed yield for different crops. For different land types, soil water and nutrient levels is much better in bottom land than that in terrace and slope land, resulting in that the simulated yield in bottom land being higher than that in terrace and slope land, but the difference of simulated yield between different land type is not so obvious as that of observed yield. The cultivation practice is a means of enhancing crop yield, and the simulated yields for different cultivation practices, including plastic cover, terrace and fertilization, indicated that cultivation practices can effectively enhance crop productivity, and the average yield increase of three cultivation practices are more than 85%, especially for fertilization, whose improvement rate reaches 95%. This is in a-

基金项目:中国科学院知识创新资助项目(KZCX1-10-04)

收稿日期:2001-09-06; 修回日期:2001-11-10

作者简介:李忠武(1972~),男,博士。主要从事精准农业及农业与环境地理信息系统研究工作。

reement with observed yield. The climatic condition is one of the most significant factors affecting crop growth, and the simulated result shows that the model is sensitive to climatic condition, such as precipitation and temperature. The annual variations of rainfall and temperature can result in different crop productivities. It can be concluded from this study that the YIELD model can be effectively used to model the crop potential productivity in Hilly Loess region.

**Key words:** YIELD model; Hilly Loess region; crop productivity

文章编号: 1000-0933(2002)03-0311-07 中图分类号: S162.5 文献标识码: A

在对农作物的影响因子极其复杂以及环境条件变化剧烈的条件下,为了更好的研究农业生态系统内部作物与生存环境的关系,在 20 世纪 60 年代建立了第一个在大棚中估价光拦截作用和光合作用的作物模型以来<sup>[1~3]</sup>,经过 40 多年的发展,已发展了种类繁多、目的多样的多种作物生长模型,目前在国际上农业生态系统模型注册库中已有 200 多种,如: SUCROS、CERES、AFRCWHEAT、CROPSIM、EPIC、DEME-TER、SOYMOD、SWHEAT、ECOSYS 等模型均为作物生长模型,当前在国际上实用性最广,运用最普遍的是以美国 Ritchie 等为代表的 CERES 系列作物模型系统<sup>[4,5]</sup>,同时由于不同地区环境条件的多变,而作物生长的某些过程又是建立在经验的基础上,故目前所建立的作物生产力模型的应用均局限于特定的地区<sup>[6,7]</sup>。对于作物生产力的研究,国内的专家学者也做了大量的研究工作<sup>[6,7]</sup>,而与地理信息系统的结合是目前研究的热点之一,也取得了一些研究成果,但以往的研究均是从大区域着手<sup>[8,9]</sup>。黄土丘陵沟壑区由于历史时期及近代以来人类对植被的破坏导致该地区土壤侵蚀严重,地表支离破碎,生态环境脆弱,农业生产基础非常薄弱,故应用 YIELD 模型结合地理信息系统(GIS),以晋西狼窝沟小流域为例,对水土流失条件下的作物生产潜力进行模拟,对于黄土丘陵沟壑区生态环境的保护、提高农业管理水平和农业资源的优化配置具有重要的理论意义和实用价值。

## 1 研究区介绍

狼窝沟流域位于山西省西部,距离静乐县城约 4.5km,属于汾河流域的一条支沟,总流域面积为 9.42km<sup>2</sup>,其中可耕地有 463hm<sup>2</sup>,人均耕地约 0.3hm<sup>2</sup>。该地区属于温带半干旱气候区, $\geq 10^{\circ}\text{C}$  约为 4000 $^{\circ}\text{C}$ ,平均温度约为 8.82 $^{\circ}\text{C}$ ,平均年降雨量约为 318.3mm,且年际变化和季节变化均较大。狼窝沟流域总的特点是地形崎岖不平,高山岩石裸露,四处沟壑纵横,水土流失严重,自然灾害频繁发生,由于水土流失导致土壤非常贫瘠,有机质含量低,这一切导致该区的生产力水平低下,作物产量低而不稳,同时该小流域农业生产结构单一,农民生活水平低,人均年收入仅为 36.30 元,因而以狼窝沟为例进行农业生产潜力的模拟研究对于黄土丘陵沟壑区生态农业的发展、农业生态环境的保护以及提高作物产量和农业生产水平具有重要的理论价值和实践意义。

## 2 YIELD 模型介绍

### 2.1 模型的基本由来及功能介绍

YIELD 模型是由加拿大国际发展署资助的中加合作项目——黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀管理信息系统(SEMGIS)的一部分<sup>[10]</sup>,是由中国科学院地理研究所和加拿大 Toronto 大学针对黄土丘陵沟壑区地区的实际情况而研究开发的,该模型自 1992 年开发以来,历时 8a,经过反复修正,以求适应黄土丘陵区的脆弱生态条件。该模型可以用来研究黄土丘陵沟壑区的作物产量和气候、耕作以及水土保持措施之间的关系,是一个基于地块的,由日气象、降雨信息以及流域的土壤、地形和作物水分参数驱动的模式,集中研究了作物产量与气象及土壤水分条件的关系。同时由于研究区属于半干旱地区,每年的降水在 400mm 左右,近几年来,由于自然生态条件的破坏导致了连年的干旱,1999 年降雨不足 300mm,且降雨的时间分布极不均匀,故对于该地区的作物生长来说,作物的水分供求成为一个十分突出的问题。针对黄土该区农业发展的严重缺水问题,YIELD 模型中特别强调通过各种作物管理措施来提高农作物对土壤水分的利用效率。

### 2.2 模型运行所需数据输入文件及参数

气象文件包括日期、平均温度、平均湿度、最小湿度、云量、白天和夜间风速等参数;

降水文件包括日期、降雨量、降雨历时参数;

地块文件包括地块号、地块面积、高程、平均坡度坡向、土地类型、土壤类型等参数;

作物文件包括地块号、作物种类、所占面积百分比;

参数文件包括所模拟区域的名称、经纬度、模拟年限、作物参数(各生长期长度、作物生长天数、作物根生长率)、土壤参数(地下水位深度、土壤水文参数、不同地块持水率、土壤结皮因素)

### 2.3 作物产量计算的基本子模型

$$(1 - Y_a/Y_m) = K_Y(ET_a/ET_m) \quad (1)$$

式中,  $Y_m$  是适宜的水分和养分条件下的最大作物产量,其主要来源于全球的野外观测数据以及温度、太阳辐射和湿度的输入结果;  $ET_m$  是基于 Penman 公式所计算得出得最大土壤水分蒸散蒸发量;  $ET_a$  是考虑到土壤水分条件和作物特征下的实际土壤水分蒸散蒸发量,  $ET_a$  值的确定方法是先根据气候及土壤水分条件计算土壤有效水分指数(ASI),然后利用 ASI 及  $ET_m$  在 Doorenbos 和 Kassam 对全球作物产量研究论文中查表 22 获得<sup>[11]</sup>;  $K_Y$  值是基于全球野外研究的作物水分胁迫调整因素,也称为作物减产系数,该参数的确定根据 Doorenbos 和 Kassam 论文中表 24 获得<sup>[11]</sup>;  $Y_a$  是考虑到土壤水分胁迫条件下的实际作物产量,在模型中,其来源于计算出来的  $ET$  值和  $Y_m$  值。

$$Y_o = F \times y_o + (1 - F) \times y_c \quad (2)$$

式中,  $F$  表示白天的云量,  $F = (R_{smax} - 0.5R_s)/0.8$ , 其中  $R_{smax}$  为日短波辐射的最大值 ( $4.18KJ/(cm^2 \cdot d)$ ),  $R_s$  是实际的短波辐射,  $59 \times 4.18KJ/cm^2$  的太阳辐射相当于 1 mm 的  $ET$ ;  $Y_o$  是实际的每天干物质生产量 ( $kg/(hm^2 \cdot d)$ );  $y_o$  是有云覆盖条件下的物质生产率,  $y_c$  是没有云覆盖条件下的物质生产率。

将(2)修正即可得到

$$Y_{ME} = Y_o \times K \times CT \times G \times CE \quad (3)$$

式中,  $K$  是作物种类参数修正,  $K = Y_o \times (ET_{max}/VPD)$ ;  $CT$  是空气温度修正;  $G$  为作物生长天数;  $CH$  为对作物收获有贡献的部分;  $CE$  是气候影响修正  $CE = ET_{max}/VPD$ ,  $ET_{max}$  为最大土壤水分蒸散蒸发量  $ET_{max} = K_s \times ET_o$ ,  $VPD$  大气压力差。本修正公式主要针对小麦、玉米以及紫花苜蓿。

将(2)进行另外的修正即可得到:

$$YM = AY \times PHF \times \alpha_{EP} \times SC \times \beta_H \times G \quad (4)$$

式中,  $PHF$  是光合作用参数,  $SC$  是土壤覆盖,  $\beta_H$  是植物叶生物量在根与叶总生物量中所占的比例,  $\alpha_{EP}$  是温度对根生长的限制作用,此修正公式用于计算土豆的产量:

$$\text{If } YM > 20kg/(hm^2 \cdot h)$$

$$AY = AF \times (0.8 + 0.01 \times YM) \times AYO + (1 - AF) \times (0.5 \times 0.025 \times YM) \times AYC \quad (5)$$

$$\text{If } YM < 20kg/(hm^2 \cdot h)$$

$$AY = AF \times (0.5 \times 0.025 \times YM) \times AYO + (1 - AF) \times (0.05 \times YM) \times AYC$$

式中,参数的意义与以上其他方程一致。

对(5)进行修正可得:

$$YMP = AY \times CL \times CN \times CH \times G \quad (6)$$

式中,  $CL$  是对作物叶面积的修正,  $CN$  是对呼吸作用的修正,  $CH$  是指作物确定的收获部分,  $G$  是作物生长季节的天数。该修正模型用于计算高粱、豆类的产量。

$$ET_o = c[W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times VPD] \quad (7)$$

(7)为 Penman 方程,式中  $ET_o$  是参考土壤水分蒸散蒸发量;  $VPD$  为一定温度条件下的饱和与实际大气压力的差值;  $C$  为白天或夜晚情况的矫正;  $F(u)$  是风速的修正  $f(u) = 0.27 \times (1 + u/100)$  ( $U$  in  $km/ \cdot 2m$ );  $R_n$  为以  $ET$  当量表示的净太阳辐射;  $W$  是大气温度和地形高度的修正 ( $0-1$  和  $\sim(T, 1/h)$ )

### 2.4 模型对作物产量的基本计算过程

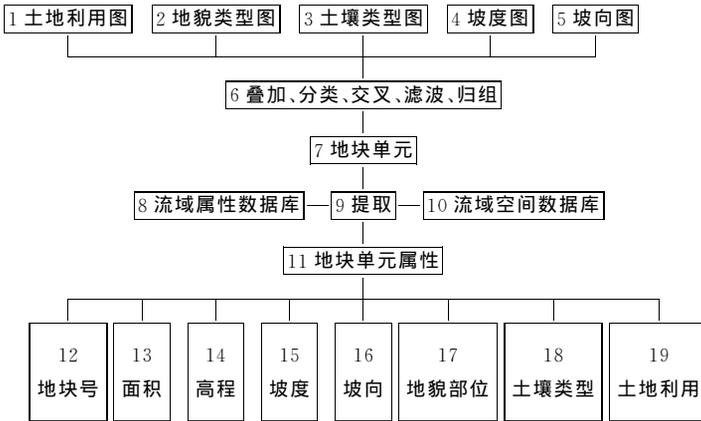
在作物产量数据 YIELD 模型先对每一种作物类型估计一个栽培日期,然后 YIELD 模型通过与作物

生长和水力学的联系,控制和监测作物每一天的生长过程,最后经过对整个生长季节的模拟, YIELD 模型

即可在一定的气象、降雨、太阳辐射以及播种日期条件下,根据(2)计算出一标准作物的生产量,然后利用(3)~(6)对不同的作物根据  $ET$ 、地形、气候条件进行修正,即可得到不同作物的最大产量和潜在产量,最后通过方程(1)即可计算出作物的实际产量。

### 3 地理信息系统(GIS)技术在作物模型中的应用

作物模型 20 世纪 60 年代产生以来,在世界上已出现了众多的类型,然而能在实际的农业生产中应用的类型很少,并且往往是一地建立的模型不能在另一地使用,造成模型的普适性能很低。而目前日新月异地理信息系统(GIS),具有强大的对空间数据进行储存、处理、分析和可视化能力,其出现虽已有 30 多年的历史,但真正被用于农业和自然资源管理还只有十多年的时间<sup>[12,13]</sup>,并且 GIS 也可以将时间作为第四维空间进行考虑,把基于机理过程的作物生长模型(即随时间而发生的变化)结合进来,解决作物模型普适性不强的问题,这将有利的对作物生长过程中的时间和空间变量进行分析,以求建立普适的作物模型。



- 1. Land use map; 2. Physiognomy type map; 3. Soil type map; 4. Slope map; 5. Aspect map; 6. Overlay, reclassify, crosstab, filter, assign; 7. Land unit; 8. Attribute database of watershed; 9. Extract; 10. Spatial database; 11. Attribute of land unit; 12. Code of land unit; 13. Area; 14. Elevation; 15. Slope; 16. Aspect; 17. Physiognomy part; 18. Soil type; 19. Land use

图 1 数据库和地块文件的生成流程图

Fig. 1 Flow chart of data base and land unit file producing

在本研究中利用 GIS 的 ARC/INFO、IDRISI 软件和流域的基础图件及相关资料,建立小流域的图形数据库和属性数据库,然后从中提取出小流域的地块文件(图 1),输入 YIELD 模型进行作物生产潜力的模拟,基于地块的产量模拟结果又可以通过 GIS(ARC VIEW)在地图上显示出来,以达到可视化的效果(图 2)。

### 4 模型模拟结果分析

#### 4.1 各类作物模拟产量与实测产量对比分析

通过对狼窝沟流域的农作物实测资料调查可知,该流域不同作物的产量为:玉米大约为  $400\text{kg}/666.7\text{m}^2$ ,土豆一般为  $1000\text{kg}/666.7\text{m}^2$  左右,高粱为  $300\text{kg}/666.7\text{m}^2$ ,豆类小于  $100\text{kg}/666.7\text{m}^2$ 。而利用 1997~1999 年的气象和降雨资料,对狼窝沟流域包括小麦、土豆、玉米、大豆、高粱以及紫花苜蓿在内的 6 种作物,216 个地块分别进行作物产量的模拟,然后对数据块产量取平均值,便可获得整个流域不同作物的平均产量。通过 YIELD 模型

表 1 不同作物模拟的地块平均产量( $\text{kg}/666.7\text{m}^2$ )

Table 1 land unit mean simulated yield of different crop

预测年份 Prediction year	小麦 Wheat	土豆 Potato	高粱 Sorghum	玉米 Maize	大豆 Soy-bean	紫花苜蓿 Alfalfa
1997	304.38	1576.1	304.92	—	383.64	331.32
1998	327.06	1233.14	—	—	—	255.7
1999	227.86	848.7	380.2	357.64	292	109.4
1999 <sup>①</sup>	—	1000.0	300.0	400.0	<100.0	—

注:由于播种时大气温度低于作物生长所需要的最低温度,故 1998 年的玉米、高粱、大豆及 1997 年的玉米产量未能模拟出来。①实测 Observation

计算,可得 216 个地块各年的平均产量(表 1),由表可知各类作物的模拟产量情况,具体来说,玉米、土豆和高粱的模拟产量基本和实际产量相符合,1999 年玉米产量为 357.64 kg/666.7m<sup>2</sup>,约低于实际产量的 10%;土豆和高粱产量不同年份变化较大。总的来说,该模型的模拟产量基本与实测值相符合,这也表明 YIELD 模型对于黄土丘陵区的作物生产潜力模拟具有一定的实用性。

#### 4.2 不同地类作物产量模拟与实测对比分析

对于不同地类来说,实际的作物产量相差较大,尤其对于坝地来说,由于其水分和养分条件优于梯田和坡耕地,其作物产量远大于其他两种地类,如 1999 年,高粱和玉米的产量在坡耕地为 97.4kg/666.7m<sup>2</sup> 和 230.8kg/666.7m<sup>2</sup>,坝地为 386.6kg/666.7m<sup>2</sup> 和 313.5kg/666.7m<sup>2</sup>,其差值在 150kg 以上;而对模拟的作物产量来说,对不同作物 216 个地块的作物产量分地类进行平均,即可获得不同地类不同作物的平均产量。从模拟结果可以看出,不同地类之间的产量差别也有一定的体现,但不是很大,如 1998 年土豆产量,梯田与坡耕地相差 35.67kg,坝地与梯田相差则有

87.42kg;1999 年的紫花苜蓿产量梯田大于坡耕地 4.94kg,坝地大于梯田 4.5 kg,其差距不大,个别作物坝地的产量还低于坡耕地和梯田,如对 1999 年高粱产量的模拟,坝地为 370.5 kg/666.7m<sup>2</sup>,小于梯田的 396kg/666.7m<sup>2</sup>,也小于坡耕地的 387.68kg/666.7m<sup>2</sup>。这可能与不同作物对土壤水分的要求不同,而高粱又属于最耐旱作物之一,因而导致这些作物在水分条件比较好的地方作物产量反而较低。

表 2 不同地类不同年份作物产量(kg/666.7m<sup>2</sup>)模拟

Table 2 simulation of crop yield of different year and different landtype

作物 Crop	1997			1998			1999		
	坡耕地 Slope	梯田 Terrace	坝地 Bottom	坡耕地 Slope	梯田 Terrace	坝地 Bottom	坡耕地 Slope	梯田 Terrace	坝地 Bottom
土豆 Potato	1597.18	1631.67	1640.5	1240.41	1276.08	1363.5	834.5	869	908.5
玉米 Corn							355.94	365.5	348.5
高粱 Sorghum	391.68	398.92	374.25				387.68	396	370.5
小麦 Wheat	303.94	309.75	292	333.44	340.42	321.5	232.24	236.58	225.75
大豆 Soybean	309.29	318.25	315				290.06	295	2999.5
紫花苜蓿 Alfalfa	256.94	266.75	279.5	332.56	348.08	358.5	105.74	113.3	128.75

#### 4.3 不同耕作措施对作物产量的影响

耕作措施对于提高作物的产量有非常明显的作用,据实测估计,铺地膜前后的作物产量相差可达 300~400kg 左右,如河川、坝地玉米在铺地膜后产量可达 1000kg/666.7m<sup>2</sup>。在本区域采取的耕作措施主要包括有地膜覆盖、梯田的修建、施肥以及淤地坝。模型对地膜覆盖、梯田以及肥料 3 种措施进行了模拟(表 3),结果也表明,该模型在对耕作措施的模拟中具有一定的作用。从表中可知,对于玉米来说,梯田和地膜均可提高作物产量 100~200kg,施肥可提高产量 60~200kg,但在 3 类措施一起采用的时候,作物产量并没有只采用单项措施的产量高,造成这一现象的原因有待进一步深入研究。

#### 4.4 气象因素对作物产量的影响

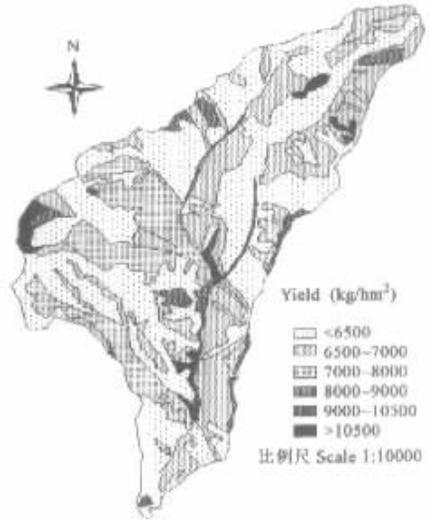


图 2 狼窝沟流域 1999 年土豆模拟产量图

Fig. 2 Simulation yield of potato of Langwogou catchment in 1999

根据对 1997、1998、1999 三年的气象资料分析可以知道 3 年的降水量分别为 450.1mm, 343.8mm 以及 295.7mm(表 4), 呈现明显的递减变化, 而从表 4 也可看出, 从 1997~1999 年各作物产量也表现出明显的递减趋势(高粱例外), 如土豆从 1576.1kg 依次减少到 1233.14 kg 和 848.7 kg。同时温度是影响作物生长发育的关键所在, 若温度或某一时间段的积温过低, 一些作物就不能在播种季节下种, 或即使下种也不能正常生长获取产量, 4、5 月份是作物播种和生长发育的初期, 其对产量的形成具有关键的作用, 对 3 年的月均温和月最低温进行分析(表 5) 可知, 1997 和 1998 年 1~5 月份, 尤其是 4、5 月份温度偏低, 而尤以 1998 年温度为低, 同时 YIELD 模型对温度的反应非常敏感, 故在作物产量的模拟过程中, 对温度要求比较高的作物没有显示模拟结果, 如 1998 年由于温度原因对玉米、大豆和高粱的模拟就没有实现。

表 3 不同耕作措施下模拟的作物产量(kg/666.7m<sup>2</sup>)

Table 3 Simulated yield of different cultivation measure

地块号 Land code	作物 Crop	无措施 None	梯田 Terrace	地膜 Plastic cover	施肥 Fertilization	三类措施同时 All
1	corn	146.4	256.2	252.7	183.0	180.5
2	corn	146.4	254.1	251.3	181.5	179.5
3	corn	139.4	243.6	240.8	174.0	172.0
4	corn	128.0	224.0	221.2	320.0	316.0
5	corn	100.0	306.6	303.1	306.6	303.1
6	corn	93.2	163.1	161.7	233.0	231.0
7	corn	128.8	225.4	222.6	322.0	318.0

表 4 不同年份降水量(mm)的季节变化

Table 4 Seasonal change on rainfall of different year

年份 Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计 Total
1997	1.5	1.5	19.2	4.5	21.9	37.3	238.3	27.6	51.3	9.2	27.8	0.1	450.1
1998	1.9	5.7	18.8	17.9	56.7	60.1	76	50.6	23.8	31.9	0.1	0	343.8
1999	0	0	5.8	2.9	33.1	15.6	87.2	72.8	65.6	9.7	8.6	0.4	295.7

表 5 不同月份的平均温度和最低温度比较(°C)

Table 5 Comparison of mean temperature and minimum temperature in different year

年份 Year		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1997	$T_{mean}$	-7.91	-3.57	4.72	12.2	16.5	19.9	23.0	21.5	12.7	6.7	0.44	-6.32
	$T_{min}$	-13.7	-10.2	0.6	3.6	11.5	11.3	17.9	18.0	6.8	-1.5	-10.1	-11.9
1998	$T_{mean}$	-9.72	-2.12	2.26	12.76	14.44	19.31	22.1	20.5	17.1	8.91	1.85	-4.05
	$T_{min}$	-18.8	-10.4	-7.6	0.4	7.9	2.0	18.4	16.9	9.7	3.5	-6.0	-9.0
1999	$T_{mean}$	-10.1	-3.84	2.85	11.2	16.9	21.8	22.7	21.3	19.3	8.21	1.04	-6.23
	$T_{min}$	-13.3	-12.0	-4.1	4.0	11.0	18.9	17.5	17.9	9.8	1.1	-8.2	-15.4

5 结论

根据以上对模型的模拟结果分析可知, 气候因素是影响作物生长发育的重要因素, 对于黄土丘陵沟壑区来说尤其如此。黄土丘陵沟壑区地区属于温带季风气候区, 降水量、气温的年际变化比较大, 这在实测的产量资料中也可看出; 而 YIELD 模型主要是针对黄土丘陵沟壑区地区降水量少而且变率大的问题而设计, 故该模型也能比较好的反映降水量和气温的变化与作物产量的关系, 模型模拟结果能够体现出这些因素的变化情况, 这一点符合黄土丘陵沟壑区的实际情况, 并且模型的模拟结果基本和实际观测值一致, 具有比较好的模拟结果。当然由于该模型中对作物产量计算的主要参数, 如  $K_y$ ,  $K$ ,  $K_c$  以及  $ET_{max}$  等均来自于联合国粮农组织在全球的农业、土壤、气象观测数据, 其并不一定符合黄土丘陵沟壑区的实际情况, 还有待对模型作进一步的修正工作, 使之更加符合黄土丘陵沟壑区的实际。

参考文献

万方数据

[1] Loomis R S and Williams W A. Maximum crop productivity: An estimate. *Crop Science*, 1963, 3: 67~72.

- [ 2 ] Duncan W G, Loomis R S, Williams W A, *et al.* A model for simulating photosynthesis in plant communities. *Hillgardia*, 1967, **38**: 181~205.
- [ 3 ] Bowen W T, Jones J W, Carsky R J, *et al.* Evaluation of the nitrogen submodel of CERES-maize following legume green manure incorporation. *Agronomy Journal*, 1993, **85**:153~159.
- [ 4 ] Hodges T, Botner D, Sakamoto C, *et al.* Using the CERES-MAIZE model to estimate production for the U. S. Cornbelt. *Agric. For Meteorol.*, 1987, **40**:293~303.
- [ 5 ] Williams J R, Jones C A, Kiniry J R, *et al.* The EPIC crop growth model. *Trans. ASAE*, 1989, **32**:497~511.
- [ 6 ] Liu J D(刘建栋), Y Q(于强), Fu B P(傅抱璞). The numerical simulation of winter wheat photo-temperature productivity in Huang-Huai-Hai region. *Journal of Natural Resources(in Chinese)(自然资源学报)*, 1999, **14**(2): 169~174.
- [ 7 ] Leng S L(冷石林). Potential precipitation productivity and its appropriate exploitation measures in dryland farming areas of northern China. *Scientia Agricultura Sinica(in Chinese)(中国农业科学)*, 1998, **31**(6):1~5.
- [ 8 ] Dang A R(党安荣), Yan S Y(阎守邕), Wu H Q(吴宏歧), *et al.* A GIS based study on the potential land productivity of China. *Acta Ecologica Sinica(in Chinese)(生态学报)*, 2000, **20**(6):910~915.
- [ 9 ] Leng S Y(冷疏影). Research on the potential agricultural productivity of China with the help of GIS. *Journal of Natural Resources(in Chinese)(自然资源学报)*, 1992, **7**(1):71~79.
- [ 10 ] Whitney J., Chen Y Z(陈永宗). Introduction of soil erosion management geographic information system (SEMGIS) in northern China. In: Cai Q G(蔡强国), Wang F T(王福堂), Lu Z X(陆兆熊). *Soil erosion management and application of geographical information system in the loess plateau region, western Shanxi* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1992, v~vi.
- [ 11 ] Doorenbos J and Kassam A. "Yield reponse to water", Irrigation and Drainage Paper No. 33, FAO-United Nations, Rome, 1979
- [ 12 ] Ouyang A Y(欧阳志云), Wang R S(王如松), Fu G N(符贵南). Ecological niche suitability model and its application in land suitability assessment. *Acta Ecologica Sinica(in Chinese)(生态学报)*, 1996, **16**(2):113~120.
- [ 13 ] Peng S L(彭少麟), Guo Z H(郭志华), Wang B S(王伯荪). Use of GIS and RS to estimate the light utilization efficiency of the vegetation in Guangdong, China. *Acta Ecologica Sinica(in Chinese)(生态学报)*, 2000, **20**(6):903~909.