

DSSAT 模型对豫西冬小麦保护性耕作效应模拟效果验证

鲁向晖¹, 穆兴民^{1,2*}, Vinay Nangiz³, 隋艳艳¹, 姚宇卿⁴, 王飞^{1,2}, 高鹏²

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

3. 国际水资源管理研究所, 科伦坡 2075; 4. 洛阳市农业科学研究所, 河南 洛阳 471022)

摘要: 简要介绍了美国乔治亚大学组织开发的 DSSAT V4.5 模型, 并利用洛阳市孟津县 2005~2006 年冬小麦田间试验结果对模型的模拟结果进行验证及其适用性分析。通过对冬小麦叶面积指数、产量和农田土壤水分、水分利用效率的模拟与实测结果的对比分析, 认为 DSSAT 模型的模拟效果较好。分析结果表明: 模型对叶面积指数的模拟误差 RMSE 在 0.034~0.076 之间; 模拟各处理的产量与水分利用效率也与实测值的关系基本一致; 对各处理土壤体积分含水量的 RMSE 误差在 0.051~0.151 之间。研究结果认为 DSSAT 模型在豫西应用的适宜性较好, 可为该地区研究保护性耕作对冬小麦生长及土壤水分的影响提供理论支持。

关键词: 保护性耕作; 冬小麦; 作物生长; 产量; 土壤水分; DSSAT 模型

中图分类号: S152.7*5; TP392:S345 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)03-0064-07

豫西是指河南省内、省会郑州以西的地区。该区为黄土高原的东南部延伸, 年降水量为 600 mm 左右, 属半湿润易旱区, 农业生产以旱作农业为主。由于降水的年际变率大和年内分布的不均匀性, 该区干旱频繁发生, 严重影响了农业生产的可持续发展。

作物生长模型是定量和动态描述作物生长过程的一组数学方程。通过计算机程序模拟运算, 可以解释作物生长、发育、产量的形成过程及其与环境、管理措施、作物品种遗传变异的关系^[1]。近几年来, 很多学者相继引进了一些作物模型并进行了相关模拟研究, 邹定荣^[2]等对荷兰瓦赫宁根大学开发的 WOFSOT 模型在华北平原的适用性进行了评价研究, 认为该模型在用于模拟华北平原大面积作物的作物生长与水分利用方面适宜性良好; 杨绍辉^[3]等研究认为 ARIMA 模型能较好地模拟农田土壤墒情的变化趋势; 王宗明^[4]等研究表明 EPIC 模型在黄土高原地区作物生产潜力模拟研究中具有较好的适用性; L. Ma^[5]等利用 RZWQM 模型对爱荷华州东北部农田长期的作物产量、水分及养分平衡进行了模拟和比较分析, 并认为该模型具有很好的适应性和实用性。

本文所选用模型为 DSSAT(Decision Support System for Agrotechnology Transfer)的 4.5 版本, 是美国乔

治亚大学 Hoogenboom^[6]于 2007 年最新改进升级版, 最主要的特点是对耕作处理和作物残茬管理模块的运算法则进行了修订。模型以 CERES 经验模型为核心, 集成天气气候、土壤及多种作物生长模型, 已经在世界各地得到了广泛应用验证, 并取得了较好的模拟效果。本文主要利用 DSSAT 模型来模拟研究豫西坡耕地保护性耕作措施对冬小麦生长及土壤水分的影响, 验证其在当地的适用性, 为农田试验结果提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 DSSAT 模型

DSSAT 模型最初是由国际上的科学家根据农业技术转让国际标准点协作网(IBSNAT)项目^[7-11]建立起来的促进作物模型在农艺研究上一个系统方法。是在美国农业部资助下, 由密歇根州立大学、国际肥料发展中心、夏威夷州立大学、佛罗里达州立大学、乔治亚州立大学等为主要参加单位, 组织多国科学家, 将已开发的多种作物生长模型修改成具有共同的输入输出格式, 并利用世界各地的试验资料对模型进行了广泛的验证与修订, 最后集成为具有共同用户界面、包含多种作物模型的特大型作物模型软件包^[12-14]。

收稿日期: 2009-11-23

基金项目: Challenge Program on Water & Food“Conservation Agriculture for the Dryland Areas of the Yellow River Basin”(CN228); “十一五”国家科技支撑计划项目“黄土高原水土流失综合治理工程关键支撑技术研究”(2006BAD09B04); 欧盟 DESIRE 项目(037046)

作者简介: 鲁向晖(1976—), 男, 陕西临潼人, 博士研究生, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: xianghui@nwsuaf.edu.cn。

* 通讯作者: 穆兴民(1961—), 男, 陕西华阴人, 博士, 研究员, 主要从事水土保持与生态水文研究。E-mail: xmmu@ms.iswc.ac.cn。

DSSAT是一个机理性模型,它描述作物基本生理过程,如光合作用、产量形成过程等,并描述这些过程如何受环境的影响。DSSAT模型是需要多个独立的模块组合起来运行,模拟计算过程主要通过气

候、作物管理、土壤3个模块完成,作物模拟模型是中心(图1),土壤、气象、作物管理、试验条件和作物遗传信息等数据库决定了模型在不同情形下的模拟应用。

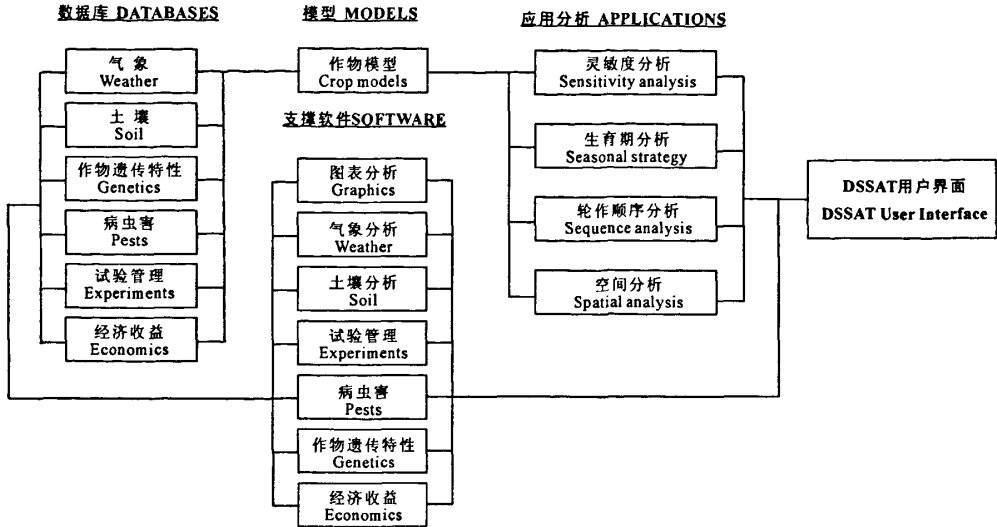


图1 DSSAT模型的结构及其分析软件组成

Fig.1 Diagram of database, application, and support software components of DSSAT

DSSAT模型作为一种通用型作物生长模拟模型已经在世界范围内得到了广泛的试验验证与研究应用^[15-17],已经成为世界上比较有影响的作物生长管理与评价模型之一。该模型利用气象资料、土壤资料和田间管理资料作为输入变量,对模拟作物产量、生长发育过程、土壤温度、田间水肥运移变化及水氮平衡均有较好的效果。

DSSAT中各作物模型均以天为时间步长,详细刻画和描述了作物生长发育过程和产量形成以及土壤水分、氮素的动态变化过程。模型可用于作物光温、降水生产潜力的模拟、作物栽培方案的优化、复种与轮作方式的产量模拟及气候变化对作物布局、熟制及产量的影响,可为农业技术选择提供合理有效的决策与预测。

1.2 研究区概况

田间试验小区位于河南省洛阳市北部的孟津县送庄村(东经113°,北纬34.5°),海拔200多米,年平均气温14°,常年多偏北风。多年(1971~2006)平均降雨量为632.4 mm,属于半湿润偏旱区。年内降雨季节分配不均,容易形成季节性干旱。年降雨60%~80%集中在6~9月份,且降雨强度大,历时短,容易造成土壤侵蚀,导致水分和土壤养分的流失严重。试验区主要作物为冬小麦,一年一作。

1.3 田间试验

大田试验时间为2005~2006年,冬小麦品种为“洛旱6号”。共设四个处理:(1)少耕(DT),7月初翻耕25 cm,耙平;(2)免耕覆盖(ZT),小麦收获后留茬40 cm,免耕;(3)深松覆盖(SS),小麦收获后留茬40 cm,7月初深翻40 cm;(4)传统耕作(CT),7月初翻耕25 cm,9月初翻耕25 cm。

土壤水分含量测定采用土钻取样,烘箱烘干法测定,取样深度分别为0~5、5~15、15~30、30~45、45~60、60~90、90~120、120~150 cm共8个层次,每处理小区3个重复。每两周测定1次,降雨后再加测1次。

1.4 模型数据库的组建

DSSAT模型的模拟计算过程主要通过气象气候、作物管理、土壤和作物遗传特性4个模块完成。在模拟运算前,需要建立完整的4个模块基本数据库及其参数体系。

本文所用气象资料均来源与中国气象科学数据共享服务网。模型运行所需要的最基本的气象数据包括:逐日太阳辐射[kJ/(m²·d)],逐日最高最低气温(℃),逐日降水量(mm/d)。作物管理数据主要包括播种日期,耕作方式及日期、灌溉日期及灌溉量、施肥量、收获日期及方式等;对于保护性耕作参数的

输入主要包括上茬作物的秸秆残余量、土地耕作方式及深度。需要输入的土壤参数主要包括土壤的表面特性、机械组成和物理性状,如凋萎系数、田间持水量、土壤饱和导水率等等(见表 1)。作物管理及土壤参数数据均为实测。

表 1 DSSAT 模型所需试验区土壤特性参数
Table 1 Soil initial condition used for the DSSAT simulations

土层深度 Depth (cm)	饱和导水率 Saturated hydraulic conductivity (cm/h)	pH	容重 Bulk density (g/cm ³)	粘粒 Clay (%)	粉粒 Silt (%)	石砾 Stones (%)	入渗上限 Drained upper limit (mm)	入渗下限 Drained lower limit (mm)
0~5	0.61	7.8	1.39	17.6	37.8	44.6	0.26	0.14
5~15	0.52	8.1	1.43	17.2	32.6	50.2	0.25	0.13
15~30	0.43	8.0	1.43	16.8	33.2	50.0	0.25	0.13
30~45	0.43	8.1	1.44	16.2	33.4	50.4	0.24	0.12
45~60	0.43	8.3	1.45	18.5	33.1	48.4	0.25	0.13
60~90	0.42	8.2	1.47	21.9	32.8	45.3	0.26	0.14
90~120	0.42	8.2	1.48	22.3	31.6	46.1	0.26	0.14

DSSAT 模型利用作物品种遗传特性参数描述品种的特征特性,控制作物生长发育进程、植株形态与产量形成。需要建立 CERES—小麦作物模型的品种遗传特性参数数据库。参考李军^[14]及 Hoogenboom^[6]的研究成果,对试验区供试作物“洛旱 6 号”的遗传特性参数进行了确定,各参数涵义及取值见表 2。

表 2 冬小麦“洛旱 6 号”遗传特性参数
Table 2 The parameters of genotype of winter wheat used for simulations

序号 No.	参数 Parameter	涵义 Meaning	数值 Value	阈值范围 Space
1	P1V	春化作用特性参数 Days at optimum vernalizing temperature required to complete vernalization	60	25~60
2	P1D	光周期特性参数 Percentage reduction in development rate in a photoperiod 10 hours shorter than the threshold relative to that at the threshold	75	45~120
3	P5	灌浆期特性参数 Grain filling (excluding lag) phase duration (°C·d)	500	300~700
4	G1	籽粒数特性参数 Kernel number per unit canopy weight at anthesis (粒/g)	30	24~32
5	G2	潜在灌浆速率参数 Standard kernel size under optimum conditions [mg/(粒·d)]	40	15~120
6	G3	花期潜在单茎穗重参数 Standard, non-stressed dry weight (total, including grain) of a single tiller at maturity (g)	1.5	0.5~1.5
7	PHINT	出叶间隔特性参数 Interval between successive leaf tip appearances (°C·d)	95	65~99

1.5 模型误差检验

本文采用国际上检验模型的均方根误差方法 RMSE(root mean square error)来度量模拟值与实测值的相对差异程度^[18,19],RMSE 的值越小,表明模拟值与实际观测值的一致性越好,模拟值与观测值间的偏差越小,即模型的模拟结果越准确、可靠。用下式表示:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(p_i - o_i)^2}{n}}$$

式中, p_i 为模型的模拟值; o_i 为观测值; n 为样本总数。

一般认为, $RMSE < 0.1$ 为极好, $0.1 < RMSE < 0.2$ 为好, $0.2 < RMSE < 0.3$ 为中等, > 0.3 为差。

2 模型的应用与结果分析

将收集到的参数值输入模型,运行得到输出结果,取叶面积指数、土壤水分动态变化及水分平衡计算结果、作物产量及农田水分生产率分别与 2005~2006 年的实测值进行比较。

2.1 叶面积指数

冬小麦叶面积指数的模型模拟结果与实测值对比如图 2 所示,分析比较可知冬小麦叶面积指数的模拟值与实测值非常接近,模拟结果和田间实测结果在总体上表现出较好的一致性。对不同耕作方式,冬小麦叶面积指数模拟误差较小,计算出 RMSE

值分别是:少耕为 0.051,免耕覆盖为 0.034,深松覆盖为 0.067,传统耕作作为 0.076。

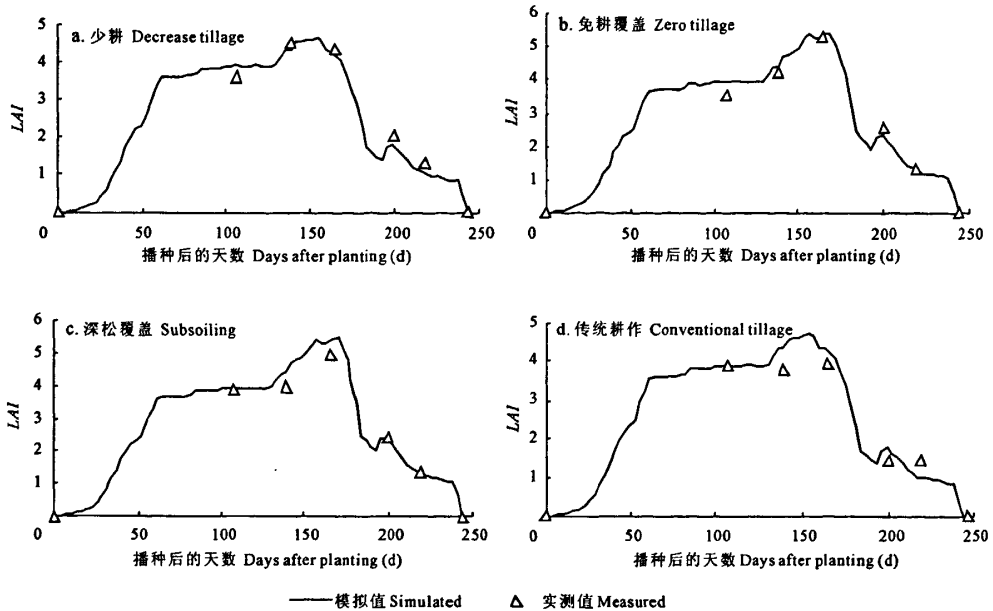


图2 冬小麦叶面积指数模拟值与实测值的比较

Fig.2 Comparison between simulated and measured leaf area index for winter wheat growing season

2.2 土壤水分变化动态

利用 DSSAT 模型对本文的冬小麦全生育期 4 种不同耕作处理的土壤水分动态进行了模拟,得出

了不同深度的土壤水分动态变化特征,并对模拟结果与实测值进行了比较分析。表 3 为 4 种处理的模拟误差 RMSE,误差范围在 0.051~0.151 之间。

表3 4种耕作处理水分动态的DSSAT模拟值与实测值的RMSE误差表

Table 3 RMSE of simulated and measured value of soil moisture at various depths for four treatment of tillage

处理 Treatment	误差 RMSE							
	0~5cm	5~15cm	15~30cm	30~45cm	45~60cm	60~90cm	90~120cm	120~150cm
少耕 DT	0.149	0.090	0.089	0.079	0.066	0.061	0.055	0.051
免耕覆盖 ZT	0.136	0.089	0.091	0.073	0.073	0.070	0.069	0.063
深松覆盖 SS	0.142	0.093	0.092	0.085	0.078	0.070	0.067	0.081
传统耕作 CT	0.151	0.089	0.086	0.081	0.070	0.064	0.054	0.071

以免耕覆盖(ZT)为代表对农田土壤水分动态模拟结果进行分析,如图3。图中实线代表模拟的土壤水分含量,点为实测值,土壤水分含量为体积含水量。在冬小麦生长期的不同阶段,土壤表层(0~5 cm)土壤含水量模拟与实测值误差较大,而其余各层模拟值与实测值整体比较一致。土壤表层(0~5 cm)的水分因受外界环境因素(降水、风力、覆盖等)的影响较大,往往实测准确性也较低。土壤的体积含水量随着冬小麦生育期的变化而变化,由于农田在休闲期水分的储存及降雨的作用,在冬小麦播种及出苗期土壤的体积含水量较高;从冬小麦拔节期到灌浆期,加之蒸腾及土壤蒸发,农田耗水量较大,

土壤体积含水量较低;从灌浆期到成熟期间,土壤水分变化趋于平缓。并且模拟结果与实测结果表现出较好的一致性,5~150 cm 土层的水分模拟值和实测值的误差 RMSE 在 0.063~0.091 之间,误差较小。

2.3 产量及水分利用效率

4 种耕作处理冬小麦实际收获产量与模型模拟产量值的对比见表 4 所示。模型对 4 种耕作处理的产量与实测记录相近,模拟效果较好。与实测产量的误差绝对值较小,最大误差值为 3.94%,最小为 0.58%,平均误差为 2.78%。模型模拟值与实测值表现出较好的一致性。

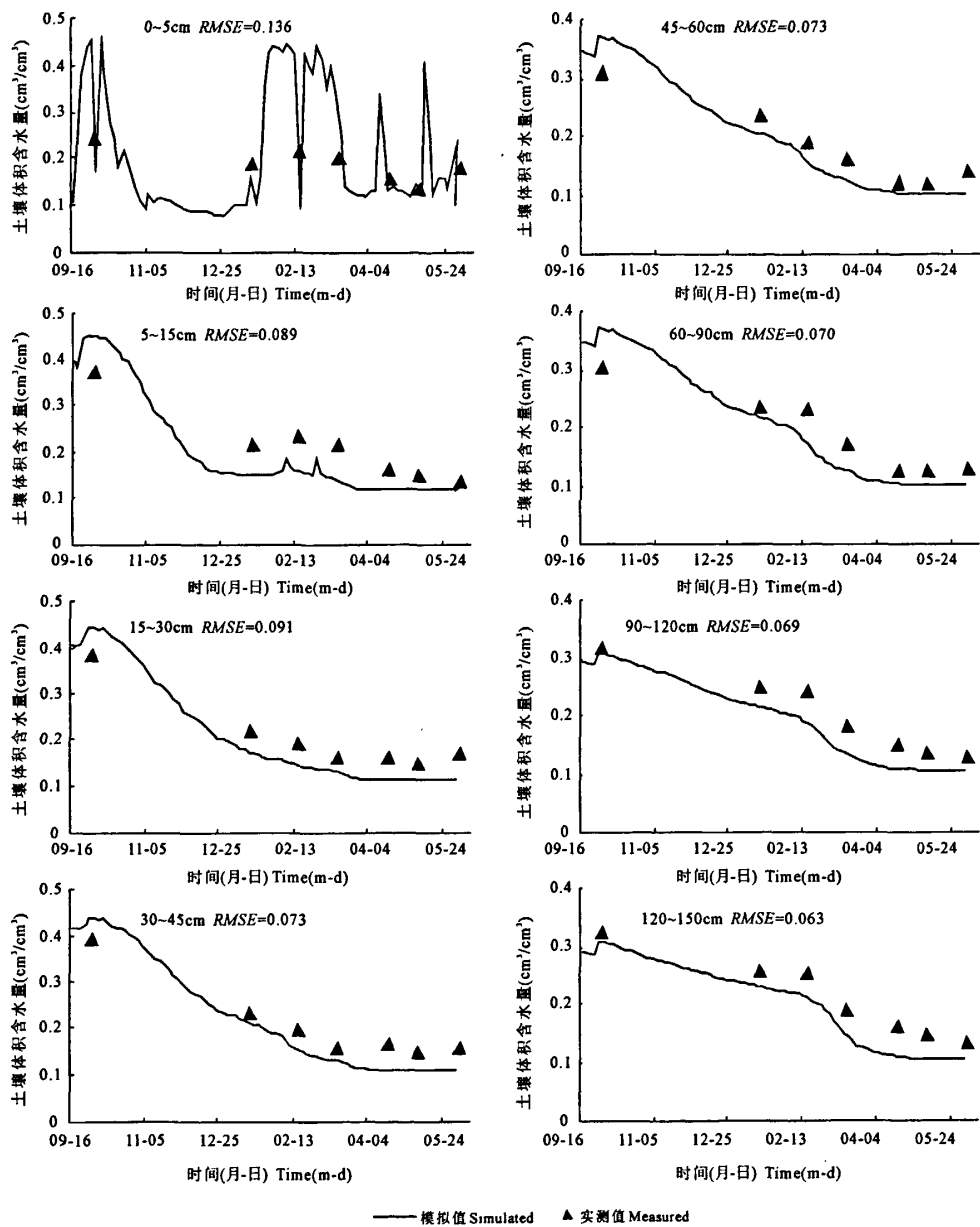


图 3 免耕覆盖条件下不同深度土壤水分含量的模拟值与观测值对比

Fig.3 Comparison between simulated and measured soil moisture at various depths for the zero tillage

表 4 冬小麦产量实测值与模拟值对比表

Table 4 Comparison of measured and model simulated winter wheat crop yield results for four treatments

处理 Treatment	实测值 Measured(kg/hm ²)	模拟值 Simulated(kg/hm ²)	误差 Error(%)
少耕 DT	4970	5166	-3.94
免耕覆盖 ZT	5412	5216	3.62
深松覆盖 SS	5477	5445	0.58
传统耕作 CT	5023	5172	-2.97

对 4 种不同耕作处理的水分利用效率进行了模拟,模拟结果与实测计算结果对比如表 5 所示。分析表中结果可以看出模型对农田的水分利用效率模拟结果良好,最大误差仅为 6.65%,模拟值与实测值的差距较小。

3 结果与讨论

作为作物生育机理模型的 DSSAT V4.5,在对豫西冬小麦生长发育及土壤水分的模拟中显示出良好

表5 冬小麦水分利用效率实测值与模拟值对比表

Table 5 Comparison of measured and model simulated water use efficiency for four treatments

处理 Treatment	实测值 Measured (kg/hm ²)	模拟值 Simulated (kg/hm ²)	误差 Error (%)
少耕 DT	16.82	15.85	5.77
免耕覆盖 ZT	14.44	15.40	-6.65
深松覆盖 SS	16.86	16.58	1.66
传统耕作 CT	15.66	15.81	-0.96

的适宜性。对冬小麦的叶面积指数、产量和农田土壤水分动态、水分利用效率等的模拟中模拟值与实测值均表现出较好的一致性,误差 RMSE 较小,特别是在对冬小麦产量的模拟与实测最大误差值仅为 3.94%。分析整个模拟结果来看,DSSAT 模型基本适合豫西坡耕地的冬小麦模拟研究。

保护性耕作措施对作物生长及土壤水分产生的影响需要长期的作用才能体现出来,短期的田间试验数据会导致实测结果与模型模拟结果之间产生一定的误差,因此,要更科学地分析和评价保护性耕作措施对作物生长和土壤水分动态的影响,尚需长期大量的试验数据来支持验证,这样才能更为合理地利用 DSSAT 模型预测和评价保护性耕作措施对作物生长和农田环境产生的影响。

参考文献:

- [1] Sinclair T R, Seligman N. Criteria for publishing papers on crop modeling[J]. *Field Crops Research*, 2000,68:165—172.
- [2] 邹定荣,欧阳竹,赵小敏,等.作物生长模型 WOFOST 在华北平原的适宜性研究[J]. *植物生态学报*, 2003,27(5):594—602.
- [3] 杨绍辉,王一鸣,郭正琴,等. ARIMA 模型预测土壤墒情研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2006,24(2):114—118.
- [4] 王宗明,梁银丽.应用 EPIC 模型计算黄土区作物生产潜力的初步尝试[J]. *自然资源学报*, 2002,17(4):481—487.
- [5] Ma L, Malone R W, Heilman P, et al. RZWQM simulation of long-term crop production, water and nitrogen balances in Northeast Iowa[J]. *Geoderma*, 2007,140(3):247—259.
- [6] Hoogenboom G, Jones J W, Wilkens P W, et al. Decision support systems for agrotechnology transfer version 4.5[CD]. Honolulu: University of Hawaii, 2008.
- [7] Hoogenboom G. 苏高利,邓芳萍译.农业气象学在作物生产模拟及其应用中的作用[J]. *浙江气象科技*, 2001,22(4):43—47.
- [8] Tsuji G Y, Balas S. International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer. The IBSNAT Decade[R]. Honolulu, Hawaii: Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resource, University of Hawaii. 1993.
- [9] Tsuji G Y. Network management and information dissemination for agrotechnology transfer[C]//Tsuji G Y, Hoogenboom G, Thornton P K. Understanding Options for Agricultural Production. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 1998:367—381.
- [10] Uehara G. Synthesis[C]//Tsuji G Y, Hoogenboom G, Thornton P K. Understanding Options for Agricultural Production. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 1998:389—392.
- [11] Jones J W, Tsuji G Y, Hoogenboom G, et al. Decision support system for agrotechnology transfer; DSSAT v3[C]//Tsuji G Y, Hoogenboom G, Thornton P K. Understanding Options for Agricultural Production. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 1998:157—177.
- [12] Hoogenboom G, Jones J W, Wilkens P W, et al. Decision support systems for agrotechnology transfer version 4.0[CD]. Honolulu: University of Hawaii, 2004.
- [13] Jones J W, Hoogenboom G, Porter C H, et al. The DSSAT cropping system model[J]. *European Journal of Agronomy*, 2003,18:235—265.
- [14] 李 军,绍明安,樊廷录,等.黄土高原作物生长模型 DSSAT3 数据库组建[J]. *干旱地区农业研究*, 2001,19(1):120—126.
- [15] Eitzinger J, Stastna M, Zalud Z, et al. A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios[J]. *Agricultural Water Management*, 2003,61:195—217.
- [16] Federico S, Kenneth J B, Bostick W M, et al. Testing and improving evapotranspiration and soil water balance of the DSSAT crop models[J]. *Agronomy Journal*, 2004,96:1243—1257.
- [17] Reshmi Sarkar, Sandipta Kar. Sequence analysis of DSSAT to select optimum strategy of crop and nitrogen for sustainable rice-wheat rotation[J]. *Agronomy Journal*. 2008,100:87—97.
- [18] McMaster G S, Wilhelm W W, Morgan J A. Simulating winter wheat shoot apex phenology[J]. *Journal of Agricultural Science*, 1992,119:1—12.
- [19] Cao W, Moss D N. Modelling phasic development in wheat: a conceptual integration of physiological components[J]. *The Journal of Agricultural Science*, 1997,192(2):163—172.

Validation of the effect of DSSAT model on winter wheat under conservation tillage treatments in west Henan

LU Xiang-hui¹, MU Xing-min^{1,2*}, Vinay Nangia³, SUI Yan-yan¹,
YAO Yu-qing⁴, WANG Fei^{1,2}, GAO Peng²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. International Water Management Institute, Colombo 2075, Sri Lanka;

4. Luoyang Institute of Agricultural Sciences, Luoyang, Henan 471022, China)

Abstract: Agricultural system models are tools to represent and understand major processes and their interactions in agricultural system. We used the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) with four different tillage treatments data from a study in west Henan of China to evaluate winter wheat yield, leaf area index and water balance. The model was calibrated using the data of field experiment. The site had a winter wheat-fallow-winter wheat rotation. The treatments were: (1) decrease tillage (DT), 10 ~ 15 cm height straw mulching and once plough 25 cm on 1st July; (2) zero tillage (ZT), zero tillage with 35 ~ 40 cm height straw mulching; (3) subsoiling (SS), 35 ~ 40 cm height straw mulching and subsoiling 40 cm depth on 1st July; (4) conventional tillage (CT), 10 ~ 15 cm height straw mulching and twice plough 20 cm on 1st July and 1st October. DSSAT correctly simulated four tillage treatments variations in winter yield, leaf area index and soil water balance. Winter wheat yield variation was simulated with better satisfaction (the error absolute values was less than 3.95% and the error mean absolute value was 2.78%). Mean value of root mean square errors (RMSE) for simulated leaf area index (LAI) and soil water storage were 0.41 and 0.084, respectively. The predicted water use efficiency for the four tillage treatments were 15.85, 15.40, 16.58 and 15.81 kg/(mm·hm²), respectively, and these values were close to the measured data (16.82, 14.44, 16.86 and 15.66 kg/(mm·hm²), respectively). Although the analysis results showed us the DSSAT V4.5 was very well agreement for simulated winter wheat grown in west Henan, however, these preliminary results are based on one year and four tillage treatments dataset and further long term analysis need to be carried out for improving the understanding of the conservation agriculture cropping systems in west Henan, China.

Keywords: conservation tillage; winter wheat; crop growth; yield; soil water; DSSAT model

(上接第 36 页)

Irrigation decision support system based on COMGIS and Matlab for Jinghuiqu irrigation district

QIAO Chang-lu, LIU Zhao, FU Ling

(Research Institute for Water & Development, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: With Jinghuiqu irrigation district as the research object and based on Matlab & ArcGIS, the Irrigation Decision Support System for Jinghuiqu Irrigation District is established by 3D visualization and spatial analysis techniques and many optimization algorithm, such as dynamic programming, neural networks and genetic algorithms. The IDSS realizes the seamless integration with Matlab & ArcGIS by means of Component Object Model (COM) technology. The IDSS can effectively help decision makers to solve the problem of optimal distribution of water resources in Jinghuiqu irrigation district. The management level of irrigation water resources is significantly improved by use of the IDSS. By analysis of actual data of 2008, the IDSS can be used to help make irrigation decision.

Keywords: COMGIS; Matlab; Jinghuiqu irrigation district; irrigation decision support system