

作物模型区域应用两种参数校准方法的比较

熊 伟¹, 林而达¹, 杨 婕², 李迎春¹

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 北京 100081; 2. 北京市十一学校 北京 100039)

摘要:区域模拟的目的是利用有限的空间数据模拟出产量等作物性状的时空变异规律。然而站点作物模型应用到区域范围时涉及到数据归一化、参数简化、模型的校准和验证等问题。利用 CERES-Rice 模型对作物模型在我国区域应用进行了尝试并对部分参数进行了校准。首先利用田间观测数据在各实验点上对模型进行了详细的站点校准,以验证模型在我国的模拟能力;其次,以我国水稻种植区(精确到亚区)为单位,运用平均值和标准差(RMSE)两种方法进行了区域校准和验证,即找出能反映出品种空间差异的代表性品种参数集;然后分别运用两种方法的校准结果,模拟水稻产量和成熟期,并将模拟结果与实测值进行了比较。结果表明:区域校准能反映出水稻生育期和产量的时空变化规律,其中 RMSE 法较平均值法效果好。目前作物模型区域应用过程中还存在大量的误差来源,有待进一步研究。

关键词:作物模型;区域应用;校准验证

文章编号:1000-0933(2008)05-2140-08 中图分类号:S165.27,S181 文献标识码:A

Comparison of two calibration approaches for regional simulation of crop model

XIONG Wei¹, LIN Er-Da¹, YANG Jie², LI Ying-Chun¹

1 Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

2 Beijing October First School, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2140 ~ 2147.

Abstract: The purpose of regional simulation is to predict the variability of yield at both spatial and temporal scale, by using very limited geographical data. However, there are some uncertainties which related to regional simulation, e. g. model complexity, imperfect data, regional calibration and validation etc. This study demonstrated how the regional calibration works by using the CERES-Rice model. Firstly, the model was calibrated and validated at site specific scale; then two regional calibration approaches, average approach and RMSE approach were employed to identify a representative cultivar for each sub-AEZ (Agro-Ecological Zone). The results shows: the regional simulation can simulate the yield variability spatially and temporally, RMSE approach is better than average one. Further endeavor was needed to decrease the uncertainties of regional simulation.

Key Words: crop model; regional simulation; calibration and validation

作物模拟模型作为一种系统分析方法,在帮助理解农业系统和天气、气候因子的相互作用方面起到了很大作用^[1],目前已经广泛运用到气候变化影响评价、精准农业,以及地区农业规划等多个领域,成为农业生产

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30700477);国家重点基础研究(973 计划)资助项目(2006CB400505)

收稿日期:2007-02-07; 修订日期:2007-12-29

作者简介:熊伟(1974~),男,湖北孝感人,博士,副研究员,主要从事气候变化影响研究. E-mail: xiongwei@ami.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30700477) and National Basic Research Program of China (No. 2006CB400505).

Received date: 2007-02-07; **Accepted date:** 2007-12-29

Biography: XIONG Wei, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in the impact of climate change. E-mail: Xiongwei@ami.ac.cn.

定量评价的重要手段之一,但由于大多数作物模型是基于站点的作物模型,如何将这些站点模型运用到区域上去评价各种环境因素对农业生产和农业生态的影响是目前亟待解决的重要问题。

部分研究对作物模型区域应用进行了尝试^[2],但其中最大问题就是空间数据的归并(Aggregation)。作物模型需要的输入数据一般有天气数据、土壤数据、田间管理数据和作物品种参数数据。天气和土壤数据目前已经达成比较统一的共识,如果进行比较宏观的模拟和预测,一定空间尺度的归并数据基本上可以满足作物模型区域应用的需求。田间管理多种多样且经常变化,目前还很少对其进行精确的收集,所以在区域模拟中一般利用假定的或最优的设置对其进行模拟。作物品种参数是作物与环境关系的一种量化表达,不同环境和作物品种会有不同的品种参数,目前一般有两种方式对其进行确定,一是田间实测,二是利用实测数据对其进行调整。Iglo^[3]认为,品种间的大部分差异体现在病虫害抗性、品质等方面,而这些方面目前作物模型还不能对其进行很好的描述,所以一个品种参数组合可以代表一类熟制或生态型的品种。因此可以用地区代表性品种来模拟区域范围内的作物产量。本文以 CERES-Rice 模型为例系统地介绍了作物模型区域应用的关键问题——区域校准,将不同区域校准方法的模拟结果和实测结果进行了比较和分析,选出更好的校准方法,并分析了模型区域校准过程中的误差来源。

1 材料和方法

1.1 CERES-Rice 模型简介

本文选择 DSSAT(the decision support system for agro-technology transfer)4 版本系列模型中的水稻模型 CERES(crop-environment resource synthesis system)-Rice^[4],该模型以一日为步长模拟水稻的生长和发育,有关文献对该模型进行了详细描述。模型需要输入以日为单位的气象资料,包括逐日最高最低温度、降水量和太阳辐射量;土壤参数包括土壤性质和土壤剖面特征,即土壤分层数、坡度、顶层颜色、土壤渗透性和排水性、土壤质地、有机质含量、容重、含氮量、pH 值、A1 饱和度、盐基交换率、土壤根系量;作物种植管理参数包括播种期、播种深度、移栽日期、种植密度和方式、施肥和灌溉管理等。

1.2 数据来源及处理

气象数据来源于中国气象局提供的全国 750 个气象台站观测数据(1998~2000 年),包括日最高最低温度、降水量和日照时数。模型所需太阳辐射数据按 Pohlert^[5]的方法由日照时数转换而来。土壤数据采用中国农业科学院土壤肥料研究所提供的 1:100 万空间数据库,该数据以土壤亚类为图斑,包含的参数有土壤分层数、顶层颜色、土壤质地、容重、有机质含量、含氮量、pH 值、A1 饱和度、盐交换率、土壤根系量等,由于该土壤数据库中不包含土壤水分特征,所以采用 Ritchie 方法^[6]利用土壤结构和养分含量计算出土壤的基本保水性能,包括土壤最高、最低持水量和饱和持水量。田间实验数据来源于中国气象局提供的 200 多个农业气象实验站 1998~2000 年的田间实验,这些实验站点分布在不同水稻生态区,从 24.3°N(云南玉溪)~51.7°N(黑龙江呼玛),具体记录项目有田间管理措施(品种、播种日期、施肥、灌溉、播种密度、行距等)、物候期观测(开花期、成熟期、收获期等)和产量构成要素。剔除受重大灾害影响的实验,最终选择出 525 季实验。

1.3 模型的校准和验证过程

模型的校准是对模型进行区域性标定的重要过程,虽然作物品种多种多样,但是反映的特征除了不同熟制和生产潜力外,其他的品种特征如植株形态、抗病抗虫和抗倒伏特性等目前还不能通过模型的参数调整得以体现。因此模型参数的校准是在模拟与实际生产相似的环境下对模型 8 个遗传参数进行确定,其中 4 个参数与发育特性有关,包括完成基本营养生长期所需要的积温(P1)、从作物幼穗分化到产生圆锥花序所需的积温(P2R)、灌浆到成熟所需的积温(P5)、作物生长最盛时的光周期和日长时间(P2O);另外 4 个与产量形成有关,包括日辐射与同化物之间的转换系数(G1)、分蘖速度(G2)、籽粒大小(G3)、温度容忍系数(G4)。这些参数一般通过严格的控制实验获得,个别可以由试错法通过比较实验与模拟结果计算而得。其他作物遗传参数,如同化物的分配系数、最适生长温度、植株形态等均固化在模型代码之中。在区域模拟时,由于需要模拟的空间范围较大,限于人力物力,无法对区域内所有站点逐一进行详细的站点校准,因此就有必要对模型进行

区域校准。区域校准的目的就是利用不同空间分布的实验站点尽可能地找出地区间品种和管理的异质性,这些异质性可以体现在适应于不同气候类型的生态型品种和管理上;而在同一空间区域内则要尽可能消弱品种和管理上的空间异质性,研究认为可以用一定气候区内的生态型品种及其管理作为该区代表性品种和管理^[3],因此在进行区域校准时仅需要找出一定区域内代表性品种类型即可。

1.3.1 模型在实验点上的校准和验证(简称站点校准)(site-specific calibration and validation)

为了验证模型在我国的模拟能力,首先需要对模型进行实验站点上的校准和验证。对 CERES-Rice 模型站点上的验证前人进行了很多的研究^[7,8]。本文利用模型提供的 GENCL 模块对模型的品种参数进行了站点校准。利用 1998 年的各站点田间实测资料,向模型输入土壤、天气信息和实际管理信息,其中土壤信息根据实验点的经纬度从 1:100 万土壤数据库中提取,天气信息则选择离实验点最近的天气站点,管理信息(包括播种期、施肥灌水等)来源于该实验点的观测值。利用试错法对各点每季水稻实验的品种参数进行了校准,然后以 1999 和 2000 年的实测生育期和产量结果对模型进行了验证。

1.3.2 模型的区域校准和验证(regional calibration and validation)

模型的区域校准和验证是对一定地区(本文以水稻生态亚区为单位划分(如表 1))确定代表性品种和管理信息的过程,并通过比较模拟值和实测值的差异,逐步调整模型品种和管理参数,使其尽可能准确地表达出产量等作物性状的空间变异。目前区域校准还没有统一的标准,前人做了一些尝试,多数是选择一定区域范围内的常用品种作为该区域的代表性品种,或是采用区域内各站点同类品种参数的平均值作为该区域代表性品种的遗传参数。本文采用区域内各站点品种参数的平均值法和 RMSE(root mean square error)法 2 种方式分别进行了区域校准。

表 1 水稻各生态区的划分^[12]
Table 1 Rice Agro-Ecological Zone^[12]

生态区 AEZ	名称 Name	位置 Location	包括省市区 Provinces	亚区 subAEZ	面积比例(%) Percentage
1	华南双季稻区	南岭以南,我国最南部	闽、粤、桂、滇的南部及海南省和南海诸岛全部。包括 194 个县(市)	3 个	17.6
2	华中双季稻区	东起东海之滨,西至成都平原西缘,南接南岭,北毗秦岭、淮河	包括苏、沪、浙、皖、赣、湘、鄂、川 8 省(市)的全部或大部 and 陕、豫两省南部	3 个	67
3	西南高原单、双季稻区	云贵和青藏高原	云贵、青藏共 391 个县(市)	3 个	8
4	华北单季稻区	秦岭、淮河以北,长城以南,关中平原以东	包括京、津、冀、鲁、豫和晋、陕、苏、皖的部分地区,共 457 个县(市)	2 个	3
5	东北早熟单季稻区	辽东半岛和长城以北,大兴安岭以东	包括黑、吉全部和辽宁大部及内蒙古东北部,共 184 个县(旗、市)	2 个	3
6	西北干燥区单季稻区	大兴安岭以西,长城、祁连山与青藏高原以北	银川平原、河套平原、天山南北盆地的边缘地带	2 个	0.5

(1) 平均值校准法 首先按 1.3.1 对模型进行站点校准,然后将区域内(区域划分以水稻生态亚区为单位(如表 1))校准后的各站点的品种参数进行平均,将这些平均值作为该区域的代表性品种的参数即可。比如利用 1998 年的实测数据进行校准后,求算区域内各站点品种参数的平均值即可,然后利用该平均值,模拟区域内 1999 年和 2000 年各实验点作物生长,并与同时期的实测数据进行比较。

(2) 标准差(RMSE)校准法 模型按照 1.3.1 进行站点校准后,再采用标准差(RMSE)法进行区域校准。进行 RMSE 校准法是将 3a 的实验数据进行 3 次校准和验证,如以 1998 年实测数据进行校准,对其他两年的数据进行验证,以此类推。具体步骤如下:对一个水稻生态亚区①首先将站点校准后,区域内各站点品种参数的平均值作为模型各参数的初始值。②选择任意一年的该区所有站点的田间实测数据来校准模型的品种参数。具体方法是按 Hunt^[9]和 Mavromatis^[10]的试错法进行,即保持 8 个参数中的 7 个不变,按一定步长逐步调

整其中的一个参数,同时模拟出区域内所有站点的结果;选择对该参数最为敏感的模拟值,与实测值进行比较,当区域内所有站点的模拟值和实测值的标准差(RMSE)最小时确定下该参数。(比如,校准灌浆到成熟所需的积温(P5)参数时,保证其余7个参数不变,以1为步长调整P5,模拟出区域内所有站点的生育期和产量,由于P5对成熟期最敏感^[9],因此根据成熟期模拟值和实测值的标准差来确定P5,即区域内所有站点成熟期的模拟值和实测值的标准差最小时所对应的P5,就是该模型区域校准后所得参数P5值。)依此方法对下一个参数进行调整。具体参数调整顺序和模拟值与参数值敏感对应关系可参见文献^[9]。③用剩余两年的实测数据对模型参数进行验证。④选择另外年份(1999年或2000年)的实测数据,重复②和③两步。⑤从所有校准结果中,选择验证年中RMSE最小的品种参数为该区域的代表性品种。

$$RMSE = \left[\left\{ \sum_{i=1}^n (\text{模拟值}_i - \text{观测值}_i)^2 \right\} / n \right] \quad (1)$$

式中,RMSE(Root Mean Square Error)为标准差, n 为区域内的站点, i 为对比项目。

1.3.3 模型的区域校准效果比较

为了比较两种参数校准方法的空间模拟效果,分别用平均值法和RMSE法确定的各区域的代表品种参数,模拟了全国所有站点1998~2000年的水稻成熟期和产量。并以水稻生态区为单位计算了模拟值与实测值的RMSE、符合度指数D-index(表示模拟值与实测值分布的符合程度,具体解释详见文献^[11])以及对它们的差异进行配对样本的T检验。

$$D\text{-index} = 1 - \left[\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / \sum_{i=1}^n [|P'_i| + |O'_i|]^2 \right] \quad (2)$$

式中, P_i 、 O_i 分别是模拟值和实测值, $\bar{O}$ 为实测值, $P'_i = P_i - \bar{O}$, $O'_i = O_i - \bar{O}$ 。

2 结果分析

2.1 模型的站点校准和验证结果

首先利用1998年的田间实测数据,包括田间管理、产量和生育期性状,离实验站点最近的实测天气数据和网格土壤数据,在每一个实验点上对模型的上述8个品种参数进行了校准。利用校准的站点品种参数模拟了各实验站点1999~2000年的水稻实验,田间管理与实验站点的实际情况保持一致。图1是经站点校准后,模型模拟的各站点1999年和2000年的产量与实测值之间的关系,图中A表示该站点在这一年种植的品种仍与1998年相同,B表示该站点在这一年种植的品种与1998年不同,而是同一生态型的另一种品种。从图中可以看出,经过站点校准后,1999年和2000年各站点的产量模拟值与实测值具有很好的相关性,能较好地反映出该站点产量的时空变化特点,实测产量与模拟产量的标准差(RMSE)均小于15%,模拟与实测符合程度高达0.9以上,可见站点校准的效果很好,说明经过站点校准后的作物模型误差较小,其误差主要来源于模型还不能模拟的因素,如病虫害害、极端气候事件等。另外,就大多数站点而言,1999年、2000年与1998年相比,种植品种发生了改变,品种的遗传参数有了一些差异,但模拟结果基本没受到影响,这主要是由于这些品种同属一类生态型,因此用原有的品种遗传参数代替它们对模拟结果没有太大影响,可见模型区域应用中,用某一类型品种的遗传参数作为一定区域的品种遗传参数是可行的,同时这样也可以大大节约模型校准的工作量,对实测数据的需求也会降低。因此区域应用过程中找出能代表该区域品种特点的遗传参数是十分必要和重要的。

2.2 区域校准的成熟期模拟结果

分别用平均值法和RMSE法,以水稻生态亚区为单位,进行了参数区域校准,然后模拟了区域各站点1998~2000年的水稻成熟期。从模拟过程来看,两种方法都会产生一些无效模拟(如成熟期>300),图2为两种校准方法所模拟的有效样本的成熟期(RMSE法497对有效样本,而平均值法则为485对)与实际值之间的关系,结果表明,从总体上看,无论是平均值法还是RMSE法,模型都可以表达出生育期性状的时空变化规律,模拟值和实测值之间都具有较好的相关性,相对偏差小于15%,符合度指数高于0.75,在可接受的范围之内。就两种方法而言,平均值法模拟的结果要略差于RMSE法,相对偏差比后者高出1.27%,符合度则下降

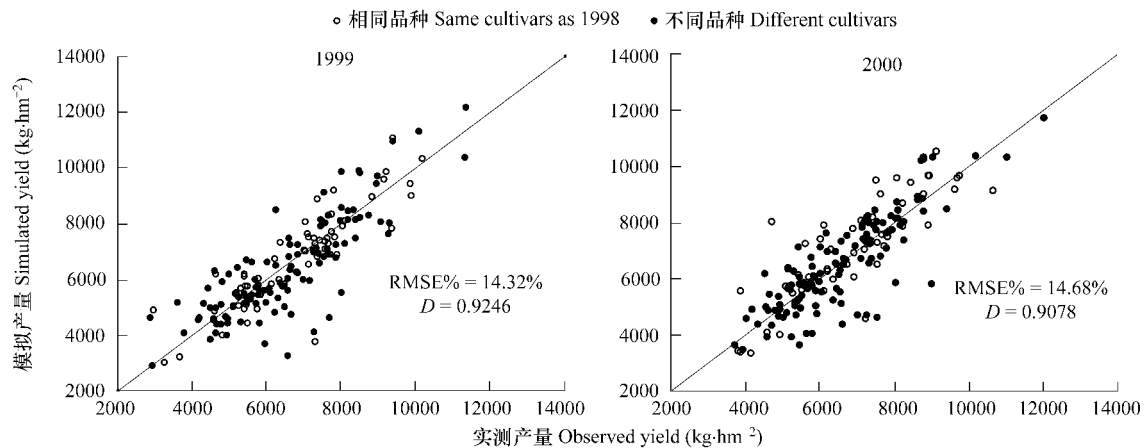


图1 1999年、2000年各站点模拟产量与实测产量的关系

Fig. 1 Comparison of observed and simulated yields in 1999 and 2000

了0.08;而且从图上也可以看出,平均值法造成多数站点高估成熟期,在有效的485对样本中,有336对样本高估成熟期,尤其是区域1中108个模拟值,99个高估了成熟期。而RMSE校准法,同一区域基本上高估和低估成熟期的站点均匀分布在1:1线两侧。

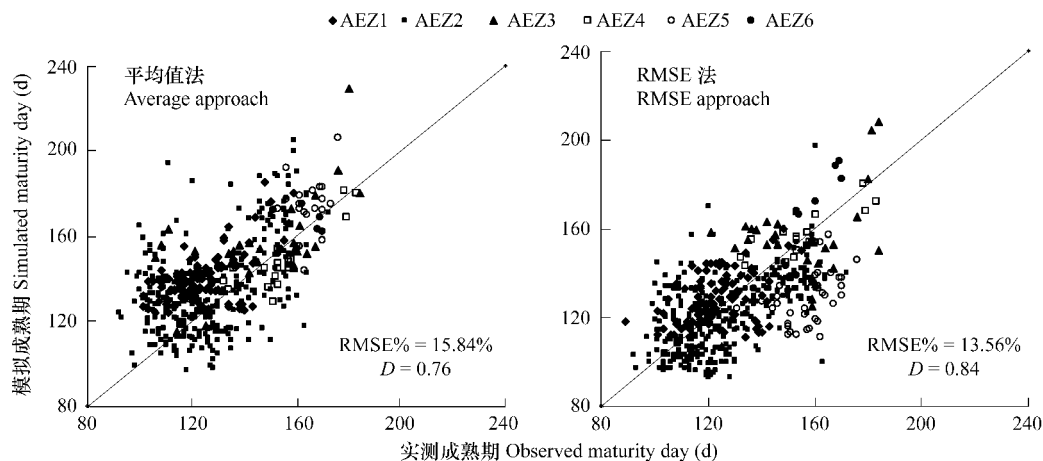


图2 平均值法和RMSE法模拟成熟期与实测的关系

Fig. 2 Comparison of observed and simulated maturity day, the model was calibrated either by average approach or RMSE approach

表2是各区域两种方法成熟期的模拟结果。经平均值法校准后,除区域5之外,其他各区域成熟期的模拟值与实测值之间均表现为显著的线性相关,符合度也都在0.5以上,说明经过该方法校准后,模型基本上能反映出该区域的成熟期时空变化规律;但是除了6区之外,各区域模拟值与实测值之间都差异显著,模型明显高估或低估了实际成熟期,可见若想用模拟值代替实测值,还需要进一步校准。平均值法在6区表现最好,模型既能很好的反映该区成熟期的时空变异情况,同时模拟值与实测值之间也无显著差异,说明经过校准后模拟的误差很小。效果最差的是5区,无效模拟达20对样本(表现为过长的生育期),分析认为,5区在区域划分上,南北纬度跨度太大,从北纬39°~51°,品种类型多,情况复杂,所以用平均值很难代表该区域特点。

经RMSE校准后,模型模拟效果基本上优于平均值法,无效模拟的现象会有减少(减少了12对),从各区域模拟结果来看,RMSE法都能较好地反映出该区成熟期的时空变化趋势。其中3区、4区模拟值与实测值拟合效果很好,差异不显著。5区仍然是模拟结果最差的区,但与平均值法相比,模型已经能够明显地反映出该区成熟期的时空变化,无效模拟的现象明显减少(减少了20对),但还明显低估了生育期,需要进一步校准。

而在 6 区平均值法略好一些, RMSE 法明显高估了实际成熟期。总的来说,无论是总体上还是各个区域内, RMSE 法和平均值法校准后,对成熟期的模拟基本上取得了较好的拟合效果,大多数区域 RMSE 法效果更好,而 5 区两种方法都不理想,可能与区域本身跨度有关,这也说明,在区域模拟中,区域划分对模拟结果有重要影响。

表 2 两种校准方法所得的各区域模拟与实测成熟期之间的比较

Table 2 Comparison of observed and simulated maturity day for each AEZ, the model was calibrated either by average approach or RMSE approach

区域 (AEZs)	1	2	3	4	5	6
平均值法 Average approach	成熟期 Maturity day (d)					
<i>N</i>	107	301	30	17	24	6
X_{obs} (SD)	123 (12)	127 (18)	145 (21)	155 (14)	164 (6)	162 (8)
X_{sim} (SD)	140 (11) **	135 (21) **	156 (20) **	149 (15) **	173 (13) **	159 (7)
<i>R</i>	0.533 *	0.475 *	0.616 *	0.843 *	0.293	0.895 *
RMSE (RMSE%)	20 (16.0%)	22 (17.3%)	21 (14.5%)	10 (6.3%)	16 (9.4%)	5 (2.8%)
<i>D</i>	0.56	0.68	0.74	0.88	0.46	0.88
RMSE 法 RMSE approach	成熟期 Maturity day (d)					
<i>N</i>	104	294	31	18	44	6
X_{obs} (SD)	123 (12)	127 (18)	152 (20)	155 (14)	157 (10)	162 (8)
X_{sim} (SD)	128 (12) **	121 (17) **	151 (23)	156 (11)	129 (12) **	178 (10) **
<i>R</i>	0.476 **	0.579 **	0.516 **	0.750 **	0.313 **	0.936 *
RMSE (RMSE%)	13 (10.6%)	17 (13.3%)	21 (13.6%)	9 (5.9%)	31 (19.0%)	16 (9.7%)
<i>D</i>	0.67	0.74	0.73	0.84	0.34	0.57

N: 样本量 Sample (*N*), X_{obs} : 观测值, X_{sim} : 模拟值, SD: 标准误, *R*: 相关系数, RMSE: 标准差, *D*: 符合度指数, *: $\alpha = 0.05$ 水平下差异显著, **: $\alpha = 0.01$ 水平下极显著, 下同 Observed means (X_{obs}), simulated means (X_{sim}), standard deviations (SD), Pearson correlation coefficient (*R*), Root Mean Square Error (RMSE) and D-index, *: Significant at the 0.05 level, **: Significant at the 0.01 level, the same below

2.3 区域校准的产量模拟结果

经平均值法和 RMSE 法校准后,模拟的各站点 1998 ~ 2000 年的水稻有效产量(产量不为 0)与实测值之间关系见图 3。结果表明,从总体上看,两种方法的模拟结果均能反映出产量的时空变异规律,与实测值具有较好的相关性,但是 RMSE 法模拟的结果 (RMSE% = 19.89%, $d = 0.75$) 与平均值法相比 (RMSE% = 29.89%, $d = 0.54$) 要好,模拟值与实测值更为接近。从各区域的效果看(见表 3),平均值法大多数区域(除 6 区),模拟值与实测值之间都具有明显的相关,模型能够很好地反映该区的时空变化规律,但是模拟结果和实测产量均为差异显著,不同区域表现不同,在北部地区大部分模拟会低估实际产量,而在南方单双季稻区一般高估产量,这主要是由于模型本身的缺陷造成的,如:模型中对北部光周期不敏感的水稻品种,抗寒性强的品种表现还不是很好,有些研究对这一问题进行了阐述^[13,14]。而且在区域 1 和 5,平均值法有大量的无效模拟(表现为模拟中断或 0 产量),很可能是由于区域划分或跨度较大造成的,使得该区品种参数的平均值无法代表该区品种特点。

从两种方法来看, RMSE 法相对效果较好。除 6 区外,模拟值与实测值之间具有明显的相关,而且模型模拟结果和实测产量基本上没有差异(除 4 区),可见经过 RMSE 法校准后,模型不但能够反映该区产量的时空变化规律,而且能够较准确地估计产量值,模拟的误差降低。这些误差主要来源于模型本身还无法模拟的一些因素。区域 6 两种方法的校准效果都不理想,可能与由于样本量小有关,可见在某些地区模型还须进一步完善和校准。

总之,无论从成熟期还是产量的角度而言,水稻区域校准在大多数区域选择 RMSE 法要优于平均值法,但个别地区两种方法都不理想,还需要进一步调试和校准。

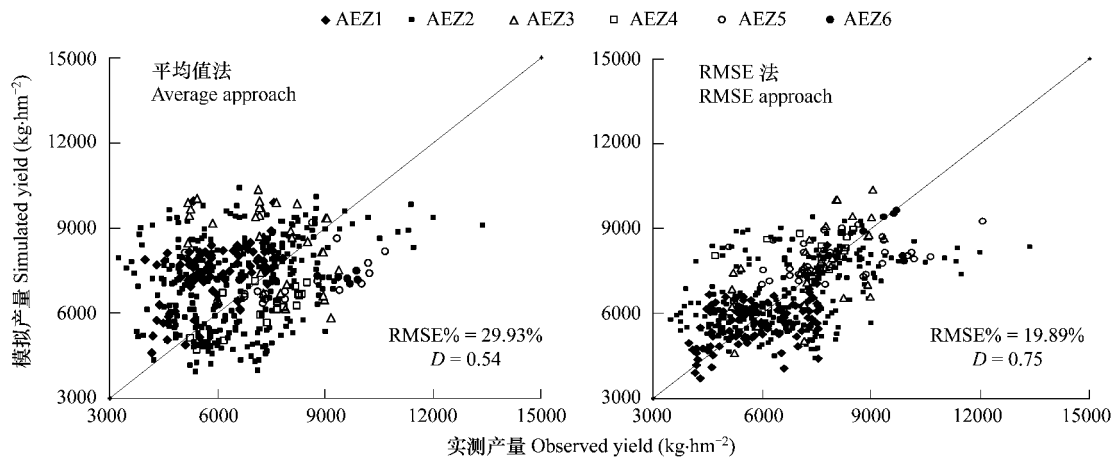


图3 平均值法和 RMSE 法模拟产量与实测的关系

Fig. 3 Comparison of observed and simulated yields, the model was calibrated either by average approach or RMSE approach

表3 两种校准方法所得的各区域模拟与实测产量之间的比较

Table 3 Comparison of observed and simulated yields for each AEZ, the model was calibrated either by average approach or RMSE approach

区域 (AEZs)	1	2	3	4	5	6
平均值法模拟结果	产量 Yield (kg hm ⁻²)					
N	86	301	30	17	24	6
X _{obs} (SD)	5896 (1121)	6451 (1657)	8546 (1342)	7192 (1211)	8130 (1550)	9537 (417)
X _{sim} (SD)	7345 (1061) **	7016 (1548) **	7505 (1299) *	6186 (718) **	7108 (751) **	7224 (150) **
R	0.532 **	0.238 **	0.480 **	0.623 **	0.367 *	0.074
RMSE (RMSE%)	1790 (30.4%)	1977 (30.6%)	2466 (28.9%)	2238 (31.1%)	1752 (21.6%)	2350 (24.6%)
D	0.56	0.59	0.16	0.38	0.53	0.20
RMSE 法模拟结果	产量 Yield (kg hm ⁻²)					
N	104	294	31	18	44	6
X _{obs} (SD)	5845 (1073)	6642 (1577)	7460 (1264)	7218 (1180)	8029 (1471)	9537 (417)
X _{sim} (SD)	5668 (781)	6564 (1167)	7675 (1431)	7852 (907) *	7898 (590)	8874 (773)
R	0.445 **	0.475 **	0.575 **	0.581 **	0.408 **	0.360
RMSE (RMSE%)	1019 (17.4%)	1448 (21.8%)	1249 (16.7%)	1148 (15.9%)	1333 (16.6%)	1129 (11.8%)
D	0.67	0.68	0.74	0.71	0.51	0.22

2.4 区域模拟中误差产生的主要来源

从模型区域校准和验证过程来看,虽然区域应用基本上可以反映出产量的空间变化特征,但其中还存在一定的误差来源。

(1)模型本身的缺陷:如模型不能反映病虫害的影响,对一些气象灾害,如冰雹、大风、干热风等还无法模拟,对部分年份受这些灾害影响的水稻生长模拟效果还较差,从而导致整体的误差增大。

(2)空间归并后的作物品种遗传参数:对作物品种参数进行空间归并的目的是在大大降低模型校准的工作量的同时,又能消弱同一空间范围内的空间异质性,但归并后的代表性品种必然无法完全体现出区域内所有品种和所有管理的特性,与实际农业生产还有很大差距,因此导致区域内空间拟合程度的降低。部分研究已采用空间和概率场抽样的方式来解决这一问题。

(3)区域划分的合理性:区域划分不同,空间地理数据和农业管理数据存在很大差异,如果区域划分过大(如5区),那么同一区域内农田管理措施差别越大,如播种期、移栽期、灌溉时间和灌溉量以及施肥量等,研究认为同一品种在不同的播种期和不同茬口条件下,积温相差很大,从而生育期也相差较大,最终影响生物量

和产量,对最终的区域模拟结果有很大的影响。

3 结论与讨论

作物模型的区域应用是目前作物模型应用的热点之一,但目前有关研究还比较初步。运用平均值和 RMSE 两种方法分别对模型进行区域校准,从总体上说这两种方法基本上都可以反映出地区作物生长发育和产量的空间变化规律,其中 RMSE 法无论是产量还是生育期效果更好。目前作物模型区域应用过程中还存在许多问题,如作物模型本身的误差、按区域归并后的品种参数的代表性,区域划分合理性等,有待进一步研究。

References:

- [1] Liu B C, Wang C L, Mu Y P. The advance of regional application of crop models. *Meteorological Sciences and Technology*, 2002, 30(4):193 — 203.
- [2] Tsvetsinkaya E A, Mearns L O, Mavromatis T, Gao W, *et al.* The effect of spatial scale of climate change scenarios on simulated maize, winter wheat, and rice production in the southeastern United States. *Climatic Change*, 2003, 64: 37 — 71.
- [3] Iglesias A, Rosenzweig C, Pereira D. Agricultural impacts of climate change in Spain: developing tools for a spatial analysis. *Global Environmental Change*, 2000, 10: 69 — 80.
- [4] Ritchie J T, Baer B D, Chou T Y. Effect of global climate change on agriculture Great Lakes Region. In: Smith J B, Tirpak D A, eds. *The Potential Effects of Global Climate Change on the United States: Appendix C-Agriculture*. Washington DC: US EPA, 1989.
- [5] Pohlert T. Use of empirical global radiation models for maize growth simulation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 126: 47 — 58.
- [6] Ritchie J T, Gerakis A, Suleiman A. Simple model to estimate field-measured soil water limits. *Trans. ASAE*, 1999, 42: 1609 — 1614.
- [7] Cheyglinted S, Ranamukhaarachchi S L, Singh G. Assessment of the CERES-Rice model for rice production in the Central Plain of Thailand. *The Journal of Agricultural Science*, 2001, 137: 289 — 298.
- [8] Saseendran S A, Singh K K, Rathore L S, *et al.* Evaluation of the CERES-Rice version 3.0 model for the climate conditions of the state of Kerala, India. *Meteorological Applications*, 1998, 5 (4): 385 — 392.
- [9] Hunt L A, Pararajasingham S, Jones J W, *et al.* GENCALC: Software to facilitate the Use of crop models for analyzing field experiments. *Agronomy Journal*, 1993, 85: 1090 — 1094.
- [10] Mavromatis T, Bootes K J, Jones J W, *et al.* Developing Genetic Coefficients for Crop simulation models with data from crop performance Trials. *Crop Sciences*, 2001, 41: 40 — 51.
- [11] Willmott C J. Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 1982, 63: 1310 — 1313.
- [12] Zhu D F, Min S K. Rice production in China under current and future climates. In: Matthews R B, Kropff M J, Bachelet D, Van Laar H H. eds. *Modeling the impact of climate change on rice production in Aisa*. CAB international, 1995.
- [13] Godwin D C, Meyer, W. S., Singh, U. Simulation of the effect of chilling injury and nitrogen supply on floret fertility and yield in rice. *Aust. J. Exp. Agri.*, 1994, 34: 921 — 926.
- [14] Meyer W S, White R J G., Smith D J, Baer B D. Monitoring a rice crop to validate the CERES Rice model. *CSIRO Technical Memorandum*, 1994, 9: 26 — 28.

参考文献:

- [1] 刘布春,王石立,马玉平. 国外作物模型区域应用研究进展. *气象科技*, 2002, 30(4): 193 ~ 203.